PN-ABG-295

Best available copy -- pages 47 - 48 missing

LPN-ABG-295

Cresis

Centro Regional de Sismología para América del Sur

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR PARA AMERICA DEL SUR

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP FOR SOUTH AMERICA

PROGRAMA PARA LA MITIGACION DE LOS EFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN LA REGION ANDINA (PROYECTO SISRA)

EARTHQUAKE MITIGATION PROGRAM IN THE ANDEAN REGION (PROJECT SISRA)

VOLUMEN 11
1985

Centro Regional de Sismología para América del Sur

PROGRAMA PARA LA MITIGACION DE LOS EFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN LA REGION ANDINA (PROYECTO SISRA)

EARTHQUAKE MITIGATION PROGRAM IN THE ANDEAN REGION (PROJECT SISRA)

Esta serie de publicaciones del Proyecto SISRA comprende catorce (14) volúmenes que incluyen los siguientes dieciocho (18) tomos:

VOLUMENES 1 AL 9 – CATALOGO DE TERREMOTOS PARA AMERICA DEL SUR

- VOL. 1 DESCRIPCION DEL CATALOGO E INFORMES NACIONALES
- VOL. 2 ARGENTINA. DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES
- VOL. 3 BOLIVIA Y BRASIL. DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES
- VOL. 4 COLOMBIA. DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES
- VOL. 5 CHILE. DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES
- VOL. 6 ECUADOR. DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES
- VOL. 7 (7a) PERU. DATOS DE HIPOCENTROS
  - (7b) PERU. DATOS DE INTENSIDADES
  - (7c) PERU. DATOS DE INTENSIDADES
- VOL. 8 VENEZUELA. DATOS DE INTENSIDADES E HIPOCENTROS
- VOL. 9 TRINIDAD Y TOBAGO Y AREAS ADYACENTES. DATOS DE INTENSIDADES E HIPOCENTROS

VOLUMEN 10 – TERREMOTOS DESTRUCTIVOS EN AMERICA DEL SUR 1530–1894

VOLUMEN 11 – MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

VOLUMEN 12 – MAPA DE MAXIMAS INTENSIDADES SISMICAS EN AMERICA DEL SUR

VOLUMEN 13 – EFECTOS ECONOMICOS DE LOS SISMOS (ECOSIS):
- (13A) METODOLOGIA Y RESULTADOS
- (13B) ESTUDIOS DE CASOS
- (13C) ESTUDIOS ECONOMICOS

VOLUMEN 14 – SIMPOSIO SOBRE EL PELIGRO Y RIESGO SISMICO Y VOLCANICO EN AMERICA DEL SUR (SAN JUAN, 1984)

Estas publicaciones pueden ser adquiridas individualmente o como serie completa.

These publications may be ordered individually or as a complete series.

Pedirlas a:

DIRECTOR, CERESIS
APARTADO 11363
LIMA 14, PERU

Este trabajo se publica con el entendimiento de que el Gobierno de los Estados Unidos de América y los Gobiernos de los países participantes están autorizados a reproducir y distribuir copias para fines propios de los Gobiernos.

Los puntos de vista y las conclusiones que contiene este documento son de los autores y no deben interpretarse como que necesariamente representan las políticas oficiales, explícitas o inferidas, del Gobierno de los Estados Unidos de América o de los Gobiernos de los países participantes.

La investigación y publicación fue auspiciada por el Geological Survey, United States Department of the Interior, bajo el Grant No. 14–08–0001 G–670, con financiamiento proporcionado por la Office of Foreign Disaster Assistance, Agency for International Development, United States Department of State, y por los países participantes.

This manuscript is submitted for publication with the understanding that the United States Government and the Governments of the participating countries are authorized to reproduce and distribute reprints for government purposes.

The views and conclusions contained in this document are those of the authors and should not be interpreted as necessarily representing the official policies, either express or implied, of the United States Government or of the Governments of the participating countries.

Research and publication supported by the Geological Survey, United States Department of the Interior, under Grant No. 14–08–0001 G–670, with funding provided by the Office of Foreign Disaster Assistance, Agency for International Development, United States Department of State, and by the participating countries.

Publicado por : CERESIS
Impreso por : TAREA
Asociación de Publicaciones Educativas
Apartado 2234 - Lima 100, Perú

1985

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR PARA AMERICA DEL SUR

(ESCALA 1: 5,000,000)

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP FOR SOUTH AMERICA

(SCALE 1: 5,000,000)

VOLUMEN 11

Compilado por:	Oscar González-Ferrán
Coordinador Regional:	Oscar Gonzalez-Ferrán (1983-85) Günther Fiedler (hasta 1983)
Comité Consultivo:	
Alberto Giesecke M.:	Director, Centro Regional de Sismologia para América del Sur (CERESIS)
S.T. Algermissen:	Project Coordinator, United States Department of the Interior, Geological Survey
Paul F. Krumpe:	Technical Adviser, United States Department of State, Agency for International Development, Office of the U.S. Foreign Disaster Assistance

Una explicación de las bases para el Catálogo, los símbolos empleados y una bibliografía de las fuentes de información se encuentra en el Vol. I

An explanation of the basis for the Catalog, the symbols used and a bibliography of source data may be found in Vol. I

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR PARA AMERICA DEL SUR

CONTRIBUCIONES NACIONALES

PAIS	INSTITUCION DE ENLACE	COORDINADOR NACIONAL SISRA	AUTOR
ARGENTINA	Instituto Nacional de Prevención Sísmica	J.C. Castano	H. E. Bastías N. E. Weidmann
BOLIVIA	Observatorio San Calixto	A. Vega	H. Claure
BRASIL	Universidad de Sao Paulo	J. Berrocal G.	
CHILE	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Depto. de Geología y Geofísica	E. Kausel	O. González-Ferrán E. Lorca
COLOMBIA	Instituto Geográfico Agustín Codazzi	R. Goberna, S.J.	C. Ropaín R. Alvarez
ECUADOR	Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología , Minas y Petróleo	E. Proaño	M. Hall J. Sevilla
PERU	Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología	H. Montes	M. Sebrier D. Huamán J. L. Blanc J. Macharé D. Bonnot J. Cabrera E. Deza
TRINIDAD-TOBAGO	University of the West Indies. Seismic Research Unit	J. Shepherd	E. G. Wadge
URUGUAY	Universidad República Oriental del Uruguay, Facultad de Ingeniería	A. Benavidez	M. T. Roma
VENEZUELA	Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina (1981-83). Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.	G. Fiedler (1981-83) L. Urbina (1983-85)	J. P. Soulas

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR PARA AMERICA DEL SUR

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP FOR SOUTH AMERICA

VOLUMEN 11

INDICE CONTENTS)

Informe del Coordinador Regional 1

Informes Nacionales:

Argentina 13
Bolivia 19
Colombia 25
Chile 31
Ecuador 37
Perú 43
Uruguay 47
Venezuela 51

Regional Coordinator's Report 65

National Reports:

Argentina 73
Bolivia 77
Colombia 83
Chile 87
Ecuador 93
Peru 97
Uruguay 101
Venezuela 105

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

Oscar González-Ferrán *

1. INTRODUCCION

1.1 Historia del Proyecto SISRA.

El Proyecto para la Mitigación de los efectos de los sismos en la región Andina de América del Sur, denominado Proyecto SISRA, fue aprobado por el Consejo Directivo del CERESIS en su séptima reunión ordinaria, en San Juan, Argentina, en Octubre de 1980; un mes más tarde fue sometido a la aprobación del Director del Servicio Geológico de Estados Unidos, firmándose posteriormente, el 15 de Septiembre de 1981, el Grant 14-08-0001-G-670. Uno de los objetivos específicos del Proyecto sería el de "Recopilar la información geológica y tectónica para la evaluación del Peligro y Riesgo sísmico en la Región Andina".

A partir del Workshop regional, realizado en Lima, Perú, en Octubre de 1981, con la asistencia de 40 sismólogos, geólogos, ingenieros estructurales y otros, procedentes de nueve países participantes, se definieron los objetivos específicos que deberían llevarse a cabo durante dieciocho meses, como primera fase del Proyecto. En esa oportunidad, se eligieron los Coordinadores Regionales, siendo designado el Dr. Gunther Fiedler como coordinador del Mapa Neotectónico. Además, se llegó a un acuerdo preliminar sobre el tipo de información que deberían contener los informes nacionales sobre la tectónica y geología, en la presentación de mapas a escala 1:2.000.000. A través de las Instituciones de enlace, se designaron los coordinadores nacionales del Proyecto SISRA.

Posteriormente se efectuaron las siguientes reuniones de trabajo y coordinación: en Santiago, Chile, en Marzo de 1982; en Golden, Colorado, USA, en Abril de 1982, donde se realizó un segundo Workshop con los representantes de todos los países y los coordinadores regionales, en el cual, sobre la base del trabajo avanzado, se precisó con más detalle el tipo de simbología y nomenclatura que se usaría en el mapa neotectónico regional. En Lima, Perú, en Diciembre de 1982, se efectuó la reunión del Grupo Directivo con los Coordinadores del Proyecto.

En Abril de 1983, en Golden, Colorado, se llevó a cabo una nueva reunión de trabajo, ocasión en que fue presentada la primera compilación e integración a escala 1:5.000.000 del Mapa Neotectónico, por el Coordinador Regional y el Geólogo Asesor, la cual fue sometida a revisión y análisis de cada país participante.

En Quito, Ecuador, en Junio de 1983, durante la Octava Reunión Ordinaria del Consejo Directivo, se analizó el estado de progreso del Proyecto SISRA, introduciéndose algunos cambios al Mapa Neotectónico.

---

* Coordinador Regional - Proyecto SISRA.

Finalmente, se realizó una Reunión General en Setiembre de 1984, en San Juan, Argentina, donde se estudiaron los resultados científicos del Proyecto y la versión final de los Mapas propuestos originalmente en el mismo.

1.2 Investigaciones Principales.

El trabajo de integración del Mapa Neotectónico a escala 1:5,000,000, fue realizado por O. González-Ferrán y Gunther Fiedler, sobre la base de la información proporcionada por los Mapas Nacionales Neotectónicos a escala 1:2,000,000 y cuyos autores principales y colaboradores son los siguientes : Hugo E. Bastías y N. E. Weidman (Argentina); Hernán Claure (Bolivia); O. González-Ferrán y E. Lorca (Chile); Clemente Ropaín y Roberto Alvarez (Colombia); Minard Hall y Jorge Sevilla (Ecuador); Michel Sebrier, D. Huamán, J. Z. Blanc, J. Macharé, D. Bonnot, J. Cabrera y E. Deza (Perú); E. G. Wodge (Trinidad y Tobago); M. T. Roma (Uruguay); y Jean-Pierre Soulas (Venezuela).

El trabajo de dibujo-cartográfico base, fue realizado por Oriana González Muñoz (Chile) y el proceso cartográfico final e impresión del Mapa, fue ejecutado por el Instituto Geográfico Militar de Chile.

1.3 Coordinador Regional

El Dr. Gunther Fiedler de Venezuela, actuó como Coordinador Científico Regional del Mapa Neotectónico, desde su designación en la Reunión de Lima, Perú, en Octubre de 1981, hasta la Reunión de Quito, Ecuador, en Junio de 1983. Esta labor de Coordinador Científico Regional fue continuada por el geólogo Oscar Gonzáles-Ferrán.

2. INFORMACION Y DATOS UTILIZADOS

2.1 Fuente de la información utilizada

En la preparación del Mapa Neotectónico a escala 1:5,000,000, se empleó como base topográfica, por acuerdo del Comité Coordinador General del Proyecto SISRA, 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. (1981) "Volcanoes of the World" de la "Smithsonian Institution".

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.

2.2 Precisión de los Datos.

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.

3. OBJETIVOS

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.

4. EXPLICACION DEL MAPA

4.1 Antecedentes Tectónicos Generales.

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 precísamente 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 aún 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.

4.2 Descripción de la leyenda

4.2.1 Rocas del Pre-Cenozoico Superior.-

Por ser éste un mapa de elementos neo-tectónicos, la distribución y complejas relaciones que presentan las formaciones Precámbricas, Paleozoicas, Mesozoicas y Terciaria inferior y media, se han tomado como una sola cubierta o basamento, sobre la cual se apoyan y desarrollan las cubiertas de materiales, tanto continentales como marinas, del Cenozoico Superior.

4.2.2 Cubierta de Depósitos Marinos Eocena-Pleistocena.-

Sobre una morfología generalmente pre-aplanada o de bajo relieve, se apoyan discordantemente una secuencia de depósitos marinos, que han experimentado movimientos verticales diferenciales de bloques durante el Cuaternario, generando en algunos sectores zonas de terrazas solevantadas, tanto marinas como fluviales y en otras, zonas de hundimiento. Como ejemplo, en el centro y sur de la Costa Occidental de América del Sur se han identificado, al menos, cuatro niveles de terrazas que fluctúan entre 1 y 400 metros sobre el nivel del mar, generados durante los últimos cinco millones de años. La importancia que adquieren estas terrazas marinas, para interpretar la actividad sismotectónica queda demostrada por el terremoto de Mayo de 1960, acaecido en el Sur de Chile, donde una extensa región costera, comprendida entre Puerto Saavedra

y Ancud, experimentó un hundimiento entre 1.4 y 2.1 metros.

4.2.3 Cubierta Volcánica Miocena-Pliocena.-

Representa un volcanismo muy intenso, cuyos depósitos cubrieron grandes extensiones a lo largo de la mayor parte de la Cordillera de los Andes y la Región Patagónica, alcanzando en los Andes Centrales cerca de 400 Km. de ancho y espesores cercanos a los 1.000 metros, dando un rasgo morfológico altiplánico a la región andina; predominando en el sector de los Andes Centrales, las rocas riolíticas, dacitas y andesitas calco-alcalinas.

Esta cubierta volcánica tiene especial importancia en la investigación y datación de los movimientos diferenciales de bloques que originaron y estructuraron la Cordillera de los Andes, las depresiones tectónicas intermedias en forma de valles longitudinales y los bloques cordilleranos costeros, a lo largo de la mayor parte del margen occidental de Sudamérica, cuyos sistemas de fallamiento, en algunos casos, evidencian actividad aún en el presente.

4.2.4 Cubierta Volcánica Pliocena-Holocena.-

Asociada a las cadenas y centros volcánicos activos. Sus materiales efusivos varían entre basaltos, andesitas, dacitas y riolitas, cuyas características químicas, petrográficas y petrológicas corresponden a magmas calco-alcalinos típicamente asociados a zonas de subducción.

Intimamente ligados a esta cubierta, se encuentran estructuras volcánicas cuyos rasgos geomorfológicos corresponden a esqueletos volcánicos, estratos-conos, lavas, domos, calderas, conos cinericeos, maares, flujos de cenizas y depósitos de nube ardiente y otras estructuras menores.

Esta cubierta volcánica se desarrolla exclusivamente en el margen occidental de la Placa Sudamericana y se encuentra sobreimpuesta al bloque cordillerano de los Andes. Se puede reconocer claramente una concentración en tres sectores bien definidos: a) Las cadenas volcánicas de los Andes Septentrionales (Ecuador y Colombia); b) Las cadenas volcánicas de los Andes Centrales (Sur del Perú, Norte de Chile, regiones occidentales de Bolivia y Argentina); y c) Las cadenas volcánicas de los Andes Meridionales (Chile y Argentina), estas últimas, al sur de los 48°, se presentan en la Patagonia Occidental, en forma aislada y menos densa que al norte de esa latitud; mientras que en la Patagonia Oriental, se presentan en núcleos aislados, con un control tectónico NW-SE y sus características corresponden más bien a un volcanismo intraplaca como lo estaría indicando su composición alcalina.

4.2.5 Cubierta Cuaternaria o Plio-Cuaternaria no Volcánica.-

Principalmente de origen fluvial y aluvional; en menor proporción, de origen fluvioglaciar, glaciar y coluvial; en algunas regiones contiene intercalación de material volcánico. Estas cubiertas se encuentran normalmente rellenando las depresiones tectónicas generadas durante el Plio-Pleistoceno y en las regiones piemontanas formando extensos conos aluviales de deyección que engranan entre sí, especialmente a lo largo de ambas vertientes de la Cordillera Andina.

Considerando que estos materiales no se encuentran diferenciados y se han representado como una sola unidad en el mapa, se hace necesario hacer presente que en algunas regiones como Colombia y Venezuela, se han reconocido depósitos fluvioglaciares y sistemas de morrenas, cuyo fechamiento absoluto , constituye la base de la cronología del Pleistoceno Superior y Tardiglaciar en esa región septentrional de América del Sur. En Ecuador, los depósitos contienen tanto materiales aluviales como volcánicos. En Chile, esta cubierta se caracteriza por una mezcla heterogénea de sedimentos aluviales, fluvioglaciares, morrénicos y volcánicos, que a veces engranan entre sí, en forma lenticular o de cuña o se presentan en forma de una mezcla caótica retrabajada, rellenando principalmente las depresiones tectónicas de los valles centrales longitudinales. En el sector oriental de los Andes, en territorio argentino, predominan las características de depósitos piemontanos, así como en las llanuras pampeanas y litorales argentinos. Los depósitos de aluvio, loes y dunas, se han considerado como una sola unidad.

Esta cubierta tiene especial interés para el análisis de riesgos en un mapa sismo-tectónico, por el comportamiento mecánico que presentan los distintos tipos de suelo generados por este relleno, muchas veces no bien consolidado y que constituyen las áreas naturales de mayor densidad poblacional . Por lo tanto, ellas requieren de un estudio detallado.

4.2.6 Centros Volcánicos Mioceno-Pleistoceno.-

La actividad volcánica a lo largo de la región andina, sobre el margen occidental de la Placa de América del Sur, ha tenido un intenso desarrollo durante el Cenozoico Superior, estrechamente ligado a los procesos de subducción de la Placa de Nazca. Desde el Mioceno, el volcanismo ha presentado varios ciclos de mayor o menor magnitud, cuyas estructuras y depósitos de materiales volcánicos permiten reconocer migraciones progresivas hacia el Este. Durante el Plioceno-Pleistoceno la actividad volcánica se restringe a tres grandes segmentos, separados por zonas sin volcanismo, la cual está íntimamente asociada a la segmentación que presenta el plano de subducción de la Placa de Nazca y es concordante con la distribución de los focos sísmicos. Es por esta razón que se consideró relevante su representación en el mapa neotectónico. Petrológicamente, el magmatismo que caracteriza este volcanismo andino es típicamente calco-alcalino, con predominio de eruptivos félsicos, como riolitas, dacitas y andesitas en las primeras fases y términos más básicos en las etapas más recientes u holocénicas.

4.2.7 Volcanes Activos.-

Con actividad durante los últimos 10,000 años. En su representación se han diferenciado aquellos con registro eruptivo histórico. Así, en los tres cinturones volcánicos andinos, se han reconocido 128 volcanes activos que totalizan un registro de 514 erupciones históricas ocurridas desde 1.500 hasta la fecha.

4.2.8 Calderas volcánicas.-

Desde el punto de vista del Peligro Volcánico, en el análisis del riesgo de una región, es importante tener presente la existencia y ubicación de estos centros eruptivos, que han sido el producto de erupciones altamente explosivas, generadoras de nubes ardientes y grandes flujos de ceniza, acompañadas de una fuerte inyección de material piroclástico en la atmósfera .

Este tipo de erupciones está asociado a magmas riolíticos, dacíticos, altamente viscosos.

4.2.9 Fuentes Termales y Campos de Geiseres.-

Se han representado en este mapa por ser indicativos de áreas de mayor flujo calórico, a lo largo del margen andino sudamericano.

4.2.10 Fallas.-

Atendiendo a la edad de la actividad o movimiento de las fallas, su representación se ha hecho en tres grupos, cada uno de los cuales contiene la simbología específica que indica si ellas son normales, inversas, transcurrentes o de rumbo, además de la dirección de su movimiento. Así, estos grupos corresponden a:

- "Fallas y Lineamientos pre-cenozoicos superior", que afectan principalmente a las estructuras y unidades geológicas viejas y cuya edad es indeterminada. Aunque no son un elemento Neo-Tectónico, ellas contribuyen a entender y relacionar mejor la evolución de las zonas activas actuales con el fracturamiento pre-cenozoico superior. Fallas de este tipo no han sido consideradas en la región peruana.

- Un segundo grupo corresponde a las "Fallas con actividad probable durante el Holoceno o Plio-Pleistoceno", cuya actividad no cabe duda, por cuanto afectan a unidades volcánicas, aluviales o sedimentarias, geológicamente recientes y son las que tienen una importancia fundamental en el análisis de riesgos.

- El tercer grupo lo constituyen las "Fallas Activas Históricamente", a las cuales, cuando están asociadas a sismos o terremotos históricos, se le ha agregado el año de ocurrencia del evento. La representación de fallas activas históricas es relativamente escasa en relación a la superficie del margen activo del Continente. Sin embargo, esto habría que considerarlo como un déficit o carencia de información o estudios detallados en muchas regiones, más que atribuirlo a una falta de movimientos de fallas en muchas áreas sísmicamente activas.

4.2.11 Pliegues y flexuras cuaternarias o Plio-cuaternarias.-

Se han reconocido en algunas regiones, particularmente en Venezuela y Perú, una serie de pequeños pliegues del tipo sinclinal, anticlinal o flexuras, que afectan a sedimentos cuaternarios, los que serían indicativos de procesos compresivos en esas regiones, según sus autores.

4.2.12 Movimientos Verticales Cuaternarios.-

Extensas regiones del margen occidental de América del Sur han sido expuestas a solevantamientos y hundimientos durante el cuaternario. Históricamente, muchos de ellos están claramente asociados a sismos históricos. En estos casos se ha agregado la fecha del evento tectónico.

4.2.13 Otras Estructuras.- Volcanes de Lodo

Este tipo de elementos neo-tectónicos, asociados a movimientos de

fallas, ha sido reconocido exclusivamente en la región noroeste de América del Sur, particularmente en Venezuela y Colombia.

4.2.14 Vectores de Movimientos de las Placas.-

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".

5. BIBLIOGRAFIA

1. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 1980 - "Geología Regional Argentina".

2. Aggarwal, Y. P. 1982. Seismic Slip Rates along Major Faults in Venezuela: Implications for Plate Motions in the Southern Caribbean. A.G.U. Fall Meeting, San Francisco, E.O.S., 63, 45, p. 1126.

3. Ahlfeld I. and Branisa L., 1960. Geología de Bolivia, La Paz, p.

4. Arabasz, J. W., 1968. Geological Structure of the Taltal area, Northern Chile, in relation to the earthquake of December 28, 1966. Seismol. Soc. America Bull., v. 58, N° 3, p. 835-842.

5. Barbot, J. P., Butenko, J., Espinoza F., Daza, J. y Malave, G., 1980. El Cuaternario del Golfo de la Vela y su importancia geotécnica para la exploración y explotación petrolera. Transactions 9th Caribbean Geological Conference, Santo Domingo, Vol. 2, p. 541-553.

6. Bellizzia, A., (Coordinador), 1976. Mapa Geológico Estructural de Venezuela, Escala 1:500.000. Ediciones Foninves, Caracas.

7. Blanc, J. L., Cabrera J. y Sebrier, M. 1983. Estudio Microtécnico de la falla sísmica de Huaytapallana (Andes del Perú central). Revista Geofísica del Inst. Panam. Geogr. e Hist.

8. Bonnot D., 1982. Néotectonique et glaciations récentes au Pérou. Cas de la cordillere Blanche - Rapport de D.E.A. de Tectonophysique - Laboratoire de Géologie Dynamique Interne - Fac. D'Orsay.

9. Bossi et al., 1975. Carta Geológica del Uruguay, Esc. 1:1.000.000

10. Bruggen, J., 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Inst. Geográf. Militar, Santiago, 374 p.

11. Butenko, J., Barbot, J. P. 1979. Geological Hazards related to Offshore Drilling and Construction in the Orinoco River Delta of Venezuela. 11th O.T.C., Houston, p. 323-326.

12. Cabrera, J., 1982. Estratigrafía y neotectónica del SW de la cuenca de Huancayo - Tesis Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

13. Claure, V. H. y A. F. Fernández, 1974. Lineamientos en Imágenes; su significado geológico y su aplicación en la exploración de Minerales. Y.P.F.B. Rev. Téc. N° p.

14. Claure, V. H. y Minaya, E., 1979. Lineamientos, cuerpos intrusivos, Fajas Mineralizadas, Metalogénesis de los Andes Bolivianos; su relación a la Placa de Nazca. GEOBOL, Sensores Remotos, Bol. N°4 p.

15. Cluff, L.S. y Hansen, W.R. 1969. Seismicity and Seismic Geology of Northwestern Venezuela, Volume I, Evaluation. Woodward-Clyde and Associates, para Shell de Venezuela.

16. Cobbing E. J., Pitcher W. S., Wilson J., Baldok J., Taylor W., Mc Court W., and Snelling N. J. 1981. Estudio Geológico de la Cordillera Occidental del Norte del Perú. INGEMMET, Estudios Especiales, Bol. 10, 252 p.

17. Cuerda A., J.R.A. Scanavino, 1978. Mapa Geotectónico de la República Argentina.

18. Dalmayrac B., Laubacher G., Marocco R. 1977. Geologie des Andes péruviennes: Caracteres Géneraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes. These commune U.S.T.L. Montpellier.

19. Dirección General de Geología y Minas (DGGM) 1970. Mapas geológicos escala de 1:50.000 y 1:100.000, Quito.

20. Dirección de Hidrocarburos, 1971. Mapa Geológico Provincia de Salta-Jujuy-Tucumán, Rep. Argentina.

21. Dirección Nacional de Geología y Minería, 1964. Mapa Geológico de la República Argentina, Escala 1:2.500.000.

22. Fuenzalida, H.; R. Cooke; R. Paskoff; K. Segerstron and W. Weisehet, 1965. High Stands of Quaternary sea level along the Chilean Coast. Geol. Soc. America. Sp. Paper 84, p. 473-496.

23. Fuenzalida, R. y S. Harambour, 1984. Evidencias de Subsidencia y Solevantamientos en la Península de Brunswick, Magallanes. Dept. de Geología, Univ. de Chile, Santiago. Comunicaciones N° 34, p. 117 -120.

24. Goberna, J. R., 1981. Investigaciones Geofísicas sobre Estructuras Océano-Continentales del Occidente Colombiano. Inst. Geof. Univ. Javeriana, Bogotá, p. 1-137.

25. González-Ferrán, O. 1983. Volcanes. Atlas de la República de Chile . Inst. Geogr. Militar, Santiago, p. 78-79.

26. Graf, C. H. 1972. Relaciones entre Tectonismo y Sedimentación en el Holoceno del Noroeste de Venezuela. Mem. IV Cong. Geol. Venezolano, Caracas 1969, Bol. Geol. Pub. Esp. N°5, 2, p. 1125-1144.

27. Hall, M. 1977. El Volcanismo en el Ecuador; Biblio. Ecuador, I.P.G.H., Quito, 120 p.

28. Hall, M. y Ramón, P., 1978. Las Fallas Activas del Valle Interandino entre Latacunga y Quito; Memoria, Primer Congr. Ecuat. Geol. Minas Petrol., Quito, p. 60-72.

29. Hall, M., Basabe, P. y Yepes, H., 1980. Estudio de Fallas Tectónicas y la Actividad Microsísmica del Valle Interandino entre Pastocalle y Ambato; Revista Politécnica, Vol. 5, N° 2, p. 57-77.

30. Hall, M. y Yepes, H., 1981. Estudio del Fallamiento y de la Actividad Microsísmica en el Valle de Machachi; informe inédito preparado para la Com. Ecuat. Energía Atómica, Quito, 55 p.

31. Hall, M. y Yepes, H., 1980. Fallamiento y Actividad Microsísmica en el Valle Interandino, Ecuador; Revista Geofísica N° 13, I.P.G.H. , p. 36-44.

32. Herd, D., Youd, T., Meyer, H., Arango, J., Person, W., y Mendoza, C., 1981. The Great Tumaco, Colombia Earthquake of 12 December 1979; Science V. 211, p. 441-445.

33. Huamán, D. 1982. Etude des terrains cénozoiques du piedmont pacifique et des characteristiques du volcanisme andin du sud Pérou (departement d'Arequipa) -- Rapport de D.E.A. de Tectonophysique - Laboratoire de Geologie Dynamique Interne - Fac. D'Orsay.

34. INGEMMET. 1977. Sinopsis explicativa del Mapa Geológico del Perú a escala 1:1.000.000 Bol. 28, Serie A, 41 p.

35. INPRES, 1970. Mapa Geológico de la Provincia de San Juan, Rep. Argentina.

36. INPRES, 1976. Mapa Geológico de la Provincia de Mendoza, Rep. Argentina.

37. INPRES, 1980. Mapa de Fallamiento Moderno en la Provincia de San Juan, Rep. Argentina. Publ. Téc. N° 7.

38. Instituto Investigaciones Geológicas, 1968. Mapa Geológico de Chile, Escala 1:1.000.000. Santiago.

39. Kanamori, H., y McNally, K., 1982. Variable Rupture Mode of the Subduction Zone along the Ecuador-Colombia Coast; Bull. Seis. Soc. Amer. V. 72, p. 1241-1253.

