

Universidad de Chile

Junio 2015



ÍNDICE

ANTECEDENTES.....	4
Breve historia del Programa de Riesgo Sísmico.....	4
El Programa de Riesgo Sísmico como Actividad de Interés Nacional	5
MISIÓN.....	7
Objetivos generales y específicos en desarrollo: Líneas de trabajo y productos	7
ACTIVIDADES REALIZADAS Y LOGROS ALCANZADOS 2014-2015	10
Proyecto: Generación de estructura de datos de sismos.....	10
Proyecto: Posición de estaciones sismológicas.....	11
Proyecto: Histograma de Sismos.....	12
Proyecto: Generación de poster para sismos	14
Proyecto: Redes sociales y Sismos	17
Proyecto: Línea de alerta temprana: tsunamis y falla finita.....	19
Proyecto: Red temporal de GPS y sismómetros de fondo de mar	23
Proyecto difusión educacional “Eratóstenes”	25
Proyecto: Peligro Sísmico Falla San Ramón	27
Proyecto: Procesamiento de datos del Global Positioning System (GPS) usando el software GIPSY-OASIS.....	29
Proyecto: Intervención Geodésica en el Norte Grande de Chile en respuesta al Terremoto de Pisagua Mw 8.2 del 1 de abril de 2014	31
Proyecto: Asistencia y Exposición en el UTokyo Forum “Global Emergence of Frontier Knowledge” en Tokyo-Japón	33
Proyecto: Evidencia gravimétrica de la presencia del sistema de fallas de San Ramón en el basamento de la cuenca de Santiago.....	34
Proyecto Generación de Acelerogramas Artificiales usando un Método Estocástico de Falla Finita, Aplicado a Terremotos de Subducción.....	38
Proyecto: Análisis de la distribución de Precusores y Réplicas del Terremoto de Iquique 2014.....	40
Proyecto: Procesamiento y análisis de motogramas de terremotos de subducción chilenos.....	41



Proyecto: Simulación de acelerogramas artificiales de mega-terremotos usando funciones de Green Empíricas	42
Proyecto: Correlación de razones espectrales H/V y características geotécnicas de suelos de Santiago utilizando registros sísmológicos	43
Proyecto: caracterización geofísica de la Cuenca de Santiago para estimación de riesgo sísmico.....	45
Proyecto: Caracterización somera de la falla San Ramón mediante tomografía de resistividad eléctrica	55
GESTIÓN PRESUPUESTARIA 2014	65
GESTIÓN PRESUPUESTARIA 2015	67

ANEXOS

1. Reglamento interno PRS.
2. Carta Director de Investigación, VID, Universidad de Chile.
3. Acta Consejo DGF 11 de julio de 2014.
4. Actas PRS: N°1 del 29 de julio de 2014; N°2 del 13 de mayo de 2015.
5. Instructivo N° 28 de la Vicerrectoría de Asuntos Académicos y Gestión Institucional: Manual de Operaciones de las AIN.
6. Convenio Mineduc y Universidad de Chile para la Transferencia de Fondos para Ejecutar AIN.
7. Detalle Gestión Presupuestaria 2014
8. Detalle Gestión Presupuestaria 2014



ANTECEDENTES

Breve historia del Programa de Riesgo Sísmico

A partir del año 1999, el Estado de Chile, tomando conciencia de las necesidades y carencias del país en materias de monitoreo sísmico y de investigaciones sismológicas y tsunamigénicas, empezó a gestar un incipiente apoyo económico para mejorar el sistema de monitoreo sísmico del país, operado hasta ese momento por el Servicio Sismológico Nacional (SSN), el cual era mantenido exclusivamente con los aportes del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Fue así como, y luego de gestiones realizadas ante el Congreso Nacional por iniciativa exclusiva del entonces Director del SSN -Profesor Jaime Campos Muñoz- que a partir del año 2000, el Servicio Sismológico Nacional comenzó a recibir de forma periódica -por glosa especial en el ítem UNIVERSIDAD DE CHILE de la Ley de Presupuesto de la Nación- flujos permanentes de recursos. Es por lo anterior, y para justificar los ingresos sujetos por la glosa especial, que el Director del SSN gestiona con las Vicerrectorías de Asuntos Económicos y Gestión Institucional (VAEGI) y de Investigación y Desarrollo (VID) la creación formal de la Actividad de Interés Nacional (AIN) denominada “Programa de Riesgo Sísmico” (PRS),

En el año 2009, el Rector de la Universidad de Chile, mediante la dictación del Decreto Universitario Exento N° 0011718, sanciona la creación del Centro Sismológico Nacional (CSN), como entidad nueva, distinta, separada del Departamento de Geofísica y dependiente del Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, el cual pasó a sustituir al SSN. No obstante, el CSN en sus inicios careció de financiamiento real, motivo por el cual, desde el año 2009 hasta el mes de marzo del año 2013, este centro fue mantenido con los dineros del PRS, fecha en que comenzaron a llegar las primeras remesas de recursos desde la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI) para la gestión y operación del CSN. Cabe recordar además que, el traspaso administrativo y de funciones desde el Servicio Sismológico Nacional -en aquél entonces dependiente del Departamento de Geofísica- al actual Centro Sismológico Nacional, careció de un plan efectivo de contingencia por lo que produjo un profundo desbarajuste dentro del DGF, consecuencias que si bien han sido corregidas, no han sido del todo mitigadas.

A partir del año 2014, los recursos ingresados a la Universidad de Chile vía glosa del Programa de Riesgo Sísmico, fueron re orientados en su utilización de acuerdo a las directrices entregadas por el entonces Director de Investigación de la VID, Sr. Patricio Velasco y consensuadas con el Director del PRS, Profesor Jaime Campos y el equipo del Programa. Asimismo, se instó desde la VID para que el PRS discutiera acerca de su institucionalización, a fin de cumplir de manera eficiente con las exigencias de rendición de cuentas y transparencia estipuladas en el la Resolución N° 759 de 2003 de la Contraloría General de la República, así como al Capítulo IV,



artículo 77 y siguientes de la ley N° 10.336 de Organización y Atribuciones de la Contraloría General de la República.

Producto de lo anterior, se dio inicio a un proceso abierto de discusión para la conformación de un instructivo de funcionamiento del PRS, motivo por el cual, se difundió una propuesta al interior del Departamento de Geofísica. Este documento también fue entregado al Consejo del Departamento –máxima instancia representativa del DGF- en su sesión ordinaria del 11 de junio de 2014. El Instructivo consensuado fue finalmente aprobado en Asamblea General del PRS el 29 de julio de 2014.

Cabe destacar además que, copias de este Instructivo fueron oportunamente entregadas al Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, y a las Vicerrectorías de Investigación y Desarrollo (VID) y de Asuntos Económicos y Gestión Institucional (VAEGI) para su conocimiento.

Actualmente este Instructivo de Funcionamiento se encuentra plenamente vigente, rigiendo todas y cada una de las actuaciones del PRS, gozando del reconocimiento del Departamento de Geofísica.

El Programa de Riesgo Sísmico como Actividad de Interés Nacional

Es vocación y misión histórica de la Universidad de Chile aportar sus conocimientos para dar respuesta a las demandas específicas del Estado, por lo que, ha desarrollado desde sus inicios un extenso abanico de actividades de interés nacional e impacto regional, en directo beneficio del país.

“Lo anterior ha llevado a la Universidad a definir local o centralmente, políticas y acciones internas que prioricen actividades no sólo vinculadas con la difusión y aplicación del conocimiento adquirido por la vía de la investigación, sino también de aquellas actividades que dicen relación con los aspectos culturales y artísticos.

En la actualidad, la Universidad ha requerido del Estado los recursos mínimos que permiten financiar parcialmente estas actividades. Es así como la Ley de Presupuesto, en años recientes, asigna a la Universidad de Chile recursos específicos para el desarrollo de áreas consideradas prioritarias por el Estado: Extensión artística y cultural; Ciencias de la tierra y riesgos naturales; Ecosistemas regionales; Trabajo asistencial; Actividades silvo-agropecuarias; Actividades de impacto en políticas públicas. Se incluyen aquí en forma destacada y nominativa el desarrollo de



las actividades del Centro de Extensión Artística y Cultural (CEAC) "Domingo Santa Cruz" y el Programa de Medición del Riesgo Sísmico del Servicio Sismológico".

A objeto de materializar sus iniciativas nacionales, la Universidad de Chile creó la categoría denominada Actividad de Interés Nacional (AIN). De acuerdo al Instructivo N°28 de fecha 14 de Noviembre de 2014 del Vicerrector de Asuntos Económicos y Gestión Institucional que "Aprueba instrucciones sobre operaciones para la ejecución de los convenios de actividades de interés nacional": "Las Actividades de Interés Nacional (AIN) se rigen por un convenio entre la Universidad de Chile y el Ministerio de Educación, el cual requiere contar con mayor detalle, que asegure la pertinencia y la oportunidad del gasto acorde a los términos del convenio ya mencionado. Lo anterior requiere un registro ordenado y sistemático de los gastos referido a las actividades y/o proyectos los cuales deberán ser informados tanto a las autoridades de la universidad como a las autoridades externas (Contraloría General de la República (CGR) o al Ministerio de Educación (MINEDUC) en las instancias que corresponda".

A mayor abundamiento, el antedicho instructivo define como Actividad: "Toda labor realizada de modo permanente que forma parte del quehacer propio y constante que se desarrolla al interior de cada una de las Facultades, Centros, Programas, Institutos, etc. de la Universidad. Se caracterizan por generar un vínculo con la ciudadanía, a través del conocimiento y el quehacer generado por la Universidad de Chile, y por la prestación de servicios a la comunidad (...)"

Es bajo este contexto que se inserta el PRS como AIN; vale decir: el PRS es un programa de la Universidad de Chile, con financiamiento propio vía Ley Anual de Presupuesto, alojado en el Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Está básicamente orientado a la transferencia tecnológica y de conocimientos, desde la academia a la sociedad, a través de la investigación, el desarrollo y la innovación (I&D+I), además de la extensión para la sensibilización de nuestra sociedad en torno a nuestra realidad sísmológica.

El PRS tiene la vocación y pretende también constituirse en un nexo virtuoso entre los sísmólogos del Departamento de Geofísica y el Centro Sismológico Nacional, en todas aquellas áreas y/o materias en que confluyan sus intereses y/o investigaciones, asegurando la transferencia de conocimientos y tecnologías que aportan a la gestión de riesgos socio naturales en nuestro país.



MISIÓN

La visión que moviliza al Programa de Riesgo Sísmico es ser un programa de excelencia y vanguardia en la prevención de los desastres asociados a terremotos, que contribuya al desarrollo sustentable, orientando sus esfuerzos hacia una sociedad menos vulnerable y un país más seguro frente a la amenaza sísmica.

Teniendo en cuenta ese horizonte, su misión es asegurar la transferencia tecnológica y de conocimientos, a través de la investigación, el desarrollo y la innovación (I&D+I), desde la academia a la sociedad con productos cuyo impacto está en el ámbito de las políticas públicas y tomadores de decisiones. Particularmente el PRS permite, facilita, potencia y asegura la transferencia e innovación tecnológica efectiva desde la Academia al Centro Sismológico Nacional.

Objetivos generales y específicos en desarrollo: Líneas de trabajo y productos

Las acciones y productos del PRS están orientados a mejorar los sistemas de monitoreo y de alerta sísmica/tsunamis del país, así como también en la experimentación, innovación y desarrollo tecnológico y de nuevas líneas de trabajo para reducir los niveles de exposición y vulnerabilidad de la población a causa de terremotos, tsunamis y fenómenos extremos asociados.

Sus **líneas de trabajo** son:

- a) Desarrollo de Sistemas de Control de Calidad de la Base de Datos sismológica nacional.
- b) Diseño e implementación de herramientas para visualizar y evaluar características y nivel de ruido de estaciones sismológicas;
- c) Diseño e implementación de estudios de Peligro y Riesgo Sísmico.
- d) Estudios orientados a la identificación de fallas geológicas sísmicamente activas.
- e) Implementación de programas de difusión educativa para la reducción del riesgo sísmico.



- f) Estudios para la generación, eficiencia, diseño, aplicabilidad e implementación de nuevos algoritmos destinados a mejorar los procesos de detección automática de eventos de los sistemas de monitoreo sísmico en tiempo real.
- g) Estudios y experimentación orientados a la innovación tecnológica de nuevos dispositivos observacionales (Inclinómetros, cGPS, GPS, InSAR, etc) de captura de señales sismológicas que permitan mejorar los sistemas y procesos de monitoreo sísmico y de alerta temprana.
- h) Desarrollo de un polo de investigación aplicada focalizado en tsunamis que contemple aspectos de modelamiento de tsunamis, evaluación del peligro de tsunamis y contribuir a mejorar los sistemas de alerta temprana de tsunamis en el país.
- i) Actividades de representación académica ante organizaciones internacionales relacionadas con sismología, tsunamis, programas de reducción de riesgos naturales asociados a terremotos y tsunamis, monitoreo sísmico para el control y detección de ensayos nucleares, programas científicos y educativos de carácter colaborativos de Naciones Unidas para temas de riesgos de terremotos y tsunamis, etc. (CERESIS; IRIS; ISC, CTBTO, Programa Tsunamis UNESCO; APRU; etc).
- j) Desarrollo de programas de colaboración científica, tecnológicos y de implementación de redes sismológicas conjuntas entre universidades e institutos de investigación o instituciones del Estado, a nivel nacional e internacional, para la observación y monitoreo sísmico y de sistemas de alerta temprana de tsunamis.
- k) Línea de desarrollo de productos y servicios para la difusión de información sismológica.

Los **productos en desarrollo** son:

- a) Elaboración de la Base de Datos Geofísica y de las herramientas de análisis y visualización para el Mapa de Amenaza Sísmica de "Orden Cero" para la Región Metropolitana de Santiago;
- b) Desarrollo e implementación de un sistema y metodologías asociadas para el análisis y evaluación de los niveles de ruido sísmico de estaciones sismológicas de la red sismológica nacional;
- c) Desarrollo e implementación de un Programa de Difusión Educativa en Colegios y Liceos a nivel nacional;



-
- d) Estudios geofísicos y sísmicos destinados a identificar en el subsuelo la traza y dimensión de la Falla San Ramón en la Región Metropolitana de Santiago;
 - e) Desarrollo de software para el análisis y visualización de datos sísmicos y con aplicación a la difusión educativa sobre el peligro y riesgo sísmico en colegios.
 - f) Diseño, desarrollo e Implementación de un sistema de análisis e inversión del proceso de ruptura sísmica con datos de banda ancha y gran rango dinámico en campo lejano como fase inicial de la construcción en Chile de un sistema de alerta temprana de altura de ola de tsunami ante la ocurrencia de un terremoto tsunamigénico.



ACTIVIDADES REALIZADAS Y LOGROS ALCANZADOS 2014-2015

A continuación se presenta una síntesis de las líneas y proyectos desarrollados por el Programa de Riesgo Sísmico en el período 2014 - 2015.

Proyecto: Generación de estructura de datos de sismos

Integrantes

- Encargados de sistemas de CSN
- Sebastián Riquelme
- Senén González

Objetivos

- Ayudar al CSN a generar una estructura de datos para mantener unificados todos los datos referentes a sismos.
- Proveer herramientas de consulta para estos datos, así como de exportación a los formatos estándar.
- Crear interfaces de consulta y extracción de datos para aplicaciones que requieran los datos de sismos.

Objetivos específicos y tareas

- Diseñar arquitectura de datos.
- Apoyar a la creación e implementación de los distintos elementos de la arquitectura.

Estado de avance

- Se han tenido reuniones durante el segundo semestre del 2014 para definir la arquitectura de datos, quedando definida en el mes de noviembre.
- Se ha asesorado en el mes de diciembre para generar productos que utilicen la nueva estructura de datos.
- Se mantienen reuniones (2 veces al mes), con los encargados del CSN, para tratar los temas y requisitos funcionales que debe incluir la estructura de datos.

Observaciones y futuros avances

- Se pretende terminar la nueva estructura de datos y migrar todos los datos del centro a esta estructura para el segundo trimestre del 2015.
- Se pretende generar productos prototipos que utilicen la nueva estructura de datos, para hacer pública la información de sismos.



Proyecto: Posición de estaciones sismológicas

Integrantes

- Sebastián Riquelme
- Senén González
- Francisco Bravo

Objetivo

Generar una herramienta para visualizar las ubicaciones de las estaciones sismológicas y cómo éstas se han desplazado a través del tiempo.

Objetivos específicos y tareas

- Generar estructura de datos para mantener la información de las estaciones, sus posiciones y facilidades para ser consultada.
- Generar una página para la visualización de los datos de estaciones y las variaciones de sus posiciones a lo largo del tiempo.

Estado de avance

Todos los puntos se encuentran finalizados:

- Se maneja la estructura de datos en una base de datos MongoDB (<http://www.mongodb.org>) con funciones para el ingreso y extracción de datos.
- La página resultante para la visualización puede ser vista en la siguiente dirección: http://lahuen.dcc.uchile.cl:14480/~sgonzale/station_movement/
- La construcción de las regresiones lineales se realiza en tiempo real mientras se hace la consulta.

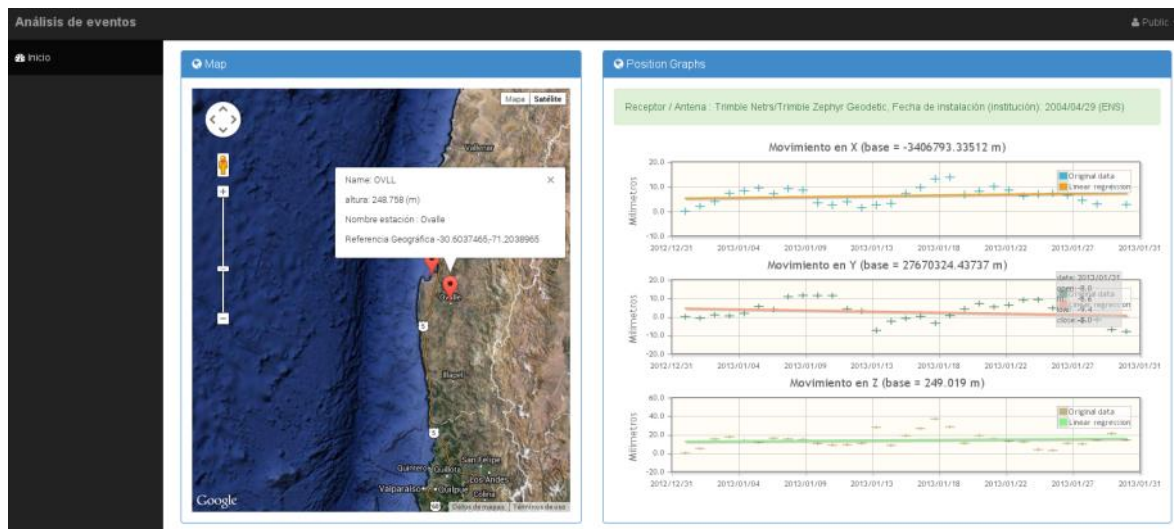


Figura 1: Imagen de la interfaz de visualización de las posiciones, para la estación de Ovalle.



