

ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN TECTÓNICA EN EL PIEDEMONTE DE LAS CORDILLERAS CENTRAL Y OCCIDENTAL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Trabajo de grado para optar al título de Maestría en Ciencias de la Tierra

Por:

MYRIAM CARLOTA LÓPEZ CARDONA

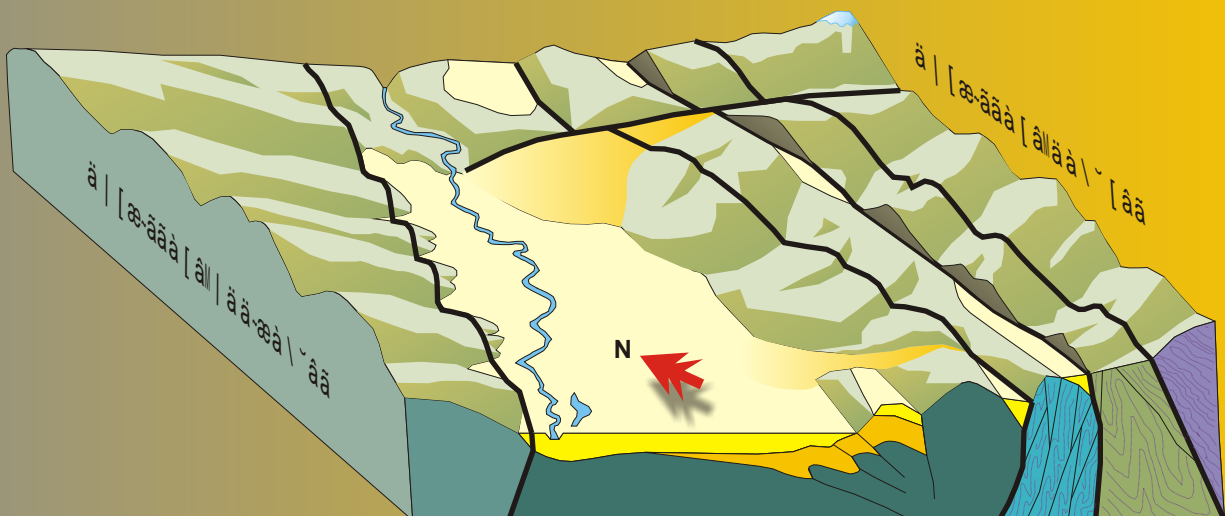
Directores:

Prof. Franck A. Audemard
Prof. Gloria Elena Toro

UNIVERSIDAD EAFIT
Programa de GEOLOGÍA

Medellín
Agosto de 2006

ANEXOS



ANEXO 1

METODOLOGÍA: AMPLIACIÓN DE CONCEPTOS

ANEXO 2

EL REGISTRO GEOMORFOLÓGICO DE DEFORMACIÓN TECTÓNICA EN LOS
PIEDEMONTES DE LAS CORDILLERAS CENTRAL Y OCCIDENTAL, VALLE DEL CAUCA,
COLOMBIA: DETALLE

ANEXO 3

EL REGISTRO ESTRATIGRÁFICO DE DEFORMACIÓN TECTÓNICA EN LOS
PIEDEMONTES DE LAS CORDILLERAS CENTRAL Y OCCIDENTAL, VALLE DEL CAUCA,
COLOMBIA : DETALLE

ANEXO 4

RELACIONES DE LAS FALLAS CON LOS ESFUERZOS PRINCIPALES: DIEDRO RECTO

ANEXO 5

CUANTIFICAR EL TERREMOTO: MAGNITUDES

Análisis de deformación tectónica en los piedemontes de las
Cordilleras Central y Occidental Valle del Cauca,
Colombia - Contribuciones Paleosísmicas

