

XIIº Congreso Geológico Argentino y IIº Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza, 1993)
Geología y Recursos Naturales de Mendoza - V. A. Ramos (Ed.), Relatorio, VI (1): 645-658

CAPITULO VI-1

PELIGRO SISMICO Y NEOTECTONICA

HUGO BASTIAS, GRACIELA E. TELLO, LAURA P. PERUCCA Y JUAN D. PAREDES

INGEO, CONICET

INTRODUCCION

El presente capítulo referido a la neotectónica de la provincia de Mendoza, está destinado a completar un panorama de la región oeste del país en la disciplina tectónica activa, la cual constituye un campo de reciente desarrollo a nivel nacional.

El conocimiento del fallamiento activo en esta provincia, es una continuación de las tareas efectuadas en la provincia de San Juan. La realización de un capítulo destinado a evaluar el riesgo de los sistemas de fallas activas del territorio mendocino y su potencialidad sísmica, llena una necesidad para las regiones del oeste argentino.

En la faja de los 300 Km al este del eje andino han ocurrido numerosos terremotos históricos, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas que directamente han influido en el desarrollo socio-económico y potencialidad de las comunidades en crecimiento. Una provincia que en su historia ha sido afectada repetidamente por eventos destructivos, debe contemplar la temática neotectónica en su planificación. Su desconocimiento puede ser causa de grandes pérdidas en el futuro; ellas pueden ser amortiguadas con el conocimiento real de la existencia de riesgo, el cual se puede cuantificar y evaluar estadísticamente con la aplicación de metodologías apropiadas.

Las ideas sobre la reducción del riesgo sísmico mediante estudios neotectónicos deben ser consideradas por los gobiernos locales y los organismos de planificación, generando conciencia de que la ocurrencia de un desastre es un proceso dinámico e incierto. El oeste argentino por su ubicación tectónica, tiene que convivir con ese riesgo y por lo tanto la toma de decisiones sobre grandes obras de infraestructura y expansión de centros poblados, debe considerar ese parámetro de riesgo.

Las ciudades ubicadas en esta franja de actividad potencial no han tenido un crecimiento tan explosivo, como el ocurrido en otros sitios del mundo donde grandes urbanizaciones se han construido sobre fallas activas y las estrategias de prevención deben tomarse preferentemente para la asistencia post-desastre. En nuestro caso la velocidad del desarrollo de ciudades como Mendoza, si bien es notable en los últimos 30 años, permite elaborar la formulación de planes para reducir el riesgo basándose en limitaciones en el uso de la tierra en áreas no desarrolladas y tomando precauciones para la construcción de obras de infraestructura.

Desde el punto de vista económico, esta forma de planificación es la mejor estrategia para reducir el impacto del efecto recesivo frente a la ocurrencia del desastre.

Los trabajos realizados en la provincia de Mendoza se dirigieron primero a obtener un registro histórico de los sismos destructivos y luego mediante análisis de geomorfología tectónica, localizar las evidencias de fallamiento activo para tiempos cuaternarios. Se trató de asignar a cada fuente un sismo potencial basándose en parámetros morfológicos del frente de escarpa, paleosismología y registro histórico. Estas múltiples aproximaciones al sismo probable de ocurrir se completaron con una evaluación sismotectónica regional y con la ubicación de áreas que por sus características geológicas pueden ser fuentes de sismos relacionados con plegamiento.

ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD HISTÓRICA

La provincia de Mendoza, al igual que el resto de las ciudades australes ubicadas en la franja andina argentina, tienen muy poca información histórica pre-hispánica y en los trescientos años posteriores a sus fundaciones.

A pesar de que esta provincia fue fundada por primera vez en el año 1561 y luego en 1562, los primeros planos oficiales datan de 1761. Con anterioridad a éstos sólo existen bosquejos y escritos bastante deficientes (Ponte, 1987). Este blanco de información histórica, característica común para las provincias de Cuyo, probablemente obedece a momentos políticos que movieron a las corrientes fundadoras del este cordillerano y a la ignorancia de la cultura y costumbres de los nativos de estas regiones por la teoría de construcción de la Nueva Europa.

Esta falta de información afecta al intervalo del registro sismológico histórico de la región. Para la ciudad de Mendoza el primer sismo bien registrado históricamente data del 20 de marzo de 1861; con anterioridad a esta fecha sólo existen algunas menciones sobre las características de las construcciones de material crudo (muy bajas y de paredes anchas) y un relato indígena que explica la formación de los Baños del Borbollón luego de un gran movimiento sísmico. En San Juan el primer sismo histórico data de 1894, es decir 33 años después del evento mendocino.

Es poco probable que esta ausencia de datos sea representativa de un ciclo asísmico regional anterior al año 1800. La información neotectónica recopilada para San Juan y Mendoza indica que el rango de actividad ha sido continuo a través de gran parte del Cuaternario. Sin embargo la escasez de dataciones en terrenos cuaternarios impide la obtención precisa de rangos de movimiento para cada falla. Pero las evidencias paleosismológicas indican reactivaciones periódicas de casi todas las fallas identificadas.

Los terremotos históricos que afectaron al territorio mendocino se pueden clasificar en dos grupos:

a) Los producidos dentro del ámbito geográfico de la provincia.

b) Aquellos registrados en áreas cercanas, que han afectado las construcciones en territorio mendocino, por lo tanto se deben considerar en la evaluación del riesgo sísmico de la provincia.

Este último punto introduce el concepto de región sismotectónica que es un área donde la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico de importancia presenta valores estadísticos similares. Los límites de una región sismotectónica son por lo general rasgos morfoestructurales de primer orden y se asocian con la distribución de la sismicidad regional. En estas regiones, así determinadas, es muy probable que la liberación de esfuerzos a nivel cortical pueda estar señalada por las características de la fracturación cuaternaria y el sentido de las deformaciones recientes.

Para el caso de Mendoza, se adoptó una subdivisión regional del oeste argentino en provincias sismotectónicas planteadas por Bastías *et al.* (1984).

En un sentido estricto la región sismotectónica implica un desconocimiento de la totalidad de las fuentes sísmogénicas existentes. A los fines de un estudio de peligro regional se puede asimilar al concepto de sismo flotante, que es aquel que puede ocurrir en cualquier sitio del marco sismotectónico. Se determina su valor por el análisis de la sismicidad histórica o comparación con otras regiones sismotectónicas similares.

Con el conocimiento actual se puede considerar que el territorio mendocino presenta dos regiones sismotectónicas diferentes, entendiéndose como tal a una región caracterizada por una consistencia relativa de su historia sísmica y por rasgos estructurales, neotectónicos y sísmicos diferentes. Como es de suponer, sus límites no concuerdan con los límites políticos, pero guardan una gran relación con los grandes rasgos estructurales de la región.

