

MARCO GEOLOGICO DEL FLUJO SISMO-TECTONICO EN EL ECUADOR

Stalin Benítez Acosta*

RESUMEN

Utilizando los primeros resultados de la investigación de José Palacio, (Proyecto CONUEP-UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL-IIEA, informe 1985) sobre el Flujo sismo-tectónico o energía liberada por sismos en el Ecuador, se presenta una correlación entre las unidades o dominios morfo-tectónicos con las áreas de mayor flujo tectónico. En la parte introductoria se presenta la Geología simplificada del Ecuador basada en el modelo de Peter Lonsdale (1978), aportando por primera vez un esquema de fallamientos de rumbo senestrales que habrían afectado a todo el sistema de subducción durante el paleógeno.

1. ANTECEDENTES.-

El IIEA (Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados) de la Universidad de Guayaquil se encuentra desarrollando una investigación (co-auspiciada por el CONUEP) orientada a "determinar la distribución de los niveles de aceleración en el país y la regionalización con fines de prevención sísmica", la misma que está dirigida por el Ing. José Palacio. En su primer

* Ing. Geólogo, Profesor del Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados (IIEA), Universidad de Guayaquil.

informe correspondiente a los resultados del primer año de labores (1985) el Ing. José Palacio presenta un Mapa de flujo tectónico (F) (Fig. 1), siendo éste un parámetro cuantitativo definido como la cantidad de energía disipada por unidad de área por unidad de tiempo. El mismo autor define la siguiente ecuación para (F):

$$F = \int J \frac{1}{2} dA \cdot dT$$

donde: F = Flujo tectónico
 J = energía liberada en ergios
 A = área
 T = tiempo

Siendo J una función de M de acuerdo a la relación de RICHTER:

$$\log J = 11.4 + 1.5 M \quad \text{donde } M \text{ magnitud del evento}$$

La magnitud (M) es un parámetro determinado instrumentalmente que está relacionado con la energía liberada por el sismo en el hipocentro.

II. HIPOTESIS.-

El mapa de flujo tectónico (Fig. 1) del informe del Ing. Palacio (1985) representa una síntesis del flujo de energía liberado (valores acumulados) por los sismos ocurridos en el período 1900-1983 de acuerdo al catálogo de Hipocentros del Ecuador que se encuentran en los archivos de la Escuela Politécnica Nacional.

El método utilizado por el Ing. Palacio (1985) consistió en discretizar el flujo Tectónico en unidades de área, esto es cuadrados de 15' de lado y asignar a cada cuadrado el valor del flujo total acumulado.

En vista de que el flujo tectónico se origina en puntos muchos más discretos (o definidos) tales como, fallas, flujos de

magmas y otras deformaciones de la corteza terrestre, he considerado solamente los cuadrados (áreas) con flujo tectónico ($12.6 \text{ erg/km}^2/\text{año}$) mayor que los valores promedios observados en la Fig. 1, asignándole un número de orden a dichas áreas y graficando luego dichos puntos en un mapa geológico simplificado del Ecuador (Fig. 2). Dichos puntos son llamados en este trabajo "anomalías de flujo tectónico".

III LA GEOLOGIA DEL ECUADOR

La figura 2 es un mapa geológico simplificado del Ecuador basado en el mapa de la DGGM (1982) en escala 1:1'000.000; contiene los avances obtenidos en la última década aplicando el modelo de Tectónica de Placas e ideas originales del autor sobre las fallas senestrales de rumbo NO-SE. Es significativo el hecho de que hasta 1978 en que aparece la obra de Peter Lonsdale "Ecuadorian Subduction System" aún se dudaba de la existencia de dicho "Sistema de subducción", "Zonas de Benioff" o "Sistema Arco-Fosa.. en el Ecuador.

A. DOMINIOS TECTONICOS

De acuerdo a la interpretación de Lonsdale (1978) se pueden distinguir de Oeste a Este los siguientes dominios tectónicos:

1.- **Corteza Oceánica de la Placa Nazca:** A partir del eje de la fosa hacia el oeste. La corteza oceánica presenta normalmente profundidades abisales de 3 a 5000 m. de profundidad. Sin embargo frente al Ecuador (entre 0° y 2° latitud sur) se encuentra una zona de menor profundidad (1000 a 2000 m) conocida como Cordillera o Plataforma de Carnegie.

