

**ESTUDIO
“RIESGO Y MODIFICACIÓN PRMS
FALLA SAN RAMÓN”**

ID N° 640-27-LP10

INFORME ETAPA 3

**PROPUESTA DE DISPOSICIONES DE CARÁCTER
NORMATIVO REGULATORIAS**

Enero 2012

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	4
1 INTRODUCCIÓN	5
2 RESUMEN DE PELIGROSIDAD	8
2.1 Falla San Ramón y Peligro Sísmico	8
2.2 Falla San Ramón y Ruptura Superficial	11
2.3 Conclusiones.....	16
3 RESUMEN DE VULNERABILIDAD	17
3.1 Vulnerabilidad Sísmica	17
3.2 Vulnerabilidad Ruptura Superficial.....	18
4 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO	21
4.1 Área de riesgo sísmico.....	21
4.2 Área de riesgo de ruptura superficial por falla activa.....	22
5 MARCO NORMATIVO APLICABLE	24
5.1 Normas Legales y Reglamentarias de base	24
5.1.1 Ley General de Urbanismo y Construcciones	25
5.1.2 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones	25
5.2 Instrumentos de Planificación Territorial	26
5.2.1 PRMS.....	27
5.2.2 Planes Reguladores Comunales	28
5.3 Normas técnicas.....	28
6 EXPERIENCIA INTERNACIONAL RELEVANTE	31
6.1 Zonificación sísmica.....	32
6.1.1 Colombia.....	32
6.1.2 Nicaragua	36

6.1.3	Proyecto PREDECAN (Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina).....	39
6.2	Áreas de ruptura en superficie por fallas activas.....	42
6.2.1	California	42
6.2.2	Japón	46
6.2.3	Nueva Zelanda	47
6.3	Síntesis de Experiencias	48
7	RECOMENDACIONES	50
7.1	En el ámbito normativo	50
7.1.1	Incorporación de la FSR al PRMS.....	50
7.1.2	Modificación OGUC.....	50
7.1.3	Modificación LGUC	51
7.1.4	Modificación NCh 433	51
7.2	En el ámbito de la gestión.....	51
7.2.1	Postergación de permisos urgente.....	53
7.2.2	Creación de un geositio.....	54
7.2.3	Acciones preventivas con las líneas vitales, instalaciones esenciales e instalaciones con alto potencial de daño.....	54
7.2.4	Coordinación y vinculación institucional	54
7.3	Organismos nacionales relevantes.....	55
	ANEXO PALEOSISMOLOGÍA	62
1	Ubicación y excavación de trincheras	62
2	Topografía del escarpe y perfiles de ambas trincheras.....	65
3	Observaciones a partir de las trincheras	66
4	Traza de la Falla San Ramón.....	71
5	Conclusiones.....	74

PRESENTACIÓN

El proyecto “Estudio de Riesgo y Modificación PRMS Falla San Ramón” tiene como objetivo general la evaluación del peligro sísmico asociado a la Falla San Ramón (FSR) en la zona oriente de Santiago, entre los ríos Maipo y Mapocho, orientado a proponer una modificación en consecuencia del PRMS. En una primera fase del Estudio se ha configurado el universo de información existente y una propuesta de generación de información y registros propios; tanto en el análisis científico-técnico de la FSR, así como de los antecedentes a considerar en el análisis de la vulnerabilidad del territorio y normas aplicables.

Así, el Estudio abordó en forma paralela la profundización del conocimiento sobre la amenaza natural que representa la FSR sobre el territorio acotado y, por otro lado, el estudio de las consideraciones normativas y de gestión aplicables frente a ese riesgo, en atención al marco normativo regional, nacional y experiencias externas que aporten a la sustentación de criterios aplicables frente a un fenómeno singular, como lo son los efectos probables de una falla geológica activa, como la Falla San Ramón.

En el segundo informe se dio cuenta principalmente, de los resultados de los ensayos y prospecciones realizadas en el área de estudio, los que permitieron caracterizar el fenómeno y concluir con la identificación de la peligrosidad, la cual determinó el territorio sobre el que se hizo el análisis de la vulnerabilidad actual y de la vulnerabilidad probable que podría consolidarse en un escenario futuro, bajo las normas hoy vigentes del PRMS y de los planes reguladores comunales.

El presente informe se centra básicamente en la formulación de lineamientos de gestión y propuestas para la incorporación posterior de disposiciones normativas de riesgo asociadas a la falla San Ramón en el PRMS y otros instrumentos o recursos legales, teniendo presente que los fenómenos descritos dan cuenta de la presencia de dos situaciones diferentes. Por una parte se deben abordar los potenciales efectos de un sismo generado en la activación de la Falla San Ramón, y por otra, el efecto de ruptura superficial en la faja de la traza de la falla.

1 INTRODUCCIÓN

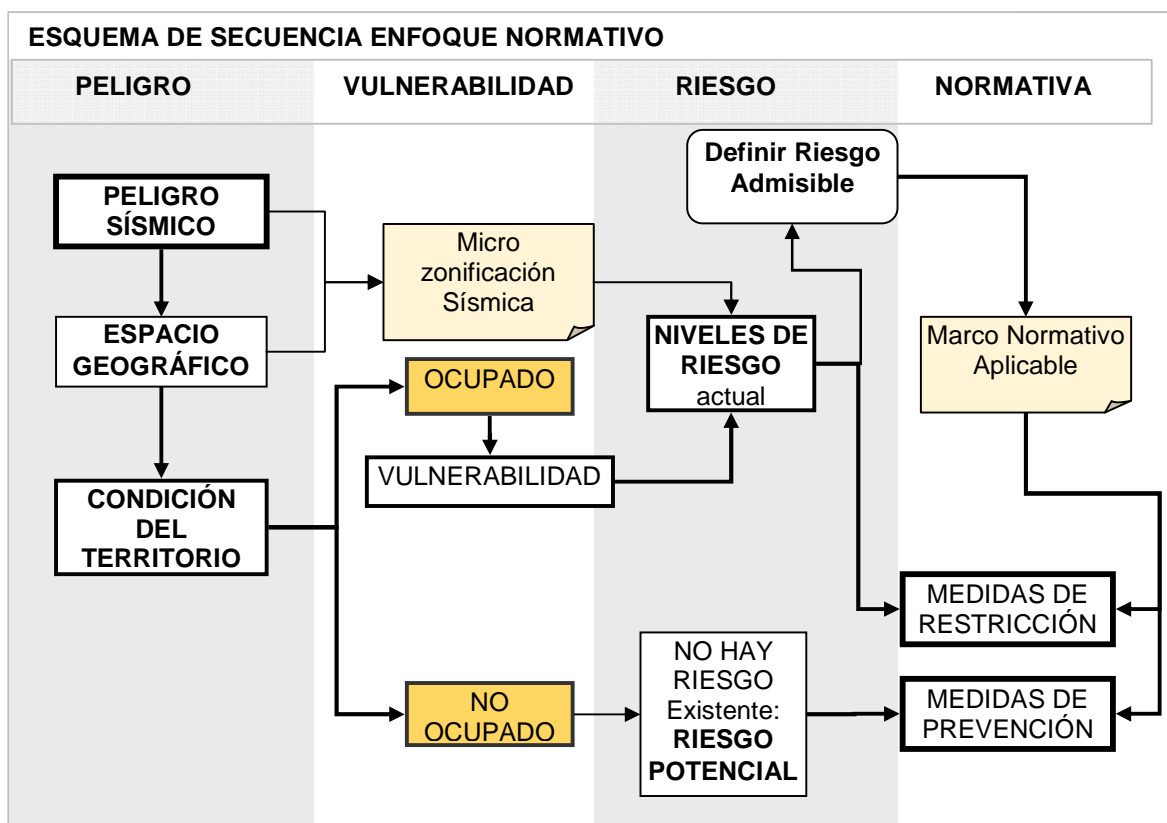
La Falla San Ramón es una estructura geológica que limita el valle de la Depresión Central con el frente cordillerano. Estudios recientes han evidenciado que es una falla de mecanismo inverso que, morfológicamente, sobrepone las rocas del frente cordillerano a los sedimentos de la Depresión Central (Rauld, 2002; Armijo et al., 2010) y que corresponde a una falla activa (Rauld, 2002; Pérez et al., 2009; 2010; Armijo et al., 2010).

El fin de esta etapa de desarrollo en el Estudio es formular las bases para una propuesta normativa frente al riesgo sísmico originado por la activación de la Falla San Ramón (FSR), el que está determinado por los niveles de peligrosidad detectados, la vulnerabilidad actual de los territorios afectados y la demanda potencial de uso que éstos tendrán en la aplicación de las políticas de desarrollo metropolitano y local. Ello, en el entendido que las restricciones por riesgo deben considerar tanto la prevención de la ocupación territorial, como la regulación o control restrictivo de los actuales emplazamientos.

El análisis científico-técnico tuvo por fin en este Estudio, la “evaluación del peligro sísmico”, mediante análisis de paleosismología, geotecnia y monitoreo sismológico, concluyendo en la determinación del “máximo sismo creíble” y sus efectos en cuanto a ruptura superficial de la falla y el sismo generado sobre el territorio de Región Metropolitana.

El análisis territorial-normativo por su parte, analizó la “Condición del Territorio”, primero en cuanto a su **ocupación y condición normativa**. Ello por cuanto sobre los territorios no ocupados no se constituye hoy un riesgo y su regulación (en caso de ser áreas normadas) debieran tener una orientación **preventiva**. En el caso de territorios ocupados, se sugiere que la orientación sea **restrictiva** y ella operará en función de los **Niveles de Riesgo** que presenta particularmente cada territorio, lo que se basa en la **Vulnerabilidad** de éstos y la localización dentro de la **Zonificación Sísmica**.

En el esquema siguiente, se expone la secuencia metodológica seguida para llegar a resultados y los pasos que deberán darse para la formulación de la normativa requerida.



Sabemos entonces que el nivel de riesgo depende de la existencia de asentamientos humanos, infraestructura y edificaciones, a lo que se agregan conceptos de “permanencia”, intensidad de uso y tipo de actividad. Aspectos que están directamente relacionados con materias afectas a normativas de ordenamiento territorial y normas de edificación, calidad de materiales, entre otras.

$$\text{Riesgo (R)} = \text{Amenaza (A)} \times \text{Vulnerabilidad (V)}$$

Visto así el riesgo se puede potenciar cuando aumenta la peligrosidad (amenaza) o cuando aumenta la vulnerabilidad. En consecuencia, podemos decir que si bien la **peligrosidad** sísmica (potencial de la Falla San Ramón) no es regulable o programable, sí lo es el manejo del **riesgo**, en la medida que se regule la **vulnerabilidad** del área potencialmente afectada, ya sea por acción directa sobre ésta o por la planificación normativa que ordena el desarrollo, ocupación o transformación del territorio.

El objetivo de la propuesta se enmarca entonces, en el control o disminución de la vulnerabilidad del sector donde la Falla San Ramón presenta peligro sísmico, mediante la zonificación o regulación normativa de competencia del PRMS, para el área normada.

En este contexto, es necesario recordar que el alcance de las propuestas del presente estudio quedó definido de este modo en la licitación¹:

6) Atendiendo los requerimientos predictivos de amenaza y vulnerabilidad del territorio asociados a la Falla San Ramón solicitados en los Términos de Referencia -los que reconocemos como base inapelable para una propuesta normativa territorial consecuente- se llega a la conclusión que la investigación geológica y geotécnica consume casi la totalidad del presupuesto disponible para la realización completa del Estudio, dejando un bajo margen para los aspectos de análisis y propuesta normativa. Por otra parte, los resultados de prospecciones, ensayos y monitoreos, que permitirán definir el tipo de riesgo que deberá cubrir la propuesta normativa, sólo se conocerán al cabo de 250 días de transcurrido el plazo contractual, dejando un estrecho margen para desarrollar una propuesta que incluso podría trascender a la competencia de un IPT metropolitano y sentar bases para una modificación de la legislación nacional. En este escenario presupuestario, con plazo reducido, no es posible desarrollar un producto completo, ya que demandaría ampliar el equipo profesional y consultar en forma estructurada a los diversos actores involucrados en decisiones tan delicadas como las requeridas, que debieran tomarse sobre la base de un respaldo científico, técnico, social y político. En este sentido se consulta lo siguiente: ¿En la proposición metodológica relacionada a la propuesta normativa, se puede formular una estrategia secuencial que reconozca y estructure la totalidad de los pasos requeridos en los TdR, no obstante las actividades ofertadas de ésta se ajusten a la disponibilidad presupuestaria del Estudio y sus plazos? La oferta permitirá al mandante dimensionar los recursos adicionales que dicho Estudio requiere para alcanzar las expectativas de una propuesta normativa de proyección legislativa.

RESPUESTA

Se precisa que los alcances de la Propuesta de Disposiciones de Carácter Normativo Regulatorias que al Consultor le corresponde desarrollar, debe incluir un análisis de las normas urbanísticas imperantes actualmente en el PRMS, en concordancia con los resultados de la evaluación de riesgo que se desprenda de los avances del Estudio. Dicho análisis concluirá con una propuesta fundamentada de cómo abordar la planificación urbana en el área de influencia de la Falla, considerando los niveles de riesgo que el Estudio identifique y en consecuencia con las actividades que allí se podrá desarrollar. Así mismo se deberá recomendar la estrategia que deberá seguir esta Seremi para ajustar el capítulo correspondiente a riesgos que posibilite a esta Secretaría Ministerial iniciar un proceso de ajustes al Instrumento Regulator Metropolitano (PRMS).

¹ Ver Anexo Aclaraciones de la Licitación.

2 RESUMEN DE PELIGROSIDAD

La amenaza originada en la activación de la Falla San Ramón se expresa en dos tipos diferentes de peligro. Por una parte, se ha caracterizado la ocurrencia de un sismo que afectará a la región, y por otra, un proceso físico de ruptura superficial a lo largo de la traza de la falla.² En este apartado se resumen ambos fenómenos y sus efectos sobre el área de estudio.

2.1 Falla San Ramón y Peligro Sísmico

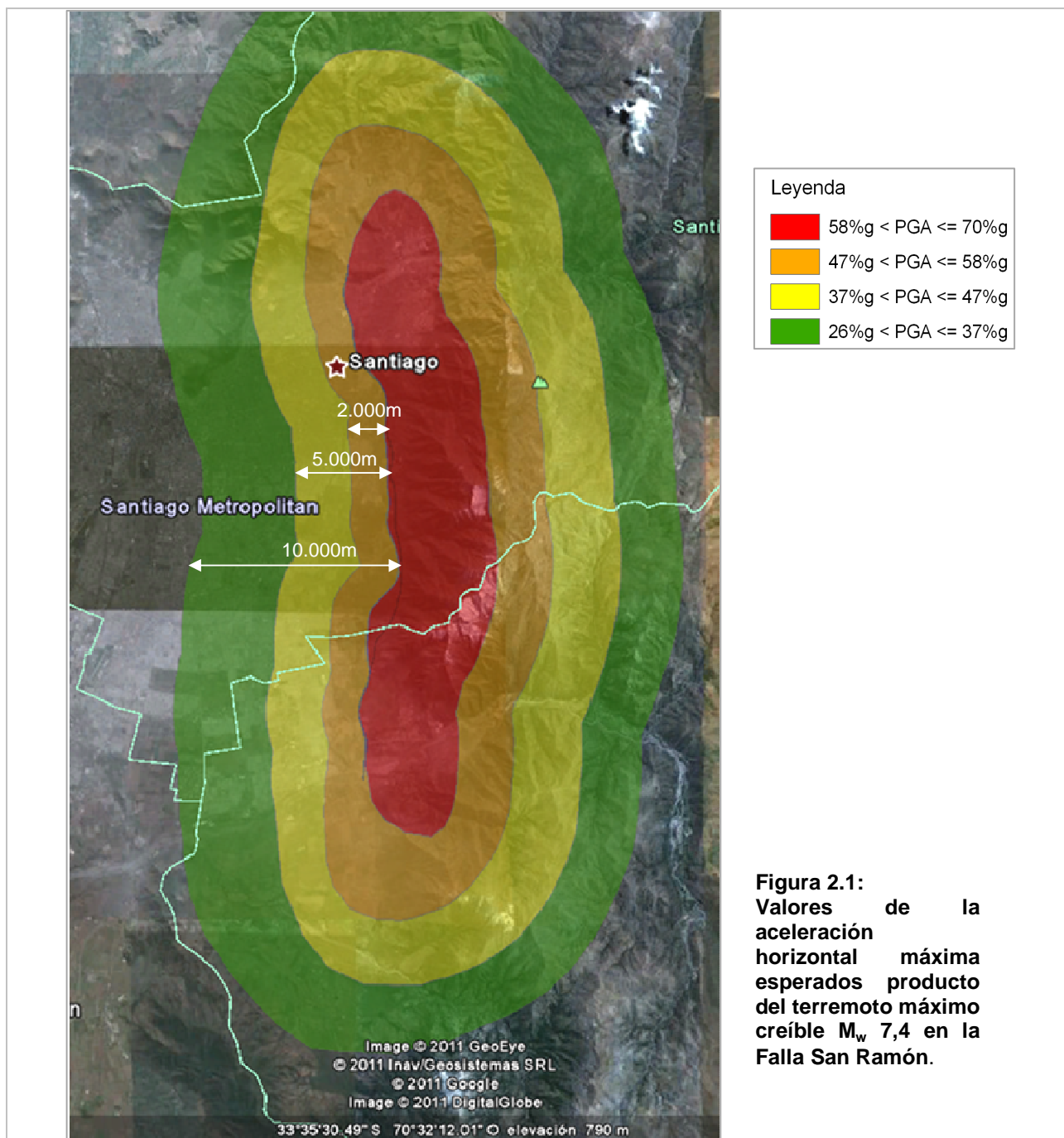
La estimación del peligro sísmico asociado a la Falla San Ramón se realizó mediante la aproximación determinística, pues al momento de realizar el presente estudio no se tenían los antecedentes suficientes para hacer una caracterización probabilística de la Falla. En estudios posteriores se debería suplir esta deficiencia, permitiendo realizar los cálculos probabilísticos.

Para estimar las capacidades sismogénicas de la Falla San Ramón, se utilizaron regresiones hechas con datos de todo el mundo, las cuales relacionan el largo de ruptura observado en superficie, los desplazamientos promedios en la falla y la magnitud máxima esperada (Wells & Coppersmith, 1994). Considerando los datos de la Falla San Ramón, se utilizó la magnitud máxima que se puede esperar ($M_w=7.4$). Dado este valor, se estimó las aceleraciones horizontales máximas (PGA) que puede producir la Falla San Ramón, considerando el efecto de bloque colgante (hanging-wall) hacia el Este. Además, se consideró un suelo Tipo II, similar a las gravas consolidadas del Maipo y el Mapocho. Otro aspecto que se consideró fue el efecto de la cuenca de Santiago, con un valor de profundidad promedio de 300 m. Haciendo uso de la ley de atenuación definida por Campbell & Bozorgnia (2008), se obtienen los valores de PGA presentados en la Tabla 2.1 y en la Figura 2.1.

Tabla 2.1. Valores de la aceleración horizontal máxima (PGA) en función de la distancia, para un evento de magnitud $M_w=7.4$.

Distancia hacia el Oeste (km)	PGA (%g)
2.0	47.0
5.0	37.0
10.0	26.0
Distancia hacia el Este (km)	PGA (%g)
2.0	70.0
7.9	47.0
11.5	37.0
14.7	26.0

² Ver Anexo Paleosismología, que aporta los detalles de los resultados de la investigación realizada.



De la Figura 2.1 es posible ver que las aceleraciones horizontales máximas alcanzan valores del 70% g hacia el lado Este de la Falla San Ramón, dando énfasis al impacto del efecto de bloque-colgante.

En Chile existe una zonificación sísmica normada en la Norma Chilena (NCh 433 Of. 96) que relaciona la profundidad del foco con la magnitud de los sismos e indica normas de diseños. En esta norma, el territorio nacional está dividido en tres secciones, según su grado de sismicidad, siendo la de mayor peligrosidad la Zona 3, con $A_0=0.4g$, y la menor, la Zona 1 con $A_0=0.20g$. La Zona 2 se asocia a $A_0=0.30g$ (Aguar, 2004). A_0 corresponde a aceleraciones efectivas.

La aceleración horizontal máxima (PGA) es el parámetro más utilizado para caracterizar el movimiento fuerte del terreno, a pesar de que son los parámetros espectrales los que mejor describen su potencial de transmisión de energía hacia estructuras civiles. La aceleración efectiva, que se define como el valor de pseudoaceleración que está más estrechamente relacionado con la respuesta estructural y el potencial de daños de un sismo, es un parámetro más estable y adecuado (Laporte, 2006). Cabe señalar que la aceleración efectiva es menor a la aceleración máxima horizontal (PGA). En Llolleo por ejemplo, ubicado en la Zona 3, la aceleración máxima (PGA) para el terremoto de 1985 alcanzó 0,6g.

De acuerdo a la norma, el área de estudio se ubica en la zona 2.

En este estudio, el PGA asociado a la Falla San Ramón, supera por el oeste un valor de 0,26g, considerado el valor regional de sismicidad para la zona, a los 10 km de la falla (verde en la figura). Entonces, desde este punto hacia el este se puede suponer que la falla causa un peligro mayor al peligro sísmico regional dado por todas las fuentes. Sin embargo, cabe señalar que el PGA es superior a la aceleración efectiva, pero esta última no es bien definida en la Norma y se supone comparable al PGA.

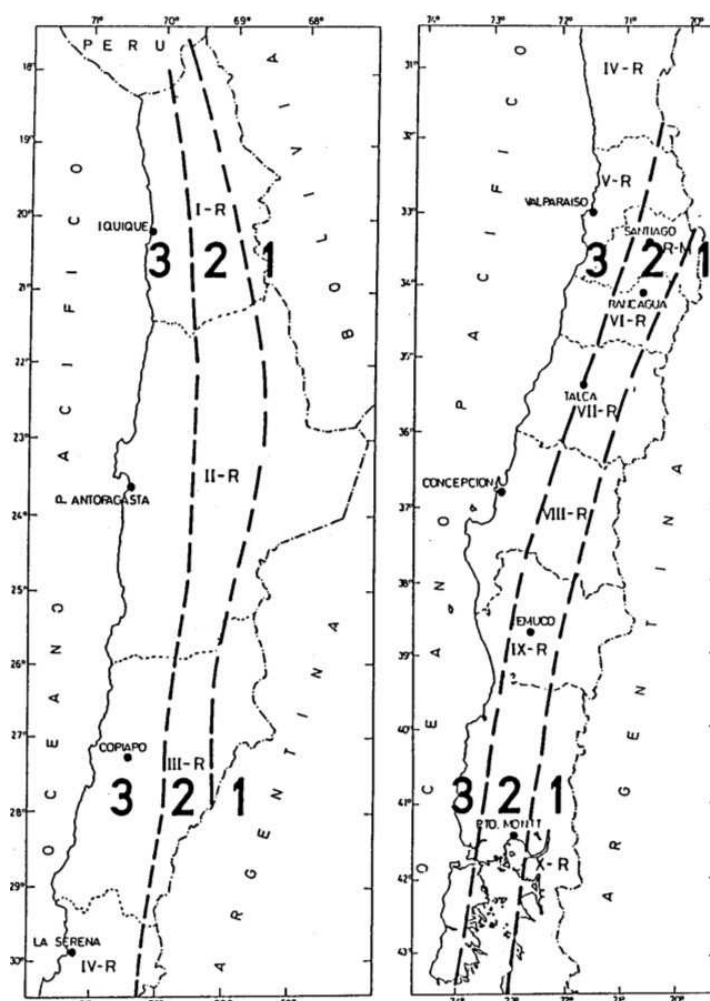


Figura 2.2 Zonificación Sísmica de las Regiones de Chile (NCh 433 Of. 96).

