

La avalancha de rocas de Las Cañas: otra manifestación de estos fenómenos en el flanco oeste de la Sierra Grande de San Luis

Emilio F. GONZÁLEZ DÍAZ¹, Luis FAUQUÉ¹, Carlos H. COSTA² y Aldo D. GIACCARDI²

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires,
Pabellón II, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires

²Departamento de Geología y Minería, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales,
Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco 917, 5700 San Luis

ABSTRACT. *Las Cañas rock-avalanche: another manifestation of these phenomena on the western slope of the Sierra Grande de San Luis.* A rock-avalanche (named Las Cañas) was distinguished near the Potrero de Leyes rock-avalanche previously recognized in the southern Sierras Pampeanas. It is located on the western slope of the Sierra Grande de San Luis (San Luis Province), which is regarded as the range uplift front during the Andean tectonism. On account of its greater degradation than the Potrero de Leyes rock-avalanche, the deposits described here are considered to be older in age. Their morphometric attributes could be only roughly calculated, because fluvial erosion has removed a large portion of its initial shape and volume. The avalanche-related deposits form round-shaped hills, which can be distinguished from alluvial fan deposits by their higher altitude, photogeological signature and degree of degradation. Two fault sets have also modified its original surface configuration. It is considered that this phenomenon was also triggered by an earthquake. Hence, the recognition and analysis of these geomorphological processes provides a useful addition to palaeosismological analysis and is significant for an adequate evaluation of the seismic hazard of this region.

Introducción

Recientemente ha sido descripta la primera avalancha de rocas individualizada en las Sierras Pampeanas australes (González Díaz *et al.* 1997). Sus voluminosas acumulaciones ($600 \times 10^6 \text{ m}^3$), fueron localizadas al pie de la abrupta escarpa de falla que conforma el frente occidental de la Sierra Grande de San Luis, a la latitud de $32^\circ 30' \text{ S}$. (Potrero de Leyes).

La ratificación de otro fenómeno de análoga tipología y muy cercano al ya localizado en las cercanías del curso del arroyo El Palmar, se logró posteriormente a través del examen de fotogramas del área y de una segunda campaña. Ello permitió descartar aquella alternativa de la presunta presencia de una reducida estructura local de un bloque de basamento cristalino aislado ("monte isla") en esta parte del piedemonte. Esta última situación ha sido comprobada en las cercanías del puesto López, ubicado más al norte del sector estudiado.

Ubicación del área de estudio

La avalancha de rocas se halla localizada al este de la población de Leandro N. Alem (anteriormente conocida como Los Corrales), la que se conecta con la ciudad de San Francisco del Monte de Oro -distante unos 20 km. al sur- por medio de la Ruta Nacional n° 146 o por su antigua traza, de ripio (Fig. 1).

Desde Leandro N. Alem -luego de dejar atrás sus chacras marginales- por una huella local y tras un recorrido de unos 7-8 kilómetros, se alcanza el puesto de Vicente Blanco. Desde allí se llega hasta el puesto abandonado de Las Cañas, siguiendo por unos 1000 metros una huella "leñera" en desuso, la que se halló parcialmente cerrada por la vegetación natural. Irregulares sendas de vacunos en el denso monte achaparrado y espinoso, facilitaron el reconocimiento del área de la avalancha de rocas de Las Cañas. La proximidad de la avalancha al citado paraje, ha inducido a los autores a identificarla con esa denominación.

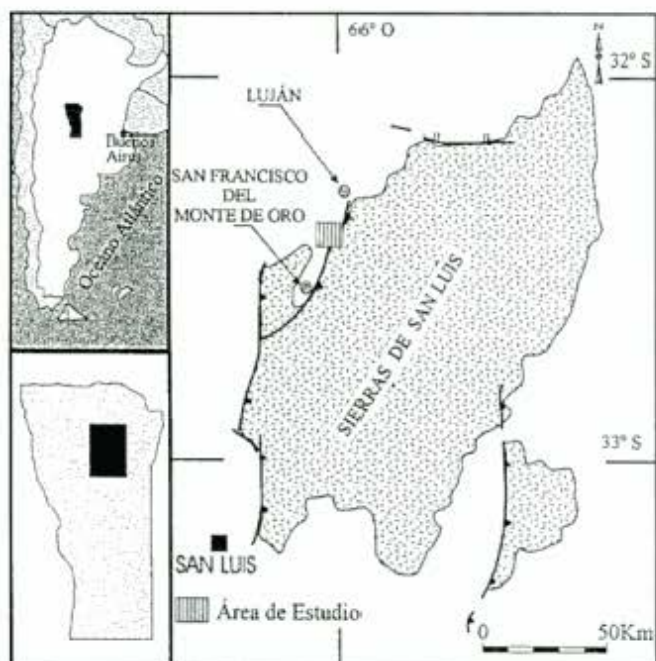


Figura 1: Croquis de ubicación de la avalancha de rocas de Las Cañas.

Objetivos

Se pretende brindar la información concerniente a otra avalancha de rocas ocurrida en la morfoestructura de las Sierras Pampeanas australes, involucrando en ella su descripción geomorfológica, una propuesta acerca del probable inductor del movimiento gravitacional y su relación temporal con otras unidades de la planicie aluvial pedemontana local y con la cercana avalancha de rocas del Potrero de Leyes. Además este análisis permitirá obtener información respecto de su movilidad y contribuirá a la delimitación de zonas proclives a riesgos geológicos. Se expone un sintético esquema general de las características estructurales de la región serrana en el área.

Metodología

Los resultados aquí expuestos derivan de la interpretación fotogeomórfica previa, complementada con controles de campo. El examen de fotografías aéreas en escala aproximada 1:20.000, permitió la confección de un mapa geomorfológico-geológico básico.

Las tareas de campaña abarcaron dos periodos. El primero, muy breve (2 días), coincidió con la fase final del estudio de la avalancha de rocas del Potrero de Leyes, en tanto que el segundo, que comprendió 12 días, se realizó entre noviembre y diciembre de 1995.

La base topográfica existente -en escala similar- fue de escasa utilidad ante la limitada expresión morfológica del sector. Sólo permitió ejecutar perfiles para determinar desniveles relativos, la pendiente promedio de los espolones serranos a la latitud de la muesca del arranque de la avalancha y de otros vecinos a ellas y además determinar puntos geográficos de interés.

Los mapas geológicos en escala 1:200.000, correspondientes a las Hojas Geológicas 23g (San Francisco) y 22g (Quines), sirvieron para un conocimiento básico de la geología regional de la zona analizada.

