



INFORME SOCAVONES CONCÓN-REÑACA

AGOSTO-SEPTIEMBRE 2023

José Antonio Naranjo S.

Geólogo



INFORME TÉCNICO

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

SEPTIEMBRE 2023

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente a las 23:30 hrs del martes 22 de agosto de 2023 y posteriormente a las 22:50 hrs del domingo 10 de septiembre de 2023, se generaron deslizamientos de arenas en el escarpe costero del sector denominado “Dunas de Concón”, comunas de Concón y Viña del Mar, sector costero inmediatamente al suroeste de la ciudad de Concón. En la figura 1 se muestra la ubicación del área afectada por dichos deslizamientos, formados fundamentalmente de arenas.

El primer deslizamiento originó una **cárcava discontinua** (según criterio de Gómez et al., 2011) o socavón cuyo volumen, calculado mediante el software *Agisoft* sobre imágenes aéreas obtenidas mediante vuelos de dron, es de aproximadamente 15.000 m³ (J. Parra, comunicación escrita, 2023). Esta cárcava alcanzó aproximadamente 80 m en dirección este-oeste y ancho variable entre 30-40 m y un escarpe vertical de la cicatriz (profundidad) de ca. 35 m. La parte alta de la corona del deslizamiento alcanzó una distancia de 10-15 m del edificio “Kandinsky”, una torre de 19 pisos y, además, un edificio de 5 niveles de estacionamientos, ubicado inmediatamente al este. El socavón incluyó el colapso de ca. 20 m de la calle “Costa Montemar”, que corresponde a la calle del edificio. Además, destruyó completamente el colector de aguas-lluvia (tubería de 1,2 m de diámetro), así como los poyos de concreto y pilares correspondientes, junto con la vegetación superficial (docas) (Fig. 2).

Tras la primera cárcava del 22 de agosto, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) inició trabajos de mitigación provisorios, con la construcción de un colector-bypass superficial de aproximadamente 85 m de largo y curvo al noroeste, desde calle Costa de Montemar (75 m s.n.m.) hasta la cota 44 m s.n.m., con una pendiente aparente y diagonal de aproximadamente 20°. Cabe destacar que la pendiente real, perpendicular al borde del escarpe en el sector, es de 27° (Fig. 1).

Posteriormente a las 22:50 hrs del domingo 10 de septiembre, 65 m al sur del primer socavón, se generó una segunda cárcava que afectó al frente del escarpe costero, desde la calle Costa de Montemar. Debido esta emergencia, se obligó la evacuación de cuatro edificios: tres Torres de Miramar Reñaca y Santorini Norte, al sur del deshabitado edificio Kandinsky. La evacuación de los edificios incluyó a más de 200 personas.



Fig. 1. Sector de la cárcava o socavón del 22 de agosto de 2023, al norte de Punta Montemar. La línea roja representa el escarpe costero entre la desembocadura del Río Aconcagua y Viña del Mar.



Fig. 2. Vista aérea oblicua del socavón generado el 22 de agosto de 2023, con deslizamiento de arenas sobre la Av. Borgoño y el sector litoral. La línea roja demarca la cárcava y distribución del depósito que se generó producto del deslizamiento de arena.

Este informe se resumen los resultados de terreno, las características geológicas y geomorfológicas del sector de los colapsos, las dimensiones de ambos procesos y las causas mediatas e inmediatas que los desencadenaron, como asimismo las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

ANTECEDENTES

Rivano et al. (1993) y Rivano (1995) en mapeos a escala 1:250.000 de la parte alta de la costa, entre Concón y Viña del Mar, distinguen sedimentos eólicos antiguos (paleodunas) que forman superficies suavemente onduladas y que cubren parcialmente las terrazas costeras.

Paskoff et al. (2002) y Paskoff y Manríquez (2004) describieron las dunas colgadas de Concón sobre una terraza litoral solevantada, las cuales están estabilizadas y no estarían siendo alimentadas con arena desde una playa, sino que, se presentan separadas del mar por un acantilado y estrán (intervalo de costa que queda entre la bajamar y la pleamar), ambos rocosos. Destacaron la ausencia total de elementos bioclásticos marinos, sin carbonato de calcio.

Lépez et al. (2005) efectuaron un estudio geológico-ambiental en las áreas urbanas de las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón como una herramienta de planificación territorial, para prevenir y/o mitigar efectos producidos por inundaciones, remociones en masa y socavamientos. En el sector distinguieron los depósitos litorales, dunas inactivas y activas cubiertas por vegetación, con emplazamientos urbanos entre Reñaca y Concón. Asimismo, indicaron un notorio control estructural del trazado de los principales valles como el caso del valle del Estero Marga Marga de rumbo N50°W, interpretado como una falla con desplazamiento transcurrente sinestral (Thorson, 1999). Además, mediante el análisis de lineamientos de fotografías aéreas distinguieron dos orientaciones preferenciales N45°W y N45°E que se correlacionan con estructuras identificadas en terreno. Lépez et al. (2005) asignaron un alto peligro de remoción en masa al sector del acantilado costero entre Concón y Reñaca y señalaron que el catastro efectuado muestra varios eventos históricos de remociones en masa no canalizadas, en el sector dunar o en sus cercanías.

