

SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES POR CRECIENTES ESTIVALES Y POR DESBORDES EN LAS LOCALIDADES DE VILLA NUEVA, PUCHUZUM Y VILLA CORRAL, CUENCA DEL RÍO CASTAÑO, CALINGASTA, SAN JUAN

Maria Alejandra PITTALUGA¹ y Graciela M. SUVIRE^{1,2}

¹ Departamento de Geología, INGEO-FCEFN, Universidad Nacional de San Juan, San Juan. Email: mapitta@unsj.edu.ar

² CONICET-INGEO-FCEFN. Departamentos de Geología y Biología, Universidad Nacional de San Juan, San Juan. Email: graciela_suvires@yahoo.com.ar

RESUMEN

La peligrosidad natural en la cuenca del río Castaño no ha sido analizada bajo ningún concepto, lo que trae como consecuencia efectos altamente catastróficos que impactan directamente sobre las poblaciones localizadas en la región. El objetivo del presente estudio es contribuir al conocimiento de la dinámica hídrica en la cuenca del río Castaño, situada en el Departamento Calingasta, San Juan, Argentina. Se identifican las distintas causas que originan los peligros o amenazas hídricas existentes en esta cuenca de los Andes Centrales. La zonificación de las áreas territoriales más susceptibles a estas amenazas se realizó considerando la relación existente entre los principales rasgos geomorfológicos de las unidades territoriales y los peligros. Se distinguieron 15 unidades geomorfológicas para los alrededores de las poblaciones de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral. Asimismo se construyeron mapas de susceptibilidad a los diferentes tipos de amenazas, ya sea vinculada a aluviones estivales provenientes de las áreas aledañas, al norte y sur del río Castaño, ubicados en el piedemonte de la Cordillera Frontal, como a inundaciones por altos caudales del río Castaño.

Palabras clave: *Argentina, precipitaciones estivales, amenazas, zonificación.*

ABSTRACT: *Inundation susceptibility caused by summer flooding and overflows at the localities of Villa Nueva, Puchuzum and Villa Corral, Basin of Río Castaño, Calingasta, San Juan.* This study was made to contribute to the knowledge hydric dynamic of Castaño river basin, which lies in the eastern slope of the Central Andes, in Calingasta Department, San Juan province, Argentina. The risk evaluation in the surrounding suburban and rural areas was also analyzed. The kinds of risk are associated with two causes: a) summer raining precipitations, into piedmont of the Frontal Cordillera and b) the high discharges of Castaño river basin. In the present paper were distinguished 15 regional geomorphological units in the surrounding Villa Nueva, Puchuzum and Villa Corral villages.

Keywords: *Argentina, summer raining, risk, zonation.*

INTRODUCCIÓN

Las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral son poblaciones que se ubican en la margen derecha del río Castaño, en el Departamento de Calingasta, provincia de San Juan, República Argentina. Se localizan entre los 69°23' y 69°41' O y los 30°45' y 31°20' S, aproximadamente, a 200 km al O y NO de la ciudad capital de San Juan. La altura promedio es de 2000 m s.n.m. (Fig. 1). La población, en este sector, se asienta en oasis en forma de franjas a lo largo del río Castaño y basa su desarrollo económico

en la actividad minera local, agrícola, ganadera, y especialmente en la turística. El crecimiento poblacional y la ocupación de los espacios por parte del hombre se producen espontáneamente con muy poca intervención y escasa planificación, por lo que en la actualidad se generan problemas ambientales y significativos riesgos para las tres poblaciones citadas. Las inundaciones que perjudican a las localidades ubicadas en las márgenes del río Castaño, con los consecuentes daños en las infraestructuras y las áreas cultivadas, sumada a los procesos de erosión hídrica de los sectores ocupados por el hombre, ponen

de manifiesto la incorrecta intervención humana en el medio natural.

Se analizan y evalúan las a) características hídricas de los caudales del río Castaño y de las precipitaciones, b) información de registros históricos vinculados a los riesgos naturales, c) condiciones geológicas del área de estudio y d) las características geomorfológicas de la región de Castaño, a los efectos de contar con las bases cartográficas geocientíficas para las acciones y planes de mitigación.

En la región de estudio existen diferentes amenazas en relación con las estaciones del año en el desencadenamiento de los

procesos. Las inundaciones se asocian tanto a altas precipitaciones estivales, en breves tiempos, como a crecidas de corrientes encauzadas, generando un pico de crecida que también pasa rápidamente, por lo que resulta un fenómeno más estrictamente vinculado a exclusivas condiciones de superficie (González Uriarte y Navarro 2004). Los aumentos en los niveles hídricos se asocian tanto a las mencionadas precipitaciones como a deshielos cordilleranos que aportan un importante caudal a las corrientes permanentes elevando su nivel de base, ocasionando desbordes e invasión de zonas más altas topográficamente

La evaluación de las áreas bajo amenaza de crecientes repentinas, es parte de la estrategia para el manejo de los peligros naturales, partiendo de la premisa que las medidas previas a la ocurrencia de los desastres, son las más efectivas en términos de costos y tiempos de aplicación para reducir el número de fatalidades y la destrucción de propiedades (Ojeda 2003, Pereyra 2007). Es de destacar que el tratamiento del estudio de los peligros y de los riesgos, en general, no siempre contemplan la susceptibilidad o sensibilidad propia de cada ambiente geomorfológico expuesto al peligro. La respuesta de cada unidad geomorfológica o unidad territorial es diferente ante un mismo peligro o amenaza, debido a sus variaciones en sus propiedades intrínsecas (naturaleza y característica del depósito, cementación, suelos, otros) y externas del ambiente regional donde se encuentra (Usher 2001, Thomas 2001, Suvires y Lloret 2005). La susceptibilidad es la propensión o tendencia de una zona a ser afectada físicamente por un peligro. Está en función de su exposición al peligro natural, mientras esté más expuesta al peligro analizado, en este caso, inundaciones, mayor es la susceptibilidad.

METODOLOGÍA

Se realizó la cartografía preliminar de apoyo, utilizando hojas topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:100.000 y se elaboraron mapas hipsométricos, pendiente y drenaje superficial.

