

3.2.3 Mapas SISRA

Los mapas producidos a escala de 1:5,000,000 incluyen 1) Mapas de Epicentros y Grandes Terremotos: 2) Mapa de Máximas Intensidades: 3) Mapa Neotectónico: 4) Mapa de Deslizamientos y Licuación (1:10,000,000).

Los mapas de máximas intensidades y de licuación de suelos y deslizamientos, representan la distribución de los efectos producidos por los terremotos importantes en la región. Esto se ha logrado estudiando cuidadosamente en cada país las características de los eventos sísmicos más importantes, a partir de la información relevante recopilada y analizada. Aunque investigaciones futuras pueden brindar nuevos datos sobre este tema, y que sea necesario introducir algunas modificaciones sobre estos resultados, se considera para el caso del mapa de intensidades máximas, que no habrán cambios mayores pudiéndose tomar como verdaderamente representativo de la región.

Se puede obtener información más detallada sobre estos mapas y su disponibilidad, de la sede de CERESIS:

CERESIS

Apartado 14-0363

Lima

PERU

Telefono: (51 1) 433-6750

Fax: (51 1) 322-1288

E-Mail: giescere@inictel.gob.pe

WEB: <http://www.dgf.uchile.cl/ceresis.html>

3.2.3.1 Mapa de Epicentros y de Grandes Terremotos

Se elaboraron dos mapas: uno con la representación gráfica de todos los eventos y el otro sólo con eventos de magnitud M_s , mayor o igual a 6.5. Los eventos en el primer mapa fueron clasificados

de acuerdo a la profundidad del foco, conforme a los rangos definidos por Gutenberg y Richter (1954) como sigue:

Foco profundo:	0 - 70 kms
Foco intermedio	70 - 300 kms
Foco profundo:	mayor que 300 kms.

El segundo mapa clasifica los eventos en dos rangos de magnitud: (a) magnitudes $6.5 < M_s < 8.0$, y (b) magnitudes $M_s > 8.0$. Además, los eventos con magnitud $M_s > 8.0$, están identificados por el año de su ocurrencia. Para poder clasificar los eventos en rangos basados en magnitudes M_s , fue necesario calcular la magnitud M_s para aquellos eventos que sólo tenían una magnitud m_b reportada o una intensidad máxima. Se hizo una regresión de mínimos cuadrados, obteniendo M_s de m_b usando los datos del catálogo para eventos de profundidad menor o igual a 55 kms. El valor de 55 kms. fue escogido como el límite inferior para eventos poco profundos, luego de un examen cualitativo de la distribución de profundidades en el catálogo. Esta regresión produjo la siguiente fórmula

$$M_s = 6.44 + 2.18 m_b \quad (1)$$

Esta fórmula fue usada para calcular un valor M_s si no hubiera un valor M_s pero, si un valor m_b . Una segunda regresión fue hecha obteniendo M_s de I_0 , también para eventos con profundidad menor o igual a 55 kms. Esta regresión produjo la siguiente ecuación

$$M_s = 1.26 + 0.63 I_0 \quad (2)$$

Esta ecuación es muy similar a la ecuación derivada por Gutenberg y Richter (1956) que es:

$$M = 1 + 2/3 I_0 \quad (3)$$

La ecuación 2 fue usada para calcular M_s de I_0 cuando no hubieron valores de magnitud disponibles. En Chile, los valores estimados de M_s (listados bajo otras magnitudes) fueron usados antes que los valores calculados de I_0 . En los casos para los cuales no se dispone de un valor M_s , m_b o I_0 , el evento no se ha incluido en el mapa de grandes terremotos.

3.2.3.2 - Mapa de Intensidades Máximas para América del Sur

Como complemento al Catálogo de Intensidades se elaboró un mapa regional de intensidades sísmicas máximas.

Para obtener el producto final fue necesario recopilar y analizar toda la información estudiada previamente por diferentes autores, agregar datos nuevos y, en muchos casos, hacer una nueva evaluación de la información disponible. Se solicitó a cada país, a través de su Coordinador Nacional, elaborar mapas nacionales, a escala 1:2,000,000, que condensarán gráficamente los resultados obtenidos del análisis detallado de los registros de intensidades máximas, ocurrencia de licuación de suelos y deslizamientos asociados con terremotos.

Los mapas nacionales de intensidades máximas fueron elaborados siguiendo los lineamientos generales siguientes:

- a) Analizar detalladamente la distribución de intensidades sísmicas para cada uno de los terremotos más importantes ocurridos en los respectivos países y trazar curvas isosistas, en lo posible.
- b) Usar la Escala de Intensidad Mercalli Modificada para representar tales intensidades.
- c) Considerar, para la estimación de las intensidades sísmicas en un sitio, los niveles máximos de daños alcanzados, sin diferenciar si el daño fue debido, solamente, al movimiento del suelo o si, además, contribuyeron otros fenómenos, tales como licuación de suelos o deslizamientos.
- d) Expresar, en esta fase del programa, las intensidades sísmicas por medio de curvas isosistas, recordando que los resultados deben ser concordantes con los datos consignados en los Catálogos Sísmicos.
- e) Incluir toda la información disponible hasta fines de 1982.
- f) Elaborar los mapas de intensidades máximas para cada país mediante la superposición de las curvas isosistas obtenidas para cada terremoto estudiado individualmente.
- g) Expresar por medio de un valor puntual aquellas intensidades extremas de carácter local.

Los resultados obtenidos fueron integrados en un mapa de América del Sur a escala 1:5,000,000. Las discrepancias surgidas en las zonas límites entre países fueron resueltas satisfactoriamente en reuniones de coordinación.

