

ANEXO 11

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

**PROYECTO GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
ZONA METROPOLITANA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA**

2017

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. RASGOS GEOLÓGICOS GENERALES	3
3. GEOMORFOLOGÍA GENERAL Y ZONA DE ESTUDIO.....	5
3.1 PRECORDILLERA	6
3.2 CERRILLADAS PEDEMONTANAS ASOCIADAS AL PIEDEMONTA DE LA PRECORDILLERA	6
3.3 PLANICIES AGRADACIONALES PEDEMONTANAS	7
3.4 LLANURA ORIENTAL FLUVIOEÓLICA (DEPRESIÓN DE LA TRAVESÍA)	7
4. FALLAS CUATERNARIAS	9
5. RESEÑA FISIOGRAFICA.....	10
6. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	12
6.1 CUADRO ESTRATIGRÁFICO CUENCA CUYANA.....	13
7. SISMICIDAD Y RIESGOS ASOCIADOS.....	17
7.1 SISMICIDAD HISTÓRICA EN MENDOZA	17
7.2 RELACIÓN TECTÓNICA – SISMICIDAD.....	20
7.3 PELIGRO SÍSMICO Y RIESGO SÍSMICO	22
7.4 ZONIFICACIÓN SÍSMICA NACIONAL Y PROVINCIAL	24
7.5 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL GRAN MENDOZA.....	28
7.5.1 Fuentes Sísmicas Potenciales	29
7.5.2 Configuración Fisiográfica del Área Metropolitana de Mendoza	30
7.5.3 Distribución y Características de los sedimentos aluviales	33
7.5.4 Agua Subterránea	34
7.5.5 Conclusiones de los suelos del área de estudio	36
7.5.6 Licuación Histórica.....	39
7.5.7 Zonificación del peligro sísmico.....	41
7.5.7.1 Movimiento del terreno	41
7.5.7.2 Peligro de licuación.....	41
7.5.7.3 Peligro de rotura superficial	43
7.5.8 Situación específica en el sitio de implantación del proyecto	46
8. APTITUD DE USO DEL SUELO.....	50
8.1 USOS APTOS	50

8.2 USOS NO APTOS 50

ANEXO 11

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se presentará un resumen de las características geológicas y geomorfológicas de la Zona Metropolitana, con algunas referencias a las estructuras provinciales y datos específicos sobre el terreno de implantación.

2. RASGOS GEOLÓGICOS GENERALES

La Zona de Estudio presenta en su borde occidental, un estilo tectónico influido por la Precordillera. Por lo tanto, esta región se caracteriza por presentar un basamento fracturado, cubierto por un manto sedimentario de unos 5.000 metros de espesor, en la mayor parte de su extensión.

Las fallas que afectan el basamento, también han dislocado en la generalidad de los casos, a la cubierta sedimentaria, si bien localmente y cerca del límite occidental del área, han plegado levemente dicha cubierta. Estas fallas pueden ser normales o inversas. Las que son paralelas a los cordones montañosos de la Precordillera son inversas, de alto ángulo, de rumbos NNO – SSE, NNE – SSO y NS. Estas fallas pueden alcanzar rechazos (cantidad de movimiento en el plano de la falla) de varios kilómetros al tope de los terrenos terciarios, es decir, a la base de los terrenos portadores de acuíferos.

Existen también fracturas transversales a las nombradas, y corresponden a las fallas normales ya mencionadas, generalmente con rumbo ONO-ESE o EO.

Casi todas estas fracturas alcanzan la superficie. Su expresión superficial consiste en rupturas de pendiente o en “escalones” más o menos rectilíneos, de uno a tres metros de altura aproximadamente.

El estilo estructural precordillerano influye solamente en la *base limítrofe occidental* de la Zona de Estudio. Se caracteriza por el plegamiento intenso de los terrenos del basamento y la base impermeable, en anticlinales asimétricos, con un flanco tendido y el otro vertical o rebatido. Éste último generalmente coincide con una falla inversa de bajo ángulo, que suele consistir en una verdadera superficie de corrimiento. Estas fallas y zonas de corrimiento tienen rumbo N-S, NNE-SSO y localmente NE-SO, con frecuentes deflexiones de rumbo.

Al Este de la Precordillera existe la Cerrillada Pedemontana, integrada por lomadas con afloramientos terciarios, donde el plegamiento asimétrico de los estratos es menos intenso que en los terrenos Precordilleranos. Su estilo de deformación, por lo tanto, es

menos intenso que el de la Precordillera y se suaviza hacia el este. Dicha cerrillada constituye el límite occidental de la Zona de Estudio.

Para reseñar las condiciones geológicas de parte del área objeto de estudio, se ha dividido en dos subzonas (Ver **Figura 1**), ya que revelan aspectos diferenciales, una en correspondencia con el sector *noroeste*, y la otra al *sudoeste* en la que aún no se han realizado tareas de corrección ni de contención de aluviones, razón por la que en ésta se detallan, con mayor precisión, las características de las diversas formaciones interesadas por futuras obras.

El sector *noroeste* abarca desde el arroyo San Isidro hasta inmediatamente al sur del Zanjón Frías, la cual muestra una secuencia estratigráfica bien estudiada con diversas unidades y distintas características litológicas. Entre éstas se destacan: los depósitos cuaternarios de la Formación Los Mesones, formados por gravas polimícticas poco consolidadas de origen fluvial y espesores variables y la Formación La Invernada con gravas polimícticas poco consolidadas, correspondientes al primer y segundo nivel de piedemonte.

Las condiciones estratigráficas y litológicas para el sector *sudoeste*, desde inmediatamente al sur del Zanjón Frías hasta el sur del río Seco Tejo; es decir, del sector oeste comprendido entre Godoy Cruz y Luján de Cuyo, se caracterizan por depósitos cuaternarios, representados por las Formaciones Los Mesones y La Invernada. Se trata de depósitos aterrazados en los cuales se distinguen geomorfológicamente dos niveles claramente definidos. La composición litológica de ambos y sus características geotécnicas son muy similares, por lo cual pueden ser tratadas en forma conjunta. Están constituidas por gravas con escasa matriz arenosa o de materiales finos. En los taludes existentes se observa que, prácticamente, carecen de estratificación.

Estos depósitos, que probablemente pertenecen a viejos conos están cortados por los cauces y zanjones de los ríos actuales.

Los depósitos aluvionales recientes están constituidos por gravas arenosas que revelan una matriz arenosa abundante e intercalaciones netas de este material. El espesor de estos rellenos tiende a aumentar hacia el este.



Figura 1: Rasgos geológicos zona de estudio

3. GEOMORFOLOGÍA GENERAL Y ZONA DE ESTUDIO

De los cuatro sectores geomorfológicos principales en los que se divide la Provincia de Mendoza (Montaña, Piedemonte, Planicie y Payunia), sólo parcialmente la Montaña, el Piedemonte y la Planicie son abarcados por la Zona de Estudio (refiriéndonos a la extensión completa de los Departamentos de la Zona Metropolitana).

La Montaña, constituida exclusivamente por la Cordillera de Los Andes, se extiende en la Provincia de Mendoza en una franja de aproximadamente 180 km de ancho, ocupando una tercera parte del territorio provincial, y está conformada por tres unidades orográficas:

- **Cordillera Principal o del Límite:** en ella se encuentran los picos más elevados, tales como el Cerro Aconcagua de 6.956 m, o el Cerro Tupungato de 6.800 m, ubicándose también volcanes apagados o en estado de letargo.
- **Cordillera Frontal:** ubicada al este de la anterior, presenta formaciones montañosas tales como el Cordón del Plata, con una altura promedio de 5.800 m.
- **Precordillera:** es un macizo más bajo que el anterior, situado a continuación y hacia el este, terminado a la altura de Cacheuta.

En el sector limitado al Oeste por las planicies conocidas como Depresión de Los Huarpes – Graven de Tunuyán (Polansky 1963) y al Este por la Depresión de la Travesía, y sin llegar a constituir una unidad orográfica en sí misma, existen las Cerrilladas Pedemontanas, integradas por lomadas con afloramientos terciarios.

La Zona de Estudio, como ya se mencionó, abarca sectores de algunas de las unidades morfoestructurales de la Provincia de Mendoza, que se pueden observar en la **Figura 2**. Estas unidades son:

- Precordillera
- Cerrilladas Pedemontanas asociadas al Piedemonte de la Precordillera.
- Planicies Agradacionales Pedemontanas.
- Llanura Oriental Fluvioeólica (Depresión de la Travesía).

3.1 PRECORDILLERA

La Zona de Estudio incluye en su parte occidental a sectores reducidos del borde oriental de la Precordillera (Aparicio et al, 1955; Harrington, 1971), representada por afloramientos de formaciones del Paleozoico inferior y superior y del Triásico sobrepuestos a depósitos de edad terciaria superior mediante fallas inversas, con plano de falla inclinada hacia el oeste. Tales estructuras, originadas a fines del Terciario, y con evidencias de actividad tectónica, han generado un relieve abrupto, con alturas de entre 1500 a 2000 msnm que ha precipitado una activa erosión retrocedente potenciada por la menor altitud de las Cerrilladas Pedemontanas (altitudes medias de 800 a 1000 msnm) y las Planicies Agradacionales Pedemontanas (altitudes medias de 600 a 900 msnm) ubicadas hacia el Este (aguas abajo).

3.2 CERRILLADAS PEDEMONTANAS ASOCIADAS AL PIEDEMONTA DE LA PRECORDILLERA

Son cordones submeridionales bajos, que bordean a la Precordillera por el oriente. Permiten el afloramiento de sedimentitas plegadas del Terciario Superior (Mioceno). En el oeste de la Zona de Estudio constituyen el cordón de *El Challao – Chacras de*

Coria, que está seccionado por la erosión fluvial provocada por los arroyos que bajan de la Precordillera y, en el límite sur, por el Río Mendoza. Este cordón está conformado por depósitos limo-arenosos y principalmente conglomerádicos de la Formación Mogotes (Plioceno) conglomerádicos de Pleistoceno inferior y en el norte de la Zona de Estudio se ubican las cerrilladas de El Borbollón, conformado por una estructura anticlinal, que constituiría un pliegue de crecimiento (Costa, 2003) que permite el afloramiento de sedimentitas limo-arenosas y arcillosas de edad miocena.

3.3 PLANICIES AGRADACIONALES PEDEMONTANAS

La Zona de Estudio está constituida principalmente por la coalescencia del cono aluvial del Río Mendoza y los conos aluviales de los arroyos procedentes de la vertiente oriental de la Precordillera, y constituyen el sustrato de la mayor parte del área urbana y suburbana del Gran Mendoza. Las mayores altitudes pertenecen a la parte alta del cono aluvial del Río Mendoza, aproximadamente 900 msnm y las menores, ubicadas en zonas distales de las bajadas en el este de Maipú y de Guaymallén (aproximadamente 600 msnm). Los depósitos de canto rodado grueso, disminuyen en granulometría y espesor hacia el Este y el Norte. Los sedimentos gruesos asociados al Río Mendoza, son redondeados y resistentes por su mayor distancia de transporte. En cambio los transportados por los arroyos precordilleranos son más angulosos y menos clasificados. Los sedimentos pertenecen a las Formaciones Los Mesones, La Invernada y depósitos modernos.

3.4 LLANURA ORIENTAL FLUVIOEÓLICA (DEPRESIÓN DE LA TRAVESÍA)

Esta gran unidad es una llanura de acumulación fluvial levemente inclinada hacia el Este y Norte, cuyo colector principal es el Río Mendoza. En ella se observa en su parte occidental una zona de transición con los conos aluviales de las Planicies Agradacionales Pedemontanas. También son observables cauces abandonados del Río Mendoza en sus sucesivos desplazamientos hacia el Norte. Los depósitos son de materiales finos: arenas, limos y arcillas transportadas por el Río Mendoza y arroyos precordilleranos.

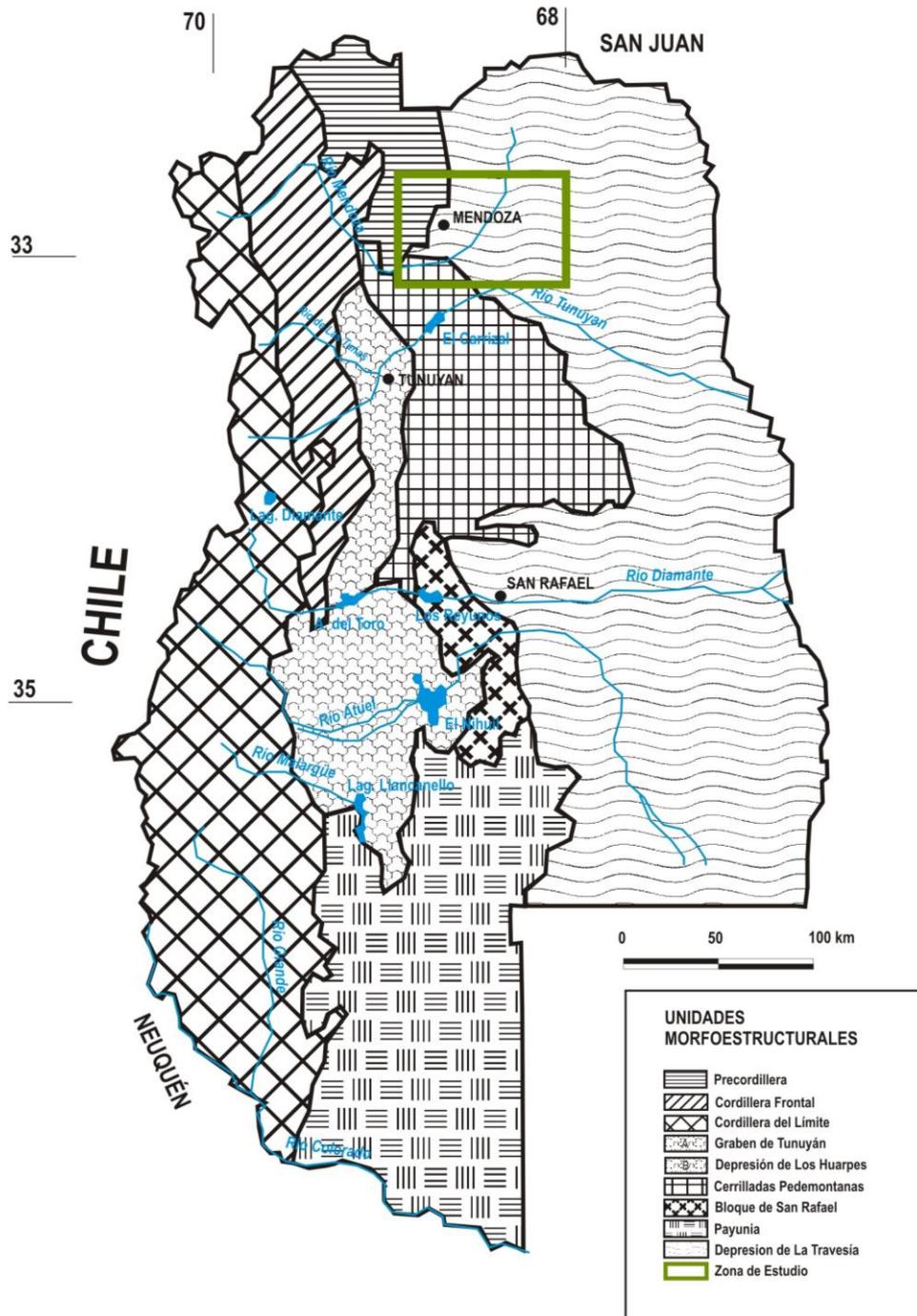


Figura 2: Unidades Morfoestructurales Provincia de Mendoza

4. 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.