2.2 Falla San Ramón y Ruptura Superficial

Esta falla se manifiesta en superficie a través de escalones morfológicos que desplazan la superficie del terreno. La magnitud de los saltos se asocia con la edad de los rasgos desplazados paulatinamente por la falla, de modo tal que las superficies más antiguas se encuentran desplazadas decenas de metros, mientras que las más recientes se encuentran desplazadas algunos metros (entre 3 y 200 m; Armijo et al., 2010; Rauld, 2011). La traza de la falla se ha definido a los pies los escarpes, es decir, de los cambios de pendiente del terreno en los escalones

morfológicos, a escala de su cartografía entre los ríos Maipo y Mapocho, apoyada con observaciones de campo de carácter estructural (Armijo et al., 2010; Rauld, 2011).

La traza de la FSR ha sido definida recientemente por Armijo et al. (2010) y Rauld (2011). La realización de trincheras en un sector cercano a la quebrada Macul, en uno de los escarpes más recientes asociados a la FSR, permitió precisar las observaciones respecto de la manifestación en superficie de esta estructura. Se realizaron dos trincheras en forma perpendicular al escarpe de falla más reciente, en un sector ubicado inmediatamente al norte de la quebrada de Macul. Se eligió este sitio debido a que en él se observaron escarpes recientes que afectan las unidades de abanicos aluviales más jóvenes del piedemonte en el sector oriente de Santiago (Armijo et al., 2010), y también debido a que la ausencia o escasa urbanización en el sector facilitó la realización de las excavaciones.

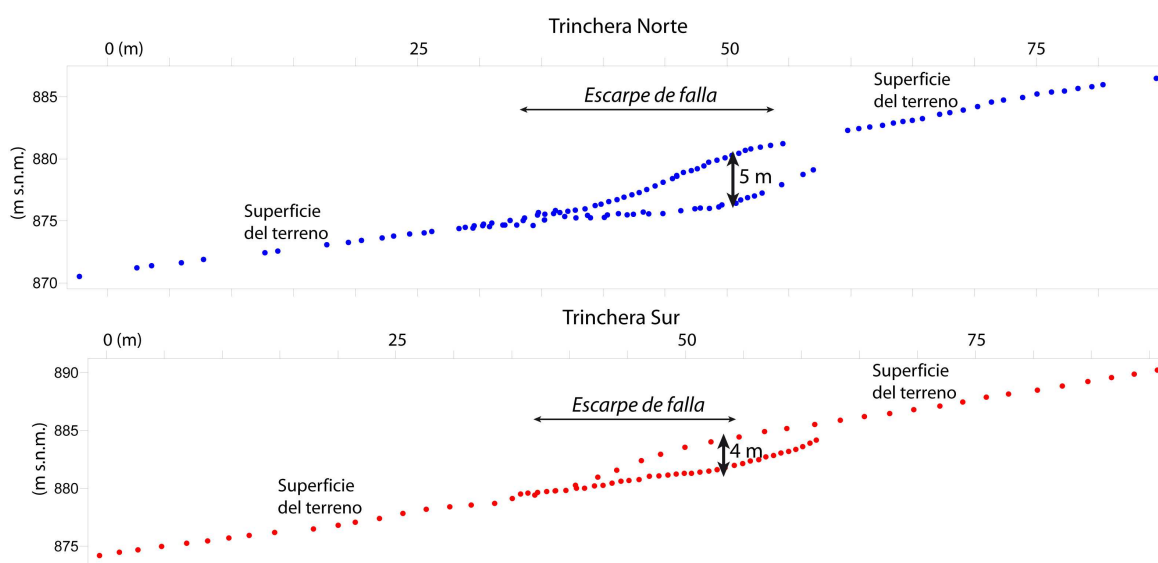


Figura 2.3. **Perfiles topográficos de detalle** realizados con GPS diferencial a lo largo de cada una de las dos trincheras excavadas en el escarpe de falla más reciente de la Falla San Ramón, en un sector inmediatamente al norte de la quebrada Macul.

Se observa que el escarpe de falla corresponde al incremento de la pendiente de la superficie del terreno; ésta es mayor en la zona del escarpe, respecto de antes y después del mismo. El escarpe se asocia a un desnivel o desplazamiento vertical de la superficie del terreno, del orden de 5 m en el caso de la Trinchera Norte y 4 m en

la Trinchera Sur. Estos resultados permitieron precisar la magnitud de los saltos verticales asociados al escarpe de falla más reciente de la FSR, respecto de lo expuesto en los trabajos de Armijo et al. (2010) y Rauld (2011). El escarpe, en este caso, se extiende transversalmente a lo largo de 15-20 m, y su pendiente es el resultado de la actividad reciente de la falla, por una parte, y de la erosión del mismo, por otra.

Ambas trincheras muestran que las estructuras de la Falla San Ramón alcanzan la superficie del terreno en la zona media basal del escarpe. En ambas trincheras la continuidad estratigráfica de los depósitos que conforman la superficie del terreno se encuentra interrumpida por la falla. La Trinchera Norte mostró en forma más clara tanto la estructura asociada a la falla, como la estratigrafía de los depósitos afectados por la misma.

Los resultados de análisis radiocarbono realizados a partir de muestras de sedimento de la Trinchera Norte, con el fin de obtener edades del material afectado por la falla, fueron realizados en el laboratorio *Beta Analytic Inc.*

Las edades radiocarbono obtenidas a partir de la capa cortada por la falla, así como edades obtenidas a partir de una superficie, sugieren que el escarpe puede ser reconstituido por uno o dos eventos de ruptura sísmica en superficie, con posterioridad a 21794 años calibrados AP. En el caso de dos eventos, éstos habrían producido al menos 2,1 m y 2,4 m de deslizamiento a lo largo de la falla con ruptura y desplazamiento en superficie, después de 21794 años Cal. AP, y eventualmente cerca o después de 8400-8433 años Cal. AP, respectivamente. En el caso de un evento, este produjo al menos 4,5 m de deslizamiento a lo largo de la falla con ruptura y desplazamiento en superficie, después de 21794 años Cal. AP.

Los resultados expuestos anteriormente son coherentes con las deducciones de las magnitudes esperables para sismos importantes en la FSR, del orden de Mw 6,7-7,4 (Armijo et al., 2010). Asimismo, confirman que la FSR ha producido ruptura superficial, con al menos desplazamiento vertical concentrado a lo largo de las fallas principales. También, los resultados muestran que la falla es capaz de generar grandes terremotos espaciados por miles de años uno de otro. El o los últimos ocurrieron después de 21794 años Cal. AP y eventualmente 8400-8433 años Cal. AP.

La observación de las trincheras evidenció que la traza o expresión en superficie de esta falla se alcanza en la base o sector medio de los escarpes. De manera transversal, los escarpes de falla se extienden por 15-20 m, hasta algunos cientos de metros (200-300 m).

Considerando la extensión transversal de los escarpes de falla mostrados en Armijo et al (2010) y Rauld (2011), y dado que los escarpes muestran grados de erosión distintos, que ha hecho retroceder su morfología, en este estudio se consideró un rango de **potencial influencia asociada a rupturas superficiales de la FSR de 300 m; 100 m hacia el frente de la falla (oeste) y 200 m hacia atrás (este)**, para efectos de la evaluación del peligro asociado a la misma (Figura 2.4).

La traza de la FSR definida de esta manera se muestra en la Figura 2.4.

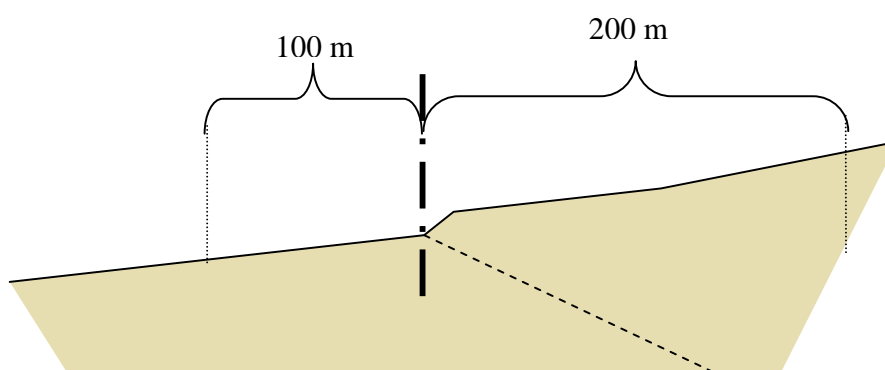
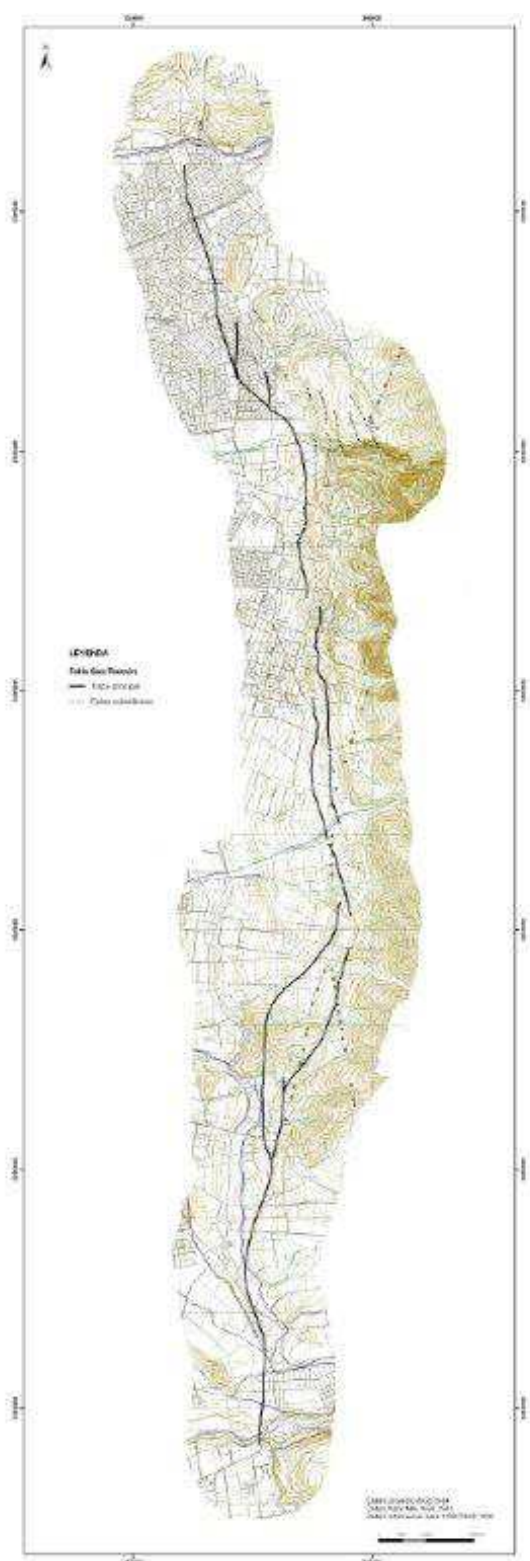


Figura 2.4.
Rango Transversal Potencial de Influencia de la erosión, a partir de la traza de la Falla.



Resultados de estudios geofísicos de sismica realizados en el marco de este trabajo en la zona en donde se ubican las trincheras, son coherentes con la geometría de la FSR observada en superficie, y apoyan la idea de una zona del orden de unos cientos de metros (300 m) como ancho de la potencial zona de ruptura.

Figura 2.5.
Traza de la Falla San Ramón en el sector oriente de Santiago.

2.3 Conclusiones

La Falla San Ramón es una falla de mecanismo inverso que, en términos morfológicos y estructurales, sobrepone las rocas del frente cordillerano a los sedimentos de la Depresión Central y que, de acuerdo a los antecedentes evidenciados en este trabajo, corresponde a una falla activa a escala de los últimos 22000 años. Esto implica un potencial de generar terremotos de tipo cortical que por su ubicación y características afectarían de manera importante la zona oriente de Santiago.

Observaciones realizadas a partir de trincheras excavadas en forma transversal al escarpe de falla más reciente cerca de la quebrada Macul, indican que:

- (a) La falla genera **ruptura en superficie**, con desplazamiento vertical del orden de varios metros en un solo evento,
- (b) La ocurrencia de uno o dos grandes eventos sísmicos con ruptura en superficie después de 21794 años calibrados antes del presente y posiblemente 8400-8433 años calibrados antes del presente,
- (c) Dada la geometría conocida de esta estructura, los resultados confirman que las magnitudes esperables para **sismos importantes a lo largo de la FSR serían del orden de Mw 6,9-7,4**, tal como han sugerido trabajos previos (Armijo et al., 2010),
- (d) De acuerdo a los escarpes de falla reconocidos a lo largo de la FSR, junto con las observaciones de las trincheras y resultados de estudios geofísicos realizados en el marco de este trabajo, sugieren que el rango de influencia de la **potencial ruptura en superficie es del orden de 15-20 m hasta 300 m**. Esto debe ser considerado para efectos de la evaluación del peligro.

Se recomienda fuertemente preservar el sitio en donde se han excavado las trincheras, de modo tal de continuar con las investigaciones paleosismológicas e implementar a futuro un geositio y museo. Esto es crucial para mostrar la FSR a la ciudadanía y a la comunidad científica mundial.

3 RESUMEN DE VULNERABILIDAD

Entendiendo la Vulnerabilidad como las características de la población y sus estructuras en términos de su capacidad para anticipar, soportar, resistir y recobrase de los impactos de una amenaza (*Blaikie et al 1994*), podemos concluir que ante la ausencia de personas o estructuras construidas no existe vulnerabilidad en el territorio, aun cuando éste se encuentre amenazado, identificándose sólo como un área de peligro, sin embargo, en el caso de las áreas Excluidas del Desarrollo Urbano del PRMS (preservación ecológica específicamente) si bien no se permite el uso residencial, sí están permitidas para diversos usos las EDIFICACIONES, que es el único componente de vulnerabilidad sísmica que hoy tiene norma de regulación (NCH433), por lo que éstas áreas se incluyen dentro de la vulnerabilidad probable.

En el caso de áreas sujetas a un IPT que regula la ocupación potencial del territorio, podemos hablar de Vulnerabilidad Real o Existente cuando el territorio se encuentra ocupado y de Vulnerabilidad Probable o Proyectada, la que se configuraría ante la ocupación eventual de éste, producto de la aplicación de las normas del instrumento.

En consecuencia, los territorios que se encuentran bajo amenaza y que presentan vulnerabilidad real o probable, se consideran áreas en riesgo, lo que el Estudio ha señalado como Espacio Geográfico de Riesgo Sísmico y Espacio Geográfico de Riesgo de Ruptura Superficial.

Atendiendo que los IPT, en la relación *peligro x vulnerabilidad = riesgo*, sólo pueden aportar en la disminución de la vulnerabilidad para reducir el riesgo, los espacios geográficos de riesgo son las áreas de aplicación para las propuestas normativas, donde las diferenciaciones de tipos y grados de vulnerabilidad serán los factores determinantes en la selección de criterios de regulación.

A continuación entonces se hace un resumen de la vulnerabilidad para las amenazas que se pueden originar de la FSR.

3.1 Vulnerabilidad Sísmica

Para la amenaza sísmica de la FSR, cuyos territorios de alcance con efectos singulares se muestran en figura 2.1 (capítulo 2), el Espacio Geográfico de Riesgo se estableció en el cruce de la extensión de la amenaza con las áreas urbanas, urbanizables y excluidas del desarrollo urbano del Gran Santiago. Estas áreas

constituyen los territorios vulnerables a un sismo provocado por la FSR, el que sería similar a lo que la Norma NCH433 supone para exigencias de la Zona 3 (costera), en consecuencia que para el Gran Santiago aplica hoy la Zona 2, con menores exigencias normativas que la Zona 3. Esta situación sitúa el tema de la vulnerabilidad en forma homogénea para toda el área urbana, urbanizable y excluida del desarrollo urbano, por cuanto el peligro o amenaza que se presenta en esos territorios es ser clasificados en una macrozona con menores exigencias estructurales de edificación que no se condicen con la amenaza de un sismo provocado por la FSR. La diferenciación que se puede hacer es que -al menos en las áreas urbanizables no consolidadas y las excluidas del desarrollo urbano- existe la posibilidad de evitar su ocupación. Por otra parte, si bien la norma NCH433 actualmente no diferencia microzonas dentro de las 3 macrozonas para el país, el mapa de peligro sísmico de este Estudio establece rangos que podrían motivar diferencias de riesgo y con ello exigencias normativas acordes.

La vulnerabilidad sísmica entonces, motivada por la FSR, se basa principalmente en la existencia real o probable de soporte construido (edificaciones e infraestructura), por cuanto la normativa existente se orienta a la regulación de ese factor de vulnerabilidad y no a los de población.

De acuerdo a lo señalado, el riesgo del área afecta a la amenaza sísmica no se verá disminuido por las características de la población o intensidad de uso, sino por la consideración o reclasificación del área en una calificación más exigente contenida en la normativa vigente dirigida a las edificaciones o soporte construido. Es así que podemos decir que toda el Espacio Geográfico de Riesgo Sísmico (graficado en lámina de Zonificación de Riesgo Sísmico) es, desde el punto de vista del soporte construido, altamente vulnerable por encontrarse apto normativamente para ser construido bajo una norma con exigencias menores a las requeridas para la amenaza sísmica que puede provocar la FSR.

3.2 Vulnerabilidad Ruptura Superficial

A partir del mapa de amenaza de ruptura superficial se delimitó el análisis de vulnerabilidad del territorio de la FSR; lo que fue desarrollado a partir de una selección de factores de vulnerabilidad atendiendo la particularidad de la amenaza, sobre la cual hoy no existe una norma específica cuya aplicación asegure mitigar los singulares efectos. Se identificaron así tres grupos de factores: demográficos, socioeconómicos y territoriales, reconociendo ponderaciones diferenciadas en la importancia que cobra cada uno para el caso específico de esta amenaza.

Ponderación que se alcanzó con la aplicación de una evaluación multicriterio, mostrando la siguiente valoración diferenciada de los factores de vulnerabilidad:

Factor	Peso
Densidad	0.250
Niños y Ancianos	0.375
Nivel de Educación	0.068
Ingreso	0.119
Hogar/Vivienda	0.052
Uso del Suelo	0.023
Nivel de Urbanización	0.050
Altura Edificación	0.064

Tratándose de una amenaza con efectos destructivos inmediatos, resulta comprensible que la mayor ponderación de relevancia la presente la densidad y la presencia de ancianos y niños; en tercer lugar el nivel de ingresos, dado la baja capacidad de recuperación de edificaciones eventualmente destruidas.

Tabla N°3.1: Pesos factores situación actual

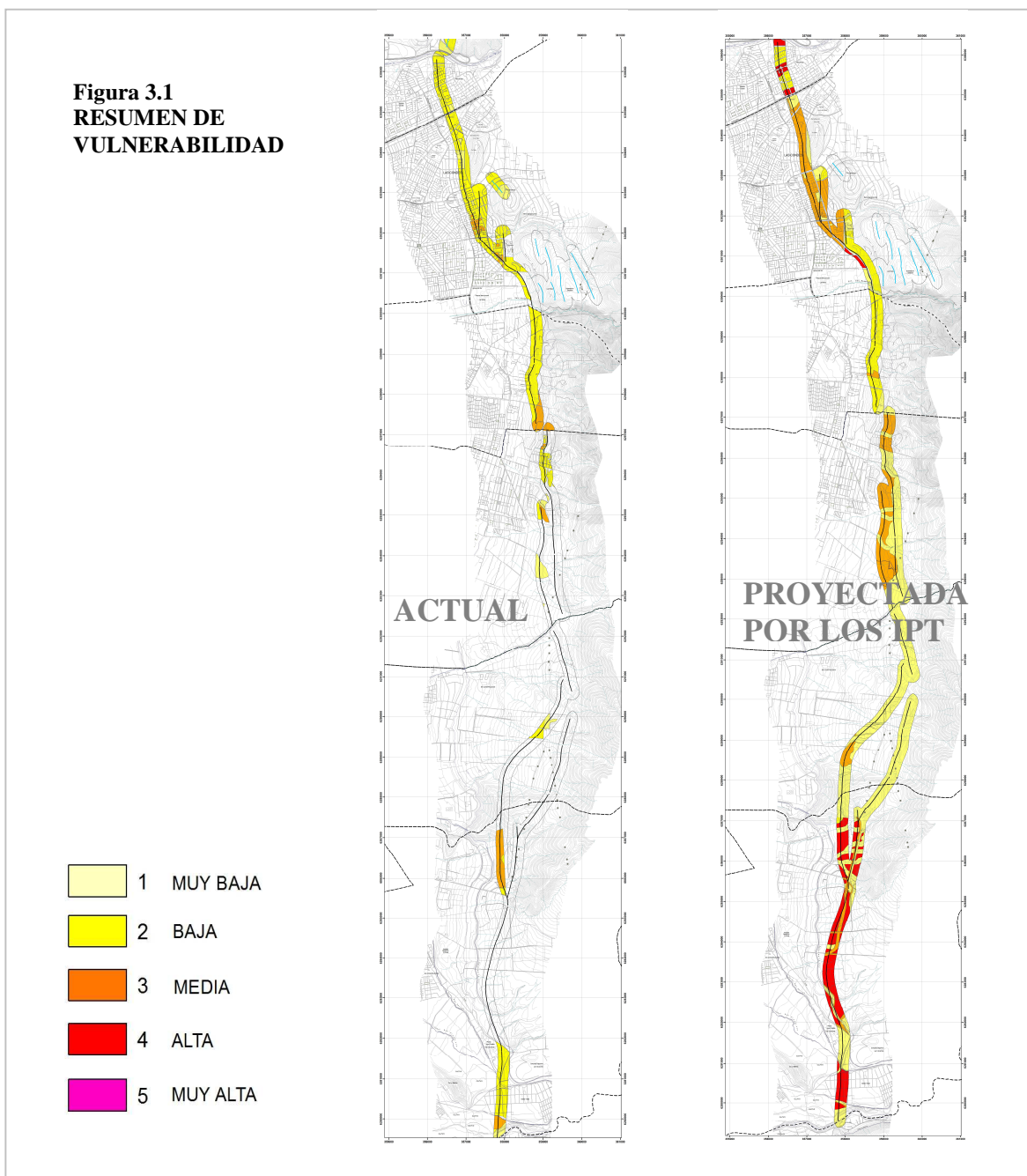
Los resultados del análisis de vulnerabilidad se representaron entonces para situación actual y situación proyectada por los IPT vigentes (PRMS y PRC del área), los que fueron mapeados (Informe Etapa 2) en su versión concluyente, diferenciando los territorios por grado de vulnerabilidad que van desde muy bajo (principalmente áreas desocupadas) a muy alto.

