

ESTACION	ID ESTACION	LONG W	LAT N	VECTOR HORIZONTAL				CORR	VECTOR VERTICAL	
				E	N	$\sigma_E$	$\sigma_N$		V	$\sigma_V$
1994 - 1998										
ROLDANILLO	ROLD	-76,148	4,402	1,134	-0,074	0,327	0,158	-0,037	0,062	0,791
TEBAIDA	TEBA	-75,769	4,445	0,610	0,035	0,272	0,125	-0,044	-0,315	0,621
PEREIRA	PERE	-75,734	4,815	1,177	0,074	0,730	0,226	0,002	-6,228	1,267
DOS QUEBRADAS	DQUE	-75,682	4,837	-0,273	0,156	0,791	0,233	-0,070	-1,090	1,334
SANTA ROSA DE CABAL	SRDC	-75,608	4,867	-0,334	-0,008	0,721	0,225	-0,074	1,559	1,319
MANIZALES	MZAL	-75,470	5,030	1,725	0,145	0,185	0,089	0,004	-0,567	0,415
IBAGUE-2	IBG2	-75,250	4,400	1,038	-0,042	0,313	0,157	-0,041	0,134	0,735
1996 - 1998										
CARTAGO	CAGO	-75,956	4,748	1,084	-0,580	0,629	0,303	0,040	-9,231	1,728
LA PALMILLA	LAPA	-75,794	4,725	1,200	-0,292	0,419	0,154	-0,095	-3,019	0,836
QUIMBAYA	QUIM	-75,748	4,623	-0,702	-0,393	0,597	0,175	-0,057	-2,753	0,978
PIJAO	PIJA	-75,704	4,336	0,380	-0,999	0,445	0,166	-0,093	-4,667	0,936
INGENIERIA	INGE	-75,660	4,555	1,419	-0,237	0,588	0,168	0,028	-3,590	0,958
FILANDIA	FILA	-75,634	4,687	-1,424	-0,066	0,397	0,182	-0,086	-3,154	1,029
CALARCA	CALA	-75,631	4,532	-0,995	-0,658	0,490	0,166	0,075	-2,741	0,987
CIRCASIA	CIRC	-75,629	4,623	0,836	-0,087	0,391	0,141	-0,023	-2,433	0,803
SALENTO	SALE	-75,567	4,641	1,337	0,396	0,386	0,161	-0,087	-1,383	0,896
CAJAMARCA	CAJM	-75,435	4,438	0,669	0,048	0,227	0,106	-0,035	-0,436	0,543
1998 - 1999										
CARTAGO	CAGO	-75,956	4,748	1,030	-0,713	0,734	0,467	0,011	-9,705	1,691
TEBAIDA	TEBA	-75,769	4,445	0,773	-0,397	0,848	0,496	0,024	-5,125	1,910
PEREIRA	PERE	-75,734	4,815	-0,727	-0,767	0,744	0,452	0,043	5,057	1,489
DOS QUEBRADAS	DQUE	-75,682	4,837	-0,170	-0,542	0,865	0,485	-0,013	-8,149	1,820
SANTA ROSA DE CABAL	SRDC	-75,608	4,867	3,266	-0,802	0,806	0,472	0,010	10,834	1,704
MANIZALES	MZAL	-75,470	5,030	-1,324	0,043	0,884	0,461	0,068	-3,932	1,656

Tabla 2. Valores de desplazamientos relativos horizontales y verticales (cm) para la zona del Eje Cafetero, expresados en ITRF96, para los periodos 1994-1998, 1996-1998 y 1998-1999.

La información de la Tabla 2 permite establecer cómo la estación PERE, localizada en el Aeropuerto Matecaña, al compara las mediciones de 1998, y las efectuadas en 1999 con posterioridad al sismo, tuvo un ascenso de 5 cm, y la estación SRDC tuvo comportamiento similar, del orden de 10 cm. Las otras estaciones analizadas, CAGO, DQUE, TEBA y MZAL tuvieron comportamiento opuesto, es decir, de descenso, del orden de 9,7, 8,1, 5,1 y 3,9 cm respectivamente, lo que permite establecer la fuerte influencia vertical de movimiento, y cuyas componentes horizontales, a excepción de SRDC y MZAL en la componente Norte, son sustancialmente menores.

Es preciso advertir que el modelo planteado para el área probablemente no es por ahora de tipo predictivo en un sentido estricto, y es probablemente algo diferente de lo que en la realidad puede estar ocurriendo. Es importante tener en cuenta que esta área presenta numerosas fallas, reconocidas como activas, y puede existir múltiple energía acumulada en dirección general norte-sur, lo cual hace difícil por ahora confirmar algunos de los planteamientos formulados, lo cual será posible en la medida que se tenga mayor cantidad de datos obtenidos en el campo mediante ocupaciones sucesivas con GPS. Sin embargo, perfectamente se puede considerar que junto con el Nido de Bucaramanga y la zona de colisión de Panamá-Colombia, y teniendo en cuenta los datos geodésicos obtenidos, esta área es una zona de clara tendencia actividad sísmica representativa, de hecho ya evidente en la distribución epicentral de los sismos de la Figura 14.