Esquema geológico-geomorfológico del área

Geología

El tramo de la Sierra Grande de San Luis donde fuera distinguida la avalancha, está representado por el cordón de El Realito, integrado por granitoides, entre los que predominan las tonalitas y las granodioritas (Brogioni *et al.* 1994). Estas rocas constituyen la exclusiva fuente de proveniencia del material componente de la avalancha de rocas de Las Cañas y del extenso piedemonte marginal, una situación similar a la observada en la avalancha de rocas del Potrero de Leyes. También en mayor o menor grado, esas magmatitas muestran evidencias de deformación, adquiriendo en ocasiones las características macroscópicas de rocas miloníticas.

Pastore y González (1954) y González (1957), asignaron dichas rocas a un episodio magmático del Basamento Cristalino, cuya presunta edad estimaron los primeros como comprendida en el "Proterozoico inferior a medio". Killmurray y Dalla Salda (1977) y Criado Roque *et al.* (1981), concordaron al relacionarlas con ciclos magmáticos del Paleozoico tardío. Recientemente, Brogioni *et al.* (1994), adjudicaron a los granitoides del cordón de El Realito, una edad carbonífera. Reducidos y aislados afloramientos de metamorfitas afloran inmediatamente más al sur, en el tramo inferior del arroyo El Palmar (González Díaz *et al.* 1997), parcialmente cubiertos por la porción distal de la avalancha de rocas del Potrero de Leyes.

El análisis de fotografías puso en evidencia que el principal juego de fracturas, por su continuidad, imposición en el relieve y frecuencia (Fig. 2), presenta un rumbo general dominante norte-sur. Estos lineamientos de orientación meridiana tan conspicuos corresponden invariablemente a fracturas subverticales secundarias, por lo general de origen tensional. También con esta orientación se dispone el sistema del frente de levantamiento de la sierra,

caracterizado por un cinturón de cizalla con buzamiento al este y movimientos con componente principal inversa, cuyo principal intervalo de actividad ha sido asignado al Plioceno-Pleistoceno (Criado

Roque *et al.* 1981; Costa 1992). Esta estructura se encuentra generalmente sepultada por los depósitos pedemontanos.

Otros lineamientos individualizados, de carácter

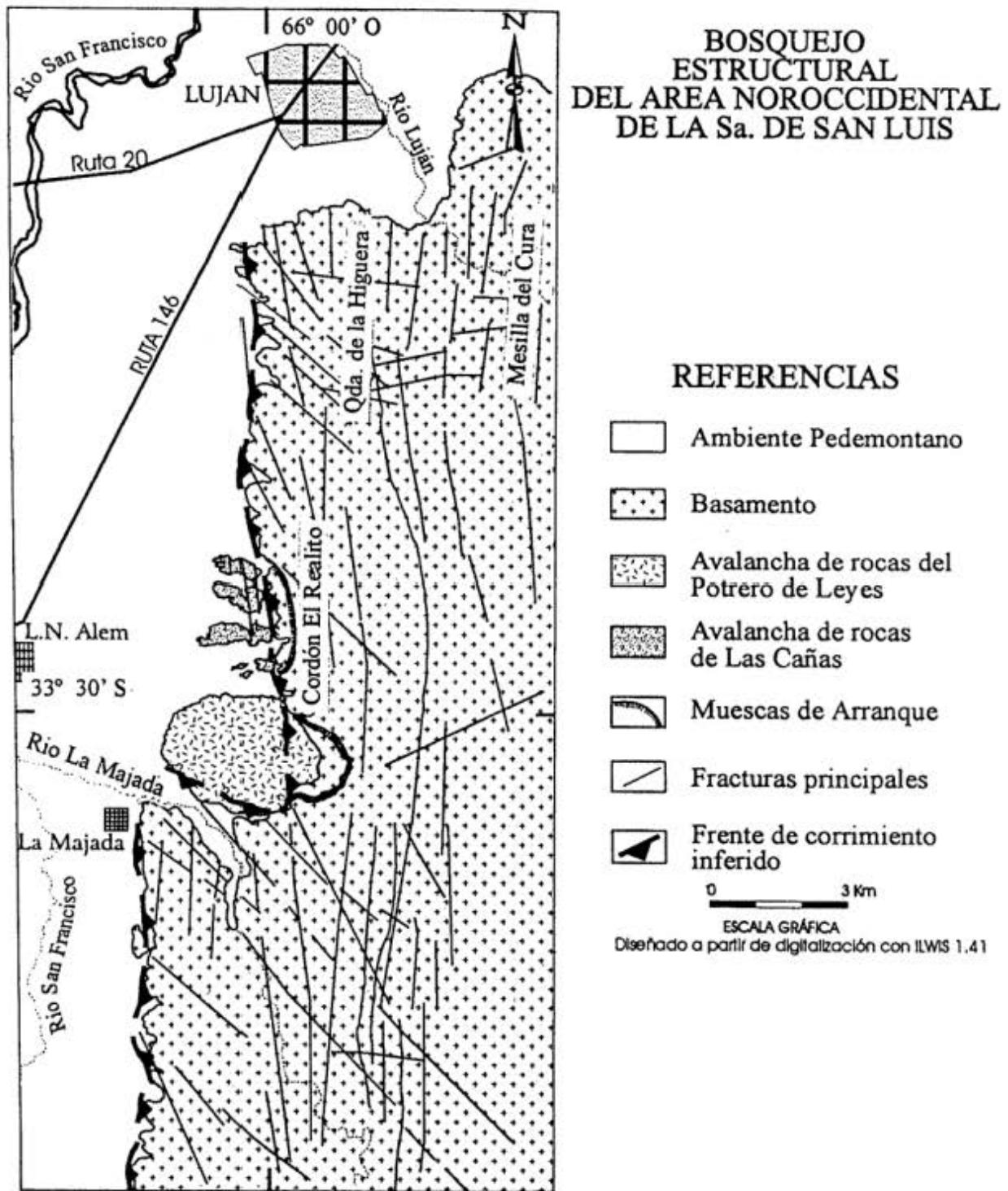


Figura 2: Esquema estructural del sector donde se localizan las avalanchas de rocas de Las Cañas y Potrero de Leyes, indicando la posición del frente de levantamiento principal de la sierra y de aquellas fracturas con representación topográfica más conspicua.

más local, dispuestos con un arrumbamiento similar, afectan los depósitos de la avalancha de rocas de Las Cañas y presuntamente a las acumulaciones del "nivel de piedemonte antiguo". Esto último ha sido comprobado al norte del área de estudio (Piedras Blancas).

