

## EVOLUCION MAGMATICA DE LOS ANDES SEPTENTRIONALES

### MAGMATIC EVOLUTION OF THE NORTHERN ANDES

J.J. RESTREPO,<sup>1</sup> J.F. TOUSSAINT,<sup>1</sup> M. HALL,<sup>2</sup> N. PIMENTEL,<sup>3</sup> U. CORDANI,<sup>4</sup>  
K. KAWASHITA<sup>4</sup> y E. LINARES.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Ministerio de Energía y Minas, Caracas, Venezuela.

<sup>4</sup> Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil.

<sup>5</sup> INGEIS, Buenos Aires, Argentina.

Los Andes Septentrionales, que se extienden desde el sur de Ecuador hasta el norte de Colombia y oeste de Venezuela, son el resultado de una serie de complejos eventos que se produjeron desde el Precámbrico hasta el presente.

En algunas zonas aisladas dentro de la cadena se presentan núcleos precámbricos, entre los cuales se pueden mencionar de sur a norte: los Andes del sur ecuatoriano (con una datación aislada de K-Ar en hornblenda de 742 Ma); la Cordillera Real de Ecuador, de cuyas rocas metamórficas se obtuvo por Rb-Sr una isócrona de referencia que indica una probable edad precámbrica tardía de aproximadamente 660 Ma; el macizo granulítico de Garzón y zonas aledañas de la Cordillera Oriental de Colombia con una isócrona Rb-Sr de 1180 Ma; áreas locales de la parte norte de la Cordillera Central en donde se han obtenido dos edades aisladas de K-Ar en hornblenda de 1670 y 1360 Ma, así como evidencia petrográfica indirecta como es la existencia de granulitas tanto cerca a Medellín como probablemente en el borde oriental de esta cordillera; el Macizo de Santander de la Cordillera Oriental y los Andes de Mérida donde se han obtenido edades por varios métodos entre 950 y 580 Ma; la Sierra Nevada de Santa Marta, donde se conocen gneises granulíticos datados por isócrona Rb-Sr en 1400 Ma, así como otras edades entre 1300 Ma (Rb-Sr) y 750 Ma (K-Ar).

Aunque, como se ve, está plenamente comprobada la presencia de núcleos precámbricos en los Andes Septentrionales, no se puede por el momento definir su evolución pues se sabe muy poco sobre las relaciones ya sea entre los diferentes afloramientos entre sí o de ellos con el Cratón Amazónico.

Durante el Paleozoico se forma gran parte del núcleo metamórfico de la Cordillera Oriental, los Andes de Mérida, Serranía de Perijá y Cordillera Central. Secuencias metamórficas de bajo grado como el Grupo Quetame de la Cordillera Oriental, la Formación Silgará del Macizo de Santander y la Serie Perijá de la Serranía de Perijá fueron afectadas por un evento metamórfico probablemente a fines del Ordoviciano y seguramente antes del Devónico; una situación semejante parece ser válida para algunas formaciones metamórficas de Mérida. En varias de estas regiones, la orogenia del Paleozoico Temprano está acompañada por intrusión de granitos. En Mérida el evento que genera los granitos está situado entre 490 y 430 Ma. En el Macizo de Santander grandes batolitos que previamen-

te habían sido considerados del Triásico y Jurásico parecen ser más bien del Paleozoico Temprano, con algunas edades Rb-Sr convencionales entre 550 y 400 Ma, así como una datación K-Ar de 456 Ma. Este evento térmico también se detecta por K-Ar en las rocas metamórficas precámbricas. Para toda la Cordillera Oriental éste es el último evento magmático importante comprobado.