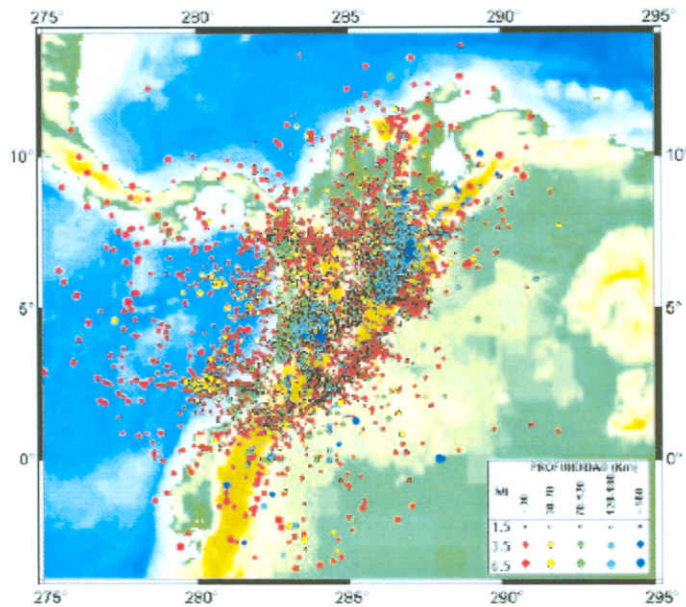


Figura 14. Sismicidad en Colombia. Nótese las magnitudes y profundidades en la zona del Eje Cafetero.

## CONCLUSIONES

La interpretación de los resultados diversos que se obtienen mediante técnicas de geodesia aplicada a estudios geodinámicos, permite establecer, una componente norte más representativa en algunas estaciones GPS localizadas al suroccidente de Colombia, lo que permite suponer que la componente oblicua de la subducción de la placa de Nazca está siendo acomodada mediante movimiento transpresivo NE a lo largo de fallas subparalelas al margen de los Andes. El alto componente este de los vectores de velocidad de las estaciones localizadas por encima de los 6° de latitud, suponen la influencia de la colisión que se presenta entre Panamá y Costa Rica, planteada por Kellogg y Vega (1995).

Con relación a los resultados mostrados en las Figuras 11, 12 y 13. previamente se había expresado que como los sismos principales ocurrieron el 25 de Enero de 1999, las velocidades intersísmicas para los 9-10 meses previos al sismo, están inmersas en la señal. Esto significa que si se asume que la señal intersísmica es este-noreste, lo cual es una gran asunción en esta área que puede considerarse como transicional, se deben efectuar una serie de análisis para establecer la respuesta sísmica actual, lo cual es importante para Colombia, determinando la señal intersísmica para el país. De esa manera, cuando ocurra un evento, una simple reocupación de estaciones GPS puede dar una excelente indicación de la señal sísmica que es transmitida a la superficie. Consideramos que no hay duda en que la señal en el área correspondiente a la zona afectada por el sismo del 25 de Enero de 1999 es dominada por movimientos verticales al momento de la liberación de la energía sísmica. Se debe considerar como preliminar este esquema de respuesta, debido a que lamentablemente no se cuenta con la cantidad suficiente de datos para poder hacer una mejor aproximación y por ende una generalización más precisa respecto al planteamiento de los movimientos verticales, aunque ha de considerarse además que muchas de las fracturas en la zona que permiten el acomodamiento de los desplazamientos verticales, son de amplio rango. Una observación a la señal en Manizales, que es el mejor sitio constreñido, y un sencillo cálculo, permiten suponer que algún desplazamiento estaría ocurriendo en una fractura que tendría aproximadamente un ángulo de pendiente de 45°, al tomar la señal sísmica y considerar además la señal intersísmica, la cual simplemente dice que el movimiento total fue de cerca 3 cm hacia el oeste, y el movimiento vertical, tipo descendente, de 3 cm. La colisión de Panamá-Colombia podría estar afectando a la estación MZAL, una estación confiable; el vector en Manizales, el vector mejor constreñido, es del orden de  $1,8 \pm 0,5$  cm por año. De ahí la importancia de obtener más épocas de medición en estos sitios, como clave para el entendimiento de la zona transicional mencionada.

Por tal motivo, y considerando la necesidad de obtener información geodésica en la zona, el INGEOMINAS bajo el marco del proyecto Levantamiento de Información Geodinámica del territorio colombiano establecerá próximamente una estación semi-permanente en el área de la ciudad de Manizales, teniendo en cuenta que el rastreo continuo es una necesidad vital. Por ejemplo, al momento de la ocurrencia de un sismo, se registra el movimiento asociado, o el movimiento lento a lo largo de días, meses o incluso años, previo a la ocurrencia del evento.

Los resultados y las interpretaciones de los datos son una simple muestra de la importancia del empleo de técnicas geodésicas, cuyo aporte es fácilmente observable. Por tanto, la recomendación fundamental estriba en la necesidad de obtención de información mediante el empleo de técnicas satelitales, con el propósito de establecer los movimientos actuales de la corteza del territorio colombiano, y que permita la interpretación integral con resultados obtenidos mediante la aplicación de otras disciplinas.