Geomorfología

Una extensa y abrupta escarpa de falla constituye el margen occidental de la Sierra Grande de San Luis, entre los 32° 30' y la latitud de la ciudad de Luján; su desnivel varía entre 500-600 metros (Fig. 3).

De acuerdo al concepto "davisiano", el grado de evolución geomórfica de dicha escarpa correspondería a la madurez, caracterizada por la presencia de largos y delgados espolones. El drenaje está bien organizado, predominando patrones dendrítico y subdendríticos, con marcado control estructural en amplios sectores de la "Peneplanicie de San Luis" (González Díaz 1981), aún reconocible en la parte superior del bloque serrano.

El límite físico entre la sierra y el ambiente pedemontano, presenta localmente un trazo bastante rectilíneo, con excepción del tramo donde se ha individualizado la posición de la muesca del arranque del movimiento gravitacional, donde muestra una configuración en planta suavemente cóncava hacia el oeste. Dicha rectitud está determinada por fracturas subverticales (75° - 90°) de buzamiento aleatorio, a las cuales se interpreta como sistemas de alivio desarrollados en el bloque ascendido durante el levantamiento del frente serrano. El frente de fallamiento principal, de carácter inverso, se encuentra sepultado por depósitos aluviales o de la avalancha. No obstante, en las cercanías de la vecina avalancha del Potrero de Leyes, se midieron zonas de cizalla asociadas al frente de fallamiento principal con ángulos cercanos a 35°E. Este dato descarta la posibilidad de que las fallas responsables del levantamiento serrano presenten un trazo rectilíneo en planta.

A lo largo del contorno del frente de levantamiento se localizan varias vertientes (La Higuera, La Higuera); además se distinguió una mayor concentración de vegetación natural, la que se dispone paralelamente y al pie de la escarpa de falla como una extensa y muy delgada faja. Se supone que ello responde a una mayor humedad, en respuesta a una línea estructural no determinada. Esta faja es claramente observable en las fotos aéreas y además visible, durante determinadas horas de la tarde, desde la antigua Ruta Nacional n° 146.

A la latitud de la avalancha, la pendiente promedio de los "filos" de los estrechos espolones serra-

nos, que limitan las distintas cuencas de drenaje locales en este tramo de la escarpa de falla, al conformar sus delgadas divisorias, oscila entre los 22° y 25°.

El sector pedemontano está compuesto por varias unidades geomórficas agradacionales, separadas entre sí por epiciclos de erosión. Su distinción, al igual que su relación temporal relativa, se halla esencialmente fundamentada en el examen de los fotogramas y más ocasionalmente en evidencias de campo.

Se han diferenciado en el área pedemontana las siguientes unidades geomorfológicas (Fig. 3), para las que se propone el siguiente orden secuencial:

- 1) La Avalancha de Rocas de Las Cañas,
- 2) Un conjunto de depósitos marginales a la avalancha, caracterizados por el gran tamaño de sus componentes (enormes bloques) que son el resultado de la movilización y depositación en las inmediaciones de la primaria acumulación diaméctica, durante su degradación.
- 3) Un nivel de piedemonte "antiguo", integrado por abanicos aluviales cuyos ápices se localizan en la base de la escarpa de falla. Es sobresaliente la predominante participación en su construcción de depósitos de *debris flows*, los que son claramente identificables en el campo por sus sobresalientes albardones laterales. Su presencia contribuye notoriamente a la irregular configuración del relieve superficial en esta parte del piedemonte, rasgo éste que se acentúa en la mitad superior de los abanicos aluviales. Estos muestran el típico diseño de drenaje distributivo, con cursos cuya alimentación está relacionada con las correspondientes e individuales cuencas serranas locales, siendo su régimen de tipo efímero. En algunos casos por tramos, se hacen intermitentes por aportes de pequeñas vertientes.

Se identificó además aquel diseño de tipo dendrítico que comúnmente se desarrolla más alejado del frente montañoso, y cuyas efímeras aguas provienen esencialmente de las precipitaciones que ocurren en el área del piedemonte o derivan de vertientes situadas en él, en cuyo caso su régimen es intermitente.

El nivel "antiguo" se halla bien definido al norte de la avalancha, pero hacia el sur, en las inmediaciones de el arroyo de El Palmar, su marcada degradación fluvial ha sido vinculada a modificaciones del nivel de base local, representado por dicho curso.

- 4) Un nivel de piedemonte "joven", que se dispone en un plano más inferior y distal al anterior. Sus límites no han sido adecuadamente establecidos debido a la densa cobertura vegetal y a la pobre definición de la escarpa de erosión que los separa. Por tramos muestra una irregular cobertura loésica.