La figura 1 muestra la extensión de las provincias sismotectónicas de la Precordillera y del surmendocino. La diferencia entre los rangos de actividad histórica y la densidad del registro instrumental entre ambas es muy notoria.

Las investigaciones sobre el fallamiento cuaternario de esas regiones indica que tanto las características, densidad y probablemente los rangos de actividad de las fallas en ambas son diferentes.

Históricamente los principales movimientos de tierra que afectaron al territorio mendocino se enumeran en el cuadro I.

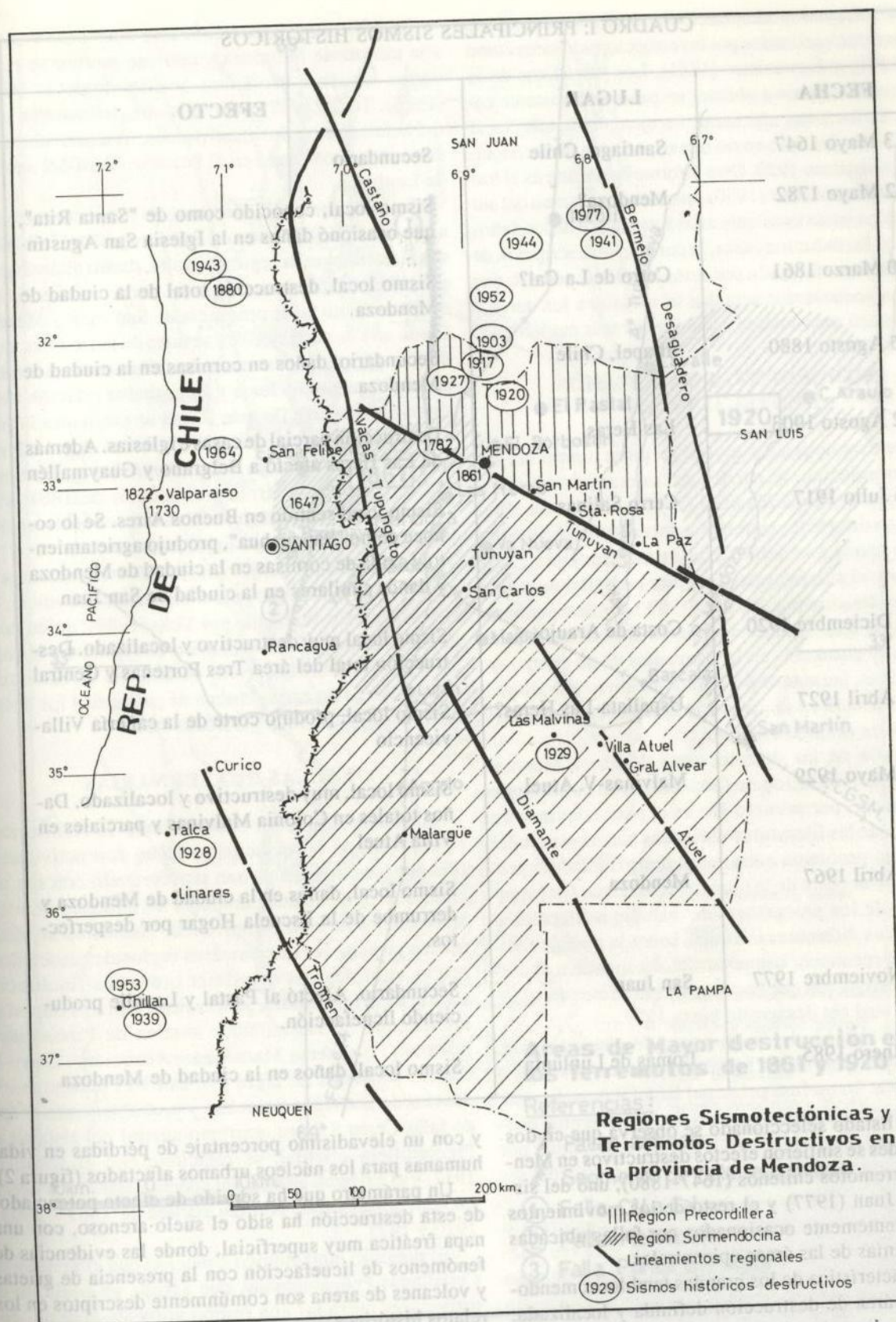


Figura 1: Regiones sismotectónicas y terremotos destructivos en la provincia de Mendoza.

CUADRO I: PRINCIPALES SISMOS HISTORICOS

FECHA	LUGAR	EFEECTO
13 Mayo 1647	Santiago. Chile	Secundario
22 Mayo 1782	Mendoza?	Sismo local, conocido como de "Santa Rita", que ocasionó daños en la Iglesia San Agustín
20 Marzo 1861	Cerro de La Cal?	Sismo local, destrucción total de la ciudad de Mendoza
15 Agosto 1880	Iliapel, Chile	Secundario, daños en cornisas en la ciudad de Mendoza
12 Agosto 1903	Las Heras	Destrucción parcial de casas e iglesias. Además de Las Heras afectó a Belgrano y Guaymallén
26 Julio 1917	Cerro Salinas	Sismo local sentido en Buenos Aires. Se lo conoce como "Panquehua", produjo agrietamiento y caída de cornisas en la ciudad de Mendoza y daños similares en la ciudad de San Juan
17 Diciembre 1920	Costa de Araujo	Sismo local muy destructivo y localizado. Destrucción total del área Tres Portañas y Central
14 Abril 1927	Uspallata-Las Heras?	Sismo local, produjo corte de la cañería Villavicencio
30 Mayo 1929	Malvinas-V. Atuel	Sismo local, muy destructivo y localizado. Daños totales en Colonia Malvinas y parciales en Villa Atuel
25 Abril 1967	Mendoza	Sismo local, daños en la ciudad de Mendoza y derrumbe de la Escuela Hogar por desperfectos.
23 Noviembre 1977	San Juan	Secundario. Afectó al Pastal y Lavalle produciendo licuefacción.
26 Enero 1985	Lomas de Lunlunta	Sismo local, daños en la ciudad de Mendoza

En este listado seleccionado se observa que en dos oportunidades se sintieron efectos destructivos en Mendoza, de terremotos chilenos (1647-1880), uno del sismo de San Juan (1977) y el resto de los movimientos fueron aparentemente ocasionados por fallas ubicadas en las cercanías de las áreas epicentrales.

Una característica de los grandes temblores mendozinos es su área de destrucción definida y localizada. Los mejores ejemplos de este tipo de movimiento son los terremotos de 1861 y 1920 de efectos devastadores

y con un elevadísimo porcentaje de pérdidas en vidas humanas para los núcleos urbanos afectados (figura 2).