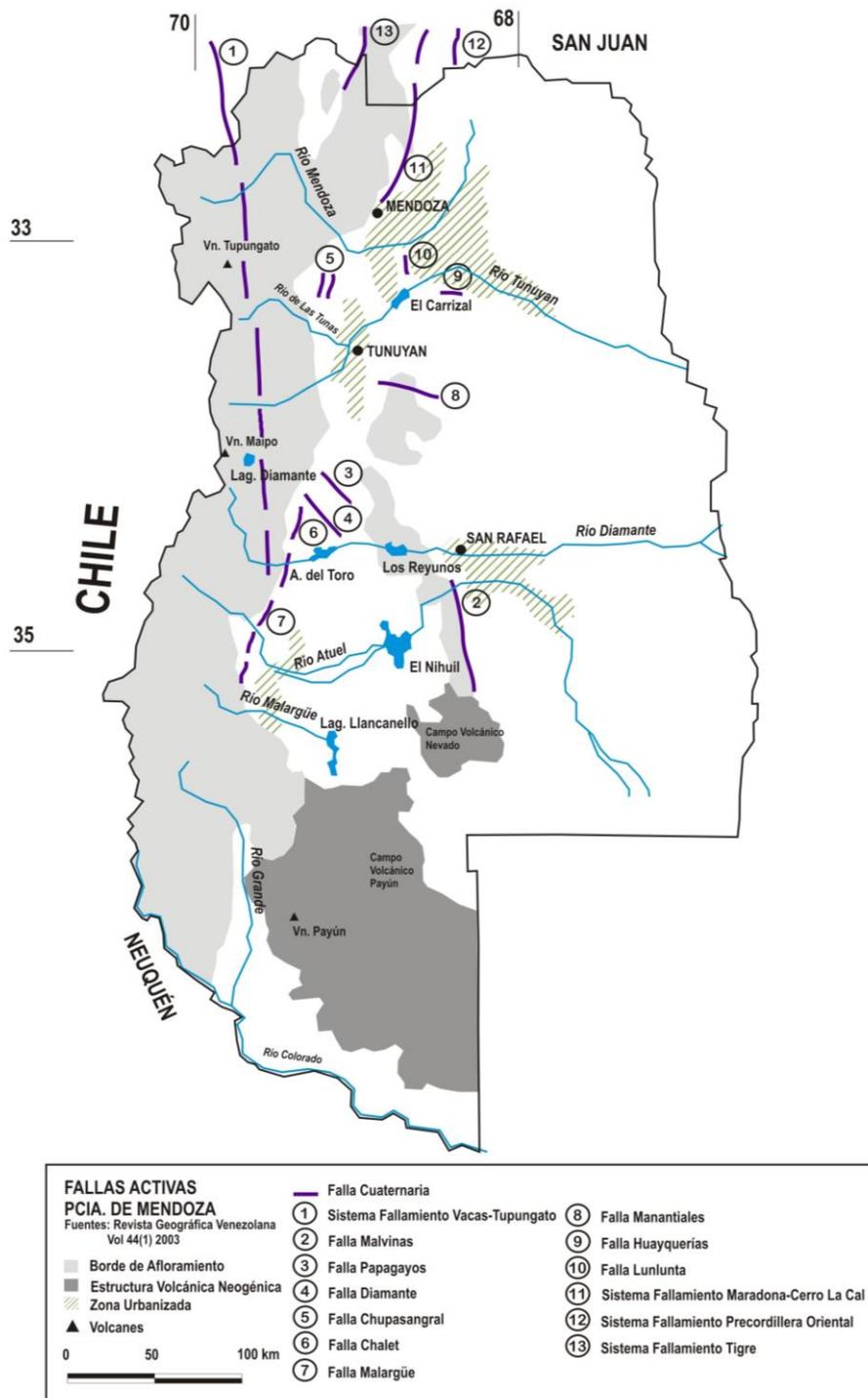


Figura 3: Fallas Cuaternarias de la Provincia de Mendoza

5. RESEÑA FISIOGRÁFICA

En la Zona Metropolitana de Mendoza se diferencian las Unidades Fisiográficas que se listan a continuación, excluyendo las cerrilladas que le sirven de límite al oeste y sudoeste:

- **Abanicos aluviales del Río Mendoza:** con pendiente al este y noreste, los que tienen cotas que varían entre 900 y 700 metros sobre el nivel del mar. Aportan al sistema como consecuencia de procesos de erosión hídrica, sedimentos gruesos de la Formación Mogote como: grava, arena gruesa y arena fina parda y amarillenta. Las gravas están bien redondeadas, lo que indica un intenso transporte fluvial. Todo esto sumado a cenizas, producto de la deposición eólica. Hay fallas activas sepultadas por modernos abanicos aluviales.
- **Llanura de Transición del Río Mendoza:** se extiende entre el límite distal de los nombrados abanicos y la llanura distal de dicho río; se encuentra entre 700 y 590 metros sobre el nivel del mar. En esta llanura los procesos de erosión hídrica, como consecuencia de la disminución de la pendiente, arrastran sólo sedimentos medios como: arena gruesa y arena fina parda y amarillenta. También a esto se le deben sumar cenizas volcánicas y material fino producto de la deposición eólica, básicamente traídas por el Viento Zonda. Hay fallas activas sepultadas por modernos abanicos aluviales.
- **Llanura Distal del Río Mendoza:** abarca el área situada al norte de la unidad precedente y se extiende hasta el límite de la Provincia de San Juan, donde se confunde con la llanura distal del Río San Juan. Esta unidad presenta altitudes entre 590 y 540 metros sobre el nivel del mar. El pequeño caudal de los ríos secos de esta zona, nunca pudo integrarse a la red de los cursos orientales (Arroyo Leyes y Tulumaya o Río Mendoza), debido a la barrera de las lomadas orientales y a su escasa potencia hidráulica. Posteriormente un curso menor, a favor de la estructura fallada de la Sierra de Las Peñas fue avanzando sus cabeceras hasta capturar el antiguo drenaje a la mitad de su recorrido. La cabecera del Río Las Peñas siguió el nuevo curso a través del portezuelo abierto en la serranía. El tramo inferior residual, es el río Las Higueras. La captura dio nacimiento a un pequeño cono fluvial que sobresale en la llanura colindante. Flanqueando la montaña vieja, en dirección oeste – noroeste se extienden lomadas o cerrillos de baja altura (no más de 40 m sobre el nivel circundante): Cerrilladas de Jocolí; Capdevila; del Portezuelo y del Borbollón, la más conspicua. Salvo el caso del Borbollón, estas pequeñas bóvedas están constituidas por la Formación Mogotes y una cubierta cuaternaria de rodados y arena.

Respecto al branquianticlinal del Borbollón, está compuesto por capas finas, limo-arcillosas, rojizas, pardas o amarillentas con ocasionales intercalaciones de arena, gravas y gravillas. Hay niveles arcillosos, materia prima para la industria cerámica, poco consolidados (de origen erosivo hidráulico) con una trefa blanca en su coronamiento. Estas bandas de ceniza pura han sido objeto de explotación como polvo abrasivo de uso doméstico (depositadas gracias a la actividad eólica). También se debe tener en cuenta la constante deposición del material fino aportado por el viento Zonda local.

- **Llanura Aluvial del Río Tunuyán:** tiene pendiente ESE con cotas entre 700 y 530 metros sobre el nivel del mar. Hay deposición de abundante material fino, procedente de la erosión hídrica, deposición eólica y embanques de RSU en las partes más finas del sistema de riego zonal.
- **Zonas cubiertas por médanos:** de relieve levemente ondulado, estas zonas en su mayoría se encuentran próximas al límite oriental de la región. Las cotas varían entre 590 a 540 metros sobre el nivel del mar. Especialmente Lavalle. Surgen como consecuencia de la deposición hídrica. En esta zona es donde hay mayor actividad erosiva eólica, gracias al Viento Zonda, y ha sido denominada “Altos Limpios” por la presencia de médanos.

6. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

El perfil estratigráfico tipo para la Zona de Estudio, fue tomado de estudios realizados para la provincia petrolera conocida como *Cuenca Cuyana*, que abarca la porción septentrional de la Provincia de Mendoza, y se extiende hacia el sur de su Ciudad Capital, debido a que esta zona se ubica dentro de la mencionada cuenca.

La Cuenca Cuyana tiene forma elongada en sentido NNO-SSE acorde con su origen tatógeno. El límite occidental lo constituyen dos importantes sistemas orográficos: La Precordillera y la Cordillera Frontal. Al SO está limitada por el Sistema de la Sierra Pintada que la desvincula de la Cuenca Mesozoica Neuquina – Sur Mendocina. El límite oriental lo integran metamorfitas y rocas ígneas del Pericratón Pampeano (proterozoicas y paleozoicas) y vulcanitas permotriásicas del Grupo Choiyoi. Por el norte las sedimentitas triásicas trascienden los límites de la Provincia de Mendoza y afloran en un vasto sector precordillerano de la Provincia de San Juan.

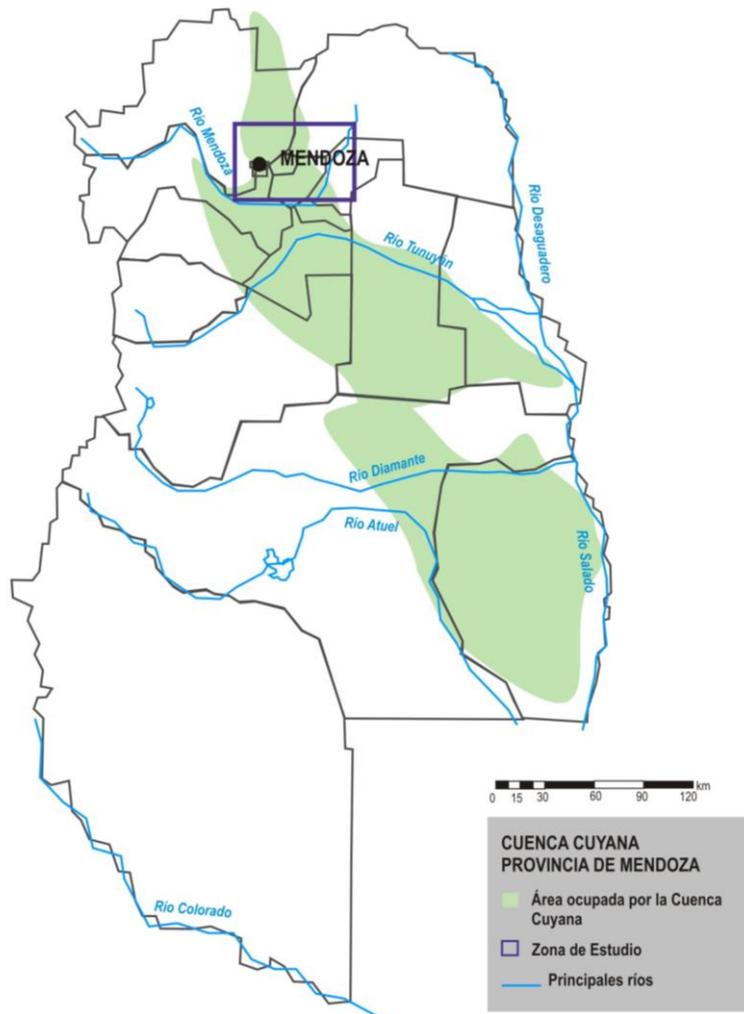


Figura 4: Cuenca Cuyana – Provincia de Mendoza

6.1 CUADRO ESTRATIGRÁFICO CUENCA CUYANA

La columna sedimentaria descansa sobre rocas de diversas naturalezas:

- a) Metamórficas compuestas por gneises, esquistos micáceos, filitas, metacuarcitas, etc., atribuidas al Precámbrico y pertenecientes al Sistema de las Sierras Pampeanas.
- b) Paleozoicas, como calizas, pelitas negras, filitas y metacuarcitas de edades cámbricas, ordovícicas y devónicas respectivamente.
- c) Permo – Triásico, compuesto por sucesivas coladas, aglomerados volcánicos, brechas y tobas cristaloclásticas y litoclásticas asociadas, que se conocen como “Serie Porfiritica” o Grupo Choiyoi.

Los espesores máximos medidos en subsuelo para las sedimentitas triásicas alcanzan los 3.700 metros, mientras que para el Cretácico – Terciario – Cuaternario, 3.800 metros en el Sector Productivo.

El Triásico sedimentario se engloba dentro del Grupo Uspallata (representado por cuatro unidades formacionales), caracterizado por rocas clásticas predominantes y piroclásticas subordinadas de origen continental, con variaciones faciales rápidas, principalmente en sentido transversal al eje mayor de la cuenca.

La Formación Río Mendoza se apoya en discordancia sobre el sustrato y representa el depósito inicial de la cuenca que rellena irregularidades del mismo, en un ambiente de alta energía con facies de abanicos aluvionales y cauces asociados, de paraconglomerados y vaques de colores rojizos.

Se yuxtapone en paraconcordancia o discordancia según la posición de la cuenca, la Formación Potrerillos, con una litología dominante de areniscas, con intercalaciones pelíticas de colores verdosos, grises y negros bituminosos en la sección superior, y tobas varicolores. En líneas generales, esta unidad se depositó en un ambiente de tipo fluvial de cauces anastomosados y meandrosos, mientras que la porción superior se vincula a un sistema de llanura de inundación con condiciones reductoras. El material tobáceo predomina en la base de la secuencia en algunos sectores de la cuenca.