En la parte Norte de la Cordillera Central tiene lugar un importante metamorfismo durante el Devónico: edades de ortogneises por isócronas Rb-Sr dan valores entre 390 y 350 Ma. A este momento también tiene lugar la intrusión de granitos postectónicos, en la Serranía de Perijá y en la parte norte del Macizo de Santander. De esta manera se define un cinturón magmático que afecta la parte oriental de los Andes durante el Paleozoico. Aunque la parte norte de la Cordillera Central también está afectada por un evento metamórfico con algo de plutonismo, es posible que se trate de dos eventos independientes si se tiene en cuenta que parte de la Cordillera Central podría tener un basamento alóctono respecto al continente.

A fines del Paleozoico y principios del Mesozoico tiene lugar un evento térmico en algunas de las áreas afectadas previamente por metamorfismo. En Mérida algunas formaciones sedimentarias del Paleozoico Superior sufren un metamorfismo regional entre 290 - 250 Ma (Formación Mucuchachí), mientras que en la Cordillera Central el evento parece afectar principalmente a rocas más antiguas ya metamorfoseadas, dando edades mínimas entre 270 y 205 Ma. Este metamorfismo no estuvo acompañado por un plutonismo importante y los pequeños stocks de la Cordillera Central datados por K-Ar como triásicos podrían ser en realidad más antiguos, tal vez devónico - carboníferos. En otras áreas no se han documentado con precisión eventos metamórficos y plutónicos a este momento, pero en vista de las semejanzas regionales cabría esperarlos. Así, en la Sierra Nevada de Santa Marta hay una sola edad K-Ar en hornblenda de una metadiorita a 255 Ma, mientras que otras edades K-Ar de la faja metamórfica llamada cinturón de Sevilla están entre 202 (hornblenda) y 137 (biotita) Ma. También hay plutones sintectónicos no datados que se consideran prejurásicos. Por la semejanza en muchos aspectos entre la Cordillera Central y la Sierra Nevada de Santa Marta podría pensarse que se detecta el evento Permo-triásico y que quedaría por documentarse un metamorfismo Paleozoico Temprano (Devónico ?). También hay una situación semejante en las rocas metamórficas de Ecuador. En la Cordillera Real hay una sola datación K-Ar de un gneis a 417 Ma, mientras que en los Andes del sur hay tres edades K-Ar en plutones, gneises y anfíbolita entre 214 y 196 Ma. Las edades de este evento son mínimas y podrían corresponder a un evento térmico, tal vez un metamorfismo, que habría afectado a rocas más antiguas, precámbricas o paleozoicas tempranas.

El origen de las dos orogenias paleozoicas no se conoce con precisión pero se ha postulado que puedan haber sido producidas por colisiones con Norteamérica, por lo que es posible que al comenzar el Mesozoico los dos continentes estuvieran unidos y después comenzaran a separarse con la formación de una dorsal oceánica entre ellos. Sin embargo, si esto ocurrió, la evidencia en el borde de Suramérica estaría en gran parte cubierta por materiales más jóvenes. De todas maneras se documenta durante el Triásico y el Jurásico una tectónica distensional a lo largo de los valles del río Magdalena, entre la Cordillera Oriental y la Central, y del río César, entre la Serranía de Perijá al este y la Sierra Nevada de Santa Marta al oeste, acompañada por volcanismo desde ácido hasta básico y sedimentación de capas rojas continentales. Este volcanismo se extiende desde el sur de Ecuador, al oriente de la Cordillera Real (Formación Chapiza), en Colombia sigue por el valle del

Magdalena (Formación Saldaña, Formación Girón) para torcer al noreste por el valle del César (Formación Guatapurí), extendiéndose también a los Andes de Mérida (Formación La Quinta). En Venezuela y Colombia existen datos paleontológicos que ubican las rocas volcánicas en el Triásico y Jurásico, aunque en el Ecuador pueden estar cerca al límite Jurásico-Cretácico.