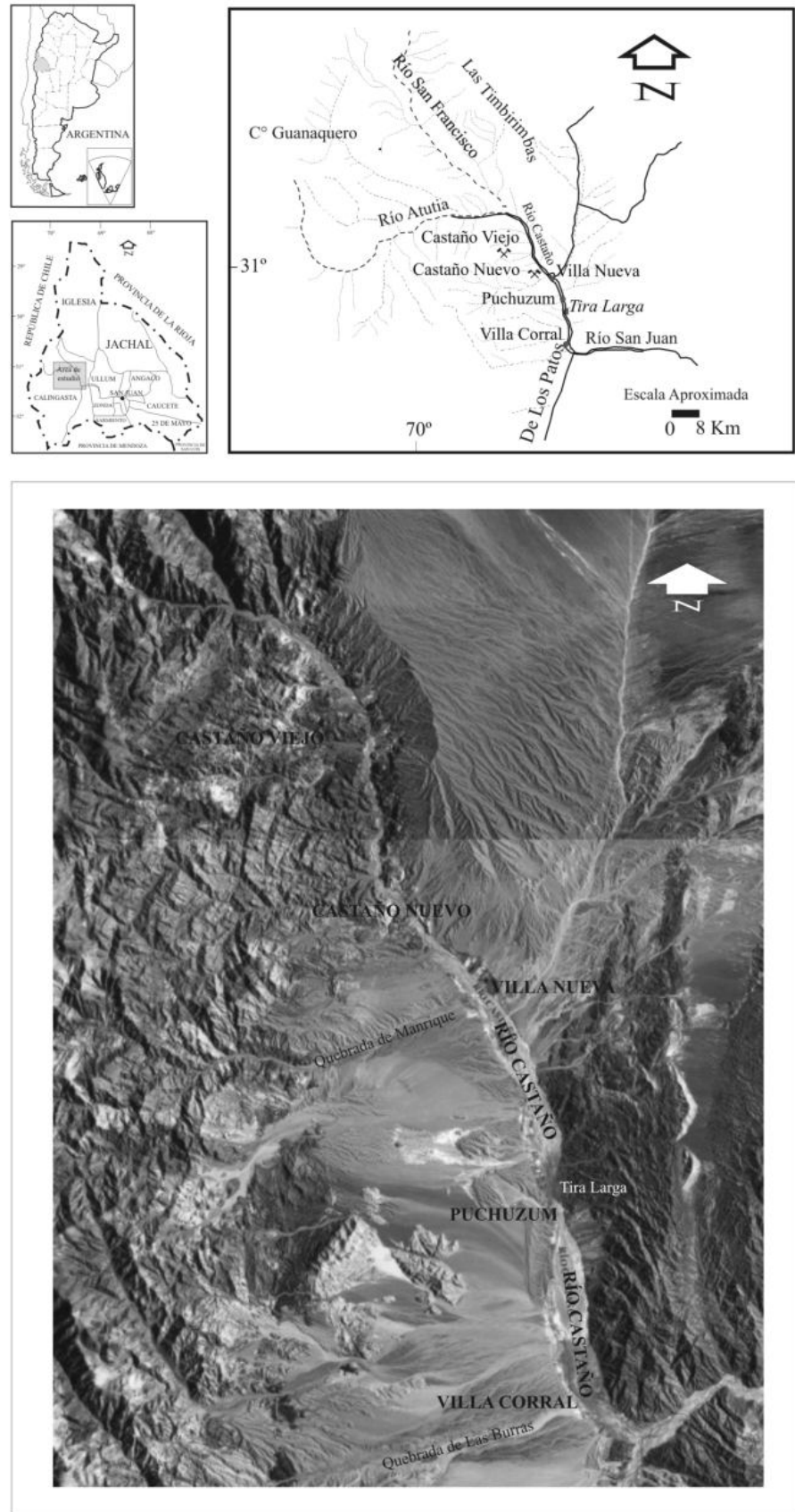


Figura 1: Mapa de ubicación e imagen del área de la cuenca del río Castaño.

Mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales (Landsat, TM) se combinaron distintas bandas para obtener imágenes compuestas y analizar y cartografiar las unidades geomorfológicas. Los mapas de susceptibilidad fueron realizados a partir de la combinación de datos de los mapas de geomorfología, litología y de datos de recurrencia de los procesos. Las actividades de apoyo de campo se intercalaron con las de gabinete, revisándose las unidades geomorfológicas y las áreas con actividad antrópica de mayor susceptibilidad a las inundaciones. El análisis de la geomorfología a nivel de detalle en las tres áreas pobladas, conjuntamente con la recopilación, selección y análisis de datos históricos que brindaron los pobladores, posibilitó la zonificación de las áreas bajo amenaza, en base a umbrales definidos por la dinámica y el alcance de las inundaciones. Se utilizó como base la clasificación propuesta por Barbeito *et al.* (2005), la que a su vez es una modificación de la clasificación propuesta por la ONU (1976).

Las zonas delimitadas en función de las inundaciones se diferenciaron en:

- Una zona sin amenaza de inundación (SA): aquella que no está afectada por la acción del río y sólo lo está por escorrentía elemental y/o cuencas laterales que por su escaso potencial hidrológico, no entrañan riesgos para bienes y personas;
- Zonas con alta amenaza de inundación (CA): comprenden los terrenos que en mayor o menor medida están afectados por la acción del río, distinguiéndose las siguientes categorías principalmente por su morfodinámica en:

- CA1: comprende el ámbito del lecho o cauce ordinario, evidenciado tanto desde el punto de vista litológico y textural de los suelos (arena, grava y rodados), como geomorfológico, donde las crecientes repentinas tienen recurrencia anual;

- CA2: comprende los relieves correspondientes a la planicie o lecho de inundación, con inundaciones periódicas que se activan con recurrencia entre 5 y 10 años, cuando los caudales superan la capacidad de transporte del lecho ordinario. Algunos

sitios tienen defensas colocadas por el Departamento de Hidráulica;

- CA3: corresponde al ambiente del cauce o lecho de inundación episódico o histórico, cuya actividad está ligada a la ocurrencia de crecientes excepcionales. La alta recurrencia de las inundaciones y la omisión del peligro por desconocimiento por parte del poblador potencian el riesgo en la región de estudio.

