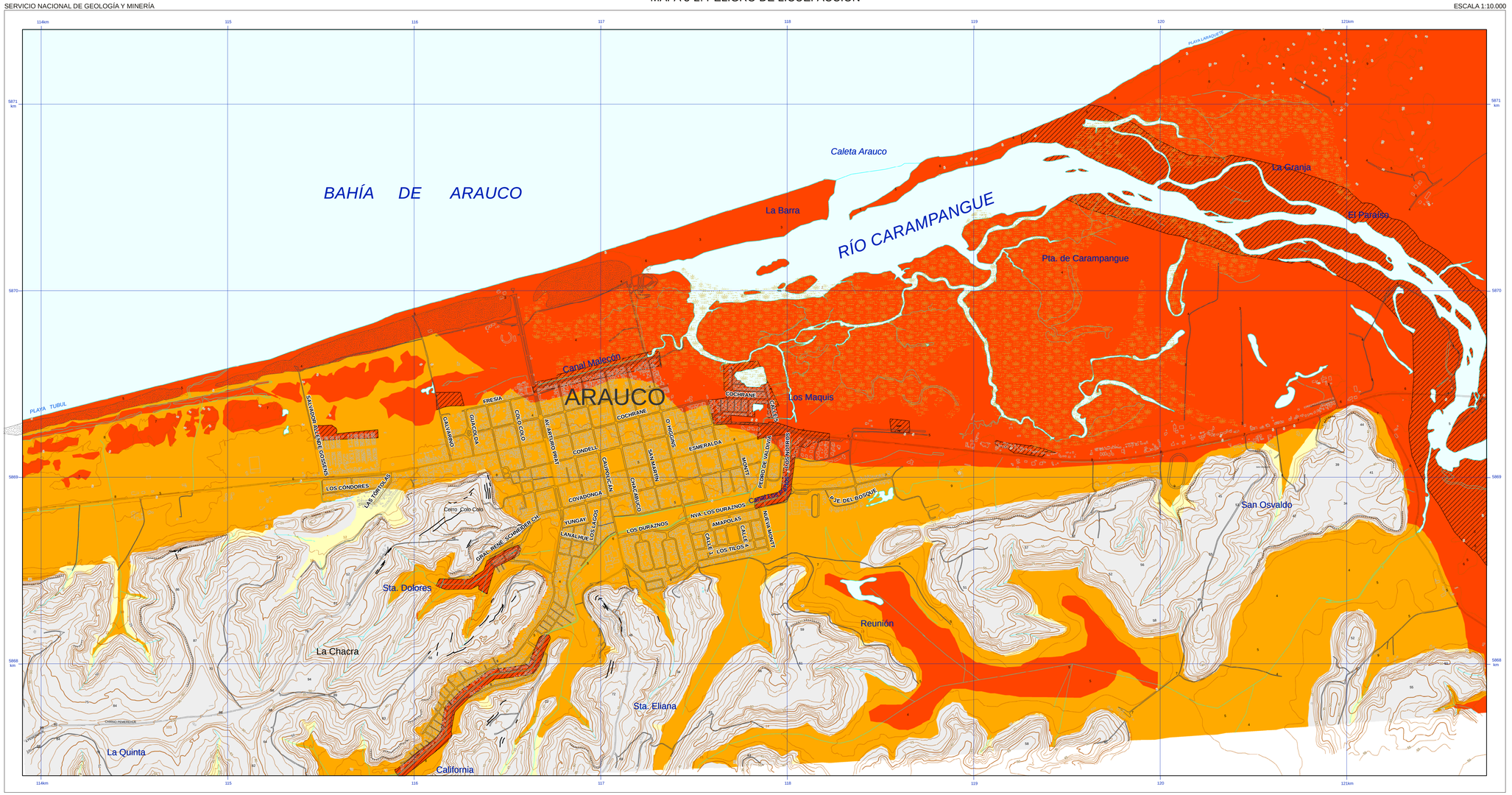
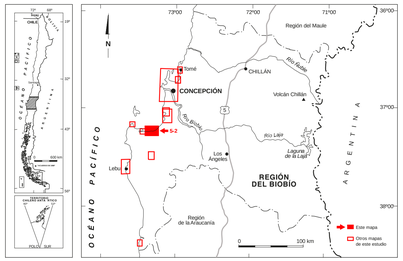
MAPA 5-2: PELIGRO DE LICUEFACCIÓN

