

## **INFLUENCIA DE LA SUPERPLUMA CRETÁCICA SOBRE LA GEODINÁMICA DE COLOMBIA**

**Jean François TOUSSAINT\***

### **RESUMEN**

El descubrimiento reciente de la actividad de una Superpluma durante el Cretácico inferior, con muchos Puntos Calientes en el Océano Pacífico, es de suma importancia para comprender los fenómenos geológicos tan complejos que afectaron el Territorio Colombiano durante estos tiempos.

La transgresión marina que afectó el Oriente Colombiano, la génesis de importantes secuencias volcánicas básicas y los eventos tectónicos de colisión en el Occidente Colombiano parecen tener como causa principal el desarrollo de esta Superpluma.

### **ABSTRACT**

The last discovery of the activity of a Superplume during the Early Cretaceous, with many Hot-Spots in the Pacific Ocean, is very important to understand the complex geological process that affect the Colombian Andes.

The activity of the Superplume is the possible origin of the marine transgression in the Eastern Colombia and of the formation of an important basic volcanic series and tectono-metamorphic events in the Western Colombia.

### **INTRODUCCIÓN**

La noción de Puntos Calientes (Morgan, 1971, Vink y otros, 1985) supone la existencia de zonas muy calientes en la base del Manto y más particularmente en la interfase entre el material líquido del Núcleo Externo y el material sólido del Manto Inferior. Estas zonas calientes se traducen por la formación de celdas de convección y por la subida de columnas de materiales fundidos que se dirigen hacia la superficie.

---

\* Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, AA 1027, MEDELLIN

Estas columnas ascendentes o plumas atraviesan la Mesosfera y la Astenosfera y luego de acumularse el material fundido en la base de las placas, al nivel de la zona de baja velocidad, cruzan la Litosfera y derraman sus productos magmáticos encima de ella. Se superponen así materiales generados por los puntos calientes y en particular los típicos basaltos de plateaux (basaltos de meseta), sobre el material ofiolítico de la parte superior de la placa en movimiento.

De otro lado, la posición de la zona de origen de las plumas es relativamente estable y se puede considerar como aproximadamente fija a gran escala. Esta situación implica que los puntos calientes son los únicos puntos con coordenadas estables lo cual sirve de referencia para reconocer los movimientos de todas las placas de litosfera que se mueven constantemente.

El número actual de puntos calientes es del orden de un centenar y estos están ubicados tanto debajo de las placas continentales tal como en Yellowstone en Norteamérica o en el Macizo del Hoggar en África como debajo de las placas oceánicas como es el caso de las Islas Hawai situado en medio de la placa Pacífica, de Islandia sobre la dorsal del Atlántico o de las Islas Galápagos cercanas a la unión triple de tres rifts oceánicos.

La existencia de puntos calientes activos en el pasado ha sido comprobada comparando los análisis químicos de los productos volcánicos que provienen de puntos calientes actuales con análisis de series volcánicas antiguas.

## **GEOQUÍMICA DE LOS BASALTOS DE PLATEAUX**

Generalmente se clasifican los basaltos, con base en sus mineralogías. Así, se distinguen los basaltos toleíticos de las Dorsales Oceánicas ( MORB = mid-oceanic ridges basaltos ) y los basaltos alcalinos de los continentes o de las islas volcánicas intraplacas. Los primeros contienen entre 0.1 y 0.5 % de K y los segundos unos 0.8 a 2 % . En las toleitas de las dorsales la relación  $\text{Sr } 87 / \text{Sr } 86$  es mas o menos constante con valor de  $0.7028 \pm 0.0005$  mientras que en las islas oceánicas la relación es mas alta con valores de 0.703 a 0.706. También es interesante anotar que los meteoritos dan relaciones  $\text{Sr } 87 / \text{Sr } 86$  de 0.7043 y de  $\text{Nd } 143 / \text{Nd } 144$  de 0.51264 siendo los valores de los basaltos de plateaux intermedios entre los valores planetarios y los de las dorsales.

Actualmente se dispone también de los datos geoquímicos obtenidos de los materiales sacado por sondeos oceánicos en el Océano Pacífico tal como el Leg 61 y el Leg 89 .