3.2.3.3 - Mapa Neotectónico Preliminar para América del Sur

En la preparación del Mapa Neotectónico a escala 1:5,000,000, se empleó como base topográfica el Mapa de América del Sur a escala 1:5,000,000, publicado por la "American Geographical Society of New York" en 1955, Proyección Conforme Cónica Bipolar Oblicua, simplificado y actualizado, tal cual fue utilizado en el Mapa Tectónico de América del Sur, publicado en 1978, por la Comisión de la Carta Geológica del Mundo

Sobre esta base se transfirió la información contenida en los mapas nacionales a escala 1:2,000,000, teniéndose presente las correcciones que fueron necesarias introducir, por los problemas causados por las diferentes proyecciones cartográficas utilizadas por cada país participante. En la integración de la información se consideró, además, ciertos antecedentes contenidos, tanto en el Mapa Tectónico de América del Sur (1978), el Mapa Geológico de América del Sur (1964), como en el Mapa Metalogénico de América del Sur (1983); todos publicados a escala 1:5,000,000 por la Comisión de la Carta Geológica del Mundo. Por otra parte, en relación con los elementos de la Tectónica de Placas, se consideró la información contenida en la hoja de la cuenca del Pacífico del "Plate-Tectonic Map of the Circum-Pacific Region", publicada en 1984 por la "American Association of Petroleum Geologists" y preparada por el "Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources" Para la información del Volcanismo activo, se usaron los datos publicados por Simkin et al, en "Volcanoes of the World", Smithsonian Institution (1981).

En los informes nacionales, están contenidas las citas bibliográficas de otras publicaciones nacionales y regionales, que sirvieron de base para la selección de la información neotectónica.

El rigor y exactitud de los elementos geológicos neo-tectónicos, tales como fallas activas con movimientos históricos asociados a grandes sismos, zonas de hundimientos y solevantamientos, unidades volcánicas y volcanes activos, etc., encuentran su precisión en la información proporcionada por los Mapas Nacionales, los cuales, sin duda, fueron confeccionados sobre la base de un exhaustivo análisis y selección de la información existente, complementada, en muchos casos, con un análisis de fotos aéreas, imágenes de satélite y, en algunos casos, con control de terreno. En todo caso, no puede buscarse más detalles en este mapa, que el que proporciona la escala 1:5,000,000, es decir, él cumple

su objetivo, cual es, visualizar a nivel continental aquellas áreas regionales activas y con movimientos holocénicos e históricos, que permiten identificar zonas de mayor peligro geológico y que constituyen un elemento básico para evaluar el riesgo sísmico de la Región Andina de América del Sur, las que a su vez deben ser objeto de estudio de detalle en una fase posterior

Dentro del contexto de la Tectónica Global de Placas, el Continente Sudamericano conforma la Placa del mismo nombre, en contacto con las Placas del Caribe, Nazca y Antártica y por lo tanto genera un margen regional dinámicamente activo, como lo son las zonas de subducción y de fallas transcurrentes, con una intensa generación de sismos, erupciones volcánicas y movimientos verticales diferenciales de bloques y, por lo tanto, constituyen una zona de peligro y alto riesgo para las poblaciones, las que alcanzan su mayor densidad a lo largo de este margen andino de América del Sur. Es esta región, la que de acuerdo con los objetivos del Proyecto SISRA, requiere de una especial atención. Por lo tanto, el objetivo principal que se ha tenido en la preparación del Mapa Neotectónico, es disponer de una carta continental que reúna la información geológica y tectónica básica, para la evaluación del peligro sísmico. Así, la interpretación geológica de los elementos neotectónicos y su correlación con la información sismológica (distribución de epicentros, profundidades focales, magnitudes, etc.), permitirán disponer, finalmente, de un mejor conocimiento sismo-tectónico, orientado a la mitigación del riesgo sísmico-volcánico en América del Sur.

Explicación del Mapa.-

Un primer marco tectónico global de América del Sur permite reconocer a gran escala, la presencia de dos grandes unidades tectónicas a) Una, relativamente estable, compuesta por las zonas cratónicas o escudos, conocidas como las plataformas Sudamericana y Patagónica (de Almeyda et al 1978), que conforman toda la región central, oriental y patagónica del Continente, a ellas pertenecen la totalidad de los territorios de Brasil, Paraguay, Uruguay, Guayanas y Surinam, así como la región central y sur de Venezuela, el Oriente de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y la mayor parte del territorio argentino, y b) Una región dinámica activa, compuesta por la cadena orogénica montañosa de los Andes, que se extiende a lo largo de todo el margen occidental del Continente enlazándose, en el extremo norte, con el sistema montañoso del Caribe, constituyendo el borde de contacto de la Placa Sudamericana con las Placas del Caribe, Nazca y Antártica, dentro de las cuales queda comprendida la mayor parte de los territorios de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Chile, la región occidental altiplánica de Bolivia y el sector occidental de Argentina. Es precisamente esta segunda gran unidad tectónica la que, de acuerdo con los objetivos del Proyecto SISRA, requiere de una investigación detallada. Así, con el fin de disponer de unidades regionales que permitan reconocer

con claridad la zona afectada por movimientos tectónicos recientes, se ha filtrado y globalizado una serie de unidades o formaciones geológicas, que aunque entre sí difieren en cuanto a la génesis de los agentes que la generaron y tienen variaciones cronológicas, pueden agruparse en cubiertas sedimentarias y volcánicas que permiten reconocer fácilmente movimientos tectónicos históricos o aun geológicamente recientes.