ANTECEDENTES DE CATÁSTROFES

Las informaciones y comunicados de diarios locales reflejan daños y pérdidas socioeconómicas importantes ocasionadas por crecientes del río Castaño y por aluviones que descienden de las áreas montañosas aledañas y que contribuyen al caudal del principal río de la región. Algunos de estos extractos informativos corresponden a diarios locales y a informes del Departamento de Hidráulica:

- *Diario de Cuyo (local de San Juan) - fecha: 15-11-1987*: “Se aconseja transitar con precaución por la ruta que une Calingasta con Villa Nueva por las progresivas crecidas del arroyo de Las Burras (Fig. 1) que afecta al sector Tira Larga y del arroyo Manrique que afecta a Villa Nueva”; “considerable crecida en el río Castaño que amenaza con aislar a los pobladores ubicados en las inmediaciones del campamento minero Castaño Nuevo, sobre la margen derecha del mismo”.

- *Diario de Cuyo - fecha: 02-12-1987*: “Notable incremento del caudal de los ríos Castaño, Los Patos y Calingasta. Inconveniente en la ruta que une Villa Calingasta con Villa Nueva a la altura de Puchuzum. Ruta cortada antes del puente sobre el río Castaño por desborde de las aguas”

- *Diario de Cuyo- fecha: 03-12-1987*: “Emergencia en Villa Nueva, por desborde del río Castaño, cortado el tránsito desde el 30/11”.

- *Reparaciones por el departamento de Hidráulica - septiembre 1987*: “obras de protección y encauzamiento en los distritos Puchuzum y Villa Nueva, incluyendo los colectores Candelaria y Manrique. En

ambos márgenes del río Castaño se realizan botadores a la altura del puente de Villa Nueva...”; *periodo 1991-1992*: construcción y reconstrucción de las defensas en la confluencia de los ríos Castaño, Calingasta y de los Patos.

- *Diario de Cuyo - fecha: 16-01-1999*: “Corte del canal potabilizador en la localidad de Puchuzum, por el aluvión del 1/1/1999. La población se encuentra sin agua potable y ya comenzaron a registrarse los primeros casos de enfermedades gástricas. Lluvias intensas provocaron una crecida que bajó por la quebrada Candelaria y tapó el canal Puchuzum...”

- *Diario de Cuyo - fecha: 21-01-2006*: “Evacuación de pobladores en la localidad de Villa Nueva por una nueva crecida que atravesó la ruta e inundó los hogares, con el riesgo sumado a que estas son de adobe y varias en riesgo de colapsar.”

- *Diario El Zonda - fecha: 21-01-2006*: “Inesperadamente un fuerte temporal de lluvia y granizo afectó a la localidad calingastina de Villa Nueva. Fueron evacuadas 90 personas y no se registraron heridos. Producto de la lluvia el agua alcanzó el medio metro debido al desnivel existente por la pendiente regional. El caudal del río Castaño aumentó considerablemente debido a las precipitaciones...”

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En la cuenca del río Castaño se reconocen dos de los regímenes climáticos presentes en la totalidad del territorio provincial de San Juan. Éstos son el clima frío de altura (E), que se desarrolla en la porción cordillerana y el subtipo Seco desértico muy frío (BWwk'b) que se reconoce en el piedemonte de la Cordillera Frontal, valle del río Castaño y en las estribaciones montañosas de la Precordillera Occidental. Las precipitaciones nivales, en éstas zonas montañosas cordilleranas son altas en invierno (mayo-agosto) mientras que en las regiones de relieve bajo, las lluvias abundan en verano (diciembre-enero). Las variaciones en las precipitaciones promedio anuales, correspondientes a datos de las

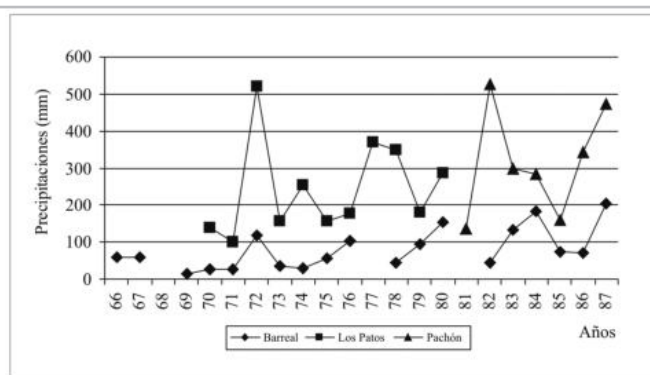


Figura 2a: Precipitaciones medias anuales en la cuenca del río Castaño.

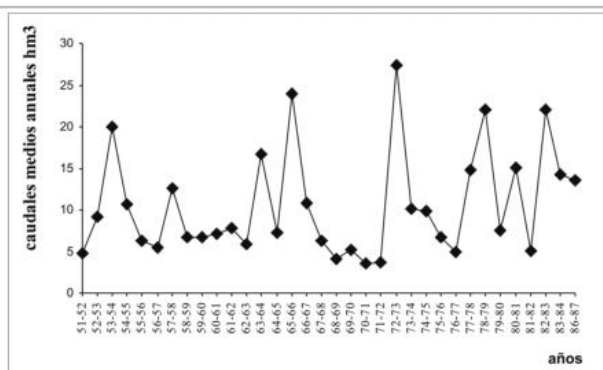


Figura 2b: Variación de caudales medios anuales (hm³/seg) en el período comprendido entre los años 1951-1987

Estaciones Barreal, Valle de Los Patos y Pachones (1966-1987) han sido graficadas en la Figura 2a.

Un análisis de la variación de las precipitaciones anuales en la estación Barreal permite apreciar la existencia de ciclos con periodos pluviales que disminuyen seguidos de otros en aumento con una recurrencia de 4 años. En las dos estaciones ubicadas en la Cordillera (Pachón y Barreal) también se manifiesta esta ciclicidad, pero durante periodos más cortos. En relación a las temperaturas, los registros más altos son en verano, sobre todo en el mes de enero, tanto en el ámbito de la Cordillera Frontal como en el valle de Calingasta, mientras que las temperaturas más bajas se registran en épocas invernales (junio-julio).