Por:
Myriam C. López C.
Universidad EAFIT

ANEXO 4

**RELACIONES DE LAS FALLAS CON LOS ESFUERZOS
PRINCIPALES: DIEDRO RECTO**

CALCULO DEL DIEDRO RECTO

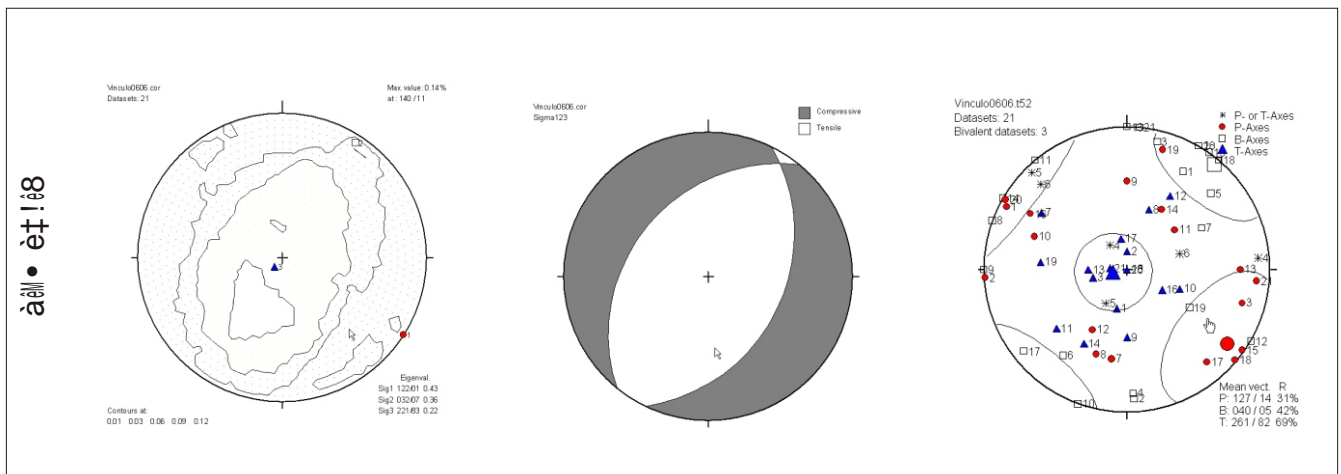
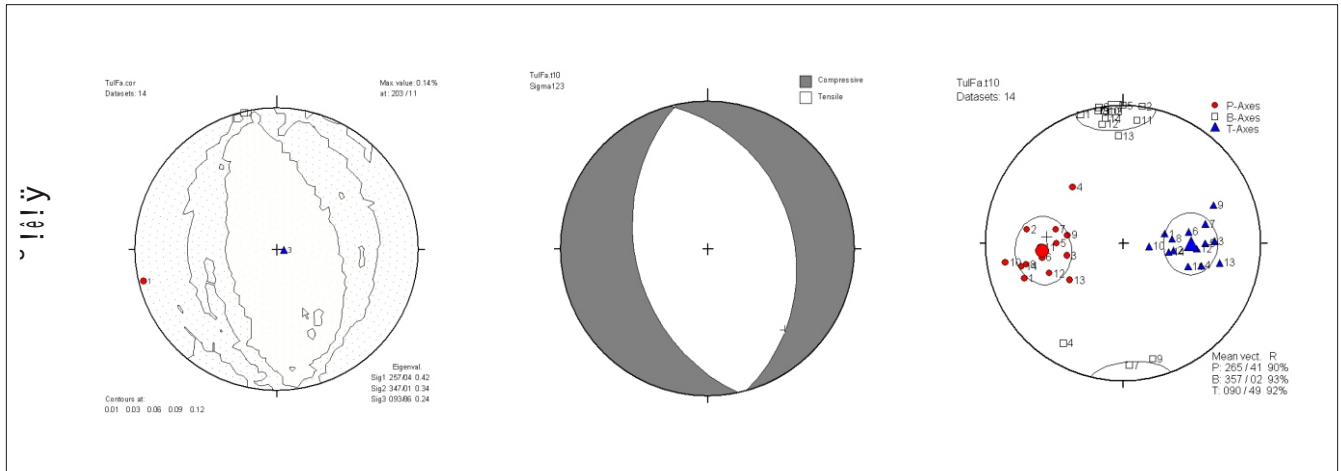
El procesamiento de los datos cinemáticos mediante el software *Tectonics FP 1.6.2®* aplicando el método de diedros rectos (Angelier y Mechler, 1977; Angelier y Gouguel, 1979) arroja los siguientes resultados.

Sector Tuluá

Para el sector de Tuluá (Tabla 1) se obtuvo un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal horizontal (σ_1) $257^\circ/04^\circ \pm 0.42$, un esfuerzo intermedio horizontal (σ_2) $347^\circ/01^\circ \pm 0.34$ y un esfuerzo mínimo vertical (σ_3) $093^\circ/86^\circ \pm 0.24$. El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo (Θ) de 10° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos (σ_1). El valor del ángulo teta muy inferior al predicho por Mohr-Columb se explica por la reutilización de planos preexistentes. El eje P tiene una orientación de $265^\circ/41^\circ$ con un factor de correlación $R = 90\%$, el eje T se orienta $090^\circ/49^\circ$ con un factor de forma (R) = 92% y el eje B se orienta a $357^\circ/02^\circ$ con $R = 93\%$. Esto muestra una correlación muy buena entre los valores de estría y el campo de esfuerzos general para el cual el diedro se ajusta perfectamente con los datos medidos en campo. Con el plano de falla principal netamente inverso a constrictivo. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 1.