En transición se dispone una sucesión monótona de lutitas negras muy bituminosas en la base, con delgadas intercalaciones tobáceas en la parte media e inferior. Son depósitos originados en un ambiente lacustre altamente reductor, reconocidos como Formación Cacheuta, que infrayecen a la Formación Río Blanco con características paleoambientales similares a la Formación Potrerillos aunque con predominio tobáceo, ahora en la sección superior de la secuencia.

La Formación Barrancas es una entidad estratigráfica exclusivamente en el subsuelo, denominada también “Conglomerado Rojo Inferior”. En su composición participan conglomerados, areniscas, limolitas y arcilitas de colores rojos y morados caracterizada por depósitos originados en un ambiente fluvial de tipo anastomosado principalmente y meandrosos en forma subordinada. Apoya en discordancia erosiva sobre los depósitos triásicos y es sobrepuesto en discordancia por la Formación Punta de las Bardas, unidad esta última conocida únicamente en el subsuelo. Se trata de un complejo efusivo representado por basaltos olivínicos amigdaloides. Existen discrepancias en cuanto a su edad, aunque en base a dataciones radimétricas se le asigna una cronología Jurásico superior – Cretácico inferior.

En relación también discordante, se dispone por encima de la Formación Papagayos, conocida en subsuelo como “Conglomerado Rojo Superior”, constituida por conglomerados polimícticos, areniscas y limolitas de colores rojizos pálidos. Son depósitos originados en un ambiente fluvial de moderada energía y soporta en forma concordante y transicional a la Formación Divisadero Largo. Se le atribuye una edad eocena inferior.

La Formación Divisadero Largo, la constituyen areniscas finas limoarcilitas y niveles de yeso y anhidrita, siendo el color del conjunto rojo claro. Responde a depósitos generados en un ambiente de barreales y lagunas efímeras, con predominio de exposición subaérea y clima cálido. Se han hallado restos de mamíferos que permiten asignarle una edad eocena superior.

Es sobrepuesta mediante discordancia por la Formación Mariño (Mb, Conglomerado Violáceo) con un potente espesor sedimentario que constituye con las demás formaciones terciarias la molasa orogénica con que se colmata la cuenca Estructura.

La Cuenca Cuyana se caracteriza estructuralmente por presentar en su porción noroccidental dos alineaciones de ejes anticlinales elongados en sentido NNO – SSE, a menudo fallados en distintas direcciones.

En la **Figura 5** se puede observar el Cuadro estratigráfico de la cuenca, analizado precedentemente.

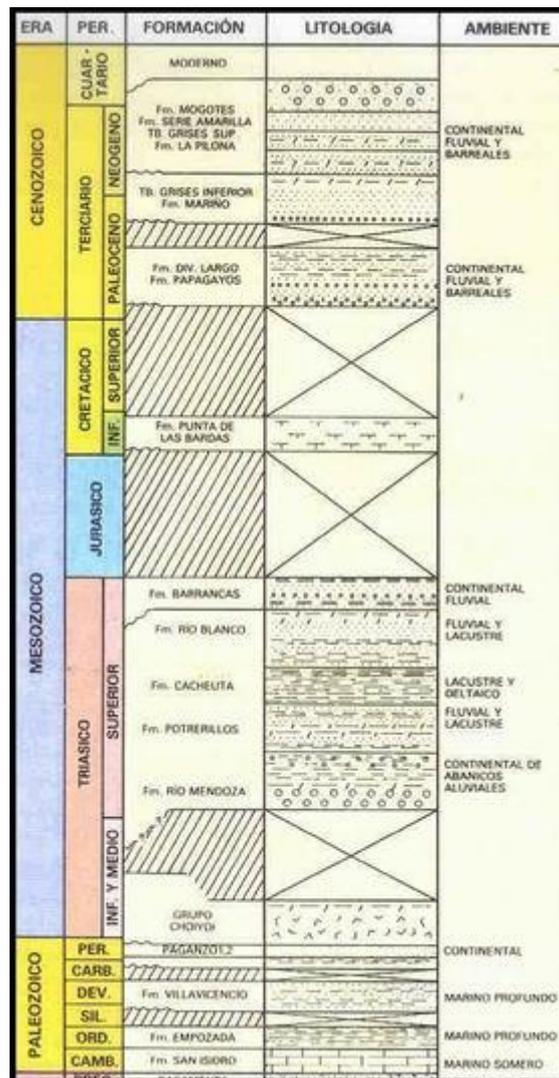


Figura 5: Cuadro estratigráfico de la Cuenca Cuyana

A partir de esta información regional, y en el contexto del presente proyecto, se realizó en 2013, un Estudio de Suelo del sector de implantación del proyecto. Esta perforación exploratoria fue realizada por el Ing. Civil Ignacio A. Maldonado, a una profundidad de 4 metros, en la posición 32° 46' 29,4''S; 68° 46' 33,7''W.

Se realizó una calicata a cielo abierto de 4,00 metros de profundidad y la continuó hasta los -8,00 metros con métodos no destructivos (refracción sísmica y geoelectrica). En dicha calicata se practicaron SPT equivalentes, geoposicionamiento, tomas de muestras representativas, descripción estratigráfica de las secuencias encontradas y ensayos de placa en sectores representativos. Se indicó que existe un perfil con alternancia de limos y arenas mal graduadas.

Se agrega en la **Figura 6** en perfil estratigráfico obtenido de los estudios realizados, y se incluye la memoria técnica completa en el **Anexo 10: Geotécnia**.

PERFIL ESTRATIGRAFICO										Fecha: Setiembre 2013				Observaciones: SPT: Standard penetration test NP: No plástico. Se realizó ensayo de Placa. Se practicó retracción a ármica superficial y geoelectrica								
Proyecto: Sistema de Gestión Integral de RSU para el Área Metropolitana de Mza										Tipo de perforación: A cielo abierto												
Profundidad mts.	Espesores mts.	Litología	Densidad Relativa ó Consistencia	Características Sobresalientes	Penetración SPT					Nº Golpes	Humedad %	Granulometría				Lim. consistencia			Densidad KN/m3	Angulo Fricción	Cohesión KN/m2	
					0	10	20	30	40			50	T4 %	T10 %	T40 %	T200 %	LL %	L.P. %				I.P. %
-1,70	1,70	ML	Baja	Son suelos limo arenoso, practicamente sin plasticidad, muy sensibles a los cambios de humedad.						10	8,24	100,00	100,00	90,47	54,07				np	18,00	15°	10,00
-2,70	1,00	SP	Media	Arena mal graduada, con características redondeadas y tamaño máximo 1". Bajo tenor de humedad, color gris claro.						27	3,89	86,48	74,65	30,71	4,77				np	19,02	30°	0,00
-3,00	0,30	ML	Baja	Son suelos limo arenoso, practicamente sin plasticidad, muy sensibles a los cambios de humedad.						9	8,24	100,00	100,00	90,47	54,07				np	16,00	15°	10,00
-4,00	1,00	SP	Media	Arena mal graduada, con características redondeadas y tamaño máximo 1". Bajo tenor de humedad, color gris claro.						29	3,89	86,48	74,65	30,71	4,77				np	19,02	30°	0,00

Figura 6: Perfil Estratégico sitio de proyecto

La calicata realizada mostró en los primeros 1,70 metros, limos no plásticos, continuos de color marrón claro, bajo tenor de humedad y con algunas esporádicas discontinuas "lentejas muy finas" de gravas finas. Por debajo y hasta los -2,70 metros se encontraron arenas mal graduadas con tamaños máximos de granos de 1", con características de cantos rodados, de color gris claro y baja humedad. Posteriormente reapareció el limo descrito previamente y se mantuvo continuo hasta los -3,00 metros; para reaparecer nuevamente las arenas mal graduadas hasta los -4,00 metros analizados en forma destructiva.

De acuerdo a los ensayos no destructivos, estas alternancias se continúan hasta los -10,00 metros analizados, sin la presencia de napas freáticas.

7. SISMICIDAD Y RIESGOS ASOCIADOS

En la Provincia de Mendoza, coexisten las provincias geológicas de la Cordillera Frontal, Cordillera Principal, Precordillera, Cerrilladas Pedemontanas y Bloque de San Rafael, separadas por depresiones y/o valles intermontanos.

En esta región se han analizado los datos históricos relacionados con movimientos sísmicos pasados, para poder determinar la historia e intensidad de terremotos para el período anterior al uso de instrumental y tratar de definir si hubo una superficie de rotura durante el sismo.

7.1 SISMICIDAD HISTÓRICA EN MENDOZA

El registro de sismos históricos comienza a principios del siglo XVII, pocas décadas después que llegaron los primeros colonizadores españoles. Debido a que la densidad poblacional en esa época era muy baja y los medios de comunicación prácticamente no existían, sólo se registraron aquellos eventos muy catastróficos.

La provincia de Mendoza, al igual que el resto de las ciudades australes ubicadas en la franja andina Argentina, tiene muy poca información histórica prehispánica 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 dotaciones 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:

- Los producidos dentro del ámbito geográfico de la Provincia.
- Aquellos registrados en áreas cercanas que han afectado las construcciones del territorio mendocino, por lo tanto se deben considerar en la evaluación del riesgo sísmico de la provincia.

Este último punto introduce el concepto de porción 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.

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. 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, se pueden mencionar los siguientes movimientos destructivos en Mendoza, terremotos chilenos (1647-1880), el sismo de San Juan (1977), movimientos que fueron aparentemente ocasionados por fallas ubicadas en las cercanías de las áreas epicentrales. Así también, es muy probable que muchos de los sismos cuyos epicentros se ubicaron en Chile, podrían haber ocurrido en territorio argentino.

Una característica de los grandes temblores mendocinos 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.

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 la reinterpretación de los datos sobre los terremotos que afectaron a la provincia. 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 de 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.

Mediante una intensa revisión de los sismos históricos de la Provincia de Mendoza, de la consulta en diarios, informes y referencias de la época, surge como evidencia que los de mayor importancia en los últimos 200 años (desde 1782 hasta la fecha). Estos sismos se detallan en la **TABLA 1**.

TABLA 1: Listado de sismos destructivos de Mendoza.

Tabla 1 – Listado de sismos destructivos de Mendoza							
Fecha	Nombre	Hora	Lat.	Long.	Prof. (km)	Magnitud	Imáx
22/05/1782	Santa Rita	16 hs 00'	32,7	69,2	30	6,7 – 7 Ms	VII-VIII
20/03/1861	Cerro La Cal	20 hs 36'	32,9	68,9	30	7,2 Ms	IX - X
12/08/1903	Las Heras	23 hs 00'	32,1	69,1	70	6.3 Ms	VII - VIII

26/07/1917	Panquehua	22 hs 38'	32,3	68,9	50	6,5 Ms	VII
17/12/1920	Costa de Araujo	15hs 04'	32,7	68,4	40	6,3 – 6,8 Ms	VIII
14/04/1927	Uspallata – Las Heras	2hs 35'	32,4	69,3	60 - 110	7,4 Ms	VIII
30/05/1929	Las Malvinas – Villa Atuel	5hs 45'	34,9	68,0	40	6,5	VII
25/04/1967	Paramillos	6hs 36'	32,7	69,1	45	5,4 Mb	VI
26/01/01985	Barrancas. Lunlunta	3hs 07'	33,1	68,5	12	5,7 ML	VIII

De la localización de los sismos surge que la mayor densidad de los mismos se da en el norte del territorio provincial. Es decir que, a partir del Río Mendoza, se pueden considerar zonas sísmicas, una situada al norte y otra al sur de éste.

7.2 RELACIÓN TECTÓNICA – SISMICIDAD

La necesidad de conocer más profundamente la relación entre la actividad tectónica y la sísmica, dio lugar a la neotectónica, que estudia los movimientos tectónicos de los tiempos recientes.

Si se representan los epicentros de terremotos en un determinado período de tiempo sobre una escala global se puede comprobar que la mayor parte de la actividad sísmica se concentra en unos cinturones relativamente estrechos que responden a los sistemas de fosa-arco-isla circunpacíficos, el cinturón Alpino-Himalayo y las crestas dorsales mesoocéánicas. Esta distribución de sismicidad, se relaciona con la existencia de una serie de placas litosféricas, rígidas de 100 km de espesor medio, las cuales se desplazan horizontalmente sobre una capa dúctil, la astenosfera, e interaccionan unas con otras en sus límites, acumulando la energía elástica de deformación que, liberada en forma brusca produce los terremotos.

La teoría de la tectónica de placas es muy útil en el análisis de la relación tectónica-sismicidad y en la interpretación de origen de cordones montañosos.

Cuando la *Placa de Nazca* se hunde bajo la *Placa Sudamericana*, lo hace con un ángulo inicial de aproximadamente 25°. Sin embargo, a una profundidad de 100 km, reduce su inclinación quedando casi horizontal. Como consecuencia de ello los focos de los sismos se localizan a escasa profundidad (no superan los 50 km), y no hay evidencias de volcanismo activo. Mientras que al sur de los 33° Lat. Sur, el ángulo de inclinación de la zona de Benioff se incrementa a 30°, por lo que algunos sismos ahí originados pueden localizarse a mayor profundidad y así disminuir su efecto destructivo, en tanto que la manifestación del volcanismo cuaternario de retroarco aumenta.

Desde esta óptica las investigaciones dentro del territorio mendocino, se pueden considerar iniciadas con los trabajos de Foss Mancini (1937, 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) y Stappenheck (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) 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 corresponden 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 dotaciones 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 ó 1927, que produjeron daños de consideración en la parte norte de la zona urbana mendocina.

Dentro de los trabajos regionales más 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 de ni jerarquiza los desplazamientos producidos por cada falla.

7.3 PELIGRO SÍSMICO Y RIESGO SÍSMICO

El *peligro sísmico* se define como la probabilidad de ocurrencia de un potencial sismo destructivo, dentro de un período específico de tiempo en un área determinada, y el *riesgo sísmico* es el número de víctimas, daños a las construcciones e interrupción de la actividad económica, esperados a causa de un terremoto destructivo.

Para la determinación del peligro sísmico se emplea en numerosos países la siguiente metodología:

- **Investigación histórica:** se realiza con la recopilación de datos existentes que indiquen la actividad sísmica de la zona. Ello se obtiene a través de archivos históricos y comunicaciones verbales de los habitantes de la región cercana al área de estudio, registros sismográficos obtenidos en estaciones del país y del exterior.
- **Evidencias geológicas:** se investiga la asociación de los sismos o fallas geológicas, que se obtienen al realizar una cartografía detallada de las fallas del área, con las evidencias de su actividad reciente.
- **Microsismicidad:** para ello se instalan temporariamente sismógrafos en la zona que permitan detectar la ocurrencia de microsismos no perceptibles de otra manera.

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, pelosismología 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.