Los elementos y unidades geológicas representadas en el Mapa Neotectónico, consisten fundamentalmente en todas aquellas estructuras que evidencian o sirven de base para inferir la actividad tectónica del Pleistoceno-Reciente, tales como depósitos de materiales aluviales, fluviales, etc.; cubiertas volcánicas, depósitos marinos, que permiten evidenciar el fracturamiento cuaternario y los movimientos de hundimiento y solevantamiento tanto interior como costeros. Distribución de centros volcánicos y volcanes activos y su asociación con sistemas de fallas cuaternarias y activas, fallas activas con registro histórico, asociadas a grandes sismos y otras estructuras menores, como micropliegues en sedimentos cuaternarios y volcanes de lodo asociados a movimientos de falla.

Los antecedentes relacionados tanto con el movimiento absoluto expresado en centímetros por año, como el movimiento relativo de las Placas y el contacto de Placas, han sido tomados de los datos contenidos en el "Mapa de Tectónica de Placas de la Región Circum-Pacífica", editado en 1984, por la "American Association of Petroleum Geologists" y preparado por el "Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources".

3.2.3.4 Mapa de Licuación de Suelos y Deslizamientos

El mapa de licuación de suelos y deslizamientos asociados a los terremotos, a escala 1:10,000,000, es un primer ensayo para dar a conocer estos importantes efectos de los terremotos. Sin duda existe copiosa evidencia adicional acerca de la ocurrencia de estos fenómenos, que no ha sido estudiada, si bien se revisaron más de mil referencias de casos documentados e inéditos para preparar el mapa respectivo.

3.3 PROYECTO CERESIS/IPGH

La Introducción (Secc. 2) se refiere al Proyecto IPGH, financiado por el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (IDRC), y la relación entre CERESIS y el IPGH, en el contexto del referido proyecto.

La revisión y actualización de los catálogos sísmicos es un proceso continuo a medida que se encuentra nueva información, se relocalizan epicentros, se recalculan magnitudes e intensidades o se eliminan errores. Cuando se manejan miles de datos que provienen de diferentes fuentes no se tiene la seguridad de haber corregido absolutamente todos los errores.

Las facilidades con que hoy cuentan las instituciones de la región para comunicarse para transferir datos y toda clase de información - textos y gráficos - de manera rápida, eficaz y económica, hace posible "mantener al día" un catálogo regional. En principio, se puede contar con una versión final, depurada y oficial del catálogo regional, con no más de dos años de atraso. Una de las metas a corto plazo de CERESIS es poder difundir el catálogo CERESIS-95 en 1997.

Por tratarse de un organismo inter-gubernamental, toda publicación de CERESIS, de tipo regional, necesariamente debe contar con la aprobación de los Estados Miembros involucrados. El catálogo CERESIS-91.H ha sido aprobado por los Estados Miembros para su entrega al IPGH y para su difusión directa por parte de CERESIS.

La compilación del Catálogo SISRA fue un proceso muy tedioso no obstante que se contó con el valioso apoyo de las facilidades de cómputo del U. S. Geological Survey y la dedicación exclusiva de Bonny L. Askew. El catálogo regional se publicó en 9 volúmenes impresos, con un total de 2,700 páginas (!) y 10 kilos de peso; y también en cinta magnética. Con esa excelente base de datos se procedió a la actualización del catálogo de hipocentros, hasta Diciembre 1991, acorde con lo decidido para el proyecto IPGH. El catálogo actualizado de CERESIS, denominado CERESIS-91 H, es la continuación del catálogo SISRA-H. El proceso de compatibilización, depuración, unificación e integración de los catálogos nacionales actualizados se inició en INPRES, Argentina, y luego se llevó a cabo en la sede de CERESIS. El formato SISRA de CERESIS fue adoptado por el IPGH.

El adelanto tecnológico en los últimos 10 años ha puesto en manos de los usuarios poderosos computadores personales de fácil manejo y sofisticados programas (software) para trabajar con los miles de datos de los catálogos. Además, como ya se ha mencionado, están al alcance de cualquier persona, con un mínimo de equipamiento, todos los atributos de Internet para tener enlace internacional rápido, confiable y económico. Este hecho ha facilitado enormemente el trabajo de producir un catálogo regional. Sin embargo, la dura tarea de compilar el catálogo, depurar los datos, y tomar decisiones cae sobre los hombros de docenas de personas expertas y dedicadas.

El catálogo SISRA-H contiene 19,311 eventos sísmicos hasta Diciembre 1981; el catálogo CERESIS-91.H contiene 45,311 eventos hasta Diciembre 1991. Es pertinente citar del artículo de R. Zúñiga y M. Wyss "Inadvertent Changes in Magnitudes Reported in Earthquake Catalogs: Their Evaluation through b-Value Estimates" (Bull. SSA Vo. 85, No. 86, Dec. 1995), los siguientes párrafos:

"Se supone que la calidad de los catálogos mejora con el tiempo porque mejoran las técnicas de observación y registro así como el área de percepción de las estaciones. Al decir "mejora" se da a entender que los nuevos catálogos progresivamente contienen un mayor número de eventos pequeños y que el número de incertidumbres respecto a los parámetros hipocentrales disminuye. Sorprendentemente, este supuesto no es cierto para algunos catálogos importantes. Por ejemplo, Habermann (1982) mostró que el catálogo mundial telesísmico era menos completo para la década de los 70 que para la década anterior. Aparentemente esto se debió al cierre de algunas redes sísmicas en USA. El propósito de los catálogos sísmicos es proporcionar un archivo que contiene la distribución de los sismos en función del espacio, tiempo y magnitud. Cuanto más preciso es este archivo, tanto mayor nuestra posibilidad de entender los procesos tectónicos que conducen a un gran terremoto. Sin embargo, la mayoría de los catálogos no se basan en datos de sismicidad consistentes con dichos parámetros. Tal situación crea obstáculos para poder identificar patrones de sismicidad o para estimar el nivel del peligro sísmico. Las anomalías reales de sismicidad, pueden estar enmascaradas por cambios en las capacidades de monitoreo o en los procedimientos operativos de una red. A la inversa, variaciones introducidas artificialmente en el catálogo de sismicidad pueden ser interpretadas como cambios naturales. Las serias consecuencias de este problema frecuentemente son ignoradas. Otro supuesto incorrecto en muchos casos es que los catálogos pueden llegar a ser homogéneos en función del tiempo, si se eliminan todos los eventos debajo de un determinado umbral de magnitud, - M_{min} . La idea parece ser razonable, y funciona en algunos casos, porque los pequeños eventos son aquellos para los cuales el flujo de datos varía más, debido a la expansión o reducción de la capacidad de monitoreo de una red. Sin embargo este simple enfoque no funciona para gran número de catálogos, porque los cambios sistemáticos de las magnitudes asignadas ocurren inadvertentemente".

