

Peligro de aluviones en el departamento Pocito, provincia de San Juan

Laura Patricia PERUCCA y Juan de Dios PAREDES

CONICET- Gabinete de Neotectónica y Geomorfología, INGENIO, Departamento Geología,
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan

RESUMEN. Los aluviones repentinos representan uno de los principales peligros geológicos que afectan el departamento Pocito. Las aguas de lluvias torrenciales ocurridas durante los meses de verano, pueden dar lugar, en sólo algunas horas, a violentos aluviones caracterizados por su alta velocidad, poca profundidad, gran carga de sedimentos y detritos. El fenómeno se agrava cuando se reduce el índice de infiltración debido a lluvias previas. Estos torrentes se generan en la zona montañosa, con fuerte pendiente. La extensión del área de las unidades activas en el piedemonte de la sierra de Zonda se determinó a través del estudio de fotografías aéreas y de mapas con la topografía de la zona. Las áreas activas se ubicaron topográficamente por debajo de las unidades más antiguas del piedemonte. En la planicie aluvial pedemontana, donde se encuentra la zona urbana y rural, los aluviones se han restringido a las calles 13 y 15, orientadas paralelas a la dirección de flujo. Durante las lluvias torrenciales, estas calles se convierten en verdaderos cauce fluviales, mientras que en las calles orientadas perpendicularmente a las anteriores, los daños son mayores. En este trabajo se realiza la evaluación de los aspectos hidrológicos de una cuenca de régimen torrencial, como es la del arroyo La Lechuza, causante de la mayoría de los daños en el departamento. Los efectos de estos eventos pueden ser minimizados a través del establecimiento de un sistema de predicción y alerta, de la educación pública y toma de medidas estructurales.

Palabras clave: *Peligro, Aluviones, Lluvia torrencial, Arroyo La Lechuza, Pocito*

ABSTRACT. *Alluvial hazard in the department of Pocito, province of San Juan.* Torrential rains during summer can cause violent floods that are characterized by high speeds, relatively shallow depths and a great sediments and debris loading during a short time. The phenomenon is aggravated when the infiltration index reduce due to previous rains that saturate the area. These torrents are generated in the mountainous zone, with high gradient that erode the existing rocks and carried loose materials from the outcrops. Most of the piedmont is practically barren of vegetation, so superficial runoff is very rapid. The extent of active areas on the Zonda piedmont have been determined from geomorphology study of aerial photographs and topography. The active areas are inset at lower relative elevations in relations to adjacent ancient piedmont surfaces. In the floodplain, where the urban and rural areas are located, historical floods have been confined to number 13 and 15 streets, that are oriented parallel the downslope direction of the piedmont, with a west-east trend. During rainfalls these streets have been transformed in natural riverbeds that flow through the populated areas, influencing the path of the floods and limiting damages to structures. But streets and irrigation channels with a north-south trending are affected and damage. In this work, an evaluation of hydrologic aspects of torrential La Lechuza creek basin is made. This stream cause the largest of damages in the department. The establishment of a prediction and warning system, public education and structural measures are means to minimize alluvial plain flooding at Pocito department.

Key words: *Hazard, Floods, Rainfalls, La Lechuza creek, Pocito*

Introducción

Como resultado de un estudio integral sobre los peligros geológicos que afectan al departamento Pocito, ubicado al sur de la ciudad de San Juan, se ha detectado que son dos los más importantes, el peligro sísmico y el peligro por aluviones. En este trabajo se analiza este último peligro por considerarlo el más importante en cuanto a daños y frecuencia del fenómeno.

Los aluviones o inundaciones repentinas estacionales representan uno de los principales peligros geológicos que afectan el departamento Pocito. Estos procesos pueden ser también llamados flujos repentinos (*flash floods*) definidos como “un flujo local y repentino o torrente de volumen relativamente grande y de corta duración, que desborda los cauces de ríos en valles secos, en zonas semiáridas, transportando

una enorme carga de barro y fragmentos rocosos, generalmente vinculados a lluvias muy esporádicas, de corta duración y gran intensidad, cubriendo una zona reducida, con morfología empinada” (*American Geological Institute* 1950).

Las aguas de las lluvias torrenciales ocurridas durante los meses de verano, al alcanzar un cauce seco, originan un gran caudal durante un corto periodo de tiempo. Este fenómeno en el que se produce un incremento de descarga de agua se denomina aluvión. Estas son crecientes violentas, con altas velocidades de escurrimiento que transportan cantidades de material sólido (sedimentos de diferentes granulometrías, restos de vegetación y materiales de deshecho que se acumulan en el piedemonte de la sierra de Zonda.

A causa de las condiciones climáticas, la vegetación natural es escasa y ha sido seriamente afectada por la actividad humana.

La colmatación progresiva de los vasos de almacenamiento (diques y colectores) construidos para minimizar los daños de los aluviones, aumentan los costos en aspectos como la limpieza y mantenimiento.