Tabla 1. Datos estructurales Sector Tuluá

Número	Plano de falla	Estría	Componentes desplazamiento
<i>Cara Sur Oreja</i>			
1	N15W/35W	Trend:N70W	Inversa
2	N8E/40W	Plunge: 40N	Inversa
3	NS/46SW	trend:S80E	Inversa
<i>Cara Norte Oreja</i>			
4	N10E/40W	plunge:35NW	Inversa sinistral
5	NS/60NW	plunge:60NW	Inversa
6	N10W/52SW	plunge:52W	Inversa?
7	N10W/61W	plunge:58W	Inversa?
8	N7W/39W	trend:S77E	Inversa
9	N5W/30SW		
<i>Variante Tuluá</i>			
10	N10W/60SW	Plunge: 55SW	Inversa sinistral
11	N10E/50W	trend:N45E	Inversa dextral
12	N20W/70SW	plunge:65SW	
13	NS/35W		Inversa
14	NS/25W	trend:N80W	Inversa
15	N25E/32NW		Inversa
16	NS/54W	Pitch:73S	Inversa
17	N17E/52W	Pitch: 60S	Inversa
<i>Carreteable Oreja Norte</i>			
18	N5E/37W	Trend: N75E	Inversa



e^a · c? P M? s | ° μ ± ? ? μ ± · | 1/4 ± μ ? α c 0 α · 0 c ? ± ? 2 ± ? | 0 ? - ¶ ± ± ± ? ? ± ? ± μ ? ' | α ¶ ± μ ? ± ? ' ° · | 0 a | ? » ? 1 | α 0 0 | ? G P X V V H ?
· μ c ° ± ? | 0 ? 2 ' ± · · c - c ? s | α ¶ ± ° α μ ? e o l l ? s c ° ¶ ± ? c ? 0 c ? 0 c ¶ ¶ · ± ? ± ? s · 0 · € ? ± ± ± ? ± ? r ± ° μ ± ? | 0 ? | « | ? 2 ' a o α a 2 c 0 ? G p H ? | μ ?
0 ± ' a | ± ° ¶ c 0 ? » ? , c ' a c ? ± ? d v ? c ? m m v L d r d ? ' | μ 2 | α ¶ a , c - | ° ¶ | | d ° ? r ± ° μ ± ? | - 2 a | 1/4 c ? c ? μ | ? ? | , ± ? | ° ¶ | ? · ° c ? - o a - c ?
± ± - 2 ± ° | ° ¶ | ± ? ± ? μ 2 0 c 1/4 c - a | ° ¶ ± ? 0 ± ' a | ± ° ¶ c 0 0

Sector Sonso

Para el sector de Sonso, Cantera El Vínculo (Tabla 2) se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal horizontal (σ_1) $122^\circ/01^\circ \pm 0.43$, un esfuerzo intermedio horizontal (σ_2) $032^\circ/07^\circ \pm 0.36$ y un esfuerzo mínimo vertical (σ_3) $221^\circ/83^\circ \pm 0.22$. El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo (Θ) de 52° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos (σ_1). El eje P tiene una orientación de $127^\circ/14^\circ$ con un factor de correlación $R = 31\%$, el eje T se orienta $261^\circ/87^\circ$ con $R = 69\%$ y el eje B se orienta a $040^\circ/05^\circ$ con $R = 42\%$. La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos general se explica porque algunos de los datos introducidos pueden corresponder a un régimen de esfuerzos anterior, aunque el diedro con una mínima componente dextral y sinistral se ajusta a los datos obtenidos en campo. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 1.

Tabla 2. Datos estructurales Cantera El Vínculo

Número	Plano de falla	Plunge de Estría	Componentes desplazamiento
1	N10E/50E	42S	Inversa sinistral
2	N5E/52E	50E	Inversa
3	N10E/70E	68W	Inversa sinistral
4	N5E/62E	58E	Inversa dextral
5	N28E/50E	42S	Inversa sinistral
6	N70E/42E	30E	Horizontal con componente vertical
7	N30W/40E	0	* Horizontal
8	N70W/90	90	Normal
9	EW/90	90	Desconocido
10	EW/90		Desconocido
11	N20E/20E	20E	Inversa
12	N40W/74W	74W	Normal
13	N60W/78E	78E	Normal
14	NS/30W	30W	Normal
15	N60W/78S	78S	Vertical
16	N35E/50W	50W	Inversa
17	N30E/75N	75N	Vertical
18	N40E/37N	36N	Inversa
19	N40E/50N	50W	Inversa
20	N45W/78E	40N	Horizontal con componente vertical
21	N30E/54N		Inversa
22	N5E/42W	42W	Inversa