Como aún no se puede efectuar la predicción de los terremotos, solo se puede decir que antes de que estos se produzcan hay variaciones en los niveles de agua en los pozos y alteración de la conducta animal. Resulta de vital importancia para lograr el desarrollo de una región, la determinación del *peligro* y *riesgo sísmico*, a fin de minimizar las pérdidas, no solo desde el punto de vista económico-financiero, sino también humano.

La evaluación del peligro sísmico y el estudio de los riesgos sísmicos en cuanto al ordenamiento del territorio y urbanismo, no solo se refiere a las normas y métodos de construcción (diseño sismorresistente), sino también a los problemas de ubicación de los asentamientos humanos y a la planificación adecuada del uso de la tierra, evitando

aquellas áreas de mayor riesgo (zonas de fallas, deslizamientos o zonas de licuefacción). Los terremotos considerados necesarios para evaluar el peligro sísmico son aquellos cuya magnitud es mayor a 5 en la escala de Richter, ya que son los capaces de ocasionar daños en las construcciones.

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 socioeconómico 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.

En la **Figura 7** se puede observar el mapa de riesgo sísmico, elaborado por el Gobierno de la Provincia de Mendoza, en función de los estudios realizados.

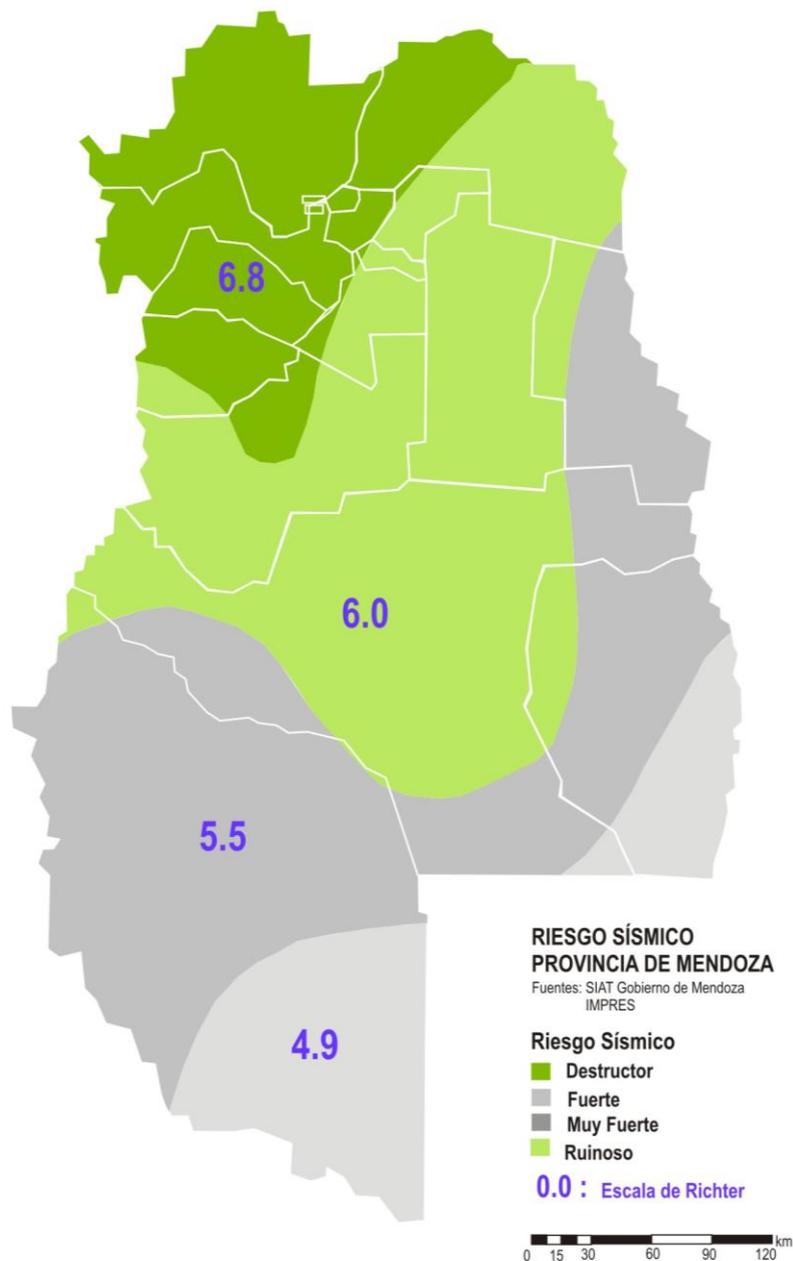


Figura 7: Riesgo Sísmico Provincia de Mendoza

7.4 ZONIFICACIÓN SÍSMICA NACIONAL Y PROVINCIAL

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación, y el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC) del Sistema INTI, elaboraron el “Reglamento Argentino para Construcciones Sismoresistentes”, el cual tiene aplicación a nivel nacional.

Este reglamento establece los requerimientos y las provisiones mínimas para el diseño, construcción, reparación y refuerzo de construcciones que puedan estar sometidas a excitaciones sísmicas.

Las acciones sísmicas de diseño, procedimientos de análisis, requerimientos de resistencia y estabilidad, limitaciones de deformaciones, disposiciones constructivas y provisiones generales se establecen con los siguientes objetivos:

- Evitar pérdidas de vidas humanas y accidentes que pudieran originarse por la ocurrencia de cualquier evento sísmico, protegiendo los servicios y bienes de la población.
- Evitar daños en la estructura y en los componentes de la construcción, durante los sismos de frecuente ocurrencia.
- Reducir al mínimo los daños en los componentes no-estructurales y evitar perjuicios en la estructura, durante los sismos de mediana intensidad.
- Evitar que se originen colapsos y daños que puedan poner en peligro a las personas o que inutilicen totalmente las estructuras durante sismos muy severos de ocurrencia extraordinaria.
- Lograr que las construcciones esenciales destinadas a los servicios de emergencia continúen funcionando, aún ante sismos destructivos.

El Reglamento CIRSOC 103, Edición 1992, con posteriores modificaciones en ediciones posteriores hasta 2013 (actualmente vigente en la Provincia de Mendoza), en el Capítulo 3, establece la Zonificación Sísmica para la República Argentina. El territorio de la República Argentina se divide en 5 zonas, de acuerdo con el grado de peligrosidad sísmica. En la siguiente tabla se especifica la zonificación sísmica del territorio nacional en función del grado de peligrosidad sísmica.

Zona	Peligrosidad Sísmica
0	Muy reducida
1	Reducida
2	Moderada
3	Elevada
4	Muy elevada

A continuación se agrega el Mapa publicado en el Reglamento CIRSOC 103-Ed. 1992, donde se puede visualizar al “Zona de Peligrosidad Sísmica” que corresponde al Área Metropolitana de la Provincia de Mendoza.

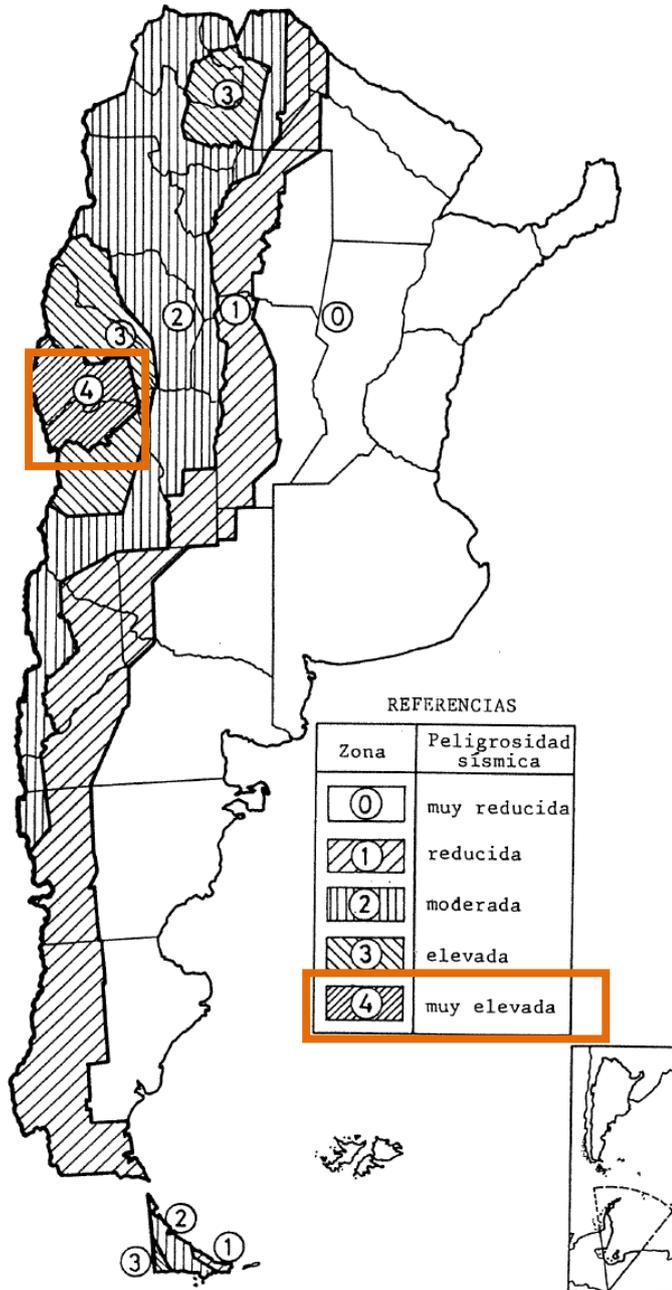


Figura 8: Zonificación Sísmica en la República Argentina

Los distintos Departamentos que conforman la Provincia, se encuentran en distintas Zonas de esta clasificación. En particular, los Departamentos de la Zona Metropolitana se ubican en la **ZONA 4**, que según el Reglamento está constituida por:



ZONA 4			
PROVINCIA DE MENDOZA		PROVINCIA DE SAN JUAN	
1	Las Heras	4	Calingasta
2	Parte de Lavalle	5	Ullún
3	Capital	6	Albardón
4	Godoy Cruz	7	Angaco
5	Luján de Cuyo	8	Zonda
6	Guaymallén	9	Rivadavia
7	Maipú	10	Chimbas
8	San Martín	11	Capital
9	Junín	12	Santa Lucía
		13	San Martín
		14	Parte de Caucete
		15	Pocito
		16	Rawson
		17	9 de Julio
		18	Sarmiento
		19	25 de Mayo

Por lo tanto, y al quedar todos los Departamentos de la zona de estudio comprendidos dentro de la **Zona 4**, se deberán tener en cuenta los lineamientos previstos en el mencionado reglamento para la etapa de Diseño y Construcción, de las infraestructuras previstas en el presente proyecto. En la **Figura 8** se puede observar el mapa de zonificación sísmica de la Provincia de Mendoza.

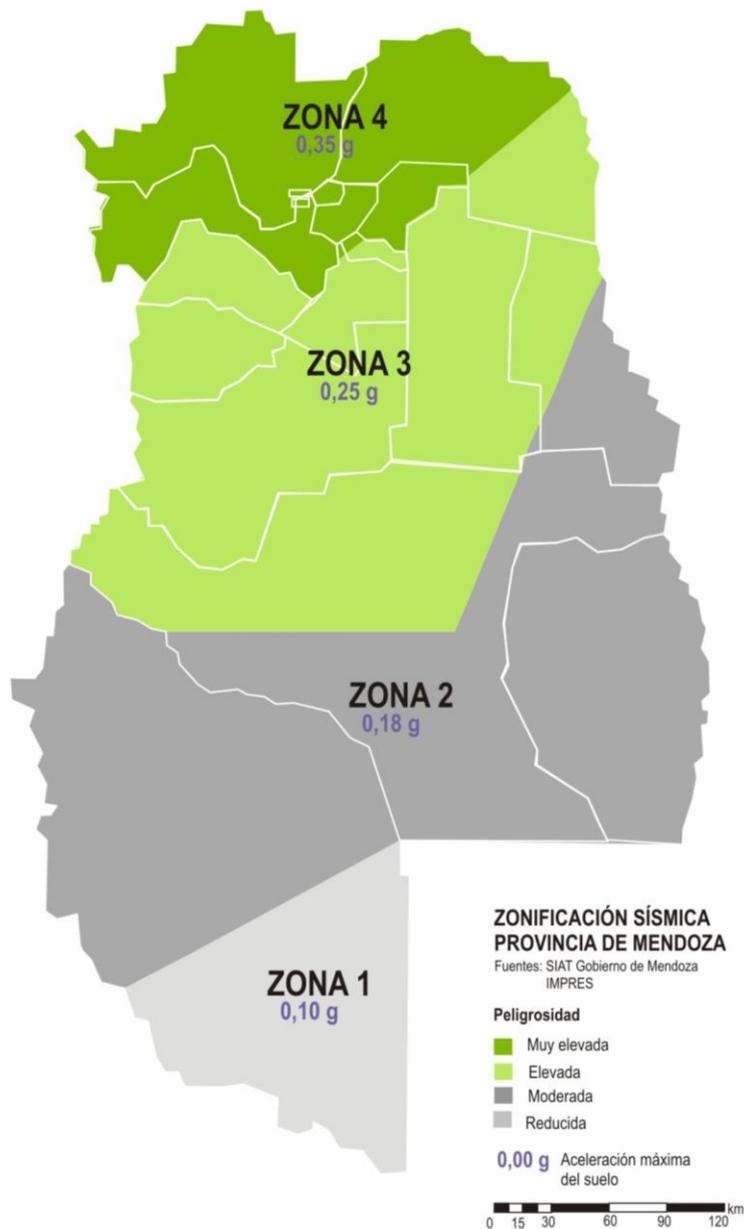


Figura 9: Zonificación Sísmica Provincia de Mendoza

7.5 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL GRAN MENDOZA¹

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), realizó las microzonificaciones de las ciudades más importantes de la extensa zona sísmica del país. Al presente, dos de estas microzonificaciones se han completado, las que corresponden a los conglomerados urbanos denominados Gran San Juan y Gran Mendoza. Estas dos ciudades han experimentado terremotos destructivos en distintas oportunidades, en sus más de cuatrocientos años de historia.

¹ “Microzonificación del Gran Mendoza” Ing. Juan Carlos Castaño (Director Nacional de INPRES – San Juan) y Nafa-Zamarbide *Ingenieros Consultores* SRL.

La actividad sísmica de la región cuyana, está relacionada tectónicamente con la convergencia de las placas Sudamericana y de Nazca, como resultado de la cual, la placa de Nazca se subduce por debajo de la primera, la que es activamente deformada a lo largo de su amplio borde occidental, dando lugar a estructuras geológicas activas, alguna de las cuales constituyen fuentes de actividad sísmica.