Efectuando comparaciones entre estos valores y los obtenidos a partir de unidades de rocas básicas de Colombia se podrá reconocer el marco geodinámico de esta región.

## HIPÓTESIS DE LA SUPERPLUMA CRETÁCICA

Los datos obtenidos por los sondeos oceanográficos en la parte occidental del Océano Pacífico realizados por un equipo científico del Programa JOIDES llevaron a Cox (1991), Caldeira y Rampino (1991) y Larson (1995) a proponer una de las hipótesis más trascendentales de los últimos años. Estos autores concluyeron que, hace alrededor de 125 m.a. es decir durante el Neocomiano, la actividad de la interfase Manto - Núcleo tuvo una gran aceleración lo cual permitió el desarrollo de una pluma gigante la cual habría permitido la acumulación a la base de la litosfera cretácica de una gran cantidad de materiales provenientes del Manto Inferior (Fig.1).

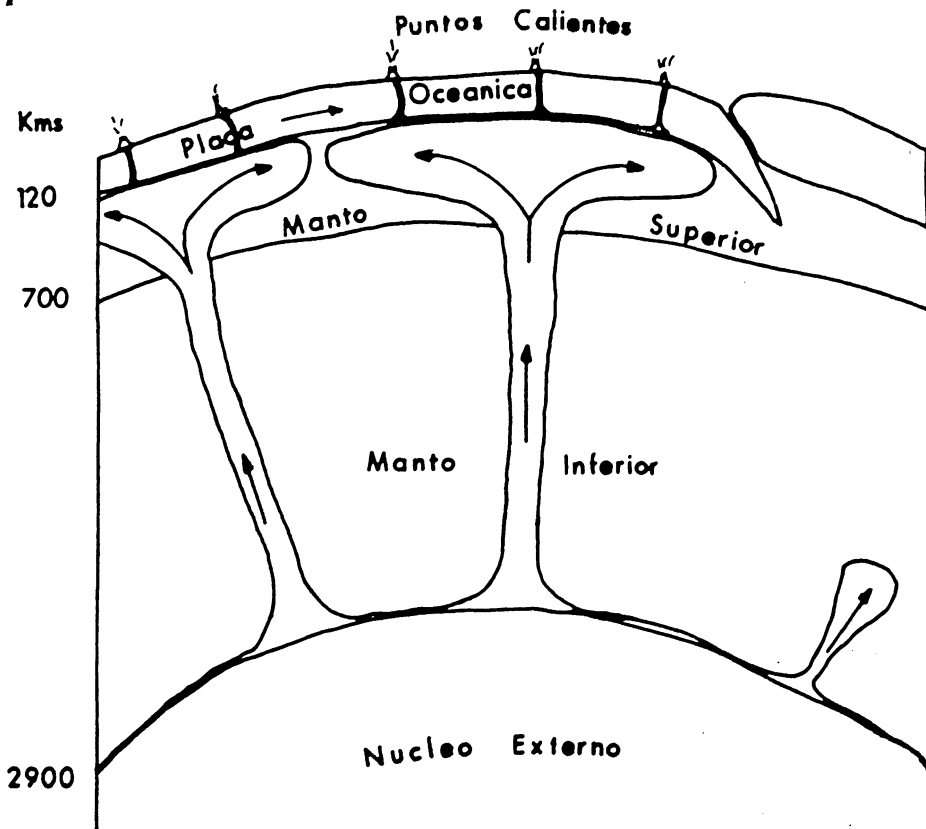


Fig. 1. Modelo generalizado del desarrollo de la Superpluma cretácica.

De estas acumulaciones a la base de las placas ubicadas entonces en el Pacífico, ascendieron varias columnas que permitieron el derramamiento de volúmenes considerables de materiales oceánicos. Según Larson (1995) se puede estimar que el volumen de basaltos de plateaux derramados fue mas de 10 veces superior al producido por el punto caliente de las Islas Hawai.

## **CONSECUENCIAS DE LA SUPERPLUMA CRETÁCICA**

A finales del Cretácico temprano el derramamiento de un gran volumen de basaltos de plateaux sobre la corteza de los fondos oceánicos aumento a mas del doble la cantidad de acumulación de basaltos lo cual se reflejó por un ascenso general del nivel del mar. Se estima que el nivel eustático subió unos 250 metros produciendo grandes transgresiones marinas sobre los continentes.