* para el tratamiento de los datos se asume que el desplazamiento horizontal es dextral

Sector Cartago

Para el sector de Cartago (Tabla 3) se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal vertical (σ_1) $171^\circ/82^\circ \pm 0.51$, un esfuerzo intermedio horizontal (σ_2) $058^\circ/03^\circ \pm 0.33$ y un esfuerzo mínimo horizontal (σ_3) $327^\circ/08^\circ \pm 0.16$ (Figura 2). El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo (Θ) de 44° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos (σ_1). El eje P tiene una orientación de $167^\circ/82^\circ$ con un factor de correlación $R = 91\%$, el eje T se orienta $329^\circ/09^\circ$ con $R = 87\%$ y el eje B se orienta a $061^\circ/01^\circ$ con $R = 92\%$. Aunque la correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos es muy buena, éste no puede interpretarse como el campo regional de esfuerzos sino como el campo local donde las estructuras NE normales se generan a lo largo de una falla de rumbo regional. Esto teniendo en cuenta las evidencias geomorfológicas documentadas en este trabajo. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 2.

Tabla 3. Datos estructurales Sector Norte del Valle (Pardo-Trujillo et al., 1994)

Número	Plano de falla	Estría	Componentes desplazamiento
1	242/32SE	Pich: 90	Normal
2	65/ 65 SE		
3	82/ 77 NW		
4	68/ 90		
5	64/ 60 NW		
6	53/ 55 NW		
7	51/ 53 NW		
8	32/ 16 SE	Plunge: 10 E	Dextral normal
9	91/ 44 SE	Pich: 75 SE	Normal dextral
10	58/ 60 NW	Pitch: 80 W	Normal
11	73/ 49 SE		
12	42/ 48 NW		
13	55/ 70 NW		
14	32/ 45 SE		
15	40/ 45 SE		
16	154/70 NW		
17	63/ 70 NW		
18	37/ 78 NW		
19	212/66 SE		
20	204/ 60 SE		
21	235/ 52 NW		
22	253/ 55 SE		
23	94/ 32 NW		
24	47/ 53 SE		
25	218/ 57 NW		
26	53/ 77 NW		
27	54/ 64 SE	Pitch: 90	Normal
28	53/ 42 SE	Pitch: 80 N	Normal
29	221/ 40 SE		
30	222/ 42 NW		
31	240/ 66 NW		
32	269/ 48 SE		
33	55/ 72 NW		

Sector Loboguerrero

Para el sector de Loboguerrero (Tabla 4) se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal intermedio (σ_1) $157^\circ/39^\circ \pm 0.44$, un esfuerzo intermedio subvertical (σ_2) $331^\circ/51^\circ \pm 0.32$ y un esfuerzo mínimo horizontal (σ_3) $0.64^\circ/03^\circ \pm 0.24$. El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo (Θ) de 84° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos (σ_1). El eje P tiene una orientación de $167^\circ/17^\circ$ con un factor de correlación $R = 64\%$, el eje T se orienta $013^\circ/65^\circ$ con $R = 39\%$ y el eje B se orienta a $269^\circ/04^\circ$ con $R = 19\%$. La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos se interpreta como el resultado de esfuerzos locales generados por la acción de un sistema de esfuerzos transcurrente principal tal como lo indica la falla principal de la Figura 60. En el sector predomina un tensor de esfuerzos distensivo con componente de rumbo. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 2.

Tabla 4. Datos estructurales Trinchera Loboguerrero [Woodward-Clyde (1983)]

Número	Plano de falla	Estría	Componentes desplazamiento
1	N56E/82S	plunge:60NE	^a Vertical con componente horizontal
2	N5W/45S		^a Vertical
3	N45E/60S		^b Horizontal
4	N56E/82S		^b Horizontal
5	N45E/80N	plunge:67S	Desconocido
6	N70E/84N		Desconocido
7	N50W/55N	N30W/40W	Vertical
8	N75W/85S	Plunge:35W	^b Horizontal con componente vertical
9	N50E/75S		Desconocido
10	N35E/78E		Desconocido
11	N30W/40W		^b Horizontal

^aPara el tratamiento de los datos se asumió una componente inversa con base en el combamiento del paleosuelo 2; ^bPara el tratamiento de los datos se asume una componente principal dextral.