Estos comentarios traen a colación que la actualización de un catálogo no es tarea sencilla; es en realidad un reto permanente.

3.3.1 Catálogo CERESIS-91.H

La actualización del catálogo sísmico regional de América del Sur, en el marco de CERESIS, es una de las metas que deberá ser alcanzada cada 5 años. Con la publicación del catálogo CERESIS-91.H, CERESIS reafirma esa política, estando programado el próximo catálogo CERESIS-96.H, revisado y actualizado hasta Diciembre de 1996, para el segundo semestre de 1997.

La elaboración del catálogo CERESIS-91 H ha sido un proceso que incluyó la revisión del anterior catálogo regional, SISRA-H, sobre el cual se basa, la adición de la información correspondiente al período 1982 a 1991, proporcionada por los países de CERESIS y de otras fuentes, la integración y depuración en formato SISRA de dicha información, la aprobación del catálogo integrado por parte de los Estados Miembros y, finalmente su publicación.

No obstante que el formato SISRA es el formato acordado por los países para fines regionales, no necesariamente es el formato que cada país adopta para fines nacionales. Las acciones seguidas se resumen como sigue:

1. Revisión del formato de la información recibida
2. Conversión al formato SISRA en caso de discrepancias.
3. Conversión del catálogo en formato SISRA a formato 20, o sea de acceso directo, utilizando el programa EDCAT. Este paso permitió observar si la información se encontraba ordenada en el tiempo y la existencia de valores ilógicos en los datos. Por ejemplo, fechas inexistentes, tiempo de ocurrencia inexistente, duplicados.
4. Considerando una aproximación de primer orden se realizó un primer chequeo teniendo en cuenta los parámetros definidos por defecto del programa; es decir los intervalos que definen las condiciones que el programa considera para el chequeo de duplicados. Después de haber depurado y resuelto las incoherencias se realizó un nuevo chequeo que podría considerarse una aproximación de segundo orden ampliando los intervalos considerados inicialmente por el programa.
5. Las actividades desarrolladas en el numeral 4 se realizaron en permanente coordinación con los responsables de la edición de los catálogos nacionales de cada país
6. Después de concluidas las dos aproximaciones mencionadas, se inició el análisis gráfico de la información. Esto se realizó con el programa MAP. El mapa de la sismicidad permitió observar la distribución de la sismicidad especialmente en relación con los países vecinos y con su densidad.
7. Para determinar si algunos eventos sísmicos incluidos en determinado catálogo nacional, aparentemente localizados fuera del territorio nacional del respectivo país, en efecto correspondían a ese país o al país vecino, primero se hizo una intersección de los catálogos de los dos países afectados con el propósito de terminar la sismicidad común en ambos catálogos. Como es lógico suponer, la mayor parte de la duplicidad de eventos en ambos catálogos se encontraba en zonas de frontera. Se utilizó el programa CATAL para este proceso

8. Luego de la actividad 7 se procedió a generar varios subcatálogos los cuales representaban las diferencias entre los países; es decir la información obtenida no debería encontrarse en el otro país. También se determinó la diferencia asimétrica
9. La información obtenida en los pasos 6, 7 y 8, fue graficada pudiéndose analizar visualmente los resultados obtenidos y tomar decisiones caso por caso.
- 10 Para mayor precisión, se definieron los perfiles de las fronteras entre países vecinos, facilitándose la selección de la sismicidad perteneciente a cada país. Los mapas finales de sismicidad de cada país confirmaron visualmente los resultados.

Cuando el proceso arriba descrito señaló discrepancias en y entre catálogos nacionales, la permanente consulta con los países dió lugar, en varios casos, a la modificación del catálogo nacional respectivo.

CERESIS-91.H no pretende ser el catálogo regional definitivo para el período siglo XVI - 1991. Los países sudamericanos, en el marco de CERESIS, continuarán con su empeño de producir el mejor catálogo posible.

El Apéndice C, ilustra el proceso que se ha seguido. Incluye también un análisis de cuan completo (completitud) es el catálogo, sin mayores comentarios

3.3.1.1 Informes Nacionales

Los Informes Nacionales se presentan en el Apéndice D. Para cada país se presenta el Informe correspondiente al Catálogo SISRA y el Informe complementario correspondiente al catálogo CERESIS-91.H

3.3.1.2 Programas

Programa EDCAT.

El programa EDCAT reorganiza un catálogo con diferentes formatos dentro de dos formatos estándares (20 o 41 bytes); identificando los errores obvios y duplicados, corrigiéndolos. La entrada de datos para este programa es un catálogo que puede estar en 21 formatos de catálogos de diferentes instituciones en el mundo (NEIS, IRIS, ENEL, etc.). La salida es un catálogo transformado que se almacena en uno de los formatos estándares bajo cualquier nombre con la extensión .DAT. Una impresión opcional del archivo puede invocarse (EDC.PRI) el cual contiene los parámetros de entrada y la información de los resultados.