La corteza oceánica es generalmente rígida y estable pero en las cercanías de la fosa (talud externo, ancho 100-200 km) se flexiona por lo que se presentan agrietamientos paralelos a la fosa provocando fallamiento normal hacia la fosa.

2.- **Pared Interna de la fosa o prisma acrecional:** A partir del eje de la fosa hasta el sistema de fallas Portoviejo-Jama se presenta una zona muy tectonizada que representa la zona de enfrentamiento de las placas NAZCA Y SUDAMERICA. En este sector predominan los fenómenos de comprensión y de fallamiento inverso constituyendo el subsuelo un verdadero apilamiento de "escamas tectónicas" inclinadas hacia el interior del Continente (SE).

Frente a las costas de Manabí y Sur de Esmeraldas, afloran típicamente rocas volcánicas y volcano-sedimentarias del cretácico (Formaciones Piñón y Cayo) que han sido definidos previamente como HORST o PILARES TECTONICOS y que se consideran ahora parte integrante del prisma acrecional. En medio de estos bloques levantados del cretácico se presentan pequeñas cuencas terciarias que se denominan "cuencas de talud de fosa" rellenas con sedimentos paleógenos y neógenos (formaciones Mateo, etc.).

El sistema de fallas normales Portoviejo-Jama está formado por tramos de dirección característica NE-SW separados entre sí por otro sistema de fallas de rumbo senestrales de dirección NO-SE que confieren al límite oriental del prisma un aspecto de zig-zag, el mismo que se refleja en la forma de la línea de costa; este carácter morfológico fue comentado por primera vez por Stephen Marchant (1961).

3.- **Cuencas Ante-Arco:** Hacia el Este, a continuación del sistema de fallas normales Portoviejo-Jama se presentan zonas alargadas, subsidentes y paralelas que conforman cuencas que son llamadas CUENCAS ANTE-ARCO y que están limitadas hacia el Este por fallas normales de menor desplazamiento que levantan paulatinamente el basamento. Todo el sistema de fallamiento es de distensión.

Estas cuencas se definieron a partir del Eoceno Superior y presentan secuencias sedimentarias fundamentalmente mioce-no-pliocenas.

Los ejes de las cuencas ante-arco son paralelos a los tramos de falla del sistema Portoviejo-Jama (NE-SO) y, al igual que ellos, son cortados por los mismos accidentes transversales. Así, tenemos de norte a sur las siguientes cuencas ante-arco: Borbón, Manabí Norte, Manabí Sur, Graben Jambelí. De estas cuatro cuencas, las tres primeras tienen una estructura bien definida y alcanzan una cobertura sedimentaria de hasta 5000 m. en su eje. La cuarta —el Graben Jambelí— es una zona excepcionalmente subsidente alcanzando un espesor de sedimentos de hasta 10-12 Km. en su eje.

Este cambio de carácter de las cuencas ante-arco coincide con un cambio en el buzamiento de la zona de Benioff (placa descendente) que se presenta a la latitud de 2° sur: Hacia el norte buza 23° y hacia el sur buza 10°. La potente capa sedimentaria del Graben Jambelí enmascara el accidente transversal que lo separa de la Cuenca Manabí Sur. Dicho accidente transversal de movimiento senestral coincidiría con el eje de la Cuenca Progreso (sensu strictu).

El basamento de las cuencas ante-arco es en general el "Piñón" mesozoico, pero al Sur de la Falla Jubones se produce un importante cambio siendo el basamento muy antiguo, habiéndose datado rocas del precámbrico.

4.- **Arco Volcánico.**— El arco volcánico está formado por dos cinturones de diferente composición y estructura. La Cordillera Occidental, de composición volcánica básica a ultrabásica y sedimentos marinos intercalados y la Cordillera Real (o Central) de carácter metamórfico; la edad de estas rocas metamórficas es en parte cretácica pero podrían haber rocas más antiguas.

Separando ambos cinturones se presenta una zona de distensión conocida como callejón interandino (o Graben) que hacia el Sur toma los nombres de Graben de Cuenca y Graben de Sacapalca, y que se han venido colmatando con sedimentos, primero marinos y luego continentales con elementos volcánoclasticos durante todo el Neogeno.