7.5.1 Fuentes Sísmicas Potenciales

El régimen de esfuerzos de esta región y, consecuentemente, su marco tectónico, está dominado por un sistema de compresión este – oeste que, generalmente, ha dado como resultado la formación de pliegues y de fallas inversas, con rumbo predominantemente norte-sur. Como consecuencia de estos grandes procesos dinámicos se han desarrollado importantes rasgos estructurales, destacándose sobre todos ellos la Cordillera de Los Andes.

La Precordillera, situada al este de la Cordillera principal y al oeste del Gran Mendoza, presenta un sistema actualmente activo que da lugar a numerosas fuentes sísmicas potenciales, alguna de las cuales atraviesan áreas urbanas densamente pobladas.

En la región analizada (Zona Metropolitana de Mendoza y Zona sur de San Juan), se localizaron y caracterizaron, mediante estudios integrales de paleosismicidad, quince fallas activas o sistemas de fallas, algunas de ellas directamente relacionadas con terremotos históricos destructivos, como puede observarse en la **Figura 10**. Se estimó, a partir de las evidencias geológicas, para cada una de ellas, el terremoto potencial máximo y el intervalo promedio de retorno, valores que se presentan en la misma figura.

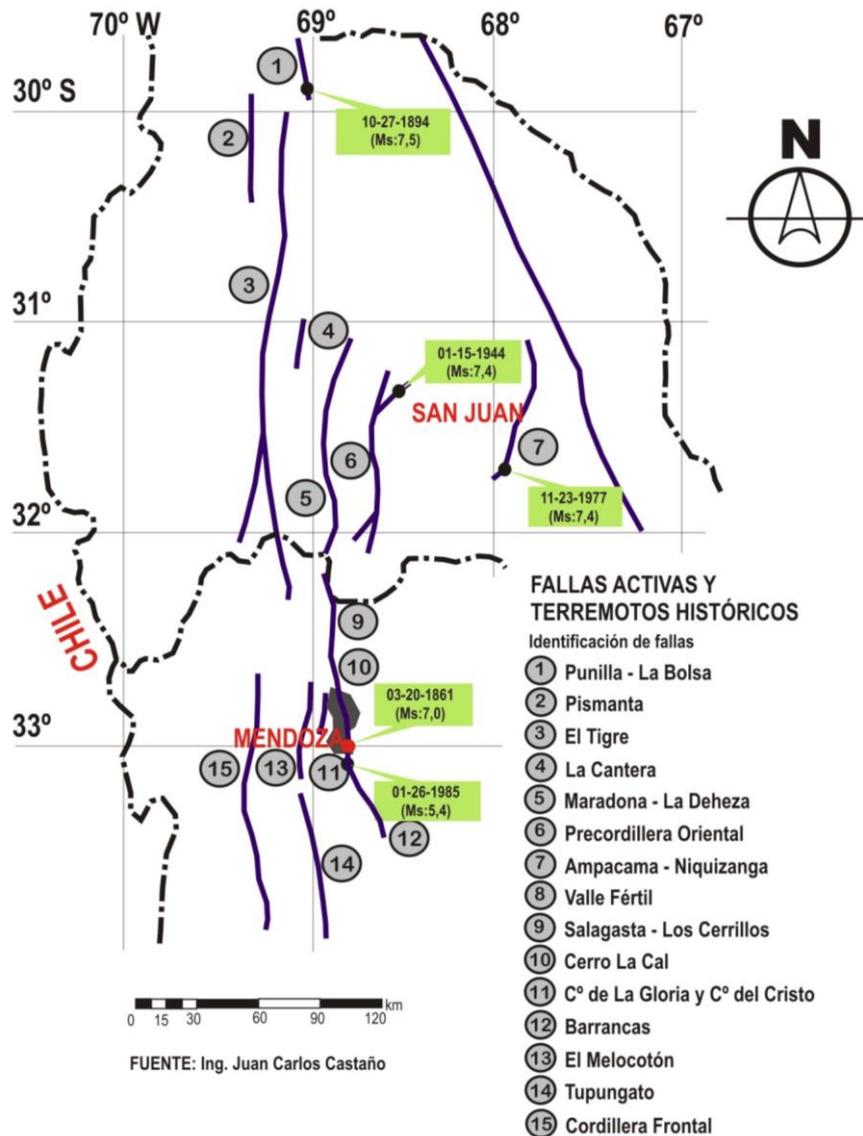


Figura 10: Fallas activas y terremotos históricos del norte de Mendoza

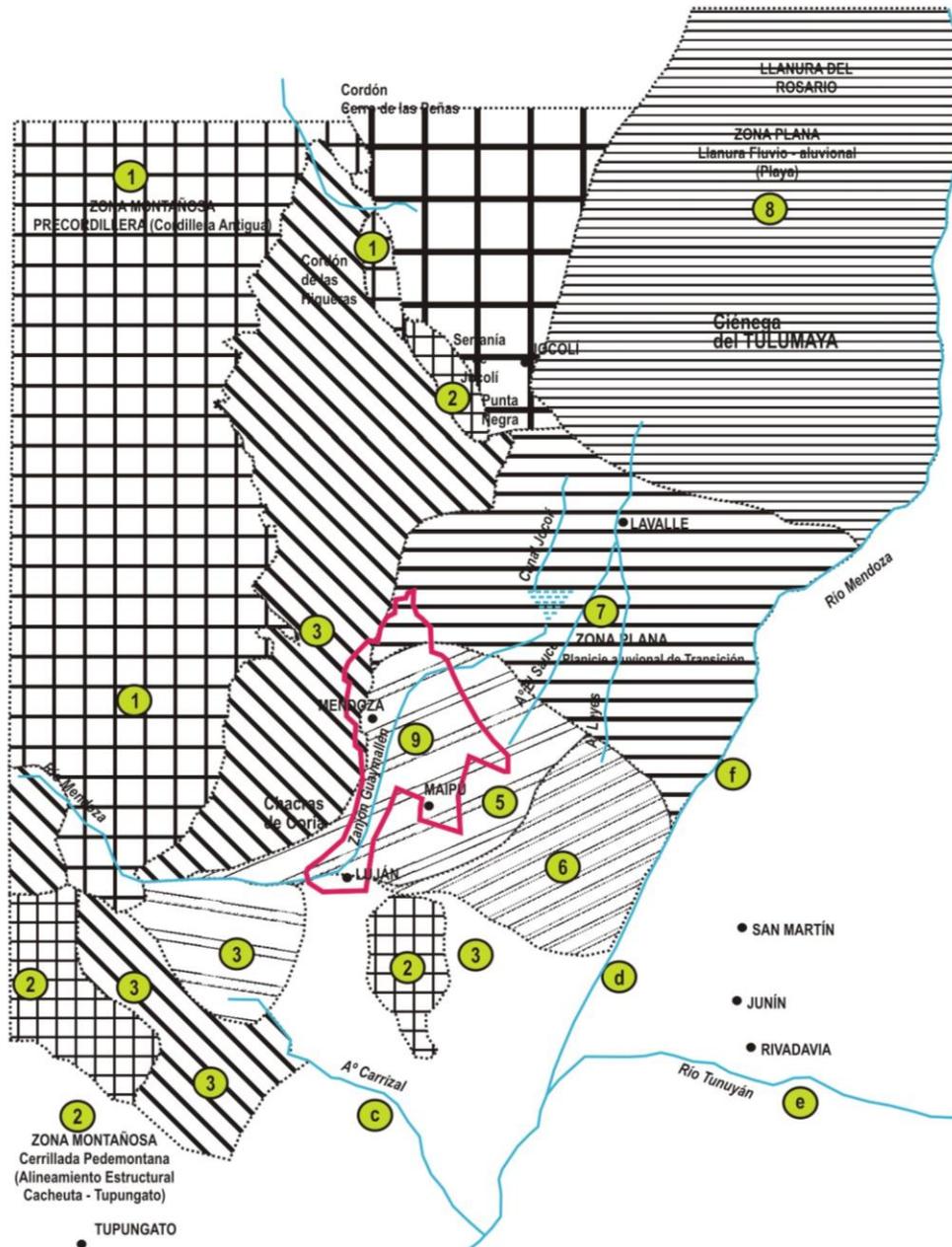
7.5.2 Configuración Fisiográfica del Área Metropolitana de Mendoza

Como se aprecia en la **Figura 11**, el área bajo estudio, se extiende sobre tres unidades geológicas diferentes: el *Cono Aluvial de Maipú*, la *Planicie Aluvial de Transición* y el *Piedemonte Mendocino*.

El *Cono Aluvial* ha sido formado por el río Mendoza y se presenta muy interaccionado por sedimentos del piedemonte, los que con sus bajadas aluvionales, producto de las torrenciales lluvias veraniegas, lo penetran de oeste a este, mediante numerosos ríos secos.

De la **Figura 11** surge que todo el sector occidental se emplaza en el *piedemonte mendocino*, mientras que el *cono aluvial de Maipú* ocupa el sector sur y sureste,

abarcando las zonas de Luján, Maipú, el sector este de Godoy Cruz y Guaymallén. Por último, la *planicie aluvial de transición* se desarrolla en el norte y noreste, comprendiendo a las zonas norte y noreste de Las Heras y norte de Guaymallén.



UNIDADES GEOMÓRFICAS

FUENTE: Microzonificación sísmica Gran Mendoza INPRES

0 5 10 20 km

- | | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 3 | Piedemonte mendocino | Área Metropolitana | |
| 4 | Cono aluvional de Agrelo | c | Antigo brazo del Río Mendoza |
| 5 | Cono aluvional de Maipú | d | Antigo curso del Río Tunuyán |
| 6 | Cono aluvional de Palmira | e | Actual curso del Río Tunuyán |
| 7 | Planicie de Transición (del Tulumaya) | f | Actual curso del Río Mendoza |
| 8 | Llanura aluvial (del Rosario) | g | Antigo brazo del Río Mendoza |

Figura 11: Grandes unidades geomórficas del Gran Mendoza

7.5.3 Distribución y Características de los sedimentos aluviales

Como resulta típico en los conos aluviales, el material transportado por el río o por los cauces eventuales, resulta ser menos grueso a medida que nos alejamos de sus vértices. De forma tal que encontramos gravas gruesas, bochas y bloques de gran tamaño a la salida del río Mendoza por la quebrada de Cacheuta y en Luján. Esta misma situación también se presenta en las bajadas aluvionales del piedemonte occidental mendocino.

A medida que avanzamos, alejándonos del vértice del cono del río Mendoza, o de los conos pedemontanos, los sedimentos se vuelven más finos y consisten en gravas, gravilla y arena, con una cubierta superficial de limos, arcillas y arenas finas, en espesores variables.

Al pie del cono aluvial del río Mendoza, en la zona noreste del área de estudio, aparece la planicie de transición hacia la llanura aluvial, donde comienzan a predominar sedimentos finos, limos, arcillas y arenas finas, sobre las gravas y gravillas. Esta zona de transición, como es lógico, no está bien definida y se ubica, aproximadamente como se indica en la **Figura 12**.

La zona noroeste de Luján, oeste de Godoy Cruz, Capital y Las Heras, correspondientes al área estudiada, presentan las interacciones de los sedimentos aluviales pedemontanos del oeste, con los sedimentos del río Mendoza.

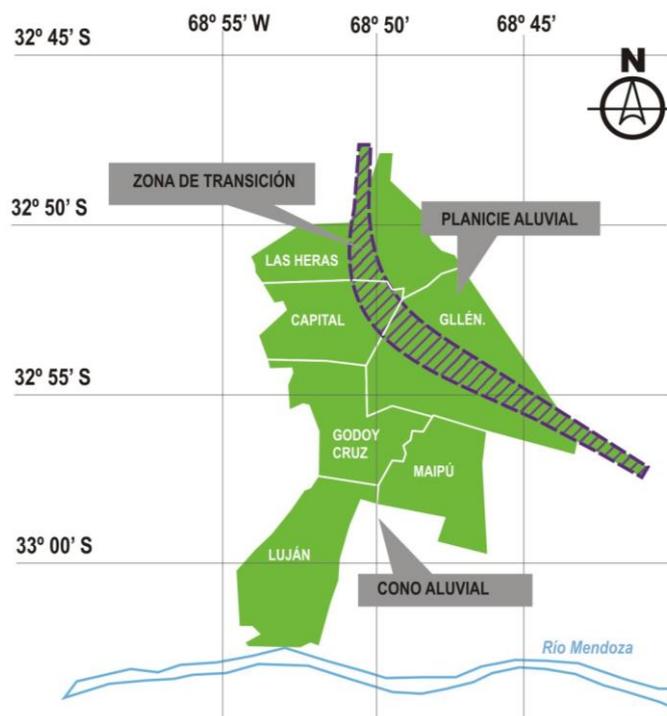


Figura 12: Distribución de las condiciones del subsuelo en el Área de Estudio

En general, los resultados de los ensayos de penetración normal (SPT) realizados, mostraron que la compacidad de los sedimentos aluviales existente en la zona, varía de suelta a densa, como se describe a continuación:

- Los sedimentos granulares gruesos del cono del río Mendoza, que aparecen superficialmente en Luján, Godoy Cruz, Maipú y Guaymallén, presentan compacidades medias en los primeros 2 a 3 metros de profundidad, a partir de donde se presentan densas a muy densas.
- Los sedimentos finos, limos, limos arenosos y limos arcillosos, que aparecen cubriendo a las bochas, gravas y arena del sedimento pedemontano o del cono del río Mendoza, en la zona de Capital, con espesores que alcanzan como máximo los 20 m de profundidad, se presentan con consistencias variables, desde muy blandas a medias.
- Los sedimentos finos, limos, limos arenosos, limos arcillosos y arenas limosas que aparecen en la planicie de transición, zonas norte y noreste de Las Heras y noroeste de Guaymallén, se presentan con compacidades sueltas o medias o consistencias blandas a medias. Resulta muy frecuente que bajo los 5 m de profundidad, en promedio, las compacidades asciendan a densas y las consistencias de firmes a muy firmes, estando esto asociado a una cementación calcárea proveniente de la Cerrillada Pedemontana.

Como el comportamiento de las gravas, arenas y limos, ante las sollicitaciones dinámicas producidas por sismos fuertes, depende en gran medida del estado de compacidad relativa que presentan “in situ”, surge la importancia de su determinación, que en lo descrito hasta ahora ha sido inferida a partir de los ensayos de penetración normal.

7.5.4 Agua Subterránea

Como base para determinar y delimitar las áreas del Gran Mendoza y aledañas, donde pueden producirse fenómenos de licuación de suelos, se prepararon mapas de profundidades máximas y mínimas, utilizando datos provistos por el Centro Regional del Agua Subterránea (C.R.A.), que posee registros desde 1967 a la fecha, y por el Departamento General de Irrigación.