La agricultura se desarrolla principalmente en la zona llana donde el suministro de agua se realiza mediante la distribución de agua del canal Céspedes y también por pozos de bombeo.

En los últimos años se ha ampliado la superficie cultivada hacia el piedemonte de la sierra Chica de Zonda, modificando la disposición natural de los canales de escurrimiento con pequeños diques de contención, muchos de los cuales han sido destruidos por aluviones de verano inundando las zonas más bajas.

Características del departamento Pocito

El departamento Pocito, se halla a poco más de 5 km al sur de la ciudad de San Juan en el denominado valle del Tulum. Posee una superficie de 515 km² y la cabecera departamental es la Villa Aberastain, situada en la porción nordeste del departamento, siendo otras localidades de importancia Carpintería y La Rinconada, mientras que el resto de la superficie tiene características rurales o está deshabitada (Fig. 1). El área de estudio se halla en el flanco oriental de dicha sierra y abarca gran parte del cordón montañoso, el piedemonte oriental de relieve intermedio y la zona planizada.

La zona urbana y rural situada a una altura de 600 m s.n.del mar. La sierra Chica de Zonda, ubicada entre las quebradas de Zonda por el norte y La Flecha por el sur, delimita por el oeste el valle del Tulum.

El departamento Pocito posee alrededor de 35.000 habitantes y más de 7.000 viviendas. El porcentaje de construcciones de adobe aún es elevado, ya que en algunas localidades supera el 80%.

Las actividades económicas más importantes de la zona son: la agrícola, con más de 20.000 ha (cultivos de vid, olivos y hortalizas), la minería, con pequeñas canteras de caliza y calcita en el área montañosa y la industrial, principalmente bodegas.

El departamento es atravesado de norte a sur por la ruta nacional 40, que une las ciudades de San Juan y Mendoza. En cuanto a los recursos hídricos, el departamento posee numerosos pozos de agua privados. El canal de riego principal es el Ingeniero Céspedes, a partir del cual se distribuye el agua en la red de regadío que atraviesa el departamento.

Marco geológico y geomorfológico

La subprovincia geológica de la Precordillera Oriental, caracterizada por cordones montañosos elongados de rumbo meridional a submeridional, se ubica entre los 31° y 32° 30' de latitud sur y 68° 30' de longitud oeste. La sierra Chica de Zonda está constituida por rocas calcáreas marinas de edad cámbrica superior a ordovícica inferior y sedimentitas clásticas marinas de edad ordovícica-silúrica; sedimentitas continentales del Carbonífero y Terciario y depósitos clásticos modernos.

La estructura de la Precordillera Oriental se caracteriza por corrimientos con vergencia occidental. Se agrupa bajo el nombre de sistema de fallamiento inverso de la Precordillera Oriental a los fenómenos de fallamiento cuaternario que afectan ambos bordes de los cordones montañosos de la región (Bastias 1986). Las fallas ubicadas en el piedemonte oriental de la sierra Chica de Zonda son inversas de rumbo submeridional y afectan depósitos aluviales de edad pleistocena – holocena. Estas fallas inclinan hacia el este con ángulos que varían entre 25 y 50°, con trazos ligeramente curvos y con la concavidad hacia el oeste (Tello y Perucca 1993).

Cursos de agua modernos y rasgos muy recientes se hallan afectados por fallas inversas, con escarpa a contrapendiente, que modifican su orientación, lo que demuestra una actividad constante para el sistema, con terrazas afectadas por sucesivas reactivaciones tectónicas.

Desde el punto de vista morfológico, el departamento Pocito posee de oeste a este las siguientes unidades (Fig.1).

a) Un área montañosa: El departamento se extiende hacia el este, desde la divisoria de aguas de la sierra Chica de Zonda. Esta sierra, posee un forma sinusoidal y se encuentra afectada por un intenso fallamiento norte-sur. Sus mayores elevaciones corresponden a los cerros La Rinconada (2234 m s.n.m.) y Las Lajas (1754 m s.n. del mar).

b) El área pedemontana: Este tramo conecta la zona montañosa con la planicie aluvial. Los depósitos que integran esta unidad están formados principalmente por clastos de caliza, areniscas y lutitas dispuestos sobre una sucesión de bancos de areniscas y arcilitas de edad terciaria. Las alturas que predominan en esta porción varían entre 700 y 900 m s.n. del mar.

c) Un área llana: Corresponde a la porción distal del piedemonte y planicie aluvial. Las alturas promedian los 650 m s.n. del mar.

Clima

La provincia de San Juan se localiza en la denominada faja árida de la Argentina, cuyas características principales son las escasas precipitaciones (en general no superan los 100 mm anuales), aire muy seco, elevado coeficiente de heliofanía y máxima evapotranspiración en primavera-verano y mínima en otoño-invierno.

Los sistemas orográficos presentes, aíslan al sector sanjuanino de las masas de aire húmedo provenientes del oeste imprimiéndole a este espacio un carácter netamente continental y árido, con veranos muy cálidos e inviernos fríos.