Al igual que en la zona costanera, a la latitud de 2° S se presentan diferencias en el magnetismo del arco volcánico: hacia el Norte se encuentran algunos de los volcanes más activos del mundo (Sangay, Tungurahua, Reventador, Cotopaxi, Pichincha, etc.); hacia el Sur no hay actividad volcánica reciente, aunque hay evidencias de una intensa actividad volcánica terciaria e incluso pleistocena.

La Cordillera también presenta un aspecto de zig-zag similar al de la Cordillera Costanera por lo que debe haber estado sometida a los mismos movimientos senestrales de torsión (grandes alineamientos transversales de este tipo se observan en las imágenes de radar).

5.- **El Cinturón de Cabalgamiento.**- Conocida como Cordillera Oriental, Tercera Cordillera o Zona Sub-Andina tiene su expresión geográfica en los levantamientos de Napo y Cutucú. En esta zona se presentan fuerzas compresivas que han producido plegamientos y fallamientos inversos o cabalgamientos que dan como resultado una zona muy tectonizada similar al prisma acrecional con las "escamas tectónicas" dispuestas en forma de tejas (FAUCHER y SAVOYAT, 1975), o formando plegamientos, de ejes generalmente N-S.

En los levantamientos Napo y Cutucú afloran rocas mesozoicas (Napo) y paleozoicas (Cutucú). Cortando transversalmente al sistema de cabalgamiento también se ha evidenciado en imágenes de radar la presencia de fallas de rumbo senestrales.

6.- **Cuenca Tras-arco.**- Llamada Cuenca Oriental Amazónica, está afectada por suaves pliegues en la capa de sedimentos que alcanza los 6000 m; tales pliegues son las estructuras productoras de petróleo en rocas marinas del cretácico.

El basamento (rocas cristalinas) es en el Oeste paleozoico y hacia el Este pre-cámbrico.

B. LA FALLAS DE RUMBO NO-SE

En el actual trabajo se hace énfasis en la existencia de estos accidentes que afectan a todo el Sistema de Subducción Ecuatoriano y que actuaron en algún momento del paleógeno.

Como se dijo anteriormente, Marchant (1961) propuso un doble sistema de fallas de rumbo: dextral (NE-SO) y senestral (NO-SE) para explicar la tectónica actual de la Costa. Con la evolución del modelo de subducción ya no fue aplicable su teoría. Sin embargo, varios autores mantuvieron la idea de un fallamiento dextral a lo largo de la llamada Falla Guayaquil-Babahoyo, alineamiento que coincide con el eje de la cuenca o Graben Jambelí y considerado prácticamente un límite de placa al asumir su posible continuidad con el sistema de fallas Dolores-Romeral de Colombia. La existencia del movimiento dextral en esta falla no ha sido comprobada y algunos autores piensan que tal movimiento no existe (Londsale, 1978).

Por tal motivo debo expresar que el modelo de fallas senestrales afectando a todo el Sistema de Subducción es más posible, aunque debe ser sometido a todas las comprobaciones posibles y sobre todo deben buscarse las causas que han provocado dicho fallamiento.

IV. CORRELACION ENTRE LAS ANOMALIAS DE FLUJO TECTONICO Y LAS UNIDADES GEOTECTONICAS DEL ECUADOR.

Definición de áreas fuentes

Para este trabajo se definen como "áreas fuentes" aquellas zonas geotectónicas que presentan mecanismos de deformación similares, originados en la convergencia de las placas Nazca y Sudamérica y que como resultado de dicha deformación se produce la liberación de energía en forma de sismos.

Con el conocimiento geológico adquirido podemos definir como áreas fuentes las siguientes:

- 1.- Talud externo de la fosa.
- 2.- Talud interno de la fosa o prisma acrecional.
- 3.- Cordillera Andina.
- 4.- Zona Oriental.

AREA FUENTE (1).- En el mapa (2) se observan las anomalías 1 a 4 que están relacionadas con la deformación de la corteza que se produce al acercarse a la fosa. La ubicación de dichas anomalías a distancias aproximadas de 100-150 km del eje de la fosa, sugiere que la mayor liberación de energía se produce en la parte superior del talud externo. El mecanismo de liberación es por fallas de distensión de acuerdo a la información geológica.