Proyecto: Histograma de Sismos

Integrantes

- Sebastián Riquelme
- Senén González

Objetivo

Generar una herramienta para visualizar los sismos históricos y su información con posibilidades de búsqueda por fecha localidad y magnitud.

Objetivos específicos y tareas

- Generar estructura de datos para mantener la información de los sismos y facilidades para ser consultada.
- Generar una página para la visualización de los datos sísmicos que sea interactiva y dinámica.
- Generar datos anexos a los sismos para caracterización de zonas, como la energía acumulada por zona y la ley de Gutenberg-Richter

Estado de avance

Todos los puntos se encuentran finalizados:

- Se maneja la estructura de datos en una base de datos MongoDB (<http://www.mongodb.org>) con funciones para el ingreso y extracción de datos.
- La página resultante para la visualización puede ser vista en la siguiente dirección: http://lahuen.dcc.uchile.cl:14480/~sgonzale/example_3/
- La construcción de los datos anexos se realiza en tiempo real mientras se hace la consulta.

Observaciones y futuros avances

- Se podría aumentar la robustez de la herramienta, generando links a como fueron calculados los hipocentros y las magnitudes de los sismos que se muestran.
- Generar la herramienta que permita visualizas los pasos para los cálculos de hipocentros y magnitudes
- Añadir información de tsunamis y de zonas de peligro en los mapas y tipos de consultas.



Imágenes de la herramienta



Figura 1: Imagen de la pantalla de generación de la ley Gutenberg-Richter para todo el territorio chileno



Figura 2: Imagen de la generación de los histogramas sísmicos por fecha, para el territorio chileno



Proyecto: Generación de poster para sismos

Integrantes

- Sebastián Riquelme
- Senén González

Objetivo

Generar una herramienta para visualizar distintas informaciones sobre un sismo, para analizar la posible amenaza que representa, además de modificar su contenido a medida que va llegando nueva información y la posibilidad de editar los textos que se muestran, guardando los responsables de los cambios.

Objetivos específicos y tareas

- Diseñar y crear estructura de datos para mantener la información mientras esta va llegando de distintas fuentes.
- Unificar información para que sea compatible con todas las vistas.
- Diseñar una interfaz que cambie dinámicamente a medida que vaya llegando nueva información
- Generar una página web para la visualización de los datos eligiendo la fecha del evento a visualizar.
- Poder exportar en formato PDF el contenido de la pagina.

Estado de avance

- Se tiene lista la estructura de datos para guardar la información de los sismos.
- Se tiene listo los programas para captar en tiempo real los datos de los eventos sísmicos a medida que van siendo captados por el CSN (<http://www.sismologia.cl>)
- Se maneja la estructura de datos en una base de datos PostgreSQL con funciones para el ingreso y extracción de datos (<http://www.postgresql.org.es>)
- La página resultante para la visualización puede ser vista en la siguiente dirección: <http://lahuen.dcc.uchile.cl:15285/hypocenter/> (user:dgf, pass: dgf.-3102).
- Falta construir la herramienta de exportación a PDF.

Observaciones y futuros avances

- Generar la visualización en tiempo real de los eventos, para ayuda a la toma de decisiones durante emergencias sísmicas y de tsunamis.
- Integrar otras herramientas del PRS (<http://dgf.uchile.cl/riesgosismico/>) para la entrega de información durante emergencias.



Imágenes de la herramienta

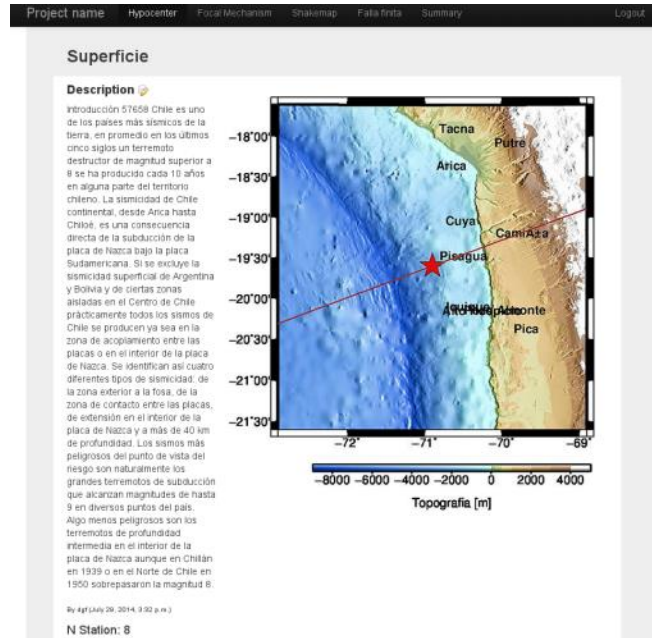


Figura 1: Imagen de pantalla de detección de hipocentro

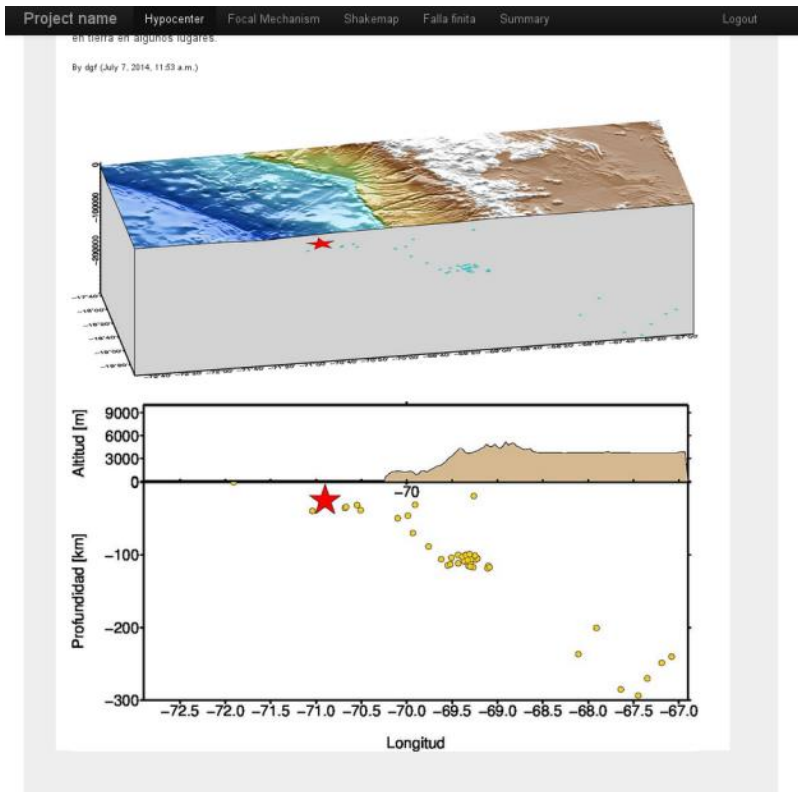


Figura 2: Imagen de la profundidad de un evento

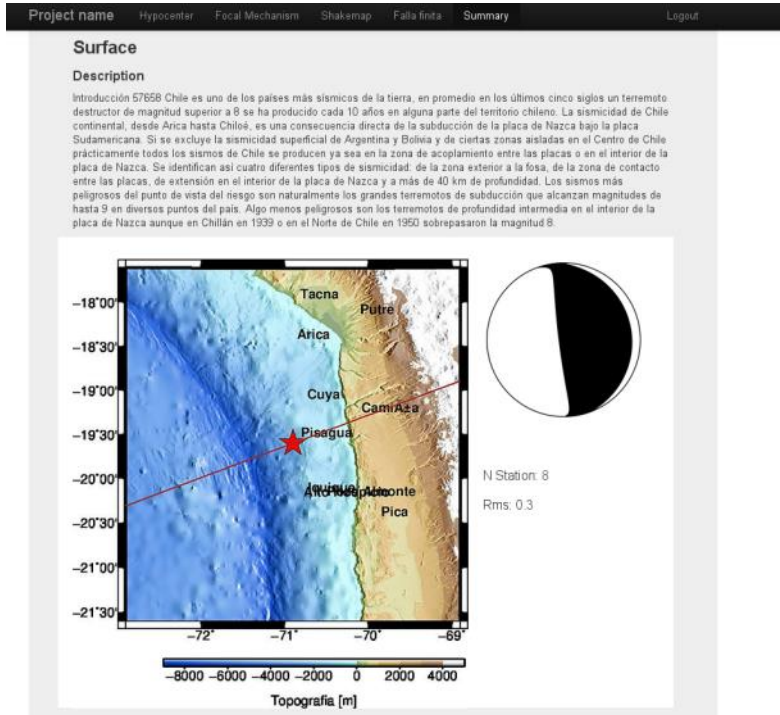


Figura 3: Imagen del hipocentro y su mecanismo focal

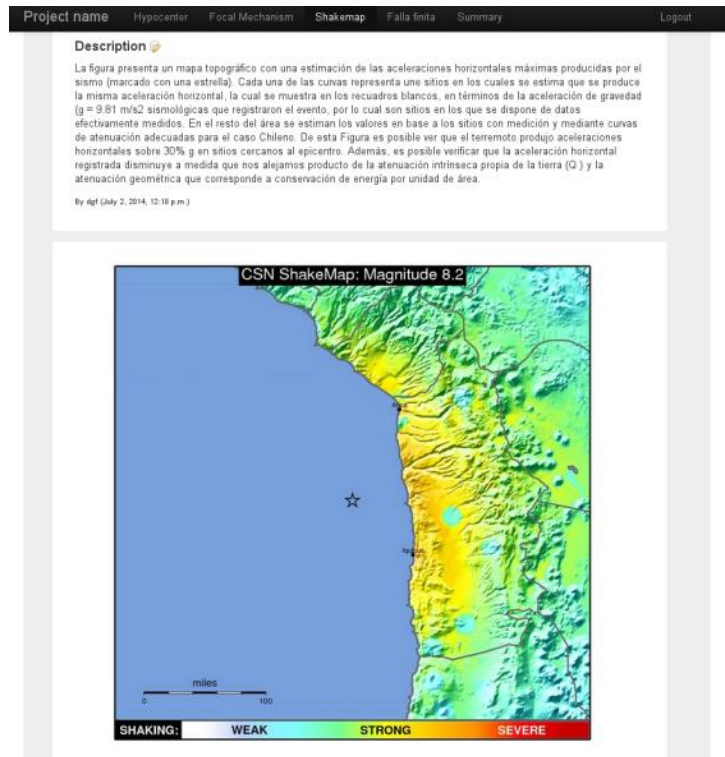




Figura 4: Imagen del shakemap de un evento

Proyecto: Redes sociales y Sismos

Integrantes

- Mauricio Marín
- Senén González
- Felipe Bravo

Objetivo

Generar una herramienta para visualizar en un mapa los acontecimientos en las redes sociales relacionados con sismos. Se utilizará la Red Social Twitter (<https://twitter.com>) por su masivo uso y rapidez en la detección de emergencias.

Objetivos específicos y tareas

- Generar software para comunicarse con Twitter y extraer los tweets por zona geográfica y relevancia.
- Encontrar la forma de relacionar el contenido de los tweets con sismos o tsunamis.
- Generar una página para la visualización de los tweets en un mapa y herramientas de consulta por fechas

Estado de avance

Todos los puntos se encuentran finalizados:

- El software para leer los tweets se realizó en java y los tweets son guardados en una base de datos MongoDB (<http://www.mongodb.org/>) para poder ser leídos en la interfaz de visualización.
- Se ocupó una bolsa de palabras para relacionar el contenido de los tweets con sismos y tsunamis.
- La página resultante para la visualización puede ser vista en la siguiente dirección: http://lahuen.dcc.uchile.cl:13180/earthquake/map_tweets.html?since=0

Observaciones y futuros avances

- Como se puede apreciar en la figura 1, los tweets relacionados con sismos se aglomeran en el norte y el centro-sur del país, que es donde los últimos sismos se han sentido con mayor intensidad.
- También se ha desarrollado otra alternativa de obtener sismos, que es leyendo un mail generado por el USGS (<http://www.usgs.gov>) que contiene tweets localizados y seleccionados para evitar equivocaciones con los filtros (Ver Figura 2), esta herramienta se encuentra en : http://lahuen.dcc.uchile.cl:13180/earthquake/correos/map_tweets.html?since=0

- Si bien en la segunda herramienta se encuentran menos tweets, estos han sido seleccionados como correctos por un entidad externa.
- Como trabajo futuro se propone:
 - Mejorar los filtros para aumentar la precisión de la selección de tweets.
 - Cambiar la estrategia de obtención de tweets para tiempo-real.
 - Generar herramientas de análisis de tweets para detectar en tiempo real dentro de las redes sociales (twitter) emergencias como un sismo.
 - Hacer análisis de sentimientos en los tweets, para captar el nivel de angustia generado por el sismo en la población.

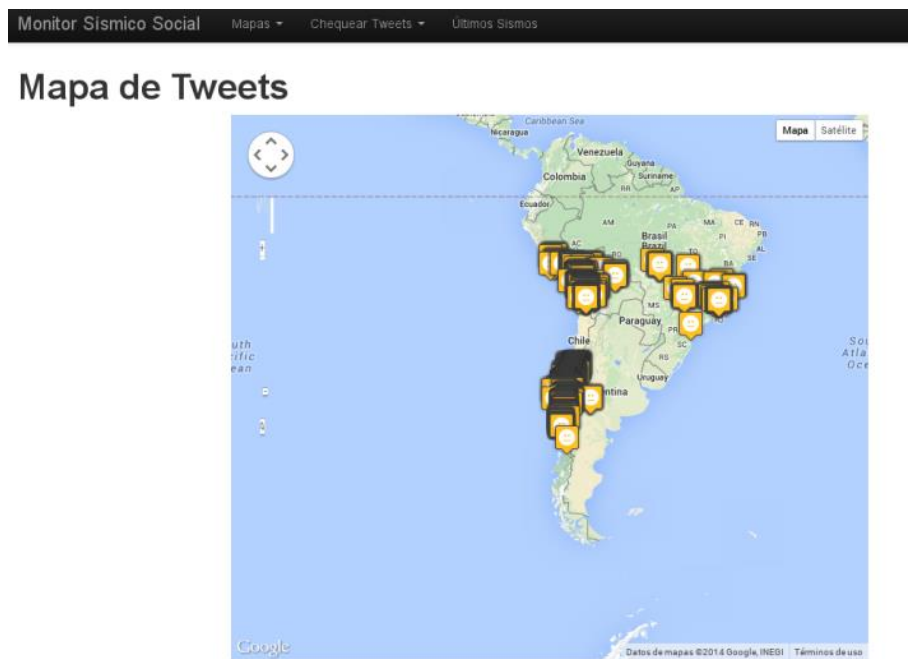


Figura 1: Página para la visualización de los tweets relacionados con un sismo.



Mapa de Tweets



Figura 2: Página que visualiza los tweets entregados por USGS a través de un mail.

Proyecto: Línea de alerta temprana: tsunamis y falla finita

Integrantes

- Francisco Bravo
- Mauricio Fuentes
- Sebastián Riquelme
- Javier Ruiz

Descripción

La línea de alerta temprana se compone de dos ejes de trabajo principales, cada uno con sus propias investigaciones cuyos resultados serán integrados para proporcionar en forma rápida la información sobre las alturas de inundación de un tsunami.

Objetivos Eje Tsunami:



- Derivar solución analítica para alturas de run-up
- Estudiar en forma analítica la dependencia del runup con la batimetría
- Modelar escenarios de Tsunamis para el Norte de Chile

Objetivos Eje Falla Finita:

- Obtener una solución preliminar detallada de la fuente finita dentro de los primeros 10-15 min después de ocurrido un terremoto utilizando datos tele sísmicos.
- Incorporación de diversas formas de ondas necesarias para obtener una solución preliminar rápida del proceso de ruptura de la falla finita.

Objetivo final

Integración de ambos ejes en un único resultado conjunto para alerta temprana.

Estado de avances y tareas realizadas

Los puntos anteriormente mencionados por cada eje se encuentran finalizados y ya han comenzado sus fases de pruebas.

Respecto del objetivo final, el proceso de integración ha comenzado una fase de pruebas y calibración de parámetros que permitan dar robustez al proceso de inversión para distintos tipo de eventos. Estos prototipos tardan en general entre 2 a 3 años para ser probados y validados.

Resultados

Durante el periodo de implementación los sistemas han sido probados para distintos terremotos. Las Figuras (1) y (2) corresponden al tipo de información al proceso de inversión de la fuente finita y estimación de alturas de run-up. La metodología utilizada para generar estos resultados ha sido validadas a través de las siguientes publicaciones:

Fuentes M., Ruiz J., Cisternas A. *A theoretical model of tsunami runup in Chile based on a simple bathymetry*. Geophys. J. Int. (2013) doi: 10.1093/gji/ggt426.

Fuentes M., Riquelme S., Ruiz J. *The runup on a multi-linear sloping beach model*. Geophys. J. Int. (2014) [SOMETIDO]

Ruiz J., Fuentes M., Riquelme S., Campos J. *Improving earthquake source parameters for tsunami modeling in the northern Chilean seismic gap*. Natural Hazards (2014) [SOMETIDO]



Además, la línea ha mostrado sus resultados en diferentes congresos internacionales (Bogotá, Tokio, Trieste y San Francisco).

Trabajos Futuros (Proyección 2015 - 2018)

- **Tsunami**

1. Discriminación de eventos tsunami génicos con estudio de tiempos de ruptura.
2. Generar metodología para el peligro de Tsunamis a lo largo de Chile.