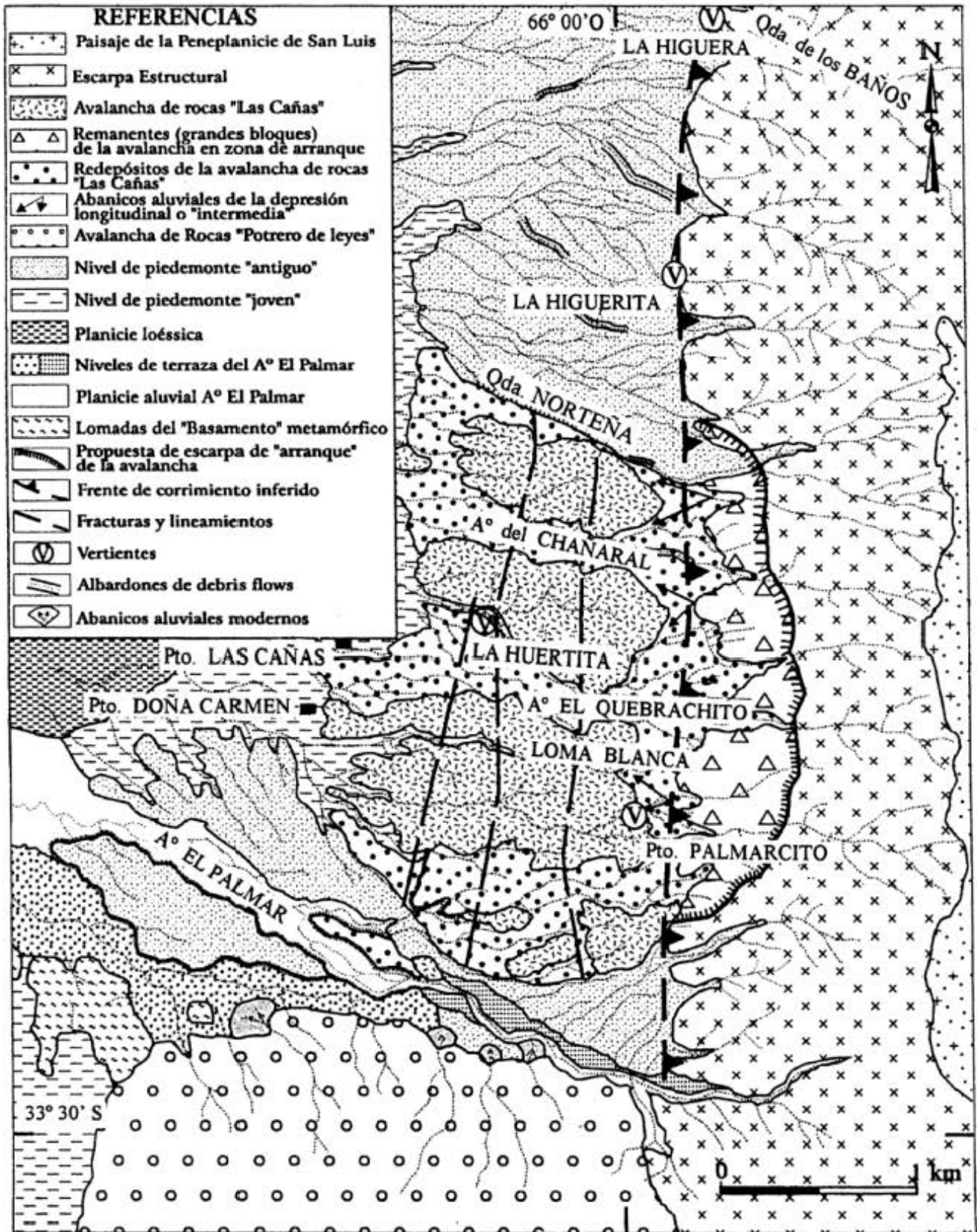


Figura 3: Esquema geomorfológico del área de estudio, con indicación de la distribución de los depósitos de la avalancha de rocas de Las Cañas y demás unidades geomórficas pedemontanas.

5) Una planicie loessoide se extiende hacia el oeste desde las cercanías del puesto de Vicente Blanco. Composicionalmente es similar a la cubierta observada por González Díaz *et al.* (1997), en cortes naturales del curso del arroyo de La Majada. En algunos perfiles, marginales a los actuales cauces, suelen verse en posición inferior, rodados, gravas y arenas gruesas fluviales, que se supone pertenecen al nivel "joven".

6) Niveles de terrazas del arroyo El Palmar. Si bien se acepta que su origen está ligado a variaciones en la dinámica fluvial del arroyo, sus causales no han sido analizadas, aunque no se descarta la influencia de la neotectónica, en vista del reconocimiento de algunos lineamientos modernos en el ambiente pedemontano. En la Fig. 3 aparecen distinguidos sólo tres niveles de terrazas: de ellos, el superior y más antiguo muestra correspondencia topográfica con la superficie agradacional del nivel pedemontano "antiguo". Los otros dos niveles más inferiores, son considerados terrazas de erosión.

La "Peneplanicie de San Luis" (González Díaz 1981), que constituye la entidad geomórfica más antigua regionalmente, no es incorporada a este ordenamiento. Se acepta en general que ella ha sido elevada y desmembrada a partir de una inicial homogeneidad por la tectónica andina, a comienzos del Terciario. Sus remanentes, que coronan la escarpa de falla, se extienden hacia el este a partir del límite superior de esta última, el que coincide -según el plano topográfico- con la curva de nivel de los 1500 m.s.n.m.

Descripción de la avalancha de rocas de Las Cañas

Zona del arranque de la avalancha

En las partes distales de los espolones serranos situados entre el valle del arroyo El Palmar (sur) y la vertiente de La Higuera (norte), es posible comprobar un cambio en su pendiente promedio (22°-25°), la que a partir de allí, se acentúa. Una rápida estimación determinó su valor entre los 35° y 40°. Esta modificación permitió establecer por medio del

análisis de los fotogramas (Fig. 4), la posición de remanentes morfológicos de la muesca del arranque de la avalancha de Las Cañas en esta parte de la degradada escarpa de falla occidental de la Sierra Grande de San Luis. La variación apuntada no es observable más allá de los límites así establecidos (Fig. 3). La reducida conservación de la cicatriz y su limitada altura (unos 100 metros), se vincula con la posterior degradación soportada por este componente morfológico. Su ancho máximo en su base, alcanza unos 2.800 metros. Coincidentemente, es allí donde la porción basal del frente serrano hace una suave concavidad abierta al oeste, quebrando la rectitud que exhibe aquí localmente la discontinuidad física existente entre el pie de la serranía y la zona pedemontana.

En el ámbito de la concavidad, aparecen enormes bloques de granitoides, que se presentan aislados, de un modo similar a "erráticos" (rara vez en grupos), distribuyéndose irregularmente sobre las partes inferiores y más distales de las pendientes (taludes) de los espolones serranos. Se interpreta que constituyen los remanentes más proximales del movimiento gravitacional, por su peculiar localización dentro de los límites propuestos como el área de la muesca del arranque de la avalancha; ello refuerza lo formulado acerca de la identificación de la cicatriz del arranque.

Entre la muesca del arranque así definida y la porción más proximal de la masa de la avalancha, es posible el reconocimiento de una elongada depresión dispuesta transversalmente al desplazamiento gravitacional y paralela al frente serrano. La interpretación de una "zona o depresión intermedia", se logra a pesar de su parcial colmatación por las acumulaciones de unos pequeños abanicos aluviales locales, cuyos materiales se apilan contra el obstáculo representado por el margen proximal de la masa de la avalancha. Este rasgo geomórfico ("zona intermedia") se hace más discernible vista desde el norte, mediante la contemplación lateral por parte del observador, de la zona proximal de la avalancha.

Zona de la acumulación de la avalancha.