En el caso de la Vulnerabilidad Actual o Real, toda área que hoy no presenta ocupación se excluye de la condición de riesgo, identificándose sólo con la presencia de peligro. Este análisis, si bien representa lo que realmente hoy se encuentra en riesgo, su vigencia es feble, toda vez que a diario estos sectores manifiestan crecimiento en función de los IPT locales o metropolitano.

Por ello es que resulta, para este Estudio, más ajustado a sus objetivos, la consideración de la Vulnerabilidad Proyectada o Probable, que es la que se podría alcanzar en el horizonte de los IPT y su normativa. En este caso se incluyen las zonas no ocupadas, sean éstas urbanizables o excluidas del desarrollo urbano, pues ambas consideran normativamente la instalación de edificaciones en el territorio, que son en rigor los elementos más amenazados por una ruptura superficial de la FSR.

En la figura 3.1 se puede apreciar que al aplicar la vulnerabilidad proyectada, toda el área de peligro a lo largo de la traza de la FSR presenta algún nivel de vulnerabilidad, lo que indicaría que presenta riesgo en todo el Espacio Geográfico de la FSR para ruptura superficial.

Figura 3.1
RESUMEN DE
VULNERABILIDAD



Sobre estos resultados se ha hecho una síntesis territorial o delimitación de áreas homogéneas que permiten aprontar la zonificación posterior de riesgo, ver láminas adjuntas de Síntesis de Vulnerabilidad.

4 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO

A partir de la identificación de áreas vulnerables, representadas en los respectivos mapas de Espacio Geográfico de Riesgo, se ha identificado las zonas que son materia de riesgo (actual o proyectado) y sobre las cuales se debe formular una estrategia y propuesta normativa que apunte a la mitigación del riesgo mediante el manejo normativo de la vulnerabilidad, concluyéndose en lo que sigue.

4.1 Área de riesgo sísmico

La zonificación del riesgo sísmico, si bien permite una desagregación más pormenorizada para una microzonificación sísmica, en el escenario normativo actual se reconoce como una gran zona urbana, urbanizable y restringida al desarrollo urbano cuyas condiciones hoy de edificación antisísmica, se rigen bajo condiciones que no le son del todo válidas frente a un sismo provocado por la FSR; lo que no requiere un mayor detalle en tanto no exista una respuesta normativa para una microzonificación sísmica. Bajo esta consideración sólo debiese diferenciarse una zona de riesgo sísmico urbano (urbana + urbanizable) y una zona de riesgo rural (áreas excluidas al desarrollo urbano), la que al margen de las consideraciones normativas del PRMS se encuentra sujeta al Art. 55 de la LGUC, siendo hoy una zona edificable; de hecho la Universidad Adolfo Ibáñez se emplaza allí.

No obstante lo señalado, el Estudio considera pertinente en la Zonificación del Riesgo Sísmico, hacer una zonificación más diferenciada, en función de los niveles de peligro sísmico (aceleraciones horizontales) que ha identificado el análisis técnico. Otra consideración que se ha incorporado, es la diferenciación de territorios normados donde aun no se materializa su ocupación; para ello fue necesario desagregar las áreas urbanizables ya consolidadas, lo que permitiría una propuesta normativa más ajustada a las condiciones actuales del proceso de urbanización del área afectada por el peligro sísmico de la FSR.

Finalmente en el Plano de Zonificación del Riesgo Sísmico se diferencian áreas en función de su condición de vulnerabilidad y del grado de peligro sísmico que presentan conforme a rango de aceleración horizontal; los que en todo caso se encuentran por sobre lo considerado para las exigencias normativas de la Zona 2 de la NCH433.

La zonificación que se plantea entonces es para un escenario normativo que hoy no existe, pero que se plantea como necesario de comprender en expectativa de gestiones complementarias a la luz de los resultados del Estudio.

ZONAS DE RIESGO SÍSMICO ASOCIADO A LA FSR.

	PELIGRO SÍSMICO (ACELERACIONES HORIZONTALES) DE MAYOR A MENOR			
VULNERABILIDAD	A 26%g < PGA<= 37%	B 37%g < PGA<= 47%	C 47%g < PGA<= 58%	D 58%g < PGA<= 70%
URBANO Y URBANIZABLE CONSOLIDADO	A-1	B-1	C-1	D-1
URBANIZABLE NO CONSOLIDADO	A-2	B-2	C-2	D-2
EXCLUIDO DEL DESARROLLO URBANO	A-3	B-3	C-3	D-3

Propuesta hacia una microzonificación sísmica

En esta forma se representaría una diferenciación del riesgo donde “A” representa el mayor peligro y “1” la mayor consolidación actual.

4.2 Área de riesgo de ruptura superficial por falla activa

En el caso de la ruptura superficial, los resultados de la síntesis de vulnerabilidad sobre el mapa de Espacio Geográfico de Riesgo, permiten diferenciar (ver lámina adjunta Áreas de Riesgo Ruptura Superficial) las siguientes situaciones de riesgo:

Riesgo Actual: Se refiere a territorios ocupados y normados por un IPT donde se presenta riesgo, es decir, existen edificaciones habitadas y ocupadas por actividades urbanas. En este caso se encuentran principalmente sectores poblados de Puente Alto y Las Condes, en menor grado La Reina y Peñalolén.

Riesgo Potencial PRMS: Territorios que si bien presentan baja ocupación y vulnerabilidad actual, el PRMS contempla su ocupación como áreas urbanizables contemplando el uso residencial, lo que aumentaría su vulnerabilidad en el escenario de ese plan.

Riesgo Potencial PRC: Se trata de territorios urbanos no consolidados o de baja ocupación actual, los que conforme a sus respectivos PRC son potencialmente construibles y densificables en el horizonte de sus respectivos IPT.

Zona de Peligro: Corresponde a áreas bajo amenaza de ruptura superficial, las cuales normativamente no se encuentran habilitadas para ser habitadas y que no presentan ocupación actual, sin embargo contemplan el emplazamiento de edificaciones para usos educacionales, turísticos, científicos, entre otros; por lo que podrían constituirse en zonas de riesgo.

5 MARCO NORMATIVO APLICABLE

El fin de la consideración del marco normativo es definir las bases que permitirán formular una propuesta normativa frente al riesgo originado por la Falla San Ramón (FSR), el que está determinado por los niveles de peligrosidad detectados, la vulnerabilidad de los territorios y la demanda potencial de uso que éstos tendrán en la aplicación de las políticas de desarrollo metropolitano y local. Ello, en el entendido que las restricciones por riesgo deben considerar tanto la prevención de la ocupación territorial, como la regulación o control restrictivo de los actuales emplazamientos.

Se revisaron las disposiciones vigentes de nuestra legislación, relativas a la consideración de los fenómenos sísmicos en la planificación territorial y las edificaciones, las que se establecen en tres niveles, Normas Legales y Reglamentarias, Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) y Normas Técnicas.

Normas Legales y Reglamentarias de base:

- Ley General de Urbanismo y Construcciones, DFL 458, y modificaciones.
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones y modificaciones.

Instrumentos de Planificación Territorial

- Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS).
- Planes reguladores comunales

Normas Técnicas

- Norma NCh 433: considerando sus modificaciones posteriores al terremoto de febrero de 2010.

5.1 Normas Legales y Reglamentarias de base

Se consideraron las disposiciones de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) y de su Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), ya que dan el marco al diseño y contenidos específicos de los instrumentos de planificación territorial.

Se han dejado fuera diversas disposiciones legales y reglamentarias que afectan indirectamente la regulación de los riesgos en el territorio, debido a que se refieren a

aspectos secundarios, relacionados más bien con los procesos de prevención y mitigación de los efectos de las catástrofes. Dentro de ellas se encuentran las disposiciones relativas a la competencia institucional, la administración presupuestaria, a la ejecución de obras y subsidios, a la actuación del sector público ante una catástrofe, a las acciones de emergencia, etc.

5.1.1 Ley General de Urbanismo y Construcciones

La LGUC no aborda directamente esta materia, refiriéndose en general solo a terrenos que pudieran “no ser edificables” por su especial naturaleza y ubicación. Es decir, no concibe la definición de áreas de riesgo como tales:

***Artículo 60º.-** El Plan Regulador señalará los terrenos que por su especial naturaleza y ubicación no sean edificables. Estos terrenos no podrán subdividirse y sólo se aceptará en ellos la ubicación de actividades transitorias, manteniéndose las características rústicas del predio. Entre ellos se incluirán, cuando corresponda, las áreas de restricción de los aeropuertos*

Esta insuficiencia requiere ser corregida, de modo de clarificar desde la ley la afectación sobre predios privados derivada de la aplicación de restricciones a su uso y ocupación.

5.1.2 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

La OGUC trata en diversas partes esta materia, aunque las definiciones principales están dadas en el siguiente artículo, del cual se transcriben los contenidos atingentes:

Artículo 2.1.17. En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

Dichas áreas, se denominarán “zonas no edificables” o bien, “áreas de riesgo”, según sea el caso, como se indica a continuación:

Por “áreas de riesgo”, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos.

Las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:

1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. **Zonas con peligro de ser afectadas por** actividad volcánica, ríos de lava o **fallas geológicas**.
4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Haciendo una interpretación amplia, se podría considerar que se incluyen los efectos provocados por la activación de una falla geológica, es decir, la ruptura superficial y el sismo asociado. Sin embargo, esta interpretación debería estar refrendada por la DDU del MINVU, lo que permitiría zonificar las áreas urbanas y urbanizables como áreas de riesgo sísmico por activación de una falla geológica.

Esta consideración normativa, en lo relativo a constituir edificaciones en territorios afectos a amenazas naturales, encuentra procedimiento para su exigencia en las condiciones de edificación que deben establecer las Direcciones de Obras Municipales (DOM), lo que debe representarse en el Certificado de Informaciones Previas:

Art. 1.4.4...”En el Certificado de Informaciones Previas, el Director de Obras Municipales podrá exigir que se acompañe a la solicitud de permiso un informe sobre calidad del subsuelo, de acuerdo al artículo 5.1.15. de esta Ordenanza.”

Art. 5.1.15. “En la solicitud de permiso de edificación se incluirá un informe sobre la calidad del subsuelo o sobre posibles riesgos provenientes de las áreas circundantes y las medidas de protección que se adoptarán, en su caso, si lo hubiere requerido el Director de Obras Municipales en el Certificado de Informaciones Previas.”

En consecuencia, la identificación de áreas de riesgo por sismo, como desastre natural, puede orientar al menos la exigencia por parte de las DOM, de un informe sobre la calidad del suelo a las nuevas edificaciones en las áreas en que se advierten condiciones geológicas singulares frente a un sismo.

5.2 Instrumentos de Planificación Territorial

En el área estudiada se encuentran en aplicación las disposiciones del Plan Regulador metropolitano de Santiago (PRMS) y los planes reguladores comunales

de todas las comunas cruzadas por la traza de la FSR. Solo algunas de las comunas afectadas por el efecto sísmico de la FSR no cuentan aún con dicho instrumento actualizado.

5.2.1 PRMS

El PRMS, en tanto IPT con cobertura metropolitana, que se orienta a la planificación anticipada de la ocupación del territorio regional, por cuanto define las áreas del crecimiento urbano, debiese ser el principal referente en la consideración del riesgo sísmico en la habilitación normativa de ocupación urbana de éstos. Sin embargo, ello debe hacerlo en el marco de la competencia que le impone la OGUC, norma legal de base que establece específicamente cuáles serán las “áreas de riesgo” consideradas en la restricción del desarrollo urbano o de las edificaciones y donde no se encuentra mencionado el riesgo sísmico propiamente.

No obstante lo anterior, el PRMS en su actual Ordenanza, contempla “áreas de alto riesgo para los asentamientos humanos, de riesgo de origen natural”, señalando “*Se consideran en esta categoría las siguientes áreas: las que presentan **fallas geográficas y/o inestabilidad a los sismos**;...*”, abriendo cabida a la restricción normativa en función de particularidades territoriales frente a un sismo originado por una falla (aunque habría que corregir a “falla geológica”³).

También y en el tratamiento específico de los Rellenos Sanitarios, reconoce la existencia de “zonas de fallas geológicas activadas por sismo”

Artículo 8.2.1. De Riesgo de Origen Natural:

Se consideran en esta categoría las siguientes áreas: las que presentan fallas geográficas y/o inestabilidad a los sismos; las volcánicas; las de inadecuada constitución del terreno para la fundación de estructuras; las de deslizamientos de materiales o sedimentos; las de inundación por aluvión o avenidas; las de avalanchas de nieve, derrumbes y corrientes de barro, las de concentración de aguas provenientes de las precipitaciones y las áreas afectadas por otros riesgos naturales potenciales de tipo geológico, geomorfológico, hidrológico y climático.

Lo principal, es que este instrumento tiene la competencia para establecer áreas de riesgo, las que rigen por sobre las disposiciones de los PRC.

³ De hecho, hace la corrección en el Artículo 8.3.2.4. Proyectos con Desarrollo Urbano Condicionado.

5.2.2 Planes Reguladores Comunes

La actualización de los planes reguladores comunales del sector oriente de Santiago han extendido el área urbana de su competencia, reduciendo el área de aplicación correspondiente al PRMS.

Los PRC vigentes son los siguientes:

VITACURA: DO 30/12/1999, RES 59 1999 del GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO.
Este PRC tiene diversas actualizaciones.

LAS CONDES: DO 3/02/2005, RES 8/95 del GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO.
Este PRC tiene diversas actualizaciones, algunas de las cuales se encuentran en curso.

LA REINA: DO 09/09/2010 DCTO 1.516 2010 MUNICIPALIDAD DE LA REINA, promulgación modificación PRC La Reina.
Este PRC tiene diversas actualizaciones y una modificación general en proceso de aprobación.

PEÑALOLÉN: DECRETO N° 55, Aprobación PRC Peñalolén 20/06/1989 MINVU
Este PRC tiene diversas actualizaciones.

LA FLORIDA: DO 17/08/2001. MUNICIPALIDAD DE LA FLORIDA, Modificación PRC.
Este PRC tiene diversas actualizaciones.

PUENTE ALTO: DO 25/04/2003, MUNICIPALIDAD DE PUENTE ALTO, Aprobación PRC

En ninguno de ellos se reconoce el riesgo relacionado con la FSR.

5.3 Normas técnicas

Norma NCh 433: La actual versión corresponde a una revisión del documento oficializado en 1993 y actualizado por última vez en 1996. Está orientada a lograr estructuras que resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada, limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana

intensidad y, aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad severa. Establece requisitos mínimos para el diseño sísmico de edificios de acuerdo al área en que serán construidos y al uso que se dará a la estructura.

- Zonificación sísmica. Antes de esta norma, era lo mismo construir en cualquier parte de Chile. Ahora, la zona costera, con suelos más blandos y riesgosos, obliga a una mayor rigidez en sus cimientos. Esta área incluye toda la costa, desde el Norte Grande hasta Puerto Montt. Para la zona central, basta una rigidez intermedia y contempla hasta la isla de Chiloé. Para la zona cordillerana (desde el altiplano hasta Tierra del Fuego), con suelos de roca firme, una menor rigidez.
- Clasificación de edificios y estructuras. En caso de catástrofe, los edificios que puedan albergar grandes cantidades de personas deben resistir más con el fin de preservar y proteger la mayor cantidad de vidas. En virtud de esto, establece una clasificación de los edificios y sus prioridades en la calidad de su construcción.
 - Categoría A: edificios gubernamentales, municipales, de servicio o utilidad pública (cuartel de policía, central eléctrica, telefónicas, correo, canales de televisión, radios, hospitales).
 - Categoría B: edificios cuyo contenido es de gran valor cultural (bibliotecas, museos) y aquellos donde existe frecuente aglomeración de personas (salas, asambleas, estadios, escuelas, universidades, cárceles, locales comerciales).
 - Categoría C: edificios destinados a la habitación privada o uso público que no pertenezcan a las categorías A o B y construcciones de cualquier tipo cuya falla pueda poner en peligro las construcciones de categoría A o B.
 - Categoría D: construcciones aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables.

Respecto a esta norma, se debe indicar que a raíz del terremoto 8,8 de 27.02.2010 (27F), se ha dictado el Decreto 117 MINVU, terminado de tramitar el 9 de febrero de 2011, que le incorpora adecuaciones y complementaciones, mientras el Instituto Nacional de Normalización confecciona la norma técnica que será la nueva Norma Oficial de diseño sísmico.

Se incorporan nuevos espectros de diseño sísmico, a partir de los registros del 27F, además de especificar de mejor manera la clasificación del suelo, aunque manteniendo la misma macrozonificación de referencia anterior.

El Decreto Supremo 61 (DS 61) MINVU, de este año, deroga el anterior decreto 117. Al respecto, cabe resaltar que si bien se modifica la forma del espectro, éste vuelve a la versión anterior que existía en la Norma NCh433.Of1999, modificación 2009, basada principalmente en el factor α (alfa). En la nueva versión del espectro propuesta en el DS 61, se entregan parámetros que permiten definir la demanda sísmica para los 4 tipos de suelos que son permitidos para la edificación (desde suelo A hasta E), los cuales no cambian sustancialmente su clasificación. De esta manera, el espectro de diseño definido para edificios, de acuerdo a la legislación vigente, nuevamente considera únicamente registros de eventos de contacto o interplaca tipo thrust, dejando de lado las otras fuentes sismogénicas presentes en nuestro país (fuente intraplaca de profundidad intermedia y fuente cortical).

El análisis de las disposiciones de esta norma y sus modificaciones, permite concluir que no contiene los efectos de un sismo originado en la activación de la Falla San Ramón, como se ha expuesto en el capítulo 2.1, ya que los valores que se deducen exceden los de la NCh 433 en una extensión importante de la región (Ver Figura 2.1).

Norma NCh 430: Esta Norma tuvo su última modificación en el año 2008 y abarca las exigencias para el uso del hormigón armado, sus requisitos de diseño y cálculo

Mediante Decreto 118 MINVU, terminado de tramitar el 10 de febrero, se introdujeron cambios en el diseño de hormigón armado orientados a entregar mayor ductilidad a las estructuras. Estas disposiciones se aplicarán hasta que se dicte la correspondiente Norma Oficial.

Otras Normas Técnicas Chilenas que se deben considerar para el diseño de edificaciones y elementos estructurales:

- NCh 2369.Of2003 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales
- NCh 2745.Of2003 Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica
- NCh3.Of1961 Escala de intensidad de los fenómenos sísmicos
- NCh427.cR1977 Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios.

6 EXPERIENCIA INTERNACIONAL RELEVANTE

Se han revisado experiencias y cuerpos normativos que se encuentran como información secundaria disponible (acceso público), que puedan orientar consideraciones normativas que se han abordado o están en estudio en otros países, así como convenios o acuerdos internacionales relacionados al tema.

El esfuerzo desarrollado estuvo dirigido a encontrar antecedentes que fueran útiles a los objetivos del presente estudio, es decir, “... las disposiciones atinentes a los instrumentos normativos y de regulación urbana en otros países que se hayan enfrentado a la problemática de establecer normas y restricciones respecto del uso de suelo y otros aspectos normativos **en el entorno de las fallas activas**”.

Para ello se recurrió a las fuentes documentales disponibles, es decir, dado que son fuentes internacionales, a aquellos documentos que se encuentran recopilados en organismos e instituciones preocupados del tema y a aquellas publicaciones que están disponibles en internet. Esto no podía ser de otra manera, ya que los recursos del contrato no permiten que se viaje para obtener información directa, ni que se contrate a expertos de otros países. Aún así, se pudo contar con la colaboración de algunos profesionales en el extranjero que orientaron la búsqueda.

En este marco, se recopiló una gran cantidad de información documental⁴, de la cual se seleccionó aquella relevante.

Si bien el tratamiento de los efectos de las fallas activas en la superficie en los instrumentos de planeamiento físico, se viene tratando desde hace más de una década, las discusiones y aplicaciones más directamente relacionadas son recientes, como lo demuestra la literatura consultada.

Son muy pocos los casos en que se han detectado experiencias relevantes al objetivo final del estudio, pero sí se han considerado muchas experiencias de aplicación metodológica, que apoyaron firmemente las decisiones técnico - científicas para la posible incorporación de las áreas de riesgo al PRMS y la aplicación de normas urbanísticas.

La revisión del material consultado abre un campo que requiere su análisis y consideración conjunta con los organismos técnicos de la planificación territorial,

⁴ Ver Informe Etapa 1 del presente Estudio.

como el MINVU y el Gobierno Regional (para los efectos de la dictación del Plan de Ordenamiento Territorial de la Región Metropolitana, PROT), ya que lo que se ha recogido obliga a su interpretación y validación en cuanto a opciones referenciales. Para ello, se considera altamente conveniente la realización de un programa de trabajo conjunto.

6.1 Zonificación sísmica

De los antecedentes revisados a la fecha, se puede deducir que en general, lo primordial es lograr una microzonificación sísmica debidamente fundada, sobre la cual se apliquen exigencias específicas a la edificación y se controle la ocupación de los predios con mayor nivel de riesgo, tanto en lo que se refiere a los usos de suelo a permitir, como a las prevenciones de mitigación en caso de actividad sísmica originada en la falla.

Para el riesgo sísmico entonces, se seleccionaron los casos de Colombia y Nicaragua. Junto con ello, se destaca la acción del Proyecto de Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina (PREDECAN), en cuanto a las orientaciones replicables en Chile que contiene.

De cualquier modo, es preciso destacar que estas experiencias, al igual que todas las restantes revisadas, se dan en un contexto político administrativo distinto al chileno, ya que el grado de injerencia del estado es mayor y el nivel de coordinación y vinculación inter institucional es relevante.

6.1.1 Colombia

Instrumentos legales:

1. Decreto 93, año 1998: Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
2. Ley 388, año 1997: Ordenamiento Territorial Distrital y Local.
3. Ley 400, año 1997: Construcciones Sismo Resistentes.

El país desde el año 1998, cuenta con el Decreto 93 el cual define que se debe crear un Plan Nacional para la Prevención y Atención a desastres naturales. Esto producto que el Estado está consciente que el emplazamiento del país está en una zona de alta actividad sísmica-volcánica, sumado a la vulnerabilidad que presentan sus asentamiento humanos.