40. Kelleher, J., 1972. Rupture Zones of Large South American Earthquakes and Some Predictions; Jour. Geoph. Res. V. 77, p. 2087-2103.

41. Laubacher G., Herail G., Fornari M., Sebrier M. 1982. Le Piedmont amazonien des Andes Sud-Orientales du Pérou (Marcapata-Inambari) -- Actas del Coloque: Montagnes-Piemont, Universidad de Toulouse.

42. Lavenu, A., 1979. Neotectónica de los sedimentos Plio-Cuaternarios del Norte del Altiplano. Anales VI Conv. Nac. de Geol., Oruro, Vol.6, 12, p. 449-463.

43. Lavenu, A. y Ballivian, O., 1979. Estudio Neotectónico de las cuencas de Cochabamba, Sucre, Tarija - Cordillera Central Boliviana. Rev. Acad. Nac. Ciencias de Bolivia N° 3, p. 107-129.

44. Lavenu, A., Sébrier M., Servant M. 1980 - Néotectonique des Andes Centrales: Pérou, Bolivie. Bull. of the INQUA Neotectonic Commission, N° 3, p. 56-58, Stockholm.

45. Martínez, C. y Tomasi, P., 1978. Mapa Estructural de los Andes Septentrionales de Bolivia, París.

46. Macharé, J. 1980. Geología del Cuaternario en la Costa del Perú Central. Tesis Universidad Nacional de Ingeniería, 197 p.

47. Megard, F. 1978. Etude géologique des Andes du Pérou Central. Mémoires ORSTOM, N° 86, París, 310 p.

48. Mercier, J. L. 1981. Extensional-Compressional tectonics associated with the Aegean Arc.: comparison with the Andean Cordillera of South Peru - North Bolivia. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. 300, 337-355 p.

49. Okada, A., 1971. On the neotectonics of the Atacama fault zone region. Preliminary notes on late cenozoic faulting and geomorphic development of the coast range of northern Chile. Dept. of Geogr. Univ. of Tokyo. Bull. N° 3, p. 47-61.

50. Osorio, F. E., F. de Almeida, E.F. Suszczynski y G.R. Derze, 1970. Mapa Tectónico do Brasil, Departamento Nacional de Producao Mineral.

51. Pareja, I. J. et. al., 1978. Mapa Geológico de Bolivia. Servicio Geológico de Bolivia y YPFB, La Paz.

52. Pennington, W., 1981. Subduction of the Eastern Panama Basin and Seismotectonics of Northwestern South America; Jour. Geoph. Res. V. 86, p. 10753-10770.

53. Pérez, O. J. y Aggarwal, Y. P. 1981. Present-day Tectonics of the Southeastern Caribbean and Northeastern Venezuela. J. Geophys. Res., 86, Bull., p. 10791-10804.

54. Philip H. and Megard F., 1976. Structural Analysis of the superficial deformation of the 1969 Pariahuanca Earthquake (Central Peru). L. G. Montpellier, Francia.

55. Plafker, G. and J. C. Savage, 1970. Mechanism of the Chilean earthquakes of May 21 and 22, 1960. Bull. Geol. Soc. America, v. 81, p. 1001-1030.

56. Precozzi et al., 1979. Carta Geo-Estructural del Uruguay. Esc.1:2,000,000.

57. Ramírez, J. E. 1970. Los Volcanes de Colombia. Inst. Geof. Univ. Javeriana, Bogotá, p. 227-234.

58. Ramírez, J.E. and L. T. Aldrich, 1977. The ocean-continent transition in SW-Colombia. Inst. Geofísico Univ. Javeriana, Colombia, Bogotá, p. 1-313 .

59. Rod. E., Jefferson, C., Osten, E. (von der) y Mullen, R., 1958. The determination of the Bocono Fault. Bol. Inf., A.V.G.M.P., 1, 3, p. 67-100.

60. Saint Amand, P. 1961. Observaciones e interpretaciones de los terremotos chilenos de 1960. Esc. de Geol. Univ. de Chile, Comun. v. 1, No. 2 p.

61. Schubert, C. y F. F. Krause, 1981. Fallamiento a lo largo de la costa Norte-Central de Venezuela: Zona de Falla de Moron. Memorias . III. Cong. Venezolano Sismol. Ing. Sism., Caracas, Vol. 1, p. 155-184.

62. Schubert, C. 1982, Neotectonics of Bocono Fault, Western Venezuela. Tectonophysics, 85, p. 205-220.

63. Sébrier M., Marocco, R., Macharé J., 1982 - Evolution cénozoique du piemont pacifique et ses relations avec la cordillere des Andes, le Pérou Central et Méridional. Actas del coloque Piemont, Universidad de Toulouse, 25 p.

64. Servicio Nacional de Geología y Minería, 1983. Mapa Geológico de Chile, Escala 1:1.000.000. Santiago.

65. Shepherd, G. y Moberly, R. 1981, Coastal Structure of the continental margin, northwest Peru and southwest Ecuador; Geol. Soc. Amer. Mem. 154, p. 351-391.

66. Simkin, T. L. Siebert, L. McClelland; D. Bridge; C. Newhall and J. H. Latter, 1981. Volcanoes of the World. Smithsonian Institution Stroudsburg, Pennsylvania. Hutchinson Ross, 236 p.

67. Soulas J. P., 1978. Tectonique quaternaire: la côte pacifique et la chaine andine du Pérou central. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., Vol. XX, fasc. 5, p. 399-414.

68. Soulas, J.P. 1983. Tectónica Cuaternaria de la mitad Sur de los Andes Venezolanos - Grandes Rasgos. Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y el Caribe, XXXIII Conv. Anual ASOVAC, Caracas, Venezuela. Acta Científica Venezolana, v. 34, Supl. 1, p. 525, Resumen.

69. Soulas, J. P., 1985. Limite Meridionale de la Plaque Caraibe. Neotectonique et Tectonique active au Venezuela et regions voisines. Symposium sur la Geodynamique des Caraibes, Paris, France.

70. Woodward-Clyde Consultants, 1978. Preliminary Seismic Hazard Study for the Salado Dam Site; informe inédito preparado para INECEL, Quito, 61 p.

71. Woodward-Clyde Consultants y HIGGESO, 1981. Investigations for the Studies of Seismic Risk for the Agoyan Dam Site; informe inédito preparado para INECEL, Quito, 85 p.

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

INFORME NACIONAL DE ARGENTINA

Hugo Bastías *
Néstor Weidmann *

INTRODUCCION

La primera reunión del proyecto SISRA realizada entre el 5 y 9 de octubre de 1981, en Lima, Perú, tuvo la finalidad de contemplar aspectos técnicos y factores concernientes a la organización del proyecto. Asimismo, se evaluó la información que cada país participante podía suministrar para llevar a cabo los objetivos del programa SISRA.

En dicha reunión se dividió el trabajo sobre la evaluación del peligro sísmico en tres áreas temáticas, eligiéndose los Coordinadores Regionales para cada área.

El grupo de trabajo de estudios sismotectónicos fue encabezado por el Dr. Gunther Fiedler, representante de Venezuela. En posteriores reuniones se establecieron los siguientes puntos básicos:

a - Cada país debía enviar mapas geológicos nacionales, escala 1:2.000.000 , al coordinador regional con fecha diciembre 81.

b - Mapas de lineamientos e información tectónica existente en cada país debía enviarse al coordinador regional con fecha marzo 82.

c - Se procederá a recopilar la información neotectónica existente en forma de listado de fallas activas y ploteo de las mismas, como así también los avances en lo referente a geología del Cuaternario.

d - El coordinador del grupo se comprometió a analizar la información e integrarla en una carta regional a escala 1:5.000.000, manteniendo informados a los representantes de cada país acerca de los avances en los trabajos.

En abril de 1982, durante los días 12 al 18, se efectuó una segunda reunión de los países intervinientes en Golden-Colorado. En dicha reunión se acordó la confección de un mapa de elementos Tectónicos Plio-Cuaternarios para cada país, realizado a un nivel común, de tal forma que permita la integración en un mapa a escala 1:5.000.000. Con ese objetivo se establecieron los siguientes items:

1 - Confeccionar un mapa de fracturas, fallas y lineamientos, que tengan probabilidad de representar actividad en tiempos Plio-Cuaternarios y/o muestren una probable relación con la actividad sísmica.

---

* Instituto Nacional de Prevención Sísmica.

2 - Ubicar los centros volcánicos que se reconocen con actividad en tiempos históricos o en el Cuaternario.

3 - Señalar las áreas que muestren alzamientos o hundimientos en tiempos recientes.

4 - Se estableció la simbología y leyenda a utilizar en los mapas nacionales a fin de tener los mismos criterios en el proceso de recopilación general.

MATERIALES UTILIZADOS

Para la confección del mapa neotectónico preliminar se usó, como dato base, la interpretación de imágenes satelitarias Landsat falso color compuesto y ampliaciones de las mismas, preferentemente en bandas 5 y 7.

La reconstrucción planimétrica se logró en un mosaico a escala 1:1.000.000 ajustado a la cartografía del Instituto Geográfico Militar.

La interpretación base fue completada con los datos de hojas geológicas y hojas topográficas de la carta Geológica Económica de la República Argentina y con el mapa geotectónico existente. El producto final fue reducido a escala 1:2.000.000 según lo acordado en las reuniones de trabajo.

Con respecto a la exactitud de los datos representados se considera la normal en un proceso de recopilación, ya que sólo se señalaron los parámetros que podrían servir a los objetivos del programa, no estableciéndose, en esta etapa, interpretaciones de los diferentes rasgos ya que no se contó, en la mayoría de los casos, con trabajos específicos respecto al tema. Por lo tanto, las omisiones de datos provienen de dos fuentes: una es la confección del mapa con imágenes satelitarias que a veces no reunían los requisitos óptimos de iluminación, nubosidad o contraste; la otra, que proviene de estudios desiguales en los diferentes lugares del país. De esta forma, la falta de fallamiento debe interpretarse como un déficit de estudios detallados en esa disciplina más que un fenómeno real.

OBJETIVOS

Con el propósito de que el programa represente una real contribución para el país, se decidió la conveniencia de efectuar un mapa en base a interpretación de Imágenes Satelitarias, no considerando en ese primer trabajo datos provenientes del mapa geotectónico existente. Los objetivos principales fueron:

a - Representar con la mayor exactitud posible las áreas cubiertas con materiales aluvionales, analizándose las llanuras piemontanas donde se localiza, en forma más notoria, el fallamiento Cuaternario.

b - Identificado un fenómeno de fallamiento Cuaternario, se representó la longitud de rotura de la falla con la mayor exactitud para tener idea de su potencialidad como estructura sismogénica. Debido a la falta de estudios detallados en el Cuaternario, no se establecieron interpretaciones, uniendo los diferentes tramos de falla y no se diferenciaron las edades Holocena o Pleistocena de las mismas.

c - Del Mapa Geotectónico de la República Argentina, se seleccionaron los grandes Lineamientos Plio-Cuaternarios, que por evidencias morfológicas se consideraron más notorios y de mayor actividad tectónica. Como resultado, se puede observar que algunos de los grandes sistemas de fallamiento tienen, en parte de su longitud, evidencias de fracturación Cuaternaria. Asimismo, es notorio cómo las grandes evidencias de fallamiento moderno se localizan en los bordes de cuencas intermontanas, especialmente entre los paralelos 24° y 36° de latitud sur.

INTERPRETACION DEL MAPA

Debido a la característica del producto requerido por el programa SISRA, se prefirió utilizar nomenclatura sencilla que mostrara los rasgos tectónicos y geológicos más notablemente visibles y que observan una influencia directa en el conocimiento del Cuaternario y su evolución. De esta manera , podemos apreciar que entre los paralelos 26° y 39° de latitud sur se ubican los mayores pedimentos Pleistocenos. Esto coincide, en parte, con la aparente localización de los fenómenos de fallamiento y la presencia de bordes con buen desarrollo de abanicos aluvionales. Dicha particularidad señala la conjunción de un factor tectónico y otro climático.

En el norte del país, la presencia de paisajes de "bajada" son más difíciles de reconocer, debido a la intensa vegetación y clima subtropical . Esto constituye el principal obstáculo para localizar fenómenos de fallamiento.

En el sector este, llanura Chaco Pampeana y litoral argentino,no se realizaron trabajos detallados y se consideró como una sola unidad. De tal forma, se agruparon depósitos de aluvio, loess, planicies de inundación y los suelos mesopotámicos originados por secuencias volcánicas y mantos lávicos Cretácico-Terciarios.

Con respecto al vulcanismo de la región Púnica se ha representado con el símbolo correspondiente a los volcanes activos, los grandes centros eruptivos y aparatos volcánicos bien conservados que fueron identificados de las imágenes satelitarias.

Las áreas cubiertas por materiales ígneos, son bastante irregulares y no fueron identificados por no ser el objetivo del trabajo.

En la región Patagónica se agruparon las planicies basalto-andesíticas y la cubierta Cuaternaria, cuando la evidencia fotográfica era deficiente. De tal forma, solo se simbolizaron las grandes mesetas basálticas asociadas a los mayores centros efusivos, siendo posible, en algunos casos, establecer los límites de las cubiertas basálticas Cuaternarias.

Con respecto a las evidencias comprobadas de fallas con movimiento histórico, se conocen dos fallas con desplazamiento asociada a sismos. Una , corresponde al sismo de San Juan del 15 de Enero de 1944 y la otra, asociada al sismo de Caucete del 23 de Noviembre de 1977. La primera de ellas, es una falla inversa de bajo ángulo, relacionado con el sistema de fallamiento denominado Precordillera Oriental. Esta faja de fallamiento se extiende con rumbo aproximado N-S y con buzamiento hacia el este; y se localiza al Oeste de la ciudad de San Juan, entre los paralelos 21° y 33°de latitud sur, aproxima-

damente. El sistema se manifiesta principalmente con fallas de estratificación que sobreponen formaciones Terciarias sobre unidades Cuaternarias asignadas al Pleistoceno medio y Holoceno. La longitud de rotura determinada para el sismo de 1944 fue de unos 8 km. (Castellanos 1945).

El sismo de Caucete de 1977 se considera resultado de un shock múltiple. Ambos eventos separados por un intervalo de unos 21 segundos y distanciados unos 64 Km. uno de otro, registraron magnitudes Ms=6,8 y 7,3, respectivamente (K. Kadinasky-Cade 1984). La superficie de rotura reconocida evidencia un desplazamiento de 30 a 50 cm. a lo largo de un complejo sistema de fallamiento localizado en el borde oriental de las Sierras de Pie de Palo.

La nueva superficie de rotura se desarrolla a lo largo de unos 10 Km. en una escarpa compleja donde predominan estructuras en graben. Según datos geofísicos de subsuelo y evidencias morfológicas, dicha estructura es la evidencia superficial de una falla de basamento inversa, que ocasiona la superposición del bloque este sobre el bloque occidental. El efecto de rotura se manifiesta como un estiramiento de la cubierta Terciaria-Cuaternaria desarrollada al pie de las Sierras.

Los datos de ambas fallas se resumen en la siguiente tabla:

	Falla de Laja (1944)	Falla Nikizanga (1977)
Rumbo	N42° E	N40° E
Buzamiento	30° NE	85° NE
Long. Rotura	8 Km	9 a 10 Km
Rechazo en el Ultimo Evento	Variable: 30 cm - 60 cm	Variable: 20 cm - 50 cm
Mag. Sismo	Ms = 7,4	Ms 7,3 - 6,8

Con los datos de desplazamiento y longitud de rotura obtenidos, en ambos casos surgen dos hipótesis de trabajo a considerar. Una sería suponer que el fallamiento localizado es secundario y la rotura principal se localiza en otro lugar.

En el segundo caso, se supone, con bastantes elementos de juicio , que la tectónica inversa de sobrecorrimiento, fallas de bajo ángulo y las secuencias plásticas terciarias, se combinan para atenuar la longitud de rotura y el desplazamiento. Esto es bastante heterogéneo, como lo demuestran mediciones efectuadas en diferentes escarpas de la región.

DISCUSION

La utilidad del mapa está dada en la ubicación regional del fenómeno de fallamiento Cuaternario.

Dicha localización se muestra con mediana exactitud y considerando a éste (fallamiento Cuaternario) como la principal fuente de generación de grandes movimientos, se obtiene en forma regional una visión rápida del problema.

La confección de cálculos exactos en base a parámetros, como la longitud de rotura, no son recomendables de efectuar debido a las limitaciones mencionadas en el punto anterior y en el procesado e interpretación.

La recopilación efectuada permite visualizar con bastante exactitud las áreas donde debe ser intensificada la investigación y los trabajos tendientes a evaluar correctamente los fenómenos de fallamiento.

La coincidencia de grandes sistemas de megafallas continentales y fenómenos de fracturación Cuaternaria, señalan ciertas directrices tectónicas que deben ser estudiadas correctamente a los fines de establecer sus relaciones con la generación de grandes sismos.

REFERENCIAS

- Academia Nacional de Ciencias de Córdoba "Geología Regional Argentina" (1980).
- Hojas Geológicas de la carta geológica-económica de la República Argentina. Escala 1:2.000.000.
- Hojas Topográficas de la carta geológica-económica de la República Argentina. Escala 1:2.000.000.
- Mapa Geológico de la República Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería. (1964). Escala 1:500.000.
- Mapa Geológico Provincia de Salta-Jujuy-Tucumán. Dirección de Hidrocarburos. (1971).
- Mapa de la región Noroeste Argentina. Plan NOA. Fabricaciones Militares. (1981).
- Mapa Geológico de la Provincia de San Juan. INPRES. (1970).
- Mapa Geológico de la Provincia de Mendoza. INPRES. (1976).
- Mapa Geotécnico de la República Argentina. Cuerda A., J.R.A. Scanavino. (1978).
- Mapa de Fallamiento Moderno en la Provincia de San Juan, INPRES. (1980). Publicación Técnica Número 7.
- Mapa de Fallamiento Cuaternario de la Provincia de San Juan. Annual Meeting of Geological Society of America. Vol. 4 Western Excursions.

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

INFORME NACIONAL DE BOLIVIA

Hernán Claure *

INTRODUCCION

Se han seguido tres líneas de investigación:

a) La revisión de los estudios locales.
b) Análisis de las imágenes del satélite LANDSAT
c) Investigaciones de campo.

El autor tiene una larga experiencia en relación con la tectónica de Bolivia a través de su trabajo para la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) y en el Proyecto ERTS. Angel Vega, Estela Minaya, Ramón Cabré S.J. y, ocasionalmente, otros geólogos del Servicio Geológico Boliviano (GEOBOL) y de COMIBOL han colaborado en los trabajos de laboratorio y campo.

MATERIALES EMPLEADOS

Valiosa información geológica referente a Bolivia, a nivel regional, ha sido acumulada, tanta que prácticamente la superficie total del país ha sido cubierta.

De acuerdo con las investigaciones realizadas, el modelo tectónico que resulta de los diferentes criterios geológicos tales como el proceso predominante y el grado de erosión, la estratigrafía o las principales secuencias litológicas, sugiere una división del país en siete unidades morfo-estructurales, o provincias geológicas: Cordillera Occidental, Altiplano, Bloque Paleozoico, Sierras Andinas, Planicies Chaco-Benianas, Sierras Chiquitanas y el Escudo Brasileño. Estas fueron intensamente investigadas en relación con los recursos económicos.

GEOBOL ha estudiado el Bloque Paleozoico, el Altiplano, la Cordillera Occidental y el Escudo Brasileño. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) ha hecho esfuerzos investigando geológicamente la Zona-Subandina, el Altiplano y las Planicies Chaco-Beniano. COMIBOL tiene información geológica de grandes áreas mineralizadas. Otros estudios básicos fueron recopilados para el presente trabajo consultando publicaciones tales como: el Mapa Geológico de Bolivia; el conjunto de mapas Fajas Mineralizadas de Bolivia-Metalogénesis- Fallas, Lineamientos y Cuerpos Igneos en los Andes Bolivianos, su relación a la Placa de Nazca; Mapa Estructural de los Andes Septentrionales de Bolivia.

---

* Corporación Minera de Bolivia.

Retrato Page Block

Las investigaciones neotectónicas han sido restringidas a pequeñas áreas o a cuencas tectónicas del Cuaternario, tales como: la Neotectónica de los Sedimentos Plio-Cuaternarios del Norte del Altiplano; Estudio Neotectónico de las Cuencas de Cochabamba, Sucre, Tarija, Cordillera Oriental Boliviana.

La información actual ha sido verificada en el campo, estudiando las características tectónicas en la vecindad de las siguientes poblaciones:

a) En el área de Cochabamba: Sonkani, Misicuni, Liriuni, Sipe-Sipe, Capinota, Buen Retiro, Anzaldo, Potrero, La Viña, Valle San José, San Jacinto, Chocolatada, Villa Tunari, Chiripi, Estrella 18, Villa General Romano, San Miguel, Colani, Aguirre, Aiquile, Agua Blanca, Rumicacha, Aguada Poko, Mizque, Tajras.

b) En el área de Santa Cruz: Pojo, Comarapa, Canal, Monte Grande, Saipina, Pulquina, Moromoro, Vallegrande, Loma Larga, Masicuri, Piraimiri, Guadalupe, Lagunilla, Mataral.

c) Alrededor de Sucre: Cercado, San Pedro, Novilleros, Eje Pampa, Chinguri, Quiroga, Campanario, Yotala, San Isidro, Totacoa, Santa Rosalía, Tambo Acachila.

d) Cerca a Potosí: Millares, 14 vueltas, Retiro, Kasahuasi, Villa Carmen, Konapaya, Betanzos.

e) Al norte de La Paz: Yanacachi, Warisata, Humanata, Ilabaya, Sorata, Cuajone, Quiabaya.

Estos estudios han sido, en gran parte, complementados con información foto-geológica y con la interpretación de 65 imágenes, que cubren el territorio boliviano, obtenidos por el satélite LANDSAT.

OBJETIVOS

Se logró la recopilación y el análisis de fallas y el mapa de lineamientos en Bolivia; además, la actividad volcánica, intrusiones ígneas, epicentros de sismos, con la toponomía respectiva (todo fue restituído en base a mapas hidrográficos básicos), todo lo cual constituyó la información básica para la elaboración del mapa neotectónico boliviano que era el objetivo del Proyecto SISRA, con el fin de correlacionar los procesos geológicos y la actividad sísmica en Bolivia.

La sismicidad en Bolivia evidentemente tiene relación especial con la costa del Pacífico. Los procesos tectónicos dan lugar a efectos sísmicos determinando las provincias sismotectónicas bolivianas.

El mapa neotectónico que se presenta es preliminar. Una gran parte de la investigación, tanto en gabinete como en el campo, fue dedicada a la zonificación sismotectónica de Bolivia y a la verificación en el campo de fallas y de estructuras principales con actividad Cuaternaria, relacionada a sismos locales y regionales.

EXPLICACION DEL MAPA

El mapa neotectónico preliminar de Bolivia muestra tres unidades Neotectónicas:

- La cubierta volcánico-sedimentario del Mioceno-Plioceno.
- La cubierta volcánica del Plioceno-Holoceno.
- La cubierta no volcánica Cuaternario o Plio-Cuaternaria.

- La evolución volcánico-sedimentaria del Mioceno-Plioceno.-

Esta evolución se observa especialmente en el Altiplano, el Bloque Paleozoico y varios sectores de las Sierras Sub-Andinas. Se considera la sedimentación como del Mioceno y la actividad volcánica como del Plioceno.

La sedimentación en el Altiplano Norte muestra una serie gruesa Molásica, que resulta de la erosión de algunos relieves producidos por una fase orogénica del Oligoceno Superior - Mioceno Interior y por los movimientos verticales que la acompañan

En las Sierras Sub-Andinas, la sedimentación parece haber continuado desde el Oligoceno hasta el Plioceno.

El volcanismo en la serie sedimentaria está representada por efusiones piroclásticas y de lava, formando las altas mesetas de Morococala y los Frailes. Las lavas e ignimbritas tienen una composición dacítica, riodacítica y ocasionalmente andesítica. Las fallas transversales a los Andes cortan principalmente los depósitos volcánicos de esta unidad.

- La cubierta volcánica del Plioceno-Holoceno.-

Después de la última importante fase de compresión (intraplioceno), la paleogeografía de la Cordillera de los Andes indica un rápido levantamiento acompañado por intenso volcanismo en el dominio occidental. Después del Plioceno Superior y durante el Pleistoceno muchas de las características sedimentarias y morfo-estructurales se deben a ese levantamiento (Martínez y Tomasi, 1978).

Como consecuencia de la actividad volcánica, existen depósitos estrato-volcánicos con intercalación de tovas volcánicas con efusiones de lava de diferentes composiciones. Los centros eruptivos están alineados a lo largo de fallas activas, muchas entre las cuales mantienen actualmente etapas fumarólicas o solfatáricas.

- La cubierta Cuaternaria o Plio-Cuaternaria no volcánica.-

Consiste de depósitos sedimentarios no volcánicos que rellenan las cuencas tectónicas como el Altiplano que, durante el Plioceno, continuaron hundiéndose; durante el Pleistoceno Inferior se desarrollaron grandes lagos en ese ambiente, tales como el Minchin y el Tauca en la parte sur, originando sedimentos calcáreos, depósitos de sedimentos de arena cacárea y de sal. En la parte norte, está el lago Ballivian que se desarrolló menos salado y más arcilloso.

El Bloque Norte Paleozoico tiene sedimentos glaciares y fluvio

glaciares. Se diferencian cuatro épocas glaciares, afectadas por dos fases de compresión, al final del Plioceno, y dos fases de distensión y una de compresión, durante el Cuaternario (Lavenu, 1979).

En el Bloque Paleozoico existen varias cuencas formadas como consecuencia del levantamiento diferencial del bloque hacia! el final del Terciario. Dichas cuencas se encuentran rodeadas de campos Paleozoicos y rellenas de sedimentos lacustres; las fallas relacionadas a ese block fueron reactivadas durante el Cuaternario, como sucede en las cuencas de Cochabamba y Tarija.

La Planicie Chaco-Beniana ubicada entre el Escudo Brasileño y la Cordillera Andina tiene sedimentos del Plio-Cuaternario, de origen lacustre y aluvial, muy desarrollados. Las características estructurales no estaban definidas a la fecha de este trabajo, pero por lo menos es claro que se trata de una gran cuenca de hundimiento.

- Fallas y Lineamientos

En Bolivia, las condiciones tectónico-estructurales de la actividad Cuaternaria, corresponden a una división en grandes provincias morfo-estructurales.

El macizo Andino (Bloque Paleozoico, Altiplano, Cordillera Occidental y Sub-Andina) muestra fallas y lineamientos con actividad Cuaternaria puntual, en estructuras regionales reactivadas adaptadas principalmente a formaciones sedimentarias de plegamiento, actividad volcánica y deformaciones continentales.

La planicie Chaco-Beniana y el Escudo Brasileño muestran fallas causadas por el basamento cristalino Pre-cambriano, que frecuentemente introduce características geomórficas a través de la cubierta Cuaternaria, con la sola evidencia por el marco del drenaje por medio de ríos y lagos.

Las fallas Cuaternarias dibujadas en el mapa neotectónico preliminar fueron definidas después de haber estudiado el mapa de fallas y lineamientos de Bolivia y la verificación en el campo, complementada con datos sísmicos y la interpretación de las imágenes tomadas por satélite.

La actividad volcánica que se presenta en el mapa neotectónico corresponde a estrato-volcanes, lavas-domo, esqueletos volcánicos, calderas volcánicas y volcanes activos.

- Zonificación Sismotectónica de Bolivia

Una zonificación sismotectónica preliminar del país presenta, en base a los datos geológicos acumulados, la ubicación epicentral de eventos sísmicos y trabajo de inspección en el campo.

Las siguientes zonas de interés son identificadas:

- Valle de Cochabamba
- Aiquile - Sucre

- Sub-Andino, Vallegrande, Postrervalle
- Sorata, Consata-Mapiri
- Tarija-Yacuiba
- Lípez

DISCUSION

El mapa neotectónico propuesto para este proyecto es un primer intento para la geología regional del Cuaternario Boliviano. Por ser un mapa preliminar, no debe sorprender que se encuentren errores que serán corregidos en base a futuros estudios, pero se espera que el mapa constituya una base para correlacionar y explicar los movimientos sísmicos del país.

El conocimiento de las zonas sismo-tectónicas permitirá prevenir los efectos de los terremotos y así contribuir a la planificación del desarrollo nacional.

Para alcanzar los objetivos de este estudio será necesario continuar el trabajo de campo en las diferentes áreas sismotectónicas, y principalmente complementar el mapa con información geológica adicional.