Los siguientes modos de operación son posibles: Organiza un catálogo reorganizando la información que no tiene un sentido lógico en el catálogo de entrada (registros incorrectos, desórdenes en el tiempo, valores irreales, etc.), corrige los valores duplicados y transforma las magnitudes bajo una determinada ecuación cuyos parámetros son dados por el usuario. Permite editar el catálogo para la corrección inmediata de errores dando opciones de búsqueda, cambio, borrado e inserción de eventos) Por último ordena en el tiempo el catálogo de entrada.

Programa CATAL.

El programa CATAL permite el manejo de uno o mas catálogos sísmicos almacenados bajo uno de los dos formatos estándares (20 o 41 bytes) generando una selección de sub-catálogos bajo áreas de múltiples geometrías. Permite los siguientes modos de operación: Filtrado de los datos sísmicos considerando opciones de profundidad, rangos de magnitud, áreas, fechas. Selecciona un subcatálogo desde un primer catálogo y suma éste subcatálogo al final de un segundo catálogo.

Los siguientes modos de operación son posibles para eliminar duplicados en diferentes datos de entrada los cuales corresponden al mismo terremoto (la misma definición que para EDCAT) Para cada evento desde el primer catálogo, el programa encuentra duplicados en el segundo catálogo; elimina estos duplicados, luego une los catálogos dentro de un sólo catálogo de salida con los eventos ordenados en el tiempo, dando la opción de tomar algunas magnitudes o duplicados desde el segundo catálogo. Intersecta dos catálogos generando uno solo con información duplicada de ambos. Permite encontrar la diferencia de dos catálogos generando la salida de un catálogo cuya información no tiene duplicados del otro. Puede generar un catálogo con información duplicada en ambos y finalmente imprime eventos que no tienen duplicados en ambos catálogos.

Programa MAP.

Realiza un mapa de la sismicidad mostrando los epicentros y otros objetos como, estaciones, fallas, ciudades, etc. El programa permite opciones como cambios de colores en los mapas generando las figuras en una o dos pantallas de presentación, puede marcarse objetos o símbolos conectándolos por líneas, utiliza dos archivos estándares los cuales contienen el perfil de la costa de sud américa y la frontera de los países, permite un manejo de 70,000 objetos y funciona en una PC compatible. Este programa permite estudiar el proceso sísmico.

Todos estos programas han sido escritos en los siguientes lenguajes: FORTRAN, C y PASCAL. Se encuentran a disposición de toda la comunidad científica, no se requiere ningún hardware especial y su manejo es muy amigable, para información adicional contactar con el Dr I.M Primakov o Dr. A.A. Soloviev del International Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Ac.Sci de Moscú Warshavskoye sh., 79-2 Moscú 113556.

3.4 COMENTARIOS GENERALES

Los catálogos unificados de parámetros hipocentrales y de intensidad, compilados para América del Sur, tendrán utilidad para un amplio espectro de estudios, particularmente para la investigación del peligro y riesgo sísmico.

Los sismólogos en cada uno de los países participantes han hecho un esfuerzo y una contribución significativa al revisar, editar y complementar los catálogos nacionales disponibles. Como resultado, todos los catálogos nacionales son ahora más confiables y completos y se ha añadido bastante información respecto a las fuentes de datos, métodos de cálculo, etc. La compilación de los catálogos nacionales en catálogos unificados para toda América del Sur no hubiera sido posible sin el esfuerzo nacional de investigación sostenida, en cada uno de los países.

El principal beneficio de los catálogos es que ellos constituyen una base de datos homogéneos para un amplio rango de investigaciones geofísicas. El término uniforme es usado aquí para decir que los datos contenidos en los catálogos han sido revisados de manera sistemática de tal modo que, hasta donde ha sido posible, los datos consignados de hipocentros, magnitudes e intensidades, sean consistentes para todos los terremotos.

Un concepto importante en la compilación de los catálogos uniformes es que todos los datos en los catálogos tienen referencias. No fueron usados en los catálogos datos de terremotos que no tenían referencias. Cualquiera que desee revisar la fundamentación para la inclusión de determinados datos en el catálogo puede, por lo tanto, remitirse a la fuente original de donde se obtuvieron dichos datos.

El principal objetivo del "Programa para Mitigación de los Efectos de los Terremotos en la Región Andina (Proyecto SISRA)", y del proyecto CERESIS-91/ IPGH, en cuyo contexto se compilieron estos catálogos, es definir más claramente la gravedad y distribución del peligro y riesgo

sísmico (pérdida potencial) en América del Sur. Los catálogos de hipocentros e intensidades preparados contribuyen de manera fundamental a incrementar el entendimiento de la naturaleza del problema de los terremotos en América del Sur. Los catálogos, junto con el mapa neotectónico de América del Sur también preparado bajo el Proyecto SISRA, contienen datos fundamentales para investigaciones más avanzadas de peligro y riesgo sísmico, tales como descripciones probabilísticas del movimiento del suelo y de pérdidas esperadas. Está claro que, no obstante sus limitaciones, los catálogos son absolutamente esenciales para mayor progreso en la evaluación de peligro y riesgo sísmico.

Es muy importante que los catálogos sean revisados y actualizados periódicamente. Los errores en un trabajo de esta magnitud son inevitables y tienen que ser corregidos. Dado que los catálogos, en todo caso, deben ser actualizados para incluir datos sismológicos más recientes, existe una amplia oportunidad para corregir errores. La revisión y actualización de los catálogos es una alta prioridad para CERESIS.