Un parámetro que ha servido de efecto potenciador de esta destrucción ha sido el suelo arenoso, con una napa freática muy superficial, donde las evidencias de fenómenos de licuefacción con la presencia de grietas y volcanes de arena son comúnmente descriptos en los relatos históricos.

La reinterpretación de los datos sobre los terremotos que afectaron a la provincia, se ha visto favorecida por los

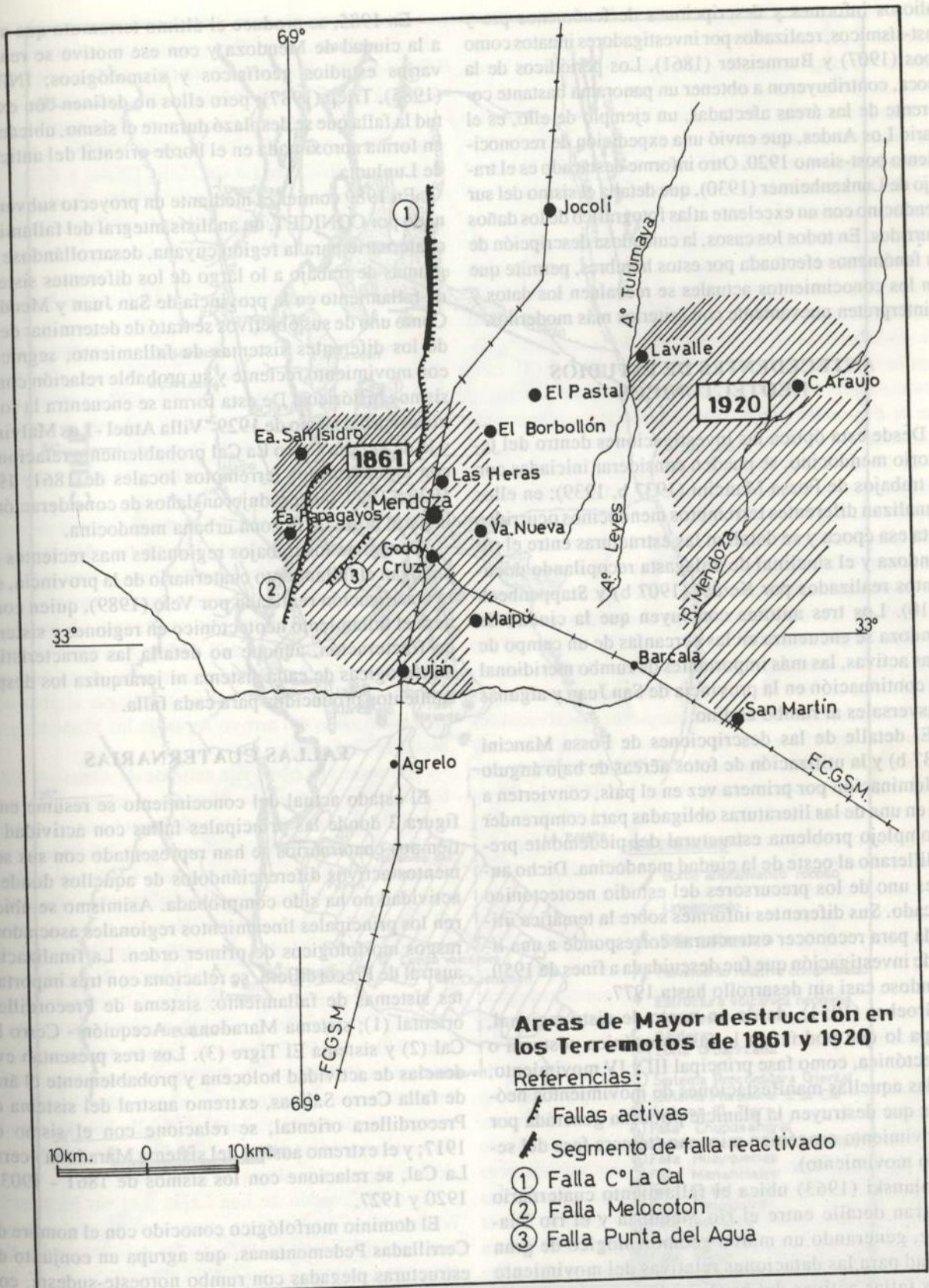


Figura 2: Áreas de mayor destrucción en los terremotos de 1861 y 1920.

valiosos informes y descripciones de fenómenos pre y post-sísmicos, realizados por investigadores innatos como Loos (1907) y Burmeister (1861). Los periódicos de la época, contribuyeron a obtener un panorama bastante coherente de las áreas afectadas, un ejemplo de ello, es el diario Los Andes, que envió una expedición de reconocimiento post-sismo 1920. Otro informe destacado es el trabajo de Lunkenheimer (1930), que detalla el sismo del sur mendocino con un excelente atlas fotográfico de los daños ocurridos. En todos los casos, la cuidadosa descripción de los fenómenos efectuada por estos hombres, permite que con los conocimientos actuales se reevalúen los datos y se interpreten nuevamente con criterios más modernos.

ANTECEDENTES DE ESTUDIOS NEOTECTONICOS

Desde esta óptica las investigaciones dentro del territorio mendocino, se pueden considerar iniciadas con los trabajos de Fossa Mancini (1937 b, 1939); en ellos se analizan diferentes terremotos mendocinos ocurridos hasta esa época y se detallan las estructuras entre el río Mendoza y el sinclinal de Salagasta recopilando documentos realizados por Keidel (1907 b) y Stappenbeck (1910). Los tres autores concluyen que la ciudad de Mendoza se encuentra en las cercanías de un campo de fallas activas, las más importantes de rumbo meridional con continuación en la provincia de San Juan y algunas transversales al rumbo andino.

El detalle de las descripciones de Fossa Mancini (1937 b) y la utilización de fotos aéreas de bajo ángulo de iluminación por primera vez en el país, convierten a ésta en una de las literaturas obligadas para comprender el complejo problema estructural del piedemonte precordillerano al oeste de la ciudad mendocina. Dicho autor es uno de los precursores del estudio neotectónico aplicado. Sus diferentes informes sobre la temática utilizada para reconocer estructuras corresponde a una línea de investigación que fue descuidada a fines de 1950, dejándose casi sin desarrollo hasta 1977.

Groeber (1951), desde un punto de vista regional, agrupa lo que podría ser la fase orogénica póstuma o neotectónica, como fase principal III y IV movimiento, a todas aquellas manifestaciones de movimientos neógenos que destruyen la planicie pliocena generada por el movimiento orogénico mioceno (tercera fase del segundo movimiento).

Polanski (1963) ubica el fallamiento cuaternario con gran detalle entre el río Mendoza y el río Diamante, generando un marco geomorfológico de gran utilidad para las dataciones relativas del movimiento de las fallas activas del borde andino en el sur mendocino.