Por otra parte la temperatura de la superficie terrestre y en particular de los mares epicontinentales aumentó unos 10 grados debido al efecto invernadero producido por la liberación de dióxido de carbón y por el aumento de flujo de calor generado por la llegada de las columnas de material caliente a la superficie. Una consecuencia de este fenómeno fue permitir un gran desarrollo de los microorganismos y más particularmente del plancton que luego se acumuló y se transformó en hidrocarburos (Larson, 1995).

El aumento considerable de material oceánico sobre los fondos de los océanos produjo también consecuencias tectónicas. Por una parte, como la misma cantidad de material derramado en la superficie debe reincorporarse a la Astenosfera, se produjo un aumento de la rata de subducción lo cual tiene también consecuencias específicas. Así a mayor subducción, mayor es el material que sufrirá procesos de fusión parcial y mayor será la cantidad de productos volcánicos generados por los arcos insulares o por los arcos supracontinentales. Así el magmatismo toleítico y el calco-alcalino debieron también aumentar durante el episodio de la Superpluma cretácica.

Otra consecuencia tectónica debida al espesor de las secuencias volcánicas de basaltos de plateaux fue la formación de relieves fuertes encima de las placas en movimiento. Cuando estos altos relieves llegaron y entraron en la fosa de subducción se pudieron producir atranques de la placa en subducción. Al no poder subducir la placa tal vez se produjo una compresión fuerte en la fosa y en el borde continental e inclusive es factible que la parte superior de la placa se hubiese separado de sus niveles inferiores y, en

lugar de subducir, hubiese cabalgado sobre la fosa para obducirse sobre el continente. Así, el desarrollo de la Superpluma también implicó un aumento de los fenómenos tectónicos en las regiones de colisión entre placas.

Otra consecuencia del evento de la Superpluma fue, aparentemente, la gran actividad de la interfase entre el Núcleo y el Manto con una elevada tasa de ebullición provocaría una disminución de la frecuencia de las inversiones magnéticas (Larson, 1995). En efecto, durante el lapso entre el Barremiano superior y el Cenomaniano, el campo magnético se quedó en sentido normal.

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizaran varios fenómenos geológicos que se produjeron en los Andes Colombianos durante el Cretácico y que pueden tener como causa general la formación de la Superpluma.

## **CONSECUENCIAS DE LA SUPERPLUMA EN COLOMBIA**

### **La transgresión marina en el Oriente Colombiano y en el Terreno Tahami**

Uno de los fenómenos mas llamativos en la evolución de los Andes Colombianos durante el Cretácico fue la formación de cuencas distensionales en el Oriente Colombiano, cuencas en las cuales se depositó, sin discontinuidad, una secuencia de sedimentos marinos epicontinentales que alcanzó mas de 10 000 m. en la región de Bogotá .

La distensión actúo durante buena parte del Cretácico temprano y esta relacionada con la separación de varios terrenos continentales como son los Terrenos Chortis y Maya de Méjico y Guatemala, terrenos que estaban probablemente ubicados al W del Oriente Colombiano durante el Jurásico (Toussaint, 1995).

La transgresión del mar se inició desde finales del Jurásico pero se aceleró a partir del Albiano para permitir la entrada del mar sobre prácticamente toda la región andina. La distensión tectónica se terminó durante el Albiano pero la subsidencia prosiguió durante el Cretácico tardío. El nivel el mar subió bastante desde el Albiano hasta el Santoniano, posiblemente como consecuencia de relleno de los fondos oceánicos producidos por los grandes derramamientos de basaltos de plateaux pero a partir del Campaniano el nivel eustático bajo nuevamente, iniciando así la regresión del final del Cretácico.

Durante la transgresión marina las condiciones morfológicas de las cuencas que eran bastante cerradas y la proliferación de plancton debido a la presencia de aguas relativamente calientes, permitieron la génesis de facies euxinicas que luego favorecieron la formación de hidrocarburos. El Gp. Cáqueza, el Gp. Villeta, la Fm. La Luna entre otras secuencias son buenos ejemplos de sedimentaciones con propiedades de rocas madres de hidrocarburos. En este sentido parece probable que las condiciones de transgresión marina y la proliferación del plancton en cuencas protegidas del mar abierto son consecuencias del desarrollo de la Superpluma cretácica.