REFERENCIAS

- Ahlfeld I. and Branisa L. 1960. Geología de Bolivia.
- Claure, V.H. and Minaya, R.E. 1979. Lineamientos, Cuerpos Intrusivos, Fajas Mineralizadas, Metalogénesis de los Andes Bolivianos; su Relación a la Placa de Nazca. Boletín No. 4. Sensores Remotos. GEOBOL.
- Claure, V.H. and Fernández A.F. 1974. Lineamientos en Imágenes; su Significado Geológico y su Aplicación en la Exploración de Minerales. Revista Técnica, YPFB.
- Lavenu, A. and Ballivian, O. 1979. Estudio Neotectónico de las cuencas de Cochabamba, Sucre, Tarija - Cordillera Oriental Boliviana. Revista Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. No. 3, pp. 107 - 129.
- Lavenu, A. 1979. Neotectónica de los Sedimentos Plio-Cuaternarios del Norte del Altiplano. Anales VI Convención Nal. de Geología. Vol. 6, tomo 2, pp. 449-463. Oruro.
- Martinez, C. and Tomasi, P. 1978. Mapa Estructural de los Andes Septentrionales de Bolivia. París.
- Pareja, I.J. et al. 1978. Mapa Geológico de Bolivia. Publ. Conjunta Servicio Geológico de Bolivia y Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos . La Paz, Bolivia.

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

INFORME NACIONAL DE COLOMBIA

Clemente Ropaín *
Roberto Alvarez *

En Colombia, de acuerdo con la orientación de las fallas, existen dos sistemas:

1 - Un sistema con dirección aproximadamente paralela a las cordilleras andinas.

2 - El otro sistema con un sentido aproximadamente E-W en la parte más septentrional, el cual parece estar controlado principalmente por la Placa del Caribe.

A continuación se hace una breve descripción de las fallas más importantes.

1. SISTEMA ANDINO

1.1 Falla del Oriente

Localizada a todo lo largo del flanco oriental de la Cordillera Oriental, con buzamiento hacia el W. Pennington (1981) postula a esta falla como una prolongación de la Placa Caribe, hasta las proximidades del límite Colombia-Ecuador.

Históricamente, se conoce que ha habido intensos sismos cuyos focos han podido coincidir con actividad tectónica a todo lo largo de este tren de fallas.

Estudios sísmicos del país adelantados por ITEC LTDA., para Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), señalan que en todas partes, a lo largo de la Cordillera Oriental, hay prácticamente actividad sísmica.

1.2 Sistema de Falla Inversa del Río Magdalena

Conforman este sistema de fallas de Santa Marta-Bucaramanga y Palestina, consideradas como fallas transcurrentes o de rumbos.

1.2.1 Falla Santa Marta-Bucaramanga.-

Se extiende en dirección N-W. Un gran número de fallas satélites a

---

* Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS)

Previous Page Blank

esta falla presentan evidencias de actividad cuaternaria; las principales fallas activas son: Bucaramanga, Bocayá-Belén, Suárez y Salinas.

La rata de desplazamiento sobre estas fallas no es conocida, pero parece ser de moderada a alta, con base en los informes preliminares de evaluación del Proyecto Fonce-Suárez, Woodward-Clyde Consultants (1982).

1.2.2 Falla Palestina.-

Se extiende sobre unos 350 Km, a lo largo del flanco oriental de la Cordillera Central. Collins et al. (1981), indican evidencias de desplazamiento en el Cuaternario a lo largo de un segmento de 200 Km. La actividad de esta falla, con base en los estudios, puede ser de moderada a baja; los esfuerzos tectónicos que afectan la Falla de Palestina aparentemente han sufrido una reorientación importante en algún momento del Cenozoico tardío.

El Valle Medio del Río Magdalena, limitado por las dos fallas antes descritas, corresponde a un bloque hundido (graben), que continúa hundiéndose en la actualidad, originando una zona inundable. La sedimentación es de tipo diferencial por áreas. El promedio máximo de acumulación es de 3.8 mm/año y puede ser tomado con reserva, como valor del hundimiento máximo de la depresión inundable. Martínez A. (1981).

1.3 Sistema Romeral

Con rumbo aproximado norte-sur, se extiende desde el Ecuador por más de 800 Km hacia el norte, con buzamiento hacia el Este, separando las Cordilleras Central y Occidental. Una característica muy importante de este sistema de falla es que separa Corteza Oceánica al oeste de Corteza Continental al este. El trazo original del Sistema de Falla Romeral fue prolongado hacia el norte por Duque Caro (1973) por cerca de 140 Km, debido a que encontró en la Costa Norte provincias geológicas idénticas a las halladas en la parte sur.

Los estudios de riesgos sísmicos adelantados por Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), han permitido descubrir desplazamientos cuaternarios tardíos a lo largo del trazo de la falla y de algunas fallas pertenecientes al sistema, como son las de El Espíritu Santo, Sabanalarga, Montenegro y Sardinas, localizadas al noroccidente. El grado de actividad de este sistema de falla es considerado de moderado a bajo; la tasa de fallamiento en las fallas satélites puede alcanzar de 0.2 a 0.6 mm/año.

El trazo realizado por Duque Caro (1973), como prolongación del sistema Romeral hacia el norte, no presenta estudios que demuestren actividad reciente.

1.4 Falla Cauca

Se extiende desde el Ecuador; está localizada al occidente de la Falla Romeral, a la cual se une al norte; comprende varias fallas ramificadas a lo largo del Río Cauca, con rumbo aproximado N-S. Las fallas son verticales o con fuertes buzamientos hacia el Este o el Oeste. En ella se observa un desplazamiento cuaternario tardío, el cual afecta flujos de lodos y aluviones hundidos, Cline et al. (1981).

El grado de actividad es muy bajo o bajo con una tasa menor de 0.1

mm/año.

1.5 Falla Atrato

Los estudios geológicos realizados en esta zona del país, señalan su trazo; la información acerca de la actividad reciente, es poca o nula.

2. SISTEMA ESTE - OESTE

2.1 Falla de Oca

Localizada en la parte más Septentrional del país; no existen estudios detallados de su actividad sísmica reciente.

3. VOLCANISMO

En Colombia la actividad volcánica ha existido desde el Mesozoico hasta el Reciente, localizado principalmente en la Cordillera Central. Los volcanes más importantes son:

NOMBRE	TIPO	UBICACION Coordenadas Lat.N	Long.W	Localidades	SITUACION
Galeras	Estrato volcán	1°13'	77°18'	Pasto, Nariño	Activo
Puracé	Estrato volcán	2°22'	76°23'	Cauca	Activo
Cumbal	Estrato volcán	0°39'	77°53	Nariño	No activo
Azufral	Estrato volcán	1°05'	77°41'	Nariño	Activo. Fumarólicas y Solfatáricas
Chiles	Estrato volcán	0°49'	77°56'	Límite entre Ecua. y Col.	No actividad reciente.
Nevado del Ruiz	Estrato volcán	4°53'	75°22'	Caldas	Activo. Erupciones en 1519,1845 y 1985.
Nevado del Tolima	Estrato volcán	4°39'	75°22'	Tolima	No activo
Nevado del Huila	Estrato volcán	3°00'	75°59'	Huila y Cauca	Activo. Erupciones no conocidas.
Doña Juana	Estrato volcán	1°31'	76°56'	Nariño	Erupciones en 1897. Lavas y nubes ardientes.
Mesa Nevada de Herveo	Estrato volcán	5°18'	75°28'	Tolima	Actividad Fumaró - lica.
Cerro Negro de Mayasquer	Estrato volcán con lago en el cráter	0°48'	77°57'	Nariño	Actividad Fumaró - lica.
Machín	Caldera con Cono Central	11 kilómetros al SW del Tol.		Tolima	Actividad Fumaró - lica.

4. REFERENCIAS

- ARANGO, C., PONCE, A., 1982. Mapa Geológico generalizado del Departamento de Nariño, Escala 1:400.000. Bogotá. Ingeominas. Bogotá, Colombia.

- ARANGO, C., KASSEM, B., DUQUE, H., 1976. Mapa geológico de Colombia Escala 1:500.000. Ingeominas Bogotá, Colombia.

- ARIAS, L., 1980. Actividad Cuaternaria de la Falla Espíritu Santo. Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá, Colombia.

- BARRERO, D., VESGA, C., 1976. Mapa geológico del Cuadrángulo K-9-Armero y parte sur del J-9, La Dorada, Escala 1:100.000, Bogotá.

- BARRERO, D., 1979. Geology of the Central Western Cordillera, West Buga and Roldanillo, Colombia. Pub. Geol. Esp. N° 4, Bogotá, Colombia.

- BELLEZIA, C., 1971: Interpretación tectónica de la parte norte de América del Sur. Memoria del cuarto Congreso Geológico Venezolano, Tomo I, pp. 233-243.

- BURGL, H., 1967. The Orogenesis of the Andean System of Colombia: Tectonophysics, V. 4 pp. 429-443.

- CASE, J., HOLCOME, T., 1980. Geologic-Tectonic and Bathymetric Maps of the Caribbean Region. Escala 1:2.500.000 Department of the Interior United States Geological Survey.

- CASE, J., BARNES, J., PONIS, H., GONZALEZ, H., and VIÑA, A., 1973. Trans Andean geophysical profile Southern, Colombia, Bull. Geol. Soc. Am. V. 84 pp. 2895-2904.

- CASE, J. MACDONALD, W., 1973. Regional Gravity Anomalies and Crustal Structure in Northern Colombia.Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 84, N° 9, pp. 2905-2916.

- CEDIEL, F., UJUETA, G., CACERES, C., 1976. Mapa Geológico de Colombia , Escala 1:1.000.000. Geotec. Bogotá.

- COMISION DE LA CARTA GEOLOGICA DEL MUNDO, 1978. Mapa Tectónico de América del Sur. Escala 1:5.000.000.

- DUQUE, C., 1980. Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana. Bol. Geol. Bogotá, V. 23 No. 3, pp. 4-37.

- DUQUE, H., 1971. Relaciones entre la Bioestratigrafía y la Cronoestratigrafía en el llamado Geosinclinal de Bolívar. Bol. Geol. Bogotá, V. 19.

- DUQUE CARO, H., 1973. Guidebook to the geology of the Montería area. Col. Soc. Petrol. Geol. Geoph. Ann. Field Conf. 14, Bogotá 1-49.

- ESTRADA, A., 1972. Geology and Plate tectonics history of the Colombian Andean (M.S. thesis). Univ. Stanford, California E.U.

- FEININGER, T., 1970. The Palestina Fault. Geol. Soc. Am. Bull. V. 81.

- HEY, R., 1977. Tectonic Evolution of the Cocos Nazca. Spreading Center. Geol. Soc. Am. Bull. V. 88, pp. 1404-1420.

- HUTCHINGS, L., TURCOTTE, T., McBRIDE, J., and OCHOA, H., 1980. Microseismicity along and Near the Colores shear zone in Antioquia, Colombia. Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá, Colombia.

- IRVING, E., 1971. Evolución Estructural de los Andes más Septentrionales de Colombia. Bol. Geol. Bogotá. V. 19, No. 2.

- JAMES, D., 1971. Plate Tectonic Model for the evolution of the Central Andes, Geol. Soc. Am. Bull. V. 82.

- KASSEM, B., ALVAREZ, J., ARANGO, C., 1979. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Ingeominas. Escala 1:500,000.

- MARTIN, CECILIA, 1978. Tectonic Map Northern South America. Escala 1:2,500,000.

- M. TINEZ, A., 1980. Subsidencia y Geomorfología de la depresión inundable del Río Magdalena. Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá. Colombia.

- MICHEL, H., HOYOS, F. Morfogénesis de la Cuenca del Río Grnade, Antioquia. Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá, 1980.

- PAGE, W., CLINE, K. 1980. Recognition of Active Faults in Tropical Mountainous. Northwest Colombia. Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá, Colombia.

- RUIZ, E., 1980. El Cuaternario de la Región Garzón-Gigante Alto-Magdalena (Colombia). Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá, Colombia.

- SOETERS, R., 1980. Una contribución sobre el desarrollo de la parte alta del Valle del Río Magdalena en el Cuaternario (Colombia). Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá, Colombia.

- VERNETTE, G., BUREL, T. 1980. Evidencias de cambios del nivel del mar en el Cuaternario de la región de Cartagena. Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia, Bogotá, Colombia. 1980.

- WARD, D., 1969. Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12 Bucaramanga. Escala 1:100,000 Ingeominas, Bogotá, Colombia.

- WOODWARD-CLYDE CONSULTANTS, 1978. Estudios Geológicos y Sísmicos a Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), en los sitios de Presa (Circulación Interna).

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

INFORME NACIONAL DE CHILE

O. González-Ferrán *
E. Lorca *

1. INTRODUCCION

El Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), en la reunión realizada en Octubre de 1981, en Lima, Perú, puso en marcha, conjuntamente con U.S. Geological Survey; la Agency for International Development, Office of U.S. Foreign Disaster Assistance (AID) y la activa participación de los países miembros, uno de los Proyectos, más completos y ambiciosos, orientado a la mitigación de los efectos de los Terremotos en la Región Andina de América del Sur, más conocido como Proyecto SISRA.

A partir de ese momento se asignaron las responsabilidades y designaron los coordinadores Regionales y Nacionales, que tendrían a su cargo la materialización de los distintos mapas, catálogos, etc., que conformarían dicho Proyecto. Después de varias reuniones internacionales y seminarios de trabajo y coordinación, se estructuraron y definieron las características y elementos que debería contener cada mapa. Sobre esta base Chile, bajo la Dirección del Coordinador Nacional, Prof. Edgar Kausel, inició los trabajos de compilación de los antecedentes existentes para la confección del Mapa de Elementos Neotectónicos que debería integrarse al Mapa Regional de América del Sur, a escala 1:5.000.000.

El mapa representa un primer intento de expresión gráfica de los elementos geológicos neotectónicos, que evidencian la actividad dinámica de este sector suroccidental de la Placa Sudamericana, durante el período comprendido entre el Mioceno y el Presente y sobre el cual se encuentra ubicado parte del territorio nacional de Chile. Inicialmente y de acuerdo a los objetivos del Proyecto SISRA, se han seleccionado y representado a una escala 1:2.000.000, todos aquellos elementos geológicos que contribuyen a identificar los movimientos tectónicos y sus relaciones con la intensa actividad sísmica y volcánica. En consecuencia, este mapa representa la situación actual del conocimiento de los elementos neotectónicos de Chile (Cenozoico Superior- Reciente).

2. INFORMACION UTILIZADA

En la preparación del mapa se utilizó toda la información publicada, haciéndose una selección y análisis de aquellos trabajos que contienen aportes sustantivos al conocimiento de la neotectónica del territorio chileno. Entre

---

* Dpto. de Geología y Geofísica, Facultad de Ciencias Fisicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Precedido Pág. Blanca

éstos cabe destacar los trabajos de Bruggen, 1950; Fuenzalida et. al., 1965 ; Muñoz Cristi, 1950; Paskoff, 1965; Ruiz et.al, 1965; Okada, 1971; Plafker and Savage, 1970; Saint Amand, 1961; Fuenzalida y Harambur, 1984; y muchas otras referencias, cuyos autores se señalan en la bibliografía consultada .

Valiosa información fue obtenida de los mapas geológicos publicados por el Instituto de Investigaciones Geológicas, hoy Servicio Nacional de Geología y Minería, entre ellos cabe señalar el Mapa Geológico de Chile a Escala 1:1.000.000, (1968) y la nueva versión publicada en 1983 por SERNAGEOMIN. Así mismo se destaca la abundante información contenida en las Tesis de Grado , existentes en el Departamento de Geología y Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, de la Universidad de Chile; además del Mapa sobre los Volcanes de Chile del Atlas Geográfico de Chile (1983).

Esta información fué complementada con la consulta y análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite Landsat, e integrada con la experiencia y conocimiento del territorio por parte de los autores.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal, de acuerdo con lo establecido en el Proyecto SISRA, era disponer finalmente de un Mapa que identificase todos aquellos elementos geológicos, que permitan reconocer claramente aquellas regiones de inestabilidad de la corteza y que se traducen en expresiones superficiales que modifican los rasgos morfológicos del terreno, causados por agentes geológicos, como movimientos de fallas, hundimiento y alzamiento de bloques, incremento de la actividad volcánica, etc., los cuales están íntimamente ligados a la actividad sísmica, generada por la actividad dinámica de la Tectónica de Placas y que frecuentemente corresponden a fenómenos geológicos de corta duración y de carácter catastrófico, particularmente cuando ello ocurre en zonas densamente pobladas, como lo es el margen andino de América del Sur.

Los elementos neotectónicos representados en el mapa, deberán permitir su correlación con la información sismológica, de tal forma que pueda hacerse una interpretación sismo-tectónica, orientada a disponer de un modelo que permita actuar en la mitigación de los efectos causados por la actividad sísmica y volcánica.

4. EXPLICACION DEL MAPA

4.1 Consideraciones generales sobre la leyenda.-

Chile, por su posición geográfica, localizado sobre un margen activo de placas convergentes en el Pacífico Sur Oriental, presenta un intenso desarrollo de la actividad tectónica, volcánica y sísmica a lo largo de toda su historia geológica. La actividad ígnea que ha generado extensas cubiertas volcánicas durante el Cenozoico Superior, asociada a depósitos sedimentarios continentales y marinos, permiten identificar claramente los movimientos tectónicos diferenciales de bloques, que han estructurado los principales rasgos morfológicos del territorio nacional desde el Plioceno hasta el Presente, y por lo tanto los sistemas de fallas asociados, muchos de los cuales evidencian actividad holocénica e histórica, probablemente asociada a grandes sismos.

4.2 Descripción de la leyenda.-

4.2.1 Cubierta de Rocas Pre-Cenozoico Superior.-

Se ha considerado como una sola unidad basal al complejo de formaciones continentales o marinas de edades Paleozoicas, Mesozoicas y Terciaria Inferior, sobre la cual se desarrolla la cubierta volcánica y sedimentaria desde el Mioceno al Reciente.

4.2.2 Cubierta de Depósitos Marinos Eoceno-Pleistoceno.-

Extensas regiones a lo largo de la costa de Chile, particularmente desde la latitud 26° hacia el Sur, muestran el desarrollo de varios niveles de terrazas de origen marino, que han sido solevantadas durante el Pleistoceno Reciente. Ellas están evidenciando claramente los movimientos tectónicos verticales cuyo origen está asociado a los movimientos de convergencia de las placas y en menor proporción a ciclos de oscilación glaci-eustáticas, que en conjunto o independientemente, generaron zonas de hundimiento y levantamiento de áreas, dando origen a niveles de terrazas tanto marinas como fluviales.

En el centro y norte de Chile se han identificado terrazas entre 250 y 400 metros sobre el nivel del mar; mientras hacia el sur, varían entre 170 y 200 m.s.n.m. y en las costas australes fluctúan entre 10 y 70 m. En ellas se han reconocido, al menos, cuatro niveles principales de terrazas generadas durante los últimos 5 millones de años (Plioceno-Reciente). Así, los niveles más altos han sido atribuídos al Plioceno y los otros se habrían desarrollado durante el Pleistoceno. De edad más reciente se han reconocido niveles entre 5 y 7 metros y otros post-glaciales habrían generado terrazas de 1-2 m.s.n.m. (Paskoff in Fuenzalida 1965).

La importancia de representar estas terrazas marinas para interpretar la actividad sismotectónica queda claramente demostrada durante el terremoto de Mayo de 1960, acaecido en el Sur de Chile, donde una extensa región costera comprendida entre Puerto Saavedra y la Península de Taitao experimentó hundimientos y solevantamientos diferenciales entre -2.70 m. (Corral-Valdivia) y + 5.70 m. (Isla Guamblin) (Plaffker and Savage, 1970).

4.2.3 Cubierta Volcánica Miocena-Pliocena.-

Chile está cubierto por extensas secuencias de rocas volcánicas que en parte presentan rasgos de "plateau", inicialmente asociado a un volcanismo controlado por fracturas paralelas al eje de los Andes y a la formación de calderas volcánicas gigantes (10 a 25 Km. de diámetro, ej. Wheelwright; Galán, etc.), que han generado extensos depósitos de flujos de lavas y cenizas riolíticas, particularmente en la región norte de Chile (Andes Centrales de Sudamérica), disminuyendo notablemente hacia la región austral donde pasan a predominar los flujos de dacitas, andesitas y basaltos. La actividad volcánica en esta Región Andina, alcanza su mayor desarrollo durante el Mioceno-Plioceno, observándose períodos de inactividad muy marcados, especialmente en el Mioceno superior y Plioceno superior.

Las características calco alcalinas del volcanismo a lo largo de esta región andina, están demostrando claramente su asociación con los procesos de subducción entre la Placa de Nazca y el margen occidental de la Placa Sudamericana.

Esta cubierta volcánica, tiene especial importancia en el estudio y datación de los movimientos diferenciales de bloques que estructuraron la Cordillera de los Andes, las depresiones tectónicas intermedias en forma de

valles longitudinales y los bloques de la Cordillera de la Costa a lo largo de la mayor parte del territorio nacional, con la excepción de la región comprendida entre los 27° y 33° de latitud sur, donde no existe esta clara diferenciación y donde el volcanismo Mioceno es muy esporádico.

4.2.4 Cubierta Volcánica Pliocena-Holocena.-

Se desarrolla exclusivamente sobreimpuesta al bloque cordillerano de los Andes, dando el rasgo morfológico actual a la Cordillera Andina, tanto en el norte como en la zona central-sur de Chile. Esta cubierta está ausente en la región comprendida entre los 27° y 33° de latitud sur. Sus efusivos varían entre basaltos y andesitas y en menor proporción dacitas y riolitas calco-alcalinas, íntimamente ligados a estructuras volcánicas cuyos rasgos morfológicos corresponden a esqueletos volcánicos, estratos conos, lavas domo, calderas, conos cinericios, maares, flujos de cenizas y depósitos de nube ardientes y otras estructuras menores. Esta cubierta a su vez, representa la ubicación actual de las líneas de mayor flujo calórico que concentra el volcanismo activo históricamente, a lo largo de la Región Andina.

4.2.5 Cubierta Cuaternaria o Plio-Cuaternaria No Volcánica.-

Se ha representado como una sola unidad a un complejo de materiales de origen fluvial, aluvional, fluvioglaciar, morrénico y coluvial y en algunos casos con intercalaciones de materiales volcánicos asociados a flujos de cenizas y lahares. Estas cubiertas se encuentran principalmente rellenando las depresiones tectónicas del valle central o valles fluviales (en forma de depósitos de terrazas). El relleno alcanza espesores considerables en algunas localidades, como en Chillán sobre 1500 m., mientras que en Santiago fluctúa entre 50 y 400 metros.

4.2.6 Volcanes.-

Los centros volcánicos representados en el mapa, los cuales se concentran sobre el bloque principal de los Andes, han sido clasificados considerando su edad. Así, con triángulos grises se indican todos los volcanes plio-pleistocenos. Los volcanes cuya última actividad eruptiva ocurrió durante los 10.000 años del Holoceno, se han representado con círculos blancos. Aquellos con erupciones durante tiempos históricos se señalan con puntos rojos, junto al cual se ha anotado el año de la última erupción.

En Chile se han reconocido más de 1000 centros volcánicos plio-pleistocenos, pero solo 55 de ellos tienen registro histórico de su actividad eruptiva. Durante los últimos cien años la actividad eruptiva se concentra en la región central-sur, con 22 volcanes, la cual representa alrededor del 70% de la actividad volcánica ocurrida en Chile, durante el último siglo. Ella coincide con la zona de mayor densidad de población del país. Si consideramos su íntima relación con la actividad sísmica, como producto de la dinámica de subducción, ellas representan un alto peligro y riesgo volcánico, pese a su bajo índice de explosividad, razón por la cual constituyen un elemento neotectónico importante en el análisis del riesgo sísmico-volcánico.

4.2.7 Fallas.-

Los movimientos tectónicos del Plioceno-Pleistoceno, que modelaron la morfología actual de la Región Andina, generaron sistemas de fallas ,

principalmente asociadas a los movimientos verticales de bloques, muchos de los cuales reflejan aún cierta actividad. Otros sistemas de fallas han surgido durante el Pleistoceno-Reciente, asociados a la actividad volcánica, principalmente en forma de échélon sobre el bloque andino y longitudinal en la parte central - sur de Chile. La representación de fallas activas históricas, es relativamente escasa en relación a la superficie del margen activo del territorio, lo cual queda compensado en parte por la presencia de numerosas fallas con movimiento holocénico. Esto habría que considerarlo como carencia de estudios detallados en muchas regiones sísmicamente activas.

En su representación se han considerado tres grupos de fallas:

a) Las fallas y lineamientos Pre-Cenozoico, que afectan a las formaciones consideradas, en este caso, como basamento; b) Las fallas con actividad durante el Plio-Pleistoceno y Holoceno, las cuales son muy numerosas a lo largo del territorio y cuyas trazas se conservan muy bien, especialmente en la región norte del país; y c) Fallas activas con movimientos históricos, asociados a grandes sismos; estas son más escasas. En Chile se puede señalar una sola falla con tales características y ella corresponde a la falla de "Las Melosas", asociada al sismo del 4 de Septiembre de 1958.

4.2.8 Movimientos Verticales.-

Chile, por su ubicación geográfica, con más de 4,000 kilómetros sobre el margen costero de la Región Andina de América del Sur, ha sido afectado constantemente por los movimientos de hundimiento y levantamiento, asociados a grandes terremotos históricos; entre ellos se puede mencionar los de 1822, 1837, 1906, 1922, 1939, 1949, 1960 y, recientemente, el de Marzo de 1985. En resumen, se puede señalar que una importante y extensa zona costera ha estado en permanente subsidencia desde la latitud cercana a Concepción hacia el sur; mientras que hacia el norte se observa un constante alzamiento del bloque costero, al igual que otra franja costa afuera hacia el sur.

5. BIBLIOGRAFIA

- Barazangi, M., and B.L. Isacks, 1976, Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. Geology, 4. p. 686-692.

- Bruggen, J., 1950. Fundamentos de la geología de Chile, Santiago, Inst. Geogr. Militar, 374 p.

- Frutos, J., 1981. Andean tectonics as a consequence of sea floor spreading. Tectonophysics, 72, t21-T32.

- Fuenzalida, H.; Cooke, R., Paskoff, R., Segerstron. K. and Weischet, W., 1965. High stands of Quaternary Sea level along the Chilean Coast. Geolog. Society of America. Special Paper 84, p. 473-496.

- González-Ferrán, O., y M. Vergara, 1962. Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° Latitud Sur. Santiago, Universidad de Chile. Instituto Geología, Public. 24, 121 p.

- González-Ferrán, O., 1969. Evolución del volcanismo y tectónica de los

Andes Centrales de Sudamérica, durante el Cenozoico Superior. Perfil Arica (Chile) - Potosí (Bolivia). Proyecto Geofísico Andino IX Asamblea General IPGH. Washington, D.C. p. 21-28.

- González-Ferrán, O., 1972. Distribución del volcanismo activo de Chile y la reciente erupción del Volcán Villarrica. Primer Symposium Cartográfico Nacional. I.G.M. Santiago, p. 191-207.

- González-Ferrán, O., 1973. Volcanismo Andino Cenozoico y sus relaciones con la zona de subducción del Pacífico Oriental. Conference on Geodynamics, IASPEI - IUG' Meetings. Lima, Comptes Rendus N° 18, p. 238.

- González-Ferrán, O., 1974. Arica - Nevados de Payachata. Guide Book - Excursion A-1, IAVCEI International Symposium on Volcanism, Santiago , p. 1-36.

- González-Ferrán, O., 1983. Volcanes, Atlas de la República de Chile , Instituto Geográfico Militar, Santiago, p. 78-79.

- Illies, H., 1960. Geologie der Regend von Valdivia, Chile. Stuttgart, Neves Jahrb., Geol. Pal. Abh., Bol III, p. 30-110.

- Instituto Investigaciones Geológicas, 1968. Mapa Geológico de Chile , escala 1:1.000.000. Santiago.

- James, D.E., 1979. On the origin of the calc-alkaline volcanics of the Central Andes; a revised interpretation. Carnegie Institution Washington, Yearbook N° 77, p. 562-587.

- Lomnitz, Cinna, 1959. Investigaciones gravimétricas en la Región de Chillán. En: Instituto de Investigaciones Geológicas; Boletín N° 4, Santiago.

- Muñoz, C., 1950. Geología, en Geografía Económica de Chile, Santiago , Corporación Fomento Producción, t. 1.

- Muñoz Cristi, J. y O. González-Ferrán, 1966. Bosquejo Geológico de Chile. Mapa Temático Atlas de la República de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago, p. 107.

- Ruiz, F. C.; Corvalán D., y Aguirre L., 1965.- Geología, en Geografía Económica de Chile, Santiago, Corporación de Fomento Producción, p. 35-97.

- Ruiz, C.; Corvalán, J; Klohn, C. y Levi B. 1965. Geología y Yacimientos Metalíferos de Chile. Instituto Investigaciones Geológicas, 305 p. Imprenta Universitaria, Santiago.

- Ruiz, C. y J. Corvalán, 1966. Geología, en Geografía Económica de Chile. (Primer Apéndice). Corporación Fomento Producción, p. 18-30.