El estudio “Memoria y mecánica de suelo para el edificio Kandinsky”, efectuado el año 2011, señala que esta construcción corresponde a un edificio de 19 pisos más un edificio de 5 niveles de estacionamientos. Allí se indica “El suelo está compuesto de dunas de arena de depositación eólica, las que exhiben una compacidad variable en aumento en profundidad.” Según ese estudio, los sondajes ejecutados en el sector indican una compacidad muy alta del terreno a partir de los 3.5 a 4 m de profundidad (...). Esta unidad se extendería a profundidades mayores al interés requerido. En los sondajes realizados no se detectaron indicios de la napa freática a profundidades de hasta 30 m bajo el terreno. El informe indica, además, que las fundaciones de la torre principal quedarían enterradas en al menos 5 m bajo el nivel de terreno actual y 1 m bajo en nivel de piso terminado o explanada, condicionado a apoyarse en suelo arenoso de compacidad muy alta. En el caso del edificio de estacionamientos, éste debería apoyarse en su parte delantera en pilas de hormigón armado, para evitar la descarga sobre un talud y sobre el desnivel generado con la torre principal. Por lo anterior, las pilas deberán penetrar al menos 3 m bajo nivel de plataforma inferior. El resto de las fundaciones del edificio de estacionamientos se apoyará en forma

directa a 0.8 m bajo nivel de piso terminado o explanada. (...) Se deberían considerar las tensiones recomendadas de contacto admisibles para “las fundaciones directas de los edificios apoyados en suelo arenoso compacto”.

Falcón y Valdés (2012) efectuaron un estudio de recopilación de antecedentes técnicos y científicos respecto del Campo Dunar Punta de Concón, cuya extensión total abarca desde Concón hasta Playa Cochoa. El informe fue requerido por la Municipalidad de Concón, con el objetivo de determinar el grado de peligrosidad y riesgo de la construcción en altura en el sector, especialmente del área que abarca la duna mayor. Además, se solicitó investigar cuáles serían las restricciones de constructibilidad en un sector de suelo dunar, dada la condición de ser uno de los países más sísmicos del mundo, así como determinar cuáles son los beneficios ambientales que dicho sector aporta a la comuna y a la cuenca del Aconcagua, y cuáles serían los impactos negativos que significa la pérdida de ese patrimonio. Dichos autores concluyeron que el campo dunar Punta de Concón, que corresponde a dunas litorales fósiles o paleodunas, se encuentra intervenido en más de dos tercios de su superficie y que dicha intervención, con la construcción de edificios en altura, puede afectar al sector, entre otras formas, de la siguiente manera:

- Reactivación de los procesos eólicos, como se verifica en los Bosques Montemar (Concón).
- Inestabilidad de los terrenos debido a la mayor carga que significa la construcción de edificios y a la remoción de arenas.
- Activación de la erodabilidad de los frágiles suelos por pérdida de la capa natural protectora.
- Deterioro y erosión en las etapas de construcción y urbanización, debido al tránsito de vehículos pesados.
- Peligro de remociones en masa en el acantilado costero debido a las obras de construcción y urbanización.

Ramírez y Alfaro (2016) realizaron una evaluación técnica en el sector de la quebrada Las Petras, Comuna de Concón, con el fin de entregar una opinión técnica respecto a la situación de amenaza por remoción en masa que afecta a ese sector. Estos autores concluyeron que, en dicha quebrada, desarrollada sobre areniscas, limolitas y arcillolitas, pobremente consolidadas de la Formación Caleta Horcón, existía un ducto de aguas lluvias desde la parte alta de las laderas hacia el mar, inconcluso por varios años. Además, indicaron que la quebrada se encontraba en una condición de inestabilidad hídrica en proceso de erosión acelerado en algunos tramos debido al aumento de aporte hídrico desde sectores contiguos, lo cual había generado la profundización del cauce y erosión lateral, afectado a viviendas y calles aledañas. Asimismo, estos autores recomendaron terminar con urgencia el tramo del colector de aguas lluvias y obras accesorias inconclusas. Éstas debían incluir medidas de contención y estabilización de laderas para impedir que el proceso erosivo continuara. Además, recomendaban urgentemente regular el paso de camiones y maquinaria pesada por las calles cercanas a la quebrada y, en lo posible, detener el tránsito vehicular y peatonal en tanto, se desarrollan obras permanentes de estabilización de laderas y canalización de aguas lluvias.

Con posterioridad, Ribba (2018) efectuó un estudio, premonitorio, para la comunidad de Concón y Viña, en el cual concluye que:

1.-La definición Geológica, Geográfica y Geomorfológica de dunas de Concón en los mapas respectivos, es un sitio o polígono mucho mayor en superficie o extensión que la del Geositio e, incluso, que la del Campo Dunar.

2.- No existe una definición única para lo que se entiende cómo Campo Dunar y/o Duna Viva por los distintos organismos municipales, gubernamentales y científicos, siendo la definición científica técnica la que debería primar. Esta falta de definición única conduce al extremo de invisibilizar toda la duna (como que no existiera la Duna) y su ecosistema asociado, que se ha perdido y ha sido dañado irreparablemente por las actividades recreacionales del ser humano y el avance inmobiliario desde el Sur y Norte del Santuario Dunas de Concón.

3.-Hay un potencial de daños irreparables en las áreas protegidas en este instante que debe ser evaluado responsablemente por profesionales independientes acerca de derrumbes posibles, por obras que se están desarrollando en ambos extremos norte y sur del Santuario. Ello si se quiere asegurar evitar daños en él.