Mediante este Plan, el país define un conjunto de programas y subprogramas de intervención que le permiten enfrentar los diversos desastres naturales que se ven expuestos.

Este Plan cuenta además con cuerpos legales que le permiten fortalecer sus programas de intervención. Estas leyes son la referida al Ordenamiento Territorial (Ley 388, 1997) y la Ley referida a las normas constructivas del país (Ley 400, 1997). Con estos instrumentos legales y programáticos se enfrentan los diversos ámbitos de los desastres naturales tanto en su etapa de emergencia como en la etapa de prevención.

En relación a la Ley 400, referida a la edificación sismo resistente, fija parámetros en relación a la intensidad de los eventos sísmicos. Frente a un sismo de baja intensidad la ley señala que la edificación deberá soportar sin daños, para temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño en elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso.

Referente a la Ley 388, ésta le otorga como facultad a los municipios, que dentro de su plan de ordenamiento territorial definan las áreas que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos. Además, permite que sea posible determinar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención de desastres. Otro aspecto relevante en esta ley es la facultad de declarar de utilidad pública o interés social terrenos que el Estado pueda expropiar en beneficio de la comunidad aledaña.

Cabe destacar que la Ley 388, señala explícitamente que en la elaboración de los Planes de Ordenamiento Territorial se deberán tener en consideración normas de superior jerarquía a ésta y que se refiere a la prevención de amenazas y riesgos naturales. Para estas, se señala que se deben considerar e incluir las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales.

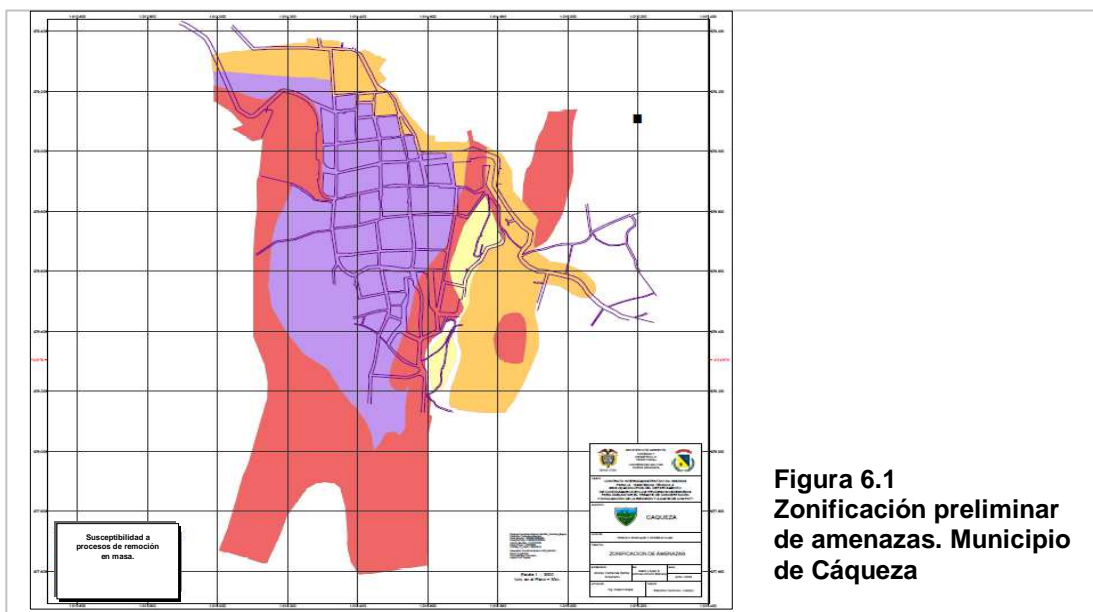
Señala además, que uno de los componentes del plan se refiere a la definición en plano de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de los asentamientos humanos ya sea por amenazas o riesgos naturales. Esto último se debe delimitar tanto para el área urbana como para la rural.

Además de lo anteriormente señalado, dentro de los contenidos básicos de estos planes se refiere a la definición de una estrategia de mediano plazo para el

desarrollo de programas de vivienda de interés social y la definición de los mecanismos para la reubicación de los asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo para la salud e integridad de sus habitantes, incluyendo la transformación de las zonas de riesgo con el objeto de evitar su nueva ocupación. Otro aspecto que se señala en esta Ley, se refiere a que los usos de suelo que pueden ser definidos son urbano, expansión urbana y rural. En cada uno de ellos es posible determinar zonas de protección las cuales incluyen a las zonas de amenazas y riesgos no mitigables restringiendo la posibilidad de urbanizar dichas áreas.

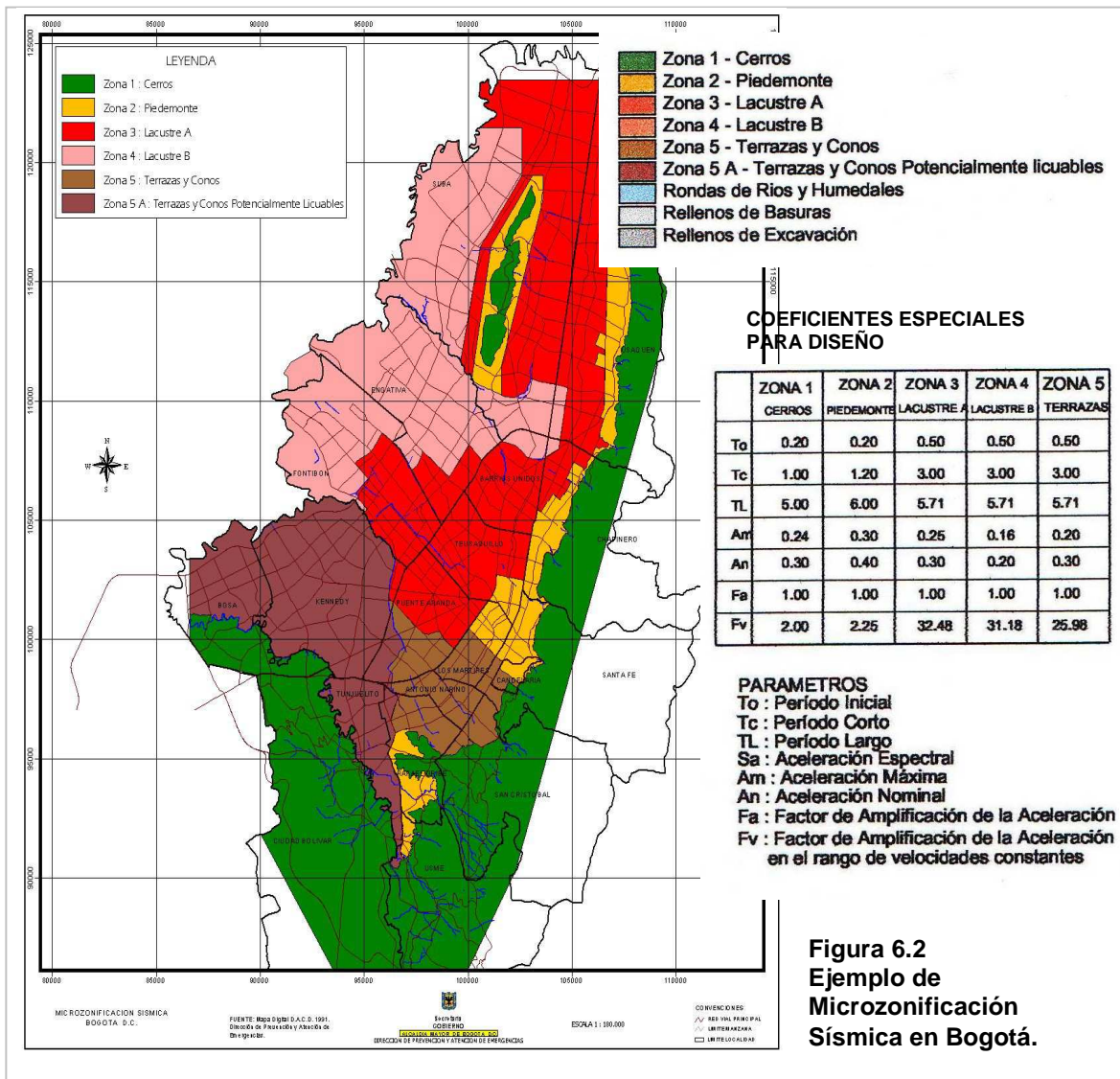
Casos de Estudio:

En el año 2008, en la zona de Cundinamarca se produjo un evento sísmico, el cual fue apoyado por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, permitiendo generar una instancia de asistencia técnica a los municipios de la zona, con quienes generaron cartografías de una zonificación preliminar de Amenazas. El siguiente mapa muestra el caso del Municipio de Cáqueza, el cual fue elaborado mediante este proceso de asistencia técnica:



Otro ejemplo de la incorporación de la componente de riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial es el caso de Bogotá. En el año 2007, se definieron varios tipos de riesgos: sísmicos, inundaciones, remociones en masa, aglomeraciones y tecnológicos. Con esta información se elaboró el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá que no sólo incluye una zonificación del territorio, sino que la definición de las áreas no aptas para los asentamientos humanos y con sus respectivos

programas de erradicación de esas zonas, definiendo presupuestos plurianuales para estos efectos.



En el mapa anterior, se observa la zonificación desarrollada en el marco de la formulación del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, el cual se inicia con la determinación de los riesgos para luego definir las áreas de desarrollo de la ciudad. Bogotá se encuentra ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia, con zonas de amenaza por deslizamientos, inundaciones, incendios forestales, emergencias por incendios estructurales, accidentes de tránsito y en algunos casos acciones terroristas.

El Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. (Decreto 619 de 2000) buscó frenar los procesos que fomentan la segregación urbana, priorizar la inversión pública para atender las zonas más necesitadas, mejorar la competitividad de la ciudad, recuperar el espacio público, extender y regular los servicios comunitarios, establecer un sistema de transporte masivo eficiente y ordenado, además de ofrecer suelo urbano apto y suficiente para atender la edificación de vivienda de interés social y definitivamente ordenar el territorio de una manera sostenible, atendiendo los conflictos que se presentan entre el desarrollo físico, económico, social y la preservación del medio ambiente

Estos planes tienen un componente general, un componente urbano, un componente rural, proyectos de corto, mediano y largo plazo e instrumentos de gestión urbana. En el componente urbano se destina un especial aporte a las zonas sujetas a amenazas y riesgos, señalando las áreas bajo amenaza y las posibles medidas de mitigación, así como las zonas prioritarias sujetas al análisis de riesgos, la implementación del monitoreo de amenazas, los condicionamientos para futuros desarrollos urbanísticos y la obligatoriedad del análisis de riesgos.

Se ha avanzado en las tareas de microzonificación sísmica, mediante metodologías de amplia validación en otros países y organismos internacionales, logrando focalizar la aplicación de las normas técnicas de nivel nacional en forma diferenciada a nivel local.

Aquí se ha considerado como experiencia relevante, la aplicación pormenorizada de normas de diseño sísmico, más allá de la situación misma.

6.1.2 Nicaragua

Instrumentos legales:

1. Ley N° 337: Sistema Nacional para la prevención, mitigación y atención de desastres.
2. Ley N° 677: Vivienda de Interés Social.
3. Decreto N° 90 año 2001: Política General para el Ordenamiento Territorial.
4. Decreto N° 78, año 2002: Normas, pautas y criterios para el Ordenamiento Territorial.

Respecto de la Ley 337, ésta crea el Sistema Nacional para la prevención, mitigación y atención de desastres, el cual se entiende como la concurrencia tanto de las instituciones públicas, como privadas y de la sociedad civil quienes tienen como una de las funciones la creación de los mapas normativos de vulnerabilidad

territorial frente a las tipologías de desastres. Uno de ellos es el sísmico, generando mapas de detalle a escala urbana que permitan zonificar el territorio graduando las intensidades de la vulnerabilidad de éste frente a eventos de desastres naturales.

Una función que debe cumplir este sistema, se refiere a la definición de las directrices que deben ser incorporadas en los procesos de Ordenamiento Territorial, con el objeto que el Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial, genere las normas necesarias de prevención de desastres naturales.

Respecto de la Ley N° 677, ésta señala que es labor de los procesos de ordenamiento territorial definición de la vulnerabilidad del territorio frente a desastres, por lo que el desarrollo de viviendas sociales, está concatenado a esta zonificación previa, para garantizar una construcción en territorios que lo permitan.

Mediante la Política General para el Ordenamiento Territorial, el país reconoce la necesidad de contar con información del territorio en las distintas escalas de administración de éste, incorporando como uno de los aspectos fundamentales, la temáticas de las amenazas naturales como capa de información en todas las escalas, de tal manera de contar con un banco de datos para los procesos de Ordenamiento Territorial.

La Política además, señala que el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales será la institución encargada de la generación de los estudios en materia de riesgos que sean necesarios de incorporar en los procesos de Ordenamiento Territorial. Respecto del Decreto referido a las normas, pautas y criterios para el Ordenamiento Territorial, éste señala que mediante los instrumentos de planificación se deberá minimizar los riesgos derivados de los fenómenos naturales y de amenazas.

Señala además, que los asentamientos poblados que ya se encuentran afectados por amenazas naturales, deberán generar acciones de prevención y mitigación de éstos y que la planificación de nuevos asentamientos, deberá incluir las acciones correctivas de mitigación y prevención de los riesgos asociados a estas áreas.

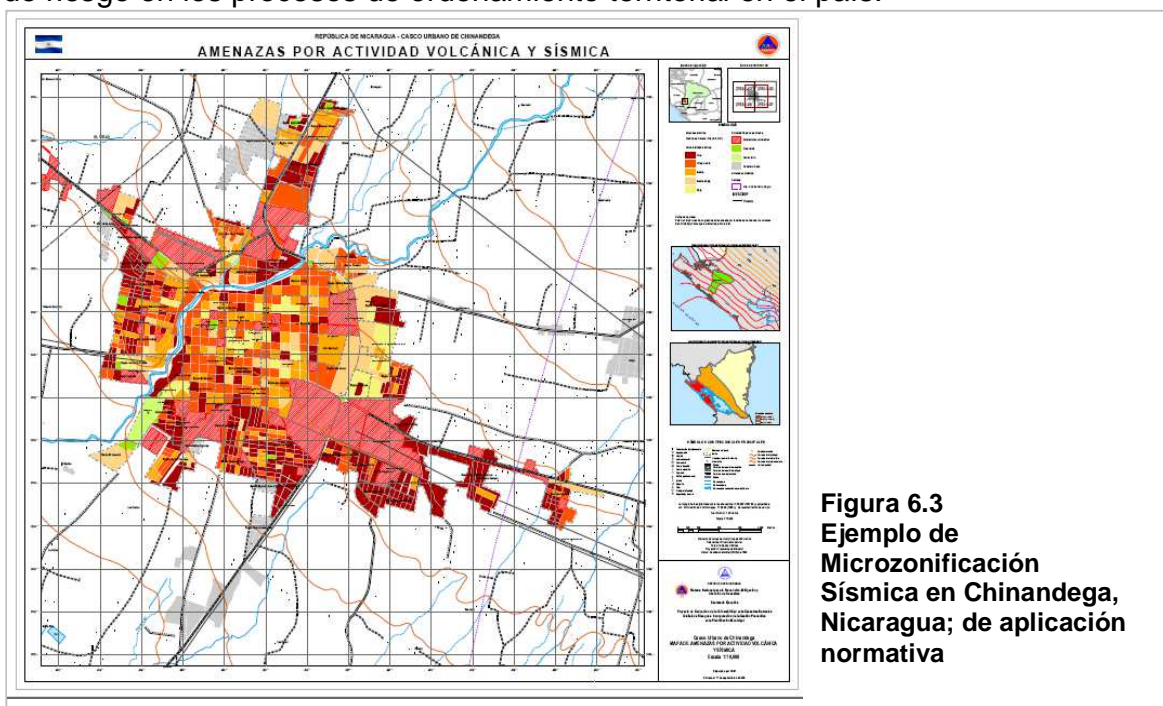
Cabe destacar, que las experiencias de levantamiento de información como de reconstrucción y mitigación frente a eventos de riesgo, han sido financiadas con recursos externos, generando procesos particulares que ha dificultado su implementación a nivel nacional.

Los instrumentos normativos con los que cuenta el país, son relevantes, pero aún está en discusión la Ley de Ordenamiento Territorial que generará los instrumentos adecuados para los procesos de planificación del territorio con la incorporación de la componente de riesgos.

Casos de Estudio

Los mapas de amenaza generados por Instituto Nacional de Estudios Territoriales, tienen carácter normativo, como por ejemplo el mapa de zonificación sísmica de Nicaragua. Estos han sido oficializados por Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención a Desastres. Instrumentos como las evaluaciones de sitio realizadas a partir de los mapas de amenaza han permitido frenar acciones y luego se han convertido en norma.

El siguiente mapa muestra la zonificación de escala urbana de la ciudad de Chinandega que muestra la manera en que se analiza y se incorpora la componente de riesgo en los procesos de ordenamiento territorial en el país.



Este es un mapa de carácter normativo, por tanto obligatorio de incorporar en el proceso de formulación de los Planes de Ordenamiento Territorial, considerando la componente de riesgo como determinante en la definición de los usos de suelos para los desarrollos de las ciudades del país.

6.1.3 Proyecto PREDECAN (Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina)

Este proyecto, centró sus actividades en el acompañamiento a entidades nacionales y de carácter subregional en temas como la formulación de políticas, el desarrollo de sistemas de información, la planificación e inversión pública, la educación y la comunicación, la participación y la gestión local del riesgo, aportando con ello a la reducción de la vulnerabilidad ante peligros de origen natural en la subregión andina.

La subregión andina comprende a los siguientes países: Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú.

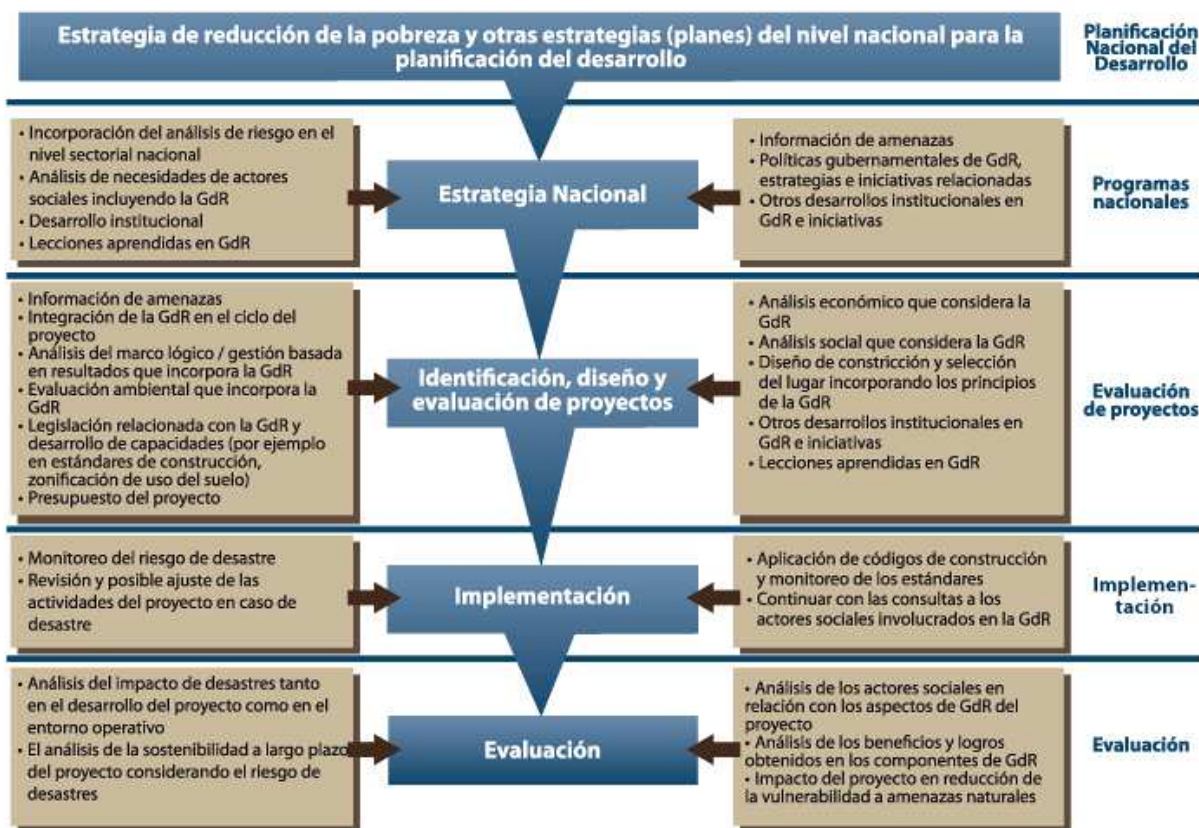
Como objetivo específico, el proyecto se planteó **mejorar los servicios en el área de gestión del riesgo mediante el fortalecimiento de políticas nacionales, de instituciones y de la coordinación de actividades entre éstas**. Por esto, los actores o interlocutores fundamentales del proyecto fueron bastante amplios, abarcando casi todas las instituciones directamente vinculadas con los diferentes procesos de la gestión del riesgo de desastres en el nivel nacional.

Una de las áreas de interés de este proyecto se refirió a los procesos de planificación al interior de cada uno de los países involucrados.

Para que la planificación sea adecuada se deben identificar tendencias y oportunidades, y anticipar las dificultades que pudieran impedir el logro de los objetivos y metas del desarrollo. Para ello es pertinente establecer objetivos precisos, orientar los recursos disponibles de manera segura, promover la acción interinstitucional, la participación de todos los actores relevantes, y adecuar la estructura organizativa para que sea congruente y permita los propósitos del desarrollo.

Bajo esta premisa, el Comité Andino para la Prevención y Atención de Desastres (CAPRADE), con el acompañamiento del Proyecto PREDECAN, implementó una serie de acciones estratégicas y prioritarias para la subregión andina en materia de integración de la gestión del riesgo en procesos de planificación y desarrollo en los cuatro países.