Se ha postulado que este fenómeno podría corresponder a un brazo abortado de "rifting" asociado con la apertura del Caribe, aunque también se explica como una cuenca marginal relacionada con una subducción en el borde occidental del continente. Durante este evento magmático se refijaron los sistemas isotópicos de muchas rocas paleozoicas, en particular las rocas metamórficas e ígneas del Macizo de Santander, la Serranía de Perijá y los Andes de Mérida, en las cuales son abundantes las edades K-Ar en micas en el rango 210 a 170 Ma. Sin embargo, algunos granitos menores podrían ser los equivalentes profundos de las vulcanitas; así, de un granito riebeckítico del Macizo de Santander se obtuvo una edad Rb-Sr convencional en roca total de 159 Ma.

Casi simultáneamente con el evento distensional y en posición un poco al oeste de éste se documenta el primer cinturón magmático mesozoico que se extiende desde la Cordillera Real a lo largo del borde oriental de la Cordillera Central hasta la Sierra Nevada de Santa Marta. En general corresponde a batolitos granodioríticos, frecuentemente con feldespato potásico rosado, cuyas edades por K-Ar en micas van desde 210 Ma hasta 130 Ma. Del batolito de Ibagué, en la parte centro-oriental de la Cordillera Central, se han obtenido las edades más jóvenes por K-Ar (147 - 131 Ma), pero una edad Rb-Sr convencional en roca total indica la posibilidad de una edad de intrusión para este cuerpo cercana a 170 Ma. Edades convencionales en la Sierra Nevada de Santa Marta dan valores cercanos a 160 Ma, mientras que por K-Ar dan entre 193 y 166 Ma. En Ecuador los plutones del Mesozoico Temprano han sufrido un metamorfismo regional que los ha convertido parcialmente en gneises, obteniéndose por Rb-Sr una isócrona a 173 Ma y edades convencionales entre 203 y 156 Ma, mientras que la mayoría de las dataciones por K-Ar corresponden al Paleoceno.

En el sur de la Cordillera Central de Colombia algunos plutones de este cinturón contienen mineralizaciones de tipo pórfido cuprífero, en particular el de Mocoa.

Este cinturón magmático parece corresponder a una zona de subducción localizada en el borde occidental del continente durante el Jurásico y que se caracterizó por ser bastante estable. No se sabe con seguridad la edad de la terminación de este cinturón, pues aunque hay dos dataciones K-Ar de cuerpos menores del flanco oriental de la Cordillera Central a 122 y 116 Ma, corresponden a edades mínimas de enfriamiento y/o recalentamiento.

El Cretácico es un período muy importante en la formación de la parte occidental de los Andes Suramericanos, caracterizándose por la complejidad de los fenómenos ocurridos.

En la Cordillera Central y en la Cordillera Occidental ecuatoriana se emplazan complejos ofiolíticos por mecanismos que en parte son obducciones sobre el basamento precámbrico y paleozoico y en parte podrían ser por subducción. Una datación K-Ar en hornblenda de un gabro del Complejo Ofiolítico del Cauca da una edad mínima de 133 Ma, indicando la posibilidad de que parte del conjunto sea precretácico. Al menos en la parte central y norte del flanco occidental de la Cordillera Central los cuerpos ofiolíticos están acompañados por rocas metamórficas de tipos béricos de alta y media presión, compuestos por anfibolitas, esquistos verdes y moscovíticos, esquistos azules y eclogitas; habiéndose obtenido numerosas edades radiométricas por K-Ar en anfíboles entre 125 y 90 Ma;

edad que probablemente corresponde al cabalgamiento del conjunto. Las rocas metamórficas agrupadas anteriormente en los grupos Cajamarca y Ayurá-Montebello han resultado ser polimetamórficas, siendo una parte de ellas mesozoica, por lo que se recomienda discontinuar el uso de estos nombres estratigráficos y emplear para todo el conjunto el término "Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central". En los Andes del sur ecuatoriano se emplazan eclogitas y esquistos azules asociados con serpentinitas, de los cuales hay una datación a 135 Ma; para estas rocas se ha propuesto un emplazamiento por protrusión.