- **Falla Finita**

1. Explorar otros espacios de soluciones e incorporar restricciones físicas del problema
2. Generar salidas complementarias para análisis posteriores que alimentan otros modelos de estudios sísmicos.

- **Conjunta**

Producto entregable para la determinación de alerta temprana de Tsunami.

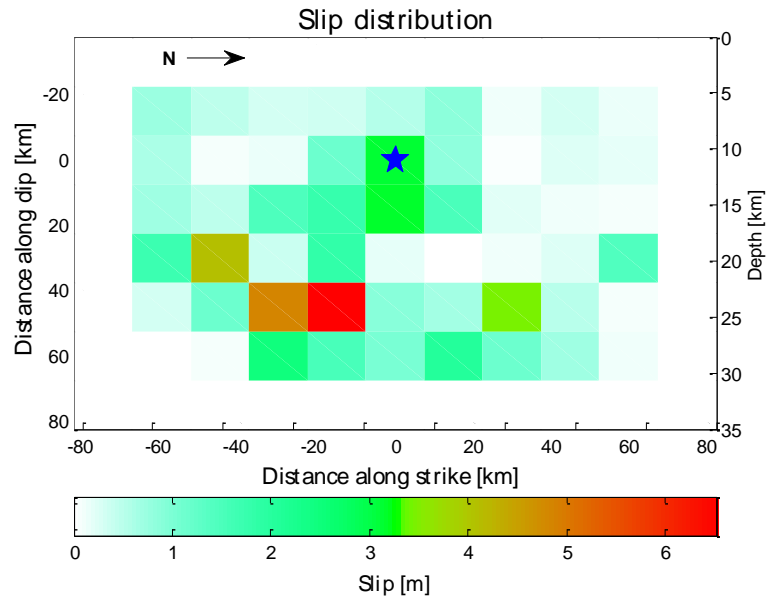


Figura 1: Resultado de la inversión de Falla Finita para el terremoto de Iquique, 2014.

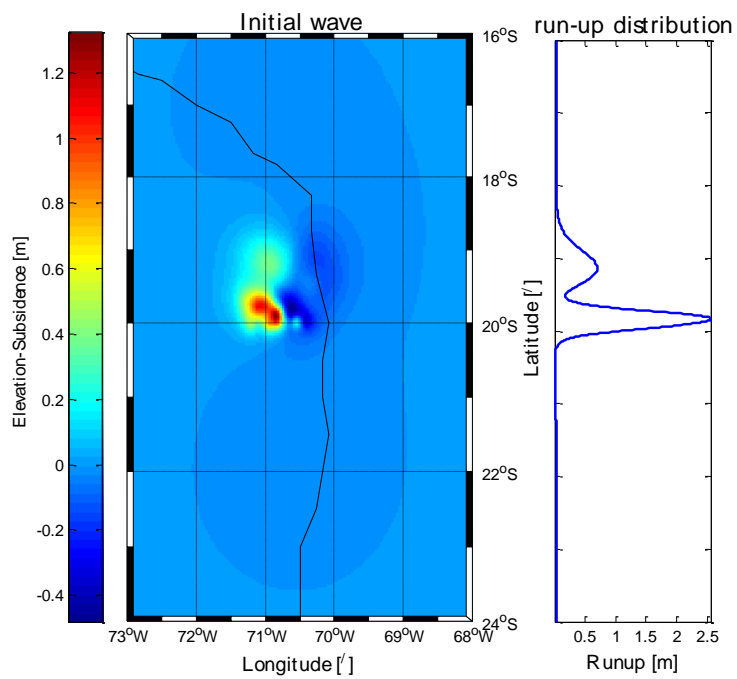




Figura 2: Alturas de runup teóricas para el tsunami de Iquique, 2014.

Proyecto: Red temporal de GPS y sismómetros de fondo de mar

Integrantes

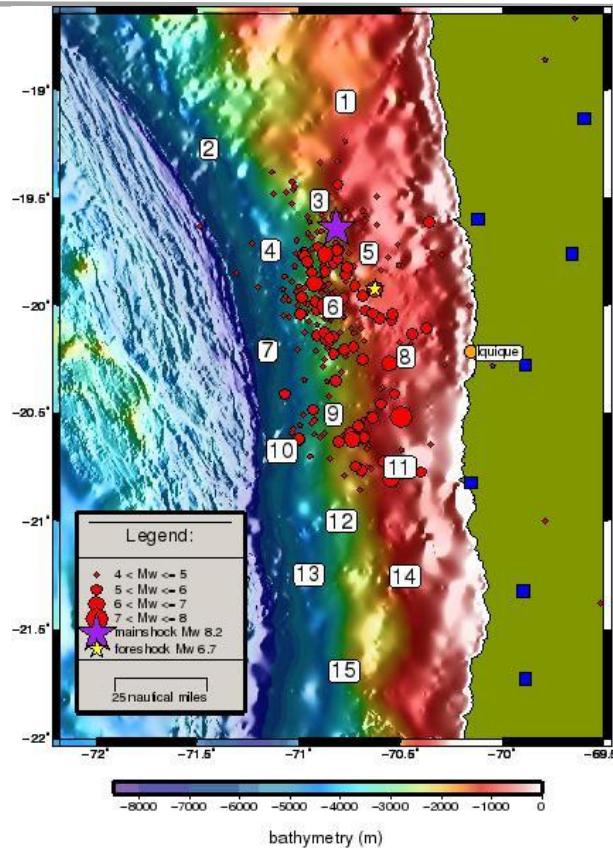
- Eduardo Contreras-Reyes
- Heidrum Koop, investigador del Instituto de Ciencias del Mar GEOMAR, Alemania
- Dietrich Lange, investigador del Instituto de Ciencias del Mar GEOMAR, Alemania

Objetivo

Organizar una red temporal de GPS y Sismómetros de Fondo de Mar frente a Iquique a bordo del buque alemán R/V SONNE II.

Descripción

La red temporal de GPS será instalada aproximadamente en Noviembre del 2015 con fondos de la Comisión Nacional de Ciencias y Tecnología de Alemania y a bordo del buque científico alemán R/V Sonne. En cuanto a la red temporal de sismómetros de fondo de mar estos fueron instalados en Diciembre del presente año con apoyo de la Armada de Chile y GEOMAR (ver <http://www.latercera.com/noticia/nacional/2014/12/680-608252-9-instalan-los-primeros-sismografos-submarinos-en-chile-en-el-norte-del-pais.shtml>). Los sismómetros marinos serán recuperados entre octubre y diciembre del 2015 a bordo del buque R/V Sonne.



Estado de avance

Heidrun Kopp y Dietrich Lange: fueron invitados por una semana y 10 días respectivamente a Chile, en noviembre del 2013 (gastos de pasajes y viáticos fueron cubiertos con fondos del PRS).

Lo anterior en el marco de un programa de colaboración con Alemania para la instalación de instrumentos en el fondo del mar para la caracterización del Acoplamiento Sísmico en la zona Norte de Chile;

En 2014, Eduardo Contreras-Reyes participó como colaborador en terreno de la instalación de GPS en la zona Norte de Chile entre el 9 y 15 de abril, como respuesta al terremoto de Pisagua Mw 8.2 ocurrido el 1 de abril del 2014. Los gastos de pasajes y viáticos fueron cubiertos con fondos del PRS. La coordinación de dicha red está a cargo del Dr. Francisco Ortega.



Proyecto difusión educacional “Eratóstenes”

Integrantes

- Jaime Campos
- Senén González

Objetivo

Generar una actividad interdisciplinaria con el fin de mostrar a alumnos de colegio (entre 7° básico a 3° medio) como calcular el radio de la tierra, del mismo modo que lo calculó Eratóstenes (194 a. C).

Objetivos específicos y tareas

- Generar actividades de Historia, Matemática, Lenguaje y Física con los conceptos básicos necesarios para la actividad de medición del radio de la tierra.
- Convocar a establecimientos escolares a lo largo de Chile para realizar las actividades.
- Documentar el resultados de las actividades junto con encuestas a profesores y alumnos para conocer como fue recibida la actividad.

Estado de avance

- Se construyeron todas las actividades
- Se seleccionó colegios en:
 - Santiago (Instituto nacional, Liceo 1)
 - Concepción (Colegio San Pedro)
 - Puerto Aysén
- Se realizaron las actividades en todas las localidades llegando a resultados positivos en todas ellas.

Observaciones y futuros avances

Los avances van en la siguiente línea:

- Generalizar la actividad a todos los colegios municipales de Chile.
- Proponer esta junto con otras actividades al Ministerio de Educación o a la Vicerrectoría de la Universidad de Chile.

Datos anexos

Todas las guías y actividades pueden ser bajadas desde:

<http://lahuen.dcc.uchile.cl/~sgonzale/eratostenes/actividades/>



Imágenes 1 y 2: Actividades en establecimientos escolares



Proyecto: Peligro Sísmico Falla San Ramón

Integrantes

- Gabriel Vargas, Depto. Geología

Actividades

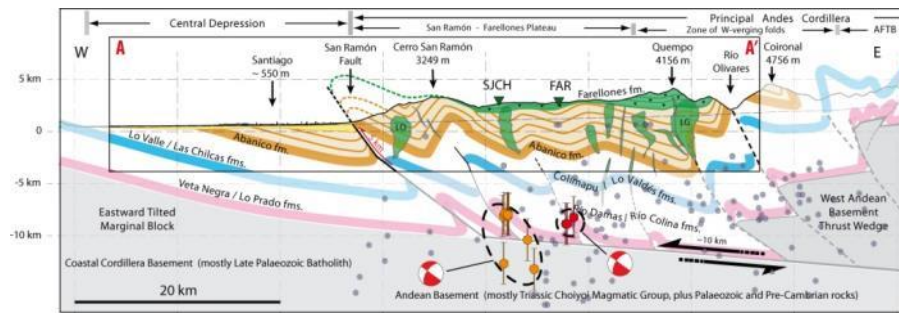
- Viaje al workshop UTokio en Japón, durante Octubre de 2014
- Viaje y estadía al curso Deform 2015, a realizarse en Francia durante Febrero de 2015.

Estado de avance

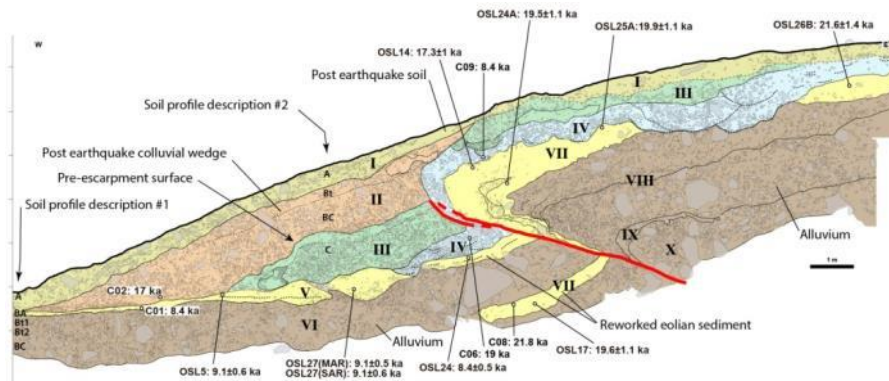
Preparación proyecto “Mapa de peligro sísmico del borde oriente de Santiago”, para ser presentado a Corfo y al Gobierno Regional, en 2015 (en colaboración con investigadores de Geofísica).

Principales resultados

The San Ramon Fault: most relevant scientific results in the last 12 years

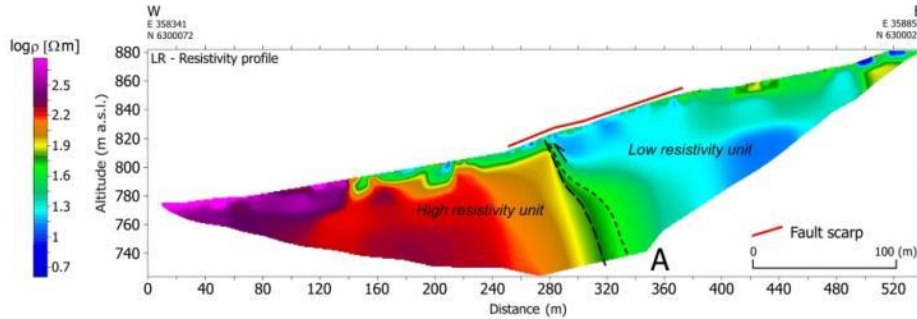


Quaternary crustal-scale geologic structure, with associated seismicity (Armijo et al, 2010, Tectonics; Pérez et al, 2014, Natural Hazards)





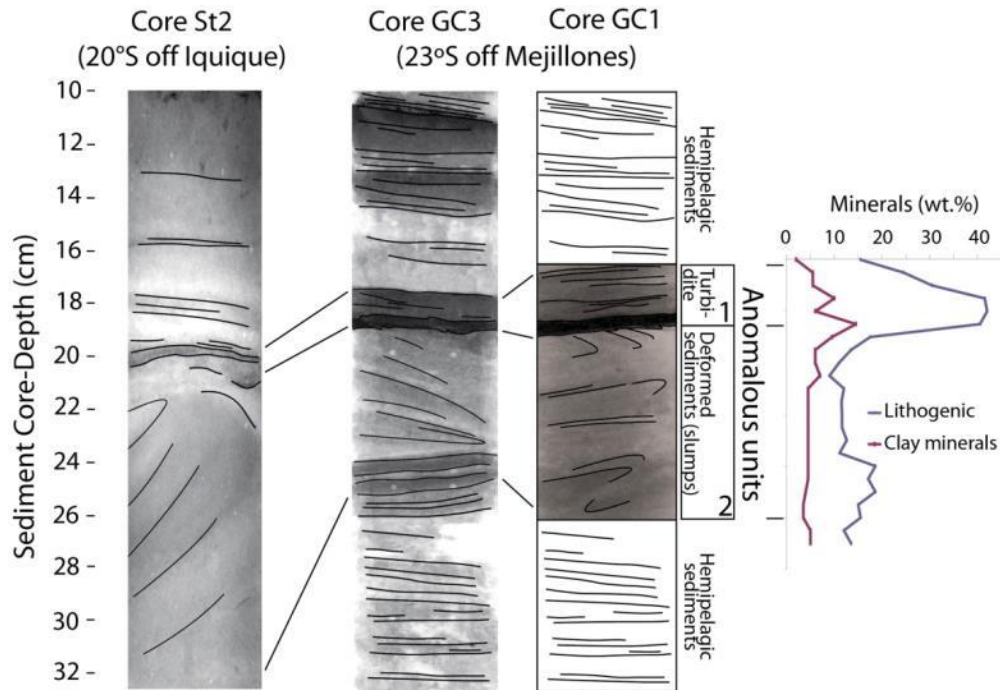
Active fault from paleoseismological trenching, capable to generate Mw7.5 earthquakes, with two events in the last 19 ka, and the latest at 8 ka (Vargas et al, 2014, Geology)



Complexities in subsurface structure from geophysical prospection (Díaz et al, 2014, Solid Earth)

Assesing giant tsunamigenic earthquakes in Northern Chile

Mw8.8 1877 paleoseismic record off Northern Chile



“Major tsunamigenic events occurred every 300-400 years in the last two millennia” (Vargas et al, 2005; 2014, AGU; ongoing work, in prep.)



Proyecto: Procesamiento de datos del Global Positioning System (GPS) usando el software GIPSY-OASIS

Investigador responsable

- Francisco Ortega Culaciati

Descripción

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de navegación espacial que provee la infraestructura necesaria para estimar la posición, en un sistema de referencia dado, de la antena de un receptor especializado ubicado en o cercano a la superficie terrestre. El software GIPSY-OASIS, desarrollado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL), laboratorio de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) administrado por el California Institute of Technology (CALTECH), permite el cálculo preciso de la posición de una antena de un receptor de GPS, sin requerir otros receptores, mediante un procedimiento llamado Precise Point Positioning (PPP). El procedimiento PPP utiliza productos generados por el Jet Propulsion Laboratory (JPL) o por el International Global Navigation Satellite System (GNSS), como son la estimación precisa de las órbitas y correcciones de los relojes de los satélites del sistema GPS, además de la señal de observación transmitida por los satélites y procesada por el receptor especializado en tierra.

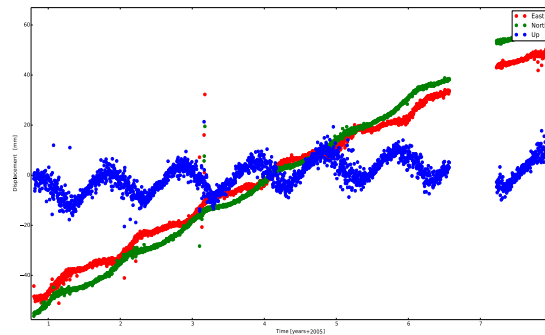
En este proyecto se adquiere experiencia en el uso del paquete de software GIPSY-OASIS y se implementa un sistema supervisado de procesamiento de datos de GPS para la obtención de series de tiempo posicionales precisas de los instrumentos de la red de GPS operada por Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (CSN).

El investigador responsable realiza una pasantía en las dependencias del J.P.L. para familiarizarse con el funcionamiento del software GIPSY-OASIS, como con las diferentes posibilidades y estrategias para resolver los problemas que se pueden producir durante el proceso de posicionamiento basado en datos de instrumentos de GPS usando el método PPP, los que dependen de diferentes fenómenos que afectan la precisión del posicionamiento de los receptores del sistema GPS (ej: modelos atmosféricos, sistemas de referencia, efectos locales, etc). Se desarrolla un software escrito en lenguaje Python (pyGIPSY), el que envuelve las rutinas de GIPSY-OASIS, para semi-automatizar el procedimiento para la obtención de series de tiempo posicionales diarias.



Estado de avance

Lo aprendido en el desarrollo de este proyecto se ha implementado además en las actividades docentes del investigador responsable, ya que se les ha enseñado la teoría y herramientas básicas para el posicionamiento GPS usando GIPSY-OASIS a los alumnos del curso GF5017 - Geodesia de Tectónica Activa, impartido por el investigador responsable el semestre 2014-02.