Con la información que contienen los mencionados mapas, se preparó la **Figura 12**, que resume parte de esa información que es de interés para el estudio del potencial de licuación en el área bajo estudio.

El origen del agua subterránea presente en la zona, se encuentra en la infiltración del agua del río Mendoza, especialmente en el trayecto oeste-este, en el Dpto. Luján y límite departamental Luján-Maipú. En el área de estudio, existen acuíferos libres y

confinados. El acuífero libre se desarrolla en las zonas del cono aluvial del río Mendoza y del sedimento pedemontano, en tanto en la planicie aluvial de transición comienzan a aparecer acuíferos confinados y *falsas freáticas* cerca de la superficie (aguas colgadas).

El inicio del acuífero confinado se produce en una banda, de algunos kilómetros de ancho y no en una línea, banda localizada ligeramente al sudoeste del límite del área bajo estudio, entre El Plumerillo y Rodeo de la Cruz.

En general puede decirse que existe un acuífero libre profundo en la zona de cono aluvial y sedimentos pedemontanos, que ubica el agua subterránea a las siguientes profundidades medidas según la zona:

Zona	Profundidad (m)
Maipú	95
Godoy Cruz	90
Parque Gral. San Martín	110
Capital	80
San José (Guaymallén)	50
Las Heras	35

En la planicie de transición aparece la *falsa freática* (aguas colgadas) con niveles variables **entre 1 y 10 m de profundidad.**

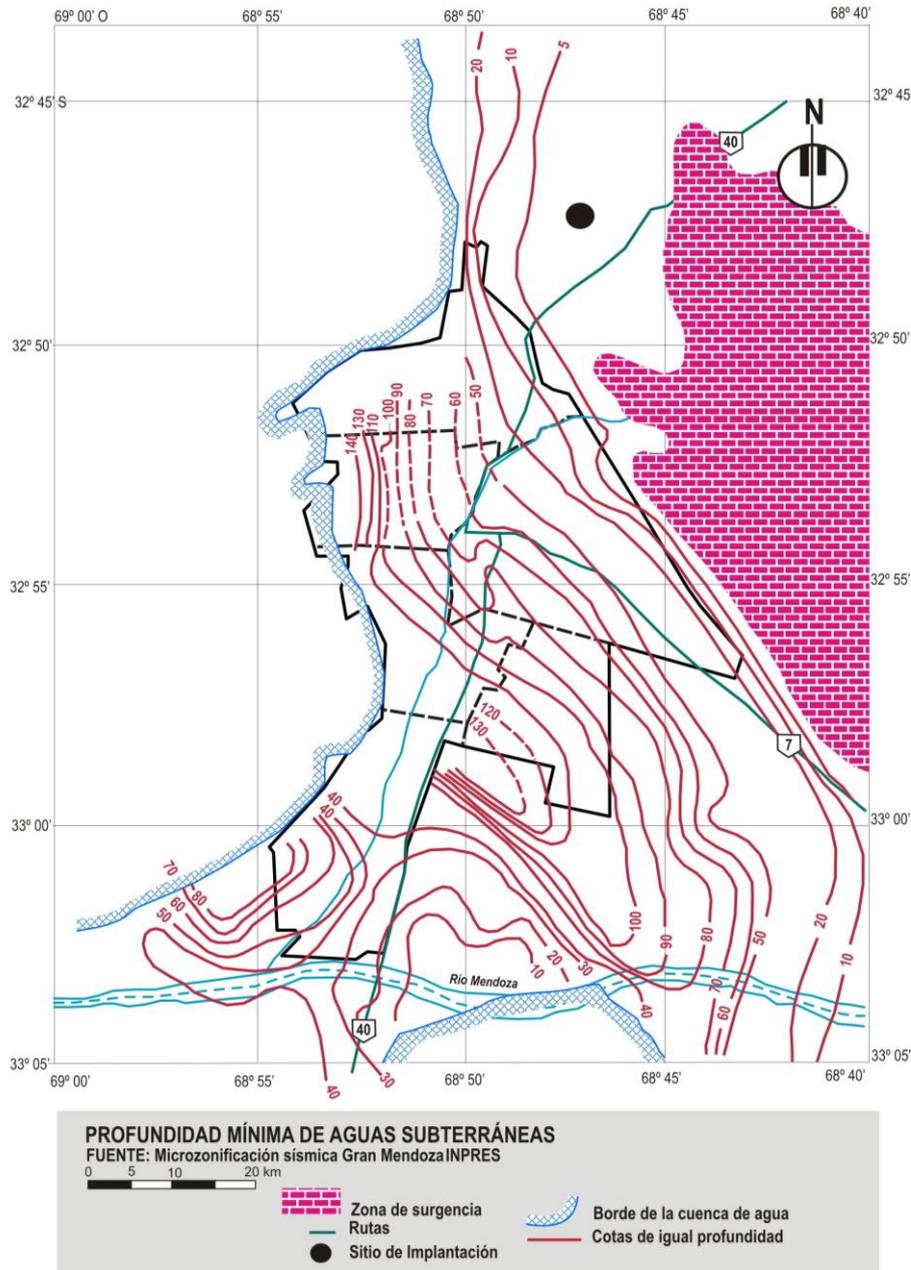


Figura 13: Curvas de profundidad mínima del agua subterránea en el Gran Mendoza

7.5.5 Conclusiones de los suelos del área de estudio

En función de lo expuesto anteriormente y concluyendo, podemos decir que desde el punto de vista geológico, hay dos unidades muy bien definidas en el área bajo estudio: los *depósitos del cono aluvial del Río Mendoza*, que cubren la zona sur y sudeste, y la *llanura aluvial*, consistente en sedimentos más finos, ubicada hacia el norte y noreste, y que la separación entre ambas zonas no está definida por una línea, sino que existe lo que denominamos una *zona de transición* donde los sedimentos van pasando gradualmente de gruesos a finos.

Con respecto a los materiales del subsuelo, se puede establecer que los espesores de los materiales limosos y arcillosos que sobreyacen en los depósitos aluviales del río, no superan los 3 metros en la zona sur, incrementándose gradualmente hacia las zonas central y norte, alcanzando más de 20 metros, como fue observado en los pozos exploratorios. El espesor típico de estos sedimentos finos en la zona de transición varía entre 5 y 20 metros.

De los resultados de las pruebas de penetración realizadas surge que, en general, los sedimentos aluviales varían en su compactación desde compactos a sueltos.

Por todo esto, se adoptó una clasificación de las condiciones del suelo, diferenciando dos categorías de acuerdo con el siguiente criterio: a) *Roca y Suelo Firme*: consiste en depósitos superficiales de limos y arenas finas con espesores variables entre 0 y 20 m, yacentes sobre roca o depósitos densos a muy densos de piedemonte o del río Mendoza y b) *Suelo Profundo*: consiste en limos, arenas finas y arcillas, que se extienden por más de 20 m debajo de la superficie, hasta alcanzar la roca o los depósitos aluviales del río. En la **Figura 14** se puede apreciar la localización de estas condiciones de subsuelo en el área bajo estudio.

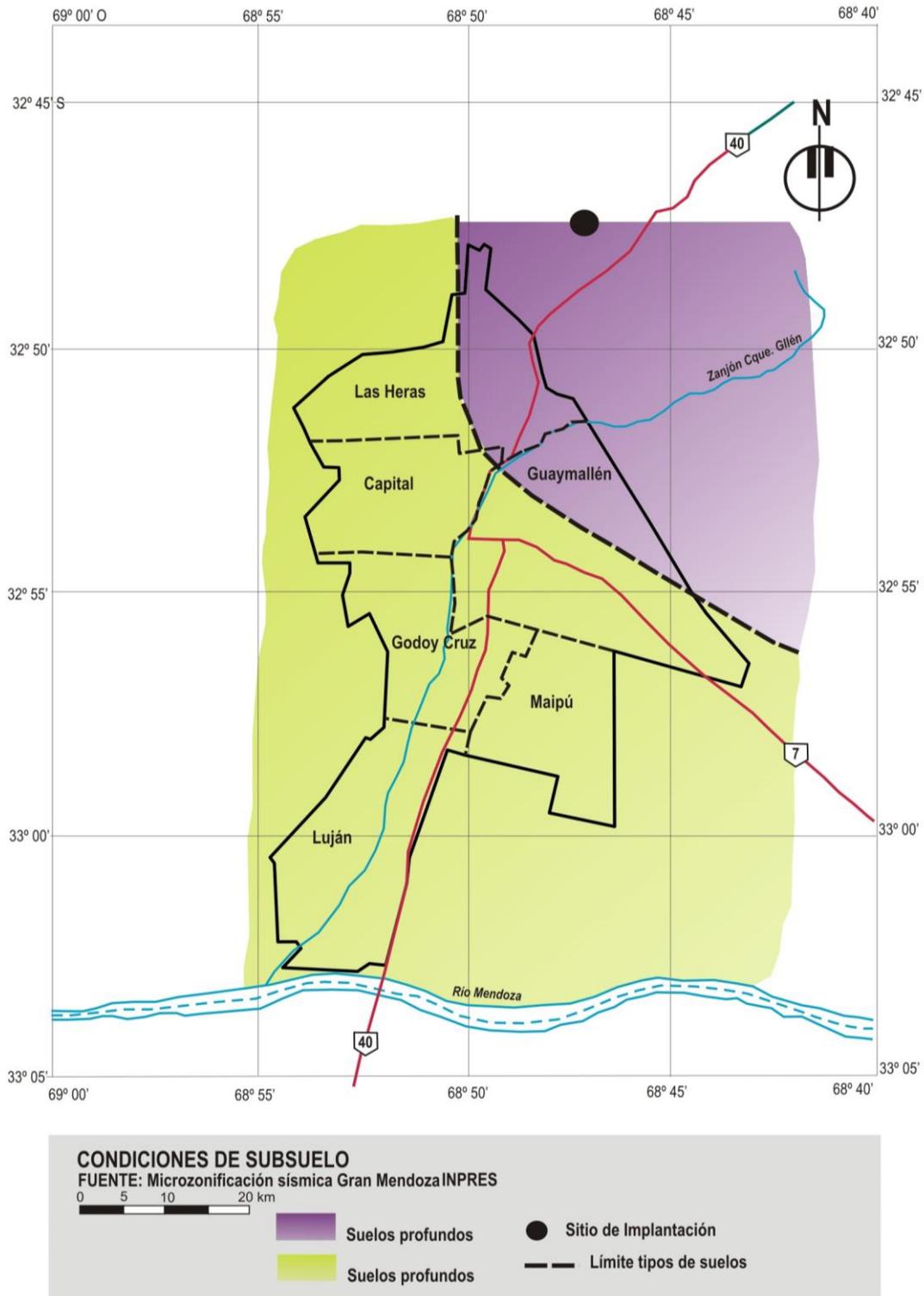


Figura 14: Localización de las condiciones del subsuelo en el Gran Mendoza

7.5.6 Licuación Histórica

Existen varias referencias históricas sobre la ocurrencia de licuación de suelos, durante terremotos pasados en la provincia de Mendoza. Según Francisco Morey, en su libro, “Los Temblores de Tierra, Mendoza Sísmica”, los terremotos durante los que se produjo licuación de suelos fueron: terremoto del 20 de marzo de 1861; terremoto del 17 de diciembre de 1903; terremoto del 26 de juli de 1917; terremoto del 17 de diciembre de 1920; terremoto del 14 de abril de 1927 y terremoto del 23 de mayo de 1929. Durante el terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985 no se registró la ocurrencia de licuación de suelos.

Esto muestra que han sido abundantes las manifestaciones del fenómeno de licuación de suelos en la provincia de Mendoza, en la zona de la planicie de transición y llanura aluvial, donde lógicamente se presentan los *suelos granulares finos más susceptibles de licuar* y las posiciones de agua freática, cercanas a la superficie.

En el área bajo estudio este fenómeno se ha producido en las localidades de El Resguardo, Panquehua, Capital y El Plumerillo en el Dpto. Las Heras; y Bermejo del Dpto. Guaymallén, como puede observarse en la **Figura 15**.

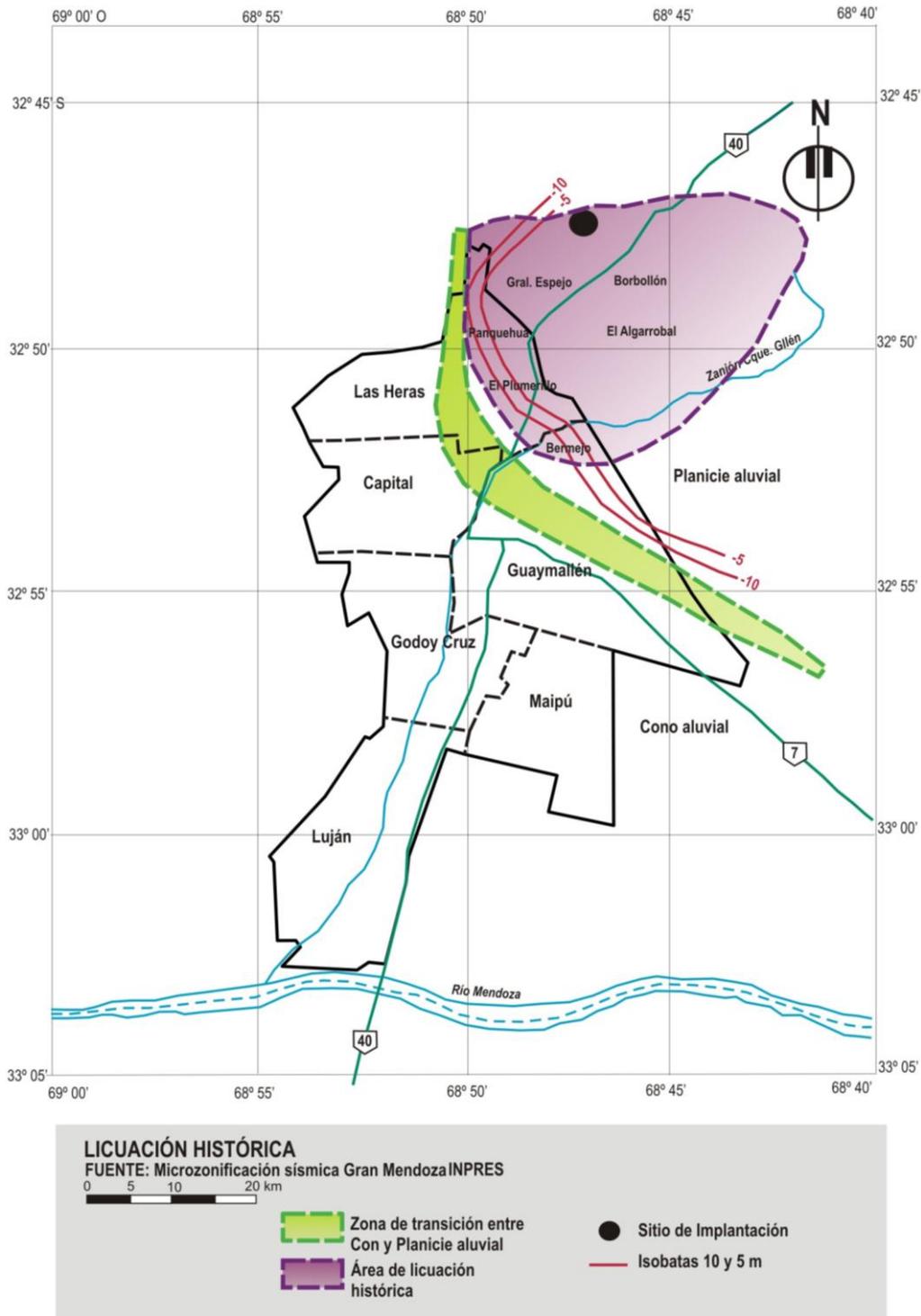


Figura 15: Licuación histórica y nivel de freática mínima en el Gran Mendoza

7.5.7 Zonificación del peligro sísmico

Finalmente, en el documento de “Microzonificación del Gran Mendoza”, se realizaron recomendaciones para la zonificación de los distintos peligros sísmicos en el Gran Mendoza. Los referidos peligros son: *movimiento del terreno*, *licuación de suelos* y *rotura superficial del terreno* debido al movimiento de fallas. También se presentan recomendaciones para la zonificación con relación al diseño de estructuras, consistentes en un mapa de zonificación y los correspondientes espectros de diseño.