En 1985, se produce el último terremoto que afecta a la ciudad de Mendoza y con ese motivo se realizan varios estudios geofísicos y sismológicos; INPRES (1985), Triep (1987); pero ellos no definen con exactitud la falla que se desplazó durante el sismo, ubicándola en forma aproximada en el borde oriental del anticlinal de Lunlunta.

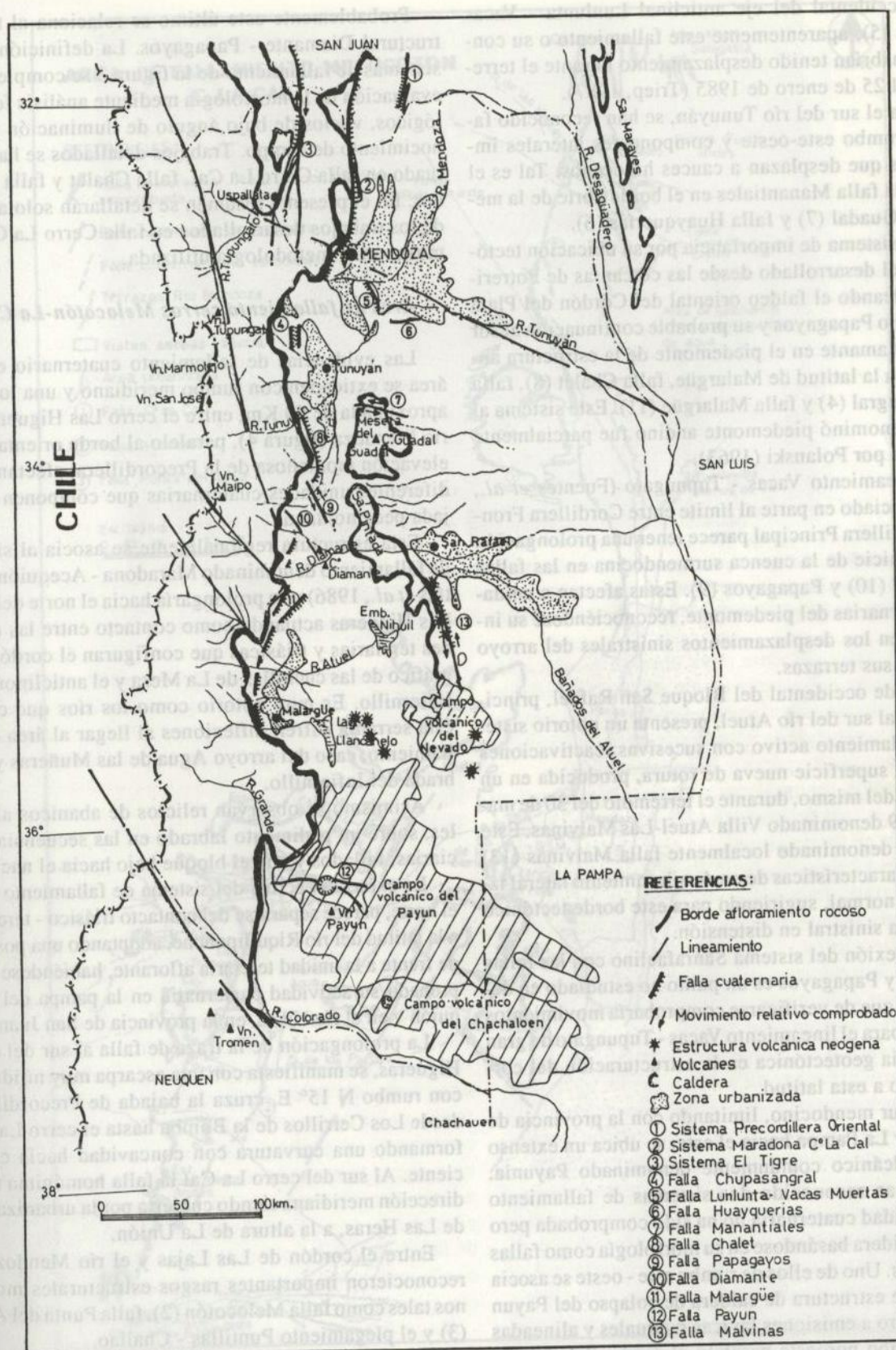
En 1989 comienza mediante un proyecto subvencionado por CONICET, un análisis integral del fallamiento cuaternario para la región cuyana, desarrollándose programas de trabajo a lo largo de los diferentes sistemas de fallamiento en la provincia de San Juan y Mendoza. Como uno de sus objetivos se trató de determinar dentro de los diferentes sistemas de fallamiento, segmentos con movimiento reciente y su probable relación con los sismos históricos. De esta forma se encuentra la rotura histórica del sismo de 1929 "Villa Atuel - Las Malvinas" y la de la falla Cerro La Cal probablemente relacionada con alguno de los terremotos locales de 1861; 1903; 1920 ó 1927, que produjeron daños de consideración en la parte norte de la zona urbana mendocina.

Dentro de los trabajos regionales mas recientes que analizan el fallamiento cuaternario de la provincia, está la clasificación realizada por Velo (1989), quien considera el fallamiento neotectónico en regiones y sistemas de fracturación, aunque no detalla las características morfológicas de cada sistema ni jerarquiza los desplazamientos producidos para cada falla.

FALLAS CUATERNARIAS

El estado actual del conocimiento se resume en la figura 3 donde las principales fallas con actividad en tiempos cuaternarios se han representado con sus segmentos activos diferenciándolos de aquellos donde la actividad no ha sido comprobada. Asimismo se ubicaron los principales lineamientos regionales asociados a rasgos morfológicos de primer orden. La finalización austral de Precordillera, se relaciona con tres importantes sistemas de fallamiento: sistema de Precordillera oriental (1); sistema Maradona - Acequión - Cerro La Cal (2) y sistema El Tigre (3). Los tres presentan evidencias de actividad holocena y probablemente el área de falla Cerro Salinas, extremo austral del sistema de Precordillera oriental, se relacione con el sismo de 1917; y el extremo austral del sistema Maradona - cerro La Cal, se relacione con los sismos de 1861 - 1903 - 1920 y 1927.

El dominio morfológico conocido con el nombre de Cerrilladas Pedemontanas, que agrupa un conjunto de estructuras plegadas con rumbo noroeste-sudeste, con participación de sedimentitas del Terciario superior-Cuaternario, presenta un importante fallamiento en el



borde occidental del eje anticlinal Lunlunta - Vacas Muertas (5); aparentemente este fallamiento o su conjugado habrían tenido desplazamiento durante el terremoto del 25 de enero de 1985 (Triep, 1987).

Hacia el sur del río Tunuyán, se han reconocido fallas de rumbo este-oeste y componentes laterales importantes que desplazan a cauces holocenos. Tal es el caso de la falla Manantiales en el borde norte de la meseta del Guadal (7) y falla Huayquerías (6).