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

ESCALA 1:10.000



MAPA DE UBICACIÓN



DECLINACIÓN MEDIA (2010)
(APROXIMADA)
VARIACIÓN ANUAL 7° O

ESCALA 1:10.000

0.1 km 0 0.5 km

Equidistancia curvas de nivel: 5 m

Referencia Bibliográfica
Ortiz, M.; Marín, M.; Falcón, M. F.; Arenas, M. 2010. Evaluación preliminar de peligros geológicos: Área de la ciudad de Arauco, Región del Biobío. Mapa 5-2: Peligro de licuefacción. *In* Geología para la reconstrucción y la gestión del riesgo en la Región del Biobío (2012). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-12-48: 12 p., 35 mapas diferentes escalas. Santiago.

Inscripción No. 219.568

© Servicio Nacional de Geología y Minería,Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.
Director Nacional (S): Waldo Vivallo S.
Subdirector Nacional de Geología(S): Manuel Suárez D.

Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición
Este documento no ha sido editado en conformidad con los estándares y/o nomenclatura de la Subdirección Nacional de Geología, del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Base topográfica
Plan Regulador de la Comuna deArauco, modificado.

Referencia Geodésica
Proyección Universal de Mercator (UTM), Zona 19 S, Datum WGS84

Apoyo científico y técnico
Producción Digital: Sandra Huerta B., Departamento de Geología Aplicada; Paula Gárate E., Ximena Rivera C., Cecilia Morales U., Unidad de Sistemas de Información Geológica (USIG), del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Apoyo financiero
Fondos sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

GEOLOGÍA PARA LA RECONSTRUCCIÓN Y LA GESTIÓN DEL RIESGO

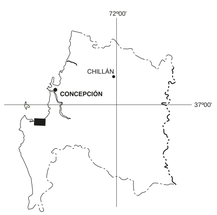
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE PELIGROS GEOLÓGICOS: ÁREA DE LA CIUDAD DE ARAUCO

REGIÓN DEL BIOBÍO

MAPA 5-2:

PELIGRO DE LICUEFACCIÓN



Escala 1:10.000

Miguel Ortiz L.
Mónica Marín D.
María F. Falcón H.
Manuel Arenas A.

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

2010

C O N S I D E R A C I O N E S G E N E R A L E S

INTRODUCCIÓN

Este mapa presenta una zonificación del peligro de licuefacción en la ciudad de Arauco. Se identifican zonas con distinto grado de peligro, indicando para cada una de ellas recomendaciones generales tendientes a orientar la planificación territorial comunal.

DEFINICIÓN Y CAUSAS DE LA LICUEFACCIÓN

La licuefacción es un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelo pierden bruscamente su resistencia mecánica ante una carga dinámica rápida, como puede ser un sismo o, en menor medida, una tronadura. La pérdida de resistencia mecánica del suelo implica que este se comporta momentáneamente de modo similar a un fluído, siendo capaz de migrar y generar importantes deformaciones en el sustrato.

Cuando ocurre un sismo, la vibración eleva la presión de agua en los poros del suelo y si esta llega a igualar o superar la fuerza de contacto entre los granos, la resistencia del suelo se reduce a cero, experimentando licuefacción. En este caso, la capacidad de carga del suelo es nula y efectivamente el suelo se comporta durante la sacudida como un líquido y cualquier estructura cimentada en él se hunde o sufre asentamientos diferenciales (INGEOMINAS, 2003).

El sismo de magnitud 8.8 Mw del 27 de febrero de 2010, provocó numerosos casos de licuefacción en la ciudad de Arauco, causando la destrucción de construcciones, entre ellas viviendas, la red vial y de servicios de agua potable y alcantarillado. La licuefacción se genera principalmente en suelos arenosos y areno limosos, saturados en agua, usualmente ubicados cerca de ríos, borde costero u otros cuerpos de agua, o bien, en aquellos suelos donde existe un nivel freático muy superficial. Por otro lado, requiere que los suelos posean baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos donde antes existieron lagos o lagunas. De la misma forma, la licuefacción es importante en rellenos antrópicos deficientemente trabajados.