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

INFORME NACIONAL DE ECUADOR

Dr. Minard L. Hall *
Jorge Sevilla *

1. INTRODUCCION

La compilación de la información sobre los rasgos tectónicos comenzó durante los años 1978-80, cuando se realizaron dos estudios sobre la microsismicidad y las fallas activas en el Valle Interandino (Hall y Ramón,1978; Hall et al, 1980). También investigaciones sismológicas llevadas a cabo durante el mismo período por Woodward-Clyde Consultants, INECEL y otros, pusieron en evidencia la presencia de fallas activas en otras partes del país. Esto dio mucho estímulo para compilar los datos disponibles.

Mientras tanto, Jorge Sevilla de INECEL elaboró un mapa de lineamientos en la escala de 1:500.000 a base de las imágenes de LANDSAT. Se convino en que la unificación de los dos esfuerzos sería de beneficio mutuo y de interés nacional, y así se planificó un trabajo conjunto para completar un "Mapa Nacional de Fallas".

La iniciación del Proyecto SISRA permitió impulsar significativamente el desarrollo del trabajo y, especialmente, adelantar la mayor parte de la compilación de los datos y la elaboración del mapa.

En adición a la contribución del Ing. Jorge Sevilla, el Ing. Hugo Yepes, del Instituto Geofísico, participó en la preparación del mapa.

2. MATERIAL EMPLEADO

El mapa fue integrado y compilado en base a varias fuentes. Un mapa de lineamientos tectónicos trazados desde imágenes LANDSAT fue preparado en la escala 1:500.000, por el Ing. Sevilla Fueron añadidos otros lineamientos formados de otras imágenes de satélite y de fotos aéreas. Luego se hizo una comparación de dichos lineamientos con las fallas publicadas en los mapas geológicos en varias escalas, elaborados por la Dirección General de Geología y Minas, con fallas reportadas en estudios sismológicos (Hall y otros; Woodward-Clyde Consultants, etc.) y de otras fuentes. Fallas y lineamientos de corta longitud y/o de carácter incierto fueron descartados, al instante de reducir la escala del mapa a 1:2'000.000. La distribución de materiales no bien consolidados fue trazada desde los mapas geológicos del país (D.G.G.M.). La

---

* Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional.

ubicación de los volcanes y la distribución de los materiales volcánicos vienen de mapas geológicos (D.G.G.M.), y estudios volcánicos (Hall, 1977).

Muy pocas de las fallas y lineamientos se han chequeado en el campo, por lo tanto no se sabe con toda precisión si se trata de fallas activas, fallas no activas o solamente lineamientos. Futuros trabajos se dedicarán a verificar la naturaleza activa de las fallas principales.

3. OBJETIVO

El mapa tiene la finalidad de indicar la presencia y ubicación de los rasgos tectónicos más importantes en el Ecuador, especialmente fallas y lineamientos tectónicos. Así mismo, la de apreciar la distribución de los estratovolcanes en el Norte del país y la de los grandes mantos de ceniza silícea en la parte austral.

Esto y su relación con el límite de choque entre las placas Nazca y de Sudámerica -la Fosa Ecuatoriana- permite un entendimiento más claro de la actividad dinámica del proceso de subducción de placas en el país (Hall y Wood, en prensa).

4. DESCRIPCION DEL MAPA NEOTECTONICO DEL ECUADOR

La República del Ecuador, igual que los otros países andinos, ha tenido una larga historia de desastres telúricos, que incluye numerosos terremotos de alta magnitud. Estudios geológicos recientes empleando el mapeo geológico, la fotointerpretación de tomas aéreas y de satélite, así como investigaciones sismológicas, han empezado a demostrar con mayor claridad la distribución de los sistemas de las principales fallas activas y no activas. A continuación se describen en forma breve y preliminar las regiones sísmicas y la clase de fallas relacionadas con cada una de ellas.

4.1 La pendiente continental, que incluye la zona submarina entre la fosa y la playa, se considera que está cortada por muchas fallas activas paralelas a la costa, hecho observado en muchas otras pendientes continentales activas en el mundo. La ubicación de estas fallas, principalmente, se estima según la topografía del fondo del mar, dada por mapas batimétricos; sin embargo, se hace difícil una verificación completa de su presencia. Se nota un cambio de la orientación de estas fallas desde un rumbo NNE en la costa central al rumbo NE frente a Esmeraldas (1° N), en el extremo norte.

La contínua actividad sísmica detectada allí, indica claramente que esta franja submarina es sumamente activa, en especial el tramo desde Salinas (2°S) hasta el límite con Colombia. Grandes terremotos con magnitudes hasta 8.8 en la escala de Richter se han originado en esta región, especialmente frente a Esmeraldas; se trata de fallas inversas de gran longitud, cuya actividad está relacionada con la subducción de la placa Nazca (Kelleher, 1972; Herd et al, 1981; Kanamori y McNalley, 1982).

4.2 La zona costanera, aquella que se ubica al Oeste de Los Andes, también está cortada por numerosas fallas de diversas orientaciones. A mayor escala se nota que al Oeste, especialmente en la Cuenca Progreso, pliegues y fallas inversas de rumbo WNW-ESE del Mioceno tardío están cortados por

fallas de orientación NE. Al Norte, en la región de Manabí, fallas de orientación NNE-SSW están truncadas por un juego de fallas normales de orientación NE-SW cuya edad es probablemente post-miocénica (D.G.G.M.).

En el extremo Norte también existe el mismo juego de fallas, aparentemente del tipo normal y con una edad post-miocénica (D.G.G.M.). De mayor importancia es la Falla Cojimíes de orientación ENE-WSW, que es del tipo normal aunque también muestra moción destral. Su longitud es más de 200 Km y sigue en Colombia donde se la llama "Falla Junín".

Parece que la mayoría de las fallas de la zona costera son post-miocénicas y de orientación NW-SE y NE-SW; aparentemente reflejando los esfuerzos relacionados con el choque entre la placa Nazca y la de Sudamérica.

Asociado con este fallamiento está el levantamiento general de la costa, en el cual playas pleistocénicas han alcanzado niveles de hasta 300 m.s.n.m. frente a Manabí (1° S).

Debido a la potente cobertura terciaria-cuaternaria, la presencia de fallas importantes no ha sido confirmada en las cuencas de Guayas y Manabí (D.G.G.M.), hacia el Este de la línea costera.

4.3 Los Andes del Ecuador, que atraviesan el país con un rumbo general NNE-SSW, nos permiten obtener el mejor conocimiento de la situación tectónica del Ecuador. Se reconocen tres sistemas de fallas; a) fallas normales de rumbo N-S; b) fallas de rumbo destrales con rumbo NE-SW; y c) fallas de rumbo sinistrales con rumbo NW-SE.

Las fallas N-S están asociadas al Valle Interandino, que es un graben de más de 300 Km de largo y una anchura promedio de 30 Km. Asociados con los dos lados del Valle se encuentran pequeños horsts, grabens y bloques tectónicos inclinados, cuyas fallas limitantes desplazan a las capas de ceniza volcánica pleistocénica superior. El Valle separa las dos filas principales de volcanes activos y apagados, las cuales definen las cordilleras Occidental y Real de los Andes Ecuatorianos.

Numerosos lineamientos y fallas de rumbo NE-SW se observan atravesando a lo largo de toda la longitud de los Andes; se ve evidencia de moción con sentido destral, así como vertical. Por ejemplo, se pueden trazar las fallas Romeral y Cauca desde Colombia hacia el Suroeste hasta el Valle del Río Mira (0.5°N). Evidencia adicional de fallamiento NE-SW se ve también en ciertos lugares donde las fallas cruzan diagonalmente al Valle Interandino o afloran en el flanco occidental de los Andes. Dos fallas notables, las de Pallatanga y de Guayaquil, se prolongan hacia el Golfo de Guayaquil, donde tomaron parte en la formación y desarrollo del mismo (Shepherd y Moberly, 1981). En los Andes Australes se notan varios valles paralelos con dicho rumbo, lo que sugiere la presencia de otras fallas de este sistema.

Aunque no tan abundantes como las del anterior sistema, también existen lineamientos y fallas de orientación NW-SE que, en ciertos casos, son trazables desde la Cuenca Amazónica hasta el flanco occidental de los Andes, en una distancia de 150 Km. Cortan y desplazan en sentido siniestral a las fallas de cabalgamiento de edad laramídica, las cuales delimitan el pie oriental de los Andes.

Estudios recientes de la actividad microsísmica en el Valle Interandino muestran claramente que los tres sistemas de fallas son activos, estando la sismicidad restringida actualmente a determiandos nidos activos (Hall y Ramón, 1978; Hall et al, 1980; Hall y Yepes, 1980, 1981; Woodward-Clyde, 1981).

De los numerosos volcanes ubicados en las cordilleras, se considera que trece volcanes son potencialmente peligrosos y podrían entrar en erupción en un instante futuro. A continuación se destacan, en la Cordillera Occidental: los volcanes Quilotoa, Ninaguilca (Atacazo), Guagua Pichincha, Pululahua, Cuicocha y Cerro Negro de Mayasquer; en la Cordillera Real: los volcanes Sangay, Tungurahua, Cotopaxi, Antisana y Cayambe; y al Este de los Andes: los volcanes Reventador y Sumaco. Vale notar que todos estos se encuentran al Norte de la Latitud 2.00°S, siempre asociados con el graben estructural del Valle Interandino, así como también con una mayor sismicidad (Hall, 1977).

4.4 La Cuenca Amazónica no dispone de muchas fallas bien reconocidas principalmente debido a la cobertura selvática y la carencia de estudios detallados. La mejor identificada es la serie de fallas de cabalgamiento, de edad laramídica, que definen la franja de sobrecorrimiento a lo largo del pie oriental de los Andes. Un estudio sismológico realizado en un sector Norte de esta franja no detectó ninguna actividad (Woodward-Clyde, 1978). Ciertos lineamientos grandes, mejor reconocidos en los Andes, son trazables hacia la Cuenca, de los cuales el más largo es sísmicamente activo y tiene un sentido de moción siniestral (Pennington, 1981).

5. DISCUSION

El Mapa Neotectónico representa la situación actual del conocimiento de los rasgos neotectónicos en el Ecuador. Se debe utilizarlo siempre con la precaución de que tales rasgos son tentativos hasta cuando un mayor estudio permita una mejor definición.

6. REFERENCIAS

- Dirección General de Geología y Minas (D.G.G.M.); mapas geológicos de escala de 1:50.000 y 1:100.000, publicados desde 1970, Quito.

- Hall, M., 1977. El Volcanismo en el Ecuador; Biblio. Ecuador, I.P.G.H., Quito, 120 p.

- Hall, M., y Ramón, P., 1978. Las Fallas Activas del Valle Interandino entre Latacunga y Quito; Memoria, Primer Cong. Ecuat. Geol. Minas Petról., Quito, p. 60-72.

- Hall, M., Basabe, P. y Yepes, H., 1980. Estudio de Fallas Tectónicas y la Actividad Microsísmica del Valle Interandino, entre Pastocalle y Ambato; Revista Politécnica, Vol. 5, N° 2, p. 57-77.

- Hall, M. y Yepes, H., 1980. Fallamiento y Actividad Microsísmica en el Valle Interandino, Ecuador; Revista Geofísica N° 13, I.P.G.H. p. 36-44.

- Hall, M. y Yepes, H., 1981. Estudio del Fallamiento y de la Actividad Microsísmica en el Valle de Machachi; informe inédito preparado para

la Com. Ecuat. Energía Atómica, Quito, 55 p.

- Hall, M. y Wood, C.A., 1985. Volcano-Tectonic Segmentation of the Northern Andes; Geology.

- Herd, D., Youd, T., Meyer, H., Arango, J., Person, W., y Mendoza, C., 1981. The Great Tumaco, Colombia Earthquake of 12 December 1979; Science V. 211, p. 441-445.

- Kanamori, H., y McNally, K., 1982. Variable Rupture Mode of the Subduction Zone along the Ecuador - Colombia Coast; Bull. Seis. Soc. Amer. V. 72, p. 1241-1253.

- Kelleher, J., 1972. Rupture Zones of Large South American Earthquakes and Some Predictions; Jour. Geoph . Re. V. 77, p. 2087-2103.

- Pennington, W., 1981. Subduction of the Eastern Panama Basin and Seismotectonics of Northwestern South America; Jour. Geoph. Res. V. 86, p. 10753-10770.

- Shepherd, G. y Moberly, R., 1981. Coastal structure of the continental margin, northwest Peru and southwest Ecuador; Geol. Soc. Amer. Mem. 154, p. 351-391.

- Woodward-Clyde Consultants, 1978. Preliminary Seismic Hazard Study for the Salado Dam Site; informe inédito preparado para INECEL, Quito, 61 p.

- Woodward-Clyde Consultants e HIGGESO, 1981. Investigations for the Studies of Seismic Risk for the Agoyan Dam Site; informe inédito preparado para INECEL, Quito, 85 p.

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

INFORME NACIONAL DEL PERU

Ernesto Deza *
Justo Cabrera *

1. INTRODUCCION

El presente informe nacional ha sido preparado tomando como base integral el informe preliminar de las observaciones sobre la Neotectónica del Perú preparado por el grupo Peruano-Francés a donde tendrán que remitirse las personas interesadas en adquirir mayores detalles (1,2).

A partir de 1977, el Instituto Geofísico del Perú, en colaboración con el Laboratoire Geologie Dynamique Interne de la Universidad de París Sud, comienza a desarrollar un programa de investigación que está contribuyendo a aumentar considerablemente el conocimiento de la Neotectónica en el Perú. Este programa se inició con un reconocimiento de campo de las fallas activas, luego se ejecutó el estudio neotectónico de la transversal de los Andes en el Sur del Perú a fin de proporcionar un cuadro evolutivo de referencia. Actualmente, dentro de dicho programa, se están realizando estudios regionales detallados que permitirán evaluar los peligros neotectónicos en forma precisa. Las áreas estudiadas o en proceso de estudio son las siguientes: Costa Central, Huancayo, Departamento de Arequipa, región del Cuzco, Departamento de Ica y Cordillera Blanca.

El proyecto SISRA ha permitido impulsar las Investigaciones Neotectónicas, ayudando a financiar la terminación de algunas observaciones de campo y fundamentalmente la preparación del "Mapa Neotectónico Preliminar del Perú" y el informe sobre la "Neotectónica del Perú" (1); sin la valiosa contribución del SISRA hubiese sido difícil la preparación de los mencionados trabajos.

Los investigadores que efectuaron los estudios Neotectónicos después de 1977 y prepararon el Mapa Neotectónico Preliminar y el informe correspondiente se mencionan a continuación.

-	Dr. Michel Sebrier	Laboratoire Geologie Dynamique Interne de la Universidad de París Sud.
-	Ing. David Huamán	Instituto Geofísico del Perú.
-	Ing. Justo Cabrera	" " " "
-	Ing. José Macharé	" " " "
-	Ing. Jean Luc Blanc	Universidad de París Sud
-	Ing. Didier Bonnot	" " " "

---

* Instituto Geofísico del Perú.

Se contó, además, con el asesoramiento del Dr. Jacques Mercier del Laboratoire Geologie Dynamique Interne de la Universidad de París Sud y del Ing. Ernesto Deza del Instituto Geofísico del Perú.

2. MATERIALES USADOS

2.1 Fuente de Datos.-

Para la preparación del informe nacional se ha tomado como base fundamental el resumen titulado "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú: Resumen del informe SISRA Noviembre 1982" (2) y el informe sobre el mismo tema tratado "in extenso" que se menciona en la referencia (1) en el que se considera un conjunto de información recopilada sobre la neotectónica en el Perú, la que se encuentra listada en la bibliografía del mencionado informe .

2.2 Exactitud de los Datos.-

La mayor parte de los datos considerados hasta antes de 1977 se puede decir que son escasos y puntuales debido a la extensión del territorio peruano. Al presente y por el incremento de observaciones neotectónicas, la evolución geodinámica en el Territorio Peruano empieza a mostrar un cuadro más claro; aún así, lo que se consigna en este mapa es de carácter preliminar ; esto significa que las observaciones futuras aumentarán la precisión del mapa en cuanto a la delimitación de las áreas de los movimientos neotectónicos, sin que esto signifique un cambio completo del mapa. Por otro lado el cuadro evolutivo considerado podrá ser modificado sin cambiar la esencia de lo consignado hasta aquí.

3. OBJETIVOS

El propósito del informe es mostrar en forma integral el estado de avance de las investigaciones neotectónicas en el Perú; los resultados hasta el presente se muestran en el "Mapa Neotectónico Preliminar", elaborado a escala 1/2'000,000.

La integración de los resultados obtenidos hasta la fecha permite analizar en forma preliminar la evolución geodinámica del Perú desde hace 40 MA hasta el presente.

4. EXPLICACION DEL MAPA

A pesar de que la interpretación del mapa permite delimitar aproximadamente áreas de extensión y compresión, asi como áreas de levantamientos y hundimientos, no están aún delimitadas las unidades sismotectónicas, lo cual constituirá el siguiente paso; por esta circunstancia el mapa se denomina "Neotectónico" y no "Sismotectónico".

Un extracto muy resumido de la interpretación del mapa, permite tener una idea de la Geodinámica Andina en los últimos 40 millones de años; se reitera la necesidad de revisar los informes (1) y (2) para completar con mayor profundidad la evolución geodinámica Andina dentro de las limitaciones consideradas.

La evolución geodinámica de los Andes Peruanos en los últimos 40 MA

está conformada por largos períodos con actividad neotectónica relativamente leve y mayormente de tipo extensional; estos períodos están interrumpidos por fases tectónicas compresionales de corta duración.

El levantamiento de la cadena es discontinuo y más o menos contemporáneo de las fases tectónicas compresivas. La crisis del levantamiento más intensa es la del Mioceno terminal, a consecuencia de la cual la cadena alcanzó aproximadamente su altitud actual.

Actualmente, en comparación con lo que ha podido ocurrir en los últimos 40 MA, la actividad tectónica no es anormalmente intensa; además, desde el cuaternario medio es mayormente extensional.

Las estructuras cuaternarias (pliegues, flexuras y fallas) se encuentran mayormente ubicadas en fajas que corresponden aproximadamente con límites de unidades morfo estructurales. Por lo tanto, las zonas que tienen mayor peligro sismotectónico son las siguientes:

1. Los límites de la Cordillera Oriental con la Zona Sub-Andina y con las Altas Planicies son las dos zonas más notables.

2. La zona costera y el límite entre la Cordillera Occidental y el Piedemonte Pacífico.

Los altos Ramales Cordilleranos cubiertos con glaciares tienen frecuentemente fallas activas en sus cercanías.

En la Costa y Sierra, el campo de esfuerzo es mayormente extensional, excepto en la zona de Huancayo y posiblemente en la Costa NW. Dichos esfuerzos extensionales tienen un eje de tracción que es aproximadamente N-S. La zona Sub-Andina no muestra huellas de una tectónica extensional y más parece sometida actualmente a esfuerzos compresivos.

Durante el Cuaternario, las costas Norte y Sur se levantan mientras que a partir del Cuaternario medio la Costa Central se hunde. En la región de Lima, se puede mostrar que la velocidad media de este hundimiento es aproximadamente de 0.1 mm por año y que el máximo podría alcanzar 0.5 mm por año.

Los altos Ramales Cordilleranos con fallas activas en sus cercanías (Cordillera Blanca, Huaytapallana, Vilcamamba y Auzangate) se encuentran en proceso de levantamiento.

En lo que sigue se muestra la explicación de los símbolos incluidos en el "Mapa Neotectónico Preliminar del Perú".

1. Fallas con actividad cuaternaria (o pliocuaternaria) asumida o lineamiento.

2. Fallas con actividad cuaternaria probable.

3. Fallas "activas" (ya sea por evidencia morfológica, o porque cortan terrenos atribuidos al Holoceno).

   Se entiende por "activo", cualquier fallamiento o reactivación del fallamiento, ocurrido en los últimos 10,000 a 20,000 años aproximadamente.

4. Fallas "activas" con actividad histórica comprobada.

5. Falla inversa.

6. Falla normal

7. Falla transcurrente (o de rumbo) dextral o sinistral.

8. Sinclinal.

9. Anticlinal.

10. Flexura.

11. Volcán activo.

12. Fuente termal.

13. Límite del Cuaternario o del Plio-Cuaternario.

14. Movimiento relativo vertical de las zonas costeras.

    a. Costas hundidas, el figurado con achurado perpendicular a la línea de trazo.
    b. Costas levantadas, el figurado con línea gruesa.

15. Solevantamiento de zonas continentales.

16. Hundimiento de zonas continentales.

5. DISCUSION

El mapa muestra, aunque en forma preliminar, las áreas de mayor movilidad tectónica, ya sea por hundimientos o levantamientos y zona de fallamiento activo superficial así como las áreas de vulcanismo cuaternario y actual; de manera que permite introducir, en la determinación del riesgo sísmico, estos elementos que ayudan a una evaluación más precisa de este riesgo.

La limitación "per se" de este mapa es su carácter preliminar y la escala de su confección disminuye la precisión de las ubicaciones de algunos elementos neotectónicos. Esta limitación constituye el incentivo para una investigación más detallada.

6. REFERENCIAS

1. Sebrier M., Huamán D., Luc Blanc J., Macharé J., Bonnot D., Cabrera J., "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú". Informe del Proyecto SISRA, Noviembre 1982, Lima, Perú.

2. Deza E., Cabrera J., "Resumen del Informe SISRA Noviembre 1982. Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú" Reunión Regional del Proyecto SISRA San Juan, Argentina, Setiembre 1984.

en la misma. Se traduce en fallamientos con orientación N 30°-40° E, de edad jurásica superior; y N 70° E y N-S, de edad cretácica inferior, que delimitan las fosas tectónicas de Santa Lucía y Laguna Merín, respectivamente.

Durante el Cretácico, los descensos ocurren con mayor intensidad acusando un comportamiento diferencial de bloques en cada una de las fosas.

La falla Fray Bentos-Valentines, de edad Cretácico media y orientación E-W, determina el hundimiento al Norte de la cubierta basáltica cretácica.

TECTONICA TERCIARIA-CUATERNARIA

Durante el Terciario-Cuaternario continúa dominando la tectónica isostática que se manifiesta, en parte, a través de las líneas estructurales jurásico-cretácicas con reactivaciones, a veces, en sentido contrario.

El movimiento vascular del manto basáltico provoca en la región del Gondwana dos fallas de edad Eocena con orientación N 30° E y N 60° E.

Durante el Oligoceno y hasta el Holoceno, los ajustes isostáticos se expresan fundamentalmente en las formaciones del Terciario Superior-Cuaternario del litoral platense y atlántico. El desplazamiento diferencial de bloques determina en esta región fallamientos con orientación N 45° E y N 45° W, que constituyen el patrón de orientación tectónica reciente reconocido en el Uruguay.

CONCLUSIONES

El territorio uruguayo ha sido afectado por las orogenias transamazónica y brasiliana, que determinan la cratonización del basamento cristalino en el Paleozoico Inferior.

Durante el Paleozoico Medio y hasta la actualidad, domina una tectónica isostática de la cual resulta el desarrollo de las cuencas sedimentarias gondwánica y Uruguay-Plata, respectivamente. La mayor expresión de estos reajustes se manifiesta en el Cretácico y está vinculada al magmatismo básico continental que se desarrolla en el Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

La tectónica terciario-cuaternaria se manifiesta, en parte, a través de los lineamientos estructurales generados en el Mesozoico. Durante el Terciario Superior-Cuaternario se genera un patrón de orientación estructural N 45° W y N 45° E, representado fundamentalmente en el litoral platense y atlántico, que domina los ajustes isostáticos cuaternarios.

Dado que el territorio uruguayo no ha sido sometido a tensiones tangenciales desde el Paleozoico Medio y que los movimientos debidos a la tectónica isostática operante son graduales, no presenta actualmente fenómenos de focalización sísmica.

MAPA NEOTECTONICO PRELIMINAR DE AMERICA DEL SUR

INFORME NACIONAL DE VENEZUELA

J.P. Soulas *

1. INTRODUCCION

Los estudios de Neotectónica y de tectónica activa empezaron temprano en Venezuela, ya que la primera descripción de fallamiento activo la hizo S. Paige (1930), en un tramo de la falla de El Pilar, a raiz del terremoto ocurrido en Cumaná en el año 1929. En la misma década de los años 30, H. H. Hess (1938) fue el primero en emitir la hipótesis de la translación hacia el Este del bloque Caribe con relación a América del Sur, y consecuentemente en pronosticar el desplazamiento de tipo transcurrente dextral, sufrido en la actualidad por las grandes fallas E-W del Norte de Venezuela. Años mas tarde, E. Rod (1956, 1958), verdadero pionero de los estudios neotectónicos en Venezuela, relacionó la ocurrencia de los grandes sismos con los principales accidentes transcurrentes del país (Boconó, El Pilar, Oca, La Victoria, Caparo, Urica, etc.), en los cuales observa depósitos cuaternarios fallados y rasgos geomorfológicos típicos del fallamiento activo.

Con E. Rod (op.cit.) y luego J.B. Miller (1959) comienza el período de las investigaciones individuales, realizadas en particular por J. Tricart y H. Michel (1965), C. H. Graf (1972), J.A. Rial (1973), R. Giegengack et al. (1976), destacándose C. Schubert (1972, 1981, 1982), y C. Schubert et al. (1970, 1979, 1981). Paralelamente a aquella investigación científica individual, los últimos años vieron la creación de equipos pluridisciplinarios, en el seno de instituciones como INTEVEP, donde se realizaron hasta hace poco estudios para fines básicamente geotécnicos en la plataforma continental, y como FUNVISIS, donde se empezó, en 1979, la exploración neotectónica sistemática del territorio nacional, la cual permite la elaboración del presente mapa. Estos equipos implementaron métodos y técnicas nuevas, adaptados a objetivos que van más allá de la meta científica común a todos los investigadores, ya que a través de la evaluación del riesgo, buscan reducir al máximo las pérdidas en vidas y en obras que pudieran ocurrir a consecuencia de los futuros terremotos. Aquella nueva vía fue abierta previamente por el informe de L.S. Cluff y W. R. Hansen (1969); luego vinieron los estudios de INTEVEP (J. Butenko y J. P. Barbot, 1979; J. P. Barbot et al., 1979; 1980); y los trabajos de FUNVISIS: O. J. Pérez y Y. P. Aggarwal (1981), A. Singer et al. (1981 ; 1982), Y. P. Aggarwal (1982), J. P. Soulas (1983; 1985) y J. P. Soulas et al. (1981, 1982, 1983).

El carácter condensado de la síntesis anterior, la hace parcialmente incompleta, ya que se limita a los trabajos más importantes de los principales autores. Las referencias bibliográficas contenidas en las últimas páginas darán una idea mas equilibrada del nivel de conocimiento alcanzado en

---

* Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas - FUNVISIS

Previous Page Blank

Venezuela, aunque es preciso indicar que sólo aparecen los trabajos utilizados en la elaboración del mapa, el cual no cubre todos los aspectos de la neotectónica, sino, básicamente, el fallamiento y el plegamiento cuaternario. Muchas publicaciones, algunas de gran valor para el análisis y la comprensión de la tectónica actual, fueron descartadas por no contener una información transferible al mapa (por falta de precisión, por ser muy sintético el trabajo, o simplemente por el mismo carácter de la información: sismología instrumental o histórica, estudios del Cuaternario, etc.). Finalmente, se deben tomar en cuenta las limitaciones que resultan de la escala misma del mapa: 1:2,000,000 para el mapa nacional de Venezuela y 1:5,000,000 para el de América del Sur.

2. FUENTES DE INFORMACION

Los 90 trabajos referenciados en las últimas páginas constituyen la fuente de todos los datos básicos utilizados en la elaboración del mapa.

En la mayoría de las zonas de tectonismo activo, la confección del mapa se basa directamente en trabajos recientes, realizados principalmente con fines de evaluación del riesgo sísmico y ejecutados generalmente a escala 1:100,000 por el autor, o bajo su dirección, por el equipo de FUNVISIS. En tales regiones (mitad Sur de los Andes de Mérida, zona al Este del Lago de Maracaibo, sistema de fallas de Urica, y regiones Centrales y Orientales del país, etc.). Los trabajos preexistentes, luego de ser revisados, fueron integrados y enormemente ampliados, ya que en cada zona se procedió a realizar una fotointerpretación especializada y trabajos de campo sistemáticos apoyados por vuelos de helicóptero. Estos levantamientos regionales fueron localmente complementados por datación C^{14}, levantamientos geofísicos de alta resolución, ejecución de trincheras a través de las fallas activas etc. Por lo tanto, en estas regiones se dispone en la actualidad de una información de buena calidad, relativamente completa.

Para las demás zonas de deformación cuaternaria, se revisó y se sintetizó la información disponible, la cual no tiene una repartición territorial uniforme, por corresponder frecuentemente a sectores de extensión limitada, de tal forma que algunas zonas carecen totalmente de información (por ejemplo la Sierra de Perijá, en el extremo occidental del país).