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS

El río Castaño constituye un recurso hídrico muy importante dentro del contexto hidrológico de la provincia de San Juan, conformando el afluente principal de la zona norte de la cuenca del río San Juan. Discurre por la zona deprimida de la cuenca y recibe los aportes de ríos y arroyos cordilleranos y precordilleranos, en su mayoría temporarios, que vierten sus aguas, principalmente en avenidas de verano. El régimen de alimentación del río Castaño es principalmente nival y como tal presenta los mayores caudales durante los meses de primavera y verano (noviembre a febrero), a consecuencia del derretimiento de nieve en las sub-

cuenas cordilleranas. Este caudal se ve incrementado en menor medida por las lluvias de verano, en la zona pedemontana. Un análisis comparativo de los caudales medios anuales del río Castaño durante un periodo de 34 años muestra un incremento entre los caudales con periodo de recurrencia de 5 años aproximadamente, tal como lo muestra la Figura 2b.

GEOMORFOLOGIA

El paisaje de la cuenca del río Castaño queda integrado por dos regiones físicas de relieve: un área elevada de montañas y sierras pertenecientes a la Cordillera Frontal y a las últimas estribaciones de Precordillera Occidental, y otra región baja que constituye la depresión intermontana conocida como valle de Calingasta. Estas unidades morfoestructurales presentan características distintivas y propias. Durante las épocas de glaciación pleistocena en Cordillera, el trabajo erosivo de las grandes masas de hielo aportó abundante material detrítico que fue transportado por los afluentes del río San Juan aguas abajo. La presencia de periodos interglaciarios, con su correspondiente abundancia de agua y carga detrítica, contribuyeron a la depositación de grandes abanicos aluviales, que se extienden no solo a lo largo del piedemonte oriental de Cordillera Frontal sino también en las depresiones tectónicas ubicadas al oeste en la Precordillera (abanicos de Zonda y de Tulum) (Lloret y Suvires 2006). Las unidades de relieve se extienden entre los 1.500 m s.n.m. y los 2.700 m s.n.m. Éstas fueron

clasificadas genéticamente reconociendo 15 principales geoformas, que se detallan a continuación y se visualizan en la Figura 3.

Paleoabanico del río Castaño (PARC)

Este abanico habría sido formado por el cauce del río de la quebrada del Chorrillo, el cual al salir de las estribaciones cordilleranas y encontrarse con una gran depresión, depositó su carga formando un extenso abanico con un eje de distribución sedimentario NNO-SSE, de 30 km de longitud y un ancho original superior a los 10 km, cubriendo en total una superficie superior a los 300 km² (Palacios y Suvires 2003). Hacia el sector SSO del abanico, la mega fractura de Castaño (Baldis *et al.* 1990) que coincide con el curso del río Castaño, habría sido responsable de la elevación de los depósitos del abanico, formando una nueva divisoria de aguas y un flanco o vertiente de laderas hacia el río Castaño. Esta actividad tectónica habría sobreelevado a la geoforma hasta su posición actual, favoreciendo su abandono y posterior disección, así como la desintegración de la red de drenaje original. En esta unidad geomorfológica se reconocen dos niveles claramente identificables; uno superior, elevado por tectónica, más antiguo, y un nivel inferior, más nuevo, y topográficamente más bajo, afectado por erosión.

Nivel de glacis regional

Se denominó con este nombre al sector planizado perteneciente al piedemonte. Este presenta pendientes moderadas (Perucca 2007) y ciertas características que permiten denominarlo como glacis, como por ejem-