El siguiente esquema da cuenta de dichas acciones

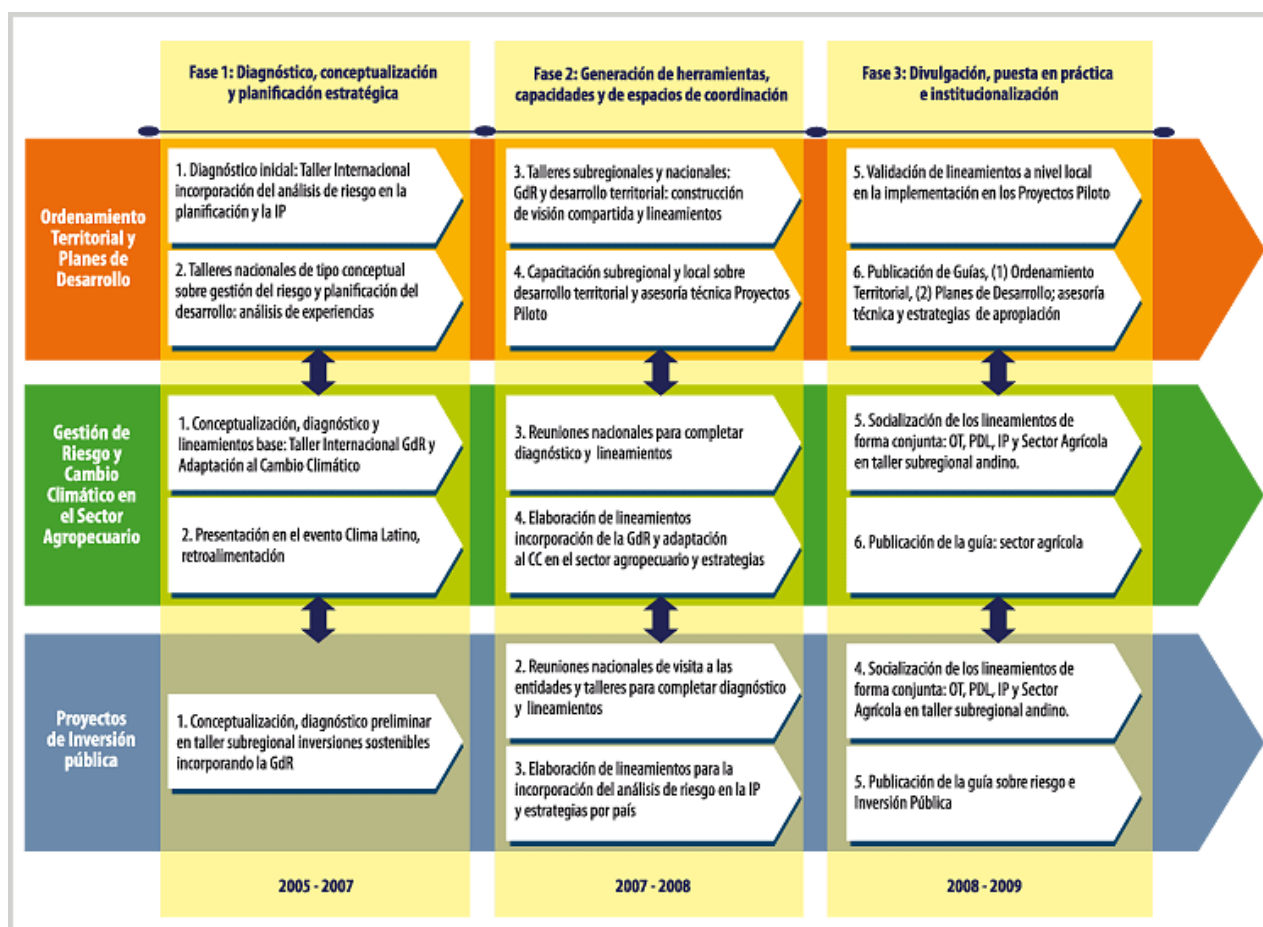


CAPRADE ha liderado la implementación de cuatro procesos estratégicos para integrar la gestión del riesgo en la planificación del desarrollo en la subregión andina a través del Proyecto PREDECAN:

1. Desarrollo de conceptos y diagnóstico sobre incorporación de la gestión del riesgo en procesos de planificación del desarrollo territorial e inversión pública y en la planificación del sector agropecuario considerando el cambio climático en los países de la Comunidad Andina.
2. Elaboración de lineamientos y capacitación para incorporar la gestión del riesgo en: (1) el ordenamiento territorial, (2) la planificación del desarrollo local, (3) en la formulación de proyectos de inversión pública y (4) en la planificación y gestión del sector agropecuario.
3. Validación de los lineamientos mediante experiencias demostrativas en ámbitos locales, capacitación y asesoría técnica para su implementación.

Con estos procesos, se desarrollaron actividades de carácter internacional y nacional que permitieron ajustar y modificar las normativas legales en cada uno de los países involucrados, generando procesos similares de incorporación de la componente de riesgos en los procesos de planificación.

El siguiente esquema da cuenta de este proceso y las etapas en las que fueron incorporados los criterios de riesgos:



Cabe destacar que este proyecto no sólo se preocupó de esta componente, sino que además, incluyó temáticas tales como los procesos de participación ciudadana en la gestión y disminución de la vulnerabilidad ante los desastres naturales, sino que además incorporó el financiamiento y una evaluación de los costos asociados a cada uno de los eventos de desastres que se desarrollan en los países involucrados. Esto ha sido una herramienta efectiva al momento de dimensionar los costos asociados a

procesos de toma de decisiones que no incorpora el concepto de riesgos y de la disminución de la vulnerabilidad de los territorios.

6.2 Áreas de ruptura en superficie por fallas activas

Hasta hace pocos años no era común que las áreas de ruptura de las fallas activas fueran específicamente reguladas. La experiencia más difundida es la del Estado de California, aunque en otros países se aplican disposiciones similares, ya que constituyó un modelo a replicar en el mundo.

En todo caso, hay que tener presente que se trata de otros tipos de fallas y que la Falla San Ramón, de tipo inverso, es de las más destructivas, ya que compromete una faja de ruptura más amplia.

6.2.1 California

A raíz del destructivo terremoto de 1971 en San Fernando, y sobre la base de los avances en el conocimiento geológico del área, el Estado de California dictó una ley, que se denominó el Alquist-Priolo Zonificación de Fallas Sísmicas (AP). La Ley de AP proporciona un mecanismo para reducir las pérdidas por rotura superficial de falla a nivel estatal. La intención de la Ley de AP es asegurar la seguridad pública al prohibir el emplazamiento de la mayoría de las estructuras de ocupación humana a través de las huellas de las fallas activas que constituyen un peligro potencial para las estructuras de la superficie de falla.

Esta ley fue aprobada en 1972 para mitigar el peligro de la superficie de fallas en las estructuras de ocupación humana, ya que el terremoto de San Fernando, se asoció con una amplia superficie de rupturas de fallas, que dañó numerosas viviendas, edificios comerciales y otras estructuras, evidenciándose que la ruptura de la superficie es uno de los peligros sísmicos más fáciles de evitar.

El principal objetivo de la ley Alquist-Priolo es evitar la construcción de edificios destinados a la ocupación humana en la superficie de la huella de las fallas activas. La ley sólo se refiere a la amenaza de ruptura superficial de una falla y no está dirigida hacia los peligros de otros terremotos.

En 1990 se aprobó la ley de Mapeo de Riesgos Sísmicos, teniendo el año 2010 su última actualización. Los mapas han sido puestos a disposición general en enero de 2011.

A continuación se ilustran casos de Mapas de Fallas.

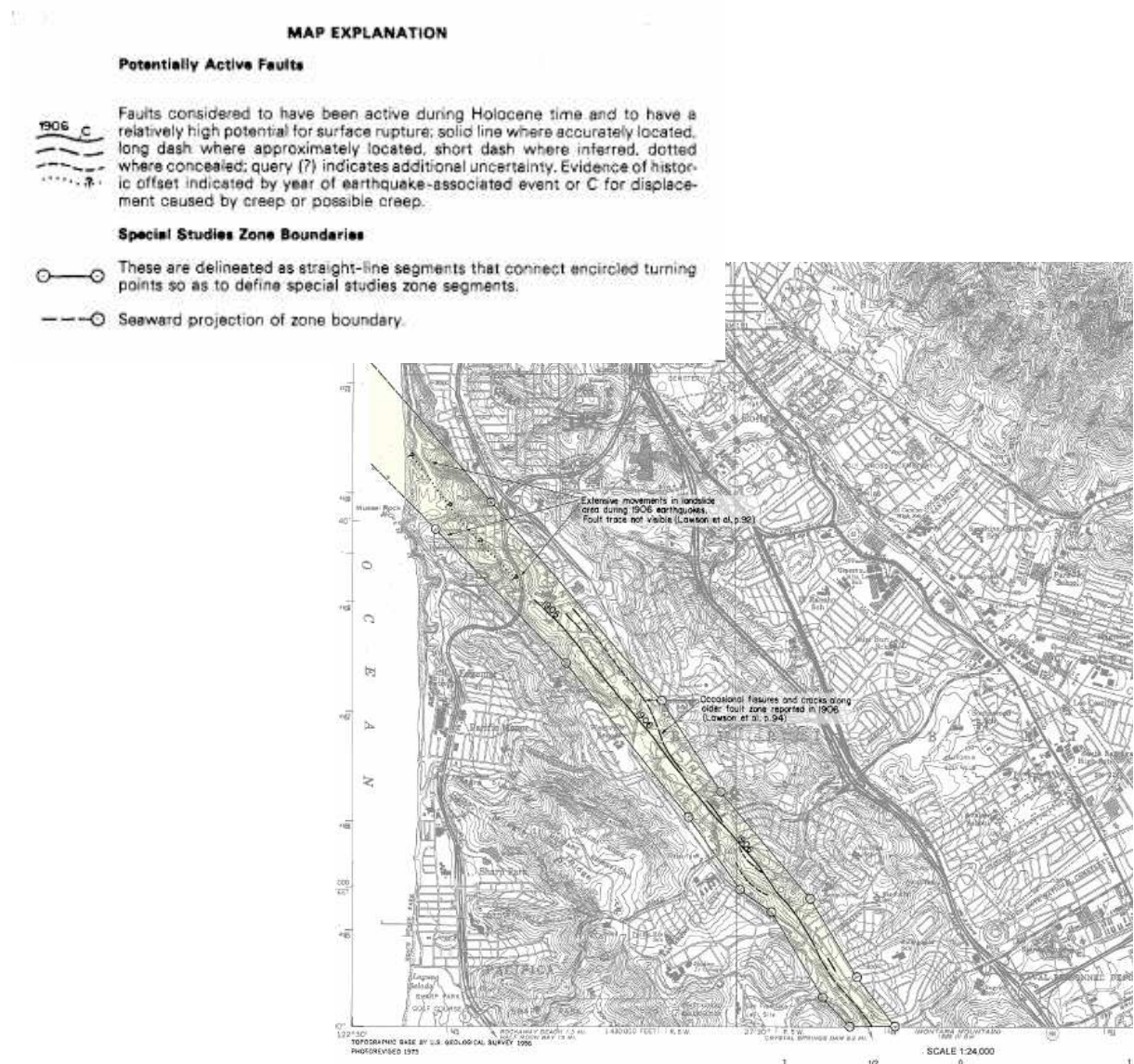


Figura 6.4. Mapa de Fallas Activas de San Francisco (sección)

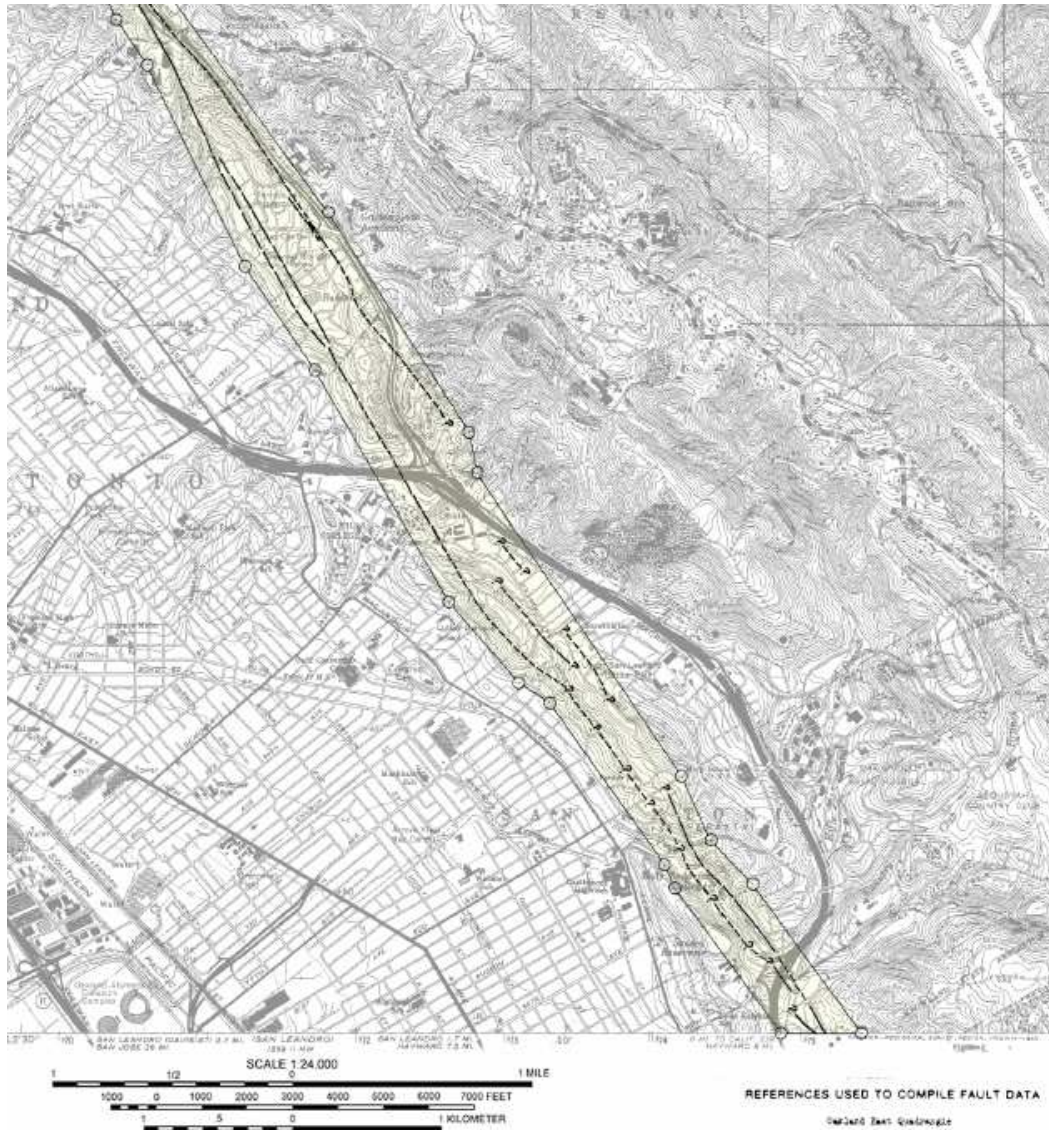


Figura 6.5. Mapa de Fallas Activas de Oackland (sección)

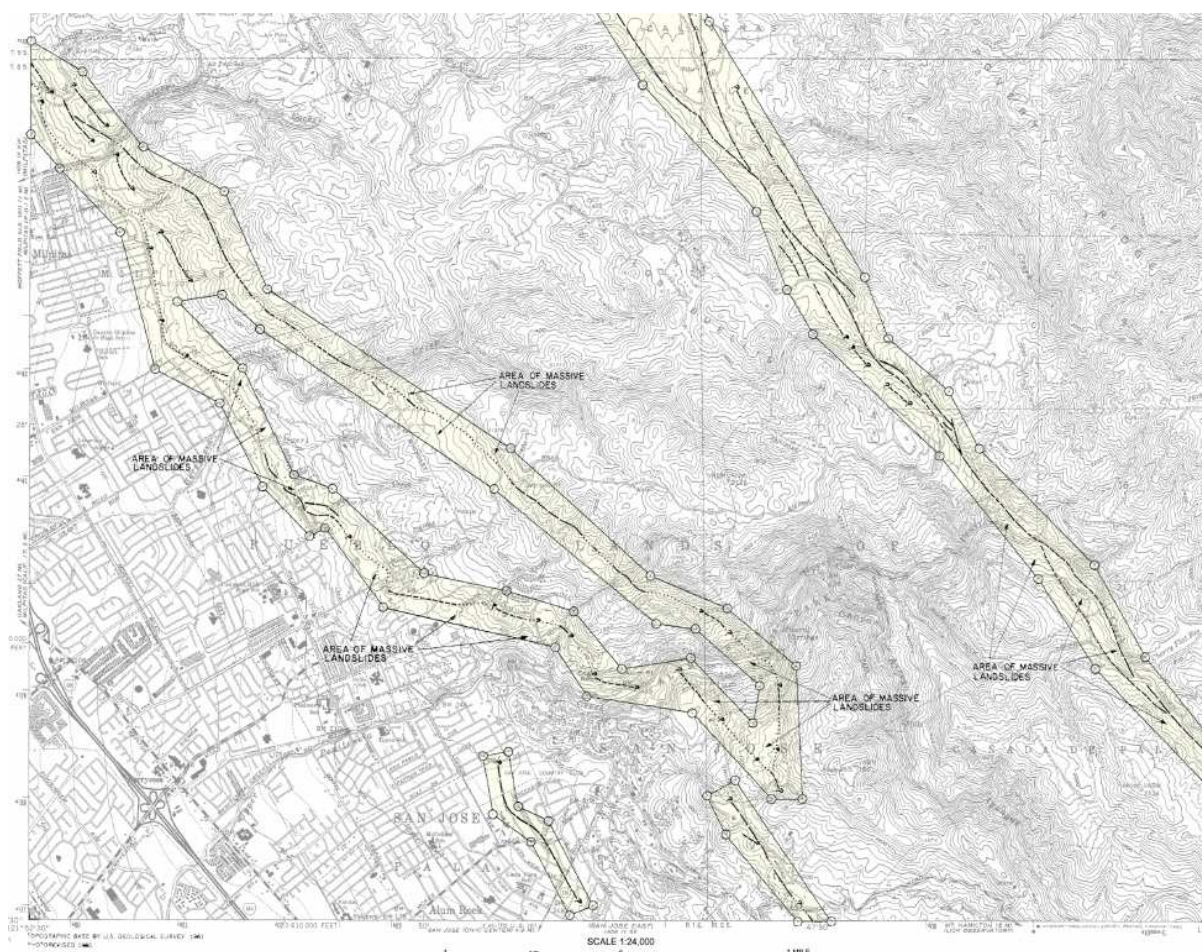


Figura 6.6. Mapa de Fallas Activas de Calavera (sección)

La ley requiere que el geólogo del Estado establezca zonas de reglamentación alrededor de las huellas superficiales de fallas activas y la expedición de los mapas correspondientes. Los mapas se distribuyen a todas las ciudades afectadas, condados y agencias estatales para su uso en la planificación y el control o la renovación de nueva construcción. Los proyectos incluyen las divisiones de la tierra y la mayoría de las estructuras de ocupación humana. Las construcciones de madera de un solo piso y las viviendas con estructura de acero de hasta dos pisos que no forman parte de un desarrollo de cuatro unidades o más están exentas. Sin embargo, las agencias locales pueden ser más restrictivas que la ley del estado requiere.

Antes de que un proyecto se pueda permitir, las ciudades y los condados deben exigir una investigación geológica para demostrar que los edificios propuestos no se construirán sobre fallas activas. Un informe de evaluación y por escrito de un

emplazamiento específico deberá ser elaborado por un geólogo licenciado. Una estructura para la ocupación humana no puede ser colocado sobre la traza de la falla y debe ser retirado de la zona (generalmente 50 pies, es decir, unos 150m).

Zonas de Fallas son las zonas de regulación en torno a las fallas activas. Las zonas se definen por los puntos de inflexión conectados por líneas rectas. La mayoría de los puntos de inflexión se identifican por las carreteras, drenajes, y otras características sobre el terreno. Se trazan en los mapas topográficos a una escala detallada. Las zonas varían en ancho, pero su ancho promedio de un cuarto de milla (150m).

El hecho de que una propiedad se encuentra en una zona de falla debe ser divulgado a un comprador potencial antes de que el proceso de venta se haya completado. El agente de bienes raíces está obligado legalmente a presentar esta información al comprador. Cuando no hay un agente de bienes raíces involucrado, el vendedor debe informar al comprador directamente. Esto se hace generalmente en el momento que se haga una oferta o sea aceptada.

A partir de junio de 1998, la Ley de Revelación de Peligros Naturales requiere que los vendedores de bienes inmuebles y sus agentes ofrezcan a los posibles compradores con una "Declaración de Revelación de Peligros Naturales" cuando la propiedad que se vende se encuentre dentro de uno o más esferas de riesgo asignada por el Estado, incluyendo Zonas de Falla.

Como se advierte, el propósito de "Alquist - Priolo Earthquake Fault Zoning Act" es regular el desarrollo cerca de fallas activas y mitigar el riesgo generado por la ruptura de la falla en la superficie.

6.2.2 Japón

El gobierno de Tokio optimizó el hábitat de los distritos para hacerlos más seguros usando la planeación como herramienta para la prevención de desastres.

En el tema de la planeación urbana como herramienta para la respuesta a emergencias, el plan contempló dentro del programa de renovación urbana la creación de áreas denominadas "zonas a prueba de desastres". El trabajo en estas áreas consistía en el establecimiento, diseño y equipamiento de sitios de evacuación, reacondicionamiento de vías y mejoras de infraestructura.

Los sitios de evacuación en Tokio constituyen en total 650.000 m² de áreas libres, concebidas como puntos de reunión seguros para las personas; estas zonas son espacios abiertos rodeados de edificios de cierta altura que en el momento de un

incendio como efecto secundario del sismo funcionan a manera de cortafuegos. Sin embargo, la labor del gobierno de Tokio en este aspecto, empezó mucho antes, en julio de 1972 cuando este diseñó 121 sitios de evacuación de acuerdo a lo formulado en el artículo 37 de la Ordenanza Metropolitana para la Prevención de Desastres Relativos a Terremoto.

El Plan incluyó la construcción de un Centro de Prevención de Desastres en el cual se administraría la red de radio y se dispondría vivienda para el personal de emergencias. Como tarea a largo plazo estaría el establecimiento de bases satélites de prevención de desastres que se encargarían de recolectar la información de daños en cada Distrito y ser un soporte para los barrios que los componen.

Las fallas activas en Japón son de diferente naturaleza geológica, por lo que en general, se aplica una franja de 300m en total. En estos años han estado abocados al reconocimiento del comportamiento diverso de las fallas, con el fin de establecer regulaciones diferenciadas.

En todo caso, la discusión reciente en ese país se orienta a proveer mejor información a los ocupantes de estas franjas y aplicar medidas de prevención y manejo de los desastres, como vías alternativas, redes seguras, etc. más que impedir su ocupación. Discuten el caso de California, por considerar que fajas tan angostas pueden generar una sensación de seguridad fuera de ella, que no se sustenta científicamente.

6.2.3 Nueva Zelanda

En este país se aplican directrices descritas en una Guía para la Planificación⁵. En ella se resumen las indicaciones de todo tipo a tener presentes, tanto en la planificación territorial, y especialmente urbana, como en la gestión de proyectos de todo tipo a realizarse en el territorio próximo a una falla.

Aplican la experiencia de Estados Unidos y definen fajas similares, de 20 metros a cada costado de la traza, en que no se permiten edificaciones. Del mismo modo, aplican exigencias complementarias sobre avisos obligatorios, seguros, etc.