4.-Es de suma urgencia hacer vinculante los planos reguladores regionales y municipales a los últimos resultados de la comunidad científica en materia de amenaza sísmica (SIGAS) y restricciones a la construcción de grandes edificios, pues las consecuencias de a poco ya se están comenzando a ver en edificios recientemente construidos, cómo son grietas sistemáticas, deformaciones en terrazas y muros protectores, hundimiento de calles y veredas, etc.

5.-Mientras no ocurra un escenario de lluvia intensa con acumulación de cientos de mm seguido de un terremoto magnitud cercano a 9, es difícil comprender que grandes fenómenos de licuefacción pudieran ocurrir. Sin embargo, en esta época de grandes cambios climáticos y con la amenaza que reviste el terremoto pendiente en la zona central, las probabilidades pudieran estar mucho más cerca de lo que se cree.

Otros informes privados, de acceso y uso, por ahora restringidos, señalan que obras de proyectos, ubicados a lo menos hasta 100 m del socavón, se emplazan sobre depósitos no consolidados de arenas medias a finas con lentes de gravas. Estratigráficamente, estos depósitos sobreyacen a arenas cuarcíferas semi-consolidadas de grano medio a grueso y se indica, además, que los proyectos se emplazan sobre aproximadamente 40 m de arenas de dunas.

INTERVENCIÓN ANTRÓPICA

Según el historial de imágenes de Google Earth, fotografías aéreas de 1954 y algunos informes inéditos a los que se pudo acceder durante este trabajo, la cronología urbanización del área estudiada presenta los siguientes hitos:

- Diciembre 1954: se aprecian campos de dunas activas de Concón y Punta Montemar, al sur de Concón, sobre Playa Cochoa, sector actualmente urbanizado.
- Enero de 2005-2007: no había urbanización.

- Durante el 2007 se completó la construcción de tres colectores de aguas lluvia de un área total de ca. 1,19 km² en la parte sur de Concón. Éstos confluyen a Los Ginkos con Reñaca Norte (cota aprox. 105 m s.n.m.) y, por esta calle, el colector desciende bajo la calle Costamar (Costa de Montemar) hasta los 60 m s.n.m. Bajo el término norte de esta calle, el colector de ca. 85 m de largo desciende 35 m hasta la Av. Borgoño y, desde allí la alcantarilla evacúa las aguas lluvia al mar.
- Abril de 2007: trazado de calles sin pavimentación.
- Agosto de 2007: calles pavimentadas, plataformas primeros edificios y colector aguas lluvias construido.
- Octubre de 2008: edificios en construcción.
- Desde mayo 2009 hasta diciembre de 2011: torres del sur edificadas.
- 2011 permiso edificación Torre Kandinsky aprobado.
- Febrero de 2013: Torre Kandinsky edificada.

GEOMORFOLOGÍA

Rasgos morfológicos costeros

Entre Concón y Viña del Mar se destaca un conspicuo escarpe costero con pendientes que sobrepasan 35°. Este escarpe asciende desde ca. 60 m s.n.m., al norte de Viña del Mar, hasta 135 m s.n.m., por sobre la Punta Montemar (entre las playas Cochoa y Reñaca). Desde Punta Montemar hacia el norte, el escarpe desciende hasta ca. 40 m s.n.m., inmediatamente al sur de Playa La Boca Concón (cuyas arenas son de colores grises), en la desembocadura del río Aconcagua.

Otro rasgo preponderante de la costa de Chile central es la presencia de numerosas bahías, generalmente abiertas hacia el noroeste. Estas morfologías pudieron haberse desarrollado comienzos del Pleistoceno, como consecuencia de un régimen tectónico distensivo relacionado con el desarrollo de fallas regionales de orientación noroeste, como la estructura-lineamiento regional “Marga-Marga”, de ca. 40 km de extensión, o los lineamientos/fallas Las Salinas y Laguna Verde (líneas de colores en Fig. 1). Múltiples fallas NW han sido reconocidas a lo largo de la costa de Valparaíso-Concón (Freisleben et al. 2021).

Posible causa de los rasgos geomorfológicos

La zona de estudio se ubica enfrente de la llamada Cuenca de Valparaíso, un área deprimida de la plataforma continental de aproximadamente 2.500 km² (Von Huene et al., 1997). La cuenca de Valparaíso está limitada al norte por la cresta diagonal de Punta Salinas, de orientación noreste, que alcanza hasta 1.500 m s.n.m. Al sur, limita con el Cañón de San Antonio, de ca. 500 m de profundidad, el cual labró un valle submarino zigzagueante de 115 km de largo y ca. 500 m de profundidad, sobre la plataforma continental. Un rasgo morfológico notorio a lo largo de los 145 km de costa frente a la Cuenca de Valparaíso es la presencia de once bahías y sus respectivas salientes rocosas (puntillas), lo cual contrasta con la ausencia, menor preponderancia o desarrollo de éstas a lo largo de la costa 230 km y 110 km al norte y sur, respectivamente.

Esta morfología de bahías, delimitadas por fallas NW, podría haberse desarrollado como consecuencia indirecta de la subducción diagonal de la dorsal oceánica Juan Fernández, en dirección de la fosa de convergencia/subducción de las placas. Ello implicaría un desplazamiento paulatino de la dorsal hacia el sur. La deformación tectónica producida por la dorsal subductada también migra hacia el sur a medida que deforma la delgada plataforma de la placa continental. Según von Huene et al. (1997), esto es consistente con la deformación observada en sedimentos del antearco y la morfología alterada del margen continental. También como la deformación de la Cuenca de Valparaíso y las fallas mencionadas, la deformación y alzamiento de las terraza-escarpe costero entre el Río Aconcagua y el Estero Marga-Marga podrían ser consecuencia del mismo empuje migratorio al sur, de la dorsal subductada.