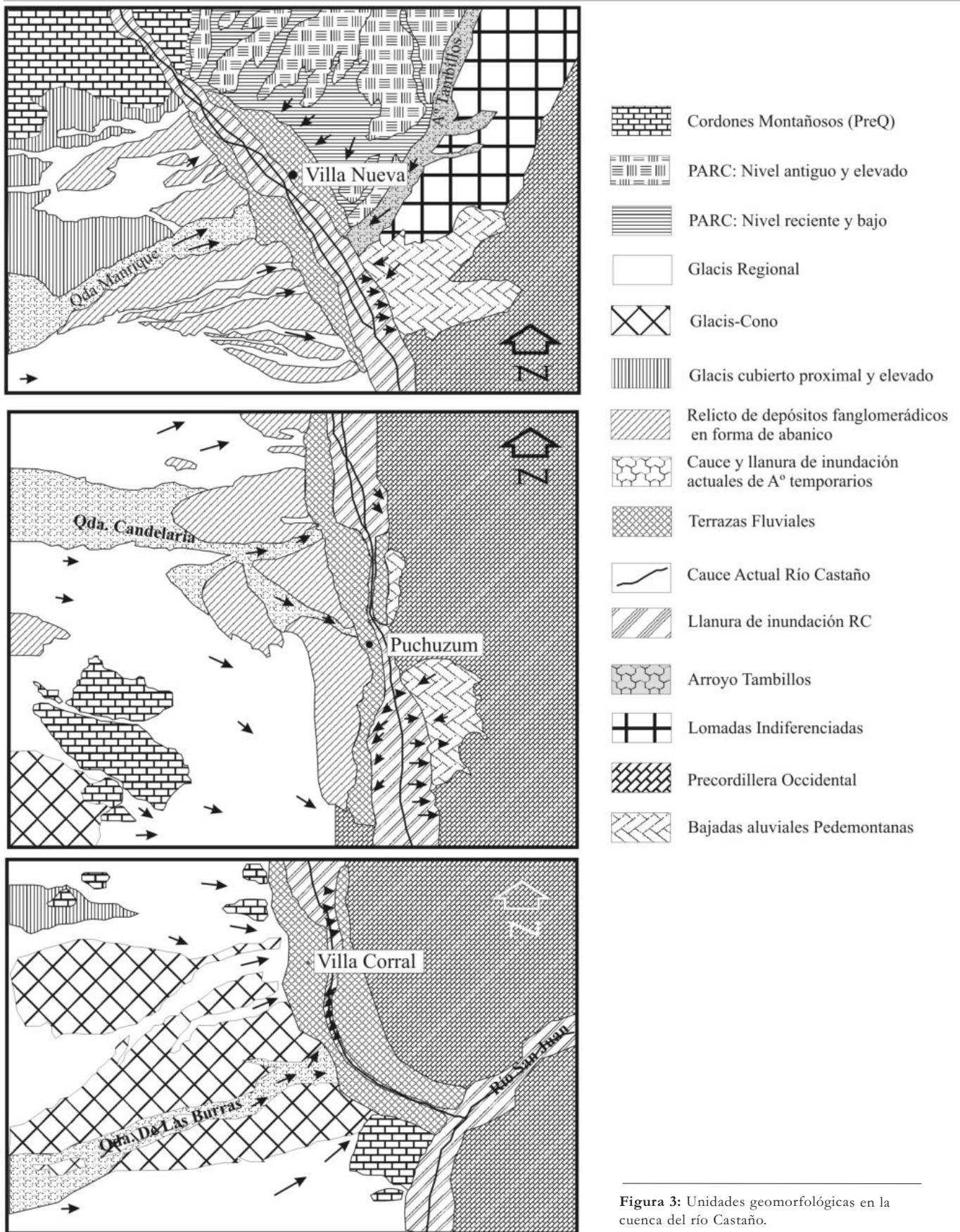


Figura 3: Unidades geomorfológicas en la cuenca del río Castaño.

plo su extensión y la variabilidad de alturas ya que pasa de los 1.300 a los 2.800 m s.n.m. con pendiente plano-inclinada. Sobre esta unidad de glacis regional se identificaron tres geoformas, atendiendo a su posición topográfica: un nivel de glacis cubierto proximal y elevado, sometido a erosión y afectado por tectónica. Mientras que en el sector del piedemonte distal y próximo al curso del río Castaño se desarrolla un nivel de cono antiguo con su superficie planizada, al que se convino en denominar glacis – cono. Este último está afectado por fallamiento y se eleva por encima del nivel de glacis regional. Por último se reconoce un nivel de glacis de acumulación al que se clasificó como relicto de depósitos fanoloméricos en forma de abanico, siendo su composición litológica fanolomericada, areniscas, conglomerados de composición subvolcánica, indicando una proveniencia del sector de Cordillera Frontal. Este nivel se encuentra retrabajado por erosión. En el sector sur se reconocen otras grandes extensiones en forma de abanicos que han sido cartografiadas como otro nivel de glacis – cono.

Unidad de cauces y llanuras de inundación actuales de arroyos temporarios

Estos arroyos conforman valles fluviales excavados en un cono aluvial que drenan desde Cordillera Frontal hasta desembocar en el curso del río Castaño. Estos cauces se desarrollan sobre depósitos aluviales de tamaño mediano a fino. Desde el punto de vista dinámico, tienen especial importancia ya que en épocas de crecientes arrastran una carga de sedimentos importante, que provoca erosión profunda y lateral de los cauces como así también erosión de las partes distales de los abanicos.

Niveles de terrazas fluviales

Durante gran parte del Cuaternario (Temprano-Medio), debido a las distintas etapas de glaciación y deglaciación ocurridas en la Cordillera de los Andes, nacientes del río Castaño, el caudal de este río y en consecuencia también su capacidad de transporte, soportaron variaciones, acumulando distintos niveles de terrazas fluviales que marginan al actual cauce y llanu-

ra de inundación del río Castaño. Los antiguos y mayores caudales sincrónicos a la deglaciación formaron la terraza superior, identificada como Ts. Los posteriores y menores caudales formaron la terraza inferior Ti, hasta llegar al régimen actual donde el río drena en una amplia llanura de inundación. La unidad Ts ocupa el nivel más elevado con relación al cauce actual del río, representando una unidad menos inundable, motivo por el cual se asientan principalmente en ella las áreas cultivadas y urbanizadas, seguidas por la terraza inferior. Estas unidades acompañan el recorrido del río Castaño mostrando un desarrollo variable, así por ejemplo en Villa Nueva, los niveles de terraza Ts y Ti son simétricos a ambos lados del cauce; mientras que en Puchuzum, el río se canaliza dejando una terraza más amplia hacia la ribera derecha; finalmente en Villa Corral el nivel de terraza inferior se presenta más inundado y con más vegetación que el superior. La terraza Ts, es la más próxima a los depósitos provenientes de las estribaciones montañosas adyacentes, ocupadas y cultivadas.

Unidad cauce actual del río Castaño

El río Castaño se divide en numerosos brazos que corren en una amplia llanura de inundación. El ancho de todo este sistema fluvial, incluidas las terrazas, es variable, alcanzando en Villa Nueva 1.800 m; se estrecha en Puchuzum a 1.050 m, y se ensancha nuevamente en Villa Corral a 1.805 m. En algunos tramos esta llanura limita con las mencionadas terrazas y en otros sectores con afloramientos rocosos

Cauce y llanura de inundación actual del arroyo Tambillos

Este arroyo temporario conforma un importante afluente del río Castaño, y drena toda la cuenca de la Pampa de la Travesía. Aporta su carga desde el noreste y si bien es de régimen temporal, el ancho de su llanura de inundación, hace suponer que conforma un importante medio de aporte de sedimentos al cauce del río Castaño.

Lomadas indiferenciadas pertenecientes a la pampa de la Travesía

En esta unidad se agruparon todos los depósitos cuaternarios provenientes del sector norte de Cordillera, que desembocan en el ancho valle que conforma la pampa de la Travesía. Estos depósitos se hallan representados en el área de estudio por la franja que se encuentra ubicada en la margen derecha del arroyo de los Tambillos.