⁵ Planning for Development of Land on or Close to Active Faults, A guideline to assist resource management planners in New Zealand, Report prepared for the Ministry for the Environment by Janine Kerr, Simon Nathan, Russ Van Dissen, Peter Webb, David Brunsdon and Andrew King, 2004.

6.3 Síntesis de Experiencias

En general, en los países incluidos para revisar su experiencia respecto a la gestión pública de los riesgos, se advierte la existencia de políticas públicas e instrumentos de nivel nacional, regional y local, que relacionan la identificación de los peligros, la vulnerabilidad y los riesgos, con los instrumentos de ordenamiento territorial y de inversión, aún cuando entre ellos se detecten diferencias en el estado de avance.

Las principales características de la gestión de riesgos en estos países, se refieren a los siguientes aspectos:

Marco normativo:

Cuentan con leyes que rigen el ordenamiento territorial y sus instrumentos, más allá de las competencias de estos últimos, abordando en forma integral los procesos que ocurren en el territorio en general, y en las áreas urbanas en particular. De este modo, la gestión de riesgos queda inserta en los planes de ordenamiento territorial, incluyendo materias relacionadas con el financiamiento de las obras e intervenciones, con una aceptable claridad en cuanto a la distribución de atribuciones y competencias de los distintos organismos involucrados.

Institucionalidad:

Uno de los aspectos de mayor interés es la vinculación entre organismos con funciones complementarias definidas, desde nivel nacional hasta el gobierno local. Existe un organismo validado que proporciona la información científica de peligros naturales, traducida en mapas de peligros, que son integrados, o referidos en los planes territoriales o de intervención urbanística, haciendo vinculante el conocimiento científico, con la planificación física, a través de sus propios instrumentos.

Instrumentos de planificación:

Destaca la existencia generalizada del Plan de Ordenamiento Territorial, con competencias más amplias que nuestros IPT.

Metodologías:

En los procesos de identificación y delimitación de riesgos, existe consenso en la aplicación de conceptos recientes, desarrollados por los organismos internacionales preocupados de los desastres en el mundo, en cuanto a la clasificación de riesgos de diferentes niveles de afectación hasta riesgo no mitigable, lo que se relaciona con

la necesaria acción pública, en los casos en que se determina que una zona poblada está expuesta a un riesgo no mitigable y debe, por lo tanto, ser erradicada.

Participación ciudadana:

En todos los casos, está contemplada la participación ciudadana, especialmente la involucrada en el proceso de toma de decisiones.

Relación con planes de inversión:

La gestión de riesgos, en general, está integrada a las herramientas institucionales de manejo de la inversión pública, de modo que las mitigaciones o eventuales erradicaciones, por ejemplo, se abordan en forma integral con los planes de ordenamiento. Esto es altamente relevante, ya que la integralidad de la gestión de los riesgos es uno de los factores más deficitarios en Chile.

En general, todas las medidas y herramientas que se advierten en acción en estos países son aplicables en Chile, ya que se dispone de las capacidades para ello. Sin embargo, se debe modificar el marco legal básico, que permita relacionar la acción de los diversos organismos que intervienen en la gestión de riesgos, en sus diferentes fases, para que ésta pudiera ser efectiva. Cada ministerio, servicio, gobierno regional, municipio, etc., ejerce su acción en forma separada, participando en forma unitaria solo cuando se ha producido el desastre.

La base de estas carencias está dada por la inexistencia de una política y su consiguiente ley de ordenamiento territorial (o como se denomine), que permita articular la acción de los diversos servicios.

7 RECOMENDACIONES

Del estudio realizado se desprenden una serie de falencias en cuanto al tratamiento del riesgo asociado a la eventual activación de la FSR. La principal de ellas se deriva de la falta de reconocimiento de este fenómeno en el PRMS, instrumento que tiene la competencia para definir y normar las áreas de riesgo relacionadas con el fenómeno.

Sin embargo, la caracterización de los efectos conduce a la necesidad de intervención de otras instancias, requiriéndose un proceso de Gestión de Riesgo, tal como se concibe internacionalmente.

De allí que las recomendaciones señaladas a continuación aludan a gestiones y acciones que deberían desarrollar otras entidades, ajenas a la propia Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo.

7.1 En el ámbito normativo

7.1.1 Incorporación de la FSR al PRMS

Se propone incorporar al PRMS la faja de ruptura de la FSR, de 300m de ancho, con restricciones que impidan su ocupación futura, dejándola destinada exclusivamente a actividades que no impliquen la residencia ni la ocupación masiva ni prolongada de personas. Siendo así, los usos de suelo permitidos serían los contemplados como Espacio Público y Áreas Verdes en la OGUC.

Las zonas actualmente ocupadas quedarían congeladas, en el sentido que no podrán aumentar las edificaciones.

7.1.2 Modificación OGUC

Se propone que la OGUC incorpore disposiciones que permitan integrar la zonificación sísmica a los Instrumentos de Planificación, asociando la normativa a las disposiciones de las Normas Técnicas.

Ello permitiría relacionar las decisiones de las DOM, al momento de exigir estudios específicos del subsuelo.

7.1.3 Modificación LGUC

En la Ley falta incorporar las disposiciones que definan los riesgos y especialmente, aquellas que dispongan la aplicación de las restricciones derivadas, a la propiedad privada.

Por otra parte, en la Ley se sugiere establecer las vinculaciones con los otros organismos relacionados con la Gestión de Riesgos.

7.1.4 Modificación NCh 433

Como se ha señalado, el efecto sísmico de la activación de la FSR es mayor que el establecido en la NCh433 en un área extensa de la ciudad de Santiago y área cordillerana. Se recomienda ajustar la macrozonificación, o indicarse el procedimiento y normas a seguir en el caso de la presencia de fallas activas.

7.2 En el ámbito de la gestión

En los últimos años se han fortalecido los organismos internacionales y regionales que abordan los temas de riesgos, ante el evidente cambio que está sufriendo el planeta, trayendo asociado un incremento en los desastres potenciales, que afectarían a un número creciente de población.

Uno de los énfasis principales que se advierten, se relaciona con los riesgos en áreas urbanas, dada la mayor concentración de población en dichas áreas y la paulatina ocupación de áreas expuestas a la ocurrencia de fenómenos naturales o antrópicos capaces de generar daño a sus vidas, viviendas, redes y actividades.

La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UNISDR) es una secretaría interagencial de las Naciones Unidas, cuyo mandato es coordinar, promover y fortalecer la Reducción de Riesgos de Desastres a nivel global, regional, nacional y local. La UNISDR secretaría trabaja para lograr un mundo sin pérdidas innecesarias por los desastres – persiguiendo una misión guía para catalizar, facilitar y abogar por acciones que protegerán vidas y los medios de existencia ante el impacto de las amenazas naturales.

Tiene su oficina principal en Ginebra, Suiza con oficinas regionales en las Américas, África, Asia y Europa.

Conforme con el mandato de la UNISDR secretaría, la **Unidad Regional para las Américas** aspira a apoyar a los actores en toda la región, incluyendo a América del Norte, América Latina y el Caribe, fomentando una cultura de prevención de desastres y contribuyendo a construir naciones y comunidades resilientes ante los desastres. La oficina está en la Ciudad de Panamá, Panamá.

La Secretaría de la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), presentó en octubre de 2010 al Gobierno de Chile, un diagnóstico sobre la situación de la reducción del riesgo de desastres, el que será analizado en profundidad, ya que en general, la evaluación no es satisfactoria.

El informe se basa en lo estipulado en el Marco de Acción de Hyogo⁶, que establece cinco prioridades de acción:

Prioridad 1: Velar por que la reducción del riesgo de desastres constituya una prioridad nacional y local con sólida base institucional de aplicación.

Prioridad 2: Identificar, evaluar y seguir de cerca el riesgo de desastres y potenciar la alerta temprana.

Prioridad 3: Utilizar el conocimiento, la innovación y la educación para establecer una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel.

Prioridad 4: Reducir los factores subyacentes del riesgo.

Indicador 4.4: La planificación y la gestión de los asentamientos humanos incorporan elementos de la reducción del riesgo de desastres, incluyendo el cumplimiento de los códigos de construcción.

Prioridad 5: Fortalecer la preparación ante los desastres para lograr una respuesta eficaz a todo nivel.

⁶ El denominado “Marco de Hyogo” está contenido en el Informe de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, realizada en Kobe, Hyogo (Japón), entre el 18 y el 22 de enero de 2005. La Resolución 2 de esta Conferencia es “Marco de Acción de Hyogo para 2005 - 2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres.”

El Marco de Acción de Hyogo (MAH) es el instrumento más importante para la implementación de la reducción del riesgo de desastres que adoptaron los Estados miembros de las Naciones Unidas. Su objetivo general es aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres al lograr, para el año 2015, una reducción considerable de las pérdidas que ocasionan los desastres, tanto en términos de vidas humanas como en cuanto a los bienes sociales, económicos y ambientales de las comunidades y los países.

El MAH ofrece cinco áreas prioritarias para la toma de acciones, al igual que principios rectores y medios prácticos para aumentar la resiliencia de las comunidades vulnerables a los desastres, en el contexto del desarrollo sostenible. Desde la adopción del MAH, diversos esfuerzos realizados en los ámbitos mundial, regional, nacional y local han abordado la reducción del riesgo de desastres de una forma más sistemática. Sin embargo, todavía queda mucho por hacer. La Asamblea General de las Naciones Unidas ha hecho un llamado a la implementación del MAH y ha reafirmado la importancia del Sistema multisectorial de la EIRD, al igual que de la Plataforma Global para la Reducción del Riesgo de Desastres para apoyar y promover el Marco de Hyogo.

Asimismo, la Asamblea General ha instado a los Estados miembros a establecer plataformas nacionales multisectoriales para coordinar la reducción del riesgo de desastre en los respectivos países. También, diversos entes regionales han formulado estrategias a ese nivel para la reducción del riesgo de desastres en la región andina, Centroamérica, El Caribe, Asia, el Pacífico, África y Europa, de conformidad con el MAH.

Más de 100 gobiernos ya han designado puntos oficiales de enlace para el seguimiento y la implementación del MAH. Algunos han tomado acciones para movilizar el compromiso político y para establecer centros de promoción de la cooperación regional para la reducción del riesgo de desastres.

Para dar cumplimiento a estas orientaciones, se proponen las siguientes medidas específicas:

7.2.1 Postergación de permisos urgente

Dado el conocimiento logrado, se sugiere se decrete la postergación de permisos en la faja de ruptura superficial, a lo largo de toda la traza de la FSR, con el fin de prevenir su ocupación en el futuro cercano, mientras se procede a la actualización del PRMS, tiempo en que la comunidad, organismos e inmobiliarias, podrán tomar

conciencia de la situación y actuar en consecuencia (si el PRMS no lograra modificarse en el plazo de un año).

7.2.2 Creación de un geositio

La calidad de la información lograda desde el análisis de las trincheras ejecutadas con motivo del presente Estudio, obliga a considerar la instalación de un geositio en el lugar, evitando su devolución al propietario, ya que eso debe hacerse en el estado en que se encontraba el terreno originalmente.

El valor científico (nacional e internacional) de los hallazgos y el valor social para la prevención e incremento cultural de dicho sitio son evidentes. Su potencial de visitas hace pensar que su instalación y puesta en marcha se podría hacer con financiamiento que se podría lograr con fondos regionales.

El programa podría acompañarse de un museo y actividades de extensión, tal como los que se encuentran en otros países o aquellos destinados a la divulgación de hallazgos arqueológicos.

7.2.3 Acciones preventivas con las líneas vitales, instalaciones esenciales e instalaciones con alto potencial de daño

El MINVU podría iniciar un proceso urgente de coordinación para evitar la instalación en el corto plazo de nuevos elementos de infraestructura, al menos en la faja de ruptura, mientras ésta se integra al PRMS, como son las universidades y otros establecimientos de educación y salud, redes de infraestructura eléctrica, plantas de gas, ductos de agua potable, etc. Asimismo, en la necesaria tarea de difusión de los resultados de este estudio, se debería informar a todos los organismos y empresas que eventualmente podrían estar programando inversiones en el sector.

7.2.4 Coordinación y vinculación institucional

La coordinación institucional es un requisito básico para llevar adelante una Gestión de Riesgos capaz de hacerse cargo de todas las fases: conocimiento, prevención, mitigación y reconstrucción, las que forman un círculo, ya que van retroalimentándose.

En nuestro país no existe una institución del Estado encargada de convocar y coordinar al sector privado, a los profesionales e investigadores de las universidades

y a los que toman las decisiones públicas en estas materias. Ello se advierte cuando se revisan las funciones y competencias institucionales y el nulo carácter vinculante entre ellos. Es así que mientras Sernageomin y las universidades generan conocimiento y recomendaciones, no existe una relación que obligue a adoptarlas en los instrumentos, como ocurre en otros países.

Una situación compleja se produce luego de las catástrofes, en cuanto a la responsabilidad y acción de cada organismo frente a las tareas de reconstrucción y reajuste normativo.

7.3 Organismos nacionales relevantes

Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU)

En este Ministerio radica la orientación y verificación de cumplimiento de los instrumentos de planificación territorial, que contienen las disposiciones relativas a la zonificación de riesgos en las áreas normadas. Su acción en este ámbito deriva de disposiciones específicas contenidas en la Ley General de Urbanismo y Construcciones y su Ordenanza General, que definen los conceptos y alcance de las competencias de dichos instrumentos, según su jerarquía.

A este respecto, se debe señalar que aún el nivel de desarrollo del marco normativo chileno, para la gestión de riesgos a nivel territorial es débil. Esto se observa en la escasa referencia que estos cuerpos legales y reglamentarios hacen a la materia, omitiendo el riesgo sísmico. A esto se agrega la confusión de términos, asignando la condición de riesgo a la amenaza o peligro.

En el ámbito de la acción en la fase de reconstrucción, tiene competencias que provienen tanto de la propia ley que lo creó, como de otras disposiciones contenidas, por ejemplo, en la Ley 16.282 (Sismos o catástrofes). Así, se han creado programas especiales destinados a la reconstrucción y regeneración urbana en zonas dañadas por sismos.

También en este Ministerio radica la ejecución de la política habitacional, que puede adaptarse a circunstancias específicas relacionadas con la prevención de daños por sismos (erradicación), como a la construcción, ya sea directa o indirectamente, de viviendas para damnificados.

Gobierno Regional

División de Planificación y Desarrollo (DIPLADE)

Esta división debe planificar el desarrollo de la Región Metropolitana, elaborando políticas públicas regionales y articulando el accionar de los sectores, con la finalidad de obtener una gestión regional eficiente, equitativa y sustentable, acorde con las estrategias regionales y nacionales de desarrollo.

En Chile se realizó el traspaso de la competencia de planificación a partir de 2007, y de la de ordenamiento territorial, a partir de 2008, a los Gobiernos Regionales, acorde a las funciones que la Ley Orgánica Constitucional No 19.175 sobre Gobierno y Administración Regional (LOGGAR) le ha asignado a los Gobiernos Regionales (GORE) en estas materias, mediante un proceso gradual.

Dentro de sus funciones se encuentra la de dictar el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT), el que debería abordar la prevención de riesgos en la región, estableciendo indicaciones a los IPT y la coordinación institucional correspondiente.

Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI)

Disposiciones sobre la inclusión de zonificaciones en los IPT (reas de riesgo y áreas seguras)

Tiene la misión de planificar, impulsar, articular y ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo, emergencias, desastres y catástrofes de origen natural o provocado por la acción humana, a través de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil para la protección de las personas, los bienes y el ambiente.

La acción de ONEMI se sustenta en el Art. 1º, Cap. I de la Constitución Política del Estado de Chile que señala: "...es deber del Estado resguardar la seguridad nacional, dar protección a la población y a la familia...", lo que corresponde al ámbito de la Protección Civil, definida mundialmente como "la protección a las personas, a sus bienes y ambiente ante toda situación de riesgo, sea de origen natural o provocado por el Hombre, mediante una ejercitada planificación, que considere como sus principios fundamentales la Ayuda Mutua y el Empleo Escalonado de Recursos".

En su Modelo de Acción, se señala lo siguiente:

*Para una mayor **eficacia y eficiencia de la gestión en protección civil** - como área de fundamental incidencia en el desarrollo humano - ONEMI ha puesto a disposición del Sistema Nacional un modelo sustentado en metodologías y herramientas*

indicativas⁷ para la generación de una planificación ajustada a la específica realidad del área a cubrir, (comuna, provincia o región).

*La Metodología de planificación se sustenta en un proceso de diagnóstico zonificado de riesgos y de recursos, que se individualiza con la sigla AIDEP. AIDEP permite poner en marcha un proceso de actualización permanente de reconocimiento de riesgos, como también de detección y potenciamiento de recursos a aplicar en cada una de las fases y etapas del Ciclo para el Manejo del Riesgo. Sin embargo, la mayor efectividad de esta metodología es alcanzable si es aplicada a nivel comunal, sectorizando la respectiva área geográfica, con lo que el proceso pasa a constituirse en una: **MICROZONIFICACIÓN DE RIESGOS Y DE RECURSOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL EN PROTECCIÓN CIVIL**. El MICROZONIFICAR el área a estudiar permite diagnosticar los riesgos de cada sector de la comuna y los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios y disponibles para la satisfacción de las necesidades de seguridad de esa área implica poner al área bajo un **microscopio** de observación continua, de **retroalimentación permanente**.*

Desde el año 2002, dispone de un Plan Nacional de Protección Civil: PLAN NACIONAL, Instrumento Indicativo para la Gestión Integral, Decreto N° 156, 12 de marzo de 2002

No contiene disposiciones sobre la inclusión de zonificaciones en los IPT (áreas de riesgo y áreas seguras).

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo **(Ministerio del Interior), SUBDERE**

Convenio SUBDERE - JICA, organismo japonés de cooperación internacional que en otros países, como Perú, ha desarrollado, en conjunto con los organismos de esa nación, importantes investigaciones y aplicaciones en el campo de la prevención de riesgos sísmicos.

En el curso de este año, este servicio ha publicado el primer documento de referencia metodológico para abordar el análisis de los riesgos. Se trata del documento **GUÍA: ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL**.

⁷ Subrayado posterior para destacar el carácter exclusivamente “indicativo” de las herramientas.

Su ejecución derivó de la necesidad de dar cumplimiento a los acuerdos y recomendaciones de los organismos internacionales, particularmente, en el Marco de Hyogo.

A continuación se extractan algunas partes que ilustran la necesidad de integrarlo como referente para el análisis del riesgo y proposiciones de medidas e intervenciones de mitigación.

Producto de la proliferación de investigaciones y estudios la Oficina de Naciones Unidas para Coordinar el Socorro y Desastres (UNDRO11 en inglés) en 1979 promueve una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones. Reunión que da origen al informe "Natural disasters and vulnerability analysis". El trabajo logra consensuar un conjunto de definiciones y que servirán como base al presente trabajo estas definiciones son:

- a) **Amenaza, Peligro o peligrosidad:** Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un área (lugar) dada.*
- b) **Vulnerabilidad:** Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 a 1 o pérdida total.*
- c) **Elementos en Riesgo o Exposición:** Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, la infraestructura expuesta a un área de peligro.*
- d) **Riesgo Específico:** Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.*
- e) **Riesgo:** Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico, y los elementos en riesgo.*

El riesgo lo entenderemos como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la posible ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico, y los elementos en riesgo. El análisis de éste, puede entenderse de manera general como el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los sistemas expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos, cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo. La estimación del riesgo, es la pérdida esperada en un período de tiempo y puede ser expresada como una proporción del valor o costo de reemplazo de los elementos en riesgo, existen muchas técnicas o modelos para estimar el riesgo, desde modelos simples como los basados en estadísticas de acontecimientos pasados y sus impactos a otros que incorporan matemática difusa. A estos modelos se les conoce como modelos de los tipos heurísticos, determinísticos o probabilísticos.

Existen variados modelos y herramientas para el cálculo de probabilidades de excedencia (o recurrencia) cada uno adecuado a los distintos fenómenos y basados en distribuciones asociadas a frecuencias propias de los eventos, como ejemplo, el método Gutenberg – Richter⁷³. La aplicación de estos métodos en distintos análisis de amenazas permite ganar en precisión pero no siempre se cuenta con toda la información requerida para su utilización.

En este caso, optaremos por modelos simples que permitan simplificar el trabajo y ganar en tiempo de análisis como se muestra en la tabla⁸.

El nivel de vulnerabilidad estructural se establece por medio de una escala que va entre 0 y 1, donde 1 corresponde al nivel máximo de vulnerabilidad. Este nivel de vulnerabilidad se construye por medio de la valorización de distintos factores relacionados tanto con las características del sistema que se estudia, como así también con las características de la amenaza, por ejemplo la vulnerabilidad estructural variará dependiendo si la amenaza es sísmica o de inundación. Adicionalmente es recomendable generar factores de ponderación adecuados al contexto territorial, porque dos instalaciones o redes de similares características físicas pueden presentar diferente niveles de vulnerabilidad de acuerdo a las condiciones del territorio. La escala de valoración de los niveles de vulnerabilidad como se puede apreciar en la Tabla va de Muy Baja a Muy Alta.

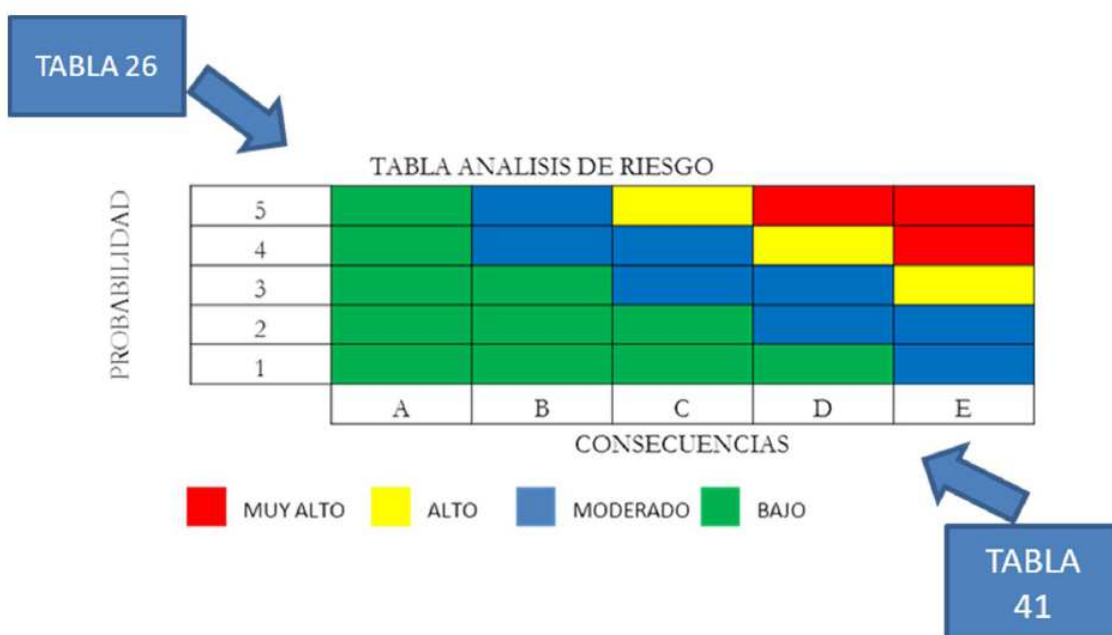
Categorías en el Análisis del Nivel de Vulnerabilidad

Muy Alta		Alta	Media	Baja	Muy Baja
Estratificación		Descripción			Nivel
Muy Baja	A	Los efectos esperados en la componente ante la ocurrencia de un evento solo son observables en la interrupción temporal del servicio (minutos/horas).			0.2 – 0.35
Baja	B	Los efectos esperados en la componente son del tipo No Estructural, con interrupción de la prestación del bien o servicio de forma discontinua a lo más una semana y sujeto a reparaciones menores.			0.36 – 0.51
Media	C	Los efectos esperados en la componente son del tipo No estructural pero se interrumpe el servicio/bien por semanas menos de un mes sujeto a reparaciones mayores de la componente.			0.52 – 0.67
Alta	D	Los efectos esperados en la componente son del tipo Estructural, se interrumpe la prestación del bien o servicio por meses con objeto de reponer la funcionalidad e infraestructura.			0.68 – 0.83
Muy Alta	E	Los efectos esperados de los sistemas son Estructurales y el servicio/bien se interrumpe por más de un año por reposición total.			0.84 – 1

⁸ La numeración de las tablas corresponde a la del documento original citado.