El software pyGIPSY se encuentra en estado de prueba en este momento (Figura muestra posiciones para estación PCCL hasta 2013), y se espera que en marzo de 2015 ya se encuentre produciendo en forma sistemática series de tiempo posicionales precisas a partir de los datos de la red de GPS de registro continuo administrada por el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile. Cumpliendo este hito, se da por finalizado el proyecto.



Proyecto: Intervención Geodésica en el Norte Grande de Chile en respuesta al Terremoto de Pisagua Mw 8.2 del 1 de abril de 2014

Investigador responsable

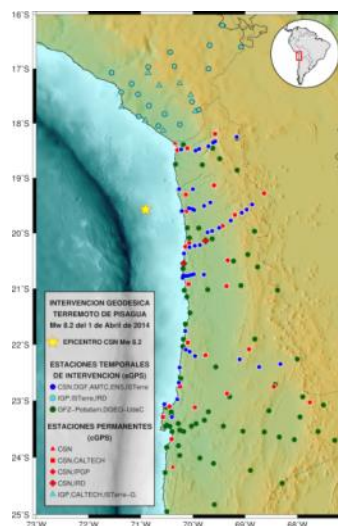
- Francisco Ortega Culaciati

Descripción

En respuesta a la ocurrencia del terremoto de Pisagua (Mw 8.2) el 1º de Abril de 2014 en el Norte Grande de Chile, se realizó una intervención geodésica con la finalidad de iniciar un monitoreo de la deformación de la corteza continental posterior al terremoto.

La intervención, coordinada por el investigador responsable, se realizó en el marco colaborativo entre diferentes instituciones internacionales (ver detalle más abajo). En esta se ocupó los puntos pre-existentes de campaña GPS mostrados en la figura, en donde se ha realizado mediciones con anterioridad, así como la recuperación de datos de estaciones permanentes que perdieron conectividad a internet después de la ocurrencia del terremoto (Figura muestra la totalidad de la red GPS permanente al 1 de Abril de 2014).

Las observaciones se realizaron de manera de complementar las de las redes de GPS de registro continuo en la región, de manera de poder estudiar con una mejor cobertura espacial los fenómenos de deformación de la corteza continental asociados a la ocurrencia del terremoto de Pisagua.





Estado de avance

Se hará entrega de las observaciones de la campaña a las instituciones que participaron en ésta el mes de Enero de 2015, y se trabajará en una publicación científica utilizando dichas observaciones en conjunto con observaciones sismológicas y geodésicas de redes de registro continuo existentes. Se incluirá en los agradecimientos al Programa de Riesgo Sísmico. Al hacer entrega de dichas observaciones en Enero de 2015 el proyecto se concluye.

Los participantes en terreno durante la intervención, a) Departamento de Geofísica Universidad de Chile (DGF): Francisco Ortega, Eduardo Contreras, Efraín Rivera; b) Advanced Mining Technology Center (AMTC): Daniel Carrizo; c) Centro Sismológico Nacional Universidad de Chile (CSN): Carolina Valderas, Ismael Ortega, Héctor Riquelme; d) Instituto Geofísico del Perú (IGP): Edmundo Norabuena; e) Institute de Recherche pour le Développement (IRD): Mohamed Chlieh; f) Ecole Normale Supérieure (ENS): Christophe Vigny, Emilie Klein, Arthur Delorme; g) Institute des Sciences de la Terre - Grenoble (ISTerre): Anne Socquet, Jorge Jara; h) Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ-Potsdam): Marcos Moreno; i) Universidad de Concepción (UdeC): Klaus Bataille, Mauricio Leiva y Catalina Morales; j) California Institute of Technology (CALTECH): Jeff Genrich.



Proyecto: Asistencia y Exposición en el UTokyo Forum “Global Emergence of Frontier Knowledge” en Tokyo-Japón

Investigador responsable

- Francisco Ortega Culaciati

Actividades desarrolladas

- Expositor de charla “Imaging the Seismic Cycle in North-East Japan from GEONET cGPS Network Observations” la cual fue una buena instancia para la discusión de los resultados de mi investigación con mis colegas Japoneses.
- Asistente a varias charlas dadas por colegas chilenos y Japoneses, lo que fue muy útil para discutir los trabajos de ellos y conocer mejor sus líneas de investigación.
- Reunión con colegas Japoneses del Earthquake Research Institute de la Universidad de Tokyo más afines con mis líneas de investigación para explorar posibilidades de colaboración científica a futuro.
- El proyecto ha finalizado.



Proyecto: Evidencia gravimétrica de la presencia del sistema de fallas de San Ramón en el basamento de la cuenca de Santiago

Integrantes

- Andrei Maksymowicz*
- Luis Villegas*

(*) Núcleo de Geofísica Aplicada (NGA), Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Resumen Ejecutivo

Se presentan resultados sobre el registro y modelamiento de un perfil gravimétrico registrado en el sector oriente de la cuenca de Santiago. El modelo gravimétrico obtenido, sugiere que la presencia de dos fallas inversas que forman parte a la zona de falla de San Ramón, localizadas entre el río Mapocho y el cerro Calán. Este resultado tiene impacto en la interpretación tectónica de la deformación asociada a la tectónica andina frente a la ciudad de Santiago y es relevante para la evaluación de riesgo sísmico en la ciudad, pues muestra que es posible detectar zonas de deformación desconocidas, asociadas a la zona de falla de San Ramón, las cuales potencialmente podrían activarse a futuro.

Objetivos

Objetivo general

Estudiar la posible evidencia de deformación, asociada a la zona de falla de San Ramón (ZFSR) en el basamento de la cuenca de Santiago.

Objetivos específicos

- Diseño, adquisición y procesamiento de un perfil gravimétrico de alta resolución (con separación de estaciones del orden de 100 metros), que se extiende desde el cerro San Cristóbal y siguiendo el eje de Av. Kennedy hacia el Noreste. Se contempla la medición de puntos dGPS coincidentes con las estaciones del perfil.
- Interpretación del perfil gravimétrico obtenido y discusión en relación a resultados de estudios previos en la zona de estudio.

Tareas realizadas

- Diseño del perfil gravimétrico
Se definió como lugar prioritario de medición, el sector ubicado entre el río Mapocho y el cerro Calán, pues corresponde a una zona donde la traza principal del ZFSR se encuentra bien documentada al norte y sur, y donde el sistema de fallas ha acumulado suficiente desplazamiento reciente como para explicar la presencia del alineamiento de



los cerros Calán, Apoquindo y Los Rulos. Con las consideraciones antes descritas, el perfil fue trazado siguiendo las calles Kennedy, Paul Harris y Camino La Posada, entre el cordón del San Cristóbal por el Oeste y los afloramientos de la unidad Abanico al Este (Figura 1).

- **Procesamiento y modelamiento gravimétrico**
El procesamiento de datos gravimétricos consistió en la aplicación de las correcciones estándar de marea, base, gravedad normal, Aire-Libre, Bouguer y Topografía. Se realizaron modelos 2-D considerando versiones de anomalía de Bouguer obtenidas con densidades de background de 2.67gr/cc y 2.5 gr/cc, y densidad de sedimentos de 2 gr/cc. Los resultados muestran que la cuenca de Santiago, en este sector, presenta una geometría asimétrica con engrosamiento hacia el Oeste, y con dos cambios importantes de profundidad observados en torno a las distancias horizontales 4500 y 6000. Además se observa claramente un relieve elevado del basamento, con forma simétrica y ancho de ~500 m., cerca del extremo occidental del perfil.
- **Interpretación**
La geometría de gran escala del basamento se puede describir como una secuencia de tres planos inclinados hacia el Oeste, separados por discontinuidades o cambios de profundidad del orden de 20 m a 50 m (Figura 3). El cambio abrupto observado hacia el Este coincide muy bien con la proyección al perfil del cerro Calán y con la traza de la ZFSR propuesta por Rauld (2011). Si esto es así, por similitud en la geometría, el cambio abrupto de profundidad localizado hacia el Oeste, podría corresponder a desplazamiento en una rama más occidental (y probablemente más joven) de la ZFSR, es decir, esta discontinuidad puede ser evidencia de la migración del frente de deformación andino ~2 km. al Oeste de la traza principal observada en superficie. Por lo tanto, el modelo gravimétrico, permite proponer que en la zona localizada al sur de Rio Mapocho y al norte del cerro Calán, la deformación de frente andino se resuelve en una serie escalonada de al menos dos fallas principales que acumulan una deformación del orden de 100 metros o más.
- **Conclusiones y recomendaciones**
El presente trabajo reviste gran interés para la futura evaluación de Riesgo sísmico en la zona de estudio, pues muestra que es posible detectar con gravimetría, posibles zonas de deformación asociadas a la ZFSR, pero localizadas en posiciones distintas a la traza de falla principal observada en superficie, las cuales potencialmente podrían activarse a futuro.



Se recomienda, la medición de una malla gravimétrica de alto detalle (espaciamiento de estaciones no superior a 200 metros) localizada entre el cordón del San Cristóbal y el borde Este de la cuenca, con el fin de confirmar (en tres dimensiones) la presencia y extensión de las estructuras propuestas, así como, la medición de perfiles gravimétricos de alto detalle al sur de la zona de estudio para estudiar la variabilidad latitudinal de estilos tectónicos asociados a la ZFSR.

Estado de avance y Estimación de término del proyecto

Los resultados descritos aquí, pueden considerarse como una primera etapa terminada del estudio de ZFSR mediante gravimetría. Estos resultados serán sometidos para publicación en una revista ISI durante el año 2015. A mediano plazo, el avance hacia una interpretación gravimétrica 3-D del frente cordillerano, se propone como una línea de investigación necesaria para la evaluación del riesgo sísmico en las ciudades emplazadas en las cuencas de antearco, a lo largo del territorio chileno.

Imágenes del proyecto

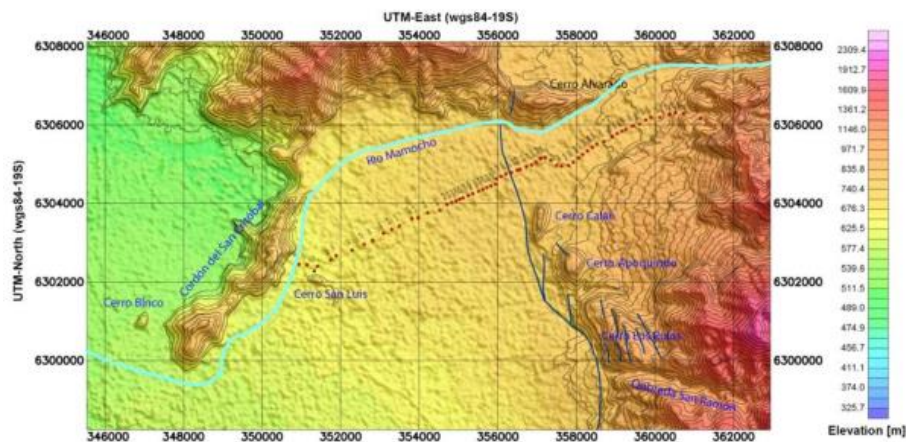


Figura 1. Ubicación de las estaciones gravimétricas medidas sobre topografía GDEM de la zona de estudio. El cauce del Rio Mapocho se muestra en celeste, y la traza de la ZFSR según Rauld (2011) se presenta en azul.

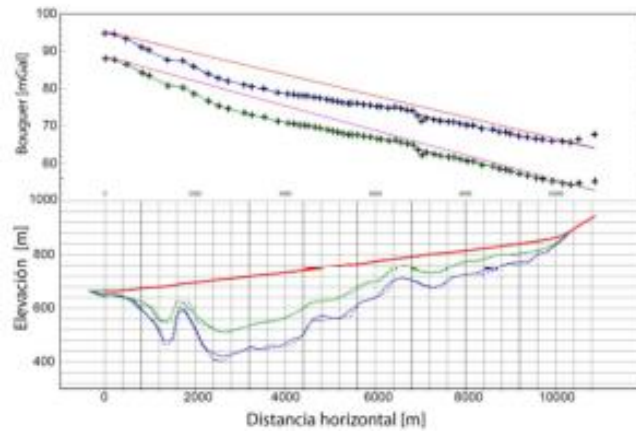


Figura 2. Modelo gravimétrico en dirección OesteEste. En el panel superior se muestra la anomalía de Bouguer registrada (cruces) y modelada (curvas continuas). La curva verde y regional magenta, corresponden al modelo para los datos reducidos con densidad 2.67 gr/cc.

La curva azul y regional rojo, corresponden al modelo para los datos reducidos con densidad 2.5gr/cc. En el panel inferior se muestra la sección distancia v/s elevación del modelo de cuenca obtenido. La curva roja corresponde a la topografía, la curva verde a la elevación de basamento para los datos reducidos con densidad 2.67 gr/cc, y la curva azul corresponde a la elevación de basamento para los datos reducidos con densidad 2.5 gr/cc. Las curvas continuas son modelos 2-D y las curvas segmentadas son modelos 2½-D. La densidad de sedimentos es 2 gr/cc para todos los modelos.

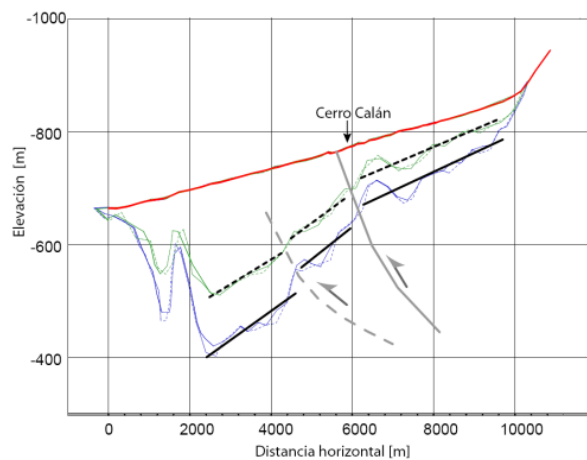


Figura 3. Interpretación del perfil gravimétrico modelado. Las curvas de elevación de basamento y topografía son iguales a las mostradas en la Figura 5. La flecha negra indica la posición aproximada del Cerro Calán proyectada al perfil. En líneas negras segmentadas, se destacan las tendencias regionales en el basamento modelado con densidad de referencia 2.67 gr/cc. Las líneas negras continuas, muestran las tendencias regionales en el basamento modelado con densidad de referencia 2.5 gr/cc. La curva gris continua representa la localización de la traza principal de la ZFSR propuesta por Rauld (2011) y la curva gris segmentada sugiere la presencia de una segunda falla inversa al Oeste.



Proyecto Generación de Acelerogramas Artificiales usando un Método Estocástico de Falla Finita, Aplicado a Terremotos de Subducción

Integrantes

- Sergio Ruiz
- Cristián Otarola (Estudiante Magíster)

Objetivos

- Generación de una nueva técnica de generación de Acelerogramas Artificiales.
- Generación de acelerogramas asociados a un mega-terremotos magnitud $M_w \sim 9.0$

Tareas realizadas

- Programa de Generación de Acelerogramas
- Comprobación con registros de Aceleraciones de Terremoto de Tocopilla 2007, Iquique 2014, Maule 2010.
- Generación de acelerogramas asociados a un mega-terremoto de magnitud $M_w 9.0$ en el Norte de Chile

Estado de avance

90 %

Estimación de término del proyecto

Abril 2015

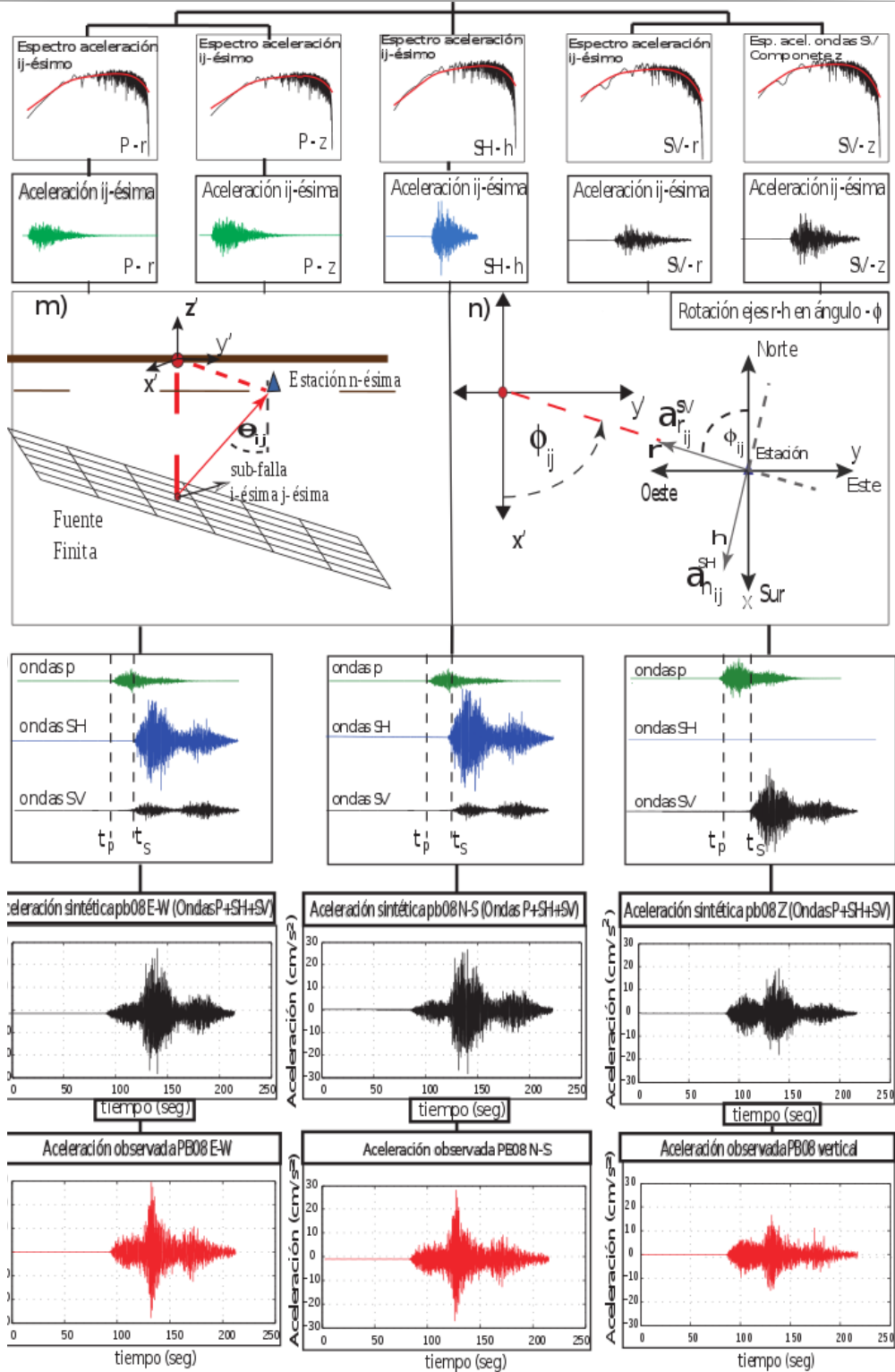


Figura. Procedimiento para la generación de acelerogramas artificiales.