Precordillera Occidental

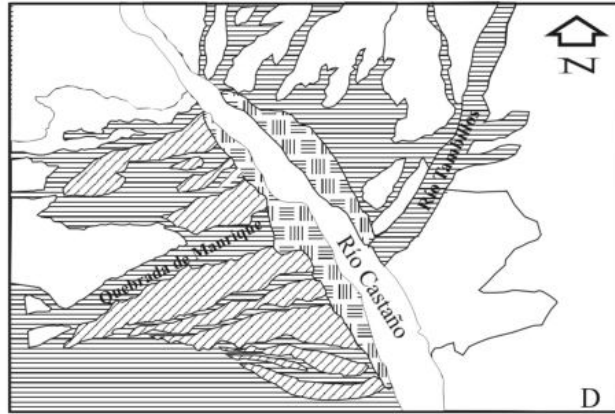
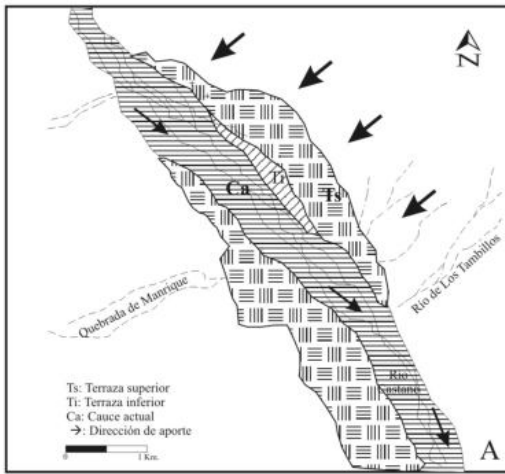
Comprende las últimas estribaciones de Precordillera correspondiente a la sierra del Breal y a los depósitos de piedemonte de Precordillera.

Bajada pedemontana de Precordillera

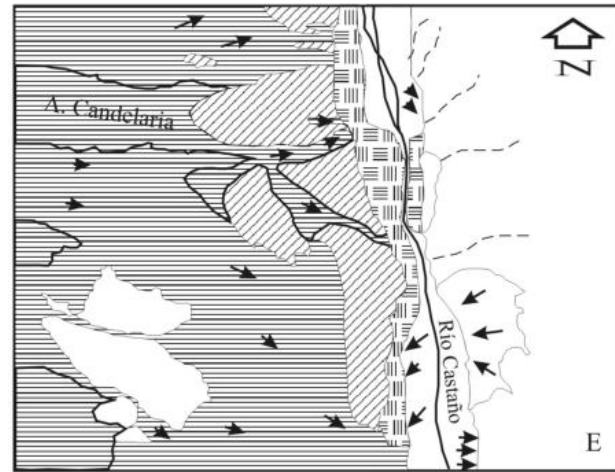
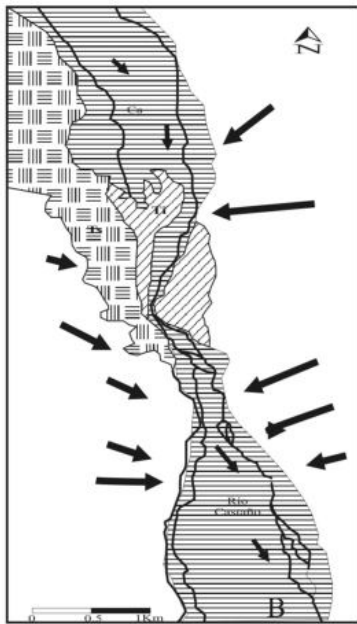
Los arroyos que drenan desde Precordillera hasta el río Castaño conforman, en su desembocadura hacia el oeste, abanicos coalescentes con una extensión considerable que resulta mapeable a la escala del trabajo. Esta unidad se encuentra conformada por gravas con clastos provenientes de afloramientos de sedimentitas paleozoicas y diques andesíticos.

SUSCEPTIBILIDAD AMBIENTAL

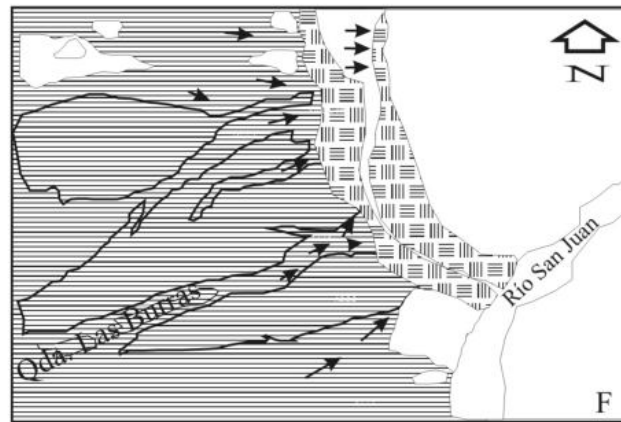
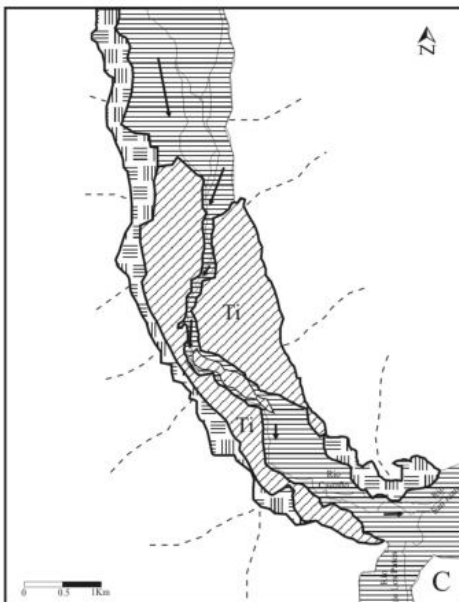
El concepto de riesgo se refiere a todos los procesos o fenómenos naturales que pueden generar daños sobre el hombre o sus instalaciones. Según Ayala Caicedo 1988, existen dos grandes grupos: los riesgos geológicos internos (volcanes, terremotos, tsunamis, diapiros y sus variantes) y los riesgos geológicos externos (inundaciones, erosión, movimientos de laderas, subsidencias naturales). A este último gran grupo corresponde el riesgo que más afecta a las distintas localidades ubicadas en la cuenca del río Castaño. El término riesgo implica “la evaluación de la mayor o menor probabilidad de que un proceso geológico produzca un daño o catástrofe social en una zona”. Mientras que los procesos naturales que pueden ocasionar daños y que no es posible cuantificarlos, se les aplica el término *hazard* que puede traducirse como amenaza geológica o su equivalente peligro geológico (Eremchuk y Mon 2006). Según estos úl-



VILLA NUEVA



PUCHUZUM



VILLA CORRAL

| | | |
|-------|-------|------------------------------------|
| □ SA | ▨ CA2 | SA: Zona sin amenaza de inundación |
| ▨ CA1 | ▩ CA3 | CA1: Sub-zona A |
| | | CA2: Sub-zona B |
| | | CA3: Sub-zona C |

Figura 4: Mapas de susceptibilidad. a,b,c): Inundaciones por desbordes del río Castaño; d,e,f): Inundaciones por aluvionamientos procedentes del piedemonte.