Existe una importante influencia de la morfología del territorio sanjuanino en la precipitación y la temperatura en la orientación de las laderas respecto de las fuentes de vapor de agua en la distribución de las precipitaciones. Como el relieve tiene una disposición en general meridiana, el campo de precipitaciones sigue dicha configuración (Poblete y Minetti 1999).

Las mayores precipitaciones de la margen oriental de la Precordillera se registran en la sierra Chica de Zonda y en la quebrada de La Flecha.

En el área de estudio, el escurrimiento superficial es a través de arroyos alóctonos de régimen efímero que sólo llevan agua

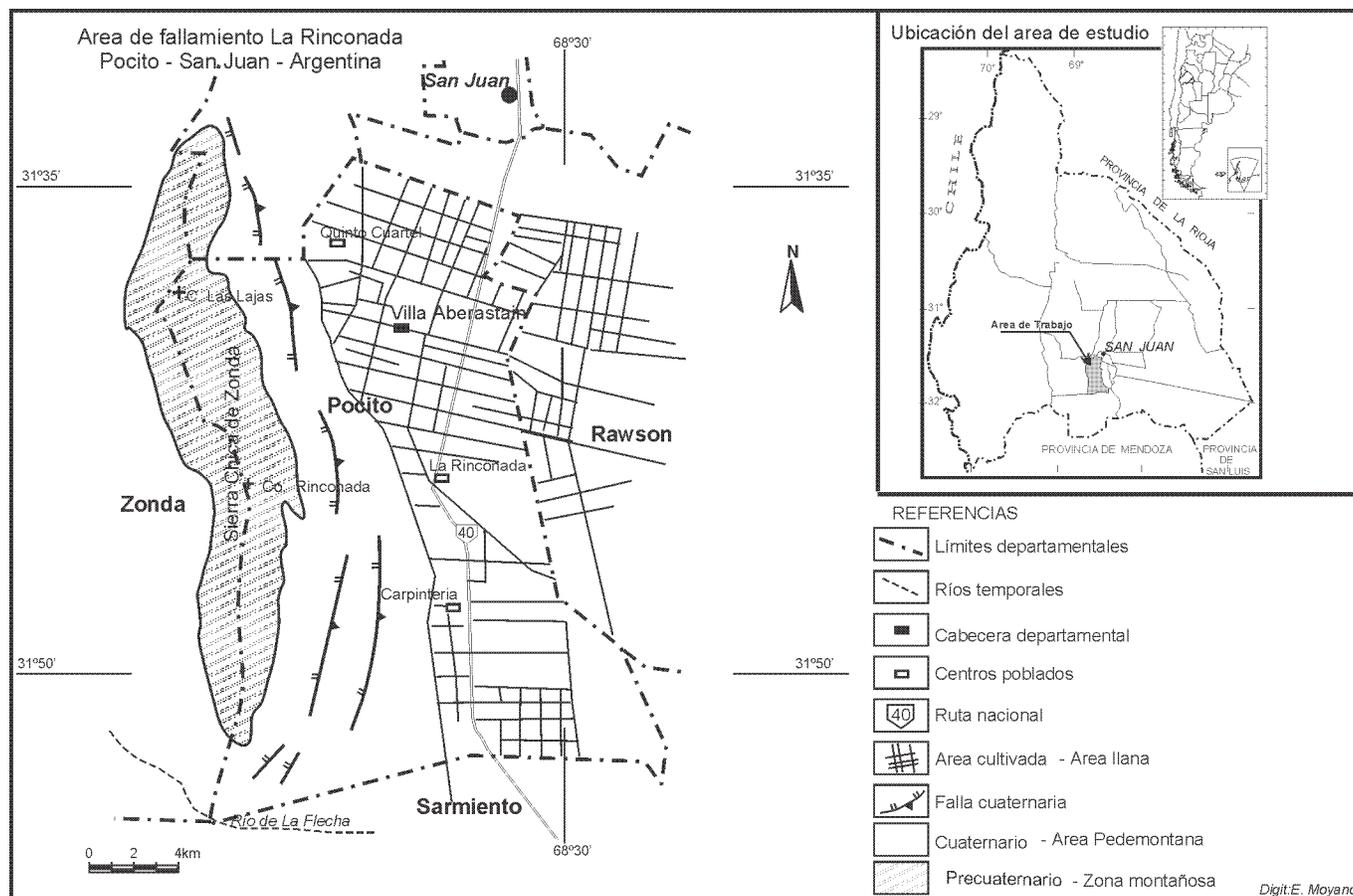


Figura 1: Mapa de ubicación general del departamento Pocito.

esporádicamente entre los meses de diciembre a marzo debido a precipitaciones estivales, comúnmente denominadas chaparrones, de corta duración y gran intensidad. Estos torrencios se generan en la zona montañosa, de elevada pendiente, erosionan las rocas existentes y arrastran los materiales sueltos provenientes de los afloramientos de caliza, areniscas y limolitas, debido a la caída de rocas, reptación y coluvio y los materiales existentes en su planicie aluvial y cauces actuales.