Al mismo tiempo se trabaja en recabar información pertinente a las columnas 126-131 del formato SISRA - "fenómenos asociados". En algunos países se ha comenzado a consignar los fenómenos no tectónicos tales como explosiones mineras y de pruebas nucleares.

El catálogo de datos de intensidad, indudablemente será mejorado por la investigación adicional sobre terremotos históricos. Sin embargo, el primer catálogo de intensidades - catálogo SISRA, y el que se está actualizando - CERESIS-91 (Intensidades), proporcionan una organización y un formato útil para incrementar la base de datos de la información sobre intensidades en América del Sur. El catálogo de datos de intensidad es particularmente importante como parámetro básico para el estimado de la atenuación de la onda sísmica y la delineación de áreas de respuesta del suelo anómalamente alta. Los datos de intensidad también deben ser invalorable para la estimación de las pérdidas económicas debido a futuros terremotos.

El desarrollo de los catálogos SISRA y CERESIS-91 es un avance importante en la información disponible para un amplio rango de investigaciones geofísicas, pero especialmente para estudios de mitigación de los efectos de eventos sísmicos. Los catálogos existen, principalmente, gracias a los investigadores en los varios países que han trabajado diligentemente para hacerlos posible. Para muchos de estos estudiosos, el trabajo en los catálogos nacionales representa muchos años de investigación en sismología histórica e instrumental.

Se pueden hacer muchos refinamientos adicionales a los catálogos, que serían útiles como base para análisis más extensos y que incrementarían la precisión de los catálogos. Se deben buscar datos adicionales en relación con los fenómenos asociados, particularmente datos sobre daños y desastres. Se puede incluir en el catálogo los mecanismos focales del terremoto en base a una nueva compilación e investigación. Las localizaciones alternativas deben ser añadidas para aquellos eventos para los cuales existe un alto grado de incertidumbre respecto a los epicentros indicados y se deben reevaluar los hipocentros de los grandes eventos. Creemos, sin embargo, que los catálogos regionales compilados hasta la fecha representan un avance significativo para proporcionar un mejor banco de datos sísmicos, disponible para los científicos, ingenieros encargados de prevención y ayuda en caso de desastres así como para otros usuarios en una escala nacional e internacional.

4. Mapa Probabilístico de Peligro Sísmico en América del Sur

En la reunión inicial del Proyecto SISRA el CERESIS consideró necesario constituir, como complemento del grupo de Catálogo Sísmico, un grupo de trabajo sobre "Peligro Sísmico", fijándose como objetivo fundamental elaborar mapas regionales de intensidades sísmicas máximas y de fallamiento del terreno producido por terremotos destructivos. Este grupo se integró con un Coordinador Nacional por cada país participante y un Coordinador Regional designado por el CERESIS. A su vez, los Coordinadores Nacionales formaron sus propios grupos de trabajo a nivel nacional.

Para obtener el producto final fue necesario recopilar y analizar toda la información estudiada previamente por diferentes autores, agregar datos nuevos y, en muchos casos, hacer una nueva evaluación de la información disponible. Se solicitó a cada país, a través de su Coordinador Nacional, elaborar mapas nacionales, a escala 1:2,000,000 que condensaran gráficamente los resultados obtenidos del análisis detallado de los registros de intensidades máximas, ocurrencia de licuación de suelos y deslizamientos asociados con terremotos.

Los resultados obtenidos fueron integrados por el Coordinador Regional, en un mapa de América del Sur a escala 1:5,000,000, al cual se hace referencia en la Sección 3.2.3.2. Las

discrepancias surgidas en las zonas límites entre países fueron resueltas satisfactoriamente en reuniones de coordinación.

El mapa de intensidades sísmicas máximas resultante fue comparado con los valores puntuales que figuran en los catálogos de intensidades efectuándose las modificaciones necesarias

Dentro del contexto general del Proyecto SISRA, el grupo de "Peligro Sísmico" consideró como objetivo primordial obtener un producto final que expresara, de manera homogénea, los niveles relativos de peligrosidad sísmica en América del Sur. Para ello se tuvo en cuenta el desarrollo de este tipo de estudio en cada país y el tiempo disponible para realizar el trabajo. Como consecuencia de ese análisis se estableció como meta elaborar un mapa regional, en base a las evidencias históricas, que representara las intensidades sísmicas máximas observadas en Sudamérica y los fenómenos más importantes asociados a terremotos destructivos, tales como licuación de suelos y deslizamientos. Por este motivo, también se decidió presentar un mapa de licuación de suelos y deslizamientos, a escala 1:5,000,000 como Apéndice del texto descriptivo del Mapa de Intensidades Máximas elaborado por CERESIS

Como segunda parte del Proyecto SISRA, el CERESIS consideró necesario elaborar un mapa probabilístico de peligro sísmico de aceleraciones picos con un 10% de excedencia en 50 años. Para realizar este trabajo, el Consejo Directivo de CERESIS reunió a sus representantes nacionales y definió el tipo de información que se requería para concretar este mapa. Asimismo, este Consejo decidió que el Instituto Nacional de Prevención Sísmica -INPRES- de la República Argentina, coordinara el trabajo de recopilación y procesamiento de la información que brindara cada país y designó a los Ingenieros Juan Carlos Castano y Marcelo Horacio Millán para que llevaran a cabo la tarea de ejecución del mismo.