CUADRO 1: Zonificación de áreas geomorfológicas en función de la susceptibilidad a las inundaciones por a) desborde del río Castaño y b) por aluvionamientos.

| a) | Unidades Geomorfológicas | Villa Nueva | Puchuzum | Villa Corral |
|----|--|-------------|----------|--------------|
| | Cordones Montañosos (Pre Q) | SA | SA | SA |
| | Paleoabanico del río Castaño: Nivel Antiguo y elevado | SA | --- | --- |
| | Paleoabanico del río Castaño: Nivel reciente y bajo | SA | --- | --- |
| | Glacis Regional | SA | SA | SA |
| | Glacis Cono (Villa Corral) | SA | SA | SA |
| | Glacis cubierto proximal y elevado | SA | SA | SA |
| | Relictos de depósitos fanoloméricos en forma de abanico | SA | SA | SA |
| | Cauces y llanuras de inundación actuales de A° temporarios | SA | SA | SA |
| | Terrazas fluviales superior | CA3 | CA3 | CA3 |
| | Terraza fluvial inferior | CA2 | CA2 | CA2 |
| | Cauce Actual | CA1 | CA1 | CA1 |
| | Llanura de inundación | CA1 | CA1 | CA1 |
| | Arroyo Tambillos | SA | SA | SA |
| | Lomadas indiferenciadas | SA | SA | SA |
| | Precordillera occidental | SA | SA | SA |
| | Bajadas aluviales pedemontanas | SA | SA | SA |

| b) | Unidades Geomorfológicas | Villa Nueva | Puchuzum | Villa Corral |
|----|--|-------------|----------|--------------|
| | Cordones Montañosos (Pre Q) | SA | SA | SA |
| | Paleoabanico del río Castaño: Nivel Antiguo y elevado | SA | --- | --- |
| | Paleoabanico del río Castaño: Nivel reciente y bajo | CA1 | --- | --- |
| | Glacis Regional | CA1 | CA1 | CA1 |
| | Glacis-Cono (Villa Corral) | CA1 | CA1 | CA1 |
| | Glacis cubierto proximal y elevado | SA | SA | SA |
| | Relictos de depósitos fanoloméricos en forma de abanico | CA1 | CA1 | --- |
| | Cauces y Llanuras de inundación actuales de A° temporarios | CA1 | CA1 | CA1 |
| | Terrazas fluviales superior | CA2 | CA2 | CA2 |
| | Terraza fluvial inferior | --- | --- | --- |
| | Cauce | --- | --- | --- |
| | Llanura de inundación | --- | --- | --- |
| | Arroyo Tambillos | CA1 | CA1 | CA1 |
| | Lomadas indiferenciadas | SA | SA | SA |
| | Precordillera occidental | SA | SA | SA |
| | Bajadas aluviales pedemontanas | SA | SA | SA |

timos autores para determinar el riesgo geológico es necesario conocer tanto la probabilidad de que se produzca una amenaza así como las consecuencias (severidad o impacto) que la misma produciría (riesgo = amenaza x consecuencia). En síntesis, el término *hazard* es aplicado por la mayoría de los autores para el estudio e identificación de los procesos naturales mientras que el riesgo se lo aplica cuando se consideran los daños potenciales que produce alguno de estos procesos.

No todas las unidades territoriales o geomorfológicas, para este estudio, son afectadas, en el mismo grado e intensidad ante la presencia de una misma amenaza. De allí nace el término Susceptibilidad, el cual indica que si existe una amenaza o peligro potencial sobre una región, en el caso de su desencadenamiento, las distintas unidades físico-espaciales, tendrán respuestas diferentes, en función de sus características y propiedades internas, tal como antes se citara. Las inundaciones en la cuenca del río Castaño fueron diferenciadas, por los presentes autores, según el agente o la causa del proceso interviniente en la Figura 4.

Las inundaciones poseen características episódicas y de corta duración producto de la combinación de tres factores: a) fuertes nevadas seguidas de aumentos de temperatura que provocan el derretimiento de las mismas; b) ocurrencia de fuertes

lluvias episódicas pero que provocan un aumento en el caudal del río y c) ocupación de las planicies aluviales por el habitante para hábitat y cultivos de frutales.

En el cuadro 1 se distinguen las unidades geomorfológicas con amenaza (CA) y sin amenaza a las inundaciones (SA) producto del desborde del río Castaño. En la confección de estos cuadros (Figs. 5a y 5b) se tuvieron en cuenta las características relevantes de las 15 unidades geomorfológicas diferenciadas (Fig. 3), el grado de actividad de los procesos geomorfológicos, la información histórica suministrada por los pobladores y los diferentes controles de campo. Se consideró necesario los datos de recurrencia, frecuencia, y grado de afectación areal de los peligros identificados en cada unidad geomorfológica. Se desprende de aquí que las unidades geomorfológicas más susceptibles a sufrir inundaciones son: el cauce actual y llanura de inundación y los dos niveles de terrazas del río Castaño. A lo largo del curso del cauce de este río, y próximo a los poblados, el Departamento de Hidráulica construyó en los últimos años defensas de cemento, trampas con palos y gaviones, pero igualmente éstas resultaron insuficientes al momento de las inundaciones. (Inundaciones por aluviones estivales (Figs. 4 d, e, f y cuadro 1).

El mismo análisis cualitativo se realizó

para caracterizar las amenazas causadas por las crecientes producto de violentas lluvias estivales tanto en el faldeo pedemontano cordillerano como el precordillerano. Estas crecientes denominadas localmente como aluviones se ven favorecidas por la intensa meteorización de las rocas y remoción de detritos en los piedemontes, fácilmente arrastrados aguas abajo hasta a veces alcanzar las poblaciones (Pittaluga y Suvires 2005, 2006).