Algunos factores que condicionan el fenómeno de licuefacción son:

- **Origen del suelo.** Los suelos depositados por procesos fluviales, litorales y eólicos se sedimentan fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse, de modo que se licuarán con facilidad. Los depósitos glaciales, generalmente, ya son bastante densos y tienen menor probabilidad de licuarse. Suelos compuestos por roca no son licuables en absoluto.
- **Distribución del tamaño de los granos.** La arena uniformemente graduada, de grano muy grueso a medio tiene mayor probabilidad de licuarse, mientras que las arenas limosas finas y las gravas lo hacen bajo cargas cíclicas muy severas.
- **Profundidad de las aguas subterráneas.** Mientras más cerca de la superficie se encuentre el nivel de las aguas subterráneas (nivel freático), mayor será la probabilidad de que ocurra licuefacción.
- Edad del depósito. Los suelos jóvenes (menos de 3.000 años) son dóciles y no cohesivos, de modo que tienen mayor probabilidad de licuarse comparado con aquellos más antiguos donde han actuado procesos de compactación y cementación natural. Dichos procesos incrementan su resistencia.
- **Amplitud y duración de la vibración del terreno.** La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto aumenta con la magnitud y la duración del sismo. Por esta razón, sismos pequeños licuarán únicamente los suelos más próximos al epicentro, mientras que ante un sismo de magnitud mayor será posible reconocer licuefacción a distancias muy grandes. En el caso del sismo del 27 febrero de 2010 se observó licuefacción hasta al menos 400 km de distancia del epicentro (Valparaíso).
- **Peso del recubrimiento y profundidad del suelo.** Las tensiones entre partículas aumentan a medida que aumenta la presión del recubrimiento (a mayor profundidad). Mientras mayor sea dicha tensión menor será la probabilidad que ocurra licuefacción. Por lo general, la licuefacción ocurre a profundidades menores de 9 m y rara vez a mayores de 15 m.

EFECTOS DE LA LICUEFACCIÓN

El fenómeno de licuefacción se manifiesta en la superficie del terreno por la formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, "golpes de agua" (surgimiento de agua) y volcanes de arena. Los dos últimos, son producto del súbito aumento de la presión de agua en los poros del suelo ocasionada por la vibración, forzando a que el agua fluya rápidamente a la superficie. Si el flujo asciende lo suficientemente rápido, se generan golpes de agua. Al mismo tiempo, el agua ascendente puede transportar partículas de arena hasta la superficie donde son depositadas formando montículos de arena, a los que por analogía se les denomina "volcanes de arena". Este flujo puede ocurrir durante el terremoto como también después de éste. La pérdida de cohesión del suelo permite que este se pueda movilizar, diferenciándose varios tipos de desplazamientos asociados a la licuefacción:

Flujos de tierra: Los materiales del suelo se desplazan rápidamente cuesta abajo en un estado licuado, a veces causando coladas de barro o avalanchas.

Propagación lateral: Tipo de remoción en masa en que se produce desplazamiento limitado de las capas superficiales del suelo a favor de pendientes suaves o hacia superficies libres, como por ejemplo, en márgenes de ríos y taludes de terrazas fluviales. Cuando las capas más profundas del terreno se licuan, las capas superficiales, en sectores correspondiente a capas de origen antrópico,, se mueven lateralmente en bloques, tanto durante como después del sismo, provocando una deformación permanente del suelo y ruptura de las cubiertas.

Flotación: Objetos enterrados en suelos afectados por licuación son desplazados hacia arriba. Es común que tanques,buzones o tuberías de alcantarillado ascienden a través del suelo y queden en la superficie.

Pérdida de resistencia de soporte: Reducción de la capacidad de soporte de los cimientos debido al debilitamiento del material del suelo subyacente o colindante.A menudo provocan que las estructuras se hundan o dañen.
La licuefacción induce daños severos en estructuras, edificios y líneas vitales afectando el transporte de personas, distribución de mercancías, telecomunicaciones y suministros básicos, agravando más aún la situación posterior al evento sísmico. Por estas razones, la zonificación del peligro de licuefacción y su asimilación en las estrategias comunales de planificación territorial, es uno de los aspectos vitales para la reducción del daño sísmico.