CRONOLOGÍA DE LOS COLAPSOS-DESLIZAMIENTOS

Primer socavón o cárcava discontinua

Precipitaciones antecedentes

Los datos meteorológicos registrados en la estación Torquemada de la Dirección Meteorológica de Chile (Aeródromo Torquemada de Viña del Mar, ubicado 6,5 km al este del socavón, Figs. 1 y 3), señalan que a partir de las 0300 del 19 de agosto 2023 se iniciaron precipitaciones, que alcanzaron tres crestas a las 0400 (ca. 1,3 mm/h), a las 0700 (ca. 1,7 mm/h) y a las 1100 (0,9 mm/h), las cuales cesaron a las 1200 de ese día. Posteriormente, entre las 0400 y 0800 del 22 de agosto, se produjeron precipitaciones que alcanzaron medias de casi 2,5 mm/h.

Los registros meteorológicos indican que las precipitaciones intensas comenzaron a las 1600 del día 22 de agosto, las cuales, en 8 horas, llegaron a un acumulado de 60,2 mm, con crestas a las 1600 (ca. 6,1 mm/h), a las 2000 (ca. 12,9 mm/h) y a las 2200 (9,6 mm/hr).

El testimonio de vecinos del lugar, indican que el deslizamiento principal se habría generado durante la noche del 22 de agosto, cerca de las 23:30 hrs.



Fig. 3. Pluviografía de las precipitaciones horarias registradas en la estación Torquemada, el 22 de agosto de 2023. La flecha roja señala la hora del colapso.

Cronología del colapso: testimonios gráficos



Fig. 4. Jueves 10 de agosto de 2023: Arriba se observan equipos técnicos evaluando situación anormal del colector del edificio KANDINSKY en calle Costa de Montemar. La Av. Borgoño estaba cerrada a tránsito de vehículos. Abajo, gráfico de la pluviografía asociada.



Fig. 5. Sábado 19 agosto de 2023. Arriba, 11:45 hrs, vehículo atrapado en la Av. Borgoño, producto de un deslizamiento menor a los pies del sector afectado días después por el socavón. Al medio, se observa la dispersión de arcillas en las aguas costeras. En dicha ocasión, las precipitaciones acumuladas corresponderían solo a 2,1 mm. Abajo, gráfico de la pluviografía asociada.

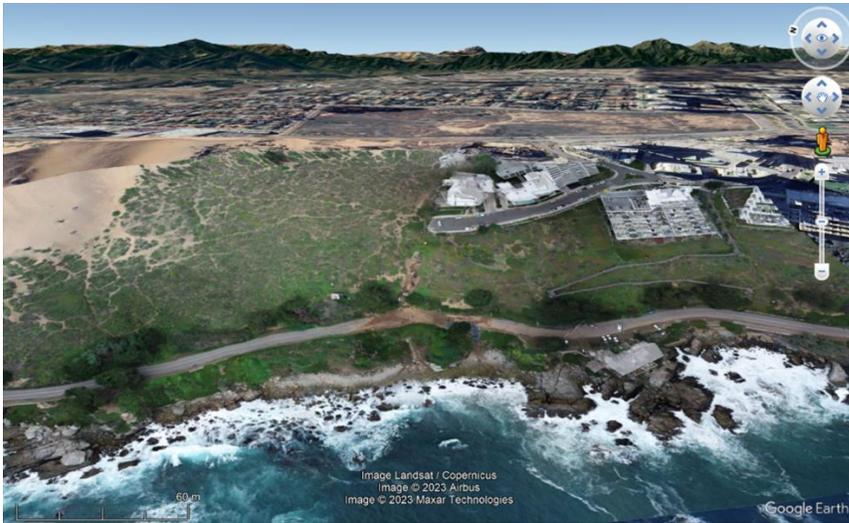


Fig. 6. Vista aérea oblicua hacia el este, de cómo se veía el colapso inicial ocurrido el sábado 19 de agosto (fotografía tomada mediante vuelo de dron el lunes 21 de agosto de 2023).

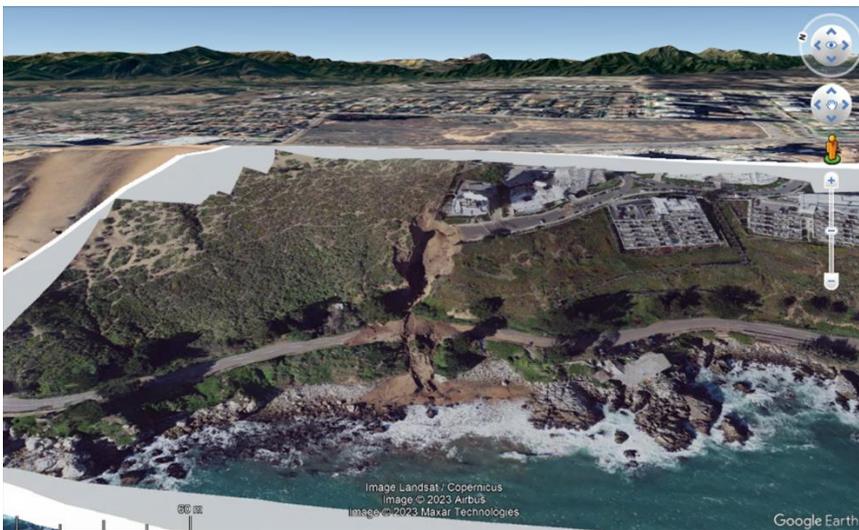


Fig. 7. Arriba: Vista aérea oblicua hacia el este, se muestra la cárcava tras el colapso ocurrido cerca de las 23:30 hrs del 22 de agosto (fotografía tomada mediante vuelo de dron el lunes 24 de agosto de 2023). Abajo: la pluviografía asociada a las precipitaciones intensas que dieron origen al colapso ocurrido a las 23:30 hrs del 22 de agosto de 2023 (flecha roja).