Esta situación origina en el mapa contrastes de densidad muy llamativos (como por ejemplo entre el Norte y el Sur de Los Andes de Mérida), los cuales no reflejan una realidad tectónica, sino el estado de avance de la investigación. Tales desniveles son aun más notables en la plataforma continental, donde muchas zonas carecen casi totalmente de datos, en oposición a los sectores que se levantaron por geofísica de alta resolución, los cuales ofrecen un nivel de detalle superior al de cualquier zona del continente. Es así como la ausencia de prolongación hacia el NW del sistema de fallas del Golfo de La Vela indica únicamente el límite de la zona estudiada, al igual que la discontinuidad hacia el Este de la red de accidentes del Golfo Trieste.

Esta situación llevó a complementar el mapa con un marco tectónico de grandes fallas, algunas de las cuales son probablemente inactivas, mientras que otras, con el avance de los estudios en las regiones todavía mal conocidas, pasarán probablemente a engrosar las filas de los accidentes neotectónicos. El trazado de estas fallas mayores ha sido obtenido de los mapas de A. Bellizzia, coordinador (1976) y de F. D. Smith, coordinador (1962), de donde se tomó también el límite entre el Plio-Cuaternario y los demás terrenos.

3. OBJETIVOS

El mapa neotectónico de Venezuela reúne en forma sintética e integral toda la información disponible en el momento de su ejecución, por lo menos en lo que se refiere a fallamiento y plegamiento cuaternarios, persiguiendo así objetivos tanto científicos, como aplicados al campo de la evaluación del riesgo sísmico.

En el plano científico, dicho mapa materializa el estado de avance de la investigación, dando una imagen de los conocimientos realmente adquiridos, seleccionados a través de una revisión crítica, de modo que el mismo se complementará en el futuro, sin que las partes actualmente mapeadas sufran importantes modificaciones.

En el plano de la evaluación del riesgo sísmico, el objetivo de los estudios neotectónicos es identificar las fallas fuentes de la actividad sísmica superficial y evaluar sus características sismogénicas, en forma globalmente mas completa y precisa de lo que permite en la actualidad la sismología. En efecto, la gran ventaja de la neotectónica es poder examinar deformaciones acumuladas en un período de tiempo mucho mayor que el corto lapso para el cual se dispone de información sismológica, sea instrumental (80 años, máximo), o histórica (450 años, máximo). En efecto, el estudio neotectónico aplicado al riesgo sísmico dispone de la franja de tiempo correspondiente al desarrollo del régimen de deformación vigente hoy, el cual, en Venezuela, coincide aproximadamente con el Cuaternario Sin embargo, los estudios neotectónicos deben acompañarse siempre de trabajos sismológicos, con los cuales se correlacionan y se complementan cada vez mas, en la medida en que las fallas analizadas son mas activas. Por otra parte, a diferencia de la neotectónica, la sismología no tiene límites hacia la profundidad.

De acuerdo con los objetivos anteriormente definidos, el suscrito examinó la información disponible, en el curso del año 1982, filtrando las observaciones de buena calidad, y descartando todas las interpretaciones conflictivas o de poca credibilidad. Aquellos datos confiables fueron luego ubicados sobre una base topográfica a escala 1:2.000.000, con la consecuente simplificación por concepto de escala y de equilibrio del mapa, y también con la necesaria interpretación y generalización de los datos locales. Esta primera versión del mapa (Enero de 1983), se complementó y simplificó luego para permitir su impresión a la escala 1:5.000.000 del mapa de América del Sur (diciembre de 1983). Finalmente se tuvo que preparar una última versión, en Noviembre de 1984, también a escala 1:5.000.000.

4. INTERPRETACION DEL MAPA

Antes de comentar a grandes rasgos el mapa, es necesario precisar que bajo la palabra "neotectónica", se identifica al régimen mas reciente de deformación crustal, vigente todavía, el cual ha reactivado con características propias algunos de los accidentes producidos por las fases anteriores de deformación. Este régimen activo empezó en Venezuela cerca del límite Plio - Pleistoceno, cuando se estableció la geometría actual del límite meridional de la placa Caribe. Pues, en el caso nuestro, y a diferencia de otras provincias de América del Sur, "neotectónica" es prácticamente equivalente de "tectónica cuaternaria".

El régimen tectónico inmediatamente anterior era netamente distinto

del actual y le correspondía, probablemente, un límite Sur de la placa Caribe diferente del presente, por lo menos en las regiones Nor-Central y Nor-Oriental del país, donde predominaban las fallas normales.

El examen a primera vista del mapa, revela que la deformación neotectónica no se reparte en forma homogénea en todo el territorio nacional, sino que se organiza en cuatro franjas, donde se concentran los desplazamientos. Tres de estas zonas móviles son secundarias:

- sistema E-W dextral de Oca-Ancon, (J.B. Miller, 1959; L.S. Cluff y W. R. Hansen, 1969; C. H. Graf, 1972);

- franja NW-SE del Oriente de Falcón, con pliegues y fallas inversas asociados al fallamiento transcurrente (C. González de Juana, 1971; J. P. Barbot et al., 1980; J. Wozniak y M.H. Wozniak, sin fecha);

- franja NW-SE del Cañón de Los Roques, cuyas fallas presentan una componente vertical de tipo normal (G. Peter, 1972).

Algunas fallas de las dos primeras fajas cortan depósitos holocenos y, por lo tanto, son activas de acuerdo a la convención adoptada para el presente trabajo, donde se consideran como activas las fallas con desplazamiento en el Pleistoceno terminal-Holoceno.

La zona de mayor movilidad, donde ocurren las principales deformaciones, la constituye el cinturón de unos cien kilómetros de ancho, desarrollado en los dos bloques separados por los accidentes dextrales de primer orden de Boconó (NE-SW), San Sebastián y El Pilar (ambos E-W). Los autores que han trabajado,a nivel tanto local como global, sobre estos accidentes son tan numerosos que se citan a continuación solamente los principales: E. Rod (1956), L. S. Cluff y W. R. Hansen (1969), C. Schubert (1972, 1977, 1981, 1982), R. Geigengack et al. (1976), O. J. Pérez y Y. P. Aggarwal (1981), J.P. Soulas et al., (1981, 1982, 1983, 1984), Y. P. Aggarwal et al. (1983, 1984).

Desde la frontera con Colombia hasta Trinidad, estos tres accidentes se concadenan para formar un sistema contínuo de más de 1200 kilómetros de largo, donde se concentra lo esencial del movimiento relativo entre Caribe y Suramérica, constituyendo así el límite principal entre ambas placas. De hecho, este sistema tiene una velocidad promedia del orden de 1 cm/año (Y. P. Aggarwal, 1982a), cuando las demás fallas superan escasamente 1 mm/año, y por lo general tienen velocidades por debajo de este último valor. Esta alta velocidad, asociada con la gran longitud del sistema Boconó-San Sebastián-El Pilar, se traduce por una intensa actividad sísmica. Pues todos los terremotos históricos de magnitud superior a 7, ocurridos desde el año 1610, se produjeron por ruptura de tramos de aquel límite principal de placas, según el análisis de Y. P. Aggarwal (en preparación), basado en los datos recopilados principalmente por J. Grases (1979, 1980) y por M. Lugo, in J. P. Soulas et al (1983c). Esta correlación aparece en el mapa para los sismos posteriores al año 1700, únicamente para los accidentes de Boconó y de El Pilar, ubicados con precisión en Tierra Firme.

Es de hacer notar la influencia de este sistema sobre la distribución y la organización de los principales relieves topográficos, como por ejemplo la Sierra de Los Andes de Mérida, formada por un doble abombamiento en ambos

lados de la falla de Boconó. En el Norte de Mérida, el doble abombamiento es simétrico, ya que la falla ocupa la parte axial de la Sierra, pero hacia el Sur el abombamiento es disimétrico, con volúmenes desiguales, debido a que la falla de Boconó pasa por el flanco occidental de la cadena.

El sistema principal Boconó-San Sebastián-El Pilar presenta numerosas complicaciones estructurales de escala kilométrica, en particular en transtensión (pull-apart del SW de Mérida; C. Schubert, 1982), o en transpresión (C° Caigüire, cerca de Cumaná); pero no ofrece ninguna complicación a escala regional, salvo en sus extremos SW y E, en Colombia por una parte, y en el Golfo de Paria-Trinidad por la otra. Al entrar a Colombia, el sistema de Boconó tuerce para pasar al accidente N-S de Chitagá (mapa geológico de Colombia, cuadrángulo de Cúcuta), el cual es fuertemente inverso cerca de su unión con Boconó, pero presenta una componente horizontal sinistral dominante más hacia el Sur. El enfrentamiento entre Caribe y Suramérica al nivel de este sistema transversal se evidencia también por el movimiento inverso-sinistral sufrido por las fallas Este de Pamplona y de Morro Negro, ubicadas al Oeste del accidente principal de Chitagá. En su otro extremo, en el Golfo de Paria y en Trinidad, el sistema Boconó-San Sebastián-El Pilar presenta otra complicación mayor al abrirse en una "pata de gallina", en la cual, sin embargo, el tren de fallas de Los Bajos-El Soldado es el más activo (C. C. Wilson, 1940; O. J. Pérez y Y. P. Aggarwal, 1981).

Algunos accidentes de segundo orden y de gran extensión geográfica, se alejan oblícuamente del contacto principal de placas y se salen de los límites del cinturón de deformación. Tal es el caso de la falla inversa de orientación N-S de Carbonera (Y.P. Aggarwal, 1982b) y de la falla de Valera, con movimiento sinistral-normal en su tramo Sur de orientación NNE-SSW, y sinistral horizontal en su tramo Norte de dirección N-S. Otro ejemplo de este fenómeno sería la falla de Urica, con extensión cuaternaria hacia el delta del Orinoco, pero con una actividad reciente que no se propaga mucho más al Sur de la zona de Barcelona.

Los demás accidentes de orden inferior pueden ser subparalelos a los mayores, como también francamente oblícuos con respecto a éstos. Sus saltos son frecuentemente horizontales dextrales (fallas de Caparo, El Camacho, Piñango, Tácata, La Victoria?, Laguna Grande, etc.), y más escasamente sinistrales (falla de la Punta de Charagato, en Cubagua). Los saltos pueden también ser de tipo inverso, como es el caso en ambos piedemontes andinos, o de tipo normal (sistema de Bramón y graben del Río San Juan). En la parte alta de los Andes de Mérida, las fallas con desplazamientos verticales son normales en superficie (falla de Tuñame, por ejemplo), e inversas en profundidad, lo cual se interpreta como una consecuencia del abombamiento provocado en ambos lados de la falla de Boconó por la convergencia oblícua entre las placas (J. P. Soulas y Y. P. Aggarwal, 1982). En efecto, la flexión de la corteza continental induce una tracción y por lo tanto, un fallamiento normal en los arcos externos de los abombamientos y una compresión con fallamiento inverso en los arcos internos.

Las principales fuentes termales se ubicaron también en el mapa (J. L. Burguera et al. 1981; N. Y. Di Gianni y A. Hevia, 1982; M. Villarroel, 1976; B. Wasserfallen, 1931), evidenciándose la relación geográfica existente entre termalismo y neotectónica, ya que prácticamente todas las fuentes se encuentran en las franjas de deformación y básicamente en el cinturón principal a lo largo del borde de placas. Esta actividad geotermal se interpreta como

una manifestación de la fuerte disipación de energía, liberada por el roce entre las dos placas.

5. DISCUSION

El presente mapa neotectónico refleja el estado de avance de la investigación en el momento de su ejecución, con las bondades y las limitaciones que resultan, tanto de sus objetivos iniciales, como de su carácter preliminar y de su escala.

En cuanto a sus limitaciones, es por ejemplo evidente que no cubre todo el campo de la neotectónica, sino los aspectos más importantes para fines de análisis del riesgo sísmico. Presenta desniveles notables en la información según las regiones y no permite ninguna evaluación rigurosa del riesgo en un punto particular, lo cual requiere de otra escala de trabajo y de datos complementarios.

En el plano científico, este mapa es un aporte decisivo, en particular en términos de tectónica de placas, ya que da la ubicación y la estructura de las principales zonas móviles y en especial del límite principal entre placas Caribe y Suramérica, para el cual existían hasta la fecha numerosas teorías. Por otra parte, este documento favorecerá la gestación de nuevas interpretaciones y la organización de la futura investigación, particularmente la definición de las zonas y temas que trabajar Aquella nueva investigación, a su vez permitirá la elaboración de un mapa más completo, que no tendrá el carácter provisional del actual.

En el campo del riesgo sísmico, el mapa ofrece una visión sintética de las principales fuentes sismogénicas superficiales, la cual es indispensable a la prevención del riesgo a la escala del territorio, en términos de planificación, de normas, etc Por otra parte, da un marco tectónico de referencia a cualquier proyecto de infraestructura, puesto que permite una visualización rápida y una estimación relativa del nivel de riesgo, favoreciendo así las tomas de decisiones, las selecciones de sitios y la definición de los estudios más detallados a los cuales habría que proceder.

6. REFERENCIAS

- AGGARWAL, Y.P. (1982a). "Seismic slip rates along major faults in Venezuela: implications for plate motions in the Southern Caribbean". A.G.U. Fall Meeting, San Francisco, E.O.S., 63, 45, p. 1126 (Abstract).

- AGGARWAL, Y.P. (1982b). "Sismos locales registrados por la red sismológica de Uribante-Caparo. Implicaciones para el diseño antisísmico de las presas y las probabilidades de sismicidad inducida" FUNVISIS, Caracas, 34 p.

- AGGARWAL, Y.P., SOULAS, J.P. y GARCIA, D. (1983). "Contemporary tectonics of the Venezuelan Andes and Northern Colombia". 10th Caribbean Geological Conference, Cartagena, Colombia, p. 16-17, abstract.

- AGGARWAL, Y.P., BELTRAN, C., RODRIGUEZ, E., ROJAS, C., SINGER, A., SOULAS, J. P., SUBIETA, T., SCHUBERT, C., URBANI, F. (1984). "Sismotectónica" in "Estudios de riesgo sísmico, Ferrocarril Caracas-Litoral", informe

final. FUNVISIS, Caracas, 2 tomos, 5 anexos, 55 fotos.

- AGGARWAL, Y.P. (en preparación). "Present-day tectonics of the southern Caribbean and Northwestern South America".

- AULEHARD, F. (1984). "Evaluación geológica de la cuenca del Tuy para fines de investigaciones neotectónicas". Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela, 2 tomos.

- BALL, M.M. (1971), "Fallamiento normal a lo largo del límite meridional del Mar Caribe, Bahía de Unare, Venezuela". Bol. Geol. A.V.G.M.P.,12 (2) p. 23-40.

- BALL, M.M., HARRISON, C.G.A., SUPKO, P. R., BOCK, W. y MALONEY, N.J. (1971). "Marine Geophysical measurements on the southern boundary of the Caribbean Sea". Geol. Soc. Am., Mémoir 130, p. 1-33.

- BARBOT, J.P. y BUTENKO, J. (1979). "Geologic and geotechnical analysis of Golfo Triste: its influence on offshore structures and drilling operations". Congress COPPE/UFRJ., Río de Janeiro, 17 p. (Preprint).

- BARBOT, J.P., BUTENKO, J., DAZA, J.A. y ESPINOZA, E. (1980a). "Shallow seismic and geotechnical surveys for applied geological investigation in the Gulf of La Vela-Venezuela". 12 th Annual O.T.C., Houston, p. 389-392.

- BARBOT, J.P., BUTENKO, J., ESPINOZA, E., DAZA, J. y MALAVE, G. (1980b) . "El Cuaternario del Golfo de La Vela y su importancia geotécnica para la exploración y explotación petrolera". Transactions 9th Caribbean Geological Conference, Santo Domingo, Vol. 2, p. 541-553.

- BARR, K. W. y SAUNDERS, J. B. (1968). "An outline of the geology of Trinidad". Transactions of the fourth Caribbean Geol. Conf. Port of Spain, p. 1-10.

- BECK, C.M. (1979). "New data about recent tectonics in the central part of the Caribbean Chain: The Santa Lucia-Ocumare del Tuy graben, Miranda State, Venezuela". IV Cong. Latinoamericano, Trinidad, 18 p. (Preprint).

- BELLIZZIA, A., Coordinador (1976). "Mapa Geológico Estructural de Venezuela, escala 1:500.000". Ediciones FONINVES, Caracas.

- BURGUERA, J.L., BURGUERA, M. y SAMPOL DE REYES, M.S. (1981). "Descripción geológica y relación mineralógica de las fuentes de aguas termales del Estado Mérida (Venezuela)". Geotermia, N° 3, p. 26-41.

- BUTENKO, J., BARBOT, J.P. (1979). "Geological hazards related to offshore drilling and construction in the Orinoco River delta of Venezuela". 11th O.T.C., Houston, p. 323-326.

- CASE, J.E. y HOLCOMBE, T.L. (1980). "Geologic-tectonic map of the Caribbean region". U.S. Geol. Survey, Miscellaneous Investigations Serie, Map. 1-1100.

- CLUFF, L. S. y HANSEN, W.R. (1969). "Seismicity and Seismic-Geology of

Northwestern Venezuela, volume I, Evaluation". Woodward-Clyde & Associates, para Shell de Venezuela.

- DANIELO, Z. (1976). "Formes et dépots littoraux de la cote septentrionale du Vénézuéla". Annales de Géografie, 467, p. 68-97.

- DEWEY, J.W. (1972). "Seismicity and tectonics of western Venezuela". Bull. Seismol. Soc. Am., 62(6), p. 1711-1751.

- DI GIANNI, N.Y. y HEVIA, A. (1982). "Inventario de las manifestaciones termales del Estado Sucre". Geotermia, N° 6, p. 13 (Resumen).

- FEO-CODECIDO, G. (1972). "Breves ideas sobre la estructura de la falla de Oca, Venezuela". Memorias. VII Conf. Geol. Caribe, Margarita, Venezuela, p. 184-190.

- FEO-CODECIDO, G. (1977). "Un esbozo geológico de la plataforma continental Margarita-Tobago". Memorias II Cong. Latinoamericano Geol., Caracas 1973, Bol. Geol. Pub. Esp. 7, 3, p. 1924-1945.

- GARCIA, D. y AGGARWAL, Y. P. (1982). "Seismotectonics of Southern Venezuelan Andes". AGU Fall Meeting, S. Francisco. EOS, 63, 45, p. 1126 (Abstract).

- GIEGENGACK, R., GRAUCH, R.I. y SHAGAM, R. (1976). "Geometry of late-Cenozoic displacement along the Boconó Fault, Venezuelan Andes". Memorias II Cong. Latinoamericano Geol., Caracas 1973, Bol. Geol. Pub. Esp. 7, 2, p. 1201-1225.

- GIEGENGACK, R. (1977). "Late-Cenozoic tectonics of the Tabay-Estanquez Graben, Venezuelan Andes". Memorias V Cong. Geol. Venezolano, t.1, p. 721-737.

- GIRALDO, C. (1985). "Néotectonique et sismotectonique de la région d'El Tocuyo-San Felipe (Vénézuéla Centro-Occidental)". Thése III Cycle, U. de Montpellier, 129 p.

- GONZALES DE JUANA, C. (1971). "Guía de la excursión a la estructura de La Vela de Coro (Falcón)". Memorias IV Cong. Geol. Venezolano, Caracas 1969, Bol. Geol. Pub. Esp. N°5, 1, p. 317-328.

- GRAF, C.H. (1972). "Relaciones entre tectonismo y sedimentación en el Holoceno del Noroeste de Venezuela". Mem. IV Cong. Geol. Venezolano, Caracas 1969, Bol. Geol. Pub. Esp. N° 5, 2, p. 1125-1144.

- GRASES, J. (1979). "Investigación sobre los sismos destructores que han afectado el Oriente de Venezuela, Delta del Orinoco y regiones adyacentes". Proyecto INTEVEP, 2 tomos.

- GRASES, J. (1980). "Investigación sobre los sismos destructores que han afectado el Centro y Occidente de Venezuela". Proyecto INTEVEP, 4 tomos.

- HESS, H.H. (1938). "Gravity anomalies and island are structure with particular reference to West Indies". Amer. Phil. Soc., Proc. 79, p. 71-96.

- KAFKA, A.L. (1981). "Earthquake focal mechanisms and tectonic processes along the southern boundary of the Caribbean Plate". J. Geophys. Res., 86, (B4), p 2877-2888

- KUGLER, H.G. (1979). "Geologic map of Trinidad". 4th Latin Am. Geol. Cong.

- LAFAILLE, J (1981). "Mecanismos focales de algunos eventos sísmicos en el Occidente de Venezuela". Tesis de Grado, Univ. Andes, Dept. Física, Mérida, 146, p (Inédito).

- LOYO, B. y AUDEMARD, F. (1983). "Evidencias de deformaciones neotectónicas en la cuenca del Tuy, Venezuela". Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC, Caracas, Venezuela, Acta Científica Venezolana, v. 34, Supl. 1, p. 521, resumen.

- MACSOTAY, O. y CARABALLO, L.F. (1976), "Geología y bioestratigrafía Cenozoica de la parte oriental del golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela". Bol. Inst Oceanog. Univ. Oriente, 15(1), 25-26

- MACSOTAY, O. (1977). "Observaciones sobre el neotectonismo Cuaternario en el nororiente Venezolano". Memorias II Cong. Latinoamericano Geol., Caracas 1973, Bol Geol. Pub. Esp. N° 73, p. 1861-1882.

- MACSOTAY, O., VIVAS, V. y MOTICSKA, P. (1983). "Geotermalismo Plio-Cuaternario en la Isla de Margarita: Travertino en fracturas tensionales". Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC, Caracas, Venezuela, Acta Científica Venezolana, v. 34, supl. 1, p. 529. Resumen.

- METZ, H.L. (1968). "Stratigraphic and Geologic history of extreme Northeastern Serrania del Interior, State of Sucre, Venezuela". Transactions of the fourth Caribbean, Geol. Conf., Port of Spain, p. 275-292.

- MILLER J B. (1959). "Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia". Memoria III Cong. Venez. Geol, t. II, p 685-717.

- PAIGE, S (1930). "The Earthquake at Cumana, Venezuela, January 17, 1929". Bull. Seismol. Soc. Am., 20(1), p. 1-10.

- PEREZ, O.J. y AGGARWAL, Y. P. (1981), "Present-day tectonics of the Southeastern Caribbean and Northeastern Venezuela". J. Geophys. Res., 86(B11), p 10791-10804

- PETER, G (1972). "Geologic structure offshore north-central Venezuela" Memorias VI Conf. Geol. Caribe, Margarita, p 283-294.

- RENZ, O. (1960). "Mapa guía excursión C-7, Andes suroccidentales, Sección de Santo Domingo a San Antonio (Edo. Táchira)". III Cong. Geol. Venezolano, 1959, Bol. Geol. Pub. Esp. N° 3, 1, 87-91.

- RIAL, J.A (1973) "La fosa tectónica de Tacagua y su relación con la sismicidad de la región de Caracas". Bol. Soc. Ven Geol., v. 8, N° 3, p. 49-54.

- ROD, E. (1956a). "Earthquakes of Venezuela related to strike-slip faults?". Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 40, p. 2509-2512.

- ROD, E. (1956b). "Strike slip faults of Northern Venezuela". Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 40, p. 457-476.

- ROD, E., JEFFERSON, C., OSTEN, E. (von der) y MULLEN, R. (1958). "The determination of the Bonoco Fault". Bol. Inf. A.V.G.M.P., 1(3), p. 67-100.

- ROSALES,H. (1972). "La falla de San Francisco en el oriente de Venezuela". Memorias IV Cong. Geol. Venezolano, Bol. Geol. Pub. Esp. No. 5, 4, p. 2322-2336.

- SAURET, B., ROJAS, C., SINGER, A., SOULAS, J.P. (1981). "Evaluación de riesgos geológicos para fines de selección de sitio de la planta termoeléctrica Santo Domingo". FUNVISIS, Caracas, 25 p.

- SCHUBERT, C. y SIFONTES, R.S. (1970). "Bocono Fault, Venezuela Andes: Evidence of Postglacial Movement". Science,170, p. 66-69.

- SCHUBERT, C. (1972). "Boconó Fault, Venezuelan Andes". Science, 175, p. 558-561.

- SCHUBERT, C. (1977). "El Pilar Fault Zone, Northeastern Venezuela: brief review". International Symposium on Recent Crustal Movements , Stanford, California, U.S.A., 16 p. (Preprint).

- SCHUBERT, C. VELASTRO, S. y COWART, J.B. (1977). "Evidencias de levantamiento reciente de la costa norte-central (Cordillera de la Costa), Venezuela". Acta Cient. Venezolana, 28, p. 363-372.

- SCHUBERT, C. y LAREDO, M. (1979). "Late Pleistocene and Holocene faulting in Lake Valencia basin, north-central Venezuela". Geology, 7, p. 289-292.

- SCHUBERT, C. (1981). "Origin of Cariaco Basin, Southern Caribbean Sea". Marine Geology, 47, p. 345-360.

- SCHUBERT, C. y KRAUSE, F.F. (1981). "Fallamiento a lo largo de la Costa norte-central de Venezuela: zona de Falla de Morón". III Cong. Venezolano Sismol. Ing. Sism., Caracas. t. 1, p. 155-184.

- SCHUBERT, C. (1982). "Neotectonics of Boconó Fault, Western Venezuela". Tectonophysics, 85, p. 205-220.

- SCHUBERT, C. (1983). "Aspectos neotectónicos del sistema de fallas de La Victoria". Informe FUNVISIS, Caracas, 32 p.

- SCHUBERT, C., A. SINGER y J.P. SOULAS (1983). "La Falla de Boconó entre Santo Domingo y San Cristóbal. Guía de la excursión para el Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe". FUNVISIS, Caracas, 62 p.

- SHEPHERD, J.B., y ASPINALL, W.P. (1982). "Seismicity and earthquake

hazard in Trinidad and Tobago, West Indies". Univ. West Indies, St. Augustine, Trinidad, 45 p. (Preprint).

- SILVER, E.A. (1972). "Acoustic reflection profiles. Venezuela Continental borderland. International decade of ocean exploration". U.S. Geological Survey. USGS-GD- 72-005.

- SILVER, E.A. CASE, J.E. y MACGILLAVRY, H.J. (1975). "Geophysical study of the Venezuelan Borderland". Geol. Soc. Am. Bull., 86, p. 213-226.

- SINGER, A. (1977). "Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas". Memorias Quinto Congreso Venezolano de Geología, Tomo IV.

- SINGER, A., MONTES, L. (1981). "Sismicidad y morfogénesis en el tramo Nor-Oriental de la Falla de Boconó: evaluación de los efectos geológicos del terremoto del año 1950". Memorias III Congreso Venez. Sismo. Ing. Sism., Caracas, v. I., p. 151 (Resumen).

- SINGER, A. y LUGO, M. (1982). "El alud sísmico del 3-2-1610 en el Valle del Mocotíes (Andes Venezolanos). Confrontación de los testimonios del Siglo XVII y de las evidencias de campo actuales". XXXII Conv. AsoVAC, Caracas, Acta Cient. Venez., Vol. 33, Supl. 1, p. 214 (Resumen).

- SMITH, F.D. Coordinador (1962), "Mapa Geológico Tectónico del Norte de Venezuela". I Cong. Venez. Sism. Ing. Sism. Caracas.

- SOULAS, J. P. y SINGER, A. (1981). "Complejidad de las deformaciones corticales cuaternarias en la zona nororiental de Venezuela". Memorias III Congreso Venez. Sismo. Ing. Sism., Caracas, v. 1, p. 53, (Resumen).

- SOULAS, J.P. y AGGARWAL, Y.P. (1982). "Recent tectonics of Southern Venezuelan Andes: Geological and Seismological Data". A.G.U. Fall Meeting, San Francisco, EOS, 63, 45, p. 1125 (Abstract).

- SOULAS, J.P., SINGER, A., DAZA, J., MALAVE, G. (1982). "Características neotectónicas del sistema de fallas de Urica-Venezuela". XXXII Conv. AsoVAC., Caracas, Acta Científica Venezolana, v. 33, Supl. 1, p. 215 (Resumen).

- SOULAS, J.P. (1983a). "Mapa Preliminar de Tectónica Cuaternaria de Venezuela". Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC, Caracas, Venezuela. Acta Científica Venezolana, v. 34, Supl. 1, p. 513, (Resumen).

- SOULAS, J.P. (1983b). "Tectónica cuaternaria de la mitad sur de Los Andes Venezolanos-Grandes rasgos". Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y el Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC, Caracas, Venezuela, Acta Científica Venezolana, v. 34, supl. 1, p. 525, (Resumen).

- SOULAS, J.P., SINGER, A. y GIRALDO, C. (1983a). "Tectónica Cuaternaria de la región nororiental de Venezuela y de Trinidad-Grandes rasgos". Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC, v. 34, supl. 1, p. 532, (Resumen).