## La génesis de basaltos de plateaux

### Datos geoquímicos:

En el Occidente Colombiano (Fig. 2), varias secuencias de rocas volcánicas básicas han sido reconocidas como generadas en un marco geodinámico de Punto Caliente.

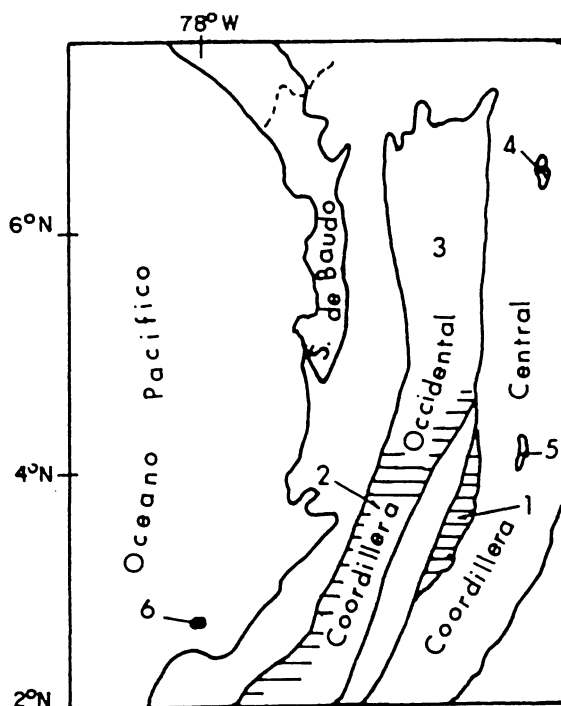


Fig. 2. Mapa simplificado del Occidente Colombiano.

1: Fm. Amaime, 2: Gp. Diabásico, 3: rocas volcánicas básicas del Boquerón de Toyo y de Altamira, 4: Ofiolitas del río Nechi, 5: Diabasas de La Linea, 6: Komatiitas de Gorgona. Las áreas rayadas presentan basaltos de Plateaux generados durante el evento de la Superpluma cretácica.

Así, los basaltos del Gp. Diabásico que afloran en la parte central de la Cordillera Occidental entre Buga y Buenaventura y los de la Fm. Amaime que se presentan en la Cordillera Central, cerca a Buga han sido considerados como basaltos de plateaux en base a análisis químicos ( Nivia, 1989 y Desmet, 1995). Las rocas básicas del Gp. Diabásico forman una asociación de tipo toleitico con diferenciación marcada. Los tenores en elementos de Tierras Raras alcanzan 10 a 20 veces los valores condriticos. Los espectros son sistemáticamente planos y las relaciones  $La / Sm$  y  $La / Yb$  están entre 0.8 y 1.4 o sea que son muy cercanos a los de los MORB de tipo T o sea transicional.

En la tabla 1 se presentan los análisis promedio de los basaltos del Leg 89, en la Cuenca de Nauru en el Pacífico Occidental, que es típico de un marco geodinámico de plateaux y los análisis de las secuencias básicas de la Fm. Amaime y del Gp. Diabásico.

Como se constata, los valores mas cercanos son los de los elementos trazas, incompatibles o compatibles tales como Zr, Y, Ce, Ni y Cr y en menos grado, La y Nb.

Estos resultados obtenidos por Nivia (1989) y Desmet (1995) permiten suponer que estas secuencias volcánicas básicas se generaron cuando la Placa Caribe pasó encima de un punto caliente, probablemente el de las Islas Galápagos, lo cual permitió la formación de una inmensa Meseta oceánica encima de las ofiolitas de la placa.