Otro sistema de importancia por su ubicación tectónica, es el desarrollado desde las cercanías de Potrerillos bordeando el faldeo oriental del Cordón del Plata hasta el río Papagayos y su probable continuación al sur del río Diamante en el piedemonte de la estructura andina hasta la latitud de Malargüe, falla Chalet (8), falla Chupasangral (4) y falla Malargüe (11). Este sistema al que se denominó piedemonte andino fue parcialmente analizado por Polanski (1963).

El lineamiento Vacas - Tupungato (Fuentes *et al.*, 1986) asociado en parte al límite entre Cordillera Frontal y Cordillera Principal parece tener una prolongación en la planicie de la cuenca surmendocina en las fallas Diamante (10) y Papagayos (9). Estas afectan a unidades cuaternarias del piedemonte, reconociéndose su influencia en los desplazamientos sinistresales del arroyo Yaucha y sus terrazas.

El borde occidental del Bloque San Rafael, principalmente al sur del río Atuel, presenta un notorio sistema de fallamiento activo con sucesivas reactivaciones y con una superficie nueva de rotura, producida en un segmento del mismo, durante el terremoto del 30 de mayo de 1929 denominado Villa Atuel-Las Malvinas. Este segmento denominado localmente falla Malvinas (13) presenta características de un desplazamiento lateral izquierdo y normal, sugiriendo para este borde tectónico una cizalla sinistral en distensión.

La conexión del sistema Sanrafaelino con las fallas Diamante y Papagayos es un punto no estudiado en detalle, pero que de verificarse comprobaría movimientos de rumbo para el lineamiento Vacas - Tupungato de gran importancia geotectónica en la estructuración del cordón andino a esta latitud.

En el sur mendocino, limitando con la provincia de Neuquén y La Pampa hacia el este, se ubica un extenso campo volcánico comúnmente denominado Payunia. En él se han reconocido dos sistemas de fallamiento cuya actividad cuaternaria no ha sido comprobada pero se los considera basándose en su morfología como fallas potenciales. Uno de ellos de rumbo este - oeste se asocia a la posible estructura de caldera de colapso del Payun (12) y el otro a emisiones lávicas puntuales y alineadas con un rumbo noroeste paralelo al rumbo del sistema San Rafael.

Probablemente este último se relaciona al tren estructural Diamante - Papagayos. La definición de los sistemas de fallamiento de la figura 3 se completó con: evaluación de la morfología mediante análisis fotogeológicos, vuelos de bajo ángulo de iluminación y reconocimiento de campo. Trabajos detallados se han efectuado en falla Cerro La Cal, falla Chalet y falla Malvinas. En el presente resumen se detallarán solo algunos de los trabajos desarrollados en falla Cerro La Cal que muestran la metodología utilizada.

Area de fallamiento cerros Melocotón-La Cal

Las evidencias de fallamiento cuaternario en esta área se extienden con rumbo meridiano y una longitud aproximada de 60 Km, entre el cerro Las Higueras y el río Mendoza (figura 4), paralelo al borde oriental de la elevación montañosa de la Precordillera, afectando las diferentes unidades cuaternarias que componen la bajada pedemontana.

Esta estructura regionalmente se asocia al sistema de fallamiento denominado Maradona - Acequión (Bastías *et al.*, 1986) y se prolongaría hacia el norte del cerro Las Higueras actuando como contacto entre las unidades terciarias y triásicas que configuran el cordón orográfico de las cuchillas de La Mesa y el anticlinorio del Infiernillo. Es muy notorio como los ríos que cruzan esta serranía sufren inflexiones al llegar al área de fallamiento, caso del arroyo Agua de las Muñeras y quebrada del Infiernillo.

Asimismo se observan relictos de abanicos aluviales, sobre un pedimento labrado en las secuencias terciarias, fallados y con el bloque bajo hacia el naciente.

La expresión activa del sistema de fallamiento hacia el norte, parece separarse del contacto triásico - terciario, a la latitud del río Riquiliponche, adoptando una posición de frente a la unidad terciaria aflorante, habiéndose comprobado su actividad cuaternaria en la pampa del Acequión y en el río Nikes, en la provincia de San Juan.

La prolongación de la traza de falla al sur del cerro Higueras, se manifiesta con una escarpa muy nítida que con rumbo N 15° E, cruza la bajada de Precordillera, desde Los Cerrillos de la Bomba hasta el cerro La Cal, formando una curvatura con concavidad hacia el naciente. Al sur del cerro La Cal la falla homónima toma dirección meridiana siendo cubierta por la urbanización de Las Heras, a la altura de La Unión.

Entre el cordón de Las Lajas y el río Mendoza se reconocieron importantes rasgos estructurales modernos tales como falla Melocotón (2), falla Punta del Agua (3) y el plegamiento Puntillas - Challao.

Estas evidencias de actividad tectónica reciente podrían presentar una aparente relación con la falla Cerro