Para obtener este mapa se utilizó el programa de computación SEISRISKIIDP del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (U.S.G.S.), el cual permite calcular los niveles máximos de movimiento de suelo para una determinada probabilidad de que esos valores no sean excedidos en un período de tiempo dado. Este procedimiento es aplicable para cada punto de una grilla uniformemente espaciada y previamente definida, lo cual es de gran utilidad para la realización de un mapa de este tipo. Este programa requiere básicamente de información del tipo de fuente sísmogénica y de su geometría. Las posibles fuentes que admite son las zonas sísmicas, las zonas de subducción, fallas geológicas o combinación de éstas, dependiendo del modelo sismotectónico de la

región de estudio. El programa requiere, además, información del terremoto máximo potencial, intervalo de recurrencia, índices de sismicidad y ley de atenuación sísmica para cada fuente.

El mapa probabilístico de peligro sísmico tiene una ventaja respecto a los de Intensidades Máximas, de Licuación de Suelos y de Deslizamientos debido a que fue diseñado de modo que fuera reproducible a cualquier escala de Sudamérica, ya que los resultados del mismo están almacenados en un archivo de datos que contiene una grilla de puntos los cuales están separados cada medio grado de latitud y longitud y cada punto tiene asignado un valor de aceleración pico que se obtiene del programa SEISRISKIIDP.

El mapa probabilístico de peligro sísmico para América del Sur, producido por CERESIS de la información proporcionada por los Estados miembros de CERESIS, se muestra in la Fig. 1 Los datos utilizados para este mapa han sido calculados usando el método de fuentes sismogénicas, en base a una probabilidad de 90% de no-excedencia en 50 años. El mapa ha sido publicado parcial or totalmente por algunos Estados miembros de CERESIS e incorporado en los respectivos codigos de construcción.

Este mapa está dirigido a la comunidad científica, a los gobiernos de los países miembros de CERESIS, a profesionales tales como ingenieros, arquitectos y planificadores, y a sectores de la actividad privada como compañías aseguradoras.

Es necesario destacar que los representantes nacionales de cada país participante aprobaron ante el Consejo Directivo de CERESIS este trabajo de modo que el mismo es considerado mapa oficial de peligro sísmico en América del Sur

La información sobre fuentes sismogénicas - parámetros de las fuentes de todos los países y valores de aceleración - enviada por los Estados miembros de CERESIS, es la base para la elaboración por CERESIS del mapa de peligro sísmico. Como se indica en una sección anterior (ver pagina *AmSur-26* para la dirección), los detalles tanto del proceso de elaboración del mapa como sobre las fuentes sismogénicas, se pueden solicitar a la sede de CERESIS

Mapa Probabilístico de Peligro Sísmico para América del Sur
 Período de retorno: 474.56 A Método: Fuentes sismogénicas