Las precipitaciones medias mensuales en los meses estivales y la precipitación media anual registradas en la estación INTA Pocito se pueden resumir en la siguiente tabla:

Estación INTA Pocito	Enero	Febrero	Marzo	Diciembre	Anual
Período 1968/ 97 (en mm)	23,7	21,5	17,8	20,8	102,6

Más del 80% de la media anual de las precipitaciones se producen en estos cuatro meses de verano. En el semestre correspondiente a octubre a marzo, con las mayores temperaturas se produce el 90% de las precipitaciones. La mayoría de las lluvias está asociada a tormentas eléctricas con chaparrones intensos. La precipitación media anual es de 100 mm en la franja llana del departamento donde se ubican las áreas cultivadas y centros poblados, mientras que aumenta levemente

hacia el oeste por influencia orográfica de la sierra Chica de Zonda con una precipitación media anual de 120 mm (Poblete y Minetti 1999).

Antecedentes de aluviones en el departamento Pocito

En los últimos 10 años se registró la llegada de tres crecientes de gran magnitud, que ocasionaron numerosos daños a las viviendas, red de riego, calles, cultivos y distribución de agua potable.

Los días 25 y 26 de febrero de 1994 se produjeron lluvias torrenciales que superaron los 50 mm. En el departamento Pocito se inundaron calles, quedaron algunas localidades incomunicadas y con derrumbe de viviendas precarias.

En la noche del 26 y madrugada del 27 de diciembre de 1999 se desató un temporal de viento y lluvia cuya marca superó los 40 mm en el departamento. La crecida del arroyo Las Lechuzas se orientó a lo largo de la calle 13, una de las principales arterias del departamento, que se transformó en un cauce natural. La corriente derrumbó la defensa construida aguas arriba, inutilizó el canal Céspedes (distribuidor del agua de regadío de todo el departamento y departamentos aledaños) e inundó casas y cultivos. Las cámaras sépticas de varias viviendas fueron inundadas y también afectó el suministro del agua potable. El agua llegó hasta el Hospital interzonal y hubo



Figura 2: Aluvión del día ocho de marzo de 2003 en el momento de atravesar la ruta nacional 40.

numerosas familias evacuadas.

En la mañana del 8 de marzo del 2003, como consecuencia de una precipitación de 20 mm en un lapso de 2 horas, se produjeron aluviones que superaron las defensas y alcanzaron la ruta nacional 40 provocando inconvenientes en el tránsito hacia Mendoza, que si bien no llegó a producir su corte, dejó gran cantidad de sedimentos en parte de la banquina (Fig. 2). Los torrentes se canalizaron por las calles 13 y 15 (Figs. 3 y 4), las cuales se transformaron en verdaderos ríos.

El aluvión erosionó uno de los costados del dique contenedor y que estaba colmatado de sedimentos de crecientes anteriores, ubicado a la altura de la calle 16, logrando que la corriente cruzara una de las principales arterias del departamento y originara una profunda cárcava en el costado de la misma (Fig. 5).

Factores que favorecen la ocurrencia de aluviones

Entre los factores que favorecen la ocurrencia de aluviones se pueden mencionar:

1.- *Las condiciones climáticas de la zona:* Las condiciones meteorológicas en el departamento son las siguientes: Tormentas con altos índices de precipitación muy concentrados en el tiempo. Estas precipitaciones fuertes y concentradas provocan una gran escorrentía superficial al no poder infiltrarse en el terreno tal cantidad de agua en poco tiempo.

2.- *Las condiciones geomorfológicas:* Constituyen otro factor imprescindible para la generación de las crecientes. La parte superior de los cursos es donde frecuentemente ocurren las máximas precipitaciones, se concentran las aguas y se forman las crecidas. En la sierra Chica de Zonda la pendiente de los cauces alcanza el 37 %. En la parte central o piedemonte

la pendiente es del 11 %. En la porción inferior que gradualmente se convierte en planicie aluvial, las pendientes se aplanan bruscamente constituyendo la zona de acumulación del material. En este tramo se ubica el área cultivada y la zona urbana del departamento y la pendiente es del 0,8 %.

3.- *Las condiciones geológicas:* Determinan la erosión y también la acumulación de material friable en las cuencas hidrográficas del piedemonte oriental de la sierra Chica de Zonda. El origen de este material puede ser de abanicos aluviales, conos de derrubios, detritos de faldeo, y de los cauces y los niveles de terrazas. Los materiales corresponden a gravas (principalmente fragmentos de caliza, lutitas y areniscas verdes), arenas, limos y arcillas de diferentes tamaños y elevada angulosidad.

También es preciso considerar la tectónica de la zona. A lo largo de todo el piedemonte oriental de la sierra se localizan fallas modernas con escarpas a contrapendiente que exponen sedimentos areno-arcillosos terciarios.