Proyecto: Análisis de la distribución de Precursores y Réplicas del Terremoto de Iquique 2014

Integrantes

- Sergio Ruiz
- Felipe Leyton
- Sergio León (Estudiante Magíster)

Objetivos

- Estimación del tensor de momento de terremotos chilenos utilizando datos locales

Tareas realizadas

- Implementación de cálculo de tensor de momento utilizando el paquete de programas de Robert Herrmann
- Localización y estimación de tensor de momento para todas las réplicas y precursores de magnitud mayor a Mw 5.5 (~250 eventos)

Estado de avance

90 %

Estimación de término del proyecto

Abril 2015

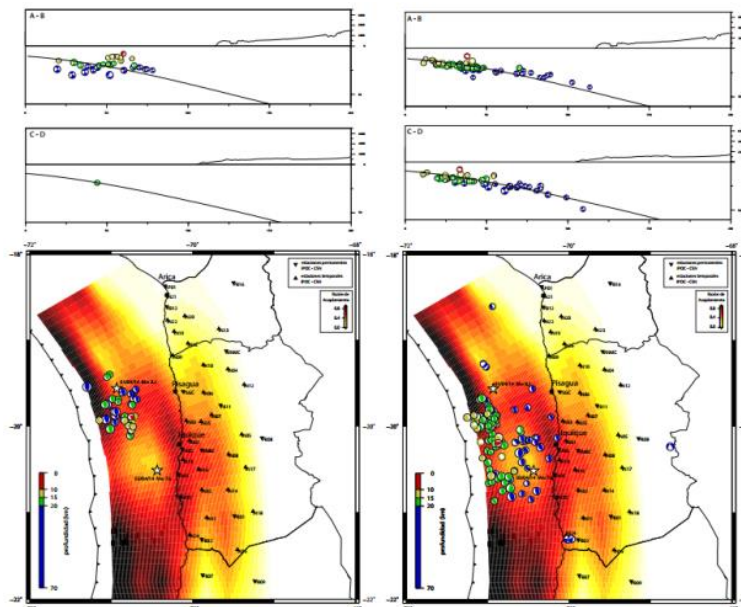


Figura. Mecanismos focales de precursores (derecha). Mecanismos focales réplicas (izquierda). Eventos magnitud sobre Mw 5.5



Proyecto: Procesamiento y análisis de motogramas de terremotos de subducción chilenos

Integrantes

- Sergio Ruiz
- Efraín Rivera (Estudiante Magíster)

Objetivos

- Procesamiento de señales GPS de alta frecuencia (cGPS) utilizando programa TRAK de GAMIT
- Implementación de filtros espacial y temporal para la depuración de la señal cGPS
- Comparación de cGPS con registros de acelerogramas doble integrados
- Análisis de Ondas Superficiales registradas por la red cGPS de la cuarta región para el terremoto del Maule 2010

Tareas realizadas

- Procesamiento de datos GPS de diferentes terremotos incluyendo los datos del Terremoto de Iquique 2014.
- Comparación de cGPS procesados con datos de acelerogramas

Estado de avance

90 %

Estimación de término del proyecto

Abril 2015

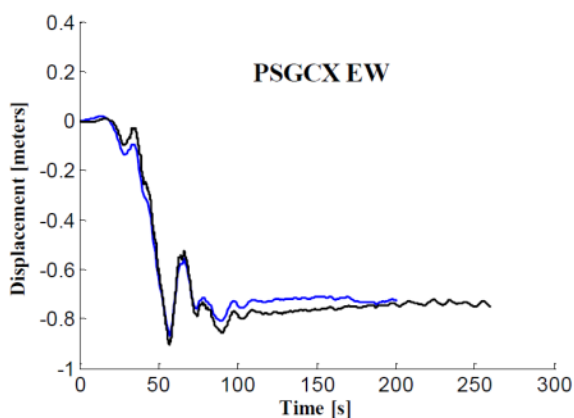


Figura. Motograma procesado (azul) vs acelerograma integrado dos veces. Para la estación Pisagua PSGCX.



Proyecto: Simulación de acelerogramas artificiales de mega-terremotos usando funciones de Green Empíricas

Integrantes

- Sergio Ruiz
- Stefano Cararo (Estudiante Magíster)

Objetivos

- Generación de acelerogramas artificiales de potenciales mega-terremotos de su subducción chilenos utilizando funciones de Green Empíricas

Tareas realizadas

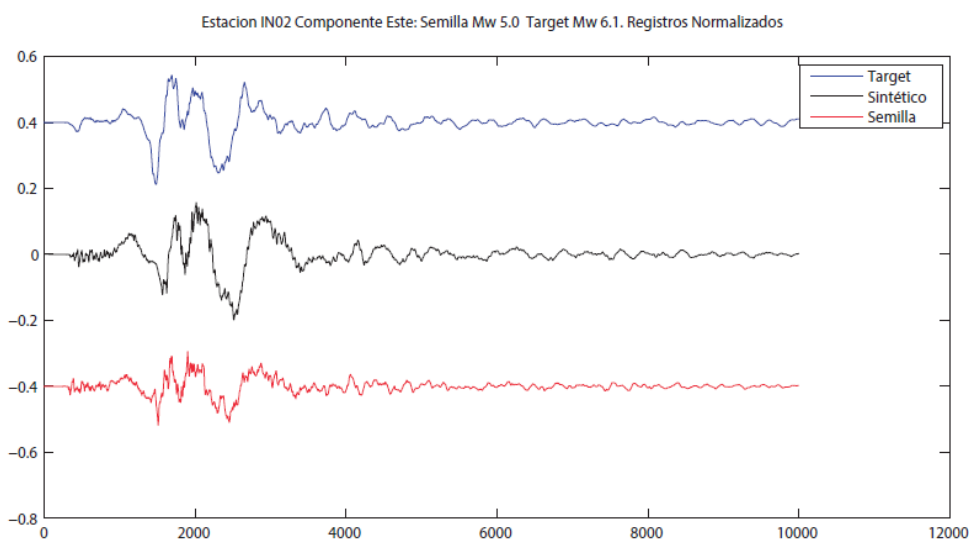
- Desarrollo de programa de simulación
- Calibración con "pequeños sismos" semilla Mw ~ 5.0 a Target Mw ~ 6.0

Estado de avance

50 %

Estimación de término del proyecto

Julio 2015



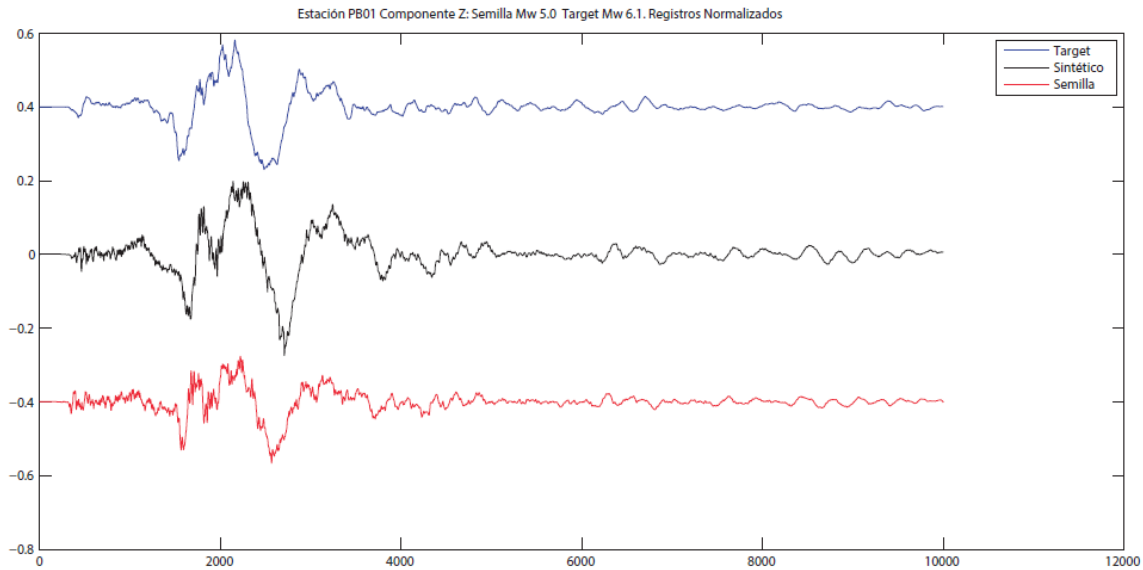


Figura. Test realizado simulando un terremoto magnitud Mw 6.1 a partir de un sismo magnitud Mw 5.0

Proyecto: Correlación de razones espectrales H/V y características geotécnicas de suelos de Santiago utilizando registros sísmológicos

Integrantes

- Sergio Ruiz
- Felipe Leyton
- Cesar Pasten
- Francisca Lezana (Estudiante Ingeniería Civil)

Objetivos

- Estimación de las razones espectrales H/V obtenidas utilizando el arreglo denso de estaciones temporales banda ancha instaladas en la cuenca de Santiago durante Septiembre - Octubre 2013 a Marzo 2014. Estimación de la correlación entre las razones H/V y las características geotécnicas de la cuenca.

Tareas realizadas

- Ordenamiento de la base de datos
- Estimación de razones espectrales
- Correlación entre razones espectrales H/V y características geotécnicas



Estado de avance

100 %

Estimación de término del proyecto

Terminado

Imágenes del proyecto

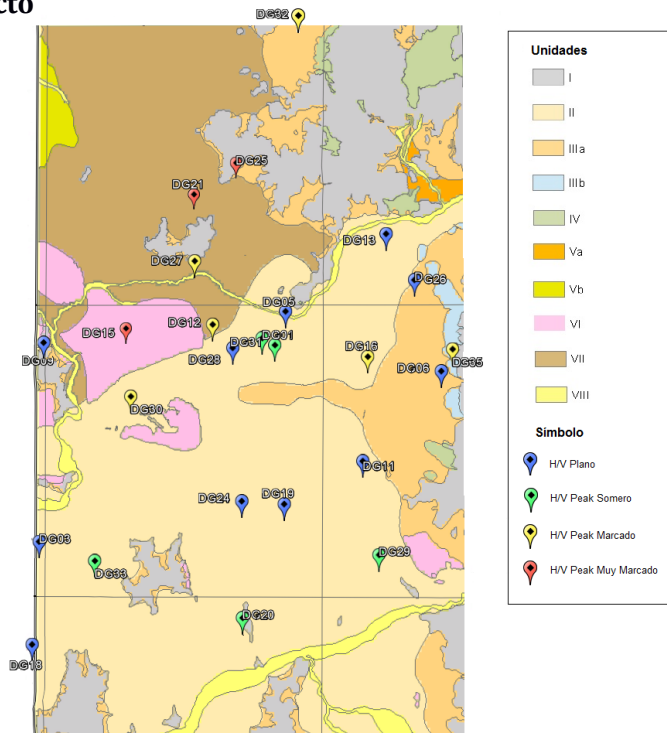


Figura. Ubicación de estaciones sismológicas sobre mapa geológico propuesto por Leyton et al. (2011)

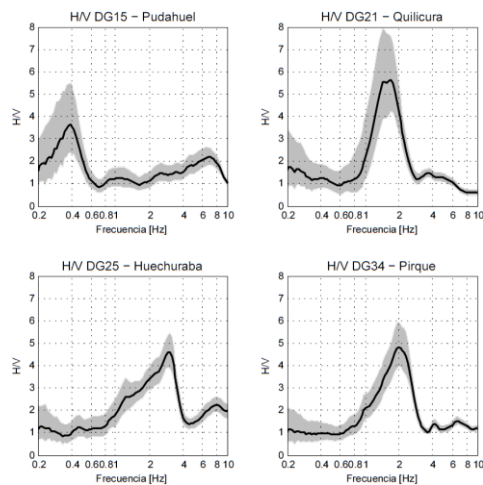


Figura. Ejemplo de razones espectrales H/V



Proyecto: caracterización geofísica de la Cuenca de Santiago para estimación de riesgo sísmico

Integrantes

- Luis Villegas S.
- Sergio Contreras G.
- Andrei Maksymowicz
- Daniel Díaz A.
- Emilio Vera S.

Introducción

El Programa de Riesgo Sísmico (PRS) del Departamento Geofísica (DGF) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile, ha encargado al Núcleo de Geofísica Aplicada (NGA) desarrollar el estudio denominado “Caracterización Geofísica de la Cuenca de Santiago para la estimación de Riesgo Sísmico”. Este estudio tiene como objetivo construir un modelo geofísico de cuenca de la cuenca de Santiago para una microzonificación sísmica.

En este documento presentamos un Memorándum Técnico con el avance físico alcanzado durante el segundo semestre del año 2014, correspondiente al levantamiento de información geofísica de la cuenca de Santiago y la modelación preliminar de datos gravimétricos.

Objetivos y alcances

Objetivo general

El presente documento tiene como objetivo presentar un estado de avance de proyecto en el trabajo de compilación, selección y validación de datos y estudios geofísicos que han sido desarrollados en la cuenca de Santiago, y disponerlos en una base de datos estructurada para desarrollar modelos y análisis preliminares.

Alcances

La BD geofísicos compilados para el proyecto Geofísica Cuenca Santiago, contiene información de naturaleza confidencial y, en consecuencia, protegida en tal carácter. Sin embargo, PRS podrá utilizarla como estime conveniente tomando el resguardo de hacer las citas a las referencias bibliográficas que correspondan.



Aspectos Metodológicos

En atención a los objetivos del proyecto, en esta etapa del estudio sobre selección de información geofísica válida, construcción de una base de datos y desarrollo de modelos gravimétricos preliminares, se ha aplicado la siguiente metodología de trabajo:

1. Levantamiento de información.
2. Selección (criterios) y validación de datos e información.
3. Estandarización de formatos. Se utilizará formato Geosoft , ASCII y seismicunix (SU).
4. Clasificación en niveles de información.
 - Nivel 1. Dato instrumental (DI).
 - Nivel 2. Dato Pre-Proceso (DP2).
 - Nivel 3. Dato Procesado (DP).
 - Nivel 4. Dato Modelado (DM).
5. Construcción de mapas.
6. Diseño y construcción de una Base de Datos (BD) para el proyecto.
7. Compilación de datos seleccionados y estandarizados en la BD del proyecto.
8. Reproceso de datos gravimétricos.
9. Modelación preliminar de datos gravimétricos.
10. Análisis de resultados preliminares.

Levantamiento de información

La información geofísica disponible en la cuenca de Santiago es la siguiente (Figura 2):

- Datos gravimétricos.
- Datos sísmicos.
- Tomografía de resistividad eléctrica de alta resolución (ERT).
- Sondajes eléctricos verticales (SEV).

Para la compilación de datos geofísicos se utilizaron las siguientes fuentes de información:

- Memoria de Prueba para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas, del Profesor Edgar Kausel Vecchiola, 1959 (Tesis EKausel; [Ref. 6]).
- Tesis de Magíster en Ciencias, mención Geofísica, de Antonia Alvarado, 2002 (Tesis AAlvarado; [Ref. 2]).
- Tesis de Magíster en Ciencias, mención Geofísica, de Maximiliano Leiva, 2014 (Tesis MLeiva; [Ref. 7]).
- Proyecto Fondef de los Departamentos de Geología, Geofísica e Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, 2007 (FONDEF-2007).
- Proyecto del Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA) y el Ministerio de Energía, 2012 (CEGA-2012).



- Proyecto Anillo ACT-18 “TECMA-GOD-MULTI” (ANILLO-2006).
- Campañas académicas del DGF Universidad de Chile, 2005 – 2014 (DGF_2005-2014).

Reproceso de datos de gravedad

Para seleccionar, integrar y validar datos de gravedad provenientes de distintas campañas en una única BD, se definió reprocesar la información desde ginstrumental. El proceso metodológico consistió en:

- Selección y compilación según niveles de información.
- Nivelación.
- Validación de datos: verificación de coordenadas y mediciones de ginstrumental.
- Uniformar los valores de cota (Referenciar a datum común).
- Cálculo de la anomalía de gravedad utilizando una base integrada de datos. La anomalía de gravedad en la presente aplicación metodológica corresponde a la Anomalía de Bouguer “completa” (AB)

El número total de datos utilizados para obtener la Anomalía de Bouguer completa fue de 769. Anillo: 243, Kausel: 227, Pirámide: 21, Linderos: 38, Chicureo: 57 y CEGA: 183

En la Figura 3 se presenta la Anomalía de Bouguer utilizando integradamente lo datos seleccionados y validados para el proyecto.

Modelación gravimétrica preliminar

Considerando toda la información gravimétrica ya mencionada, se trazaron 5 perfiles sobre la cuenca de Santiago para su modelación (Figura 3). Los 5 perfiles poseen las siguientes características:

- Perfil 1: 7 [Km]; Cerro Renca – Cerro San Cristóbal / NW-SE.
- Perfil 2: 29 [Km]; Cerro Laguna Carén - Cerro Los Rulos / W-E.
- Perfil 3: 10 [Km]; Acceso La Pirámide – Parque Mahuida / NW-SE.
- Perfil 4: 21 [Km]; Cerro San Cristóbal – Cerro Chena / N-S.
- Perfil 5: 25 [Km]; Cerro Lo Aguirre – Cerro La Florida / W-E.

En la modelación de cada perfil se consideró un basamento de 2,67 [gr/cc] y sedimentos de 2,1 [gr/cc] y 2,2 [gr/cc] como se puede apreciar en las figuras 4, 5, 6, 7 y 8.