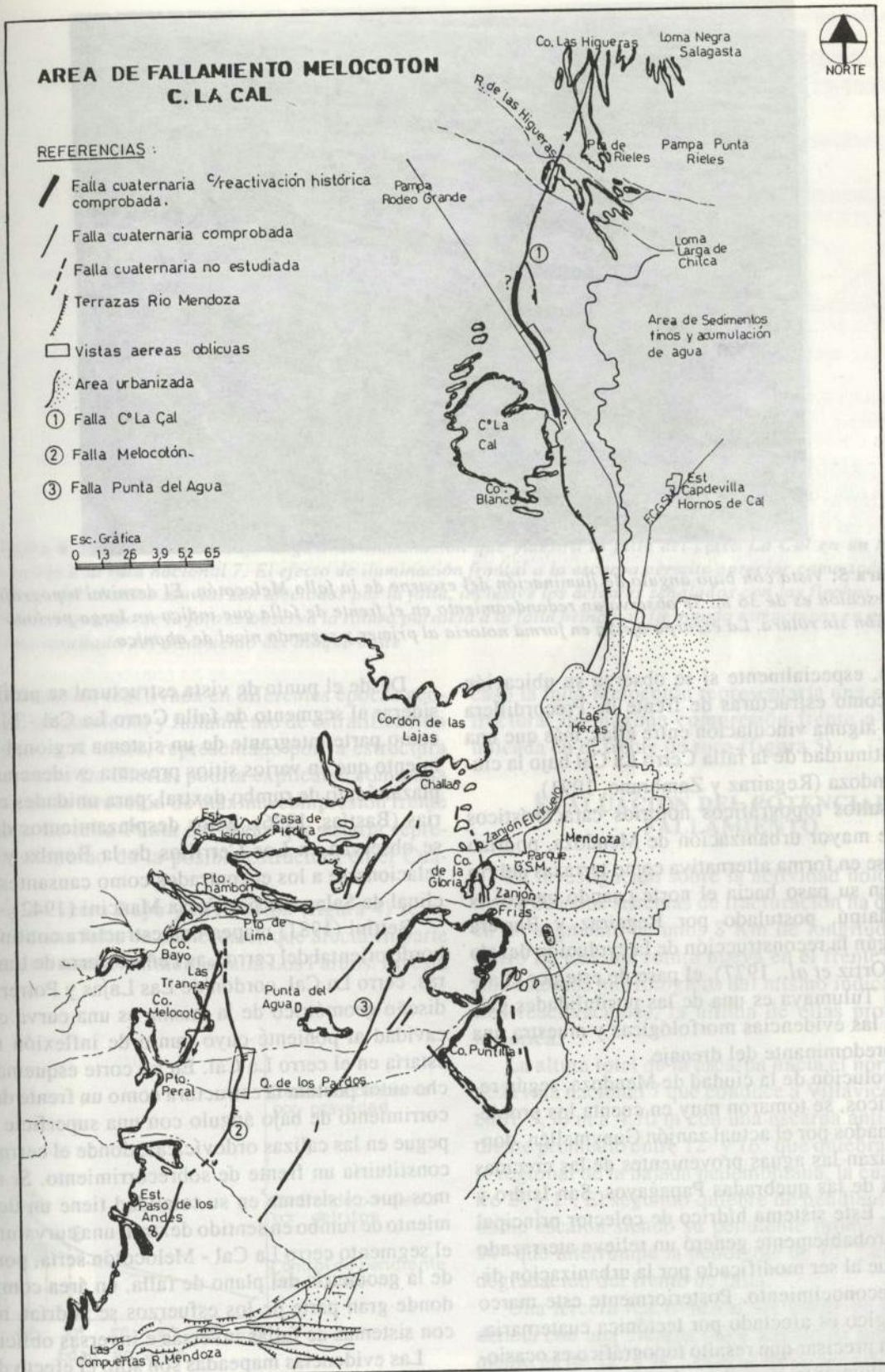


Figura 4: Area de fallamiento Cerro Melocotón-Cerro La Cal.



Figura 5: Vista con bajo ángulo de iluminación del escarpe de la falla Melocotón. El desnivel topográfico del escalón es de 36 m. Se observa un redondeamiento en el frente de falla que indica un largo período de erosión sin rotura. La escarpa afecta en forma notoria al primer y segundo nivel de abanico.

La Cal (1), especialmente si se observa su ubicación tectónica como estructuras de frente de Precordillera sugiriendo alguna vinculación entre ellas, más que una simple continuidad de la falla Cerro La Cal bajo la ciudad de Mendoza (Regairaz y Zambrano, 1991).

Los resaltos topográficos notorios característicos del área de mayor urbanización de Mendoza, podrían interpretarse en forma alternativa como terrazas del río Mendoza en su paso hacia el norte cuando generó el abanico Maipú, postulado por Regairaz y Barrera (1975). Según la reconstrucción de la evolución del río Mendoza (Ortiz *et al.*, 1977), el paso de este por el actual arroyo Tulumaya es una de las posibilidades más acorde con las evidencias morfológicas y muestra una dirección predominante del drenaje.

En la evolución de la ciudad de Mendoza, según relatos históricos, se tomaron muy en cuenta los problemas ocasionados por el actual zanjón Guaymallén, donde se canalizan las aguas provenientes de las crecidas temporarias de las quebradas Papagayos, San Isidro y Los Pardos. Este sistema hídrico de colector principal norte-sur, probablemente generó un relieve aterrazado complejo que al ser modificado por la urbanización dificulta su reconocimiento. Posteriormente este marco geomorfológico es afectado por tectónica cuaternaria, por ello para precisar que resalto topográfico es ocasionado por fallamiento y cual es de génesis erosiva se requiere de tareas muy detalladas.

Desde el punto de vista estructural se prefiere considerar al segmento de falla Cerro La Cal - Melocotón como parte integrante de un sistema regional de fallamiento que en varios sitios presenta evidencias de desplazamiento de rumbo dextral, para unidades cuaternarias (Bastías, 1986). Estos desplazamientos de rumbo se observan en Los Cerrillos de la Bomba y podrían relacionarse a los encontrados como causantes del sinclinal de Salagasta por Fossa Mancini (1942).

Bettini (1981) mapea una estructura continua en el borde oriental del cerro Las Peñas, sierra de Las Higuerras, cerro La Cal, cordón de Las Lajas y Potrerillos. El diseño geométrico de la misma es una curva con concavidad al poniente cuyo punto de inflexión máximo estaría en el cerro La Cal. En un corte esquemático dicho autor postula la estructura como un frente de sobrecorrimiento de bajo ángulo con una superficie de despegue en las calizas ordovícicas, donde el cerro La Cal constituiría un frente de sobrecorrimiento. Si suponemos que el sistema en su totalidad tiene un desplazamiento de rumbo en sentido dextral, una curvatura como el segmento cerro La Cal - Melocotón sería, por efecto de la geometría del plano de falla, un área compresiva donde gran parte de los esfuerzos se podrían resolver con sistemas de fallas inversas e inversas oblicuas.

Las evidencias mapeadas son sólo el efecto de reactivación de la falla en los últimos cientos de miles de años, probablemente el sistema de fallamiento es una

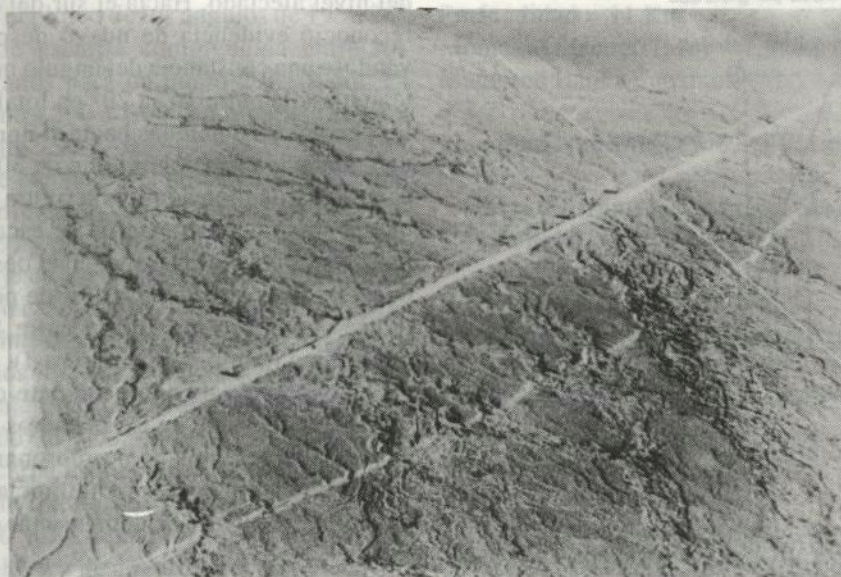


Figura 6 : Foto aérea de bajo ángulo de iluminación que muestra la falla del cerro La Cal en un tramo paralelo a la ruta nacional 7. El efecto de iluminación frontal a la escarpa permite apreciar como todos los niveles del abanico aluvial son afectados por la falla, inclusive los actuales señalados con las flechas. En el ángulo izquierdo de la foto se observa la rotura paralela a la falla principal, formando estructuras en graben como resultado del alzamiento del bloque oeste