- SOULAS, J.P. y GIRALDO, C. (1983b). "Tectónica Cuaternaria en las fallas de Valera y de Tuñame. Andes Centrales de Venezuela". Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC, Caracas, Venezúela. Acta Científica Venezolana. v. 34, supl. 1., p. 525, (Resumen).

- SOULAS, J.P., BELTRAN, C., SINGER, A., LUGO, M., ROJAS, C., SAURET, B., GIRALDO, C., MENDEZ, M., RODRIGUEZ, E., MOCQUET, A., MONTES, L. (1983c). "Geología de fallas activas in Estudio de riesgo sísmico-Proyecto Uribante-Caparo-Informe Final". FUNVISIS, Caracas, 3 volúmenes,55 anexos.

- SOULAS, J.P. (1985). "Limite méridionale de la plaque Caraibe-Néotectonique et tectonique active au Vénézuéla et régions voisines". Symposium sur la géodynamique des Caraibes, Paris. (Resumen).

- SOULAS, J.P., MOCQUET, A., BELTRAN, C., LUGO, M. (1984). "Geología de fallas activas in Estudio de riesgo sísmico, enlace vial Margarita-Coche-Tierra Firme". FUNVISIS, Caracas, 66p. 5 anexos.

- SOULAS, J.P. y SINGER, A. (En preparación). "Mapa Neotectónico de Los Andes Venezolanos al Sur de Mérida". FUNVISIS, Caracas.

- SUBIETA, T., SINGER, A., SOULAS, J.P., ROJAS, C., LUGO, M. y BELTRAN, C. (1982). "Geología de fallas activas in Evaluación del Riesgo Sísmico para el Proyecto Ferrocarril Caracas-Litoral". FUNVISIS, Caracas, 44p.

- SUBIETA, T. (1983). "Fallamiento activo en la parte central de la Cadena Caribe, Venezuela". Simposio Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC. Caracas, Venezuela. Acta Científica Venezolana, v.14, Supl. 1, p. 522, (Resumen).

- TALUKDAR, S. y DAZA, J. (1983). "Patrones estructurales de la cuenca del Tuy-Cariaco y su relación con la interacción de las placas de Suramérica y El Caribe". Simposio de Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y El Caribe, XXXIII Conv. Anual AsoVAC, Caracas, Venezuela. Acta Científica Venezolana, Vol. 34, Supl. 1, p. 521, (Res.).

- TRICART, J. y MICHEL, M. (1965). "Monographie et carte géomorphologique de la région de Lagunillas (Andes Vénézuéliennes)". Rev. Géomorphologie Dynamique, XV Année, N° 1-2-3, p. 1-33.

- VIERBUCHEN, R.C. (1978). "The tectonics of northeastern Venezuela and the Southeastern Caribbean Sea". Ph.D. Thesis; Depto. Geol. and Geophys. Scien., Princeton Univ., (Inédito).

- VIGNALI, M. (1965). "Estudio geológico de las rocas sedimentarias de Araya". GEOS, Caracas, 13, p. 23-36.

- VILLARROEL, M. (1976). "Aguas Termales de Venezuela". Corporación de Turismo de Venezuela, Ed. Artes, Caracas, 139 p.

- WASSERFALLEN, B. (1931). "Volcans de boue et sources de pétrole de l'état de Monagas, Vénézuéla oriental". Bull. Soc. Neuchatéloise de Géographie, Tome XL, Eiermann c. ed. Rep. in: Geotermia, N°2, p. 37-42.

- WEISBORD, N.E. (1957). "Notes on the Geology of the Cabo Blanco area , Venezuela". Bull. Am. Paleontology, 38(165), p. 1-25.

- WILSON, C.C. (1940). "Los Bajos Fault of South Trinidad, B.W.I.". Bull. Amer. Assoc. Pet. Geol., 24, p. 2105-2125.

- WONG, J. y GRATEROL, V. (1978). "Anomalía de Bouguer residual en la región nororiental de Venezuela". Bol. Geol., 12(24), p. 245-261.

- WOZNIAK, J. y WOZNIAK, M.H. (sin fecha) "Geología de la parte norcentral de la Sierra de Falcón". M.E.M. Dirección de Geología; Informe interno, 64 p.

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

Oscar Gonzáles-Ferrán *

1. INTRODUCTION

1.1 History of Project SISRA

The earthquake mitigation program in the Andean region (Project SISRA) was approved by the Directive Council of CERESIS in its Seventh Ordinary Meeting at San Juan, Argentina, on October 1980; a month later it was submitted to the United States Geological Survey and on September 15, 1981, the Grant No. 14-08-001-G-670 from the U.S. Geological Survey to CERESIS was signed. One of the specific objectives of the project was "to compile the geologic and tecronic information required for the evaluation of the seismic hazard and risk in the Andean Region"

A regional workshop, held in Lima, Peru, on October 1981, with the attendance of approximately 40 seismologists, geologists, structural engineers, and others from the nine participating countries, defined the specific objectives to be carried out during the following 18 months corresponding to the first phase of the project. At the same meeting, three Regional Coordinators were designated for the whole program. Dr. Gunther Fiedler was named the Coordinator for the Neotectonic Map Furthermore, a preliminary agreement was reached concerning the type of geologic and tectonic information that should be included in the national reports, to be presented in maps at 1:2,000,000 scale. National Coordinators for Project SISRA were named by each CERESIS National Liason Organization.

Additional work and coordination meetings were held in Santiago, Chile, on March 1982 and in Golden, Colorado, USA, on April 1982, where a second workshop was held among specialists from all of the participating countries and the regional coordinators. On the basis of the work already done, the symbols and characteristics of the regional neotectonic map were more precisely defined. In Lima, on December 1982, a meeting was held by the project Coordinators.

On April 1983, another workshop was held in Golden, Colorado, during which the first integrated map at a scale of 1:5,000,000 was presented by the Regional Coordinator and the consultant geologist. This map was submitted for analysis and reviewed by each participating country.

In Quito, Ecuador, June 1983, during the Eight Ordinary Meeting of the Directive Council of CERESIS, the progress of Project SISRA was analyzed and some changes were made to the neotectonic map. Finally, a general meeting was held on September 1984, in San Juan, Argentina, in order to present the scientific results of the project At the same meeting, the second version of the regional neotectonic map was discussed and final modifications were proposed.

---

* Regional Coordinator - Project SISRA

Reproducibility of the Original Page is Poor

1.2 Principal Investigators

Integration of the Preliminary Neotectonic Map, at a scale of 1:5,000,000 was carried out by O. Gonzáles-Ferrán and Gunther Fiedler, on the basis of the national neotectonic maps prepared at a scale of 1:2,000,000 . The principal authors of the national maps and their collaborators are as follows: Hugo E. Bastías and N.E. Weidman (Argentina); Hernán Claure (Bolivia); O. Gonzáles-Ferrán and E. Lorca (Chile); Clemente Ropaín and Roberto Alvarez (Colombia); Minard Hall and Jorge Sevilla (Ecuador); Michel Sebrier, D. Huamán, J. L. Blanc, J. Macharé, D. Bonnot, J. Cabrera and E. Deza (Peru); E. G. Wadge (Trinidad-Tobago); M. T. Roma (Uruguay); and Jean Pierre Soulas (Venezuela).

The basic cartography and drafting of the map was carried out by Oriana Gonzáles Muñoz (Chile). The final cartographic processing and printing of the map were accomplished by the Instituto Geográfico Militar de Chile.

1.3 Regional Coordinator

Dr. Gunther Fiedler, from Venezuela, was the Regional Coordinator for the Neotectonic Map since its conception, at the Lima Meeting, on October 1981, until the meeting in Quito, Ecuador, on June 1983. This responsibility was then assigned to the geologist Prof. Oscar Gonzáles-Ferrán from Chile.

2. INFORMATION AND DATA EMPLOYED

2.1 Sources of information

For the preparation of the Neotectonic Map, at a scale 1:5,000,000, the General Coordinating Committee of Project SISRA decided to use the Map of South America, at a scale of 1:5,000,000, published by the American Geographical Society of New York in 1955, as the topoghraphic base. This Oblique Bipolar Conical Conformed Projection, simplified and updated, used for the Tectonic Map of South America (1978), was published by the Commission of the Geological Chart of the World.

The information included in the National Maps, at a scale of 1:2,000,000, was transferred to this base, making necessary corrections due to differences in the cartographic projections used by each participating country. Information from other sources was also used to produce the regional integrated map. The Tectonic Map of South America (1978), the Geological Map of South America (1964), and the Metallogenic Map of South America (1983), published at a scale of 1:5,000,000 by the Commission of the Geological Chart of the world were consulted. Plate tectonic information was taken from the sheet corresponding to the Pacific Basin of the "Plate-Tectonic Map of the Circum Pacific Region", published in 1984 by the American Association of Petroleum Geologists and prepared by the Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources. Data on active volcanism, published by Simkin et al in "Volcanoes of the World" (1981), Smithsonian Institution, was also considered. References to other national and regional publications are given in the national reports, which also served for the selection of neotectonic information.

2.2 Precision of the Data

The neotectonic elements, such as active faults associated with large

historical earthquakes, zones of subsidence and uplift, volcanic units and active volcanoes, etc are presented as accurately as the information contained in the national maps, after exhaustive analysis and careful selection of existing information, supplemented by the analysis of aerial photography, satellite imagery and, in some cases, by ground control. In any case, the details that can be observed on this map are those which are distinguished on a scale of 1:5,000,000. The map serves to the purpose of identifying, in a continental context, those regional areas which show activity during the Holocene and Historical times, as well as the zones of greater geological hazard. They must be recognized in order to evaluate the seismic risk in the Andean region of South America and should be subject to further detailed studies.

3. OBJECTIVES

Within the context of Global Plate Tectonics, the South American continent is part of the Plate that bears its name; it is bordered by the Caribbean, Nazca and Antarctic Plates and Therefore generates a regional border which is dynamically active, with subduction zones and transcurrent faulting, involving intense generation of earthquakes, volcanic eruptions and differential vertical movements of blocks. Thus, it constitues a zone of hazard and high risk for the population, which is highly dense along the Andean Region of South America. This region according to the Project SISRA objectives requires special attention. Consequently, the main objective considered throughout its preparation, was to have a continental map integrating the basic geologic and tectonic information for the evaluation of the seismic hazard. Thus, the geologic interpretation of the neotectonic elements and their correlation with the seismological information (distribution of epicenters, focal depths, magnitudes, etc.), provides a better seismotectonic knowledge, adressed to the mitigation of the seismic and volcanic risk in South America.

4. EXPLANATION OF THE MAP

4.1 General Tectonic Background

A preliminary large scale global tectonic frame for South America allows recognition of two large tectonic units. The one, relatively stable, composed of the cratonic zones or shields, known as the South American and Patagonian platforms (Almayda et al 1978) which comprise all of the central, eastern and patagonic regions of the continent. The territories of Brazil, Paraguay, Uruguay, Guayana and Surinam, the Central and southern region of Venezuela, the eastern parts of Colombia, Ecuador, Peru, Bolivia and most of Argentina belong to this unit. The second, an active dynamic region made up the Andean orogenic mountain range which extends along its western margin, connecting at the extreme north to the mountainous system of the Caribbean which in general constitutes the contact boundary between the South American Plate and the Caribbean, Nazca and Antarctic Plates. This unit includes most of the territories of Venezuela, Colombia, Ecuador, Peru and Chile, the western puna region of Bolivia and the western sector of Argentina. This second great tectonic unit, according to the objectives of Project SISRA, precisely requires detailed study. Thus, in order to identify regional units which allow us to recognize clearly the zones affected by recent tectonic movements, a series of regional geological units have been defined and grouped. Although they

differ among themselves respecting to their origin and slight chronological variations, they permit us to recognize, rather easily, historical and recent tectonic movements.

The elements and geological units, represented in the Neotectonic Map, consist basically of all of those structures which show or have been useful as a basis to infer the tectonic activity occurred in the Recent-Pleistocene, such as alluvial and fluvial deposits, volcanic cover, marine deposits, etc. which allow recognition of quaternary faulting and movements of subsidence and uplifting, both inland and on the coast. The distribution of volcanic centers and active volcanoes and their association with active and quaternary fault systems, active faults with historical records linked to large earthquakes and other minor structures, such as microfolds in quaternary sediments and mud volcanoes associated to fault movements, have been represented.

4.2 Legend Description

4.2.1 Pre-Late Cenozoic Rocks

Being a map of neotectonic elements, the distribution of Precambrian, Paleozoic, Mesozoic and Lower-Middle Tertiary rocks have been grouped together as a "basement", overlied by Late Tertiary and Quaternary materials, both continental and marine.

4.2.2 Eocene-Pleistocene Marine Sediments

Over a generally pre-levelled low profile morphology, a sequence of Eocene-Pleistocene marine sediments were deposited. These sediments were subject to blocking and differential vertical movements during the Quaternary, which generated marine and fluvial uplifted terraces and zones of subsidence in other sectors. As an example, in the central and southern Pacific coast of South America, at least four levels of terraces, varying between 1 and 400 meters above sea level, have been identified. They were originated during the last five million years. The importance of these marine terraces in the interpretation of seismotectonic activity is demonstrated by the effects of the earthquake (May 1960, South Chile), where an extensive coastal region, between Puerto Saavedra and south of Ancud, subsided between 1.4 and 2.1 meters.

4.2.3 Miocene-Pliocene Volcanic Cover

This sediment represents very intense volcanism and covers large areas along most of the Andean Cordillera and the Patagonic Region, reaching nearly 400 km in width with a thickness of about 1,000 m in the Central Andes, and shaping much of the Altiplano morphological features. Calc-alkaline rhyolitic , dacitic and andesitic rocks predominate in the Central Andes.

This volcanic cover is of special importance for studying and dating the differential block movements which produced the Andean Cordillera, as well as the intermediate tectonic depressions such as longitudinal valleys and coastal cordillera blocks, along most of the western border of South America, and whose fault systems, in some cases, show evidence of present activity.

4.2.4 Pliocene-Holocene Volcanic Cover

Associated with the active volcanic chains and centers are effusive

materials including basalts, andesites, dacites and rhyolites, whose chemical and petrographic characteristics correspond to calc-alkaline magmas, typically associated with subduction zones. Intimately linked with this cover, volcanic structures whose geomorphological features correspond to stratocones , lava-domes, calderas, cinder cones, maars, ash flows, deposits of hot-clods , and other minor structures are found.

This cover is developed exclusively in the western border of the South American Plate and is superimposed upon the cordillera block of the Andes. Three well defined volcanic regions are recognized: a) The volcanic chain of the northern Andes (Ecuador and Colombia); b) The volcanic chain of the central Andes (southern Peru, northern Chile, eastern regions of Bolivia, and Argentina); and c) the volcanic chain of the meridional Andes (Chile and Argentina), in which, south of latitude 48° S in the Western Patagonia , isolated and fewer volcanoes are found, as compared with their greater density north of this latitude; in the Eastern Patagonia there are isolated nuclei with NW-SE tectonic control and with characteristics more likely to intraplate volcanism, as the alkaline composition would indicate.

4.2.5 Non-Volcanic Plio-Quaternary Cover

It is mainly a fluvial and alluvial origin cover and, in a lesser proportion, of fluvioglacial glacial and colluvial origin; in some regions it contains intercalated volcanic material. This cover is normally found filling the tectonic depressions generated during the Plio-Pleistocene, and in the piedmont regions forming extensive alluvial dejection cones which merge with one another, specially along both slopes of the Andean Cordillera.

Considering that these materials are not differentiated and that they have been represented as one unit on the map, it is necessary to point out that in some regions such as in Colombia and Venezuela, fluvioglacial deposits and systems of moraine deposits have been recognized; their absolute dating is the base for the Late Pleistocene Chronology of this region of South America. In Ecuador, the deposits contain alluvial as well as volcanic materials. In Chile, this cover is characterized by a heterogenous mixture of alluvial, fluvioglacial, morainal and volcanic sediments, which sometimes interlock, and appear in lenticular or wedge form or as a reworked caotic mixture, filling mainly the tectonic depressions of the central longitudinal valleys. In the eastern sector of the Andes, in Argentine territory, the characteristics of piedmont deposits predominate, as well as in the pampa plains and the coastal area of Argentina. The alluvial loess and dune deposits have been considered as one unit.

This cover is of special interest for the analysis of risk in a seismotectonic map, because of the mechanical behaviour of different types of soil generated by this fill, which despite not being well consolidated, are natural areas for dense population setting. Therefore, they require a detailed study.

4.2.6 Miocene-Pleistocene Volcanic Centers

The volcanic activity along the Andean region, on the continental margin of the Southamerican Plate, intensely developed during the Late Cenozoic, closely linked with the processes of subduction of the Nazca Plate. Since the Miocene, the volcanism has presented many cycles of greater or lesser magnitude. Structures and deposits of volcanic materials indicate progressive

migrations toward the East. During the Pliocene-Pleistocene, the volcanic activity was restricted to three large segments, separated by zones without volcanism, and closely associated to the segmentation due to the subduction of the Nazca Plate and in agreement with the distribution of the seismic foci. Therefore, its presentation on the neotectonic map was considered relevant. Petrologically, the magmatism characterizing this andean volcanism is typically calc-alkaline with predominant felsic eruptives such as rhyolites, dacites and andesites in the first phases, and more basic terms in the more recent or holocenic stages.

4.2.7 Active Volcanoes

These are the volcanoes with activity during the last 10,000 years. Those with a historical eruptive record have been differentiated on the map. Thus, in the three andean volcanic belts, 128 active volcanoes have been identified with a total of 514 historical eruptions recorded since year 1,500 to date.

4.2.8 Volcanic Calderas

From the volcanic hazard approach, in the analysis of the risk of a region, it is important to bear in mind the existence and location of these eruptive centers, produced from highly explosive eruptions, generators of burning clouds and great ash flows accompanied by a strong injection of pyroclastic material into the atmosphere. These types of eruptions are assciated with rhyolitic and dacitic, highly viscuous magmas.

4.2.9 Thermal Springs and Geiser Fields

These have been presented on the map because they are indicative of areas of high thermal flow, along the andean border of South America.

4.2.10 Faults

The Faults have been classified into three groups, regarding the age of the activity or the movement, and for each group specific symbology identifies the faults as normal, reverse or transcurrent, and indicates the direction of their displacement. These groups correspond to:

- "Faults and Lineaments Pre-Late Cenozoic", which affect mainly the old structures and geological units whose age is undetermined. Although they are not a Neotectonic element, they contribute to understand and better relate the evolution of the presently active zones with fracturing of the late pre-cenozoic. Faults of this type have not been considered in the peruvian region.

- "Faults with probable activity during the Holocene or Plio-Pleistocene", whose age of activity is not in doubt, since they affect volcanic, alluvial or sedimentary units, geologically recent; they have fundamental importance in the risk analysis.

- "Historically Active Faults" which, when associated with historical earthquakes, the year of occurrence of the event is indicated. The number of historically active faults shown on the map is relatively small in relation to the large surface area of the active border of the continent. However, this means a lack of information or detailed studies in many regions, rather than the conclusion that there was no faulting movement in many of the seismically active areas.

4.2.11 Quaternary or Plio-Quaternary Folding and Flexures

In some regions, particularly in Venezuela and Peru, a series of small folds from synclinal, anticlinal or flexural types have been identified. These affect quaternary sediments and are indicative of compressive processes in these regions, according to the authors.

4.2.12 Quaternary Vertical Movements

Extensive regions of the western border of South America have been exposed to uplifting and subsidence during the Quaternary. Historically, many of these movements are clearly associated with earthquakes. In these cases the date of the tectonic event is indicated.

4.2.13 Other Structures, Mud Volcanoes

These types of neotectonic elements, associated to fault movements, have been recognized exclusively in the northeast region of South America, particularly in Venezuela and Colombia.

4.2.14 Vectors of Plate Movement

The data which refers to the absolute movement, expressed in centimeters per year, as well as the relative movement of the Plates and the Plate boundaries have been obtained from the "Tectonic Plate Map of the Circum Pacific", edited in 1984, by the "American Association of Petroleum Geologists" and presented by the "Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources".

5. BIBLIOGRAPHY

See pages 8 to 12 .

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF ARGENTINA

Hugo Bastías *
Néstor Weidmann *

INTRODUCTION

The first meeting of Project SISRA took place from October 5 to 9, 1981, in Lima, Peru. Main purposes of the meeting were to consider technical and organizational aspects of the project. Specific information to be compiled by each participating country, in order to reach the objectives of Project SISRA, was defined.

For the evaluation of the seismic hazard the project was divided into three thematic areas (Catalogs, Seismic Intensities and Seismotectonics). Regional coordinators were designated for each area. The regional coordinator for the seismotectonic studies was Dr. Gunther Fiedler, from Venezuela. In subsequent meetings the following basic points were established:

a - Each country was to provide a national geological map, at scale 1:2,000,000, to the regional coordinator, by December, 1981.

b - Maps of lineaments and existing tectonic information in each country were to be submitted by March, 1982.

c - The existing neotectonic information was to be compiled by listing the active faults and a corresponding plot, including a report on the state of knowledge with reference to the geology of the Quaternary.

d - The regional coordinator was to analyze the above information and to integrate it on a regional chart, at a scale of 1:5,000,000, reporting to the national representatives as to the progress of the work.

On April 12-18, 1982, a second meeting was held among representatives of the participating countries, in Golden, Colorado. At this meeting, it was agreed that each country should prepare a map of Plio-Quaternary tectonic elements, with similar characteristics and features, so that it would be possible to integrate the information on a map at a scale of 1:5,000,000. For this purpose the following goals were agreed:

1 - To prepare a map of fractures, faults and lineaments, with probable activity in Plio-Quaternary time, whether or not related to seismic activity.

2 - To locate volcanic centers with recognized activity in historical times or in the Quaternary.

3 - To illustrate areas with evidence of uplift or subsidence in recent time.

---

* Instituto Nacional de Prevención Sísmica

Previous Page Blank

4 - The symbology and legends of the national maps were adopted with uniform criteria for the integration process.

MATERIAL USED

For the preliminary neotectonic map, the interpretation of the Landsat satellite images of composed false color and an enlargement of these, mostly bands 5 and 7, was the source of basic data.

The planimetric reconstruction was obtained from a mosaic, at 1:1,000,000 scale, adjusted to the cartography of the Instituto Geográfico Militar.

The basic interpretation was complemented with data from the geologic and topographic sheets of the Economic Geology Chart, of the Argentina Republic, and with data from existing geotectonic map. The final product was reduced to a 1:2,000,000 scale, as agreed at the SISRA meetings.

With respect to the accuracy of the data presented, it is considered to be what one would normally expect from a process of compilation, since only the relevant parameters to the objectives of the program were selected. At this stage, interpretation of the different features was attempted, mainly because, in most cases, no specific studies on the subject were available. Therefore, missing data is due to two reasons: One, that the map is based on satellite imagery all of which was not of the highest quality, due to poor illumination, cloudiness or lack of contrast; and two, because of differences in the quality of the work, done in different parts of the country. Thus, areas with no faults are probably due to the fact that no detailed studies have been made rather than to a real situation.

OBJECTIVES

In order that the program should make a significant contribution to the country, importance of analyzing satellite imagery was recognized without considering, in a first stage, the data which existed in the Geotectonic Map. The principal objectives were:

a - To present, with the greatest possible accuracy, the areas covered by alluvial materials, carefully analyzing the piedmont plain where Quaternary faulting is most evident.

b - Having identified a Quaternary fault, the length of the rupture of the fault was determined precisely, to have an idea of its potentiality as a seismogenic structure. Due to lack of detailed studies in the Quaternary, no attempt was made to relate different segments of the fault or to differentiate the Holocene or Pleistocene ages.

c - From the Geotectonic Map of the Republica Argentina, the Plio-Quaternary lineaments, considered the most important and of greater tectonic activity, were selected from morphologic evidence. As a result, one can observe that some of the great fault systems show evidence of Quaternary fracturing. Likewise, it is noteworthy that important evidence of modern faulting is seen mainly at the borders of intermountain basins, specially between 24° and 36° south latitude.

INTERPRETATION OF THE MAP

Due to the characteristics of the map to be produced for Project SISRA, it was preferred to use simple nomenclature which would indicate the most notable visible tectonic and geological features relevant to the knowledge of the Quaternary and its evolution. We can thus appreciate that the larger Pleistocene piedmonts are located between 26° and 39° south latitude. This coincides, in part, with the apparent location of faulting phenomena and the presence of borders with well developed alluvial fans. This particularity shows the combined action of tectonic and climatic factors.

To the north of the country, the presence of sloping landscapes are more difficult to recognize, due to dense vegetation and subtropical climate. This is the main obstacle for the location of fault phenomena.

In the eastern sector, the Chaco Pampeana and the coastal areas, there are no detailed studies so it was considered as one unit. Thus, the alluvial deposits, loess, inundation plains and the mesopotamic soils, originated by volcanic sequences and layers of Cretaceous-Tertiary lava were grouped together.

With respect to the volcanism of the Puna region, it has been represented with a symbol corresponding to active volcanoes, great eruptive centers, and well conserved volcanic apparatus which were identified from satellite imagery.

The areas covered by igneous material are quite irregular; these were not identified since they are not relevant to this project. In the Patagonica region the basalt-andesitic plains and the Quaternary cover were grouped together when the photographic evidence was not adequate. Only the great basaltic plains associated with the larger effusive centers were identified and, in some cases, the limits of the basaltic Quaternary cover were determined.

Respecting faults with evidence of historical displacement, two such fault systems associated with earthquakes are known. One corresponds to the earthquake of San Juan occurred on January 15, 1944, and the other to the earthquake of Caucete of November 23, 1977. The former is a low-angle inverse fault related to the fault system known as Precordillera Oriental. These faults extend in an approximate N-S direction and dip to the east of the city of San Juan, approximately between 21° and 23° south latitude. The system is characterized principally by reverse faults which superimposed Tertiary formations on Quaternary units, classified as medium Pleistocene and Holocene. The length of the rupture determined for the 1944 earthquake was about 8 km (Castellanos 1945).

The 1977 earthquake of Caucete is considered as a multiple event. Two shocks occurred with an interval of about 21 seconds and at a distance of about 64 km from one to the other; their magnitudes were Ms = 6.8 and 7.3 (K. Kadinasky-Cade) 1984.

The surface rupture, 10 km long, shows displacement of 30 to 50 cm along a complex system of faulting located in the oriental border of the Sierras de Pie de Palo. This surface rupture developed on a scarp where graben structures

predominate. According to geophysical data of the subsurface and morphological evidence, the graben structure is the surface evidence of a reverse basement fault , which is caused by the superposition of the east block on the west block. The rupture effect is seen as an elongation of the Tertiary-Quaternary cover developed at a foot of the Sierras.

The data for the 1944 and 1977 faults is summarized as follows:

	La Laja (1944)	Nikizanga (1977)
Bearing	N 42° E	N 40° E
Dip	30° NE	85° NE
Length of rupture	8 KM	9-10 KM
Displacement	Variable: 30-60 Cm	Variable: 20-50 Cm
Ms Magnitude of the earthquake	7.4	7.3 - 6.8

Considering the displacement and length of rupture in both cases , there are two working hypothesis to be considered. One is to assume that the faults located are secondary faults and that the main rupture is elsewhere . The second, is to infer with considerable justification that the inverse tectonics of overlapping, low angle faults, and the tertiary plastic sequences are combined features which attenuate the length of rupture and displacement. This is rather non-homogeneous, as indicated by measurements made in different scarps of the region.

DISCUSSION

The importance of the map is that Quaternary faulting can be located, on a regional scale.

Such locations are with fair precision; considering that quaternary faulting is the principal mechanism for the generation of great earthquakes , it is possible, on a regional scale, to have readily an understanding of the problem.

Exact calculations on the basis of parameters, such as length of rupture, are not recommended due to the limitations mentioned above and to the method of interpretation.

The resulting map enables us to identify, with fairly good precision, the areas where further research and field work is needed to evaluate correctly the phenomena of faulting.

The coincidence of great continental megafault systems and Quaternary fracturing, points to certain tectonic features which must be adequately studied for the purpose of establishing their relationship with the generation of large earthquakes.

REFERENCES

See page 17.

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF BOLIVIA

Hernán Claure *

INTRODUCTION

Three types of research have been applied:

a) Revision of local studies,
b) Analysis of LANDSAT images,
c) Field surveys.

The author has had considerable experience concerning Bolivian tectonics working for the Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) and in Project ERTS (Earth Resources Technological Satellite).

Angel Vega, Estela Minaya, Ramón Cabré S.J. and , ocassionally,other geologists of the Bolivian Geological Survey (GEOBOL) and COMIBOL participated in the field and laboratory work.

MATERIALS USED

Valuable geological information concerning Bolivia at a regional level is available, as well as data on surface geology for practically the entire country. As a result of these geological studies, a tectonic model was developed from different geological criteria such as the prevaling process and degree of erosion, stratigraphy and predominant lithologic sequences. These suggest a division of the country into seven morpho-structural units, or geological provinces: Western Cordillera, Altiplano, Paleozoic Block, Sub-Andean Sierras, Chaco-Benian Plains, Sierras Chiquitanas and the Brazilian Shield. These units or provinces have been intensively investigated for mineral resources.