Conclusiones y recomendaciones

- La Anomalía de Bouguer obtenida gracias a la recopilación y proceso de datos gravimétricos nos entrega información de detalle concentrada en el cordón del Cerro San Cristóbal, Santiago Centro. Este set de datos es aportado principalmente por las mediciones de la Tesis del Profesor Edgar Kausel y las campañas de los proyectos Anillo y CEGA.



- En el Perfil 2 (Figura 5) también se observa el alto gravimétrico señalado en el punto anterior. Esto implica la existencia en profundidad de cuerpos de mayor densidad que podrían seguir una continuidad desde el Cerro san Cristóbal hacia el Sur, hasta aproximadamente los 33°35' S (Cerro Chena).
- En algunos sectores de la Región Metropolitana, gracias a pequeñas campañas locales (Chicureo, Pirámide o Buin-Linderos), se tiene un número suficiente de datos para el entendimiento local. Se observan pequeñas cuencas o cambios notorios en la profundidad de basamento. Considerando que no se conoce la geometría completa de la cuenca de Santiago, esta información de carácter local aporta a una mejor comprensión total de la cuenca.
- Los modelos de los perfiles 1 y 3 son los más confiables, pues se limitan a entregar los espesores sedimentarios de un sector bien definido (una cuenca pequeña dentro de la gran cuenca de Santiago); sin embargo, estos espesores tendrían mayor confiabilidad si a lo largo de los perfiles existiera información adicional (pozos u otros datos geofísicos) que permita constreñir al basamento (puntos de amarre).
- La necesidad de información complementaria referida en el punto anterior, se hace evidente en los perfiles 2, 4 y 5. Debido a la extensión y ubicación de esos perfiles sobre zonas de altos gravimétricos, se obtiene una modelación deficiente toda vez que el espesor de sedimento depende de la geometría del basamento y de otros posibles cuerpos de mayor densidad.
- Aún cuando se ha logrado compilar un robusto set de datos gravimétricos, se constata que su distribución y cantidad es insuficiente para construir perfiles que permitan lograr una comprensión de la estructura y geometría de la cuenca. Esto ocurre por la falta de puntos de amarre al basamento en los extremos de los perfiles y/o por la insuficiencia de puntos gravimétricos en su extensión.
- Se recomienda complementar BD actual con datos gravedad adquiridos mediante líneas largas que cubran a lo largo y ancho la cuenca, con el adecuado amarre hacia los bordes, con el propósito de obtener un cuadro general y completo de la forma de la cuenca (morfometría). Incorporar estudios de TEM para complementar la modelación de perfiles grav. (amarres a basamento).

- Adicionalmente, ampliar hacia el Este y el Oeste el área densa cubierta en la tesis de E. Kausel, de tal forma de lograr una franja gravimétrica de detalle, permitirá integrar la morfometría de la cuenca con otras fuentes de información (e.g.: mapas de intensidad sísmicas).

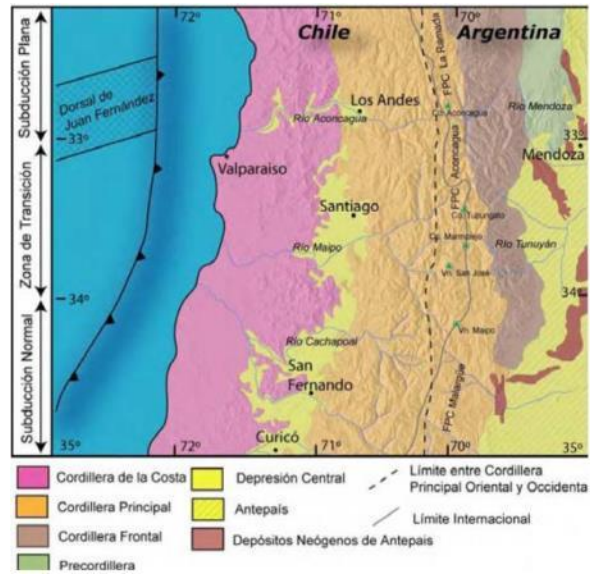


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

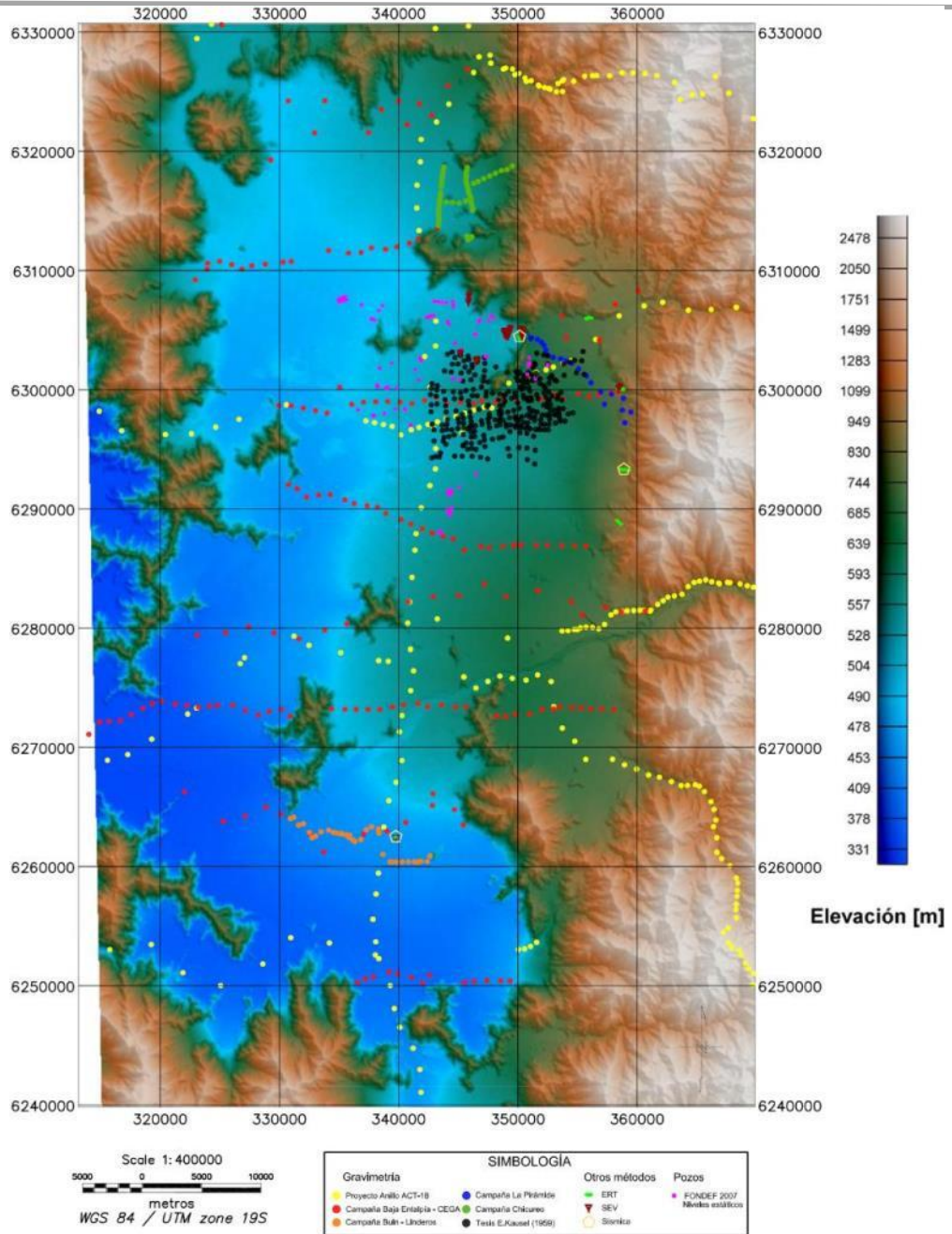


Figura 2. Datos geofísicos compilados, seleccionados y validados.

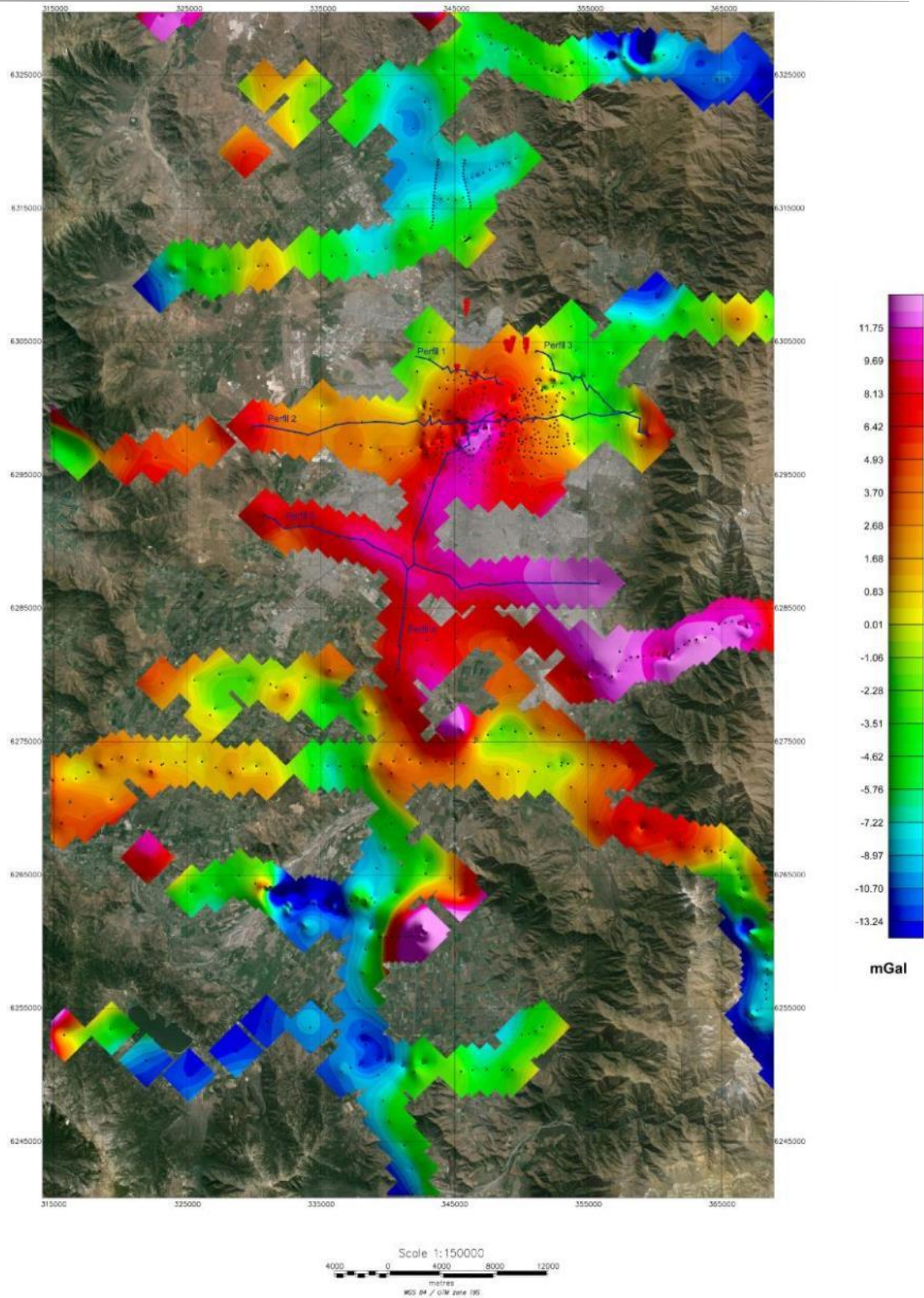


Figura 3. Anomalía de Bouguer y trazas de perfiles de gravedad.



Perfil 1. Cerro Renca - Cerro San Cristóbal

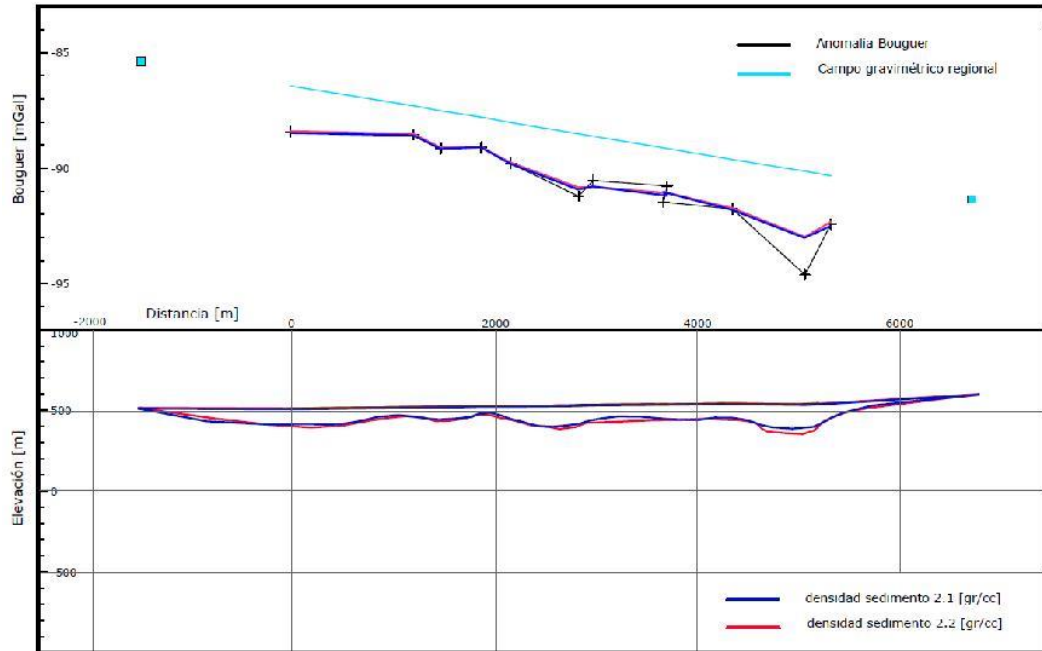


Figura 4. Perfil 1

Perfil 2. Cerro Laguna Carén - Cerro Los Rulos

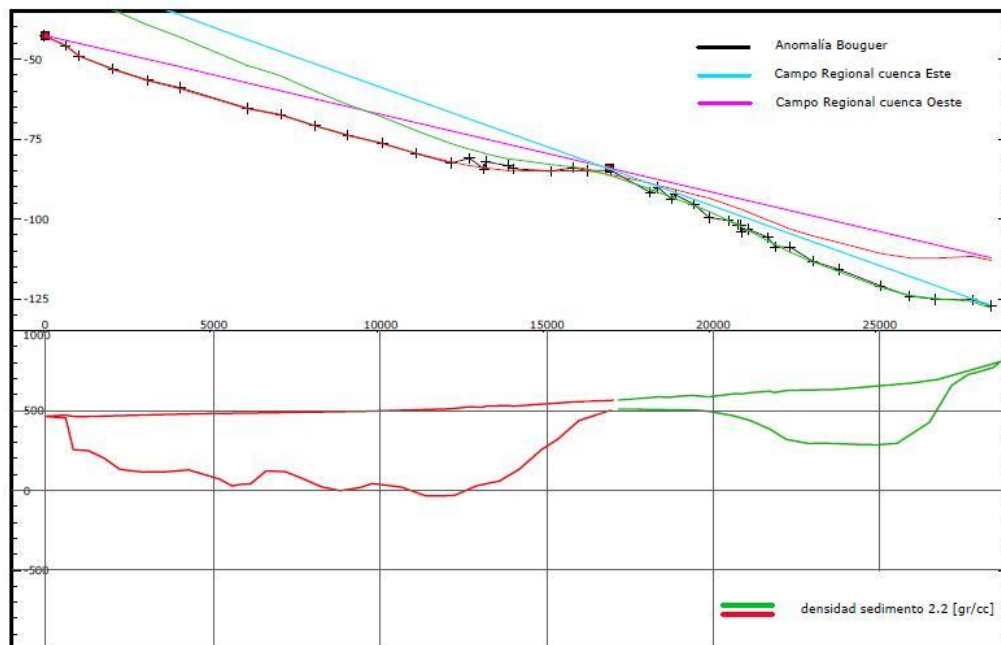


Figura 5. Perfil 2.



Perfil 3. Acceso La Pirámide - Parque Mahuida

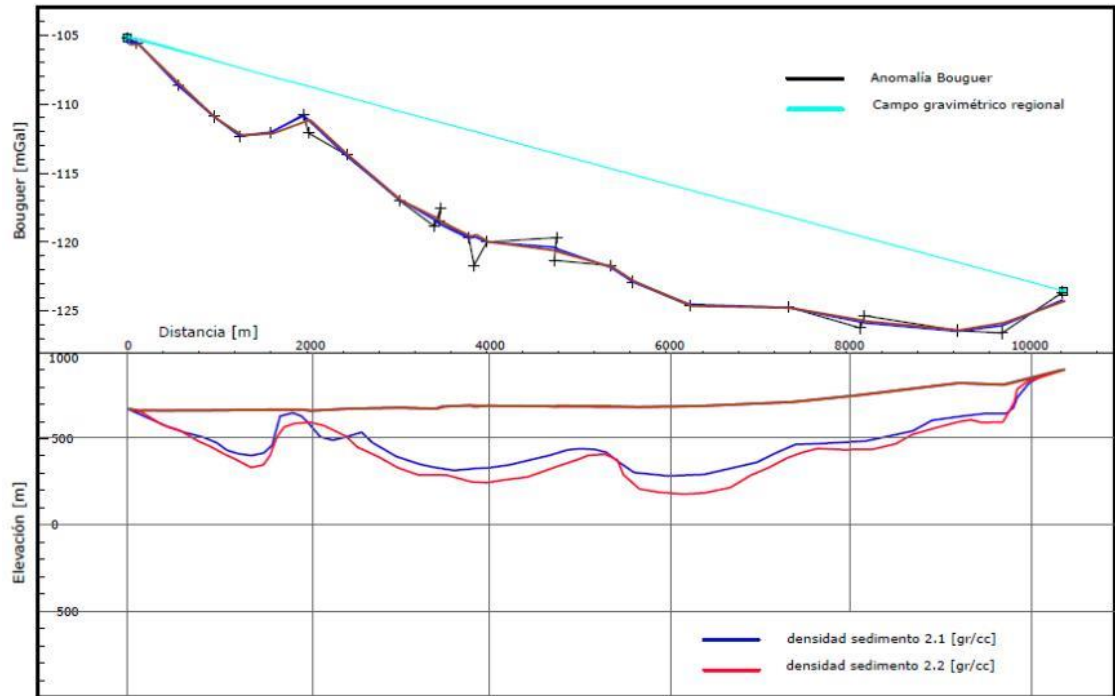


Figura 6. Perfil 3.