El análisis de riesgo corresponde entonces a la elaboración de diversos escenarios, es decir, plantear la ocurrencia de un evento potencialmente dañino en un periodo determinado de tiempo en parte o la totalidad de un territorio (comuna, provincia, región) sobre un sistema o componente expuesto. Con el objeto de facilitar el análisis se utilizará la representación en una tabla de doble entrada entre la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente dañino para los sistemas en estudio y sus consecuencias sobre las componentes del sistema.

Tabla de Análisis de Riesgo



El análisis de riesgo en términos cualitativos se puede desarrollar asociando los elementos incorporados en la figura N°10 y la descripción realizada, en el ámbito de la planificación nos permitirá focalizar y avanzar con más detalles sobre los elementos prioritarios o predefinir un nivel de riesgo aceptable. Al definir uno o más escenarios corresponde a revisar el comportamiento del sistema y se procede a la confección de la siguiente tabla de análisis que nos permitirá identificar el nivel de riesgo (índice de riesgo) en el que se encuentran cada una de las componentes, a modo de ejemplo con el sistema de salud, dado lo anterior se debe recordar que los parámetros identificados en las consecuencias provienen del análisis de vulnerabilidad y el escenario se ha identificado según lo establecido.

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)

SERNAGEOMIN realiza trabajos para identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas, urbanas o rurales, que podrían verse adversamente afectadas por fenómenos geológicos peligrosos de diversa índole y magnitud.

Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines, informes registrados y en la Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental. Esta labor es desarrollada, principalmente, por el Departamento de Geología Aplicada de la Subdirección Nacional de Geología.

Universidades

En especial, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, que ha hecho la mayor parte de las investigaciones relacionadas con el fenómeno sísmico observado en la cuenca de Santiago y en especial, las referidas a la Falla San Ramón.

Sin embargo, la necesidad de generar más conocimiento y ponerlo a disposición de las instancias públicas y que éstas tengan la capacidad para usarla e integrarla a su acción, es algo altamente necesario.

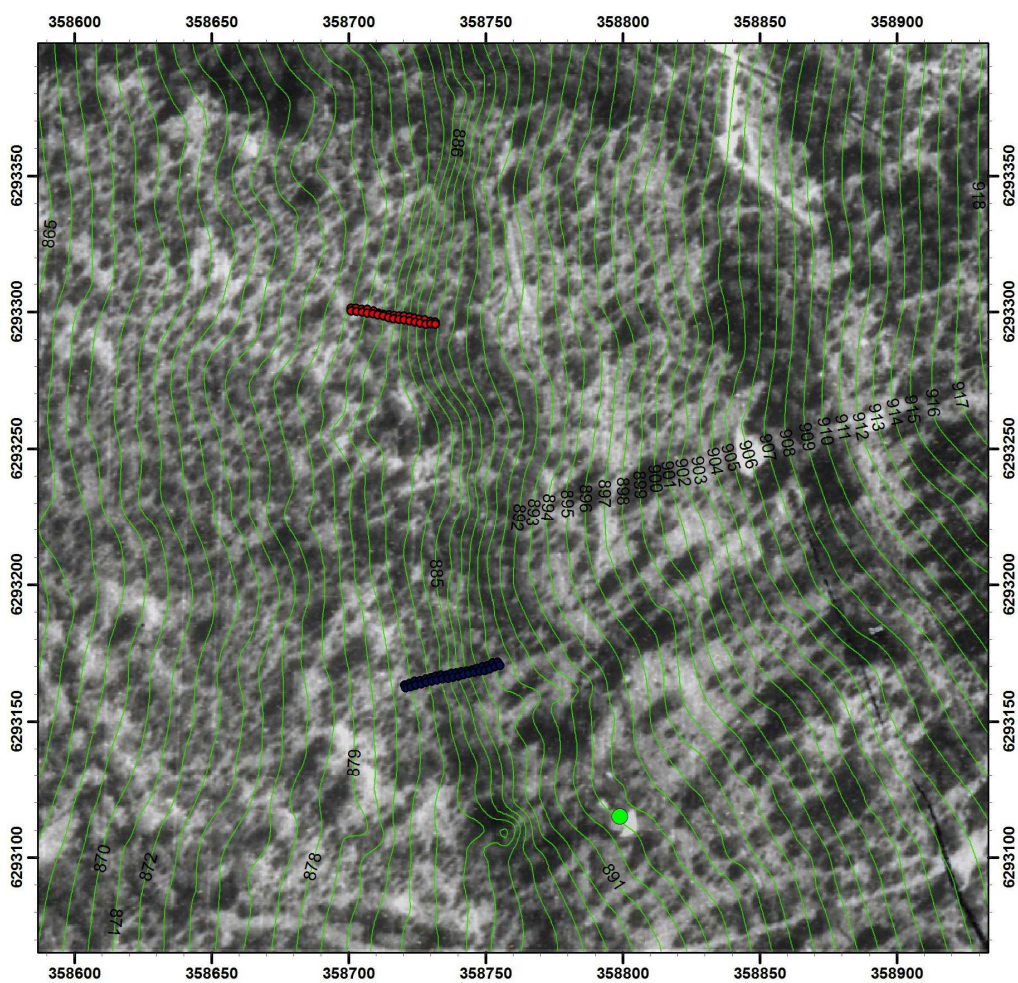
ANEXO PALEOSISMOLOGÍA

1 Ubicación y excavación de trincheras

Se realizaron dos trincheras en forma perpendicular al escarpe de falla más reciente un sector ubicado inmediatamente al norte de la quebrada de Macul (Figura 1). Se eligió este sitio debido a que en él se observaron escarpes recientes que afectan las unidades de abanicos aluviales más jóvenes del piedemonte en el sector oriente de Santiago (Armijo et al., 2010), y también debido a que la ausencia o escasa urbanización en el sector facilitó la realización de las excavaciones. Estas últimas se realizaron utilizando una retroexcavadora (Figura 3.2). La presencia de grandes bloques de roca volcánica de hasta 2 m de diámetro dificultó la profundización de las trincheras.

Las dimensiones finales de las trincheras fueron de 35 m y 40 m de largo y 5 y 4 m de profundidad máxima cada una, respectivamente (Figura 1). Las paredes norte de cada trinchera fueron limpiadas con el fin de facilitar la observación de las mismas. Posteriormente se fotografiaron y se realizaron mosaicos para estudiar los perfiles expuestos en cada una de las zanjas.

En cada trinchera se realizaron perfiles topográficos de alta resolución con GPS diferencial. Esta misma técnica se utilizó para obtener datos topográficos del escarpe de falla y así precisar un modelo de elevación digital del mismo. Esta técnica permitió también referenciar los mosaicos, con el fin de realizar observaciones geométricamente correctas en ambas trincheras.



Escala 1:2.000
Proyección UTM 19S
WGS 84

Figura 1. Ubicación en planta de las trincheras en un abanico aluvial reciente en un sector inmediatamente al norte de la quebrada Macul. La ubicación de ambas trincheras se muestra en puntos, sobre una foto aérea. Las curvas topográficas corresponden a una base de datos obtenida con GPS diferencial, precisada en este estudio.



Figura 2. Excavación de las trincheras en un escarpe de falla que afecta las unidades de abanicos aluviales más recientes en el piedemonte del sector oriente de Santiago.



Figura.3. Fotografía de la trinchera norte. Se aprecia el escarpe de falla que produce un escalón, o salto topográfico, en la superficie del terreno.

2 Topografía del escarpe y perfiles de ambas trincheras

Los resultados del levantamiento topográfico del escarpe de falla en el sector se muestran en la Figura 4. En ella se aprecia cómo el escarpe produce un escalón en la superficie del terreno del orden de 3-5 m de diferencia vertical, es decir, en altitud. Esta diferencia corresponde a la deformación en superficie asociada a la actividad más reciente de la falla. La Figura 4 muestra esta diferencia vertical en perfiles trazados con GPS diferencial a lo largo de cada una de las trincheras excavadas.

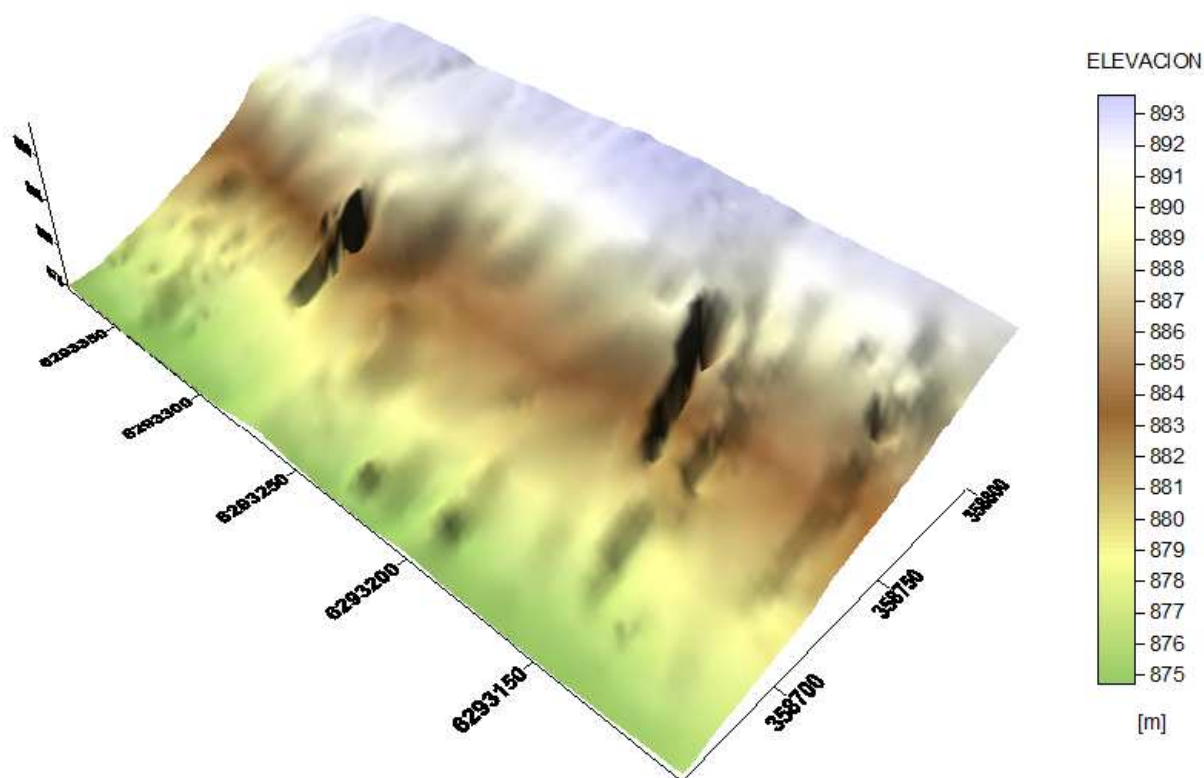


Figura 4. Modelo de elevación digital, topográfica, que muestra la diferencia en altitud asociada al escarpe de falla en la superficie del terreno en el sector ubicado al norte de la quebrada Macul. Los colores representan altitud en m sobre el nivel del

mar. Se muestra la ubicación de ambas trincheras, las cuales corresponden a zanjas excavadas en el terreno.

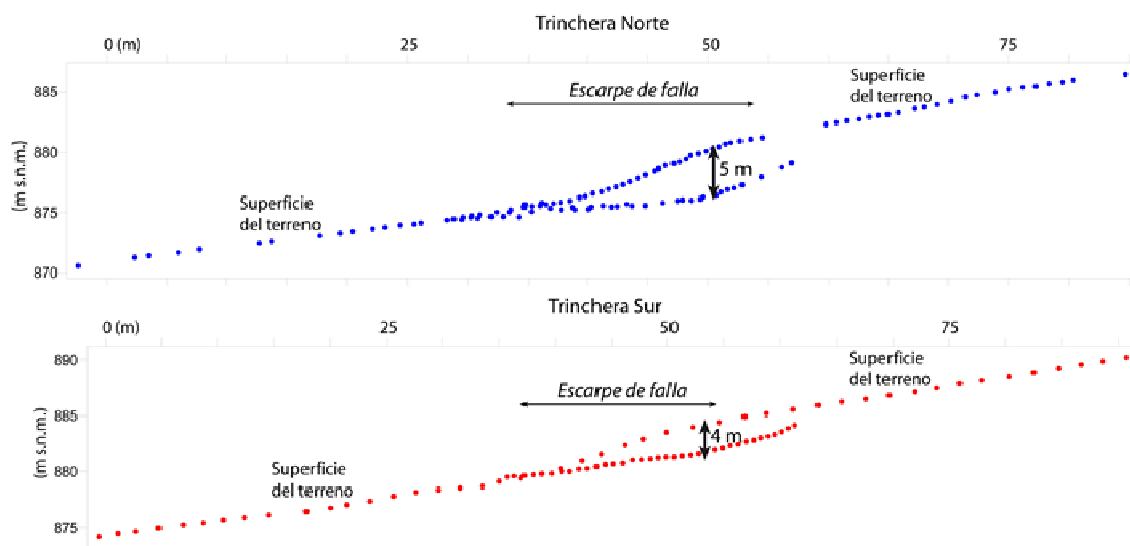


Figura 5. Perfiles topográficos de detalle realizados con GPS diferencial a lo largo de cada una de las dos trincheras excavadas en el escarpe de falla más reciente de la Falla San Ramón, en un sector inmediatamente al norte de la quebrada Macul.

En ambos casos se observa que el escarpe de falla corresponde al incremento de la pendiente de la superficie del terreno; ésta es mayor en la zona del escarpe, respecto de antes y después del mismo. El escarpe se asocia a un desnivel o desplazamiento vertical de la superficie del terreno, del orden de 5 m en el caso de la Trinchera Norte y 4 m en la Trinchera Sur. Estos resultados permitieron precisar la magnitud de los saltos verticales asociados al escarpe de falla más reciente de la FSR, respecto de lo expuesto en los trabajos de Armijo et al. (2010) y Rauld (2011). El escarpe, en este caso, se extiende transversalmente a lo largo de 15-20 m, y su pendiente es el resultado de la actividad reciente de la falla, por una parte, y de la erosión del mismo, por otra.

3 Observaciones a partir de las trincheras

Los mosaicos referenciados de ambas trincheras se muestran en las Figuras 6 y 7. Ambas trincheras exponen sedimentos aluviales estratificados y masivos, los cuales

se encuentran interrumpidos, cortados, en el sector medio a basal de los escarpes, por una estructura (superficie de falla) de manteo (inclinación) 35°E . Esta estructura corresponde a la manifestación en superficie de la Falla San Ramón. Una descripción detallada de los sedimentos observados en las trincheras se encuentra en el Anexo II.

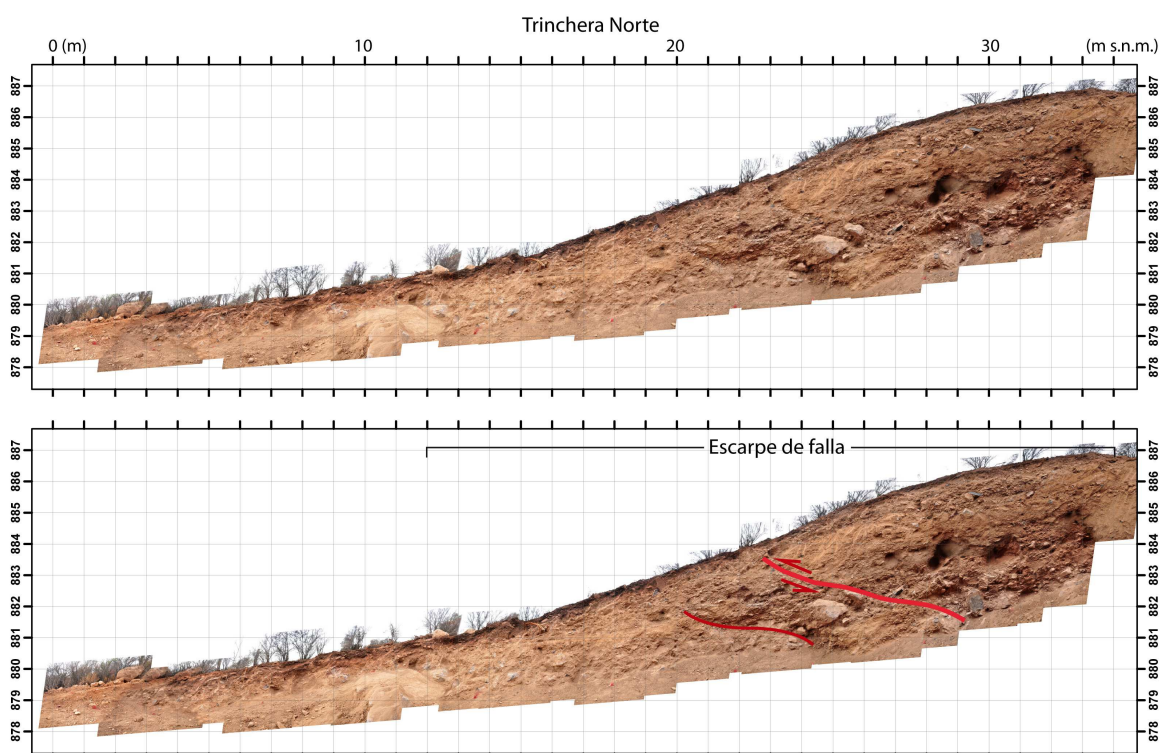


Figura 6. Mosaico referenciado de la Trinchera Norte. Las líneas rojas marcan las estructuras de la Falla San Ramón en superficie. La línea gruesa corresponde a la falla principal y a delgada a una falla secundaria.

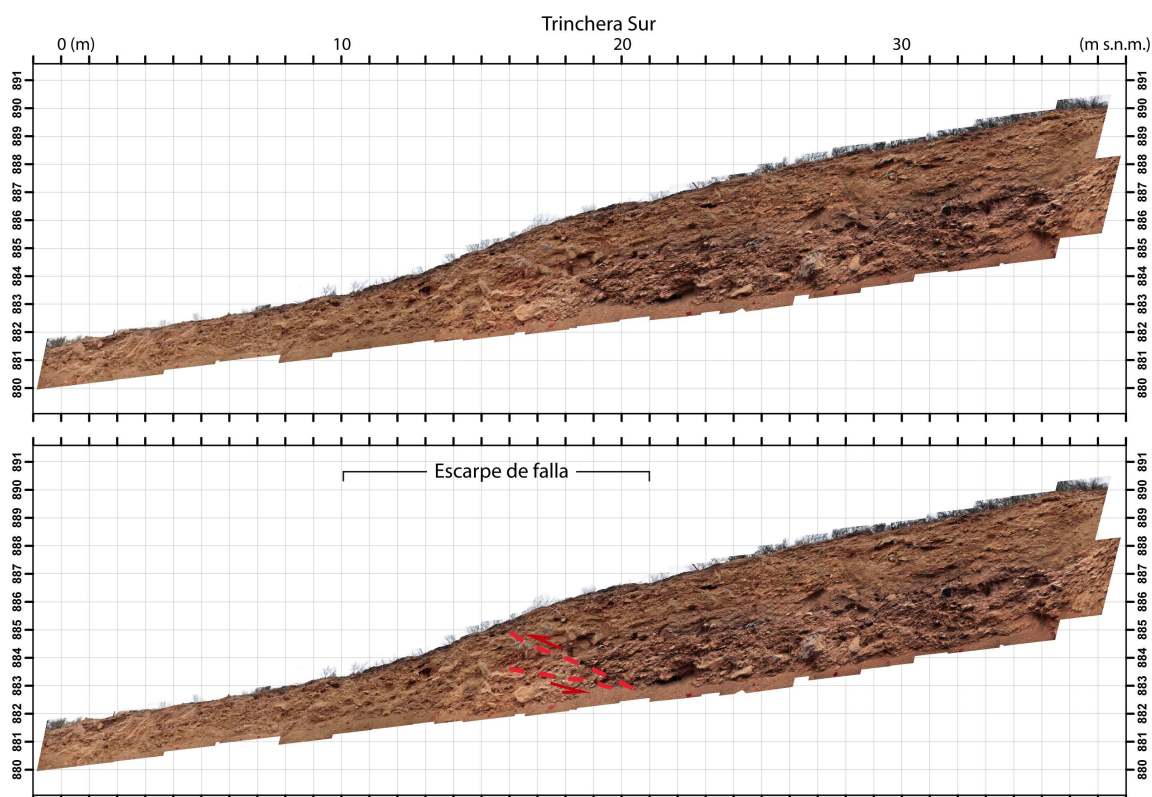


Figura 7. Mosaico referenciado de la Trinchera Sur. Las líneas rojas marcan las estructuras de la Falla San Ramón en superficie.

Ambas trincheras muestran que las estructuras de la Falla San Ramón alcanzan la superficie del terreno en la zona media basal del escarpe. En ambas trincheras la continuidad estratigráfica de los depósitos que conforman la superficie del terreno se encuentra interrumpida por la falla (Figuras 4 y 5). La Trinchera Norte mostró en forma más clara tanto la estructura asociada a la falla, como la estratigrafía de los depósitos afectados por la misma (Figura 6).