METODOLOGÍA Y ALCANCES DEL TRABAJO

Para la zonificación del peligro de licuefacción se consideraron las observaciones geológico-geotécnicas de los suelos de Arauco, la posición del nivel freático y las evidencias de licuefacción observadas en terreno producto del sismo del 27 de febrero 2010. Todos estos elementos fueron georeferenciados y trabajados en una plataforma SIG, para finalmente ser integrados mediante un método semicuantitativo. En este último, se considera que cada variable aporta en distinto grado al peligro de licuefacción para una determinada porción del terreno. El resultado, sintetizado en este mapa, indica zonas de alta, media y baja susceptibilidad de los suelos a ser licuados.
Los límites de cada zona son inferidos, es decir, corresponden a una aproximación de la realidad en cuanto a la distribución del potencial de licuefacción frente a un nuevo sismo. Esto se debe a que no existe una estratigrafía de los suelos detallada, no hay resultados de ensayes geotécnicos y en algunas zonas no hay información exacta del nivel freático. El potencial de licuefacción de un determinado lugar, deberá ser cotejado por medio de estudios de detalle, que incluyan estudios geotécnicos, al momento de proyectar una obra.
Se debe tener en cuenta que los datos generados por licuefacción producto del evento sísmico del 27 de febrero de 2010, fueron mínimos debido a que ocurrieron en uno de los meses más secos del año, por lo que el nivel freático se encontraba, probablemente, en su nivel más profundo. Por esta razón, en épocas en que el nivel alto de agua subterránea se encuentre a menor profundidad, es esperable una mayor intensidad de la licuefacción y que esta se produzca en una mayor cantidad de lugares.

EFECTOS OBSERVADOS EN ARAUCO
PRODUCTO DEL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 (MW 8,8)

Los efectos más nocivos de la licuefacción fueron provocados por hundimiento del terreno, el cual destruyó numerosas viviendas, partiendo pisos, inclinándolas e incluso fracturando muros y techos. Los lugares más afectados fueron aquellas villas construidas sobre rellenos artificiales en quebradas y aquellas edificadas cerca, o bien, sobre el humedal del río Carampangue. Específicamente, se observaron perdidas por licuefacción en las villas Los Arrayanes, Juan Pablo II, 12 de Abril, Las Araucarias, la vía de acceso a Arauco, entre otros sectores, además de la ruptura de las matrices de agua y alcantarillado en gran parte de la ciudad (SERNAGEOMIN, 2010, INF-BIOBIO-03, 38 y 49).
En la ribera del río Carampangue, se observaron flujos laterales. Estos aparecen controlados por sucesivas grietas paralelas y oblicuas al cauce, las que transportan porciones de suelo hacia el interior del río. Este es un fenómeno generalizado el que ha sido observado en la mayor parte de la región. Por otra parte, inmediatamente al norte de la población Eduardo Frei, se registraron volcanes de arena y barro.