### **Paleomagnetismo:**

Los datos paleomagnéticos obtenidos por Estrada (1995) sobre los basaltos de plateaux del Terreno Calima o sea sobre los basaltos del Gp. Diabásico parecen mostrar una paleolatitud cercana al Ecuador lo cual es bastante similar a los datos obtenidos por otros autores sobre basaltos de la Placa Caribe. Con estos datos se debe suponer que la Placa Caribe pasó encima del punto caliente de la Islas Galápagos el cual derramó gran cantidad de basaltos de plateaux sobre ella. Como la Placa Caribe se desplazo hacia el NE, las secuencias de basaltos del Gp. Diabásico colisionaron con un pedazo de continente ( Terreno Tahami de Restrepo y Toussaint, 1988) permitiendo así la amalgamación entre un material continental y uno oceánico. En cuanto al resto de la Placa Caribe prosiguió su recorrido hacia el NE, desplazándose dextralmente con relación a Suramérica.

**TABLA 1:** Análisis comparativos de los basaltos de plateaux del Leg 89 y de los basaltos del Gp. Diabásico (según datos de Desmet, 1995). Los datos obtenidos sobre la Fm. Amaime y sobre el Gp. Diabásico por Nivia se pueden consultar en Nivia (1989).

|                  | Leg. 89 | Gp.<br>Diabásico |
|------------------|---------|------------------|
| TiO <sub>2</sub> | 1.25    | 1.40             |
| FeO              | 12.49   | 12.45            |
| MnO              | 0.22    | 0.21             |
| MgO              | 6.73    | 6.68             |
| K <sub>2</sub> O | 0.16    | 0.12             |
| Nb               | 5       | 7                |
| La               | 5       | 3.15             |
| Ce               | 13      | 13.3             |
| Sr               | 110     | 191              |
| Zr               | 64      | 76               |
| Y                | 29      | 30               |
| Ni               | 82      | 95               |
| Cr               | 149     | 125              |
| FeO/MgO          | 1.86    | 1.86             |
| Mg               | 49.2    | 49.1             |
| Ti/Zr            | 118     | 111              |
| Zr/Nb            | 12.8    | 10.6             |
| Ti/Y             | 259     | 280              |
| Zr/Y             | 2.2     | 2.5              |

### Consecuencias sobre la tectónica de colisión

#### Abombamientos topográficos de los fondos oceánicos:

El derramamiento de grandes cantidades de basaltos de plateaux sobre el fondo oceánico produjo una sobrecarga sobre la litosfera la cual tuvo que compensar este exceso de peso por una compensación isostática regional. Se produjo entonces una flexión de la litosfera, de unos 1000 km. de diámetro como es el caso de las islas hawai en la actualidad, y la génesis de una arruga circular de 1 a 2 km. de altura en el borde de la depresión, alrededor del punto caliente. Esta situación implicó que el fondo oceánico tuvo muchas irregularidades lo cual dificultó la subducción y facilitó el desarrollo de eventos tectónicos en las zonas de colisión.



### **Subducción y formación de arcos insulares:**

En el Occidente Colombiano, es llamativo la génesis de arcos insulares entre el Aptiano y el Cenomaniano. Las secuencias volcánicas básicas del Boquerón de Toyo (Antioquia) muestran un conjunto basáltico con afinidades calco - alcalinas de toleitas de arco inmaduro con un plutonismo diorítico y tonalítico calco-alcalino marcado por el Plutón de Buriticá (Desmet, 1995). La geoquímica indica elementos en trazas con espectros de Tierras Raras planos y relación La / Yb entre 0.86 y 1.21 que acercan el volcanismo del Boquerón de Toyo a un arco insular. En cuanto a la Serie de Altamira, indica un marco geodinámico de cuenca marginal (Desmet, 1994). También un cinturón magmático calco-alcalino se desarrolló en los límites entre la Cordillera Occidental y la Central. De los numerosos cuerpos se destacan el Batolito de Sabanalarga, el de Altavista, el stock de Combumbia, el Batolito de Buga, las leucotonalitas de El Tambor y las felsitas de Vijes. Así, la formación de los arcos insulares cretácicos en el Occidente Colombiano puede ser una consecuencia de la actividad de la Superpluma.

### **Atranques de las subducciones y desarrollo de obducciones:**

En el Occidente Colombiano un material oceánico ha sido acrecionado al lado e inclusive ha cabalgado sobre el basamento de un terreno continental (Terreno Tahami de Restrepo y Toussaint, 1989). En la región de Medellín un conjunto ofiolítico ha sido obducido durante el Albiano sobre las unidades continentales del Paleozoico y del Precámbrico. En otras regiones como en la del río Nechi, cerca a Yarumal, en el eje de la parte septentrional de la Cordillera Central, un complejo ofiolítico está también obducido. Cerca a Buga, la Fm. Amaime y las Ofiolitas de Ginebra están también acrecionadas al borde y probablemente cabalgadas sobre el Terreno Tahami. Lo mismo ocurrió con las Diabasas de La Línea en la cumbre de la carretera que une Armenia a Ibagué (Fig.2).