La Tabla 1 muestra resultados de análisis radiocarbono realizados a partir de muestras de sedimento de la Trinchera Norte, con el fin de obtener edades del material afectado por la falla. Estos análisis fueron realizados en el laboratorio *Beta Analytic Inc.* Los análisis de cinco de estas muestras entregaron resultados de edades radiocarbono convencional a partir de carbono orgánico total. Los análisis se realizaron luego de un pretratamiento para eliminar carbonatos y materia orgánica lábil. Las edades radiocarbono convencional fueron calibradas utilizando el programa Calib6.1.1. (Stuiver y Reimer, 1993), con el fin de expresar los resultados en años calibrados antes del presente (AP).

El $\delta^{13}\text{C}$ es una medida del contenido de ^{13}C , respecto de ^{12}C , en la muestra analizada, respecto de un estándar. Los valores obtenidos a partir de las muestras analizadas son bajos (Tabla 3.1), y consistentes con aquellos característicos de las plantas terrestres arbóreas (Meyers, 1994), las cuales son abundantes en la zona de estudio. Estos resultados sugieren que el carbono analizado proviene principalmente de materia orgánica terrestre, y permiten descartar una componente asociada por ejemplo a carbonato de calcio. En este caso en particular, es posible que la materia orgánica analizada corresponda a restos de raíces y otros restos orgánicos vegetales derivados del desarrollo incipiente de suelos.

La ubicación de las muestras y una interpretación más detallada de la estratigrafía y estructura de los sedimentos en esta trinchera se muestran en la Figura 6.

Tabla 1. Resultados de análisis radiocarbono a partir de muestras de sedimento obtenidas de la Trinchera Norte.

Muestra	#Lab	dC-13 (‰)	Edad C-14 Convencional (años AP)	+/- (años)	Edad Calibrada (años Cal. AP)	+/- (años)
TNC14-01	Beta307135	-24,1	7600	40	8400	57
TNC14-02	Beta307136	-24,1	14030	50	17050	209
TNC14-06	Beta307137	-24,0	15820	60	19054	275
TNC14-08	Beta307138	-24,9	18240	70	21794	334
TNC14-09	Beta307139	-24,2	7640	40	8433	52

La Figura 6 muestra una interpretación estructural y estratigráfica del mosaico de la Trinchera Norte. Esta trinchera expone una serie de depósitos masivos y estratificados de origen aluvial, mejor expuestos en el sector derecho, es decir hacia el este de la falla. Estos depósitos se encuentran interrumpidos, cortados, por una falla principal y una secundaria.

En la Figura 8, en particular, se observa una capa masiva de material predominantemente fino, cortada y desplazada por la falla en al menos 4,5 m medidos a lo largo de esa estructura. Hacia el oeste de la falla principal se encuentra material

asociado al colapso del terreno y a la erosión del escarpe, con posterioridad a la ruptura en superficie asociada a una dislocación de la FSR en esta zona.

Las edades radiocarbono obtenidas a partir de la capa cortada por la falla, así como edades obtenidas a partir de una superficie sugieren que el escarpe puede ser reconstituido por uno o dos eventos de ruptura sísmica en superficie, con posterioridad a 21794 años calibrados AP. En el caso de dos eventos, éstos habrían producido al menos 2,1 m y 2,4 m de deslizamiento a lo largo de la falla con ruptura y desplazamiento en superficie, después de 21794 años Cal. AP, y eventualmente cerca o después de 8400-8433 años Cal. AP, respectivamente. En el caso de un evento, este produjo al menos 4,5 m de deslizamiento a lo largo de la falla con ruptura y desplazamiento en superficie, después de 21794 años Cal. AP.

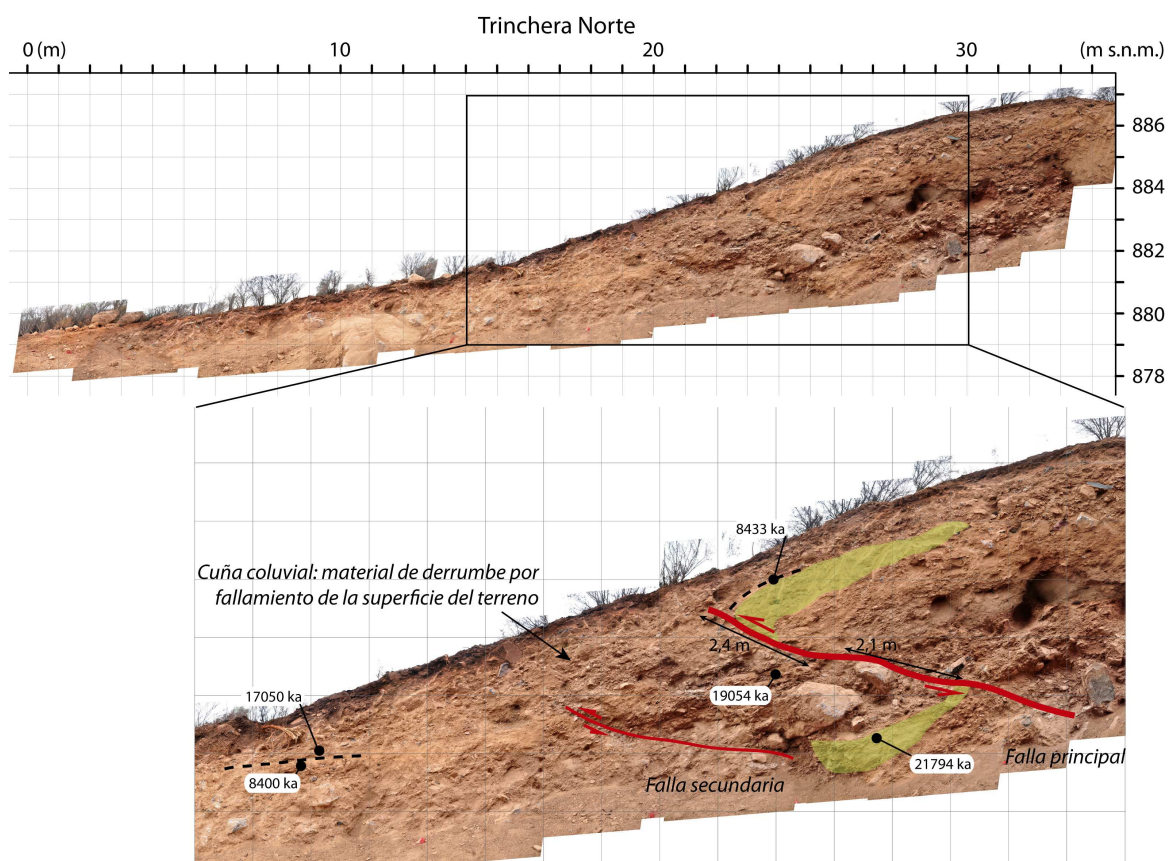


Figura 8. Detalle e interpretación estratigráfica y estructural del mosaico fotográfico de la Trinchera Norte. En verde se muestra una capa de material masivo y predominantemente, desplazado por la falla principal. Se indica también una falla secundaria que afecta levemente el relleno sedimentario aluvial. Se indican la

ubicación y el valor promedio de edades radiocarbono en años calibrados antes del presente.

Los resultados expuestos anteriormente son coherentes con las deducciones de las magnitudes esperables para sismos importantes en la FSR, del orden de Mw 6,9-7,4 (Armijo et al., 2010). Asimismo, confirman que la FSR ha producido ruptura superficial, con desplazamiento vertical concentrado a lo largo de las fallas principales. También, los resultados muestran que la falla es capaz de generar grandes terremotos espaciados por miles de años uno de otro. El o los últimos ocurrieron después de 21794 años Cal. AP y eventualmente 8400-8433 años Cal. AP.

4 Traza de la Falla San Ramón

La traza de la FSR ha sido definida en base a observaciones estructurales y morfológicas (Armijo et al., 2010; Rauld, 2011). La observación de las trincheras evidenció que la traza o expresión en superficie de esta falla se alcanza en la base o sector medio de los escarpes.

De manera transversal, es decir, perpendicular a la dirección de la traza de la falla, los escarpes de falla se extienden por 15-20 m, hasta 200-300 m (Fig. 9). En particular, la Figura 3.9c muestra el caso de un escarpe de falla en que la zona de mayor pendiente, abarca 300 m, medidos en dirección transversal a la traza de la falla. Una dimensión similar o mayor abarcan los escarpes de falla de los cerros Apoquindo y Calán, medidos también en la dirección perpendicular a la traza de la estructura.

Considerando la extensión transversal de los escarpes de falla mostrados en Armijo et al. (2010) y Rauld (2011), considerando que la falla en superficie se manifiesta con fallas principales y fallas secundarias, tal como lo muestran las observaciones de las trincheras realizadas en este trabajo, y dado que los escarpes muestran grados de erosión distintos, que ha hecho retroceder su morfología, en este estudio se consideró un rango de potencial influencia asociada a rupturas superficiales de la FSR de 300 m; 100 m hacia el frente de la traza de la falla principal (oeste) y 200 m hacia atrás (este), para efectos de la evaluación del peligro asociado a la misma.

La traza de la FSR definida de esta manera se muestra en la Figura 10.

Resultados de estudios geofísicos de sísmica realizados en el marco de este trabajo en la zona en donde se ubican las trincheras (Anexo I), son coherentes con la

geometría de la FSR observada en superficie, y apoyan a idea de una zona del orden de unos cientos de metros (300 m), a considerar como ancho de la potencial zona de ruptura.

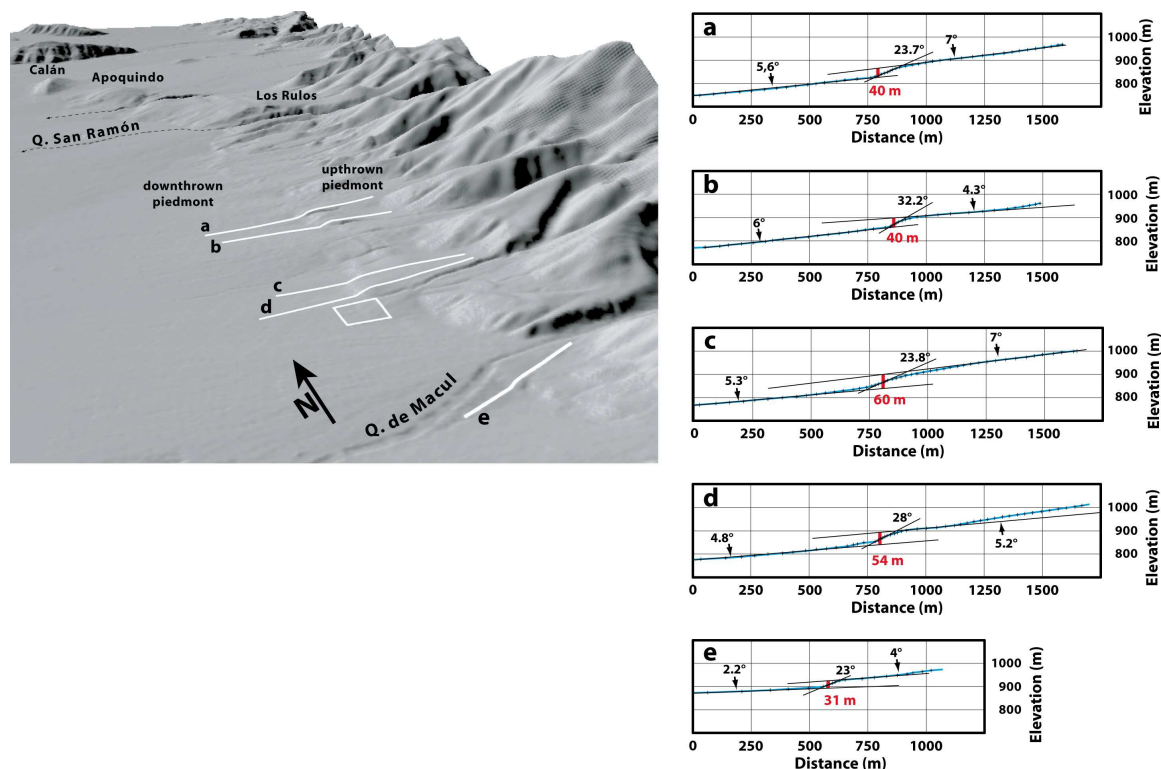
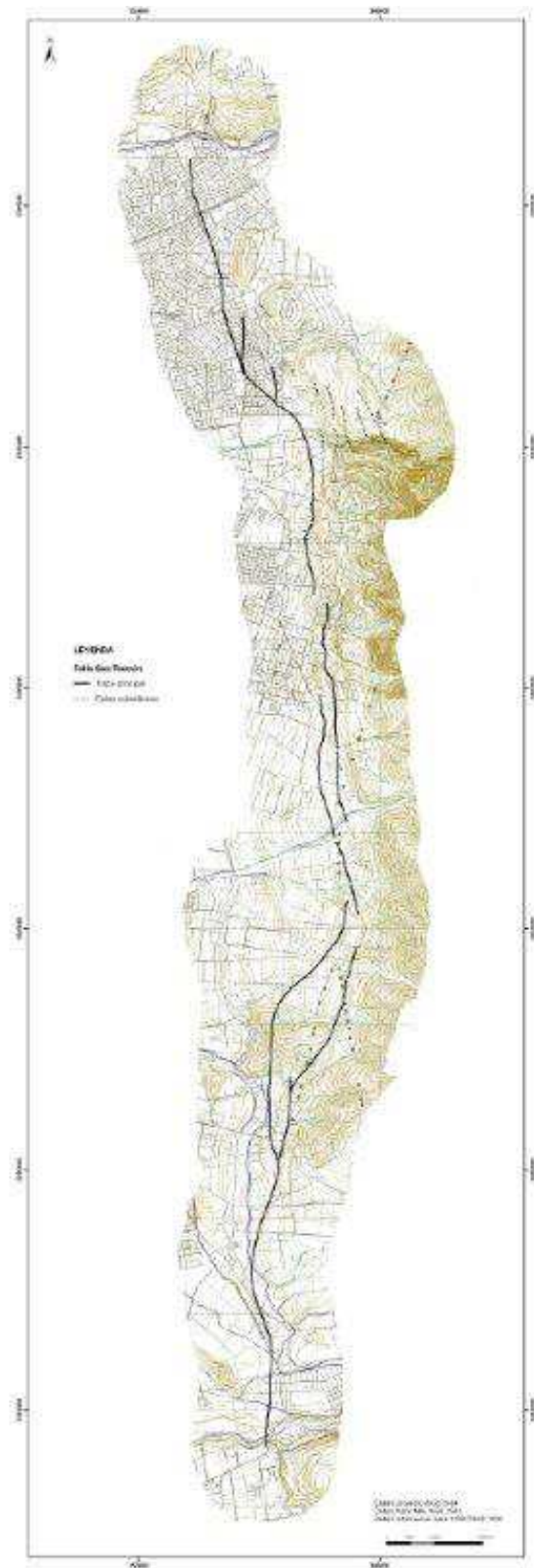


Figura 9. Escarpes de falla en la FSR, según Armijo et al. (2010).

Los datos expuestos, en cuanto a geometría superficial y a edades de material deformado por la falla, permiten afirmar que la Falla San Ramón es una estructura activa a escala de los últimos 22000 años. Estas inferencias son coherentes con una falla de actividad moderada, de acuerdo a (Slemmons y Depolo, 1996). Según estos últimos autores, y de acuerdo a datos globales de fallas activas, en fallas de moderada actividad, con tasas de deslizamiento de 0,1 mm/año a 1 mm/año, es posible esperar terremotos de magnitud 7 en rangos de tiempo del orden de 100 a 10000 años, y de magnitud 6 en rangos del orden de cientos a miles de años (Slemmons y Depolo, 1996), según la geometría de las estructuras, como el largo y área de potenciales rupturas sísmicas (Wells and Coppersmith, 1994).

Fallas corticales activas inversas o con componente inversa, en que antecedentes paleosismológicos han evidenciado que sismos importantes ocurren espaciados de cientos a miles de años, se ubican por ejemplo en Los Ángeles, California (Weaver y Dolan, 2000), y en el frente de los Himalaya (Kumar et al., 2001).



5 Conclusiones

La Falla San Ramón es una falla de mecanismo inverso que, en términos morfológicos y estructurales, sobrepone las rocas del frente cordillerano a los sedimentos de la Depresión Central y que, de acuerdo a los antecedentes evidenciados en este trabajo, corresponde a una falla activa a escala de los últimos 22000 años. Esto implica un potencial de generar terremotos de tipo cortical que por su ubicación y características afectarían de manera importante la zona oriente de Santiago.

Observaciones realizadas a partir de trincheras excavadas en forma transversal al escarpe de falla más reciente cerca de la quebrada Macul, indican que:

- (a) La falla genera ruptura en superficie, con desplazamiento vertical del orden de varios metros en un solo evento,
- (b) La ocurrencia de uno o dos grandes eventos sísmicos con ruptura en superficie después de 21794 años calibrados antes del presente y posiblemente 8400-8433 años calibrados antes del presente,
- (c) Dada la geometría conocida de esta estructura, los resultados confirman que las magnitudes esperables para sismos importantes a lo largo de la FSR serían del orden de Mw 6,9-7,4, tal como han sugerido trabajos previos (Armijo et al., 2010),
- (d) De acuerdo a los escarpes de falla reconocidos a lo largo de la FSR, junto con las observaciones de las trincheras y resultados de estudios geofísicos realizados en el marco de este trabajo, sugieren que el rango de influencia de la potencial ruptura en superficie es del orden de 15-20 m hasta 300 m. Esto debe ser considerado para efectos de la evaluación del peligro.

Se recomienda fuertemente preservar el sitio en donde se han excavado las trincheras, de modo tal de continuar con las investigaciones paleosismológicas e implementar a futuro un geositio y museo. Esto es crucial para mostrar la FSR a la ciudadanía y a la comunidad científica mundial.

Para la estimación del Peligro se utilizaron las metodologías probabilística y la determinística. La primera de ellas entregó un valor que combina el efecto de todas las fuentes (interplaca, intraplaca de profundidad intermedia y corticales) y no permite identificar un único evento o fuente como la responsable del Peligro obtenido. Para la estimación del peligro determinístico en cambio, se consideró cada fuente sismogénica por separado.

Considerando la metodología probabilística, para diversos periodos de retorno, la aceleración horizontal máxima (PGA) obtenida es:

Período de Retorno (años)	PGA (% g*)
72	34.8
475	56.7
1950	76.7

*g corresponde a la aceleración de gravedad

De acuerdo a lo anterior, los resultados del peligro probabilístico indican que en la cuenca de Santiago se alcanzan valores entre 52 a 58% de la aceleración de gravedad para un periodo de retorno de 475 años.

Utilizando la metodología determinística y de acuerdo a lo observado a partir de los terremotos históricos, se consideró la repetición de un gran terremoto *thrust* como el de 1730 con hipocentro a una distancia epicentral de 200 km, profundidad de 30 km y de magnitud $M_s = 8.8$. Para los terremotos intraplaca de profundidad intermedia se consideró la ocurrencia de un terremoto a una distancia de 20 km del área de estudio y a una profundidad de 80 km, con la magnitud máxima observada de los mayores terremotos históricos, $M_s = 8.0$.

Los resultados muestran que el terremoto máximo creíble (MCE) para la zona de estudio corresponde a un evento del tipo intraplaca de profundidad intermedia, con magnitud $M_s = 8.0$, localizado a una distancia hipocentral de 83.8 km de la zona de estudio, que produciría un PGA de 95% g, el cual posee un período de retorno cercano a los 10.000 años.

Por otra parte, para el análisis determinístico de la Falla San Ramón (FSR), se utilizaron los datos del estudio sismotectónico. En éste, del análisis de detalle de la sismicidad cordillerana, los mecanismos focales estimados para los eventos localizados en la banda de sismicidad en torno a los 10 km de profundidad, y clusterizados muy cercanos a la cuenca de Santiago, se concluyó que están asociados al nivel de despegue de la Falla San Ramón, y en consecuencia, en total coherencia con el modelo tectónico propuesto por una metodología totalmente independiente.

Los aspectos geométricos estimados del modelo tectónico, calibrado por la sismicidad en la “zona de despegue”, permiten tener una representación del “objeto

terremoto” o Falla Posible Capaz que nos lleva al terremoto máximo posible asumiendo que la ruptura sísmica se produce a lo largo de todo el plano de falla de una vez.

Las magnitudes máximas posibles, estimadas utilizando valores extremos de la relación de escala de la fuente sísmica para el desplazamiento promedio sobre el plano de falla, es decir, valores comprendidos entre $10^{-5} L < u < 10^{-4} L$, donde L es el largo de la falla, llevan a que el sismo máximo posible es de $6.7 < Mw < 7.4$.

Como resultado de la evaluación del peligro determinístico asociado a la Falla San Ramón, correspondiente a la fuente cortical del área de estudio, se obtuvo que las aceleraciones horizontales máximas alcanzan valores del 70% g hacia el lado oriental de la Falla San Ramón, dando énfasis al impacto del efecto de bloque-colgante.

Los valores de la aceleración horizontal máxima (PGA) en función de la distancia, para un evento de magnitud $Mw=7.4$ son:

Distancia hacia el Oeste (km)	PGA (%g)
2.0	47.0
5.0	37.0
10.0	26.0
Distancia hacia el Este (km)	PGA (%g)
2.0	70.0
7.9	47.0
11.5	37.0
14.7	26.0

Las trincheras excavadas, de aproximadamente entre 3 y 4 m de profundidad, muestran un suelo constituido por capas de espesores decimétricos de gravas arenosas, matriz soportadas y clasto soportadas, que clasifican principalmente como GP. Los niveles se caracterizan por presentar distintos tamaños dominantes de la grava.

Los depósitos del sitio se asocian a la Unidad IIIa definida por Leyton et al (2010), la cual incluye a depósitos asociados a abanicos aluviales menores ubicados en las laderas de los relieves principales que rodean la cuenca de Santiago. De acuerdo a los resultados obtenidos, los autores sugieren que la Unidad IIIa, donde se ubica el área de estudio, estaría caracterizada por una gran variabilidad de su Periodo Fundamental, observándose valores mayores a 1 seg. Las medidas Nakamura realizadas en el sitio muestran una señal más bien plana, con un leve aumento de la

amplitud de la señal entre 0,5 y 1 Hz (periodos de 2 y 1 segundos). Esta respuesta indicaría que en el sitio estudiado, el suelo de los primeros metros tendría un comportamiento más bien similar al observado en gravas de Santiago, esperable para el material grueso reconocido en las trincheras.

Por otra parte, el estudio de medición de ondas sísmicas mostró una capa superficial con $V_p \sim 0.7$ km/s y a continuación en profundidad, un gradiente creciente de velocidad interpretable como un aumento de compactación que alcanza, a los 30 m de profundidad, una $V_p \sim 1,1$ km/s. La capa superficial correspondería a sedimentos escasamente compactados. A partir de estos datos, se puede sugerir velocidades V_s entre 400 m/s y 635 m/s para los suelos del sitio.