En la parte norte de la Cordillera Central este importante evento térmico alcanza a afectar algunas rocas autóctonas antiguas, obteniéndose así varias edades cercanas a 100 Ma por K-Ar en biotitas. Algunos de estos cuerpos tienen dataciones paleozoicas por Rb-Sr.

Hacia el norte de Colombia se encuentra la extensión del metamorfismo cretácico en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la península de la Guajira, siguiendo hacia la Cordillera de la Costa de Venezuela, la cual tiene un desarrollo semejante.

El origen de los cabalgamientos no está suficientemente claro. Podría deberse a una colisión de un arco de islas con Suramérica o bien al cierre de una cuenca marginal. De todas maneras, debido a la formación de una nueva zona de subducción más al occidente de la anterior, a este momento materiales oceánicos de la Cordillera Occidental de Colombia y de la costa ecuatoriana se incorporan al continente en lo que tal vez constituye el acrecimiento continental más importante en este sector. En algunos sitios, como en la parte central de la Cordillera Occidental, se han comprobado varios cabalgamientos de basaltos y sedimentos oceánicos profundos, los cuales habrían ocurrido hasta finales del Cretácico o principios del Terciario. El conjunto de rocas básicas del occidente colomboecuatoriano ha sido determinado Complejo Igneo Básico. Su edad, así como su naturaleza han sido bastante discutidas. La mayoría de las dataciones radiométricas K-Ar están entre 105 y 70 Ma, pero hay algunas pocas edades más antiguas ( $172 \pm 47$  Ma;  $141 \pm 20$  Ma), aunque el bajo contenido de potasio dificulta la evaluación de estos resultados. En cuanto a su naturaleza, es probable que existan rocas formadas en ambientes diferentes, ya sea en dorsales, cuencas marginales o arcos de isla incipientes.

Al mismo tiempo comienza a formarse un nuevo cinturón magmático intermedio a ácido que se desarrolla desde el Cretácico Temprano hasta el Paleoceno. Las edades más antiguas se encuentran en el flanco oriental de la Cordillera Occidental colombiana con edades en el rango de 124 a 91 Ma, mientras que en el sur de Ecuador se encuentra un cinturón magmático independiente compuesto por batolitos datados en cerca de 100 Ma que sería la extensión al norte del Batolito de La Costa de Perú, y los cuales están asociados con una extensa secuencia de rocas volcánicas andesíticas cretácicas conocida como Formación Celica.

En la parte norte de los Andes Colombianos se observa una clara migración de los focos magmáticos, los cuales van ocupando sucesivamente el flanco oriental de la Cordillera Occidental (124 - 91 Ma), el flanco occidental de la Cordillera Central (aproximadamente 100 Ma), la parte central de la Cordillera Central, en particular el gran Batolito Antioqueño (84 - 58 Ma), y finalmente el borde oriental de la Cordillera Central (55 - 53 Ma), traslapándose esta última zona espacialmente con el cinturón jurásico. Hacia la parte media y sur de la Cordillera Central el cinturón parece estar representado por plutones pequeños para los cuales se dispone de muy pocas dataciones. En la parte centro-oriental de la cordillera el evento térmico ha afectado radiométricamente a las rocas me-

tamórficas, obteniéndose de ellas por K-Ar edades entre 84 y 61 Ma, interpretadas por algunos autores como indicativas de un metamorfismo de baja presión.