Fig. 8. Jueves 24 de agosto de 2023, 16:09, 16:14 y 16:30 hrs: Sucesión de fotografías tomadas desde dentro del socavón que grafican la inestabilidad de sus paredes verticales. Las dos últimas muestran la situación anterior y posterior a la caída de un bloque de aproximadamente 80-100 m³ (flecha roja) de arena del escarpe sur.

Segundo socavón o cárcava discontinua

Precipitaciones antecedentes

La evolución pluviográfica horaria de las intensas lluvias de la noche 10-11 de septiembre 2023 se desarrolló de la siguiente manera (Fig. 9):

- **10 septiembre** 2023, **22 hrs** se inician las precipitaciones.
- Hasta las **23 hrs**, 9,2 mm
- Hasta las **24 hrs**, 2,8 mm
- **11 septiembre** 2023, hasta la **01 hrs**, 4,4 mm
- Hasta las **02 hrs**, 4,4 mm
- Hasta las **03 hrs**, 3,8 mm
- Hasta las **04 hrs**, 0,7 mm
- Hasta las **05 hrs**, 2 mm
- Hasta las **06 hrs**, 0,6 mm
- Hasta las **07 hrs**, 0,1 mm



Fig. 9. Pluviografía de las precipitaciones horarias registradas en la estación Torquemada, durante la noche del 10 al 11 de septiembre de 2023. La flecha roja señala la hora del colapso que dio origen a la compleja segunda cárcava.

Cronología de la segunda cárcava discontinua o socavón y remociones en masa asociadas

Las evidencias fotogeológicas y los antecedentes de prensa, concomitantemente con la evolución de las precipitaciones, permite inferir el desarrollo de los procesos que ocurrieron la noche del 10-11 de septiembre, y que dieron lugar a tres nuevas remociones (Fig. 10).

Remoción de materiales del fondo de la cárcava del 22 agosto: En la figura 10 se muestra que hubo algunos retrocesos menores de la parte alta de la corona de la cárcava o socavón 1, del 22 de agosto. Además, desde el fondo de esa cárcava o socavón se produjo una nueva remoción de materiales (delimitada color calipso).

Remoción colapso segmento frontal del bypass: A los pies del escarpe, aproximadamente 60 m al sur, el colector-*bypass* superficial fue rebasado y colapsó, lo cual causó una cárcava de ca. 530 m³ y un flujo de arenas de 500 m² sobre la Av. Borgoño (socavón y flujo delimitado color amarillo).

Cárcava 2 principal: El rebalse y colapso de los primeros 50 m del colector-*bypass* superficial, dio origen a una cárcava de ca. 100 m de largo este-oeste, un ancho mayor a lo largo de la calle Costa de Montemar (entre los 77 y 82 m s.n.m.) y una angostura de 10 m bajo la ruptura del colector-*bypass* superficial. Con una profundidad promedio estimada entre 15 y 20 m, esta cárcava alcanzó un volumen de aproximadamente 2.000 y 6.800 m³. El flujo se dispersó en un lóbulo 50 m hacia el oeste de la base del escarpe y sobre los escollos costeros, el cual pasó a llevar 4 *containers*. Otro lóbulo de ca. 110 m de largo se dispersó hacia el sur por la calzada de la Av. Borgoño (Fig. 3).



Fig. 10. Vista aérea oblicua hacia el este. Se observan las cárcavas generadas el 22 de agosto y 10-11 de septiembre de 2023. Se destacan en calipso los sectores de colapsos menores de la corona de la cárcava del 22 de agosto, así como una nueva remoción de materiales desde el fondo de ese socavón. También se observa la cárcava de ca. 530 m³ y el flujo de arenas sobre la Av. Borgoño, a partir del frente de los remanentes del segmento frontal del *bypass* (cárcava y flujo delimitado color amarillo). La cárcava o socavón 2 principal se delimita en color verde.

GEOLOGÍA DE LOS ESCARPES DE LAS CÁRCAVAS DISCONTINUAS (SOCAVONES)

El escarpe corresponde a una terraza litoral solevantada cuyos depósitos cubren a un paisaje de escollos costeros, correspondientes a un monzogranito de grano grueso de cuarzo plagioclasa, feldespato potásico y biotitas. Los sedimentos de la terraza que quedaron expuestos en el socavón, constituyen un potente depósito de arenas no consolidadas muy bien seleccionadas, con laderas muy escarpadas e inestables que, originalmente, alcanzaron 35 a 40 m de alto. Este depósito es de tonalidades beige con secciones métricas de tonos rosáceos y grises. Efectivamente, en la parte media-alta del corte se aprecia una intercalación de ca. 8,5 m de arenas grises, cuyo nivel inferior, de 5 m, presenta láminas y estratos cruzados bien definidos. El nivel superior de 3,5 m de potencia, parece ser más homogéneo y de arenas grises más finas (Fig. 11).