4.- *La acción del hombre:* El hombre altera el equilibrio natural. Los cultivos en el piedemonte, los basurales, las construcciones, tales como canales de regadío, puentes y torres de alta tensión, modifican las condiciones hidrológicas, el régimen de los cauces, la estabilidad de las pendientes, los suelos y rocas y su resistencia a la erosión. González Díaz *et al.* (2001) describen un aluvión ocurrido en la localidad de Palma Sola y Puesto Nuevo, provincia de Jujuy, a partir del colapso de un endicamiento circunstancial producido por la estructura de un puente.

5.- *La hidrografía:* son cuencas alargadas que favorecen una descarga rápida. Son cursos encajonados en la zona montañosa y piedemonte.

6.- *Vegetación:* La vegetación natural es muy escasa con predominio de cactáceas, jarilla, retamo y otras especies de porte reducido.



Figura 3: Aluvión del día 8/3/03. En la calle 13 el agua alcanzó 1,50 m de altura y afectó las viviendas y cultivos ubicados al oeste del departamento.



Figura 4: Calle 15, con orientación oeste-este, convertida en un cauce natural que dejó aislado temporalmente el sector.

Abanicos activos e inactivos

La identificación de las porciones de los abanicos aluviales activos e inactivos resultó de fundamental importancia para la confección de un mapa con las áreas en las que puede ocurrir la inundación tanto como donde es probable que no ocurra.

Martos (1995) reconoce en el piedemonte oriental de la sierra Chica de Zonda hasta cinco niveles de depósitos aluviales cuaternarios a los que denomina conos-glaciés, vinculados a cursos autóctonos provenientes de la sierra. Siguiendo el criterio de la *Comission on Geosciences, Environment and Resources de la National Academy of USA* (1996), estos niveles pueden ser activos o inactivos (Fig. 6). El término activo implica aquellos lugares donde ha ocurrido una inundación, erosión o depositación en un tiempo relativamente reciente, y probablemente vuelva a ocurrir en un futuro. La extensión de los mismos en el piedemonte de la sierra Chica de Zonda se

determinó a partir del estudio geomorfológico en mapas topográficos y fotografías aéreas de los años 1966, 1980 y 1995.

Los abanicos activos son frecuentemente afectados por crecientes modernas, tienen un limitado desarrollo de la red de drenaje y no poseen barniz ni pavimento del desierto. La superficie de estos abanicos es irregular, mientras que en los antiguos, generalmente es más suave. Las áreas activas se encuentran en una posición topográfica relativamente más baja en relación con los niveles más antiguos, los que sí poseen barniz y pavimento del desierto, además de una red de drenaje más integrada e incidida.

Arroyo La Lechuza

Para efectuar el estudio hídrico de la cuenca del arroyo La Lechuza (Fig. 7), cuyas aguas son las que escurren por las calles 13 y 15 durante las precipitaciones torrenciales, se han evaluado algunas características morfométricas que son indicadores cuantitativos de los elementos de la cuenca y que influyen en la magnitud y variabilidad de los procesos hidrológicos. Se agrupan en tres categorías (Vich 1999):

- a) Las referidas a la geometría de la cuenca: extensión, dimensiones y forma.
- b) Las relacionadas con la distribución de pendientes y alturas.
- c) Las características de la red de drenaje, longitud de los cauces, órdenes, densidad, etc.

a) *Geometría de la cuenca del arroyo La Lechuza:* El área de la cuenca (A_u) del arroyo La Lechuza, desde la cabecera en la sierra Chica de Zonda, hasta el antiguo canal Pocito (actualmente utilizado como colector de las crecidas) es de 8,25 km². El perímetro de la cuenca (P_u) es la longitud de la divisoria de aguas, que en el arroyo La Lechuza es de 14 km. El largo de la cuenca (L_i) es la distancia existente entre la desembocadura y el punto sobre la divisoria de agua más alejado y para esta cuenca es de 5,5 km. El ancho promedio de la cuenca (W_u) es la relación entre el área (A_u) y el largo de la cuenca (L_i) y se obtuvo un valor de 1,5 km.

- Caracterización de la cuenca a través de índices morfométricos.

La forma de la cuenca determina la distribución temporal de los caudales instantáneos. Para una misma superficie y una misma lluvia torrencial, la morfometría de la cuenca es responsable de la dinámica de la creciente.

En este trabajo se utilizó la relación de circularidad (C) de Stralher (1968) que es el cociente entre la superficie de la cuenca (A_u) y la superficie de un círculo (A_c) que posee igual perímetro que la cuenca de estudio. Cuanto más próxima a la unidad sea esta relación, la forma de la cuenca tiende a la de un círculo.

El valor obtenido para la cuenca del arroyo La lechuza es de $C = 0.53$, que corresponde a cuencas elongadas. Como una dirección es la predominante (L_i), resultan tiempos de concentración y base mayores y picos de crecidas menores que los de cuencas redondeadas.