antigua estructura reactivada en diferentes épocas geológicas. El plegamiento y fallamiento de estratificación con vergencia al oeste, representado por la estructura Challao - cerro La Gloria, podría explicarse como una resultante de la dirección de máxima compresión frente a la cizalla de falla Punta del Agua que estaría representando el rumbo de la posible estructura en el Cuaternario.

Al pie de cerro Bayo y Melocotón (figura 4) se ha reconocido una falla en cuaternario que afecta en parte a la roca, con rumbo paralelo a falla Los Pardos. En este

caso la falla Melocotón representaría una situación estructural de máxima compresión frente a una cizalla ubicada en el frente de roca (figura 5).

EVALUACION DEL POTENCIAL DE FALLAMIENTO

La investigación sobre la actividad holocena e histórica de estos sistemas de fracturación ha determinado en un segmento de unos 8 Km de longitud de la falla Cerro La Cal una rotura nueva en el frente de escarpa. Los estudios morfológicos del mismo indican al menos tres reactivaciones, la última de ellas probablemente histórica.

La altura total de la escarpa hacia el norte del cruce de la ruta nacional 7 que conduce a Villavicencio oscila entre 3,50 m a 4,70 m con una escarpa antigua de pendiente promedio entre 12° y 16° que quiebra la pendiente regional de la bajada pedemontana, la cual oscila entre 2° y 1° . El segundo quiebre de pendiente genera un doble escalón siendo su pendiente promedio de 19° y 24° que interrumpe la pendiente de 12° producto de la degradación del frente de falla.

Una tercera reactivación del frente de falla se evidencia con una escarpa cuyo ángulo de pendiente promedio es de $32^\circ - 34^\circ$; este se ha reconocido a lo largo de unos 8 - 10 Km con muy buena expresión y con una cara libre que varía de 1,20 m a 0,66 m de altura siendo este último el valor mas común (figura 6).

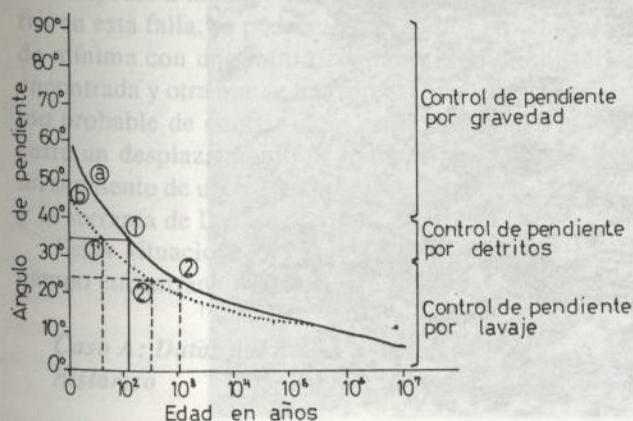


Figura 7: Límites del ángulo de pendiente principal versus edad de la escarpa de falla.

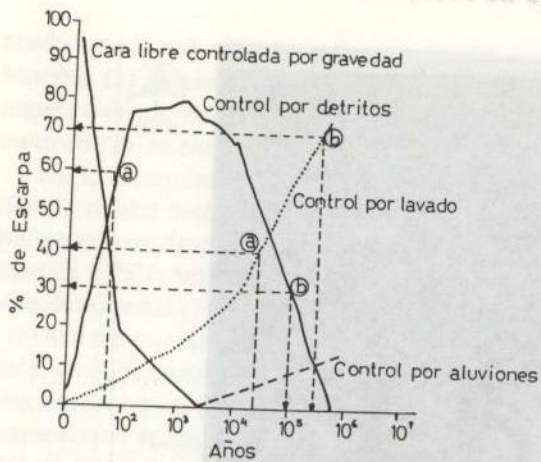


Figura 8 : Control de procesos versus edad de la escarpa.

En el segmento activo de falla Cerro La Cal se reconocieron líneas de rotura paralelas al escalón principal como grietas y pequeños grabens asociados al frente de falla (figura 6); ésto indica una posible extensión de la parte posterior de la fractura frente a un renovado desplazamiento, morfología que se podría ajustar a sus características de falla inversa.

Las máximas alturas de la escarpa de falla Cerro La Cal, se encuentran en las cercanías del afloramiento paleozoico y al sur del mismo donde la falla afecta abanicos aluviales provenientes del frente de precordillera con alturas que oscilan entre 9 a 16 m, según la edad

del nivel afectado. Hacia el sur del cerro La Cal no se reconoció evidencia de nuevo desplazamiento observándose una constancia del ángulo máximo de pendiente que oscila entre 16° a 20° en total concordancia con las pendientes obtenidas hacia el norte del cerro La Cal pero sin evidencia del quiebre de $30\text{--}34^\circ$. Los datos de campo fueron ploteados en la figura 7. Si bien es cierto que la curva de degradación de escarpa se obtuvo con datos de fallamiento normal en el oeste de Estados Unidos; el ploteo directo del valor de pendiente de $32\text{--}34^\circ$ indica una edad aproximada entre 100 y 200 años de antigüedad (punto 1 de la figura 7).

La evolución de una pendiente de escarpa en falla inversa es diferente en los primeros estadios de su erosión por la presencia de desmoronamientos del frente, siendo el ángulo de pendiente inicial menor y la duración de la pendiente de detritos más extensa en el tiempo.

En general, se han reconocido en el fallamiento inverso de Precordillera dos facies de degradación: una donde la pendiente es controlada por detritos y agua, y otra muy prolongada en el tiempo, donde la pendiente es controlada por el lavaje proveniente de precipitaciones y la escorrentía natural del piedemonte. Considerando estos parámetros se ha construido una gráfica paralela que representaría la evolución de una escarpa de falla inversa. En ella el ploteo del ángulo de nueva rotura encontrado indica edades inferiores a los 100 años (punto 1' de la figura 7).