GEOBOL has studied the Paleozoic Block, the Altiplano, the Western Cordillera and the Brazilian Shield. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) has conducted geological investigation of the Sub-Andean zone, the Altiplano and the Chaco-Benian Plains. COMIBOL has geological information of many mineralized areas.

Other basic studies were compiled for the present investigation from publications such as: Mapa Geológico de Bolivia; the series of maps of GEOBOL: Fajas Mineralizadas de Bolivia - Metalogénesis - Falla, Lineamientos y Cuerpos Igneos en los Andes Bolivianos y su Relación a la Placa de Nazca, Mapa Estructural de los Andes Septentrionales de Bolivia.

---

* Corporación Minera de Bolivia

Neotectonic investigations have been restricted to small areas and to quaternary tectonic basins They are reported in publications such as: La Neotectónica de los Sedimentos Plio-Cuaternarios del Norte del Altiplano ; Estudio Neotectónico de las Cuencas de Cochabamba, Sucre, Tarija, Cordillera Oriental Boliviana.

Available information has been field tested in many areas, by visiting tectonic features in the vicinity of the following settlements:

a) Cochabamba area: Sonkani, Misicuni, Liriuni, Sipe-Sipe, Capinota, Buen Retiro, Anzaldo, Potrero, La Viña, Valle San José, San Jacinto, Chocolatada, Villa Tunari, Chipipi, Estrella 18, Villa General Romano, San Miguel, Colani, Aguirre, Alquile, Agua Blanca, Rumicacha, Aguada , Poko, Mizque, Tajras.

b) Santa Cruz area: Pojo, Comarapa, Canal, Monte Grande, Saipina, Pulquina, Moromoro, Vallegrande, Loma Larga, Masicuri, Piraimiri, Guadalupe, Lagunilla, Mataral.

c) Near Sucre: Cercado, San Pedro, Novilleros, Eje Pampa, Chinguri, Quiroga, Campanario, Yotala, San Isidro, Totacoa, Santa Rosalía, Tambo Acachila.

d) Closer to Potosí: Millares, 14 Vueltas, Retiro, Kasahuasi, Villa Carmen, Kimapaya, Betanzos.

e) North of La Paz: Yanacachi, Warisata, Humanata, Ilabaya, Sorata, Cuajone, Quiabaya.

These field studies were complemented with photogeological data and by interpretation of 65 images covering Bolivian territory, obtained by the LANDSAT satellite.

OBJECTIVES

The principal objective of the investigation is to correlate geological processes and seismic activity in Bolivia.

Compilation and analysis of faults and lineaments in Bolivia was undertaken. Volcanic activity, ingneous intrusions, earthquake epicenters and proper names were added to available hydrographic maps. These data constituted the basic information for the preparation of a Bolivian neotectonic map.

Bolivian seismicity evidently has special relations to the Pacific coast. Tectonic processes in the coastal area control earthquake activity in Bolivia and hence determine the seismotectonic provinces.

The neotectonic map presented is preliminary. A large part of the office and field work was devoted to seismotectonic zoning of Bolivia and field verification of faults and main structures with Quaternary activity related to local and regional earthquakes.

EXPLANATION OF MAP

The preliminary neotectonic map of Bolivia shows three neotectonic units:

- Volcanic-Sedimentary cover (Miocene-Pliocene)
- Volcanic cover (Pliocene-Holocene)
- Non-Volcanic cover (Quaternary or Plio-Quaternary)

- The Volcanic-Sedimentary cover developed especially in the Altiplano, the Paleozoic Block and several sectors of the Sub-Andean Sierras. Sedimentation is considered Miocene, volcanic activity Pliocene

In the Northern Altiplano, sedimentation shows a thick series, resulting from the erosion of some reliefs produced by an orogenic phase of the Upper Oligocene-Lower Miocene and by vertical movements accompanying it. In the Sub-Andean Sierras sedimentation seems to have continued since the Oligocene to the Pliocene.

Volcanism in the sedimentary series is represented by the pyroclast and lava effusions forming the high plateaus of Morococala and Los Frailes. Lavas and ignimbrites have dacitic, rhyodacitic and, occasionally, andesitic composition. Transverse faults across the Andes cut volcanic deposits of this unit.

- With regard to the Volcanic cover, after the last important phase of compression (intrapliocene), paleogeography of the Andes Cordillera indicates rapid uplift, accompanied by intense volcanism in the western domain. Following the Upper Pliocene and during the Pleistocene, many of the sedimentary and morpho-structural features are guided by that uplift (Martinez and Tomasi, 1978).

As a consequence of volcanic activity there are stratovolcanic deposits with intercalation of tuff mantles and lava effusions of varied composition. Eruptive centers are aligned along active faults, several of which currently maintain a fumarolic or solphataric stage.

- The Non-Volcanic cover consists of sedimentary non-volcanic deposits filling tectonic basins like the Altiplano, which continued subsiding during the Pliocene; large lakes were devoloped during the Lower Pleistocene in such an environment, as the Minchin and Tauca lakes in the southern part of the Altiplano, originating calcareous, lime-sandy sediments and salt deposits. In the northern part, the Ballivian lake which developed is less salty and more clayish.

The Northern Paleozoic Block has glacial and fluvio-glacial sediments and four glacial epochs are differentiated; these were affected by two compression phases at the end of the Pliocene, two expansion and one compression phases, during the Quaternary (Lavenu, 1979).

Several basins are formed in the Paleozoic Block as a consequence of differential block uplift at the end of the Tertiary. Those basins are surrounded by Paleozoic fields and are filled with lake sediments; faults related to that block were reactivated during the Quaternary, as happened in

the Cochabamba and Tarija basins.

The Chaco-Benian plain located between the Brazilian Shield and the Andean Cordillera has Plio-Quaternary sediments of lacustric and alluvial origin. Its structural features are not yet defined, but at least it is clear that it is a large subsidence basin.

- Faults and Lineaments

In Bolivia, the tectonic-structural conditions of Quaternary activity are divided into large morpho-structural provinces. The Andean Massif (Paleozoic Block, Altiplano, Western Cordillera and Sub-Andean) shows faults and lineaments with Quaternary activity localized in regional reactivated structures, mostly adapted to sedimentary formations, folding, volcanic activity and continental deformations.

The Chaco-Benian plain and the Brazilian Shield show faults forced by Pre-Cambrian crystalline basement, which often produce geomorphic features through the Quaternary cover, with only the evidence of the pattern of drainage of rivers and ponds.

The Quaternary faults drawn on the preliminary neotectonic map were identified from the fault and lineament map of Bolivia and field verification, complemented with interpretation of satellite images and seismic data.

The Volcanic activity presented on the neotectonic map corresponds to volcanic forms, fumarolic-solphataric volcanoes, volcanic skeletons and volcanic calderas.

- Seismotectonic Zoning of Bolivia

A preliminary seismotectonic zoning of the country is presented , based on the geological data accumulated, epicentral location of seismic events and field studies.

The following zones with seismic potential are identified:

- Cochabamba Valley
- Aiquile-Sucre
- Sub-Andean, Vallegrande-Postrervalle
- Sorata, Consata-Mapiri
- Tarija-Yacuiba
- Lípez

DISCUSSION

The neotectonic map proposed in this study is a first attempt to review the regional geology of the Bolivian Quaternary. Since it is a preliminary map, there will be overpassed errors, which can be corrected through continuing studies. It is hoped that this effort will constitute a basis for the correlation and explanation of the seismicity of the country.

The knowledge of seismotectonic zones helps to mitigate earthquake effects and contributes to the development planning of the country.

To fully attain the objectives of this study it will be necessary to continue field investigations in many seismotectonic areas and to improve the map with additional geological information.

REFERENCES

See pages 35-36.

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF COLOMBIA

Clemente Ropain *
Roberto Alvarez *

1. INTRODUCTION

In Colombia, in accordance with the orientation of the faults, there exist two systems:

1 - A system with bearing approximately parallel to the Andean cordilleras.

2 - A second system, with approximately E-W bearing, in northern Colombia, which appears to be controlled mainly by the Caribbean Plate.

A brief description of the most important faults follows:

2. ANDEAN SYSTEM

2.1 The Oriente Fault

It is located along the eastern edge of the Cordillera Oriental,dipping towards the west. Pennington (1981) suggested that this fault is a prolongation of the Caribbean Plate nearly to the frontier between Colombia and Ecuador.

Historically, it is known that there have been very large earthquakes, with foci that may have coincided with tectonic activity along this fault system. Seismic studies of the country performed by ITEC LTD., for Interconexion Eléctrica S.A. (ISA), indicate that there is seismic activity practically everywhere in the Cordillera Oriental.

2.2 Inverse Fault System - The Rio Magdalena

The Santa Marta-Bucaramanga and Palestina faults, considered as transcurrent faults, are the main components of this system.

2.2.1 Santa Marta Bucaramanga Fault.-

It has a N-W bearing. A great number of satellite faults show evidence of quaternary activity; the principal active faults are: Bucaramanga, Boyacá-Belén, Suarez and Salinas.

The rate of displacements of these faults are not known, but they appear to be moderate to high, on the basis of the preliminary evaluation reports for the Foncé-Suarez Project presented by Woodward-Clyde Consultants (1982).

---

* Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.

Preceding Page Blank

2.2.2 Palestina Faults.-

It has an extent of 350 kms along the eastern slope of the Cordillera Central. Collins et al (1981), report evidence of displacement during the Quaternary, along a segment about 200 kms long. The activity of this fault , based on that report, may be classified moderate to low; the tectonic forces which affect the Palestina Fault apparently have suffered an important neorientation, sometime during the late Cenozoic.

The Middle Magdalena valley, limited by the two above faults mentioned, corresponds to a graben, which is still sinking at present, originating an inundation zone. The rate of sedimentation, even though it is differentiated by type and areas, suggests a mean annual accumulation of 3.8 mm ; however this figure must be taken only as indicative of the maximum subsidence of this floodable region, (Martinez A. 1981).

2.3 Romeral System

This system, oriented in an approximately north-south direction, extends for more than 800 kms from Ecuador toward the North. It is separating the Central and the Occidental Cordillera, and dipping toward the east. A very important characteristic of this fault system is that it separates the Oceanic Crust to the west from the Continental Crust to the east. The original trace of the Romeral Fault system was extended to the north by Duque Caro (1973), by nearly 140 km, based on the fact that he found on the north coast identical geological provinces to those found in the southern region.

So far, by studies of seismic risk, performed for Interconexion Eléctrica S.A. (ISA), late quaternary displacement have been discovered along the trace of the main fault and of some of the satellite faults which are part of the system, such as El Espíritu Santo, Sabanalarga, Montenegro and Sandinas faults, located to the northwest. The degree of activity of this fault system is considered to be moderate to low; the rate of displacement in the satellite faults could be between 0.2 and 0.6 mm/year. The trace identified by Duque Caro (1973), as a prolongation of the Romeral System to the north, does not exhibit evidence of recent activity.

2.4 Cauca Fault

It extends from Ecuador and is located west from the Romeral fault, with which it converges northward; the Cauca fault includes several branch faults along the Cauca river, with a N-S bearing. The faults are vertical or nearly so, dipping sharply East or West. The fault shows late quaternary displacement affecting depressed mud and alluvial flows, (Cline et al 1981). The activity appears quite low, with a less than 0.1 mm/year rate.

2.5 Atrato Fault

Its trace has been located by geological studies made in this part of the country; information concerning recent activity is insignificant.

3. EAST-WEST SYSTEM

3.1 Oca Fault

Located in the northern most portion of the country; there are no

detailed studies concerning recent seismic activity.

4. VOLCANISM

Volcanic activity has ocurred since the Mesozoic to the Recent and it is located mainly in the Central Cordillera. The most important volcanoes are:

NAME	TYPE	LOCATION		SITUACION
		Coordenadas Lat.N	Long.W	Localidades	
Galeras	Strato volcano	1°13'	77°18'	Pasto, Nariño	Active
Puracé	Strato volcano	2°22'	76°23'	Cauca	Active
Cumbal	Strato volcano	0°39'	77°53'	Nariño	Not active
Azufral	Strato volcano	1°05'	77°41'	Nariño	Active Fumarolic and Sulfataric
Chiles	Strato Volcano	0°49'	77°56'	Limit between Ecuad. and Col.	No recent activity
Nevado del Ruiz	Strato Volcano	4°53'	75°22'	Caldas	Active, Eruptions in 1519, 1845,1985
Nevado del Tolima	Strato volcano	4°39'	75°22'	Tolima	No activity at present
Nevado del Huila	Strato volcano	3°00'	75°59'	Huila y Cauca	Activo Eruptions unknown
Doña Juana	Strato volcano	1°31'	76°56'	Nariño	Eruptions in 1897. Lava and burning clouds
Mesa Nevada de Herveo	Strato volcano	5°18'	75°28'	Tolima	Fumarolic activity
Cerro Negro de Mayasquer	Strato volcano with a crater lake.	0°48'	77°57'	Nariño	Fumarolic activity
Machín	Caldera with central core location	11 k SW of Tolima		Tolima	Fumarolic activity

5. REFERENCES

See pages 28-29.

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF CHILE

Oscar Gonzáles-Ferrán *
Emilio Lorca *

1. INTRODUCTION

The Regional Center for Seismology for South America (CERESIS), at a meeting held in October, 1981, in Lima, Peru, with the cooperation and support of the U.S. Geological Survey, the Agency for International Development (Office of U.S. Foreign Disaster Assistance) and the active participation of all of its member States, began one of the most complete and ambitious programs oriented to the mitigation of the effects of the earthquakes in the Andean region of South America. This program is better known as Project SISRA.

Responsabilities were assigned and regional and national coordinators appointed to supervise and coordinate preparation of maps, catalogs and texts, which are the products of the project. After several international meetings and workshops and under permanent coordination, the characteristics and elements, for reports and maps, were adopted. One of these was the Preliminary Neotectonic Map.

The National SISRA Coordinator for Chile, Prof. Edgar Kausel, organized the compilation of the existing information for the preparation of a national map of neotectonic elements, for Chile, which would be a part of the smaller scale (1:5,000,000) regional map of South America.

Such a map is the first attemp to present an illustration of the neotectonic geologic element, indicative of the dynamic activity of the south - western section of the South American plate during the period from the Miocene to the Present and, on which, most of the national territory of Chile is located. Initially and according to the objectives of Project SISRA, all of the geologic elements which contribute to identify the tectonic movements and their relationship with the intense seismic and volcanic activity, have been selected and presented on a map at a scale of 1:2,000,000. Therefore, this map reflects the present state of knowledge of the neotectonic elements of Chile (Upper Cenozoic-Recent).

For the preparation of the map, most of the relevant published information has been consulted and used, after selecting and analyzing those reports which contain a significant contribution to the knowledge of the neotectonics of the Chilean territory. Of these, it is important to mention Brugger 1950; Fuenzalida et al 1965; Muñoz Cristi 1950; Paskoff 1965; Ruiz et al 1965; Okada 1971; Plafker and Savage 1970; St. Amand 1961; Fuenzalida and Harambur 1984 and other references, whose authors are mentioned in the bibliography.

---

* Dpto. de Geología y Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Previous Page Blank

Valuable information was obtained from the geologic maps published by the former Instituto de Investigaciones Geológicas, today Servicio Nacional de Geología y Minería, among which the Mapa Geológico de Chile at a scale of 1:1,000,000 (1968) and the new version published in 1983 by SERNAGEOMIN , are noteworthy. Abundant pertinent information is found in the Graduate theses in the files of the Department of Geology and Geophysics, Faculty of Physical and Mathematical Sciences of the University of Chile; another valuable reference is the "Mapa sobre los Volcanes de Chile", included in the "Atlas Geográfico de Chile" (1983).

The above information was complemented by consulting and analyzing aerial photography and LANDSAT satellite images. The integrated result was based on the experience and knowledge of the country of the authors.

2. OBJECTIVES

The principal purpose of the neotectonic was to identify and illustrate all those geologic elements which clearly indicate regions of crustal instability corresponding to surface expressions which modify the morphological ground characteristics. Geologic agents, such as faulting, subsidence and uplifting of blocks, and increase in the volcanic activity, are intimately linked to seismic activity generated by plate tectonic mechanism and frequently corresponding to short duration geological phenomena with catastrophic consequences, specially when they occur in densely populated zones, such as the western andean border of Chile.

The neotectonic elements presented on the map are such that they can be correlated with the seismological information; a seismotectonic interpretation can be made, in order to produce a model which will facilitate actions for the mitigation of the effects of seismic and volcanic activity.

3. EXPLANATION OF THE MAP

3.1 Comments concerning the Legend.-

Chile, because of its geographic position, on the active edge of converging plates in the South Eastern Pacific, has suffered intense tectonic, volcanic and seismic activity throughout its geologic history. The igneous activity which has generated an extensive volcanic cover during the Upper Cenozoic, associated with sedimentary continental and marine deposits, is clear identification of the tectonic differential block movements. The associated fault systems have structured the main morphological features of the national territory from the Pliocene to the Present and therefore, many of them exhibit holocenic and historical activity, probably associated with large earthquake.

3.2 Description of the Legend.-

3.2.1 Late Pre-Cenozoic Rock Cover

The continental and marine formations of Paleozoic, Mesozoic and Lower Tertiary ages have been considered as one unit; the volcanic and sedimentary cover, from the Miocene to the Recent, developed overlying these formations.

3.2.2 Eocene-Pleistocene Marine Deposit Cover

Extensive regions along the coast of Chile, specially from latitude 26° south, show the development of many marine terrace levels which uplifted during the Recent Pleistocene. These are clear evidence of vertical tectonic movements whose origin is mainly associated with the convergence movements of the Plates and, in less proportion, with the cycles of glacial eustatic oscillation which, as a whole or idependently, generated zones of subsidence and uplift, giving origin to the different marine and fluvial terrace levels.

In central and northern Chile, terraces have been identified at altitudes between 250 and 400 meters above sea level; whereas, to the south, they vary between 170 and 200 meters and in the southernmost coast they fluctuate between 10 and 70 meters. In these, at least four main terrace levels have been recognized, generated during the past 5 million year (Pliocene-Recent). Thus, the higher levels are attributed to the Pliocene and the others must have developed during the Pleistocene. Belonging to a more recent age, terraces have been recognized with levels between 5 and 7 meters and others, which are postglacial, at 1-2 meters above sea level (Paskoff in Fuenzalida 1965).

The importance of the marine terraces, to interpret seismotectonic activity, is clearly demonstrated by the earthquake of May, 1960, occurred in southern Chile, where an extensive coastal region between Puerto Saavedra and the Peninsula of Taitao experimented differential subsidence and uplift between -2.70 m (Corral-Valdivia) and +5.70 m (Isla Guamblin), (Plafker and Savage, 1970).

3.2.3 Miocene-Pliocene Volcanic Cover

Chile is covered by extensive sequences of volcanic rock which in part present "plateau" features, initially associated with volcanism controlled by fractures parallel to the axis of the Andes and with the formation of gigantic volcanic calderas (10 to 25 km of diameter, e.g. Wheelwright; Galan, etc.) which generated extensive deposits of lava flows and rhyolitic ash, particularly in the northern region Chile (Central Andes of South America). This is less notable toward the southern region where the flows of dacites, andesites and basals predominate. The volcanic activity, in this part of the Andean region, was more intense during the Miocene-Pliocene, with well established periods of no activity, specially in the Upper Miocene and Pliocene.

Calc-alkaline characteristics of the volcanism along this Andean region clearly demonstrates an association with the Nazca Plate subduction processes under the eastern edge of the Southamerican Plate.

The volcanic cover is of special importance for the study and dating of the differential block movements which structured the Cordillera de los Andes, the intermediate tectonic depressions which are the longitudinal valleys, and the blocks of the Cordillera de la Costa along most of the national territory, with the exception of the region between 27° and 33°, south latitude, where there is no clear differentiation and where Miocene volcanism is very sporadic.

3.2.4 Pliocene-Holocene Volcanic Cover

This cover was developed superimposed only to the block of the Andes,

giving rise to the present morphological feature of the Andean Cordillera,over the north as well as in the south-central zone of Chile. The cover does not exist in the region between 27° and 33°, south latitude. Effusive rocks vary between basals and andesites, and minorly, to dacites and calc-alkaline rhyolites; they are intimately linked to volcanic structures whose morphological features correspond to volcanic skeletons, stratocones, lava domes, calderas, cinerite cones, maars, ash flows and deposits of burning clouds and other minor structures. This cover in turn represents the present location of the lines of greater heat flow along which the historically active volcanism of the Andean Region is concentrated.

3.2.5 Quaternary or Plio-Quaternary Non-Volcanic Cover

A whole complex of materials has been represented as one unit. These materials are of fluvial, aluvial, fluvioglacial, morainic and coluvial origin and, in some cases, interbedded to volcanic matter associated with ash and lava flow. These are found mainly filling the tectonic depressions of the central valley or the fluvial valleys (as terrace deposits). The fill has considerable thickness in some places such as Chillán, which exceeds 1500 m, whereas in Santiago, it varies between 50 and 400 meters.

3.2.6 Volcanoes

The volcanic centers represented on the map, which are concentrated on the main block of the Andes, have been classified according to their ages. Thus, all of the Plio-Pleistocene volcanoes are indicated with gray triangles. The volcanoes, which had their last eruptive activity during the 10,000 years of the Holocene, have been represented with a white circle. Those with eruptions during historical times are shown with a red point, and the year of the last known eruption is indicated. In Chile, more than 1000 Plio-Pleistocene volcanic centers have been identified, but only 55 of these have a historical record of eruptive activity. During the last one-hundred years the eruptive activity has been concentrated in the south-central region, with 22 volcanoes, which represent about 70% of the volcanic activity which has occurred in Chile during the last century. This region coincides with that of the highest population density of the country. The intimate relationship of volcanoes with seismic activity, as the result of dynamic subduction, constitutes a very high volcanic hazard and risk, despite the low explosive index of the volcanoes. Thus, they are an important neotectonic element in the analysis of the seismo-volcanic risk.

3.2.7 Faults

The tectonic movements in the Pliocene-Pleistocene, which modelled the present morphology of the Andean Region, generated fault systems mainly associated with vertical block movements, many of which exhibit certain activity. Other faults systems associated with volcanic activity appeared during the Pleistocene-Recent; mainly in an echelon pattern in the andean and longitudinal block of the south-central portion of Chile. The number of historically active faults is relatively low considering the extent of the active border of the territory; this is partially compensated by the presence of many faults with holocenic movement. These appreciations are probably due to the lack of detailed studies in many seismically active regions.

Three groups of faults have been considered:

a) Pre Cenozoic faults and lineaments which affect the formations considered, in this case, as basement; b) Plio-Pleistocene and Holocene faults which are very numerous throughout the territory and whose traces are well preserved, specially in the northern part of the country; and c) Active faults with historical movements associated to large earthquakes; only one fault of this type has been identified. This is the "Las Melosas" fault, associated with the earthquake of September 4, 1958.

3.2.8 Vertical Movements

Because of its geographical location, with more than 4000 kilometers of Andean coastal border, Chile has been constantly affected by vertical movements of subsidence and uplifting, associated with large historical earthquakes such as the events occurred in 1822, 1837, 1906, 1922, 1939, 1949, 1960 and, recently, in March 1985. In summary, it can be stated that an important and very extensive coastal belt has been undergoing subsidence to the south of Conception, whereas, to the north, there is constant uplift of the coastal block. Offshore, there is uplift toward the south.

4. BIBLIOGRAPHY

See pages 35 to 36.

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF ECUADOR

Minard L. Hall *

1. INTRODUCTION

The compilation of information regarding tectonic features began during 1978-80, with two projects dedicated to the study of Microseismicity and faulting activity of the Valle Interandino (Hall and Ramón, 1978; Hall et al 1980). Seismological research carried out during the same period by Woodward-Clyde Consultants, INECEL and others, detected the presence of active faults in other parts of the country. This stimulated the compilation of available information.

Meanwhile, Jorge Sevilla of INECEL prepared a map of lineaments at a scale of 1:500,000 from LANDSAT images. It was also agreed that the integration of the above projects would be of mutual benefit and of national interest, and thus plans were made to produce a National Map of faults. Project SISRA contributed significantly to those plans and, in particular, concerning most of the compilation of the data and the preparation of the map.

Besides Ing. Jorge Sevilla, Ing. Hugo Yepes of the Instituto Geofísico also contributed to the map.

2. MATERIAL USED

The map was integrated and compiled using information from various sources. A map of tectonic lineaments traced from the LANDSAT images was prepared at scale of 1:500,000 by Ing. Sevilla. Other lineaments were added from other satellite images and from aerial photography. A comparison was then made of the lineaments with the faults published in geological maps, at various scales, prepared by the Dirección General de Geología y Minal (DGGM), the faults reported in seismological studies (Hall and others; Woodward-Clyde Consultants) and other sources. Faults and lineaments of short length and/or uncertain character were not taken into account, when the map was reduced to a 1:2000,000 scale. The distribution of unconsolidated materials was traced from the geological maps of the country (DGGM). The location of the volcanoes and the distribution of the volcanic materials came from the geological maps (DGGM) and volcanic studies (Hall, 1977).

Only a few of the faults and lineaments have been investigated in the field, and therefore for most of the faults it is not known whether they are active or inactive faults or only lineaments. Future field work is necessary to determine the degree of activity of the principal faults.

Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional.

Previous Page Blank

3. OBJECTIVE

The map serves to the purpose of illustrating the location of the most important features in Ecuador, specially faults and tectonic lineaments. Also, to appreciate the distribution of the strotovolcanoes in the northern part of the country and of the great sheets of silicious ash in the southern portion. Such information together with the relationship of those features with contact boundary between the Nazca and the Southamerican Plates e.g. the Ecuador Trench, leads to a better understanding of the dynamic activity of the subduction process of the plates in the country (Hall and Wood, in press).

4. DESCRIPTION OF THE NEOTECTONIC MAP OF ECUADOR

The Republic of Ecuador, like the other Andean countries, has a long history of telluric disasters, which include many earthquakes of large magnitude. Recent geologic studies using geological mapping, photointerpretation of aerial pictures and satellite images, and seismological investigations,have began to show with greater clarity the distribution of the systems of the principal active and non-active faults. A brief and preliminary description of the seismic regions and the type of faults related with each of them, follows:

4.1 The continental slope, which includes the submarine zone between the trench and the shore, has many active faults parallel to the coast, a fact which has been observed in many other active continental slopes throughout the world. The location of these faults is estimated mainly from the topography of the ocean bottom, as indicated by bathymetric maps; nevertheless, conclusive evidence of their presence is very difficult to obtain. A change in the orientation of these faults is noted from a NNE bearing in the central coast to a NE bearing opposite Esmeraldas (1°N) at the north end. Continuous seismic activity detected there, indicates clearly that this submarine belt is very active, specially the segment from Salinas (2°S) to the national boundary with Colombia. Great earthquakes with magnitude up to 8.8 on the Richter scale have occurred in this region, specially opposite Esmeraldas; these are associated with reverse faults of great length, whose activity is related with the subduction of the Nazca plate (Kelleher, 1972; Herd et al, 1981 ; Kanamori and McNalley, 1982).

4.2 The coastal zone, located to the west of the Andes, is also cut by numerous faults of diverse bearings. On a larger scale, it is noted that to the west, specially in the Cuenca Progreso, folds and reverse faults of late Miocene age, with a WNW-ESE bearing, are cut by faults oriented NE . To the North, in the region of Manabi, faults oriented NNE-SSW are truncated by a system of normal faults oriented NE-SW whose age is probably Post - Miocenic (DGGM).

At the extreme north, the same system of faults is found, apparently of normal type, and also of Post-Miocenic age (DGGM). Of greater importance is the Cojimies Fault oriented ENE-WSW; it is a normal type fault although it also shows a dextral movement. Its lenght is more than 200 km and continues in Colombia territory where it is called the Falla Junin.

It seems that most of the faults in the coastal zone are Post-Miocenic and oriented NW-SE and NE-SW; apparently as a result of forces related with the collision between the Nazca and the Southamerican Plates.

Associated with this faulting is the general coastal uplifting, where the Pleistocenic shores have reached elevations up to 300 meters above sea level, opposite Manabi (1°S).

Due to the thick Tertiary-Quaternary cover, the presence of important faults has not been confirmed in the Guayas and Manabi basins (DGGM), to the east of the coastal line.

4.3 The Andes of Ecuador, which cross the country approximately in a NNE-SSW direction, enable us to obtain a better knowledge of the tectonic situation of Ecuador. Three systems of faults are identified: a)normal faults with N-S bearing; b) dextral faults with a NE-SW bearing and c) sinistral faults with NW-SE bearing.

The N-S faults are associated with the Valle Interandino, a graben averaging more than 300 km long and 30 km wide. Associated with both sides of the Valle are small horsts, grabens and tilted tectonic blocks, with faults displacing the Upper Pleistocene volcanic ash layers. The Valle separates the two principal ranges of active and inactive volcanoes, which define the Occidental and the Real Cordillera of the Ecuadorian Andes.