El escarpe de la segunda cárcava discontinua alcanzó aproximadamente 15 a 20 m de alto y expuso depósitos de arenas que muestran las mismas características que las del escarpe del socavón 1. Se destaca claramente la intercalación de la capa de arenas grises que alcanzó un espesor de aproximadamente 5 a 6 m, menor que en la cárcava 1 (Fig. 12).



Fig. 11. Al interior del escarpe se observa un depósito de tonos beige con una intercalación de arenas grises, cuyo nivel inferior, presenta láminas y estratos cruzados bien definidos.

Aparte de la intercalación de arenas grises, no es posible distinguir planos de estratificación nítidos. No obstante, se destaca la presencia de estratificación cruzada de longitudes métricas y decamétricas. Internamente, algunas capas muestran el entrecruzamiento de láminas y estratos finos a medios.



Fig. 12. Vista aérea oblicua hacia el este. Se exhiben los depósitos expuestos en ambas cárcavas en la terraza litoral solevantada (Paskoff et al., 2002; Paskoff y Manríquez, 2004). Se destaca la intercalación de una capa de arenas grises, cuya potencia disminuye hacia el sur.

Se realizaron análisis de difracción de rayos X a varias muestras del depósito, las que corresponden a los niveles basales, arenas del deslizamiento y arenas provenientes de la parte alta del depósito (E. Fonseca, comunicación escrita, 2023). Asimismo, se analizó una muestra de la duna superficial activa. Todas corresponden a arenas finas o arenas medias, de muy buena selección. La composición cualitativa indica que son arenas de cuarzo y plagioclasa, con ferromagnesianos como hornblenda férrica, hematita, piroxenos y magnetita. Es importante destacar que, en ninguna de las muestras de mano de terreno, ni en las analizadas, se observaron cristales de biotita, ni de feldespato potásico, constituyentes fundamentales del monzogranito costero infrayacente.

Por otra parte, información obtenida de dos pozos de exploración hidrogeológica ubicados, aproximadamente, 2 km al ESE del socavón (figuras 1 y 13), indica la presencia de 42 m y 32 m de arenas y limos arenosos depositados sobre rocas graníticas alteradas, cortadas por filones anfibólicos de hasta 5 m de potencia.

GEOLOGÍA REGIONAL DEL DEPÓSITO COSTERO

Sobre la base del mapa Hoja Quillota escala 1:250.000 de Rivano et al. (1993), tradicionalmente, los depósitos aterrizados costeros han sido interpretados como paleodunas de origen eólico. Sin embargo, teniendo en consideración las observaciones en terreno de la estructura interna del depósito de arena, la composición de las muestras de arenas obtenidas, expuestas en las paredes del socavón, que incluye capas >8,5 m de arenas grises, así como la información de los pozos hidrogeológicos ubicados aproximadamente 2 km al ESE, es posible inferir, preliminarmente, que provendrían, al menos en parte, de alguna fuente (roca o sedimento) con contenidos hornblenda y otros minerales ferromagnesianos, ausentes en el monzogranito costero.

En el mapa de la figura 13 se muestra la distribución aproximada de los depósitos aterrizados costeros del sector Concón-Reñaca, así como el eskarpe costero. Dichos sedimentos corresponderían a depósitos sublitorales, con espesores mayores que 30 m, cuya proveniencia, hipotéticamente, podría haber estado parcialmente vinculada a aportes de sedimentos derivados desde la cuenca del río Aconcagua, así como las arenas de colores grises de la playa La Boca de Concón. Cabe destacar que la distribución de las dunas colgadas de Concón sobre una terraza litoral solevantada (Paskoff et al., 2002; Paskoff y Manríquez, 2004) se restringe sólo a la parte alta del sector Punta Cabras (Fig. 13).