En Ecuador para el Cretácico Tardío el arco volcánico se encuentra desplazado a la Cordillera Occidental, donde aflora una gruesa secuencia de piroclastos, lavas y sedimentos conocidos como Formación Macuchi. Esta unidad podría ser alóctona según algunas interpretaciones y su continuidad al norte con la Cordillera Occidental colombiana no es clara. En la Cordillera Real, por contraste, casi no se encuentran rocas ígneas, representadas sólo por intrusivos pequeños en la provincia de Chimborazo con edades de K-Ar en hornblenda de 83 y 73 Ma. De la secuencia metamórfica de la Cordillera Real se han obtenido por K-Ar en micas edades entre 90 y 54 Ma, las cuales indudablemente son edades mínimas de enfriamiento, aunque el batolito de San Lucas, al norte de Loja, con datación K-Ar en biotita y plagioclasa entre 62 y 52 Ma muestra leves efectos de metamorfismo. Es probable que una parte de las rocas metamórficas sean originalmente premesozoicas y otra mesozoica, como parecen indicarlo algunas dataciones Rb-Sr que se ubican en dos isócronas de referencia a 666 y 110 Ma. Además, por correlación con la situación más al norte, se puede postular que el metamorfismo fue producido por un cabalgamiento de parte de estas rocas durante el Cretácico Temprano, como en Colombia, aunque no hay evidencias firmes sobre su origen.

En el Paleoceno-Eoceno se desarrolla un nuevo cinturón magmático que comienza en el flanco occidental de la Cordillera Occidental de Colombia con el gran Batolito de Mandé, con dataciones entre 55 y 33 Ma. Este magmatismo tiene una clara tendencia hacia el istmo de Panamá, desarrollándose hacia el noroeste en los límites con Panamá el Batolito de Acandí con una edad mínima de 48 Ma. Otro plutón con edades semejantes es el Batolito de Piedrancha que se localiza en la parte sur de la Cordillera Occidental de Colombia, en el cual las dataciones están entre 59 y 23 Ma. En el sur de Ecuador se encuentran plutones datados entre 68 y 35 Ma, aunque su relación con el cinturón magmático de los Andes de Colombia no es clara. Los plutones terciarios corresponderían a una nueva zona de subducción situada al oeste de la cretácica. Sin embargo, es posible que estos primeros plutones se hubieran formado como arcos de isla relacionados con el istmo de Panamá, los cuales posteriormente chocaron con el continente para producir un nuevo acrecimiento continental a mediados del Terciario. Hacia el noreste en la Sierra Nevada de Santa Marta ocurre un plutonismo importante a este momento con dataciones K-Ar entre 60 y 45 Ma en los plutones y de 52 y 36 Ma en las metamorfitas cretácicas (?). Este cinturón tiene una dirección noreste que se contrapone a la noroeste de Mandé y Acandí, por lo que parecía haber dos zonas de subducción diferentes actuando a este momento.

Durante el Oligo-Mioceno plutones intermedios que forman pequeños batolitos y stocks ocupan la parte axial de la Cordillera Occidental desde el norte de Colombia hasta la parte central del Ecuador, existiendo numerosas dataciones entre 31 y 11 Ma. También en el sur de los Andes de Ecuador hay importantes depósitos piroclásticos de esta edad, por lo que el arco volcánico a este momento parece haber sido continuo desde la latitud 5° S hasta 6.5° N, representando probablemente el magmatismo más desarrollado longitudinalmente en la historia de los Andes Septentrionales.

En el Mioceno Tardío parece haber ocurrido un cambio importante en el magmatismo. En el norte se observa una migración hacia el este de los focos magmáticos, que ocupan la depresión del Cauca, donde tiene lugar un importante volcanismo explosivo, así como intrusiones hipoabisales menores datadas entre 10 y 6 Ma en la parte norte de la depresión del Cauca; en la parte central de la depresión Cauca-Patía el rango de edades es más exten-

so, entre 36 y 6 Ma, y en la parte sur de Ecuador entre 12 y 10 Ma. Al menos en la parte norte este magmatismo presenta valores altos (mayores a 0.71) de  $Sr^{87}/Sr^{86}$ , indicando un proceso importante de contaminación cortical o aun anatexia.