Constituye una área deposicional que en planta tiene una configuración más ancha que larga. El

Tabla 1: Datos morfométricos estimativos de la avalancha de rocas de Las Cañas.

| | |
|---|--|
| . Altura absoluta del borde superior del frente serrano | 1.500 m s.n.m. |
| . Altura absoluta estimada en el pie de la avalancha | 800 a 900 m s.n.m. |
| . Cota superior del remanente de la muesca del arranque | 1.100 m s.n.m. |
| . Altura del remanente morfológico de la escarpa del arranque | 100 m |
| . Superficie que cubren los depósitos de la avalancha | 2,50 km ² |
| . Volumen estimado de la avalancha | entre 25,0 x 10 ⁶ y 37,5 x 10 ⁶ m ³ |
| . Longitud actual estimada de las acumulaciones principales | 1.050 a 1.400 m |
| . Distancia máxima de recorrido (L) estimada | 1.800 a 2.000 m |

primer parámetro supera los 4.000 metros, en tanto que su longitud varía entre los 1000 y 1500 metros aproximadamente. Los depósitos de la avalancha han perdido la inicial homogeneidad de su relieve original a causa de una considerable erosión posterior, la que condujo a su desmembramiento en varios sectores de variado grado de disección.

Un conjunto de pequeños valles ("cañadas" de los lugareños), que se disponen paralelamente y orientados este-oeste de acuerdo a la pendiente general pedemontana, divide en cuatro sectores a las acumulaciones de la masa diamítica. De sur a norte las "cañadas" reciben las siguientes denominaciones: "del Palmarcito", "del Quebrachito" y "del Chañaral". Para facilitar la descripción, aquella cañada innominada, más septentrional y que limita la avalancha por el norte, es distinguida aquí como

"Norteña" (Fig. 3). De los mencionados sectores, el que ha soportado mayores modificaciones en su morfología previa, es aquel adyacente al arroyo El Palmar. Su masa no conforma un cuerpo elongado y continuo, sino que se compone de un conjunto de bajas elevaciones irregulares, muchas aisladas, siendo la mayor de ellas la más cercana al frente serrano. Su notable degradación provendría de su mayor proximidad al dinámico nivel de base local constituido por el arroyo El Palmar.

El análisis fotogeomórfico y el reconocimiento de perfiles topográficos longitudinales de los otros sectores distinguidos, facilitó el entendimiento de que los mismos, aunque continuos, exhiben una distintiva subdivisión en una sucesión de pequeños segmentos -más bien "lomadas"- dispuestos a alturas cada vez menores a medida que el observador se



Figura 4: Montaje no controlado de fotogramas, que permite la observación estereoscópica de la distribución y relaciones entre las unidades geomorfológicas indicadas en la Figura 3.

aproxima a la parte distal del correspondiente segmento. El número de "lomadas" para cada uno de éstos es uniforme, ya que regularmente se distinguen tres. Esta particular disposición es atribuida por los autores a la influencia de dos probables sistemas de fallas o zonas de cizalla locales, de orientación norte-sur y que por su rectitud, aparentan tener una actitud vertical. Se los considera vinculados a la tectónica cuaternaria (neotectónica), la que también manifiesta, por medio de diversos lineamientos estructurales, su incidencia en el piedemonte cercano a la zona de estudio. La naturaleza de tales lineamientos es aún motivo de análisis. Al respecto, su buena imposición como rasgo lineal en los fotogramas, su coincidencia con los límites de los resaltos morfológicos que separan las distintas "lomadas" que componen los sectores, (las que demuestran un llamativo ajuste a los inferidos elementos estructurales) y el marcado control que ejercen sobre tramos del drenaje tributario de las "cañadas", abogan por la aceptación de su origen tectónico y su posterioridad a la depositación de la avalancha.

Sin embargo debe señalarse que la limitada preservación del relieve de la superficie original de estas acumulaciones, impide una aceptable nivelación topográfica para llegar a establecer las verdaderas características del rechazo del propuesto movimiento. Además se suma el tamaño de sus componentes clásticos que dificultan ostensiblemente el reconocimiento de planos de cizalla u horizontes guías.

La observación estereoscópica del área de la avalancha posibilitó la distinción en ciertos tramos del recorrido de las "cañadas", unas agudas inflexiones o brucas sinuosidades ("codos"), cuya situación se corresponde espacialmente con los lineamientos propuestos. Inicialmente durante la fotointerpretación, estas características fueron adjudicadas a fallas transcurrentes.

En su tramo distal, la cañada "Norteña", hace un pronunciado "codo". Se reconoció allí una zona de cizalla incipiente con evidencias de degradación mecánica del material componente de la avalancha, que concuerda con la disposición de dichas fracturas. Es probable que esos lineamientos estructurales constituyan la propagación hacia la superficie de fallas que afectan al basamento infrayacente. En tal sentido se considera que su desplazamiento absoluto si bien ha sido poco significativo, fué lo suficiente como para alcanzar a manifestarse morfológicamente en superficie. Este rasgo no ha sido confirmado en aquellos abanicos aluviales inmediatamente adyacentes. Otras evidencias en favor de su relación con acciones deformativas son de carácter hidrológico. Varias vertientes (La Huertita, El

Palmarcito), coinciden posicionalmente con puntos de las fallas propuestas.

De acuerdo a comentarios del vecino poblador Vicente Blanco, la vertiente de La Huertita, se activó en ocasión del terremoto ocurrido en la Provincia de San Juan, a fines de noviembre de 1977; ésto facilita la proposición de una íntima relación con la geodinámica reciente.

Cabe señalar que más al norte y algo alejado del sector estudiado (cercanías del puesto López), pequeños bloques del "basamento" aparecen sobreelevados por fallamiento y como "montes-islas" en el ámbito pedemontano. Un proceso similar en el área de la avalancha, explicaría el dispar rechazo observado entre sus depósitos, (las "lomadas"), como así también sostener la mayor edad del fallamiento, respecto de las acumulaciones del nivel pedemontano "antiguo".

Si bien es cierto que los propuestos planos de cizalla no han podido ser proyectados hacia el ámbito del piedemonte vecino, un examen fotogeológico más regional de éste -al norte y al sur de las acumulaciones de las avalanchas del Potrero de Leyes y de Las Cañas- ha facilitado la interpretación de varios lineamientos (aparentemente muy modernos y de rumbo general norte-sur), localizados en distintas zonas del nivel pedemontano "antiguo".

En consonancia con la deformación interpretada, se acepta provisoriamente que el movimiento tiene una componente vertical, aunque no se descartan desplazamientos transcurrentes asociados.

Otra alternativa genética sería aquella de interpretar a dichas "lomadas" como el resultado de varios episodios correlativos de movilidad de la masa diamíctica, sobre el área pedemontana. Luego del movimiento inicial, la masa se detendría momentáneamente, pero ante la pérdida de la estabilidad de su frente, y consecuente generación de una cicatriz de arranque, tendría lugar una nueva fase del movimiento.