Figura 5: Tareas de reparación por rotura en uno de los laterales de la presa construida como defensa de la calle 15.

b) *Análisis hipsométrico de la cuenca del arroyo La Lechuza:* El relieve de una cuenca hidrográfica influye notablemente en la escorrentía superficial, infiltración y erosión hídrica. El parámetro utilizado en este trabajo para describir el relieve de la cuenca del arroyo La Lechuza es la curva área-elevación o curva hipsométrica, que relaciona el área de la cuenca y la altura por encima de un nivel de referencia, que es la cota del punto de salida de la cuenca. Para construir la curva, se colocan en abscisas los porcentajes de las áreas por encima de distintas cotas y en ordenadas, los porcentajes de elevación de dicha cota. Esta curva cuantifica los relieves en jóvenes o en fase de no equilibrio, relieves en equilibrio y relieves residuales (Vich 1999).

En la cuenca del arroyo La Lechuza, se obtuvo un relieve en fase de equilibrio. La fuerte pendiente implica peligro de inundación en extensas zonas de la parte baja de la cuenca.

c) *Características de la red de drenaje:* La red de drenaje es la distribución de los canales de escurrimiento superficiales y subsuperficiales poco profundos en un área dada y resulta de la combinación de factores litológicos, climáticos, geomorfológicos y de vegetación, entre otros. Responde a las condiciones de modelado actual y pasado y a la acción del hombre. En el caso del arroyo La Lechuza, varía en función de dos factores. En el área montañosa, el diseño es subdendríptico con control estructural, debido a fallas y a la estratificación de las sedimentitas que forman la sierra Chica de Zonda. En el área pedemontana, su diseño es principalmente divergente, aunque también está controlado por las fallas modernas de rumbo submeridional y escarpa a contrapendiente que modifican temporariamente su orientación, hasta que retoman la dirección oeste-este. La acción del hombre se refleja notablemente en las áreas llanas, donde la red ha sido canalizada y modificada.

Análisis de datos pluviométricos

a) *Cálculo de la precipitación media anual (Pma):* Debido a las escasas estaciones ubicadas en la zona de estudio y

su irregular disposición, se utilizó el método de los polígonos de Thiessen. El valor obtenido fue una precipitación media de 87,21 mm anuales.

b) *Cálculo del volumen infiltrado:* Cuando se producen precipitaciones pluviales sobre una región, el volumen precipitado se puede descomponer en tres: agua que se escurre y encauza, agua infiltrada directamente y agua evaporada.

Los cálculos se hicieron en dos zonas: Desde la divisoria de aguas por el oeste hasta el contacto entre el frente montañoso y el piedemonte (zona A) y en el piedemonte propiamente dicho (zona B).

Agua precipitada = 3,54 Hm³

Ce (Coef. de escorrentía superficial) (fijado) = 15%

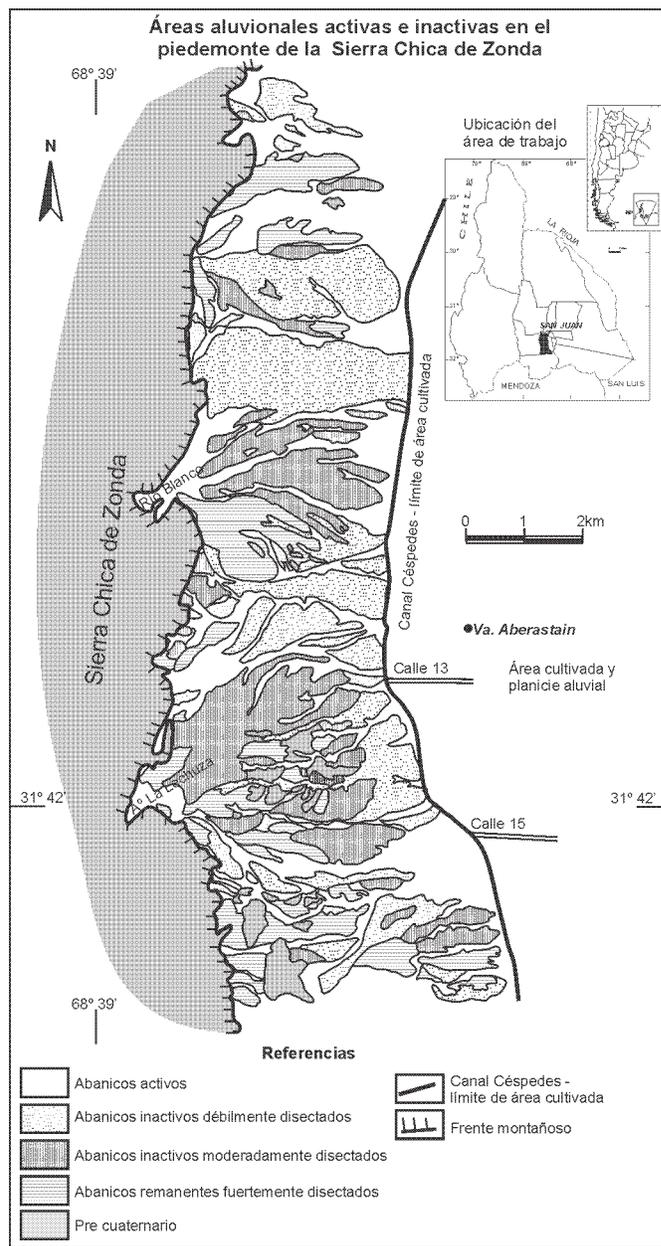


Figura 6: Mapa de áreas activas e inactivas en el piedemonte oriental de la sierra Chica de Zonda, entre las calles 11 y 16.