De nuevo en el Plio-Cuaternario en la parte norte de Colombia los focos magmáticos migran al oriente, ocupando los volcanes la cresta de la Cordillera Central y localmente aun el flanco oriental de la cordillera, traslapándose allí rocas de los cinturones jurásico, cretácico y terciario.

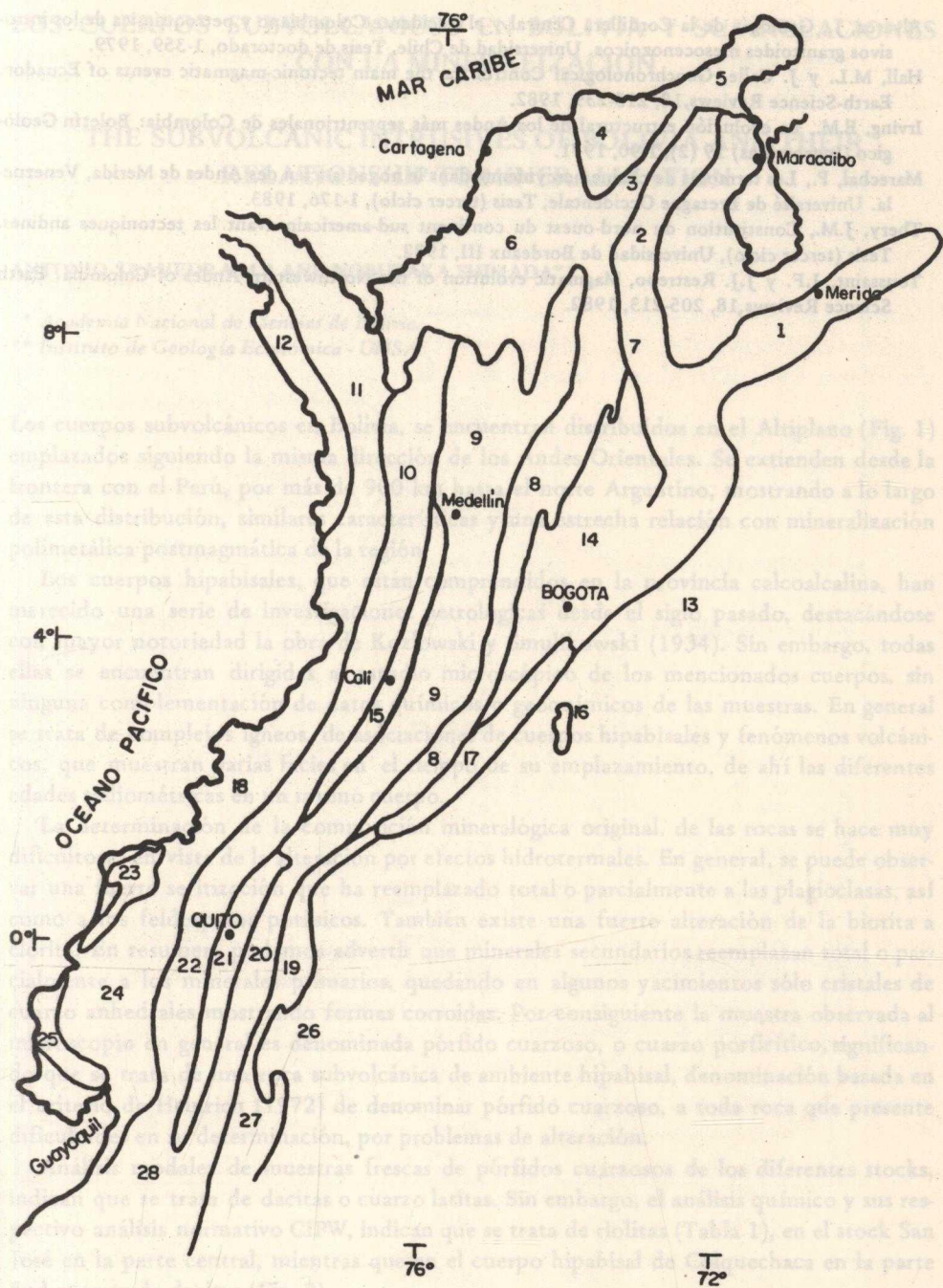
En el sur de Colombia y en Ecuador, donde las cordilleras son más estrechas, los volcanes ocupan la Cordillera Occidental y la Central o Real, y aun el borde oriental de los Andes, así como la depresión interandina. La cadena actual de estrato volcanes, principalmente andesíticos, se extiende desde latitud 5° N hasta 2° S, mientras que entre 2° S y 4° S los estratovolcanes están reemplazados por extensos depósitos de cenizas pliocuaternarias. El arco volcánico indicaría que la subducción en la margen continental continúa activa.