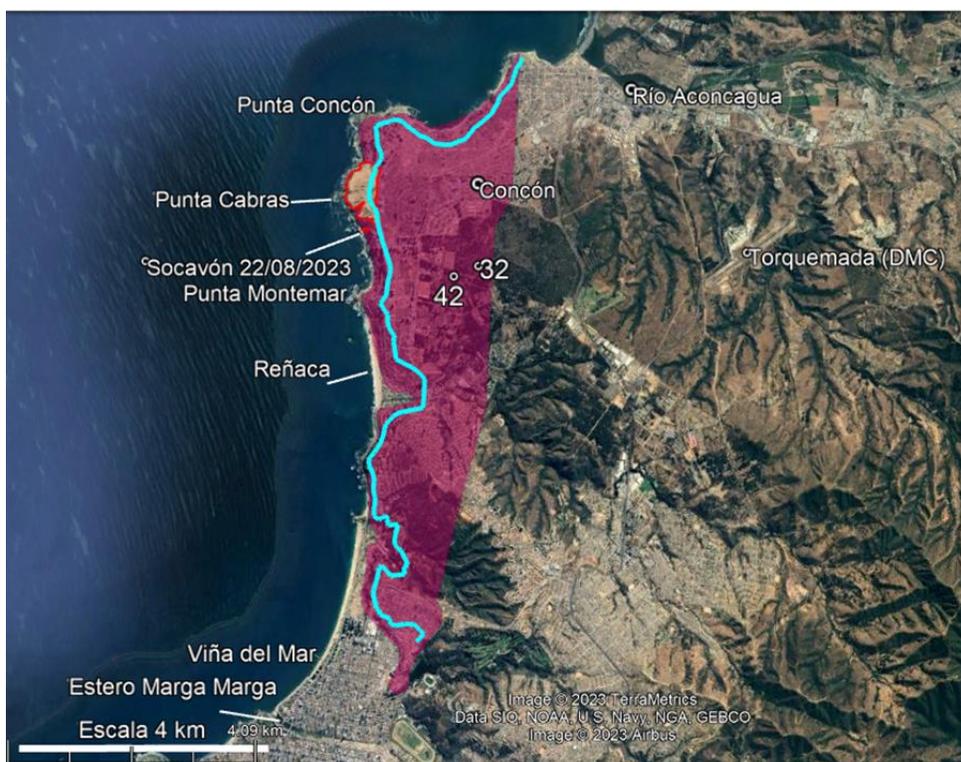


Fig. 13 Mapa geológico que muestra la distribución de los depósitos aterrazados costeros del sector Concón-Reñaca (magenta), así como el escarpe costero (celeste), además de la duna colgante sobre Punta Cabras. Los números indican el espesor de arena (m) en pozos de agua en el sector.

CONCLUSIONES

En la costa entre Concón y Viña del Mar se presenta un escarpe costero, deformado, sobre la cota de playas, con pendientes que sobrepasan 35° , con una altura máxima de 135 m s.n.m., por sobre la Punta Montemar (entre las playas Cochoa y Reñaca). Esta deformación sería consecuencia de las condiciones geotectónicas locales de la subducción, causante, además, de una alta recurrencia sísmica.

A partir de 2007 se inicia la urbanización del sector con la construcción de diversos edificios (torres) con sus respectivos edificios de estacionamientos, todos emplazados en arenas. El 2011 se aprueba el permiso de construcción de la Torre Kandinsky, la cual, en febrero de 2013, ya estaba edificada.

El peligro de hundimiento-deslizamiento que podría conllevar la formación de un socavón en arenas no consolidadas, de acuerdo con los antecedentes recopilados, no habría sido considerado en las normas de construcción de los edificios. Dado el espesor de los depósitos de arenas (mayor que 30 m) y la información recabada desde estudios realizados para algunas de las construcciones del sector, los edificios no están asentados en roca. En consecuencia, esta constituye la causa mediata del colapso de depósitos de arenas. Cabe destacar que los frentes de escarpes de arena sin contención pueden presentar

deslizamientos de volúmenes importantes de arena y/o la rotura de cañerías o matrices de agua potable (Gajardo et al., 2010).

El sistema de colectores de aguas lluvia para el sector sur de Concón y norte de Reñaca Alto, fue sobrepasado por las precipitaciones intensas acaecidas el 22 de agosto y 10-11 de septiembre de 2023. Tras las intensas precipitaciones que, en 8 horas, llegaron a un acumulado de 60,2 mm, aproximadamente a las 23:30 hrs del 22 de agosto, el caudal de descarga, sumado a las eventuales deformaciones o desacoples del colector, los ángulos de caída, etc., sobrepasó con creces las capacidades del colector. Esto produjo el arrastre y colapso de las arenas y la cárcava de aproximadamente 15.000 m³, cuya corona y escarpe muestra condiciones muy inestables. Un segundo colapso, 60 m al sur del primero, estuvo vinculado a las lluvias torrenciales que hicieron colapsar el *bypass* provisorio, la noche del 10 de septiembre, generó una cárcava de ca. 530 m³ en su segmento frontal y una cárcava principal de aproximadamente 2.000 m³ y 6.800 m³, en su parte baja y alta, respectivamente.

Los edificios de estos sectores no están asentados en roca y el peligro de hundimiento-deslizamiento del escarpe de arenas no consolidadas que podría conllevar la formación de cárcavas discontinuas y, eventualmente, procesos de licuefacción, de acuerdo con los antecedentes recopilados, no habrían sido considerados ni contemplados. Es evidente que las actuales circunstancias tras la formación de los socavones, requiere evaluar imperativamente estas nuevas condiciones. Además, esos frentes de escarpes de arena sin contención son susceptibles de presentar deslizamientos de volúmenes importantes de arena en caso de sismos mayores, así como la rotura de cañerías o matrices de agua potable (Gajardo et al., 2010).

RECOMENDACIONES

- La conurbación Concón-Viña del Mar-Valparaíso ha tenido un crecimiento importante durante los últimos 40 años. Sin embargo, el progreso del conocimiento geológico ha sido escaso. Es importante incrementar el desarrollo de la geología urbana de detalle para mejorar la planificación territorial y mitigar los peligros de una zona geológicamente muy activa. Al respecto, se recomienda generar un proyecto de mapeo geológico de detalle, a escala 1:20.000 al menos, para determinar la extensión de los depósitos de arenas aterrazados entre Concón y Viña del Mar y desde la costa hasta el aeródromo Torquemada al este.
- Asimismo, son muy necesarios los estudios geofísicos complementarios a los geológicos, ambos desarrollados por el Sernageomin, con el fin de determinar la forma del sustrato rocoso sobre el cual se depositaron los depósitos de arenas costeras aterrazadas y, en general, las áreas de rellenos sedimentarios.
- Es necesario que el Sernageomin disponga de toda la información estratigráfica y geotécnica generada por las empresas constructoras de edificios del sector sur de Concón y, en general, de toda construcción que realice excavaciones que sobrepasen los niveles de suelo superficiales.
- Sobre la base de los umbrales pluviográficos críticos determinados durante la formación de ambas cárcavas, es necesario elaborar los planes de emergencia correspondientes, con la participación de las instituciones competentes (Dirección Meteorológica de Chile, Senapred, Municipalidades de Concón y Viña del Mar, Sernageomin, etc.). Complementariamente, el registro pluviográfico de la zona y el

manejo de emergencias es vital para la mitigación de desastres como el acaecido a lo largo del estero Reñaca el 4 de julio de 1984.