Perfil 4. Cerro San Cristóbal - Cerro Chena

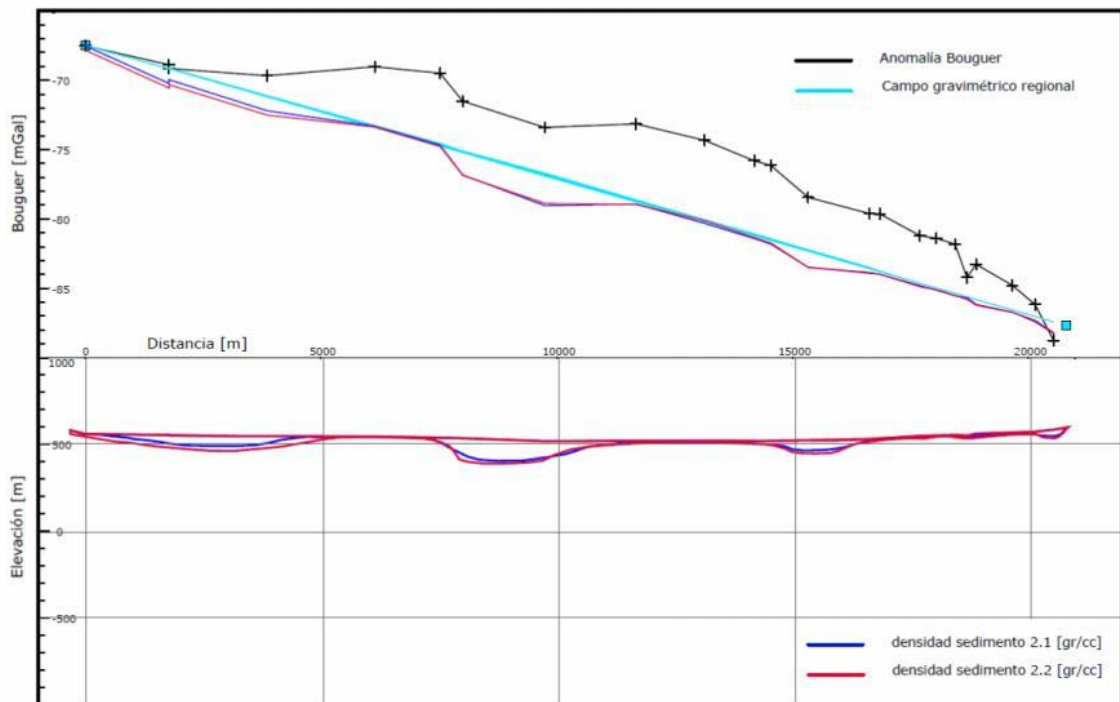


Figura 7. Perfil 4.

Perfil 5. Cerro Lo Aguirre - Cerro La Florida

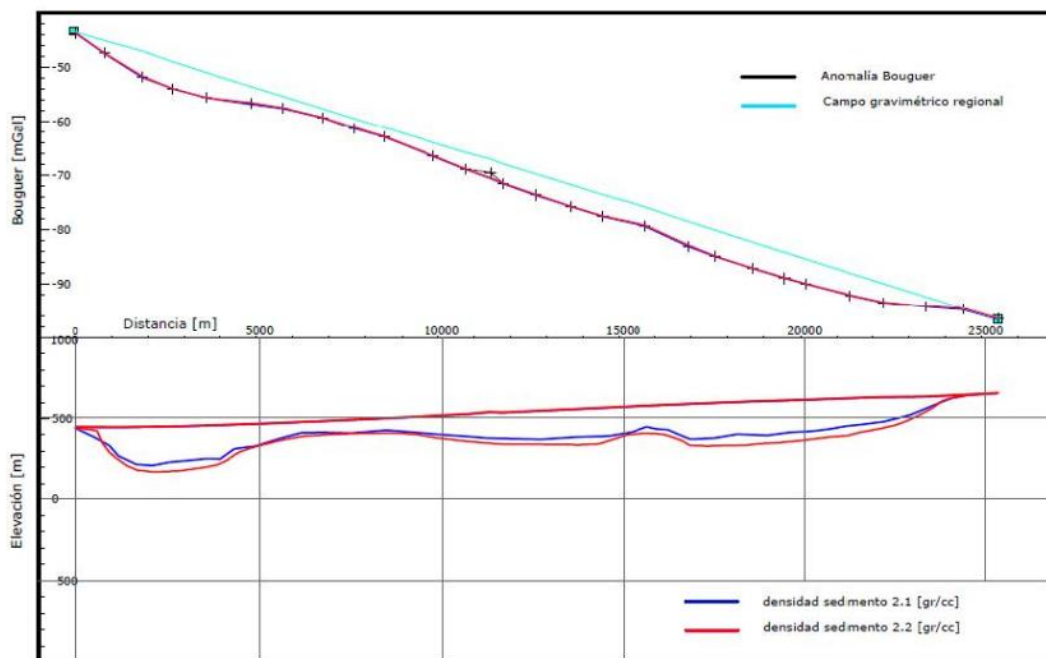


Figura 8. Perfil 5.



Proyecto: Caracterización somera de la falla San Ramón mediante tomografía de resistividad eléctrica

Integrantes

- Maximiliano Leiva S. max.leiva.sotomayor@gmail.com
- Daniel Díaz A. - ddiaz@dgf.uchile.cl
- Emilio Vera S.- evera@dgf.uchile.cl
- Sergio Contreras G. - contreras.sergio@dgf.uchile.cl

Introducción

La Falla San Ramón (FSR), ubicada al pie del frente cordillerano en el sector oriente de Santiago (Figura 1), es una falla inversa de escala cortical, de vergencia oeste y que pone en contacto unidades del bloque cordillerano y el relleno de la cuenca de Santiago. El estudio de la falla se ha visto limitado por su proximidad a la ciudad, puesto que la expansión urbana ha destruido gran parte de su expresión superficial y/o la acumulación de depósitos fluvio-aluviales la ha cubierto. Esto limita el conocimiento de la ubicación precisa de la traza de la falla a los pocos lugares donde se conserva expresión superficial, mientras que el resto solamente se ha inferido a partir de distintos estudios (Rauld, 2011).

La influencia y control que la FSR pueda ejercer en la morfología de la cuenca de Santiago (Rauld, 2002), la evolución tectónica regional (Armijo et al, 2006; Rauld, 2011), el riesgo sísmico derivado de la evidencia de actividad sísmica reciente (Armijo et al, 2010; Rauld, 2011) y en el flujo de aguas subterráneas (Díaz et al, 2014) hacen de gran importancia conocer la ubicación de su traza en el borde oriental de la cuenca de Santiago, así como su continuidad al norte y sur.

En este documento presentamos los resultados de un proyecto de Tesis de MSc., desarrollado durante el segundo semestre del año 2014, sobre el estudio de la estructura de resistividad eléctrica en la vecindad de la traza de la FSR, orientado a desarrollar una metodología que permita el reconocimiento y mapeo extensivo de la FSR en zonas cubiertas.

Este proyecto de investigación aplicada forma parte de la línea de investigación “Modelo Geofísico de Falla y Aplicaciones”, desarrollado por el Núcleo de Geofísica Aplicada (NGA), con financiamiento parcial del Programa de Riesgo Sísmico (PRS) del Departamento de Geofísica (DGF) de la Universidad de Chile.

Objetivos y alcances

Objetivo general

- Estudiar la estructura de resistividad eléctrica en los segmentos conocidos de la FSR.



- Identificar la FSR en zonas cubiertas, donde su traza ha sido inferida, en base a una estructura característica de resistividad eléctrica.

Aspectos Metodológicos

Hipótesis

Si se considera que la FSR en cercanía a la superficie generaría variaciones horizontales y verticales en la resistividad eléctrica de la zona, estas variaciones se explicarían principalmente por los siguientes factores:

- Cambios en el nivel freático, controlados por condiciones de permeabilidad en el plano de falla.
- La deformación en el relleno sedimentario superior de la cuenca de Santiago.
- Las diferentes composiciones de los estratos afectados por la falla.

Entonces, las variaciones de resistividad originadas por la falla pueden ser utilizadas para el mapeo de su traza en zonas cubiertas.

Metodología

Para verificar la hipótesis planteada, se dispone de 2 perfiles de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) sobre zonas donde se ha reconocido y caracterizado la FSR (Díaz et al, 2014). Estos perfiles de ERT permitirán caracterizar las variaciones de resistividad producidas por la falla a partir del análisis de modelos de inversión de resistividad.

La caracterización de estos perfiles será utilizada para identificar la FSR en los modelos de resistividad que se obtengan para perfiles de ERT adquiridos en zonas donde se ha inferido su traza.

Reproceso y modelamiento de datos ERT disponibles

Los estudios geofísicos someros de la FSR, o al menos los publicados hasta el momento, se acotan a los datos y resultados de Díaz et al. (2014), donde se presenta datos de ERT, SEV y estudios sísmicos de onda P. Una de las grandes ventajas de los datos ahí presentados, es la certeza de que se ubican sobre la traza de la falla, lo que permiten correlacionar las anomalías observables y la estructura somera de la falla que es conocida, estudiada y descrita (Armijo et al, 2010; Rauld, 2011; Vargas y Rebolledo, 2012; Vargas et al, 2014). Se reconoce entonces la importancia de incluir estos datos en el presente trabajo para su análisis e interpretación.

Utilizando el set de datos corregidos se realizó una nueva inversión de los perfiles San Ramón y Quebrada de Macul. Para esto fue utilizado el software de modelamiento directo e inversión de datos de resistividad DCIP2D.



Los modelos de resistividad resultantes de la inversión de los datos corregidos se presentan en las figuras 2 y 3.

Adquisición, proceso y modelamiento de perfiles ERT

Como parte del presente trabajo se llevó a cabo la adquisición de dos perfiles ERT, situados en distintos sectores en los cuales se cuenta con una ubicación inferida para la traza de la FSR. Los sectores elegidos corresponden al Parque Monseñor Escrivá de Balaguer (Figura 4), en la comuna de Vitacura, y el Bosque El Panul, en la comuna de La Florida (Figura 5).

Para la adquisición de datos se utilizó un equipo Iris Syscal Pro-Switch 48 (Figura 6) en conjunto con dos cables multielectrodos de 24 salidas, totalizando 48 electrodos simultáneos en terreno.

Con los nuevos datos adquiridos como parte del presente trabajo, se realizó una inversión a fin de obtener modelos de resistividad para los perfiles Escrivá y Panul (Figuras 7 y 8). Se utilizó el mismo software de inversión empleado en el modelamiento de los datos reprocesados de los perfiles San Ramón y Quebrada de Macul.

Conclusiones

- Se obtuvo modelos de resistividad eléctrica 2D para cada uno de los cuatro perfiles de ERT que forman parte de este trabajo. Estos modelos permitieron la caracterización de la estructura de resistividad eléctrica somera y establecer vínculos entre los rasgos observados y la presencia de la traza de la FSR en cercanía a la superficie.
- El análisis de la información morfoestratigráfica en la zona de estudio permite identificar rangos de resistividad característicos para los distintos tipos de depósitos sedimentarios reconocidos. Se observa que los depósitos modernos, con edades del Pleistoceno Superior y más jóvenes se correlacionan con resistividades eléctricas por sobre los 150 Ohm-m, los depósitos del Pleistoceno Medio y Superior presentan resistividades en el rango de 25 a 150 Ohm-m, mientras que los depósitos del Pleistoceno Inferior y Medio presentan resistividad por debajo de los 25 Ohm-m.
- En base a las diferencias de resistividad observadas entre depósitos sedimentarios de distintas edades y el cambio en las condiciones de permeabilidad que presenta la FSR en superficie, es posible identificar su traza aún por debajo de la cobertura sedimentaria utilizando la ERT, tal como ha sido aplicada en el presente trabajo, para profundidades menores a 100 [m].

Recomendaciones

- En lo que respecta a futuros trabajos, se recomienda el uso extensivo de la metodología presentada en este trabajo para el mapeo de la FSR en las zonas donde su traza se ha inferido o se desconoce.
- De acuerdo a los resultados, se sugiere como trabajo futuro la aplicación de la metodología ERT en otros sistemas de fallas a lo largo de Chile.
- Para ampliar el alcance de la caracterización de un sistema de fallas aumentando la profundidad del estudio, se recomienda ajustar la metodología incorporando otras técnicas geofísicas, tales como gravimetría y/o sísmica pasiva (adquisición de ruido sísmico).

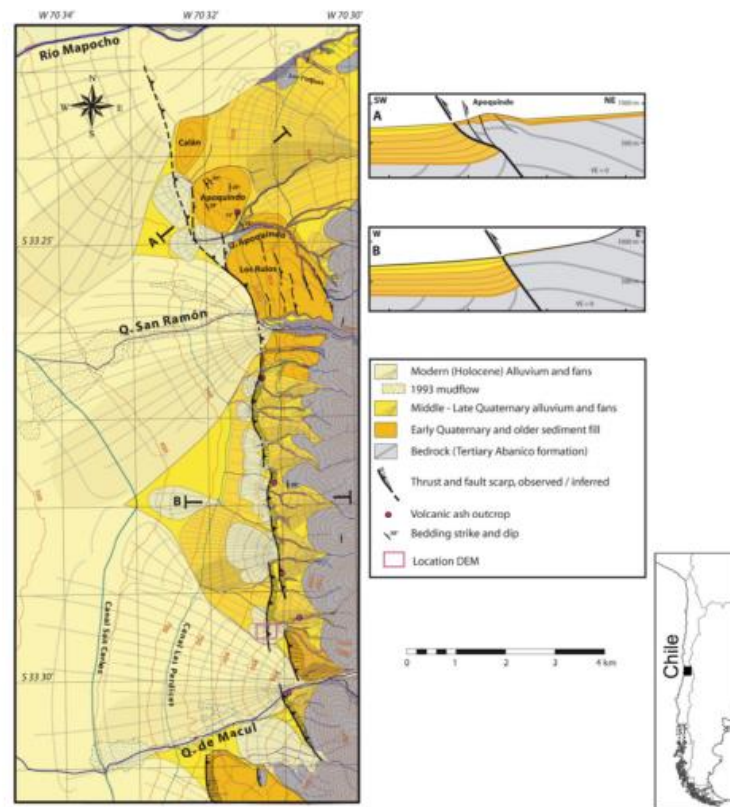


Figura1: Mapa del piedemonte y el sector oriental de Santiago. En la figura la traza observada e inferida de la Falla San Ramón y las distintas edades de sedimentos reconocidas en el área. Modificado de Rauld (2011).

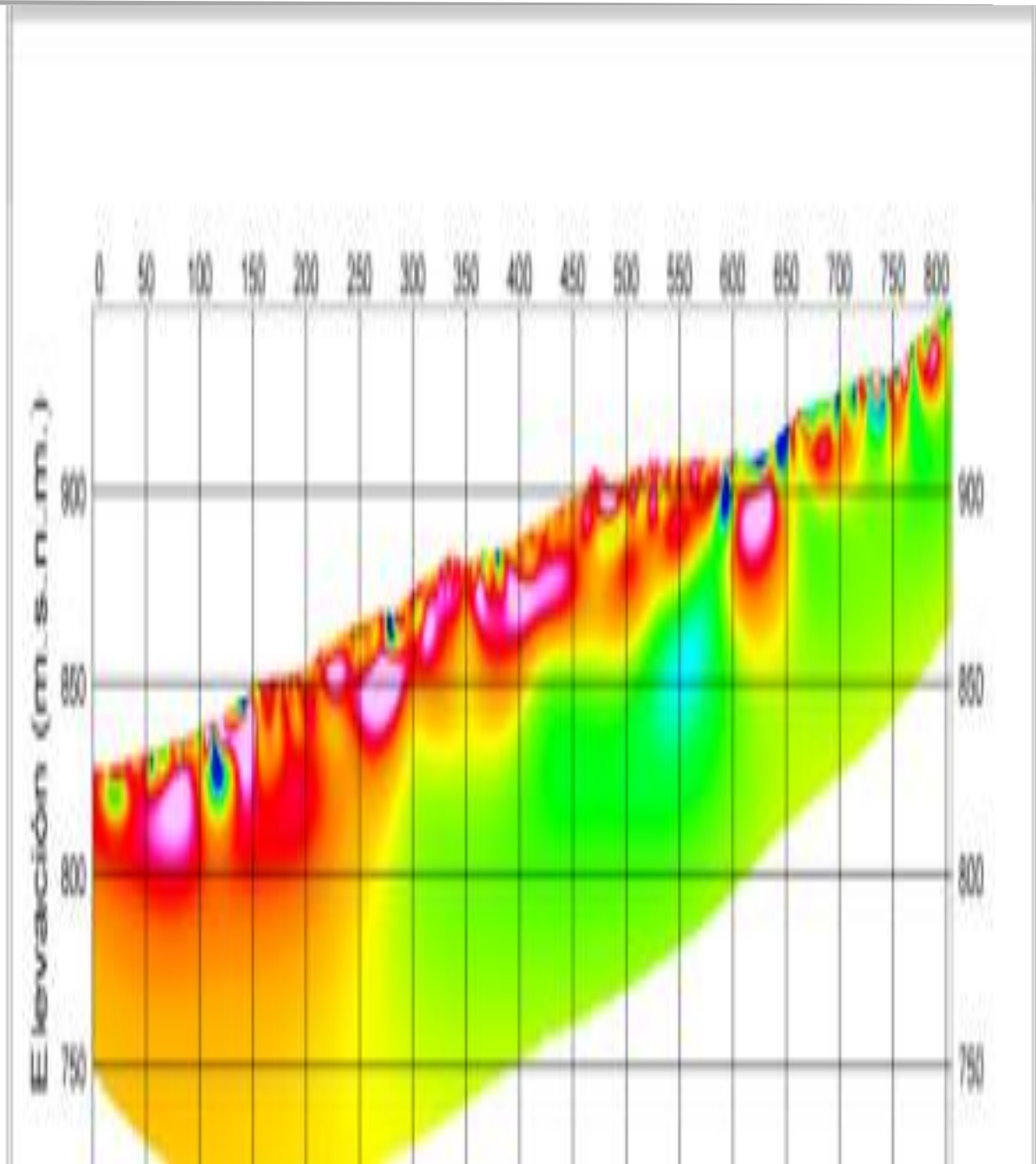


Figura 2: Modelo de resistividad del perfil Quebrada de Macul.