L E Y E N D A

GRADO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIONES
Alto	Terrenos altamente susceptibles de experimentar licuefacción frente a futuros sismos. Corresponden a suelos formados por sedimentos no consolidados de baja compactación y alto contenido de agua. Se trata, principalmente, de arenas depositadas en ambientes fluviales, eólicos, litorales y en menor medida aluviales. Una característica común que hace altamente licuable a estos depósitos es que se encuentran permanentemente saturados en agua, con un nivel freático muy somero ubicado entre la superficie y los 5 m de profundidad. En general, esta zona presenta grandes espesores de sedimentos propensos a ser licuados, por lo que la magnitud de la licuefacción es aún mayor. En Arauco, estos suelos se encuentran en las planicies de inundación del río Carampangue, en todo el borde costero y muy especialmente en todas las zonas de humedales. Otro sector de alto peligro de licuefacción corresponde a una quebrada ubicada al sur de Arauco, donde el deficiente drenaje de las aguas aumenta la susceptibilidad de licuefacción de sus sedimentos. En estas zonas se observó hundimientos del terreno y remociones en masa del tipo "propagación lateral" en las riberas del río Carampangue.	No se recomienda la construcción de viviendas, servicios básicos y de emergencia en estas zonas. Los terrenos correspondientes a humedales deberían ser completamente descartados para los fines anteriores. Más aún, estas áreas deben ser protegidas de toda intervención pues los humedales regulan el sistema hidrológico, controlando inundaciones y constituyen, además, parte vital de un ecosistema mayor. Las construcciones que deban ser forzosamente proyectadas en esta zona de alto peligro de licuefacción como puentes, caminos de acceso u otras obras, deben contar con un estudio de mecánica de suelos que apoye el diseño de ellas y estipule el tratamiento adecuado para reducir el riesgo de licuefacción. Esto último, dice relación con el mejoramiento de las condiciones geotécnicas del suelo, principalmente asociadas a técnicas de aumento de densidad (INGEOMINAS, 2003). Los cimientos de las estructuras, en caso que no se pueda evitar construir en estas áreas, deben colocarse por debajo de los niveles licuables. Esto no evita la ocurrencia del fenómeno, solo asegura la estabilidad de las estructuras. Para el caso de edificaciones pequeñas, se debe utilizar técnicas de construcción que eviten los asentamientos diferenciales de cierta intensidad. Esto último, no eliminaría totalmente la vulnerabilidad de las construcciones pero al menos evitan el colapso de ellas (INGEOMINAS, 2003).
Medio	Terrenos de susceptibilidad media a experimentar licuefacción. Corresponden a suelos naturales compuestos por sedimentos no consolidados, de baja a media compactación, constituidos por arenas y arenas limo-arcillosas y, en general, cubiertos por rellenos antrópicos deficientemente tratados. El espesor de estos suelos es variable y se caracterizan por presentar un nivel freático somero a menos de 10 m de profundidad. En Arauco, estas zonas corresponden, principalmente, a depósitos aluviales que rellenan quebradas y a terrazas marinas. Es en esta última unidad donde se encuentra emplazada gran parte de la ciudad. En el centro de la ciudad de Arauco, emplazada sobre terrazas marinas, se observó licuefacción evidenciada por hundimientos menores que afectaron a viviendas y la ruptura de gran parte del sistema de agua potable y alcantarillado. Similares efectos se observaron en villa Eduardo Frei y viviendas ubicadas en el acceso oriental de Arauco.	Si bien la construcción en esta zona no es recomendable, las obras proyectadas deben contemplar estudios de mecánica de suelos y tratamiento de suelos y rellenos (compactación, drenajes verticales, inyección de mezclas, entre otros) a fin de mitigar los efectos de la licuefacción. Es recomendable llevar los cimientos por debajo de los niveles licuables. Las obras lineales como acueductos, alcantarillado, gaseoductos, entre otras, deben ser proyectadas con materiales y uniones flexibles que permitan deformaciones importantes a fin de evitar la ruptura de estos. El diseño y construcción de viviendas deben evitar asentamientos diferenciales y el colapso de ellas (INGEOMINAS, 2003).
Bajo	Terrenos de baja susceptibilidad a experimentar licuefacción. Corresponden a aquellos rellenos de quebradas pequeñas compuestos por sedimentos no consolidados, de menor espesor que los de quebradas mayores y que presentan un nivel freático somero a menos de 10 m de profundidad. En Arauco, estas zonas corresponden a las quebradas pequeñas ubicadas en las salidas oriente y poniente de la ciudad. En estas zonas no se observaron daños producto de licuefacción.	Estas zonas son aptas para construcción, sin embargo, dada su posibilidad de experimentar licuefacción frente a futuros sismos, requieren de estudios de mecánica de suelos para un diseño acorde a las condiciones geotécnicas del sector.

NOTA:
Para el análisis de riesgos deben ser considerados además, otros peligros geológicos, entre ellos, remociones en masa, inundaciones por tsunami, desborde de cauces, anegamientos y otros.

S I M B O L O G Í A

- Áreas afectadas por licuefacción durante el terremoto del 27 de febrero de 2010.
- **Zonas no susceptibles a la licuefacción**
  Terrenos compuestos por roca que poseen nula capacidad de licuefacción. Litológicamente corresponden a rocas sedimentarias del tipo arenisca de la Formación Arauco. Son los terrenos más recomendables para construcción a fin de evitar este fenómeno en particular. En Arauco, suelos de este tipo se presentan en los cerros y lomajes ubicados al sur de la ciudad, como los cerros Colo Colo, Las Antenas y La Virgen, entre otros.
- Humedal
- Duna costera
- Escarpe de remoción en masa
- Río
- Laguna
- Canal
- Calles y avenidas
- Rutas viales
- Construcciones
- Curvas de nivel
- Cota (m s.n.m.)
- Área no evaluada

REFERENCIAS

INGEOMINAS, 2003. Memoria explicativa del mapa de zonificación geotécnica por Licuación del área urbana del Municipio de Tumaco y sus zonas aledañas. Bogotá, Colombia.

SERNAGEOMIN, 2010.

INF-BIOBIO-03. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: Observaciones de daños en la comuna de Arauco. Inédito. Santiago, Chile.

INF-BIOBIO-38. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: Observaciones de daños en población Los Arrayanes y en cerro La Virgen y evaluación geológica del terreno propuesto para construir viviendas de emergencia en la ciudad de Arauco. Inédito. Santiago, Chile.

INF-BIOBIO-49. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: Observación de daños en villa Las Araucarias, Arauco, Región del Biobío. Inédito. Santiago, Chile.