(https://www.youtube.com/watch?v=ONp8CDMf_9s)

- Los colectores de aguas lluvia y matrices de agua potable deben ser construidos sobre rocas con el fin de evitar la erosión mecánica (arrastre por fuerza del agua) de sustentos en materiales no consolidados. En caso de ser absolutamente necesario, se debería disponer protocolos de para prevenir y manejar filtraciones del sistema. Esto debería extenderse para materiales solubles”.
- Sobre la base de la presente experiencia, es altamente recomendado que las autoridades técnicas correspondientes diseñen y elaboren un sistema de recolectores aguas lluvia que sobrepasen en exceso los niveles pluviométricos desencadenantes observados. Las condiciones meteorológicas, en un contexto de cambio climático, deberían tender a ser más intensas y extremas. Así como las regulaciones de construcción sobre suelos de arenas, es necesario que se implementen normativas que permitan asegurar condiciones de estabilidad de sus taludes en condiciones de erosionabilidad por precipitaciones intensas.
- El peso del relleno de rocas de los socavones o cárcavas podría causar desestabilizaciones mayores. En consecuencia, esta solución de relleno y, el peso de los edificios, en definitiva, deben ser cuidadosamente evaluados.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la revisión petrográfica de una muestra de granito y DRx de muestras de arenas efectuadas por la colega E. Fonseca (comunicación escrita, 2023). También, agradece la revisión crítica de este informe a los colegas C. Jara, J. Fernández, F. Falcón, L. López, C. Machuca y F. Espinoza, así como el aporte de material fotográfico de D. Villela y J. Parra. Asimismo, agradece la colaboración M. Lienlaf y J. Parra por el manejo de imágenes para Google Earth. Se agradece a J. Parra el cálculo de volúmenes.

REFERENCIAS

Falcón, M.F., Valdés, A. 2012. Antecedentes geológicos y geomorfológicos del campo dunar, Punta de Concón, Comuna de Concón, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería. Inédito, 16 p.

Freisleben, R., Jara-Muñoz, J. Melnik, D., Martínez, J.M., Strecker, M.R. 2012. Marine terraces of the last interglacial period along the Pacific coast of South America (1°N-40° S). *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 2487–2513, 2021, <https://doi.org/10.5194/essd-13-2487-2021>.

Gajardo, A., Carrasco, R., Espinoza, F., Sepúlveda, F. 2010. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: observaciones en el sector Reñaca-Cochoa, comuna de Viña del Mar, Región de Valparaíso (inf- Valparaíso- 03), Servicio Nacional de Geología y Minería, Inédito, 6 p.

Gómez, J.A., Taguas, E.V., Vanwalleghem, T., Giráldez, J.V., Sánchez, F., Ayuso, J.L., Lora, A., Mora, J. 2011. Criterios técnicos para el control de cárcavas, diseño de muros de

retención y revegetación de paisajes agrarios: manual del operador en inversiones no productivas. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, Servicio de Publicaciones y Divulgación, 55 p.

Lépez, L., Wall, W., Prat, M. 2005. Peligro de remociones en masa e inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería. Inédito, 24 p., 3 anexos, 6 mapas.

Martínez, C., Quezada, M., Rubio, P. 2011. Historical changes in the shoreline and littoral processes on a headland bay beach in central Chile. *Geomorphology* 135, 80–96.

Paskoff, R., Cuitiño, L., Manríquez, H., Petiot, R. 2002. Nuevos antecedentes sobre la geomorfología del campo de dunas colgadas de Concón (Provincia de Valparaíso, V Región, Chile). *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 47: 43-50.

Paskoff, R., Manríquez, H. 2004. Las Dunas de las Costas de Chile. Ediciones Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 112 pp.

Ramírez, P., Alfaro, A. 2016. Informe sobre susceptibilidad de remoción en masa por erosión lateral - Quebrada Las Petras, Comuna de Concón, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería, INF-CONCÓN-01. Inédito, 11 p.

Ribba, L. 2018. Reflexión sobre las amenaza en las dunas de Concón. Informe para la comunidad de Concón y Viña, 24 p.

Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R., Espiñeira, D. 1993. Hojas Quillota y Portillo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, N° 73, escala 1:250.000. Santiago.

Rivano, S. 1995. Informe de Hoja Quillota-Portillo a Escala 1:250.000. Regiones. de Valparaíso y Coquimbo. Sernageomin

Thorson, R. 1999 La falla "Marga Marga" Viña del Mar-Chile. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles. Inédito, 41 p.

von Huene, R., Corvalán, J., Flueh, E.R., Hinz, K, Korstgard, J., Ranero, C.R., Weinrebe, W., the CONDOR Scientists. 1997. Tectonic control of the subducting Juan Fernandez Ridge on the Andean margin near Valparaiso, Chile. *Tectonics*, vol. 16, No. 3, 474-488.