7.5.7.1 Movimiento del terreno

Se realizaron mapas de peligro de aceleraciones máximas para el área bajo estudio, las cuales multiplicadas por las formas espectrales correspondientes a la zona, dan como resultado los espectros de aceleración absoluta, para sitios específicos.

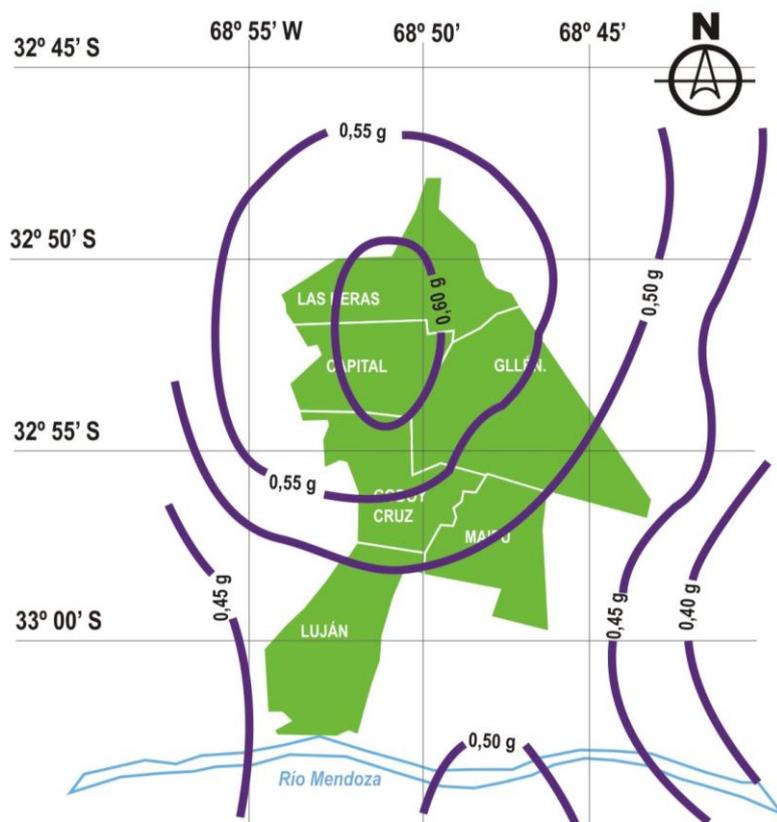


Figura 16: Aceleraciones máximas probables (10% en 50 años)

7.5.7.2 Peligro de licuación

El potencial para la ocurrencia de licuación en un cierto lugar, es función de la **susceptibilidad** y de la **oportunidad** de licuación del área.

La primera es una medida de la capacidad del movimiento sísmico del terreno para originar presiones de poro elevadas, y consecuentemente, fallas del terreno en los depósitos de suelos existentes en la zona. Es función de la edad, composición y densidad de los depósitos de suelos y de las condiciones del agua subterránea.

La segunda es una medida de la frecuencia de ocurrencia de los movimientos sísmicos capaces de originar licuación en suelos susceptibles.

Del análisis de los datos obtenidos durante la exploración geotécnica realizada para el área metropolitana de Mendoza surgió que la mayor parte de la zona urbanizada descansa sobre depósitos de espesor variable de suelo limoso, que a su vez cubren a los suelos granulares gruesos pertenecientes al cono aluvial del río Mendoza (el así llamado Cono de Maipú) y a los depósitos granulares más antiguos originarios del piedemonte mendocino. Los depósitos superficiales de suelos finos, adquieren mayor espesor hacia el norte y noreste de Las Heras y noroeste de Guaymallén, hacia Lavalle.

Por otro lado, el nivel de agua subterránea libre es bastante profundo en la mayor parte de la zona estudiada, oscilando entre 35 a 100 metros. De tal modo, la gran profundidad del nivel freático, da como resultado un muy bajo potencial de peligro de licuación para localidades como Maipú, Godoy Cruz, Capital y gran parte de Las Heras y Guaymallén.

Sin embargo, en la parte norte y noreste de la zona bajo estudio, se puede encontrar la napa denominada *falsa freática* o también *freática colgada*, a profundidades que varían entre 1 y 10 metros. En esta zona es necesario considerar el potencial de licuación inducido por terremotos, debido a la presencia de sedimentos finos sueltos y saturados.

La susceptibilidad de licuación de los suelos se mide en términos de las tensiones cíclicas requeridas para originar licuación. Utilizando las relaciones empíricas entre la resistencia a la penetración del terreno y el nivel de la relación de tensiones cíclicas, requerido para originar licuación (según Seed y otros, 1985), y realizando los cálculos pertinentes, se llegó a establecer que con una profundidad de la napa freática de 1 a 3 metros, se necesitan aceleraciones máximas de 0,1g a 0,15g para inducir una relación de tensiones cíclicas de 0,11 a una profundidad de 5 metros, y aceleraciones máximas de 0,09g a 0,16g para producir la misma relación de tensiones a una profundidad de 10 metros.

Los resultados de los análisis de peligro realizado, indican que esas aceleraciones son excedidas con una frecuencia de una vez cada 30 a 50 años. A esta frecuencia, la probabilidad de licuación en un período de 50 años, en cualquier punto de la zona

antes mencionada, excede el 50%. La frecuencia de licuación observada en algunas partes de la zona es de aproximadamente una vez cada 20 años desde 1861.

Por lo tanto, las áreas con nivel freático poco profundo y con depósitos de suelos aluviales finos, que se muestran en la **Figura 15**, deben considerarse como zonas de *alto potencial de licuación*. Las otras áreas donde la napa es profunda y/o descansan directamente sobre los suelos granulares gruesos y densos, pueden ser consideradas como zonas de *muy bajo potencial de licuación*.

7.5.7.3 Peligro de rotura superficial

Para evaluar el peligro de rotura superficial durante terremotos se consideró: la identificación de zonas donde la ruptura superficial es potencialmente posible y la probabilidad de que ocurra ruptura superficial del área del Gran Mendoza.

- **Zonificación del peligro de rotura superficial**

Los peligros sísmicos pueden dividirse en dos categorías generales: 1) aquellos que están asociados con el movimiento del terreno; y 2) aquellos que están asociados con la ruptura de la superficie del mismo a lo largo de fallas superficiales.

Debido a que las fallas presentan en general, diferentes grados de peligro potencial y a que los distintos tipos de construcciones presentan diferentes niveles de riesgo, se sugiere la adopción de una *matriz de planeamiento* para regular el uso del suelo en estos sectores críticos. Una matriz de planeamiento es tal que permite ciertos tipos de usos del suelo dentro de zonas con fallas conocidas o posibles, mientras excluyen o requieren investigaciones detalladas para otros tipos de usos.

En el área de estudio, la mayor parte de áreas de fallas activas, se ubican en zonas despobladas y sin ningún tipo de desarrollo urbano, como es el caso de las fallas del Melocotón, Barrancas, Cerro del Cristo y de la Gloria.

Sin embargo, para la falla Cerro de la Cal – Calle Perú, la situación es completamente diferente, ya que parte de la misma se ubica en la zona densamente urbanizada del Gran Mendoza.

Para zonificar el peligro de fallamiento superficial, se realizó una matriz de planeamiento recomendándose para las áreas sin desarrollo, la realización de estudios geológicos detallados previo a la implantación de construcciones.

En la **Figura 17** se presenta el mapa de zonificación para diseño estructural propuesto.

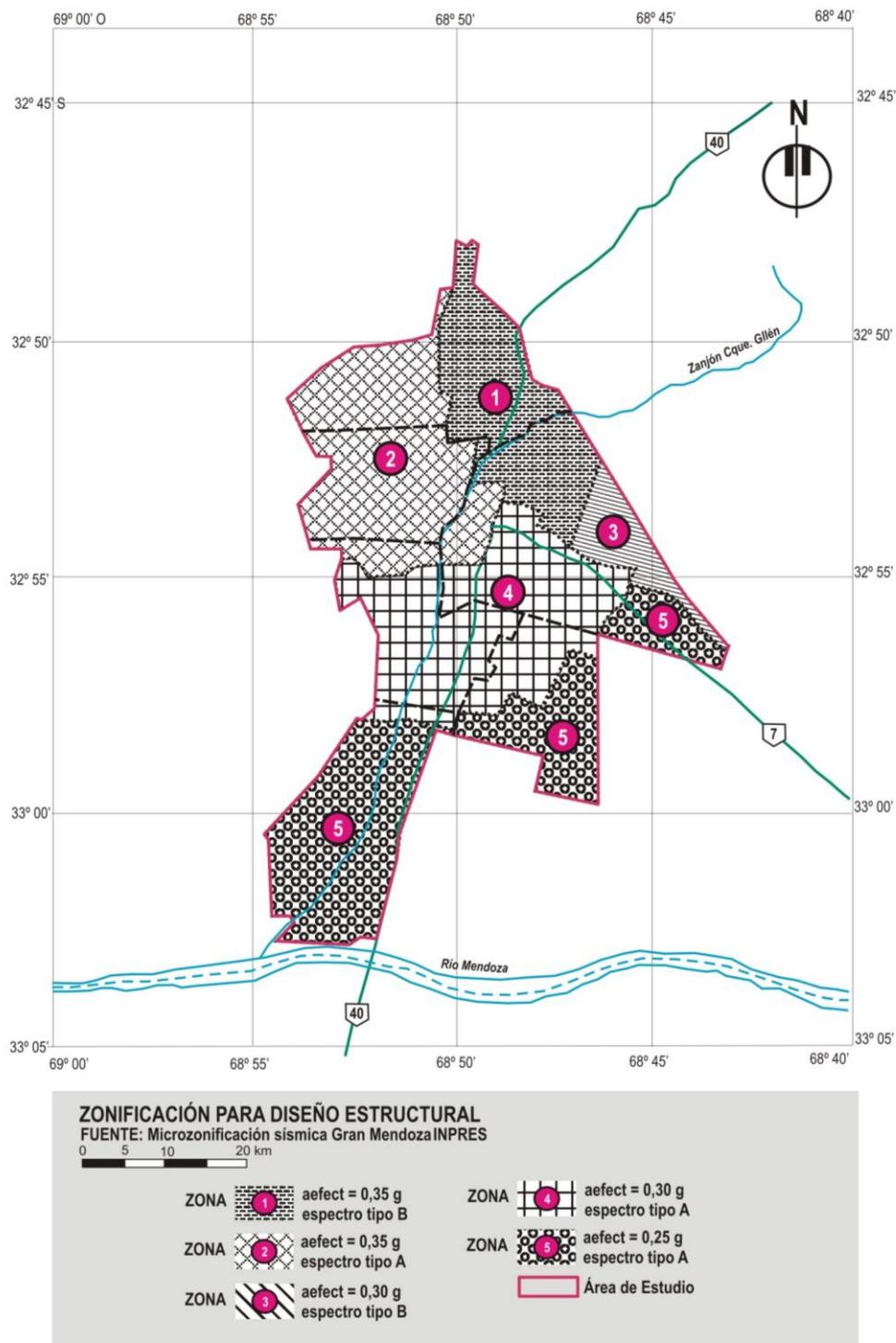


Figura 17: Propuesta de zonificación para diseño estructural – Gran Mendoza

Como se puede observar en la figura precedente, se dividió el área bajo estudio en 5 zonas. La delimitación de esas zonas se ha realizado tomando como referencia elementos perfectamente identificables, tales como rutas, calles, canales, vías del

ferrocarril, etc., a los fines de su aplicación práctica y para evitar dudas acerca de la ubicación de la posible obra con respecto a la línea límite.

Con respecto a la falla del terreno debido a licuación, la zona con alta probabilidad de sufrir licuación se ubica al noreste del área bajo estudio, que es la zona donde se ubica el terreno de implantación del proyecto. Al respecto, se recomienda tomar precauciones especiales tales como realizar un conveniente diseño de las fundaciones y/o el mejoramiento de las condiciones del subsuelo mediante procedimientos adecuados. En tal sentido resulta necesario realizar estudios en detalle del subsuelo en el sitio de implantación de la futura obra.

7.5.8 Situación específica en el sitio de implantación del proyecto

En función de lo expuesto precedentemente, resulta necesario evaluar la situación específica del sitio de implantación del proyecto, a los efectos de la determinación de la influencia tectónica del entorno, en la **Figura 18** se puede observar la localización del terreno dentro del mapa de condiciones del subsuelo.