AREA FUENTE (2).- Se presentan aparentemente dos concentraciones de anomalías: A) una cerca del eje de la fosa (anomalías 5 a 8); B) en la plataforma continental-línea costera (anomalías 9 a 28).

El mecanismo de liberación de energía en esta área fuente es a través de esfuerzos compresivos de acuerdo al modelo geológico presentado.

En el estado actual de la investigación se pueden plantear las siguientes líneas de estudio:

- La razón por la que se producen las dos concentraciones A y B de las anomalías en el prisma acrecional, mientras que el talud continental (fuerte declive topográfico que se presenta a partir de los 1000 m —aproximadamente— de profundidad) se presenta relativamente libre de las anomalías.
- Las cuencas ante-arco son áreas asísmicas, sin embargo, hacia la parte Sur del Ecuador se presentan algunas anomalías como son las 9-10-11-12-18-18'-19-20 que no están específicamente sobre el prisma acrecional sino más bien en las cuencas ante-arco. En el mapa de flujo tectónico (Fig. 1) de J. Palacio (1985) se puede observar una concentración de flujo anómalo cuyos límites coinciden aproximadamen-

te con el área subsidente actual del Graben Jambelí (anomalías 9 a 14). En este caso, toda esta área estría formando una subárea fuente y sería la razón para que Palacio (1985) en su informe reconozca dos áreas fuente (I y II) con diferentes parámetros sísmicos en la zona costanera; según dicho autor existen diferencias entre los sismos que quedan al Norte de 2° LS (área fuente I) y los que quedan al Sur de dicha Latitud (área fuente II).

En este caso las diferencias entre las áreas fuentes I y II de J. Palacio sería que en el primer caso (al Norte de 2° S) los sismos son de origen compresivo y someros y en el segundo caso (al sur de 2° S) los sismos serían más profundos y asociados a esfuerzos o movimientos de carácter distensivo.

AREA FUENTE (3): CORDILLERA ANDINA.- La historia y la geografía han reconocido en la Cordillera Andina Ecuatoriana una de las zonas sísmicas más activas del mundo; se ha notado que hacia el Norte de los 2° LS se presentan volcanes muy activos y actividad volcánica contemporánea, especialmente en la Cordillera Central o Real (antiguamente Oriental).

Con esta intensa actividad andina se relacionan las anomalías 29 a 42 aunque no parece haber una relación directa volcanes- anomalía del flujo. Vemos por ejemplo que sólo los volcanes activos Pichincha, Tungurahua y Sangay tienen anomalías de flujo tectónico muy cercanas mientras que los otros volcanes y anomalías no están relacionados entre sí, por lo tanto el origen de volcanes y anomalías se encuentra en las fallas de basamento que de acuerdo a los modelos de la tectónica de placas pueden ser en el arco volcánico de origen compresivo o distensivo. Se plantea como línea de estudio:

- Definir el modelo dinámico que explique el mayor flujo tectónico de la parte norte de la Cordillera.
- La definición de las áreas compresivas, distensivas y de cizalla de la Cordillera.

AREA FUENTE 4: ORIENTE.- Las anomalías que se presentan en esta área (43 a 60) no presentan un patrón definido en relación a estructuras geológicas detectables superficialmente. Esto se explica por el hecho de que son sismos de foco profundo cuya liberación en superficie se produce luego de atravesar la potente cobertura sedimentaria, la misma que debe provocar una refracción de las ondas sísmicas y repartirlas más o menos al azar. En esta zona se incluye la faja de cabalgamiento subandina y la cuenca oriental que presenta basamento paleozoico, por lo que cabría la posibilidad de subdividir esta área fuente en base a nuevos estudios.

AREAS O PROVINCIAS ASISMICAS

Son las áreas donde se reportan los más bajos valores de flujo tectónico. Son:

1. La cuenca ante-arco al N de 2° LS.- Desde la plataforma Daule hacia el Norte hasta la frontera con Colombia. Está limitada al Oeste por los ejes de la cuencas ante-arco y al Este por el arco volcánico andino-occidental. El basamento de esta área es el complejo Igneo "Piñón" que se encuentra cubierto por una secuencia sedimentaria miocena-pliocena-cuaternaria de poco espesor (1 a 3 km) y muy poco disturbada.