Esta opción tiene varios inconvenientes, ya que no explica adecuadamente un rasgo morfológico impropio para ese mecanismo, como lo es la sobresaliente rectitud del frente de las sucesivas "lomadas" y su llamativo ajuste con las líneas de fracturas propuestas, ni tampoco la ubicación de varias vertientes a lo largo de éstas últimas.

La superficie de los sectores mencionados expone la típica estructura de megabloques (Naranjo y Francis 1987), un rasgo superficial característico de numerosas avalanchas de rocas. En este caso aparece exclusivamente integrada por bloques de granitoides, de irregular configuración y gran magnitud. Durante el reconocimiento se destacaba uno de ellos por su enorme tamaño: 7 m de altura, por 6 m de ancho y 5 m de espesor, estimándose su volumen

en 200 m³ y su peso cercano a las 600 toneladas. Un examen en los cortes naturales de las márgenes de las cañadas, también demostró una homogénea participación de grandes bloques a niveles inferiores.

En general los bloques no exhiben los peculiares o distintivos bordes agudos que suelen caracterizar a una gran mayoría de las avalanchas. Se interpreta que un prolongado lapso de meteorización, ha sido determinante para la pérdida de tales particularidades morfológicas primarias de los bloques, los que carecen de aristas llamativas. En muchos de ellos ha sido común individualizar pequeñas depresiones *gnammas* u oquedades, generadas por el proceso de la meteorización, fundamentalmente del tipo físico. También se ha observado un diminuto "arco natural", en uno de los enormes bloques.

Al igual que en la cercana avalancha del Potrero de Leyes, no se pudo identificar una gradación inversa en sus depósitos, caracterizada por una facies basal, compuesta por material rocoso fino, triturado, que suele ser observada en la parte inferior de sus perfiles o cortes naturales (Fauqué 1987, Fauqué y Strecker 1988). No se comprobó la presencia de márgenes elevadas o albardones laterales o distales. Esta situación resultaría de la fuerte erosión sufrida por la acumulación.

Debido a las posteriores modificaciones del relieve inicial del depósito (por degradación y el supuesto fallamiento), sólo puede hacerse la estimación de muy pocos parámetros morfométricos de la avalancha de Las Cañas (Tabla 1). Para esta información, los datos utilizados han sido extraídos de un mapa topográfico a escala 1:20.000, producido por la Dirección de Catastro de la provincia.

La tentativa de reconstrucción de su extensión primaria, calculó una superficie original de unos 2,5 km². Aceptando en forma conservadora, que su espesor varía entre 10 y 15 metros, el volumen movilizado oscilaría entre los valores extremos de 25,0 x 10⁶ m³ y 56,2 x 10⁶ m³, de los que resulta un promedio cercano a los 40 x 10⁶ m³. Estas tasas superan con holgura el límite volumétrico propuesto para la consideración un movimiento gravitacional como una avalancha de rocas (Coates 1977; Keefer 1984a).

Génesis de la Avalancha de Rocas de Las Cañas.

La mecánica del movimiento de las avalanchas de rocas tiene distintos componentes: uno inicial, con preponderancia del desplazamiento vertical, que involucra la caída o desprendimiento de una masa rocosa a partir de un frente montañoso y su desintegración posterior en su pie y otro, con predominio del movimiento horizontal y el consecuente

flujo de la masa pendiente abajo. Para los autores, el desarrollo de la avalancha aquí descrita ha sido inducido por un fenómeno sísmico, de manera análoga al propuesto para la cercana avalancha del Potrero de Leyes (González Díaz *et al.* 1997)

Avalan esta propuesta genética:

1- La geometría y la magnitud del fallamiento inverso principal de edad plio-pleistocena, crearon las condiciones morfológicas apropiadas para la ocurrencia de una avalancha de rocas, bajo la forma del abrupto relieve de una elevada escarpa de falla.

2- Se considera probable durante el Cuaternario, la ocurrencia de sismos en la región, asociados al levantamiento del frente serrano de suficiente magnitud como para movilizar grandes volúmenes rocosos, en forma de avalanchas de rocas. Si bien la región históricamente no tiene sobresalientes o activas condiciones sísmicas, esta parte de las Sierras Pampeanas australes tiene antecedentes de haber sido afectada en el presente siglo por algunos sismos de magnitud superior a M 6.0 (Castano y Bastías 1981). También se citan varios terremotos de magnitud desconocida, pero de considerable intensidad en la zona más austral de las Sierras Pampeanas (Rocca *et al.* 1991).

3- La reciente apertura del manantial de La Huertita (27-11-1977), es una evidencia de la respuesta del área a la actividad sísmica regional, que en este caso coincidió con un terremoto en la provincia de San Juan.

4- Se considera que el volumen de la acumulación -calculado sólo aproximadamente- tiene la suficiente magnitud e importancia como para establecer su relación genética con un sismo (Keefer 1984a, b):

5- Ciertos condicionamientos geológicos previos que han sido considerados como "factores potenciales" (Keefer 1984a, b), están presentes. Si bien alguno de ellos no está bien definidos ante la importante degradación soportada en las áreas de arranque y de acumulación, se expone en la Tabla 1 una estimación de aquellos "factores" disponibles, los que según Keefer (1984a, b), incrementan la posibilidad de atribuir el "disparo" de un movimiento de semejante magnitud a la sismicidad:

a) se interpreta la existencia previa de una elevada escarpa de falla, con un desnivel mínimo respecto del adyacente piedemonte, de 500 metros, muy superior al valor de 150 m, sugerido por Keefer (1984a, b);

b) la pendiente actual de los espolones serranos generados por la degradación de la escarpa de falla, oscila entre los 25°-22°: Se considera válido suponer que la original escarpa de falla tuvo inicialmente una pendiente mayor al valor-límite (25°) establecido por Keefer (1984a, b);

c) el denso y variado sistema de fracturas subverticales observado, sumado a una intensa deformación

de los granitoides (Brogioni *et al.* 1994) determinó un favorable condicionamiento estructural previo al movimiento, que facilitó la desagregación mecánica del complejo rocoso en esta parte de la escarpa serrana,

d) en vista de su analogía litológica y estructural con el área de la escarpa de falla de la avalancha de rocas del Potrero de Leyes, es lícito aceptar la existencia de superficies estructurales preexistentes con inclinación hacia el exterior del posible arranque (*dipping-out*), similar al comprobado en ésta última,

e) la correspondencia de las condiciones geológicas (litológicas y estructurales) reconocidas en las zonas del Potrero de Leyes y de Las Cañas, su localización en una región de condiciones sismotectónicas semejantes y la proximidad de ambas avalanchas, componen una adecuada sustentación para esta propuesta genética.