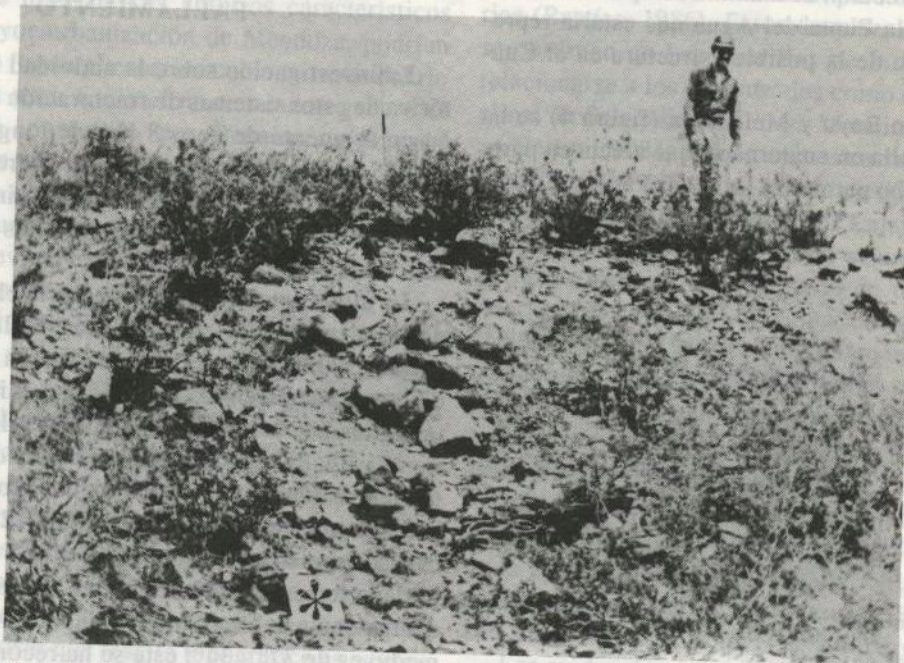


Figura 9 : Vista del frente de escarpa de falla cerro La Cal en el segmento con nuevo desplazamiento. Nótese la pendiente abrupta de 30° a 34° controlada por detritos y lavaje. El desplazamiento vertical entre el jalón y el cuaderno ubicado a la base es de 1,20 m.

Por el contrario el ploteo de los ángulos de 19° a 24° indicaría edades de escarpa comprendida entre los 1.000 y los 5.000 años para un punto 2 de la gráfica original y edades entre 500 a 1.000 años para la gráfica suplementaria (punto 2').

En la figura 8 se consideró el porcentaje de escarpa controlada por detritos para el sector norte de falla Cerro La Cal (figura 9) y el porcentaje de la escarpa controlada por un lavaje de escorrentías en el sector sur de la falla. En el primer caso el 60 % de control de pendiente por detritos indica edades de degradación con un máximo de 100 años y el resto de la escarpa que está controlada por lavaje podría provenir de escarpas con edades entre los 10.000 y 20.000 años. En el segundo caso el 70 % la escarpa está controlada por lavaje y el 30 % por detritos lo que indicaría edades para esa escarpa entre 100.000 y 300.000 años. Concordando con la ubicación morfológica de ángulos medidos en un antiguo abanico al sur de cerro La Cal.

De esta forma se obtienen edades relativas de los posibles períodos de movimiento en la estructura. Los más antiguos tendrían rangos mayor o igual a 100.000 años; un segundo período de actividad habría ocurrido en el rango de 10.000 a 20.000 años y por último existiría dentro del Holoceno un desplazamiento de unos 2,95 m con una antigüedad del orden de los 5.000 años, probablemente en una longitud de rotura mayor de 20 Km. La última actividad de la falla con desplazamiento sería el movimiento histórico datado en el orden del centenar de años.

Estas consideraciones sobre la edad relativa de las escarpas indican una juventud para los rasgos tectónicos donde las máximas alturas de 9 y 10 m corresponderían a rangos de movilidad promedio de 0,01 cm/año fallas tipo B de la clasificación de Matsuda, considerando la distribución de la actividad a través del tiempo.

Respecto a la magnitud del sismo probable de ocurrir en esta falla, se podrían plantear dos hipótesis: una de mínima con una rotura similar a la rotura histórica encontrada y otra que se interpreta como el máximo sismo probable de ocurrir en la estructura donde la falla sufre un desplazamiento de unos 2,95 m a lo largo de un segmento de unos 25 Km entre el cerro Las Higueras y la serranía de Las Lajas (figura 4).

Estas situaciones fueron evaluadas con datos de campo encontrándose las siguientes relaciones:

Caso A: Datos del nuevo desplazamiento histórico

Longitud rotura = 9 Km

Desplazamiento vertical más común = 0,65 m

Desplazamiento vertical máximo encontrado = 1,20 m

Profundidad = 11 Km

Momento Sísmico (M_0) = $1,9305 \times 10^{25}$ din x cm
Magnitud Hanks Kanamori (M_s) = 6,15; Intensidad (I_0) = 7,7

Magnitud Nuttli (M_s) = 6,7 a 7; Intensidad (I_0) = 9

Caso B: Datos del máximo desplazamiento potencial

Longitud rotura = 25 Km

Desplazamiento vertical característico = 2,95 m

Profundidad = 11 Km

Momento sísmico (M_0) = $2,43 \times 10^{26}$ din x cm

Magnitud Nuttli (M_s) = 7,2 a 7,6

Intensidad (I_0) = 9,9

La recurrencia de sismos de estas características tomando como hipótesis la distribución del movimiento en el tiempo se calcula en intervalos de 400 - 500 años para la magnitud 6 a 6,5 e intervalos superiores a los 10.000 años para sismos máximos de magnitud mayor o igual a 7.

Uno de los puntos más delicados en este tipo de evaluación es poder determinar en que parte de la ventana de tiempo se encuentra el momento del análisis, para lo cual se deberán obtener edades absolutas de los sedimentos cuaternarios afectados mediante dataciones apropiadas.

CONCLUSIONES

Los trabajos desarrollados al presente en la temática neotectónica de la provincia de Mendoza indican un extenso campo de estudio por desarrollar, tanto desde el punto de vista del peligro potencial de ocurrencia de un movimiento del suelo como desde el punto de vista de la arquitectura tectónica neógena.

La determinación de dos desplazamientos históricos, el de 1929 y 1861 ofrecen laboratorios de trabajo muy importantes que deberán ser analizados detalladamente en el futuro.

El sitio epicentral del sismo de 1861 plantea ciertos interrogantes debido a que el área de máxima destrucción no se asocia con la ubicación del nuevo desplazamiento encontrado.

Un movimiento de suelo de magnitud 6 o 7 como el determinado con la nueva rotura implica una aceleración del suelo en la ciudad de Mendoza distante a 18 Km de 15 % a 20 % de g.

Las características del suelo bajo la ciudad de Mendoza no son favorables para atenuar los movimientos. Es probable que la aceleración producida en suelos arenosos, como los que caracterizaron a la antigua zona