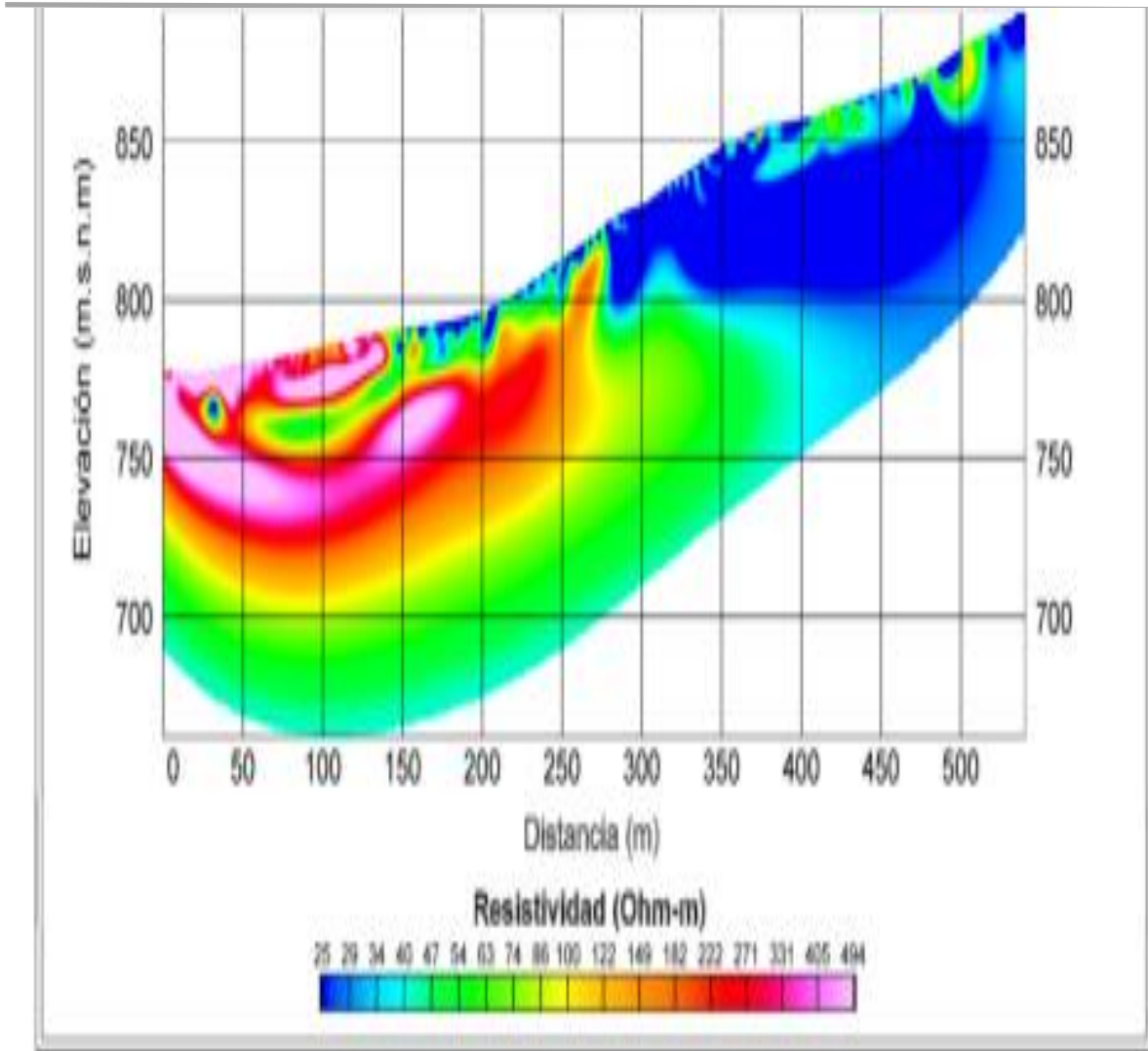


Figura 3: Modelo de resistividad del perfil San Ramón.



Figura 4: Ubicación del perfil ERT Escrivá.

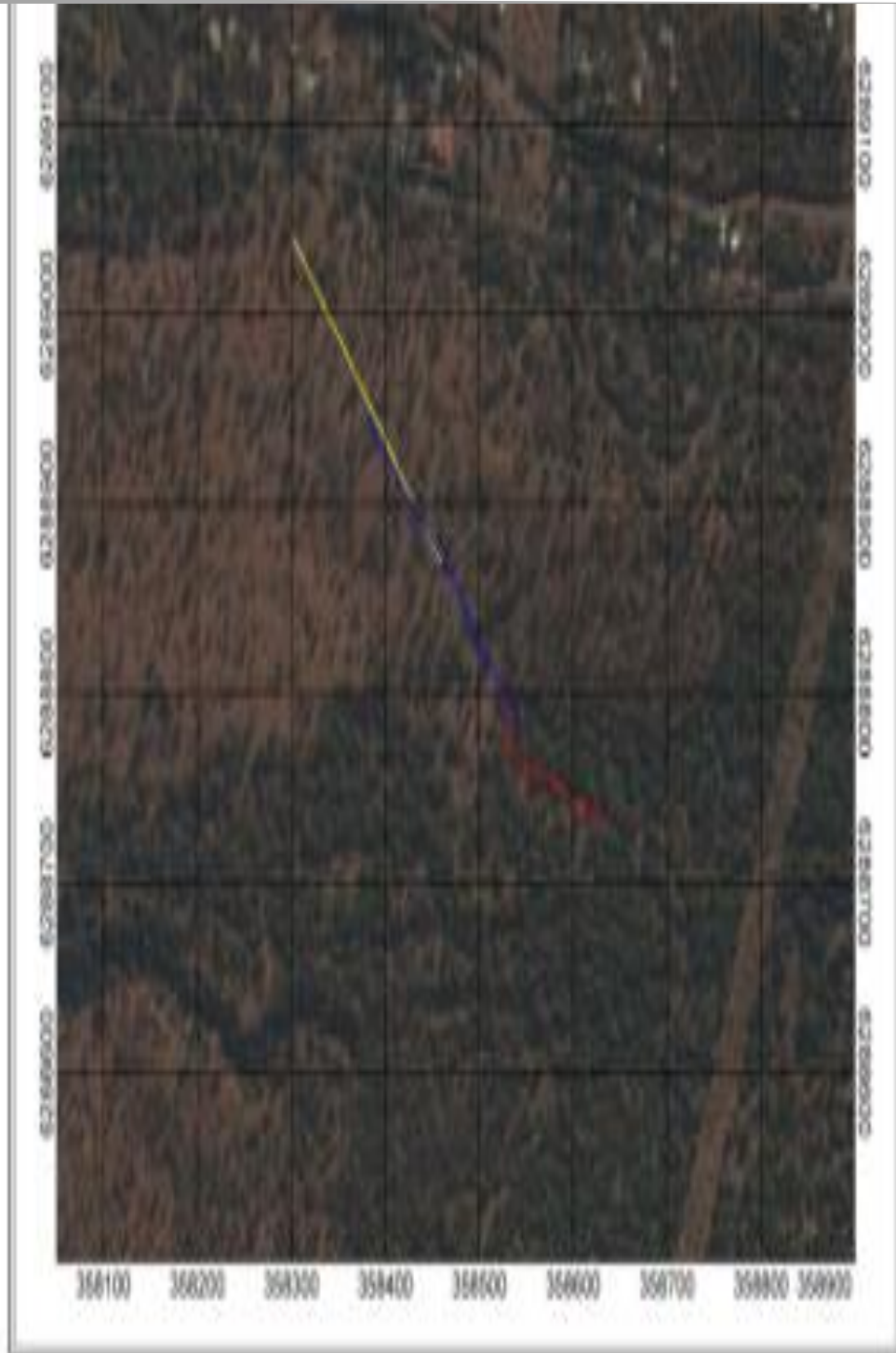


Figura 5: Ubicación del perfil ERT Panul.



Figura 6: Equipo de medición de resistividad e IP, modelo Syscal, Pro de Iris Instruments.

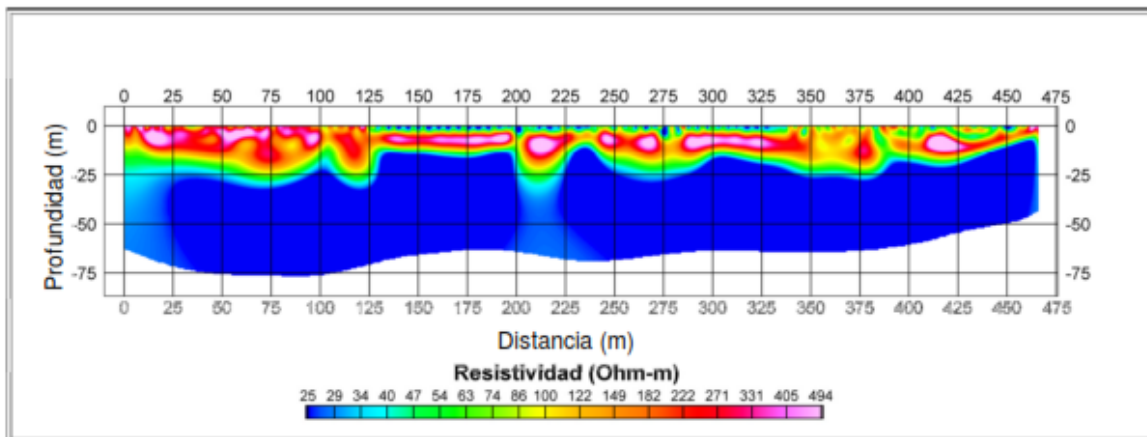


Figura 7: Modelo de resistividad, perfil Escrivá.

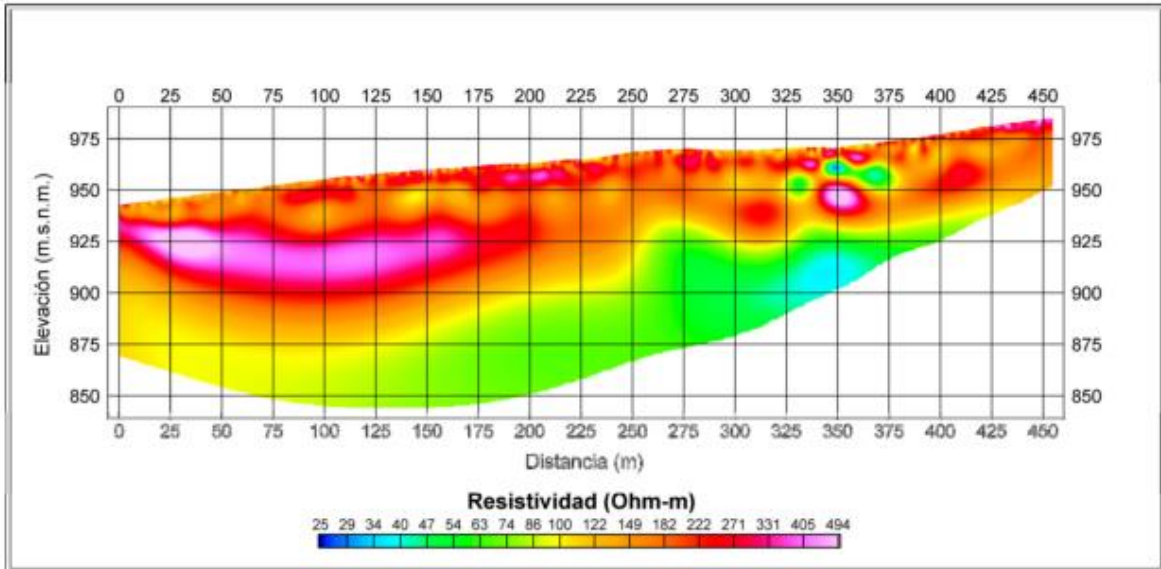


Figura 8: Modelo de resistividad, perfil Panul.



GESTIÓN PRESUPUESTARIA 2014

	Monto	%
Apoyo Estudiantes ¹	41.681.430	14%
Honorarios Investigadores ²	80.199.995	27%
Honorarios Personal PRS ³	65.103.549	22%
Gastos Operacionales ⁴	109.930.226	37%
Total :	296.915.200	

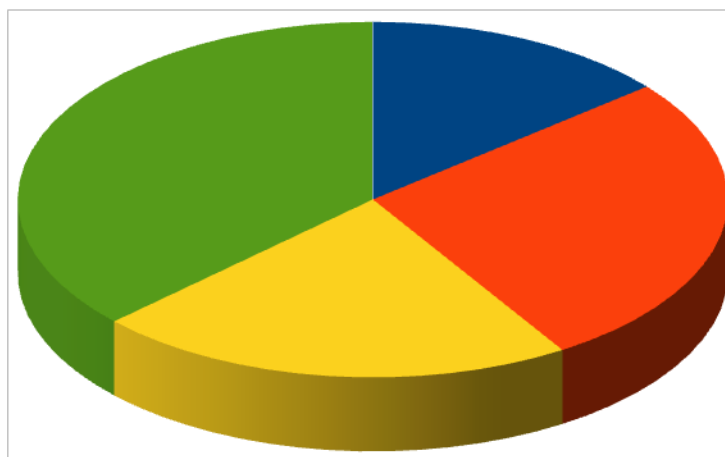
1- Integración de tesis y prácticas profesionales.

2- Académicos invitados, postdoc, investigadores del PRS.

3- Personal técnico, administrativos, apoyo de terreno.

4- Gastos Operacionales, corresponde a compra y mantención de equipos, impuestos, insumos oficina, traslados, viáticos.

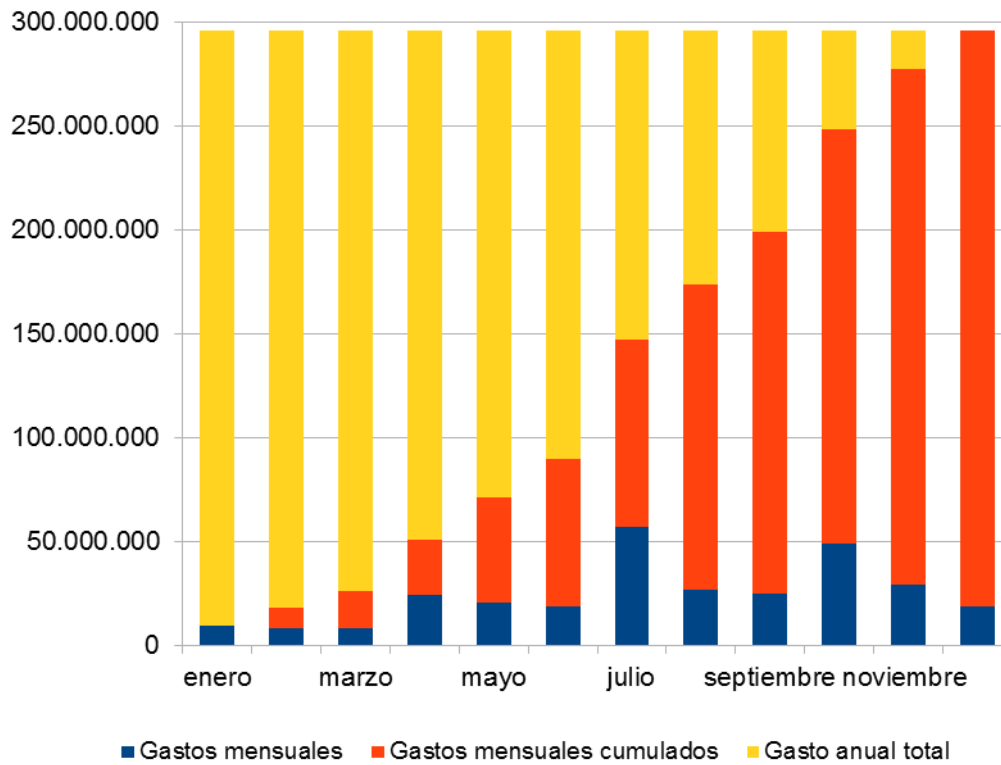
Repartición gastos PRS 2014 por categoría



■ Apoyo Estudiantes (1) ■ Honorarios Investigadores (2)
■ Honorarios Personal PRS (3) ■ Gastos Operacionales



Repartición gastos mensuales PRS 2014





GESTIÓN PRESUPUESTARIA 2015

	Monto	%
Apoyo Estudiantes ¹	41.133.286	36,15%
Honorarios Investigadores ²	31.859.789	28,00%
Honorarios Personal PRS ³	20.670.302	18,17%
Gastos Operacionales ⁴	20.108.541	17,67%
Total :	113.771.918	

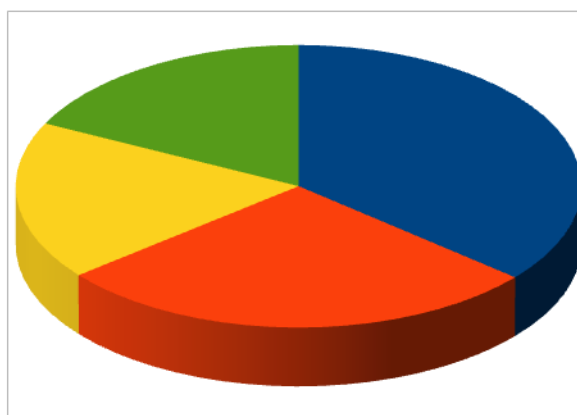
1- Integración de tesis y prácticas profesionales.

2- Académicos invitados, postdoc, investigadores del PRS.

3- Personal técnico, administrativos, apoyo de terreno.

4- Gastos Operacionales, corresponde a compra y mantención de equipos, impuestos, insumos oficina, traslados, viáticos.

Repartición gastos PRS 2015 por categoría



- Apoyo Estudiantes (1)
- Honorarios Investigadores (2)
- Honorarios Personal PRS (3)



Repartición gastos mensuales PRS 2015