El evento cretácico tardío que afecta los basaltos de plateaux del Gp. Diabásico muestra un tectónica de colisión marcada por grandes cabalgamientos y cizallamientos.

Esta gran actividad tectónica con todas estas estructuras de cabalgamiento y de acreciones fue probablemente una consecuencia de un atranque del fenómeno normal de subducción. Esta parálisis podría ser debido a la llegada en la fosa de subducción de altos relieves oceánicos formados por los basaltos de plateaux y por los arcos transportados por la Placa Caribe. Estos relieves no pudieron subducir y se produjeron eventos tectónicos agudos marcados en particular

por el emplazamiento de materiales oceánicos. Es de anotar que, en las Islas Hawai, el alto relieve generado sobre el fondo oceánico de la Placa Pacífica es del orden de 9000 metros que corresponden a los 5000 m. de profundidad del fondo del océano y a los 4000 m. de altura de la parte más alta de las islas.

Un fenómeno relacionado con el desarrollo de un punto caliente es el de producir un levantamiento de la base de la placa que pasa encima de él. En efecto, al pasar sobre el punto caliente la placa se recalienta por lo cual se produce una subida de la isoterma  $1300^{\circ}\text{C}$  y por lo tanto de la Zona de Baja Velocidad. Este adelgazamiento de la placa forma una zona de debilidad la cual puede favorecer su ruptura y el inicio de una subducción.

### **Génesis de Komatiitas en Gorgona:**

Finalmente, desde el trabajo de Echeverría (1980) se sabe de la presencia de un conjunto petrológico excepcional en la Isla de Gorgona. Allí se encuentran una asociación de basaltos y gabros que han sido datados del Cenomaniano. La presencia de Komatiitas cretácicas implica que hubo condiciones muy particulares al momento de su génesis. En efecto las komatiitas se forman a alta temperatura y presión por fusión parcial del Manto y con temperatura de erupción de unos  $1400$  a  $1500^{\circ}\text{C}$ .

Es factible pensar que esta fusión parcial sea debido al alto flujo térmico generado por una columna ascendente de la Superpluma. Por otra parte los datos paleomagnéticos de Estrada (1995) concluyen que los basaltos en pillow de Gorgona se formaron a una paleolatitud de unos  $25^{\circ} 7' \text{S}$  la cual puede coincidir con otra columna ascendente de la Superpluma.

### **CONCLUSIÓN**

El propósito de esta nota es de mostrar como un fenómeno geodinámico a escala mundial y cuya causa se generó en la interfase entre el material sólido del Manto inferior y el material líquido del Núcleo superior pudo tener consecuencias drásticas sobre la geología de Colombia.

La evolución geológica de Colombia durante el Cretácico es muy compleja y constituye uno de los problemas fundamentales de toda la historia del territorio. Situado entre dos periodos de relativa tranquilidad como son el Jurásico y el Eoterciario, el Cretácico de Colombia muestra múltiples

fenómenos regionales difíciles de separar en el tiempo y a veces superpuestos en el espacio. La transgresión marina que recubrió la totalidad de la región andina, la génesis de secuencias sedimentarias marinas generadoras de hidrocarburos, la formación de una enorme cantidad de basaltos y el desarrollo de grandes eventos tectónicos colisionales son algunas de las características más esenciales de este periodo.