En síntesis, aunque los Andes Septentrionales se caracterizan hoy en día por formar un rasgo fisiográfico continuo, en realidad están compuestos por segmentos individuales que no comparten totalmente una historia común a lo largo de los tiempos geológicos. Más bien, en un momento dado varios segmentos actúan como una unidad mientras otros permanecen temporalmente inactivos, aunque a otro momento, antes o después, sean éstos segmentos los elementos activos.

**Fig.1. Principales rasgos fisiográficos de los Andes Septentrionales.**

- |                                       |                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Andes de Mérida                    | 15. Depresión del Cauca - Patía      |
| 2. Serranía de Perijá                 | 16. Serranía de La Macarena          |
| 3. Cuenca del Cesar                   | 17. Macizo de Garzón                 |
| 4. Sierra Nevada de Santa Marta       | 18. Cuenca de Esmeraldas - Barbón    |
| 5. Península de la Guajira            | 19. Levantamiento del Napo           |
| 6. Cuencas del Sinú y Bajo Magdalena  | 20. Cordillera Real                  |
| 7. Macizo de Santander                | 21. Valle Interandino                |
| 8. Depresión del Magdalena            | 22. Cordillera Occidental de Ecuador |
| 9. Cordillera Central                 | 23. Montañas de Jama - Mache         |
| 10. Cordillera Occidental de Colombia | 24. Cuenca de Manabí - Daule         |
| 11. Cuenca del San Juan - Atrato      | 25. Cerros de Chongón - Colonche     |
| 12. Serranía de Baudó                 | 26. Cuenca Subandina de Oriente      |
| 13. Cuenca Subandina de Los Llanos    | 27. Cordillera de Cutucú             |
| 14. Cordillera Oriental               | 28. Andes del sur de Ecuador         |





Las referencias a la edad del emplazamiento de los diferentes stocks existentes en el plano de Guano, los datos radiométricos que se disponen oscilan entre 23 Ma, edad correspondiente al stock de Corvidi, y 12,3 Ma, edad del complejo de Quinsachata,

## BIBLIOGRAFIA RESUMIDA

- Alvarez, J., Geología de la Cordillera Central y el Occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos. Universidad de Chile. Tesis de doctorado, 1-359, 1979.
- Hall, M.L. y J. Calle, Geochronological Control for the main tectonic-magmatic events of Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 18, 215-239, 1982.
- Irving, E.M., La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia: *Boletín Geológico (Ingeominas)* 19 (2), 1-90, 1971.
- Marechal, P., Les termoins de chaine hercynienne dans le noyau ancien des Andes de Merida, Venezuela. Université de Bretagne Occidentale, Tesis (tercer ciclo), 1-176, 1983.
- Thery, J.M., Constitution du nord-ouest du continent sud-americain avant les tectoniques andines. Tesis (tercer ciclo), Universidad de Bordeaux III, 1982.
- Toussaint, J.F. y J.J. Restrepo, Magmatic evolution of the Northwestern Andes of Colombia. *Earth Science Reviews*, 18, 205-213, 1982.