Aceptando una probable relación temporal de contemporaneidad (o penecontemporaneidad), entre el ascenso del bloque serrano y la ocurrencia de la avalancha, se propone la siguiente secuencia de acontecimientos (Fig. 5):

A) Ascenso por fallamiento inverso del bloque serrano que compone el tramo del Cordón de El Realito, sobre otro más occidental, al que se considera sepultado por la agradación pedemontana, y desarrollo de una importante escarpa de falla. La geometría y evolución dinámica del frente de fallamiento inverso principal influyó en la formación de numerosas fracturas subverticales en el labio elevado luego del ascenso, debido a la ausencia de una contraparte. Por otra parte, la coexistencia y contemporaneidad de estas fracturas con las estructuras compresivas principales, es una característica reconocible a lo largo de todo el frente de levantamiento serrano (Costa 1992; González Díaz *et al.* 1997). Esta situación explica que las escarpas de falla inversas sean proclives a sufrir rápidas modificaciones y alteraciones en su configuración primaria, por fenómenos de remoción en masa.

B) Caída o deslizamiento de una enorme masa rocosa que formaba parte de un importante sector local de la escarpa de falla del bloque elevado, que se hallaba fuertemente condicionado (debilitado) estructuralmente. Se acepta que el fenómeno fue eventualmente generado por vibraciones producidas por un sismo. Toda la energía potencial de la inicial caída se transformó en energía cinética, permitiendo la movilización de la masa rocosa bajo las condiciones mecánicas (flujo) de una avalancha de rocas. Este acontecimiento ocurrió en forma contemporánea o casi contemporánea con el período de ascenso principal del bloque de la sierra de San Luis

C) Posteriormente, uno o más episodios de falla-

miento de mucha menor magnitud, afectaron a los depósitos de la avalancha en un intervalo temporal que se juzga anterior a la deposición del nivel de piedemonte "antiguo". Diversos ciclos de erosión y agradación posteriores dieron lugar al paisaje actual.

Teniendo en cuenta que ha existido actividad sísmica contemporánea (sismo de San Martín, 20/05/1936, de una magnitud estimada en 6,4; Castano y Bastías 1981) y el prolongado intervalo de recurrencia que caracteriza a las fallas en ambientes de intraplaca, se hace necesario y posible la extensión temporal del registro sísmico mediante este tipo de estudios. Por otro lado, dichos análisis son un complemento indispensable de la sismicidad histórica e instrumental para evaluar adecuadamente el peligro sísmico de una región.

Cronología relativa entre las avalanchas de rocas de Las Cañas y Potrero de Leyes y otras geoformas del piedemonte adyacente

La relación temporal de la avalancha de Las Cañas con aquella del Potrero de Leyes, es establecida tomando en cuenta las diferentes características morfológicas de sus respectivos relieves y las observaciones realizadas.

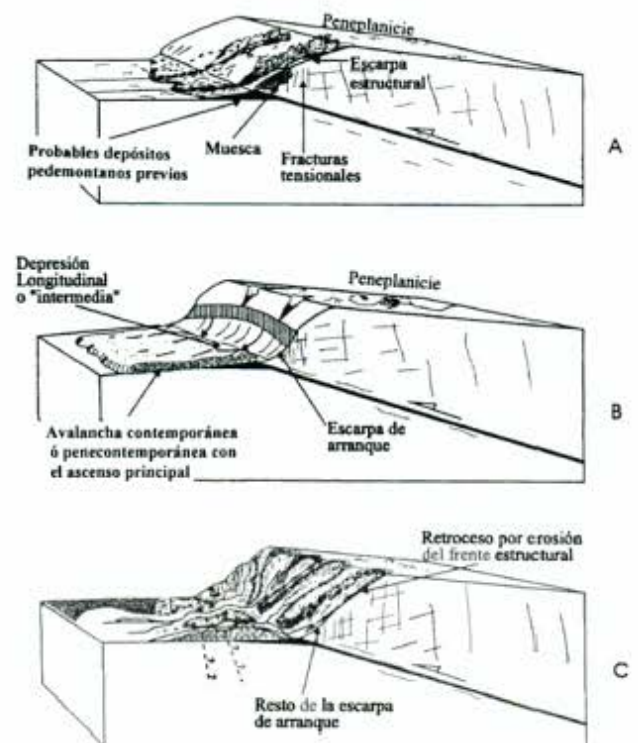


Figura 5: Esquema interpretativo de la evolución del frente serrano a la latitud de Las Cañas, véase también la Fig. 1.

El grado de evolución del paisaje de la primera es considerado como propio de un estado avanzado de la "juventud davisiana", con importante disección fluvial (lineal y lateral), cuya principal expresión se halla en los valles o "cañadas" que la disectan en sentido longitudinal y su organizada red de tributarios. Estos últimos evidencian un notorio control estructural (particularmente por los dos sistemas locales de fallas ya citados) en su distribución espacial, la que adoptaría un grosero diseño rectangular a rectangular-angular. Su morfología primaria aparece muy degradada por erosión y la mencionada deformación local, (Neotectónica). Tales rasgos morfológicos se contraponen notoriamente con los comprobados en el paisaje de la avalancha del Potrero de Leyes. Esta exhibe un excelente grado de conservación de sus rasgos iniciales: muestra muy limitada degradación, presenta una red fluvial escasamente integrada (predominan los diseños locales multicuencales) y su relieve aparece como carente de influencias tectónicas. Su estado geomórfico es propio de la "juventud davisiana". Sus dispares rasgos morfológicos permiten sin lugar a dudas asignar una mayor antigüedad a la avalancha de rocas de Las Cañas, la que es provisoriamente asignada al Pleistoceno temprano.

La presunta falta de proyección de las fracturas indicadas en los depósitos de la avalancha hacia las acumulaciones del nivel pedemontano "antiguo", abogan por la mayor edad de dichas estructuras. Las vinculaciones geológicas (sobreposición, discordancia) entre el nivel pedemontano "antiguo" y la avalancha de Las Cañas, no pudieron ser debidamente instituidas a causa la densa vegetación y por la interferencia de los gruesos bloques que ocultan las relaciones en los faldeos de la avalancha.

Mediante el análisis geomorfológico de fotogramas se logró interpretar una interferencia de las acumulaciones de la avalancha en la normal expansión o migración lateral del abanico aluvial situado inmediatamente al norte de la avalancha, integrante del nivel pedemontano "antiguo" y también en el desarrollo de su típico diseño distributivo. Este hecho aboga por la anterior presencia del complejo diamíctico.