Las unidades geomorfológicas más susceptibles son las que corresponden a los cauces y márgenes de los arroyos temporarios, los que drenan a través del piedemonte hacia el nivel de base de erosión local, el río Castaño, como asimismo aquellos sectores de llegada de los arroyos a las terrazas del río. Las regiones más altas tienen una menor posibilidad a estas avulsiones, siendo menos susceptibles. La ocupación por parte de los pobladores de terrenos de alta a moderada susceptibilidad natural, maximiza el riesgo de estas avenidas de verano, provocando el anegamiento, y rotura de viviendas precarias de adobe. Los mismos pobladores y la Dirección Provincial de Vialidad, implementan algunas obras de emergencia para paliar las consecuencias en las viviendas y salud de la población. Estas avenidas torrenciales se caracterizan por el paso de caudales superiores a

los normales en ríos de alta pendiente, dando lugar a la elevación en los niveles de agua por encima de los valores máximos recurrentes y con la posibilidad de producir el desbordamiento del cauce e impactar en la conformación del cauce y sus zonas aledañas. Debido a su alta capacidad de transporte, las avenidas torrenciales presentan altos grados de concentración de sólidos, lo cual aumenta la capacidad destructiva y de arrastre y eleva los niveles de agua. Coincide con la definición de flujo de detrito que sostiene que estos se originan a partir de materiales no consolidados y saturados que se ponen en movimiento a partir de la ley de la gravedad y la pendiente del área.

CONCLUSIONES

Los problemas más graves que afectan a las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral son los eventos de origen hídrico, frecuentemente catastróficos, derivados de las características climáticas propias de estas regiones áridas-semiáridas y de los deshielos andinos. Las unidades de relieve más vulnerables a sufrir avulsión por las aguas por crecidas ordinarias y extraordinarias del río Castaño son el cauce actual, la llanura de inundación y los niveles de terrazas baja y alta abandonados del río. Por su parte las regiones más afectadas por crecidas o inundaciones por avenidas estivales de los arroyos temporarios, que drenan desde el piedemonte hacia el cauce principal de la cuenca, son los cauces y márgenes de los arroyos y los niveles de las terrazas alta y baja del río Castaño. La dirección de proveniencia de ambas amenazas por inundaciones o avulsiones son diferentes, aunque las consecuencias se manifiestan en casi las mismas unidades territoriales de relieve bajo y muy baja pendiente, coincidiendo lamentablemente con los asentamientos de las tres Villas consideradas. Los datos climáticos e hidrológicos anuales permiten prever y prevenir varias de las consecuencias, dado que las inundaciones, por una u otra causa, se presentan en verano entre noviembre a febrero. Se recomienda una mayor atención de los entes de administración territorial

provincial para mitigar los daños que sufren estas poblaciones alejadas y de bajos ingresos. Asimismo es necesaria la implementación de obras teniendo en cuenta todos los estudios geológicos de base ya existentes en la cuenca del Castaño.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ayala Carcedo, F.J. 1988. Introducción a los riesgos geológicos. En Ayala, F. y Durán, J. (eds) Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, 333 p., Madrid.
- Baldis, B., Martínez, R., Villegas, C., Pereyra, M.E. y Pérez, A. 1990. Estructura, provincialismo geológico y unidades tectonoestratigráficas. 11° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 186-211, San Juan.
- Barbeito, O. y Ambrosino, S. 2005. Evaluación Geomorfológica de la amenaza por crecientes repentina. En Gonzalez M.A. y Bejerman N.J. (eds) Libro Peligrosidad Geológica en Argentina, Metodología de análisis y Mapeo, Estudio de casos, ASAGAI, Publicación Especial 4: 272-279, Buenos Aires.
- Eremchuk, J y Mon, R. 2006. Evaluación de los riesgos geoambientales del Gran San Miguel de Tucumán. En Aquino, Ana, Collantes, Miriam y Mon, Ricardo (eds) Desafíos ambientales del Gran San Miguel de Tucumán, 125-135, Tucumán.
- Gonzalez Uriarte, M. y Navarro E. 2004. Inundación y Anegamiento: en que se diferencia el anegamiento de la inundación? En peligrosidad Geológica en Argentina, Metodología de análisis y Mapeo, Estudio de casos, ASAGAI, Publicación Especial 4: 219-221, Buenos Aires.
- Lloret, G y Suvires, G. 2006. Ground water basin of the Tulum Valley, San Juan, Argentina: A morphohydrogeologic analysis of its central area. *Journal of South American Earth Sciences* 21(3): 267-275.
- Ojeda, G. 2003. Geomorfología aplicada a la evaluación de la erosión hídrica. Cuenca del Arroyo La Petra. San Luis, Argentina. 2° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, San Miguel de Tucumán,

Geomorfología: 323-332.

- Organización de las Naciones Unidas, ONU 1976. Prevención y Mitigación de los desastres naturales, Compendio de conocimientos actuales. Volumen II, 1-98, CEPAL, México.
- Palacios, S. y Suvires, G.M. 2003. Análisis geomorfológico y paleoambiental del sector norte del valle del río Castaño. Barreal-Calingasta. San Juan, Argentina. 2° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, San Miguel de Tucumán, Geomorfología: 333-342.
- Pereyra, F.X. 2007. Geomorfología urbana de San Carlos de Bariloche y su influencia en los peligros naturales, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(2): 309-320.
- Perucca, L.P. 2007. Análisis Geomorfológico del cerro Casposo en E.L.A CASPOSO, Secretaría de Minería de la Provincia, inédito, 50 p., San Juan.
- Pittaluga, M.A. y Suvires, G.M. 2005. Contenido de elementos pesados en los suelos de Villa Nueva, cuenca del río Castaño, Calingasta, San Juan, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, CD/024:1-8. La Plata.
- Pittaluga, M.A y Suvires, G. 2006. Chemical composition and water quality of the Castaño River, Calingasta, San Juan province, Argentina. *Revista Multequina Latin American Journal of Natural Resources* 15: 17-26, Mendoza.
- Suvires, G y Lloret, G. 2005. Sensibilidad de los ambientes geomorfológicos y edáficos a los cambios ambientales. Un caso de estudio. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 483-490, La Plata.
- Thomas, M. 2001. Landscape sensitivity in time and space- an introduction. *Revista Catena* 42(2-4): 83-98.
- Usher, M. 2001. Landscape sensitivity: from theory to practice. *Revista Catena*, 42(2-4): 375-383.
- Recibido: 24 de Noviembre, 2009
Aceptado: 25 de Marzo, 2010