Sector San Marcos

Para el sector de San Marcos (Tabla 5) se asumió que las estrías verticales son de desplazamientos normales. Así se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal horizontal (σ_1) $097^\circ/17^\circ \pm 0.41$, un esfuerzo intermedio vertical (σ_2) $277^\circ/73^\circ \pm 0.38$ y un esfuerzo mínimo horizontal (σ_3) $187^\circ/00^\circ \pm 0.21$. El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo (Θ) de 68° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos (σ_1). El eje P tiene una orientación de $292^\circ/03^\circ$ con un factor de correlación $R = 35\%$, el eje T se orienta $013^\circ/00^\circ$ con $R = 46\%$ y el eje B se orienta a $048^\circ/50^\circ$ con $R = 35\%$. La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos general se ajusta a un fallamiento rumbodeslizante con componente vertical. La expresión geomorfológica de la estructura es concordante con la existencia de estrías horizontales en los planos principales de fallas identificados y un buen indicativo de que la falla que bordea el flanco occidental del valle actualmente se comporta en transcurrencia. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 2.

Tabla 5. Datos estructurales Variante San marcos

Número	Plano de falla	Estría	Componentes desplazamiento
1	N35E/65W	Plunge: 65W	* Vertical
2	N40E/55S	Trend: N30W	Horizontal con componente vertical
3	N40E/52SE	Trend: N20W	Horizontal con componente vertical
4	N85W/22N	Plunge: 22N	* Vertical
5	N85E/90	Plunge: 35SE	Horizontal con componente horizontal
6	N60E/69SE	Plunge: 25W	Vertical con componente horizontal
7	N20E/77W	Plunge: 0	Horizontal
8	N40W/75N	Plunge:0	Horizontal
9	N17W/67E	Trend: N26W	Vertical con componente horizontal
10	N27E/60W	Plunge: 60W	* Vertical
11	N66E/58N	Plunge: 0	Horizontal
12	N60E/45N	Plunge: 0	Horizontal

* Para el tratamiento de los datos y acorde con la expresión geomorfológica, se asume que los desplazamientos verticales son normales, por tanto las componentes horizontales serían dextrales

Sector Cali

Para el sector de Cali (Tabla 6) se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal horizontal (σ_1) $069^\circ/07^\circ \pm 0.42$, un esfuerzo intermedio subhorizontal (σ_2) $336^\circ/20^\circ \pm 0.33$ y un esfuerzo mínimo subvertical (σ_3) $178^\circ/69^\circ \pm 0.25$. El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo (Θ) de 10° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos (σ_1). El eje P tiene una orientación de $139^\circ/00^\circ$ con un factor de correlación $R = 42\%$, el eje T se orienta $294^\circ/69^\circ$ con $R = 45\%$ y el eje B se orienta a $041^\circ/14^\circ$ con $R = 28\%$. La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos muestra un movimiento principal inverso con alguna componente de rumbo. El bajo ángulo teta se explica porque el movimiento se está dando a lo largo de planos de estratificación (deslizamiento de flexura) y reutilizando planos de fallas preexistentes. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 2.

Tabla 6. Datos estructurales Cali

Número	Plano de falla	Estría	Componentes desplazamiento
1	N30W/45SW	Plunge: 45SW	Inversa
2	N24E/45E	Plunge: 45E	Inversa
3	NS/55E	Plunge: 45E	Inversa sinistral
4	N40W/60SW	Plunge: 32NW	^a Horizontal con componente vertical
5	N78E/41SE	Pitch: 70NW	^b Horizontal con componente vertical
6	N80W/8E	Pitch: N40W	^c Horizontal con componente vertical
7	N35W/8E	Plunge: 4NW	^d Horizontal con componente vertical
8	N45W/68N	Pitch: N40W	Dextral normal
9	NS/90		

^a En el tratamiento de los datos se asumió como falla inversa y por tanto sinistral

^b En el tratamiento de los datos se asumió como falla normal y por tanto sinistral

^c En el tratamiento de los datos se asumió como falla normal y por tanto dextral

^d En el tratamiento de los datos se asumió como falla normal y por tanto dextral

Referencias Consultadas

Angelier, J., y P. Mechler, 1977, Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des diédres droits: Bulletin Société Géologique France, v. VII, 19, p. 1309-1318.

Angelier, J., y J. Gouguel, 1979, Sur une méthode simple de détermination des axes principaux des contraintes pour une population de failles: C. R. Acad. Sci., v. 288, p. 307-310.