Many lineaments and faults with NE-SW bearing cross the Andes along its entire length; evidence of motion can be seen in the dextral and vertical directions. For example, the Romeral and Cauca faults can be traced from Colombia toward the southwest to the Valle del Rio Mira (0.5°N). Additional evidence of NE-SW faulting is also seen in certain parts where the faults cut diagonally across the "Valle Interandino" or appear on the occidental slope of the Andes. Two prominent faults, Pallatanga and Guayaquil, are prolonged toward the Gulf of Guayaquil, where they were involved in its formation and development (Shepherd and Moberly, 1981). In the southern Andes, many parallel valleys with NE-SW bearing are noted, which suggests the presence of other faults of this system.

Although not so abundant as those of the above system, there also exist lineaments and faults with a NW-SE bearing which, in certain cases, can be traced from the Amazon Basin to the western slope of the Andes, a distance of 150 km. They cut and displace, in a sinistral sense, the faults of laramide age which limit the base of the eastern slope of the Andes.

Recent studies of the microseismic activity in the Valle Interandino show clearly that the three systems of faults are active, although the seismicity is restricted at present to certain active areas (Hall and Ramón, 1978; Hall et al, 1980; Hall and Yepes, 1980, 1981; (Woodward-Clyde, 1981).

Of the numerous volcanoes located in the cordilleras, thirteen are considered to be potentially dangerous and could become eruptives sometime in the near future. The following are the most important volcanoes of the Cordillera Occidental: Quilotoa, Minaguilca, (Atacazo), Guagua Pichincha, Pululahua, Cuicocha and Cerro Negro de Mayasquer; in the Cordillera Real: Sangay, Tungurahua, Cotopaxi, Antisana and Cayambe; and in the eastern Andes: Reventador and Sumaco. It is noteworthey that all of these volcanoes are north of 2° south latitude, associated with the structural graben of the Valle Interandino and within a high seismicity region (Hall, 1977).

4.4 The Amazon Basin does not have many well recognized faults, principally because of the tropical vegetation cover and lack of detailed

studies. The best identified are the series of superimposed faults, of laramide age, which define the displacement belt along the eastern edge of the Andes. A seismological survey of the north sector of this belt did not detect any activity (Woodward-Clyde, 1978). Certain lineaments, better recognized in the Andes, can be traced to the Basin; the longest is seismically active and has sinistral motion (Pennington, 1981).

5. DISCUSSION

The Neotectonic Map presents what is presently known of the neotectonic features in Ecuador. It must be used bearing in mind that the features mapped should not be considered as definitive until confirmation by further studies.

6. REFERENCES

See pages 40-41.

PRELIMINAR NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF PERU

Ernesto Deza *
Justo Cabrera**

1. INTRODUCTION

This is a summary of the preliminary report of field observations and analysis on which the preliminary Neotectonic Map of Peru is based. The complete report must be consulted if more detailed information is required.

The Instituto Geofísico del Peru, in collaboration with the Laboratorie Geologie Dynamique Interne of the University of Paris Sud, began in 1977 to develop an on going research program which has greatly contributed to the knowledge of neotectonics in Peru. The field program was initiated with a reconnaisance of active faults; neotectonic studies were carried out, across the Andes in southern Peru, in order to establish an evolutionary referencial picture. At present, within the scope of this program, other regional detailed studies are being carried out, in order to get a more precise evaluation of the neotectonic hazard. The areas under studies are: Central Coast, Huancayo, Arequipa, Cuzco, Ica and the Cordillera Blanca.

Project SISRA has provided support for the neotectonic research, making it possible to conclude some of the field work, and to produce the Preliminary Neotectonic Map of Peru and the corresponding report (1); without Project SISRA these results would not have been possible at this time.

The personnel responsible for the neotectonic studies and products are:

- Dr. M. Sebrier (Lab. Geologie Dynamique Interne, Univ. Paris Sud); D. Huamán, J. Cabrera, J. Macharé (Inst. Geofísico del Perú); J. L Blanc, D. Bonnot (Univ. Paris Sud).

Dr. Jacques Mercier of the Laboratoire Geologie Dynamique Interne of the University of Paris Sud and Ing. Ernesto Deza of the Instituto Geofísico del Perú participated as technical advisers.

2. MATERIALS USED IN THE PREPARATION OF THE NATIONAL REPORT

2.1 Source of Data

The main source for the preparation of this national report were the summary entitled "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú: Resumen del Informe SISRA, Noviembre 1982" (2) and the report cited as reference (1), concerning all of the compiled information about neotectonics in Perú, and listed in the bibliography.

---

* Instituto Geofísico del Perú

2.2 Accuracy of the Data

Not much data was available before 1977 and only for very limited areas, considering the large extent of the peruvian territory. At present and due to the increased amount of neotectonic observations, our understanding of the geodynamic evolution of the peruvian territory has improved; however, the Neotectonic map of Peru has a preliminary character; future observations will improve the precision of the boundaries of the areas of neotectonic movements, without expecting significant changes. Moreover the proposed evolution can be modified without introducing significant changes to what has been already consigned on the map.

3. OBJECTIVES

The purpose of this report is to describe the progress on neotectonic research in Peru. The results, up to date, are shown on the preliminary map prepared at a scale 1:2,000,000.

Comprehensive analysis of the results so far obtained leads to a preliminary picture of the geodynamic evolution of Peru, from about 40 million years ago until the present.

4. EXPLANATION OF THE MAP

In spite that the map interpretation permits approximate definition of areas of tension and compression, as well as areas of uplift and subsidence, the seismotectonic units are still not well defined and this will be accomplished in a next step; because of this, the map is called "Neotectonic" and not "Seismotectonic".

A very short summary of the map interpretation allows us to visualize Andean geodynamics in the past 40 million years; however, it is necessary to update reports (1) and (2) in order to further improve the knowledge of Andean geodynamic evolution, within the limitations so far considered.

The geodynamic evolution of the peruvian Andes is characterized by long periods of relatively low neotectonic activity, mostly of a tensional nature, followed by compressional tectonic phases of short duration.

Uplifting of the Andean chain is intermitent and almost contemporaneous with the compressive tectonic phases. The paraxysmal uplifting occurred in the Terminal Miocene, as a consequence of which the Cordillera reached approximately its present height.

At present, in comparison to what may have occurred in the last forty million years, the tectonity activity is not abnormally intense; furthermore, since the middle-Quaternary, it is mostly tensional.

The Quaternary structures (folds, flexures and faults) are mostly found in belts which correspond approximately to the boundaries of morphostructural units. Therefore, the zones which have the highest seismotectonic hazard are the following:

1. The boundaries of the Cordillera Oriental with the Sub-Andean zone and the Altas Planicies are the most important.

2. The coastal zone and the boundary between the Cordillera Occidental and the Pacific Piedmont.

The high Cordillera branches, covered by glacier deposits, frequently have active fauts nearby.

In the Coast and the Sierra, the stress field is mostly tensional, except in the zone of Huancayo and possibly in the NW Coast. These tensional forces have their tractional axis oriented approximately in a N-S direction. The Sub-Andean zone does not show evidence of tensional tectonics, it seems rather that presently it is subjected to compressive forces.

During the Quaternary, the North and South Peruvian coast suffered uplifting movements whereas the Central Coast subsided after the mid-Quaternary. Near Lima, it can be inferred that the mean velocity of this subsidence is approximately 0.1 mm per year and that the maximum velocity could reach 0.5 mm per year.

The high Cordilleran branches, with active faults in their vecinity, (Cordillera Blanca, Huaytapallana, Vilcabamba and Ausangate) are in the process of uplifting.

The explanation of the symbols used in the "Mapa Neotectonico Preliminar del Peru" is as follows:

1. Faults or lineaments with assumed Quaternary (or Plio-Quaternary) activity.

2. Faults with probable Quaternary activity.

3. "Active" faults (from morphological evidence, or because they cut sediments attributed to the Holocene).

   The definition of "active" is applied to any fault or reactivation of the fault which has occurred in the last 10,000 to 20,000 years approximately.

4. "Active" faults with proven historical activity (the age of the event is given).

   In case the type of relative Quaternary or Plio-Quaternary movement is known:

5. Reverse fault

6. Normal fault

7. Transcurrent fault, dextral or sinistral

   Quaternary or Plio-Quaternary folding:

8. Syncline

9. Anticline

10. Flexure

Miscellaneous symbols:

11. Active Volcano

12. Thermal spring

13. Boundary of the Quaternary or of the Plio-Quaternary

14. Relative vertical movement of the coastal zone

    a. Subsided coast, area marked with lines perpendicular to the coast line

    b. Uplifted coast, shown by a thick line

15. Uplifting of continental zones

16. Subsidence of continental zones

5. DISCUSSION

The map shows: areas of greater tectonic mobility, due to either subsidence or uplift; zones of active surface faulting; and areas of Quaternary and present volcanism. Thus, it is possible to introduce these features in the determination of seismic hazard and more precise evaluation of the risk.

The limitation "per se" of this map, is its preliminary character and the small scale used, which downgrade the accuracy of some of the neotectonic elements. This limitation, by contrast, constitutes an incentive for more detailed ivestigation in the future.

6. REFERENCES

See page 46.

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF URUGUAY

María Teresa Roma *
Alberto Benavidez *

REGIONAL GEOLOGICAL SCHEME AND PRINCIPAL STRUCTURAL LINEAMENTS (CRETACEOUS TO PRESENT)

INTRODUCTION

This report is based on the Geological Chart of Uruguay at a scale of 1:1,000,000 (Rossi et al, 1975); on the Geo-Structural Chart of Uruguay, at a scale of 1:2,000,000 (Preciozzi et al 1979); and on unpublished data provided by J. Rossi (personal communication).

Uruguay has a total surface area of 176,215 km^2 with the following geological regions:

1 - Crystaline Basement (or Coastal Brasilian Shield)
2 - Gondwana (or Parana Basin)
3 - Uruguay-Plata (or Pampasia-Mesopotamia)

The most outstanding tectonic events which preceed the Cretaceous-Tecnonism were constituted by two orogenic cycles which affected the basement, determining its cratonization in the Lower Paleozoic.

The isostatic movements which generated the sedimentary basins Gondwanica and Uruguay-Plata, began in the middle-Paleozoic and were specially accentuated in the Cretaceous, due to continental magmatism associated with important fractures in the basement.

Considerable vertical displacements, generated by adjustments responding to the differential distribution of great volumes of basaltic materials, began to operate in this period and continued throughout the Tertiary.

The Quaternary Tectonism is the continuation of these movements which are evidenced by the reactivation of the Cretaceous lineaments, as well as by the appearance of a new structural orientation which can be observed mainly in the Plata and Atlantic shores.

REGION OF CRYSTALINE BASEMENT

This region is the prolongation toward Uruguay of the coastal Brazilian shield. It extends into the meridional portion of the country and outcrops in two small crystalline areas to the north.

---

* Facultad de Ingeniería, Instituto de Agrimensura, Montevideo, Uruguay.

In the Uruguayan crystalline basement two tectonic-cronostratigraphic units are recognized:

a) Zócalo del Plata, a result of the transamazonic orogenic, of mid-Precambric age.

b) Zócalo del Este, a result of the brasilian orogeny, of Late Precambric-Ordovician age.

The Zócalo del Plata extends to the west from a structural line oriented in a N-NE direction from nearby the Plata coast through Rio Grande do Sul, Brasil. It is constituted by the association of diverse metamorphic sequences and complex intrusives with ages between 2170 and 1930 M.Y. The predominant structural alignments have a N 70° E to E-W direction and are represented fundamentally by the metamorphic orientations.

The Zócalo del Este develops in extensive metamorphic belts next to the Zócalo del Plata and the Atlantic shore respectively, associated with granites and postorogenics dated between 900 and 485 M.Y. The predominant orientation of this complex is N 10° to 20° E.

GONDWANA REGION

This region is part of the Paraná basin and occupies the northern half of the country. It is covered by a sedimentary sequence of Devonic-Jurassic age, overlied to the west by basaltic rocks of Cretaceous ages.

The accumulation of such sediments, up to 600 meters thick was accompanied by continuous subsidence and gradual environmental and lithological evolution.

The Cretaceous magmatism determined the development of an up to 1000 meters thick basaltic mantle which partially covered the basin, and the occurrence of magmatic intrusions in the sedimentary sequence and the basement.

Intense block faulting which accompanied this magmatism has its best expression in the Upper Cretaceous faults with N 50°W bearing which determined the development of an intrabasaltic horst and outcroping of the basement in the sedimentary basin.

URUGUAY-PLATA REGION

This region is the prolongation into Uruguay of the Pampasia-Mesopotamia plain which extends along a coastal belt of variable width, corresponding to the Uruguay and La Plata rivers, extending also to the Atlantic shore.

It consists of Cretaceous to Present age sediments from continental and marine origin, whose greater thickness is determined by filling up of the Laguna Merín and Santa Lucía tectonic trenches.

The tectonism affecting this region is the isostatic response to the distribution of the basaltic overflows of Jurassic-Cretaceous age. This results in Upper Jurassic faulting oriented N 30° to 40° E, and Lower Cretaceous

faulting oriented N 70° E and N-S, which bounder the tectonic trenches of Santa Lucía and Laguna Merín, respectively.

During the Cretaceous differential subsidence occurred with greater intensity, in each one of the trenches.

The Fray Bentos-Valentines fault, of Middle Cretaceous age and E-W bearing, determined the subsidence to the North of the Cretaceous basaltic cover.

TERTIARY QUATERNARY TECTONICS

During the Tertiary-Quaternary, isostatic tectonism continued dominating as partially demonstrated by the structural Jurassic-Cretaceous alignments with occasional reversal reactivation.

The tilting movement of basaltic mantle originated in the Gondwana region two Eocene faults, with N 30° E and N 60° E directions. The isostatic adjustments ocurred during the Oligocene and up to the Holocene are evident fundamentally in the Upper Tertiary-Quaternary formations of the Plata and Atlantic coast. The differential block displacements determined in this region faulting with N 45° E and N 45° W directions which constitute a tectonic orientation pattern recently recognized in Uruguay.

CONCLUSIONS

The territory of Uruguay has been affected by Transamazonic and Brasilian orogenies which determined the cratonization of the crystalline base - ment in the Lower Paleozoic.

During the Middle Paleozoic to the Present, isostatic tectonism dominated, causing the development of the Gondwana and Uruguay-Plata sedimentary basins respectively. The best expression of these readjustments corresponds to the Cretaceous linked to the basic continental magmatism which developed during the Upper Jurassic-Lower Cretaceous.

The Tertiary-Quaternary tectonism is partially demonstrated by reactivation of the structural lineaments generated in the Mesozoic. During the Upper Tertiary-Quaternary, structural pattern oriented N 45° W and 45° E was generated and it is represented fundamentally in the Plata and Atlantic shores in which the Quaternary isostatic adjustments dominated.

As far as the territory of Uruguay has not been subject to tangential tensions since the Middle Paleozoic and the movements due to the operating isistatic tectonism are gradual, they are not considered, at present, phenomena for seismic focalization.

PRELIMINARY NEOTECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA

NATIONAL REPORT OF VENEZUELA

Jean Pierre Soulas *

1. INTRODUCTION

Neotectonic and active tectonics studies began early in Venezuela ; the first description of active faulting was performed by S. Paige in 1930, a segment of the El Pilar fault, after the Cumaná earthquake occurred in 1929. In the thirties, H. H. Hess (1938) was the first to propose the hypothesis of lateral displacement of the Caribbean block toward the east, with respect to South America and consequently to forecast dextral transcurrent type displacements, as occuring at present in the great E-W faults of northern Venezuela . E. Rod (1956-1958), true pioneer of neotectonic studies in Venezuela, associated the occurrence of great earthquakes with the main transcurrent accidents of the country (Boconó, El Pilar, Oca, La Victoria, Caparo, Unica, etc.), in which faulted Quaternary deposits and geomorphological features typical of active faulting, are observed.

With E. Rod (op. cit.) and then J. B. Miller (1959) the period of individual investigations begins. The investigators include J. Tricart and M. Michel (1965), C. M. Graf (1972), J. A. Rial (1973), R. Giegengack et al (1976), C. Schubert (1972, 1981, 1982), and C. Schubert et al (1970,1979,1981). In parallel with the individual scientific efforts, in later years, multidisciplinary working groups have been established in institutions such as INTEVEP where, until recently, studies on the continental shelf where made, basically for geotectonic purposes, and FUNVISIS, which began systematic neotectonic exploration of the national territory in 1979, producing useful information for the preparation of the present map. The multidisciplinary teams implemented new methods and techniques, addressed to objectives beyond the common scientific goal, since in the process of evaluation of the risk, they seek a maximum reduction of loss of life and destruction due to possible future earthquakes.

This novel approach was prompted by the report of L.S. Cluff and W. R. Hansen (1969); followed by the studies of INTEVEP (J. Butenko and J.P. Barbot, 1979; J.P. Barbot et al, 1979; 1980); and those of FUNVISIS (O.J. Perez and Y.P. Aggarwal, 1981), (A. Singer et al 1981; 1982), (Y.P. Aggarwal, 1982), (J.P. Soulas, 1983; 1985) and (J.P. Soulas et al 1981, 1982, 1983).

The condensed character of the above synthesis makes it restricted to the most important results of the principal authors. The bibliographical references give a better idea of the level of knowledge attained in Venezuela, although it must be stated that only relevant work for the preparation of this map is included. All of the aspects of neotectonics have not been covered but, basically, Quaternary faulting and folding. Many publications, of great value for the analysis and understanding of the present tectonism, were not considered since they do not contain useful information to be included in the

---

* Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas - FUNVISIS

map (lack of precision, too synthetical or due to the information characteristics: instrumental or historical seismology, Quaternary studies etc.).

Finally, the limitations resulting from the scale of the maps, 1:2,000,000 for the national map of Venezuela and 1:5,000,000 for the map of South America, must be taken into account.

2. SOURCES OF INFORMATION

The 90 references listed in the last pages provided all of the basic data used in the preparation of the map.

For most of the areas of active tectonism, the map was prepared based on recent work carried out, mainly for evaluation of the seismic risk, and presented generally at a scale of 1:100,000 by the author or, under his supervision, by the group at FUNVISIS. In such area (southern portion of the Andes of Merida, the eastern adjacent zone to the Lago de Maracaibo, Unica fault system and the Central and Oriental regions of the country, etc.), the preexisting work, after being reviewed, was integrated and enhanced by specialized photointerpretation and systematic field work using helicopter flights. These regional surveys were complemented locally with C^{14} dating, high resolution geophysical surveys, observation in trenches across active faults etc. Thus, for these regions, the information is considered of good quality and relatively up dated.

For other zones with quaternary deformation, the available information was reviewed and synthesized, recognizing that the sources of data coverage is not uniform, because frequently the information corresponded to small specific areas; some zones are without any information (for example, la Sierra de Perijá, in the westernmost part of the country).

This situation originates a very noticeable information density contrast on the map, (for example the Northern and Southern zones of the Andes of Mérida), which do not illustrate the true tectonic features but rather the state of knowledge on those areas. Such differences are even more noticeable in the continental platform, where many zones are almost totally lacking of data; by contrast, other sections have been subject to high resolution geophysical surveys, and contain more details than any other zone of the continent. Thus, the absence of a prolongation to the NW of the fault system of the "Golfo de la Vela" indicates only the boundary of the studied area; likewise, the discontinuity to the East of the network of accidents of the "Golfo Triste".

This situation led us to complement the map with a tectonic frame of great faults, some of which are probably inactive, whereas others, with additional studies of still not well known regions, will probably increase the number of neotectonic occurrences. Tracing of these great faults has been obtained from the maps authored by A. Bellizzia, Coordinator (1976) and F. D. Smith, Coordinator (1962), from which the limits between the Plio-Quaternary and other terrains were also obtained.

3. OBJECTIVES

The neotectonic map of Venezuela contains, in a synthetic and

integrated approach, all the information so far available, at least regarding quaternary faulting and folding, satisfying scientific goals and relevant requirements to the evaluation of seismic risk.

With regard to the scientific aspect, the map shows the progress of research by presenting a true image of what is really known, critically revised, so that additional information can be added in the future without significant changes.

Concerning the seismic risk evaluation, the main objective of the neotectonic studies is to identify faults which are the source of shallow seismic activity and to evaluate their seismogenic characteristics in a more comprehensive and precise way than what can be done solely through seismological studies. In effect, the great advantage of neotectonics is the ability to analyze the accumulated deformations occurred during a longer period than that based on seismological information, i.e. instrumental (80 years maximum), or historical (450 years maximum). In effect, neotectonic studies applied to seismic risk cover a period of time in which the present deformation regime has developed, corresponding in Venezuela to the Quaternary.

Nevertheless, neotectonic studies must always be complemented by seismological research. This relationship becomes closer if the analyzed structural features are active. However, seismology differs from neotectonics as it has no observational limitations with regard to depth.

In accordance with above defined objective the available information was analyzed during 1982, retaining the good quality observations and discarding all of the conflicting data, to avoid poor interpretations. The reliable data was then placed on a topographic base at scale 1:2,000,000, with the consequent simplification inherent to the scale and equilibrium of the map, and also with the necessary interpretation and generalization of local data. This first version of the map (January 1983) was complemented and simplified to be reduced at scale 1:5,000,000 for the regional map of South America (December 1983). Finally, a revised version was prepared in November 1984, at scale 1:5,000,000.

4. INTERPRETATION OF THE MAP

Before commenting briefly about the map, it is necessary to precise that the word "neotectonics" identifies the most recent regime of crustal deformation, still in process, which has reactivated with its own characteristics some of the structural features produced by previous deformation phases. This active regime began in Venezuela nearly at the end of the Plio-Pleistocene, When the present geometry of the meridional boundary of the Caribbean plate was established. Thus, in our case, and in contrast with other provinces of South America, "neotectonics" is practically equivalent to "quaternary tectonism".

The tectonic regime immediately before the present was quite different and probably corresponded to a southern border of the Caribbean Plate; it was different from the present, at least, in the North Central and North Oriental regions of the country, where non-sedimentary normal faults predominated.

A first glance of the map reveals that the neotectonic deformation is not homogenously distributed throughout the national territory, but it is

concentrated in four belts of tectonic displacements. Three of these mobile zones are secondary:

- E-W dextral system of Oca-Ancon (J. B. Miller, 1959; L. S. Cluff and W.R. Hansen, 1969· C. H. Graf, 1972).

- NW-SE belt of Oriente de Falcón, with folds and inverse faults associated to transcurrent faulting (C. Gonzáles de Juana, 1971; J.P. Barbot et al 1980; J. Wozniak and M.H. Wozniak).

- NW-SE of the "Cañón de los Roques", presenti g vertical component of normal faulting type (C. Peter, 1972).

Some faults occurring in the first two belts cut Holocene deposits and therefore are considered active, according to the convention adopted for this project, which includes as active the fault with movement which took place during the terminal Pleistocene-Holocene.

The zone of greater mobility, where the main deformations occur, is composed by a belt of about 100 km width, developed in the two blocks separated by the dextral accidents of first order of Boconó (NE-SW), San Sebastián and El Pilar (both E-W). The authors who have worked at a local as well as a regional scale on these accidents are so many that we shall only cite the principal ones: E. Rod (1956), L.S. Cluff and W.R. Hansen (1969), C. Schubert (1972, 1977, 1981, 1982), R. Geigengack et al (1976), O. J. Pere and Y. P. Aggarwal (1981), J. P. Soulas et al (1981, 1982, 1983, 1984), Y. P. Aggarwal et al (1983, 1984).

From the Venezuela - Colombia border to Trinidad, these three accidents are linked to form a continuous system more than 1200 kilometers long, where the essential zone of relative movement between the caribbean and South-american plates is concentrated, constituting the principal boundary between both plates. In fact, a mean displacement velocity of the order of 1cm/year has been calculated for this system (Y. P. Aggarwal, 1982a), whereas the other faults do not exceed 1mm/year, and in general velocities are below this value. This high velocity, associated with the great length of the Boconó-San Sebastián-El Pilar system, is characterized by intense seismic activity. All of the historical earthquakes of higher magnitude than 7, since 1610, have occurred due to rupture of segments in the principal boundary between plates, according to the analysis of Y. P. Aggarwal (in preparation), and based on the data compiled principally by J. Grases (1979, 1980) and by M. Lugo in J. P. Soulas et al (1983c). This correlation appears in the earthquake map after year 1700, only for the Boconó and El Pilar faults which have been located with precision in the continent.

The influence of this system on the distribution and organization of the principal topographic features, such as for example the Sierra de los Andes de Mérida, formed by double bulging on both sides of the Boconó faults, must be mentioned. To the north of Mérida, the double bulging is symmetrical, since the fault occupies the axial part of the Sierra, but toward the South, the bulging is not symmetrical, with unequal volumes, due to the fact that the Boconó fault passes by the western slope of the chain.

The principal Boconó-San Sebastián-El Pilar system presents numerous structural complications on a kilometric magnitude in particular in transtension (pull-apart) SW of Mérida (C. Schubert, 1982), or in transpressure (C. Caiguire) near Cumaná, but does not offer any complication at a regional

scale, except in the SW and E extremes, - Colombia and the Golfo de Paria - Trinidad, respectively. Entering Colombia, the Boconó system bends over the N-S accident of Chitigá (geological map of Colombia, Cucuta cuadrangle) which is strongly reverse near its joint with Boconó, but presents a dominant horizontal sinistral component further to the South. The confrontment between the Caribbean and South America Plates at the level of this transverse system is evidenced also by the reverse sinistral movement sufferred by the Este de Pamplona and Morro Negro faults, located to the West of the principal accident of Chitigá. At its other end, in the Golfo de Paria and in Trinidad, the Boconó -San Sebastián-El Pilar system presents greater complications since it spreads like a "chicken foot", in which, nevertheless, the trend of faults los Bajos-El Soldado is the most active (C. C. Wilson, 1940; O. J. Pérez and Y.P. Aggarwal, 1981).

Some second order accidents, of great geographic dimension, are separated obliquely from the principal contact between both Plates and extend beyond the limits of the deformation belt. Such is the case of the Carbonera inverse fault with a N-S bearing (Y. P. Aggarwal, 1982b) and the Valera fault with a sinistral normal movement in the southern segment, and oriented NNE-SSW and a sinistral horizontal movement in the northern segment, with a N-S bearing. Another example of this pheromena would be the Unica fault, with Quaternary extension toward the Orinoco delta, and no recent activity propagation further south than the zone of Barcelona.

Other accidents of lower order can be subparallel to the larger ones and also quite oblique to them. Their displacements are frequently horizontal dextral (Caparó, El Camacho, Piñango, Tacata, La Victoria, Laguna Grande faults, etc.) and sometimes sinistral (Punta de Charagato fault, Cubagu). They can also be of reverse type, as is the case of both Andean piedmonts, or of normal type (Bramón system and graben of Rio San Juan). At higher elevations of the Andes de Mérida, the faults with vertical displacements are normal at the surface (Tuñame fault, for example), and reverse at depth, which is interpreted as a consequence of the bulging provoked on both sides of the Boconó fault by the oblique convergence between the Plates (J. P. Soulas, and Y. P. Aggarwal, 1982). In effect, the flexure of the continental crust induces traction and, therefore, normal faulting in the external arcs of the bulges, and compression with reverse faulting in the internal arcs.

The principal thermal sources are also located on the map (J. L. Burguera et al 1981; N. Y. Di Gianni and A. Hevia, 1982; M. Villarroel, 1976; B. Wasserfallen 1931); they indicate evidence of the geographical relationship existing between geothermics and neotectonics, since practically all of the thermal sources are found in the deformation belts, and basically in the principal belt along the border of the Plates. This geothermal activity is interpreted as a manifestation of strong propagation of energy, liberated by friction between the two plates.

5. DISCUSSION

The present neotectonic map reflects the progress of the investigation on this subject so far achieved, with the virtues and limitation resulting from the initial objectives, and from its preliminary character and scale.

Regarding limitations, it is evident, for example, that it does not cover all of the neotectonic disciplines but only those more important aspects relevant to the analysis of seismic risk. It presents notable informative inequalites in the regions which do not allow any rigurous evaluation of the risk at some geographic points; this requires a different scale and complementary data.

On the scientific standpoint, this map is a definitive contribution, particularly in terms of plate tectonics since it gives the location and the structure of the principal mobile zones and specially the principal boundary between the Caribbean and South American Plates, for which up to now there existed many theories. This map will provoke new interpretations and the organization of future research, particularly the definition of zones and topics. Further research will also contribute to the preparation of a more complete map, without the preliminary character of the present one.

As regards seismic risk, the map offers a general view of the principal surface seismogenic sources, which is indispensable for the prevention of the risk, at a national scale, in terms of planning, building codes, etc. On the other hand, it gives a tectonic frame of reference for any large development project, since it readily allows a visualization and a relative estimate of the level of risk, thus contributing to the process of taking decisions for the selection of sites and the definition of where and what type of detailed studies should be made.

6. REFERENCES

See pages 56 to 63.