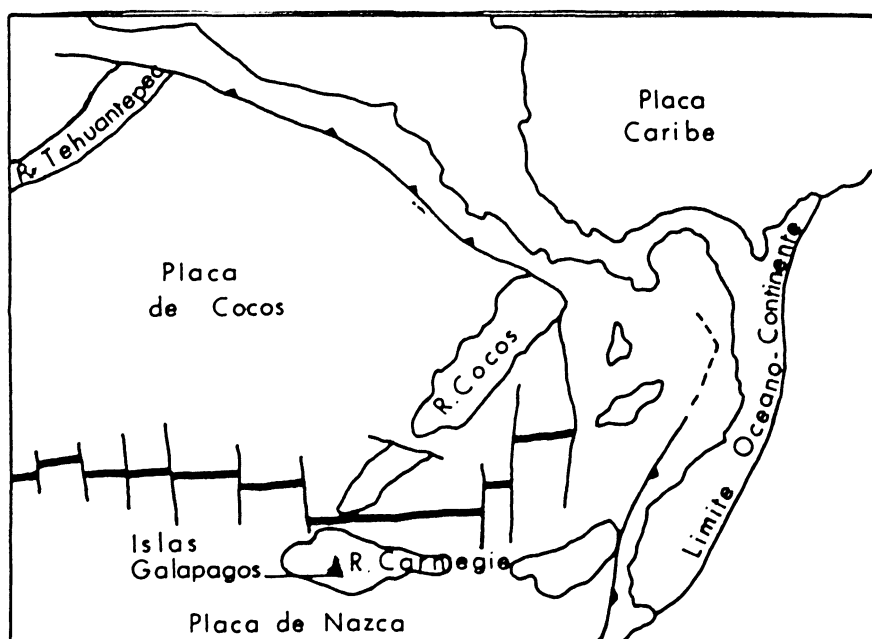


Fig. 3. Mapa general de la situación de las Placas de Cocos y de Nazca con relación al Occidente Colombiano. Se presentan los altos fondos de Carnegie y de Cocos que se formaron como consecuencias de la actividad del punto caliente de las Islas Galápagos.

Sin entrar en un dogmatismo exagerado que buscaría atribuir todo lo ocurrido en Colombia durante el Cretácico al desarrollo de la Superpluma propuesta por Larson (1995), se constata que muchos fenómenos que este último autor ha indicado como consecuencias de la actividad de una pluma gigante se realizaron en Colombia. En los próximos años las investigaciones en particular geoquímicas, paleomagnéticas y tectónicas permitirán mejorar estas sencillas hipótesis globales. Mientras tanto, estas hipótesis ofrecen, al menos, una causa común a muchos fenómenos observados en Colombia y

los cuales no tenían aparentemente ninguna conexión entre ellos.

## BIBLIOGRAFÍA

CALDEIRA K. y RAMPINO M., 1991. The mid-cretaceous superpluma, carbon dioxide and global warning. *Geophy. Res. Letters*. 18(6): 987-990.

COX K., 1991. A Superplume in the Mantle. *Nature*. 352 (6336): 564-565.

DESMET A., 1994. Ophiolites et series basaltiques crétacées des regions caraibes et nordandines. Tesis Uni. H. Poincaré, Nancy, Francia: 598 p.

ECHEVERRIA L.M., 1980. Tertiary or Mesozoic Komatiites from Gorgona Island Colombia. Field relations and geochemistry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 73: 253-266.

LARSON R., 1995. Superpluma del Cretácico medio. *Invest. y Ciencia*: 64-69.

ESTRADA J.J., 1995. Paleomagnetism and Accretion events in the Northern Andes. Tesis PhD, State Univ. of New York at Binghamton, USA: 170 p.

MORGAN W., 1981. Hotspots tracks and opening of atlantic and indian oceans. In : *The oceanic lithosphere*, Ed. Wiley : 443-487.

NIVIA A., 1989. El terreno Amaime-Volcánica, una provincia acrecionada de basaltos de meseta oceánica. *Mem. V Cong. Colomb. Geol.*, Tomo 1: 1-30.

RESTREPO J.J. y TOUSSAINT J.F., 1988. Terranes and Continental Accretion in the Colombian Andes. *Episodes*. 11: 189-193.

TOUSSAINT J.F. y RESTREPO J.J., 1994. The Colombian Andes during Cretaceous times. In: *Cretaceous tectonics of the andes*. Ed: Vieweg, Alemania: 61-100.

TOUSSAINT J.F., 1995. Evolución Geológica de Colombia - Triásico y Jurásico. *Univ. Nal. Medellin* : 94 p.

VINK J., MORGAN J. y VOGT P., 1985. Panaches et points chauds. *Pour la Science* : 80-85.