Respecto del nivel pedemontano "joven", su diferencia temporal está claramente expuesta por la relación de éste con el "antiguo". Una notoria escarpa de erosión, separa ambos niveles.

La cobertura loésica, al cubrir al nivel "joven", también hace evidente su posterioridad.

Sin duda, de llegar a contar con el apoyo de cronología absoluta, se podría superar la actual limitación de este esquema temporal.

Conclusiones

Se describe la avalancha de rocas, denominada Las Cañas, localizada también sobre la escarpa de falla occidental de la Sierra Grande de San Luis y ubicada a la misma latitud (32° 30') que la del Potrero de Leyes, la primera avalancha de rocas distinguida en el ambiente de las Sierras Pampeanas australes de San Luis (González Díaz *et al.* 1997)

El análisis geomorfológico de ambas, hace posible adjudicar una mayor antigüedad a la de Las Cañas, ya que su mayor degradación avala esta relativa relación temporal entre ellas.

La degradación fluvial ha disectado la avalancha de rocas de Las Cañas, en cuatro sectores o zonas. A su vez un propuesto sistema de fallas los ha subdividido tres segmentos o "lomadas" menores. Se interpreta que estas lineaciones son previas al "nivel pedemontano antiguo", estando su expresión topográfica restringida a los depósitos de la avalancha de Las Cañas.

Parte de las condiciones geológicas locales se corresponden adecuadamente con los llamados "factores potenciales" de Keefer (1984a), los que favorecen las relaciones genéticas de una avalancha de rocas con un sismo. Estas características estructurales y geomórficas condicionantes, sumadas a las propias de la sismicidad histórica registrada, hacen que los autores propongan a un sismo como el promotor de la avalancha de Las Cañas.

Se considera que el análisis de fenómenos gravitacionales de semejantes magnitudes constituye un complemento indispensable para la adecuada evaluación del riesgo sísmico de una región. Su estudio tiene interesantes connotaciones paleosismológicas, ya que permitiría estimar por primera vez la recurrencia de eventos sísmicos prehistóricos en esta parte de las sierras de San Luis..

Los escasos datos morfométricos presentados y el valor meramente estimativo de ellos, son una directa consecuencia de la considerable degradación soportada por el paisaje original de la avalancha.

La concentración de dos voluminosas avalanchas de rocas al pie de la extensa escarpa de falla que margina la sierra de San Luis por el oeste y a la latitud de los 32° 30', resulta sin dudas un hecho significativo en la historia geológica y geomórfica de la región.

Los autores sugieren que los aspectos estructurales han sido decisivos para la localización de estas avalanchas e hicieron más efectivos los efectos de un sismo.

Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias al subsidio concedido por la Secretaría de Ciencia y Técnica (UBACYT) de la Universidad de Buenos Aires (Proyecto Ex-244) y al apoyo de la Universidad Nacional de San Luis (Proyecto 348901). Se agradece la desinteresada colaboración prestada por el señor Vicente Blanco durante el reconocimiento de la zona de estudio.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Brogioni, H., Parrini, P. y Pecchioni, E., 1994. Magmatismo pre y post colisional en el Cordón de El Realito, Sierra de San Luis, Argentina. *Actas 7º Congreso Geológico Chileno*, 2: 962-966. Concepción.
- Castano, J. C. y Bastías, H. E., 1981. Análisis sismotectónico y su aplicación a la estimación del peligro sísmico. *INPRES, Publicación Técnica 7*: 1-42. San Juan.
- Coates, R. R., 1977. Landslides. *Geological Society of America Bulletin, Reviews in Engineering Geology*, 3:273 pp. Boulder, Colorado.
- Costa, C.H., 1992. Neotectónica del sur de la sierra de San Luis. Tesis Doctoral Universidad Nacional de San Luis, 390 p. (Inédito).
- Criado Roque, P., Mombrú, C. y Ramos, V., 1981. Estructura e Interpretación Tectónica. En: Yrigoyen, M. (Ed.): *Geología de la Provincia de San Luis. Relatorio del 8º Congreso Geológico Argentino*, 155-192. Buenos Aires.
- Fauqué, L., 1987. Avalanchas de rocas de la Quebrada de Segovia y zonas vecinas de la vertiente occidental de las Sierras de Famatina, Provincia de La Rioja. *Actas 10º Congreso Geológico Argentino*, 3: 333-336. Buenos Aires.
- Fauqué, L. y Strecker, M., 1988. Large rock avalanches deposits (Sturztröme, Sturztröms) at Sierra Anconquija, Northern Sierras Pampeanas, Argentina. *Eclogae Geologicae Helvetica*, 81(3): 579-592. Basel.
- González, R. R. L., 1957. Descripción Geológica de la Hoja 22g, Quines (Provincia de San Luis). Dirección Nacional de Minería, Boletín 87, 51 pp., Buenos Aires.
- González Díaz, E. F., 1981. Geomorfología. En: Yrigoyen, M. (Ed.): *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis. Relatorio del 8º Congreso Geológico Argentino*. 193-236. Buenos Aires.
- González Díaz, E. F., Fauqué, L., Costa, C., Giaccardi, A., de Palomera, R. P. y Pereyra, F., 1997. La Avalancha de Rocas del Potrero de Leyes, Sierras Pampeanas Australes, Sierra Grande de San Luis, Argentina (32º 30'). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52 (1): 339-354.
- Keefer, D. K., 1984a. Rock-avalanches caused by earthquakes: source characteristics. *Science*, 223: 1288-1290.
- Keefer, D. K., 1984b. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95: 406-421.
- Killmurray, J. O. y Dalla Salda, L., 1977. Caracteres estructurales y petrológicos de la región central y sur de la Sierra de San Luis. *Revista del Centenario del Museo de La Plata*, 4: 167-178. La Plata
- Naranjo, J. A. y Francis, P., 1987. High velocity debris avalanche at Lastarria Volcano in the North Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology*, 49: 509-514.
- Pastore, F. y González, R. R. L., 1954. Descripción Geológica de la Hoja 23g, San Francisco (San Luis). Dirección Nacional de Minería, Boletín 80, 62 p., Buenos Aires.
- Rocca, R., Decanini, L. y Prato, C., 1991. Riesgos sísmicos en el valle longitudinal de las Sierras de Córdoba. *Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería*, 6: 136-153. Buenos Aires.

Recibido: 5 de mayo, 1997

Aceptado: 2 de junio, 1998