Esta área, aunque es relativamente asísmica en comparación a las áreas fuentes (2 y 3) vecinas, presenta algún flujo tectónico (generalmente inferior a los promedios observados, Fig. 1), manifestado por movimientos sísmicos someros y de baja intensidad.

- 2.- Area Cratónica Oriental.- Situada en el extremo Nororiental del Ecuador. Es el área donde se reporta la menor cantidad de sismos y por ende presenta un mínimo flujo tectónico.

Esta área coincide con la existencia de un basamento precámbrico muy estable considerado como una continuación

del cratón guyanés (Fig. 2). En el trabajo de zonificación sismo-tectónica de RHON-DAVILA (1983) esta área se la identifica como "Provincia sismo tectónica No. 11".

CONCLUSIONES

- Se ha logrado correlacionar los resultados del estudio estadístico sobre Flujo Sismo-Tectónico de Palacio (1985) con las unidades (o dominios) morfo-tectónicos del Ecuador definidos con el modelo de Subducción de Lonsdale (1978).
- Al Norte de 2° LS, el flujo tectónico anómalo define con precisión los límites orientales del prisma acrecional, presentándose las cuencas ante-arco como zonas típicamente asísmicas. Al contrario, al Sur de 2° LS, el flujo tectónico anómalo no está confinado al prisma acrecional, "invadiendo" zonas ante-arco como el Graben Jambelí y más puntualmente la región Pedro Carbo-Cascol de la llamada Plataforma Daule.
- Por las razones expuestas en el párrafo anterior, deben considerarse como sub-áreas fuentes: 1) el prisma acrecional al Norte de 2° LS y 2) el prisma acrecional y la cuenca ante-arco al Sur de 2° LS. Esta conclusión concuerda con el resultado de Palacio (1985) que establece las áreas fuentes I y II en la zona litoral.

RECOMENDACIONES

- Promover un programa de mediciones de campo con sísmógrafos especializados que permitan definir los mecanismos que producen el flujo tectónico en las diferentes áreas (o sub-áreas) fuentes. Con lo cual se confirmarían (o negarían) las correlaciones presentadas en este trabajo y se obtendrían parámetros de diseño anti-sísmico cada vez más ajustados a la realidad.

RECONOCIMIENTOS

Mi formal reconocimiento al Ing. José Palacio, Profesor del IIEA - Universidad de Guayaquil, que me alentó a realizar este trabajo y me proporcionó los últimos resultados de sus investigaciones sobre el Flujo Sismo Tectónico en el Ecuador.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA J.P., 1980 Mapa Geotectónico y Cuencas Sedimentarias del Ecuador. CEPE XXXV Reunión Expertos, ARPEL, México.
- BENITEZ S., 1983, Contribución al Estudio de las Cuencas del Suroeste Ecuatoriano, III Congreso Ecuatoriano de Ingeniería de Geología, Minas y Petróleo, Guayaquil
- CLIRSEN, 1984, Levantamiento por Radar, Ministerio de Defensa, Ecuador. *
- DGGM, 1982, Mapa Geológico del Ecuador a escala 1:1'000.000. Ministerio de Recursos Naturales, Ecuador. **
- FAUCHER Y SAVOYAT, 1975, Esquisse Geologique des Andes Equatoriens, Revista de Geografía y Geodinámica, París.
- LONSDALE P., 1978 Ecuadorian Subduction System, AAPG, Vol. 62, No. 12
- MARCHANT S., 1961, A photogeological analysis of the structure of the western Guayas, Province Ecuador; Geol. Soc. London, Quart. Jour, V 117, p. 215-231.
- PALACIO J. 1985, Determinación de la Distribución de los niveles de aceleración en el país y regionalización con fines de prevención sísmica, 1er. informe, inédito, IIEA-UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL-CONUEP, Guayaquil.

RHON DAVILA J. 1983, Zonificación sismo tectónica del Ecuador, III Congreso Ecuatoriano de Ingeniería de Geología, Minas y Petróleo, Guayaquil.

*CLIRSEN:

Centro de levantamientos integrados de Recursos Naturales por sensores remotos.

**DGGM:

Dirección General de Geología y Minería (actualmente INEMIN).