#### BIBLIOGRAFIA

Ambeh W., Bilham R., Calais E., DeMets C., Dixon T., Freymueller T., Jansma P., Kellogg J., Mora H., Ludgren P., Mann P. and Weber, J., GPS Networks in the Caribbean, Fall Meeting, EOS-AGU, Baltimore, USA, 612, Abstract.

Blewitt, G., 1993. Advances in Global Positioning System Technology for Geodynamics Investigations: 1978-1992, Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Technology, D. Smith and D. Turcotte (Eds), Geodynamics Series AGU 25: 195-213.

Boucher, C., Z. Altamimi, L., (1993), "Development of a Conventional Terrestrial Reference Frame", Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Earth Dynamics, Geodynamics Series AGU 24: 89-97.

Camacho, E. And V. Viquez, (1993), Historical seismicity of the North Panama Deformed Belt, Rev. Geol. Amer. Central 15, 49-64.

Dixon, T.H. and S. Konreich Wolf, 1990. Some tests of wet tropospheric calibration for the CASA UNO Global Positioning System experiment, Geophys. Res. Letter, 17, No. 3, 203-206.

Freymueller, J.T., J.N. Kellogg, and V. Vega, 1993. Plate Motions in the North Andean region, J. Geophys. Res., 98 (B12), 21853-21863.

IGS, (2000), Anual report 1999, NASA-JPL, Pasadena.

Kellogg J. and V. Vega, (1995). Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: constraints from global positioning system geodetic studies and gravity. In: Mann, P., (Ed), geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate boundary in Southern Central America, GSA Special paper, 295 pp, 75-90

Kellogg J. and Mora H., 1994, Seismicity and strain in a wide plate boundary - CASA (Central and South America) GPS measurements, 66th. Annual Meeting, Seismological Society of America, Eastern Section, Columbia, USA, 1994, 23, Abstract.

Kellogg, J., Mora, H., Freymueller, J., Dixon, T. and Leffler, L., 1994, CASA (Central and South America) GPS measurements, deformation in a wide plate boundary", Fall Meeting, EOS-AGU, Baltimore, USA, 163, Abstract.

Mora H. and Kellogg J., 1994, Quaternary faults in Central and South America - CASA GPS measurements, 66th. Annual Meeting, Seismological Society of America, Eastern Section, Columbia, USA, 38, Abstract

Mora, H., Kellogg, J. and Freymueller, T., 1994, Quaternary faults in the Southwest Caribbean - GPS measurements, Fall Meeting, EOS-AGU, 612, San Francisco, USA, Abstract.

Mora H., Kellogg J., Freymueller T., Dixon T. and Leffler L., 1995, Crustal deformation along the wide North Andean plate boundary - CASA (Central and South America) GPS measurements, XXI General Assembly, IUGG, Boulder, USA, A44, Abstract.

Mora H., Kellogg J., Freymueller J., Dixon T. and Leffler L., 1995, Tectonics of Northwestern South America, CASA GPS measurements, Spring Meeting, EOS-AGU, Baltimore, USA, S266, Abstract.

Mora, H., 1995, Central and South America GPS Geodesy: Relative Plate Motions Determined from 1991 and 1994 Measurements in Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panama and Venezuela, Master Thesis, University of South Carolina, 94 p.

Mora H., y J. Kellogg, (1996), "Movimientos relativos de placas determinados con GPS a partir de las mediciones de CASA-91 y CASA-94", Memorias del VII Congreso Colombiano de Geología, Santafé de Bogotá.

Papadimitriou, E., (1993), Long term earthquake prediction along the western coast of South and Central America based on a time predictable model. PAGEOPH 140, 301-316.

Tralli, D.M., and S.M.Lichten, 1990. Stochastic estimation of tropospheric path delays in Global Positioning System geodetic measurements, Bull. Geod., 64, 853-856.

Tibaldi, A. and J. León, (2000), Morphometry of late Plesitocene-Holocene faulting and volcano tectonic relationship in the Southern Andes of Colombia. Tectonics 19, 358-377.

Trenkamp R., Kellogg J., Mora H., Freymueller T., Dixon T. and Leffler L., Active Panama – Northern Andes Collision – GPS Displacement Vectors 1998-1994, Fall Meeting, American Geophysical Union, F613, Abstract.

Trenkamp, R., J. Kellogg, J. Freymueller and H. Mora, (2002). Wide plate margin, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations, Journal of South American Earth Sciences 15, 157-171, Elsevier.

University Navstar Consortium, 1994. Geoscientific Research and the Global Positioning System, Recent Developments and Future Prospects. UNAVCO, 84 pp.

van Dierenhonck, A. J.; S. S. Russell; E.R.Kopitzke and M. Birnbaum, 1980. The GPS Navigation Message. In: Global Positioning System, Navigation, Vol. I. The Institute of Navigation, Alexandria, pp. 55-73

Ware, R. and Businger, S., 1995. Global Positioning Finds Applications in Geosciences Research. EOS, Transactions, AGU, pp. 187.