Total del agua que escurre = 0,531 Hm³
 Agua que se infiltra, 80% del total que escurre=0,425Hm³

c) *Cálculo de la cantidad de agua probable de ser infiltrada:*

Agua precipitada = 3,54 Hm³
 Ci (Coeficiente de infiltración directa) (fijado) = 30%
 Agua probable de ser infiltrada = 1,062 Hm³

d) *Cálculo del tiempo de concentración (Tc):* La determinación de este dato se realizó con el objetivo de conocer el tiempo con el que se dispone para tomar medidas de prevención frente a una crecida.

Se escogió el arroyo La Lechuza que afecta las calles 13 y 15 cuya longitud es de 8 km y que por lo tanto puede ocasionar avenidas de mayor caudal. Se eligió la fórmula de Benítez (1972) que es aplicable a cuencas imbríferas de áreas menores a 50 km².

$$T_c = 0,871 \cdot L^3 \cdot 0,385/H$$

Donde Tc = tiempo de concentración, en horas
 L = longitud del curso, en km
 H= desnivel entre la cabecera y el punto inferior del río.
 Tc = 42,6 minutos

Conclusiones y recomendaciones

Cada verano, los aluviones representan uno de los principales fenómenos naturales que afectan el departamento Pocito. Estos originan crecientes cortas, violentas, con altas velocidades de escurrimiento y que transportan cantidades de material sólido que se acumula en la planicie de inundación del departamento, provocando daños en calles, canales de riego, viviendas y cultivos.

La cuenca del arroyo La Lechuza es la de mayor importancia en el área por su extensión y pendiente y a pesar de contar con las obras civiles necesarias para su control, la falta de mantenimiento de las mismas provoca serios inconvenientes. Las calles más afectadas son las 13 y 15, trazadas sobre antiguos cauces, y las calles perpendiculares a éstas, incluida la ruta nacional 40 que sufre cortes con cada lluvia intensa. Los cultivos de vid ubicados a ambos lados del canal Céspedes también sufren daños a pesar de las defensas construidas. La recurrencia de estos fenómenos en la cuenca hace necesario el mantenimiento de las obras civiles existentes o su modificación por otras alternativas más eficaces.

Para minimizar los efectos de los aluviones en el departamento, se requiere la confección de un plan de acciones intensivo y extensivo.