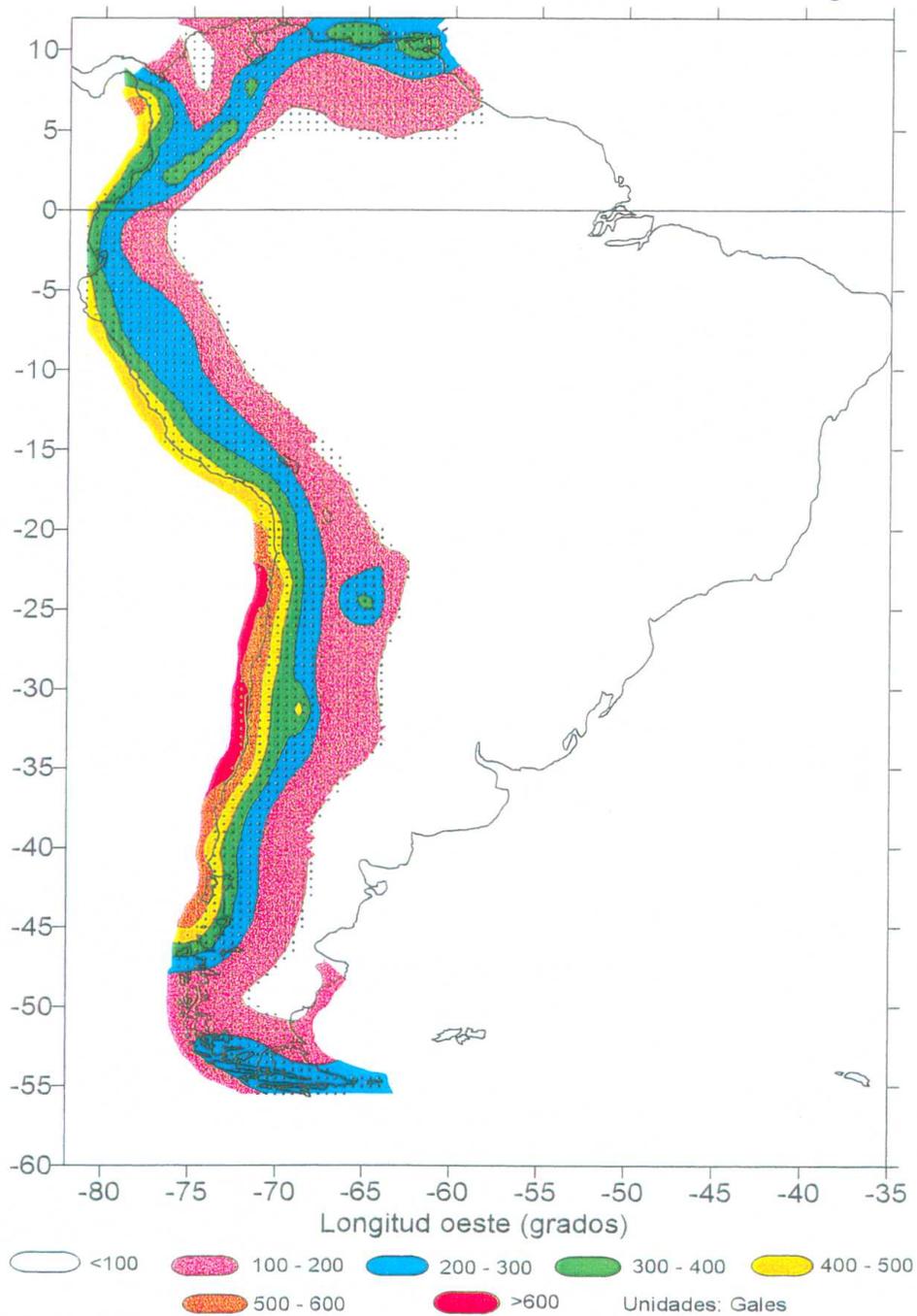


Figura 1. El mapa probabilístico de peligro sísmico para América del Sur calculado en base a no-excedencia de 90% en 50 años. Este mapa ha sido elaborado con la información proporcionada por los estados miembros de CERESIS. Los puntos indican la grilla para la cual se ha estimado el peligro sísmico.

5. Mapa Neotectónico

En el marco de Programa Internacional de la Litósfera (ILP), CERESIS ha colaborado con el proyecto IL-2 - World Map of Major Active Faults. Específicamente, con el apoyo de proyecyo IPGH, CERESIS auspició la actualización del mapa Neotectónico del Perú, en base a trabajo de campo realizado hasta 1991.

6. Referencias

El Apéndice E contiene el listado de Referencias de tres tipos: Referencias Generales, Referencias sobre Catálogos y Referencias sobre Peligro Sísmico.

7. Diseminación de catálogo y mapa

De acuerdo con las condiciones del "Grant" otorgado por el IDRC al IPGH, tanto el IPGH como las instituciones participantes en el proyecto (CEPREDENAC, CERESIS, SRU-UWI, UNAM) tienen el derecho de publicar en la forma que deseen los resultados del proyecto IPGH-IDRC, titulado "**Peligro Sísmico - América Latina y el Caribe**", o cualquier otra información preparada o producida como resultado de dicho "grant" Para ello, estas instituciones no están obligadas a obtener consentimiento del IDRC Sin embargo, deberán reconocer el apoyo financiero del IDRC incluyendo en toda publicación pertinente, el siguiente texto: "Este trabajo fue realizado con la ayuda parcial de un subsidio del International Development Research Centre, Ottawa, Canada".

Lo anterior, en el caso de CERESIS, es aplicable a los productos regionales: Catálogo CERESIS-91.H y Mapa de Peligro Sísmico para América del Sur.

CERESIS ha elaborado un HOMEPAGE en Internet, en el que se incluye, los catálogos nacionales y el catálogo regional CERESIS-91.H y el Mapa de Peligro Sísmico, información que está a libre disposición de los usuarios.

8. Actividades de CERESIS en ejecución y programadas para futuro inmediato.

El listado de actividades de CERESIS, programadas para el futuro inmediato y mediano, relevantes a los propósitos del proyecto IPGH, es el siguiente:

- Red "banco regional de datos"
- Catálogo de Intensidades Sísmicas (CERESIS-91)
- Grupo de trabajo en Neotectónica - Mapa regional de fallas
- Grupo de trabajo para la Interpretación de Sismicidad Histórica
- Estudios de Riesgo (pérdidas)
- Coordinación y Colaboración con otros programas Multinacionales, v.g. SALSA, Piloto.

9. Reconocimientos

- Nuestro reconocimiento a los Representantes Nacionales de los Estados Miembros de CERESIS (Miembros del Consejo Directivo) por su interés, participación, aportes y asesoría técnica, durante el proceso de elaboración del catálogo sísmico regional. Ellos son, a partir de 1980:

Argentina	-	Ing. Juan Carlos Castano Ing. Mario Bufaliza
Bolivia	-	Dr. Ramón Cabré, S.J. Dr. Lawrence Drake, S.J.
Brasil	-	Dr. Marcelo Assumpção Ing. Alberto J. Veloso
Colombia	-	Dr. Jesús Emilio Ramírez, S.J. Dr. Rafael Goberna, S.J. Ing. Alberto Sarria M. Ing. Julián Escallón
Chile	-	Dr. Edgar Kausel V.
Ecuador	-	Ing. Roberto Arellano B. Ing. Hugo Yepes A.
España	-	Ing. José Martínez Solares Dr. Julio Mezcua R.
Paraguay	-	Juan Carlos Velásquez
Perú	-	Dr. Enrique Silgado F. Dr. Jorge Alva H.

Trinidad Tobago - Dr. John Shepherd
Dr. Keith Rowley
Dr. Lloyd Lynch
Venezuela - Dr. André Singer
Dr. Jorge Mendoza
Dr. Herbert Rendón

- Agradecemos al Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) por su cooperación para la elaboración del catálogo CERESIS-91 y el mapa probabilístico de peligro sísmico en América del Sur. Particularmente al Dr. Jim Tanner, presidente antiguo de la Comisión de Geofísica y 1er vicepresidente del IPGH, por su permanente aliento, por propiciar la participación de CERESIS en las reuniones técnicas del proyecto IPGH, por sus oportunos consejos y por su paciencia y tolerancia,

- Expresamos nuestro aprecio al International Development Research Centre (IDRC) del Canadá por su generosa contribución económica para el progreso de la sismología Latinoamericana y del Caribe,

- Nuestro reconocimiento al personal de la Sede de CERESIS en Lima. Carina Balta, Isabel Santillan y Leandro Rodríguez por su dedicación y entrega al trabajo

"El trabajo para la elaboración del catálogo sísmico regional para América del Sur, CERESIS-91.H, fue realizada con la ayuda de un subsidio del International Development Research Centre, Ottawa, Canada - por intermedio del Instituto Panamericano de Geografía e Historia".