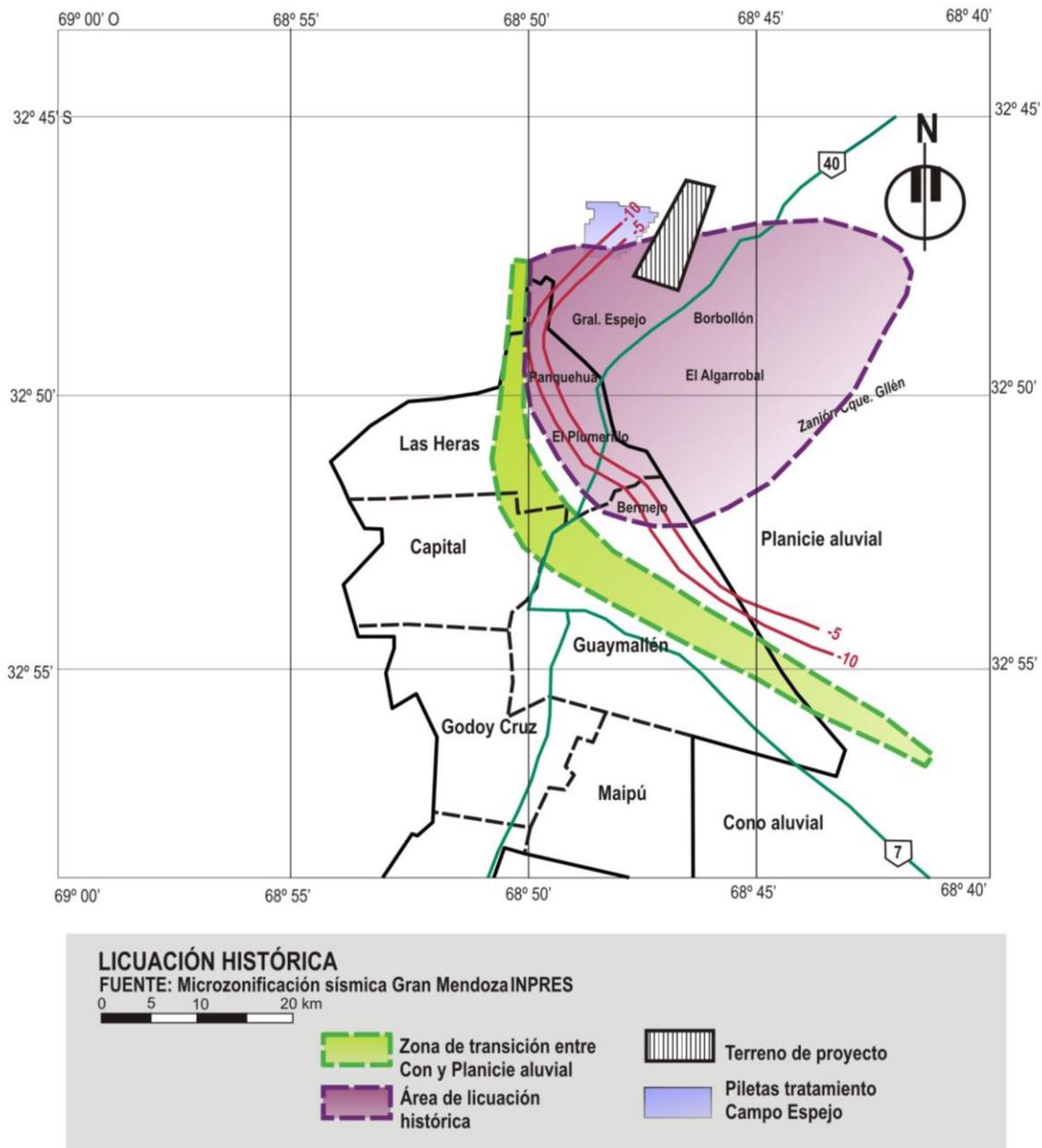


Figura 18: Ubicación del terreno de implantación sobre condiciones de subsuelo

En tanto en la **Figura 19** se presenta la posición relativa del terreno destinado a la construcción del Centro Ambiental El Borbollón, con relación a la falla activa Cerro La Cal, que se ubica hacia el oeste del mencionado terreno.

La zona de falla La Cal se localiza en las proximidades del extremo sur del segmento de subducción subhorizontal de los Andes Centrales, en pleno ambiente de Precordillera, y se extiende por unos 30,7 Km desde el río temporario Las Higuieritas hasta aproximadamente el límite departamental urbano Capital-Godoy Cruz, pasando por el borde oriental del Cerro La Cal. El rumbo general de esta zona de falla es meridiano a

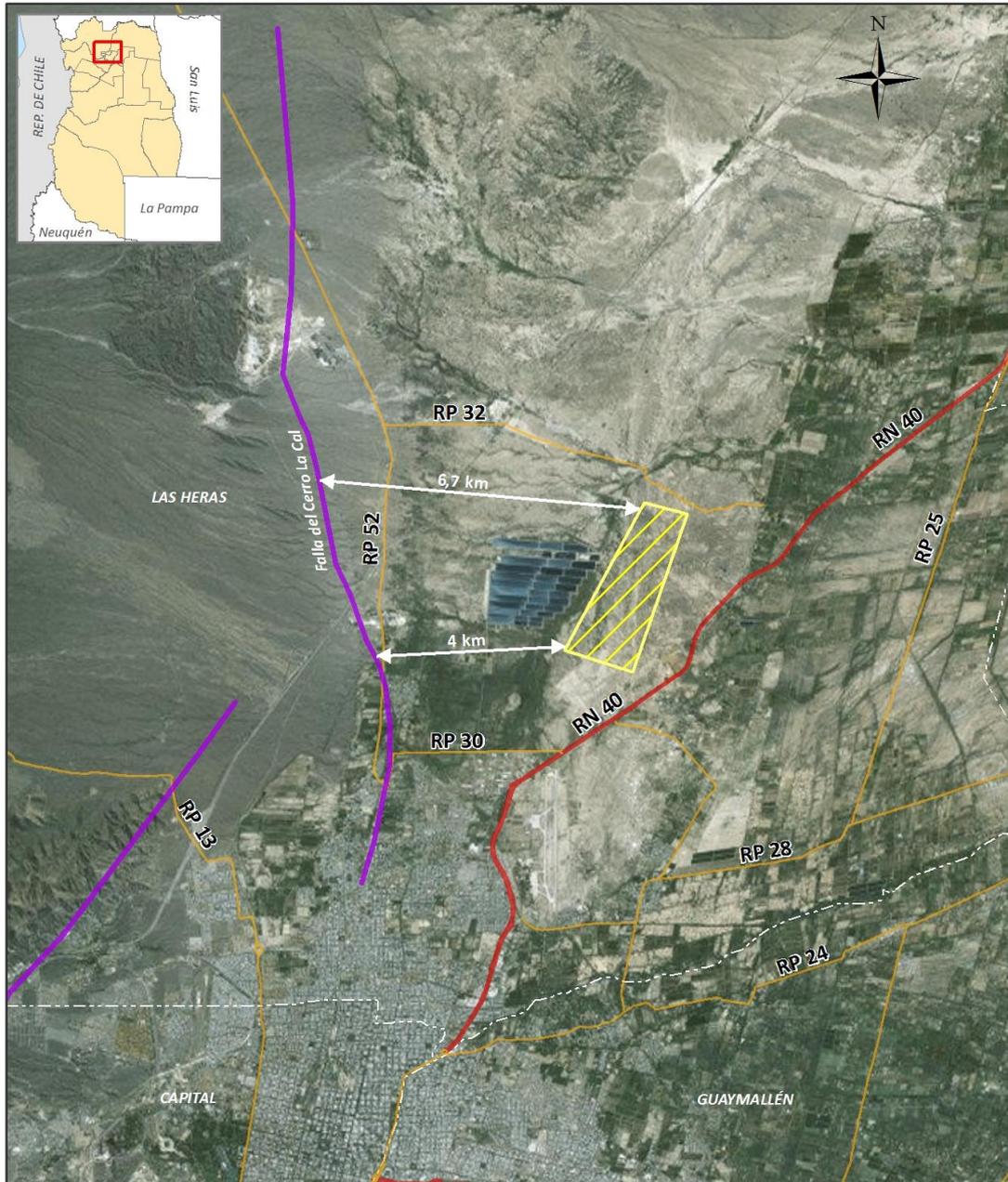
submeridiano, presentando importantes variaciones locales en los sectores norte y centro, que van en promedio de N 10°E a N7°W respectivamente (Mingorance 2004).

Según lo que se puede observar en la **Figura 19**, resulta que el terreno destinado a la construcción del Centro Ambiental, se encuentra en una Zona Cercana a la Falla (Near-Fault), que es la zona comprendida dentro de una franja de aproximadamente 15 km a cada lado del fallamiento activo.

Esto, sumado al tipo de suelo (suelo profundo), y la presencia de la falsa freática a una profundidad de 10 a 15 metros existente en el sector, ha determinado que como se mencionó anteriormente, el sitio presente *alto riesgo de licuación de suelos*.

Por tal motivo, se deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar el diseño estructural de los edificios a implantarse basándose en lo establecido en el Reglamento INPRES-CIRSO 103, teniendo en cuenta fundamentalmente los “Comentarios a la Parte I: Construcciones en General”, Edición 2013.
- Tener en cuenta esta situación en el diseño y construcción de la impermeabilización del Módulo de disposición final de residuos, a los efectos de prevenir posibles roturas y filtraciones provocadas por los efectos analizados en el presente apartado.
- Respetar lo establecido en el Plan de Contingencias con relación a las previsiones de contingencias por sismo y también por rotura de celda.



-  Falla sísmogénica
-  Centro Ambiental
- Ruta**
-  Nacional
-  Provincial

Fuente: LANIGLA (CCT)
Elaboración SLAT

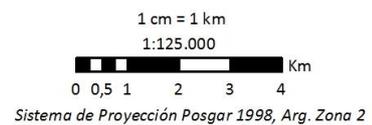


Figura 19: Ubicación del terreno con relación a la falla activa Cerro La Cal

8. APTITUD DE USO DEL SUELO

Del “Proyecto de Fortalecimiento Institucional para el diseño del Plan Estratégico de Desarrollo para la Provincia de Mendoza, Componente 7: Escenarios futuro y estrategias, Producto 9: Informe y cartografía de uso de suelos actuales y aptitud de usos – zonificación” de octubre de 2010, se tomaron las evaluaciones hechas para el Departamento de Las Heras, en donde en el sector sudeste del mismo se ubica el sitio destinado a la implantación del Centro Ambiental El Borbollón.

En el estudio mencionado, en primer lugar se evaluaron los usos actuales del suelo por Departamento de la Provincia, seleccionándose aquellos usos con mayor vocación en el ámbito provincial, estos fueron: Ganadería, Agricultura, Urbano, Industrial, Turismo, Recreativo, Minería e Hidrocarburos.

Luego se analizó la oferta, considerando a la aptitud actual, como aquella clasificación de la aptitud de las tierras, basada en la adaptabilidad para un uso específico, en sus condiciones actuales y sin mejoramiento. Y para el conocimiento de la demanda, se procedió a la selección de variables e indicadores específicos, a los efectos de determinar la demanda de los usos ensayados.

Posteriormente se realizó la confrontación oferta-demanda para comparar requerimientos y limitaciones, de donde surgió un sistema de Clasificación de Aptitudes en: Usos Aptos y Usos No Aptos. Se agrega el detalle de esta clasificación:

8.1 USOS APTOS

- **Clase A1 (Altamente Apto):** Unidades territoriales que no tienen limitaciones para la aplicación sostenida de un uso determinado, o sólo con limitaciones de menor cuantía que no reducirán significativamente la producción o los beneficios.
- **Clase A2 (Moderadamente Aptos):** Unidades territoriales con limitaciones que en conjunto son moderadamente aptas para la aplicación de un uso determinado, las limitaciones pueden reducir la productividad y los beneficios.
- **Clase A3 (Marginalmente Apto):** Unidades territoriales con limitaciones que en conjunto son limitadas para la aplicación sostenida de un uso determinado y reducirán la productividad o los beneficios.

8.2 USOS NO APTOS

- **Clase N1 (No apta actualmente):** Unidades territoriales con limitaciones que pueden ser vencidas con el tiempo, pero que no pueden corregirse con los conocimientos existentes a un costo anualmente aceptable, las limitaciones son

tan graves que impiden un uso sostenido y satisfactorio de la tierra en un modo determinado.

En la siguiente tabla, se pueden observar los resultados obtenidos en la evaluación de aptitud de usos, para el Departamento de Las Heras:

TABLA 2: Aptitud de usos del suelo – Departamento de Las Heras. Provincia de Mendoza

Tabla 2 – Aptitud de usos del suelo – Departamento de Las Heras Provincia de Mendoza	
Tipo de Uso	Aptitud del Departamento de Las Heras
Uso ganadero bovino extensivo	Moderadamente apto (A2)
Uso agrícola	Marginalmente apto (A3)
Uso urbano e industrial	Moderadamente apto (A2), con recomendación para promoción industrial.
Uso turístico y recreativo	Altamente Apto (A1)
Uso minero y extracción de hidrocarburos	Altamente Apto (A1)

El Departamento de Las Heras, presenta una aptitud del suelo *moderadamente apta* para la ganadería, debido a la gran extensión de este Departamento, aclarando que algunos de los Departamentos que integran la región (como Capital, Godoy Cruz o Guaymallén), al ser predominantemente urbanos, no se considera este uso como compatible.

Las unidades administrativas con aptitud marginal para uso agrícola corresponden a los departamentos de Guaymallén y Las Heras, afectados por procesos degradatorios de uso de la tierra como revenición de suelos, extracción de tierra para ladrilleras, crecimiento urbano sobre zonas irrigadas e inseguridad; que han llevado a una disminución sostenida de las superficies de riego de ambos departamentos a menos de la mitad en los últimos 20 años.

Con relación al uso urbano e industrial se considera que el Departamento de Las Heras posee una calificación de *moderadamente apta* por la influencia del área metropolitana y la oferta de la aglomeración. La aptitud turística de Las Heras, con calificación *altamente apta*, se debe a que este departamento posee fuertes atractivos tradicionales, fundamentalmente naturales y de alta montaña como el Cerro Aconcagua. Y finalmente posee una alta calificación para la *aptitud minera e hidrocarburífera* por su fuerte tradición en estos aprovechamientos.

De la evaluación precedente se puede concluir que el Departamento de Las Heras tiene una importante aptitud para usos industriales (se recomienda para promoción industrial), explotación minera e hidrocarburífera y turismo y recreación.

Específicamente, el terreno destinado a la implantación del proyecto, se encuentra dentro de una zona industrial, esto se debe fundamentalmente a que no se trata de

suelos aptos para explotación agrícola o ganadera y a su ubicación estratégica sobre Ruta Nacional N°40 y ubicación en la periferia urbana. Por tal motivo, el proyecto del Centro Ambiental El Borbollón coincide totalmente con el destino actual de los terrenos del entorno.