Las intervenciones intensivas tienen como objetivo retener

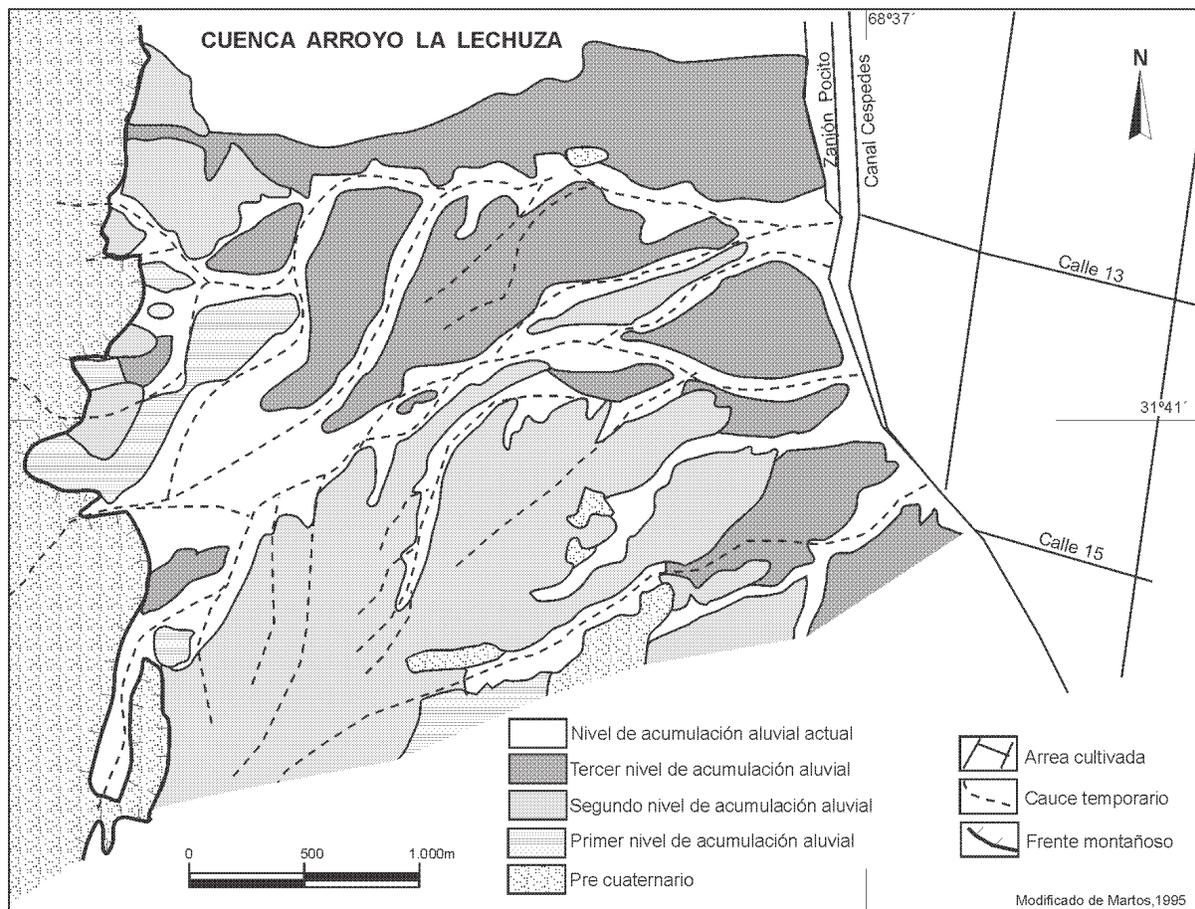


Figura 7: Cuenca del arroyo La Lechuza.

y retardar el escurrimiento, reduciendo la actividad erosiva mediante la construcción y el mantenimiento de las obras hidráulicas existentes en el área: Obras civiles, obras retenedoras, reguladoras, interceptoras de las aguas superficiales y subterráneas; zanjas, diques de retención y filtración de las aguas. La orientación de las calles y canales paralelos a la dirección de flujo de la corriente, minimiza los efectos destructivos. También lo hacen los elementos de protección contra la erosión lateral y/o de fondo, llenado de los surcos, construcción de gaviones, planchas de hormigón, empedramientos, muros, empalizadas y filas de pilotes. Si bien existen estas defensas en el departamento, la mayoría carece de mantenimiento y se encuentran colmatadas o dañadas, por lo que pierden su efectividad.

Las intervenciones extensivas implican la creación de condiciones que mejoren el hábitat para lograr la regulación natural de los aluviones como complemento de las obras civiles. Esto es posible si se realizan trabajos de forestación con la creación de fajas forestales protectoras del terreno y otras formas de forestación para regular el desagüe superficial del terreno, cambiar el régimen de las aguas y consolidar horizontes subsuperficiales de los suelos.

Finalmente, establecer normativas de protección y usufructo del terreno: Reglas establecidas en la zona de protección, en las que esté prohibida la actividad agrícola y construcción de obras.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente con aportes realizados por el PEI 6012 CONICET. Se expresa nuestro agradecimiento a los árbitros Dr. Waldo Chayle y Dr. Emilio F. González Díaz por sus acertadas correcciones y sugerencias que mejoraron la presente contribución.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- American Geological Institute (A.G.I.), 1950. Dictionary of Geological Terms. Anchor Books, 472 p. Nueva York.
- Bastias H., 1986. Fallamiento cuaternario en la región Sismotectónica de Precordillera. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, (inédito), 160 p.

- Benítez, A., 1972. Captación de aguas subterráneas. Nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales. 2ª Edición. Dossat, 619 p., Madrid.
- Commission on Geosciences, Environment and Resources, 1996. Alluvial Fan Flooding. National Academy Press, 172 p.
- González Díaz, E., González, M., Ramallo, E., Azcurra, D., 2001. Los procesos geomorfológicos del 4 de abril del 2001 y sus consecuencias en las poblaciones de Palma Sola y Puesto Nuevo y la zona de Las Delicias, Departamento de Santa Bárbara, provincia de Jujuy. SEGEMAR, Serie de Contribuciones Técnicas. Peligrosidad Geológica 3: 36 p., Buenos Aires.
- Martos, L., 1995. Fallamiento cuaternario en el borde oriental de Precordillera entre el río San Juan y el río de Los Pozos. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, (inédito), 555 p.
- Poblete, A. y Minetti, J., 1999. Configuración espacial del Clima de San Juan. Síntesis del Cuaternario de la Provincia de San Juan. 11º Reunión de Campo del Cuaternario. CD-ROM. San Juan, Argentina.
- Stralher, A., 1968. Quantitative Geomorphology. The Encyclopedia of Geomorphology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Fairbridge, R. (ed), (3): 898-911, New York.
- Tello, G. y Perucca, L., 1993. El Sistema de Fallamiento de Precordillera Oriental y su relación con los sismos históricos de 1944 y 1952, San Juan, Argentina. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Explotación de Hidrocarburos (Mendoza), Actas 3: 246-251.
- Vich, A., 1999. Aguas continentales. Formas y Procesos. Manual de aplicaciones prácticas. Fundación Cricyt, 338 p, Mendoza.

Recibido: 19/05/03

Aceptado: 01/09/04