

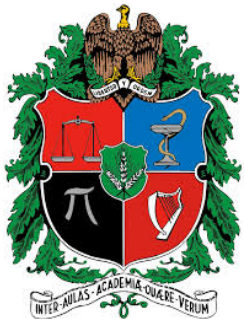
**Cálculo de deformaciones geológicas en
Colombia usando el método del vecino
|más cercano y datos GPS de las
estaciones SIRGAS del país**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSE DE CALDAS**



**Ingeniería
topográfica**



**Camilo Andrés González Parra
Robinson Quintana Puentes
Luis Montes Vives**

Introducción

La difusión de los datos del GPS en los últimos 15 años ha dado una nueva perspectiva significativa del estado de tensión de una placa continental. El sistema de Posicionamiento Global GPS hace posible detectar pequeños movimientos de la tierra sobre largas distancias. Se puede decir que se mide la deformación en “tiempo real”.



Objetivos

Objetivo general

- Calcular las deformaciones en el área de estudio usando los datos GPS de la red sirgas- magna eco en Colombia y el método del vecino mas cercano.

Objetivos específicos

- Determinar orientaciones, magnitudes, y deformaciones.
- Calcular la deformación por el método del vecino mas cercano.
- Calcular la dilatación producida por el stress.
- Calcular los vectores de rotación.



Marco teórico

- La deformación es Cambio en forma, tamaño y localización de una roca a causa de la presión aplicada en ella.
- Las rocas pueden deformarse de dos maneras:
- Frágil: El cuerpo de roca se deforma observándose a simple vista fracturas en la roca.
- Dúctil: El cuerpo rocoso se deforma sin que se aprecien a simple vista fracturas del bloque de roca.

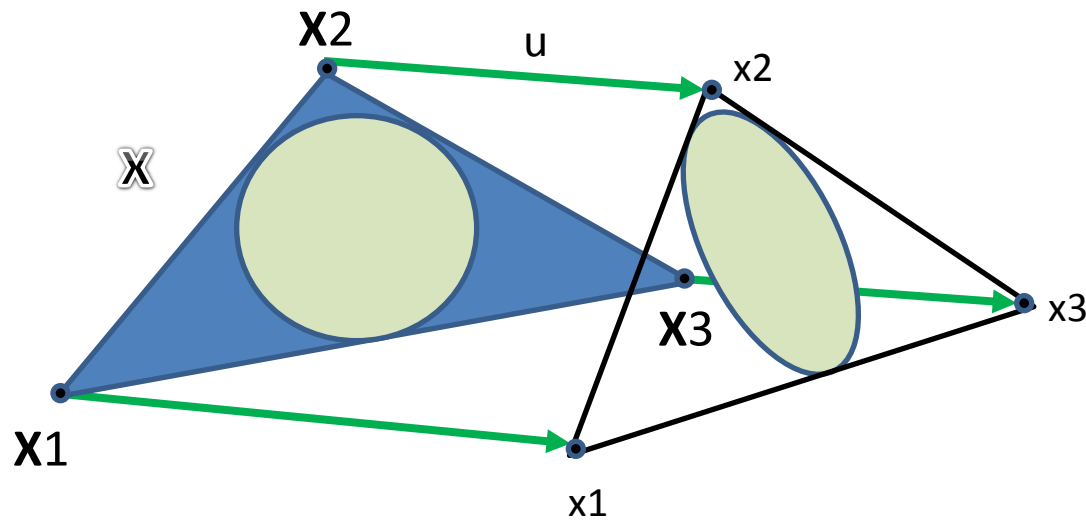


Marco teórico

Esfuerzo - Deformación



Marco teórico



Desplazamiento de tres estaciones GPS.

- \mathbf{X} coordenadas antes de la deformación.
- \mathbf{x} coordenadas después de la deformación
- \mathbf{u} Tensor de deformación

Marco teórico

Ecuación 1

$$u_i = t_i + e_{ij} X_j$$

Donde t_i es la constante de integración que representa la traslación de un punto en el origen. Donde e_{ij} es el gradiente de desplazamiento. u_i es el desplazamiento



Marco teórico

Ecuación 2

$$\mathbf{X}_i = \mathbf{t}_i + \mathbf{F}_{ij} \mathbf{X}_j$$

Donde \mathbf{t}_i es la constante de integración que representa la traslación de un punto en el origen. Donde \mathbf{F}_{ij} es el tensor gradiente de deformación.

x_i Distancia final entre estaciones

X_j Distancia inicial entre estaciones

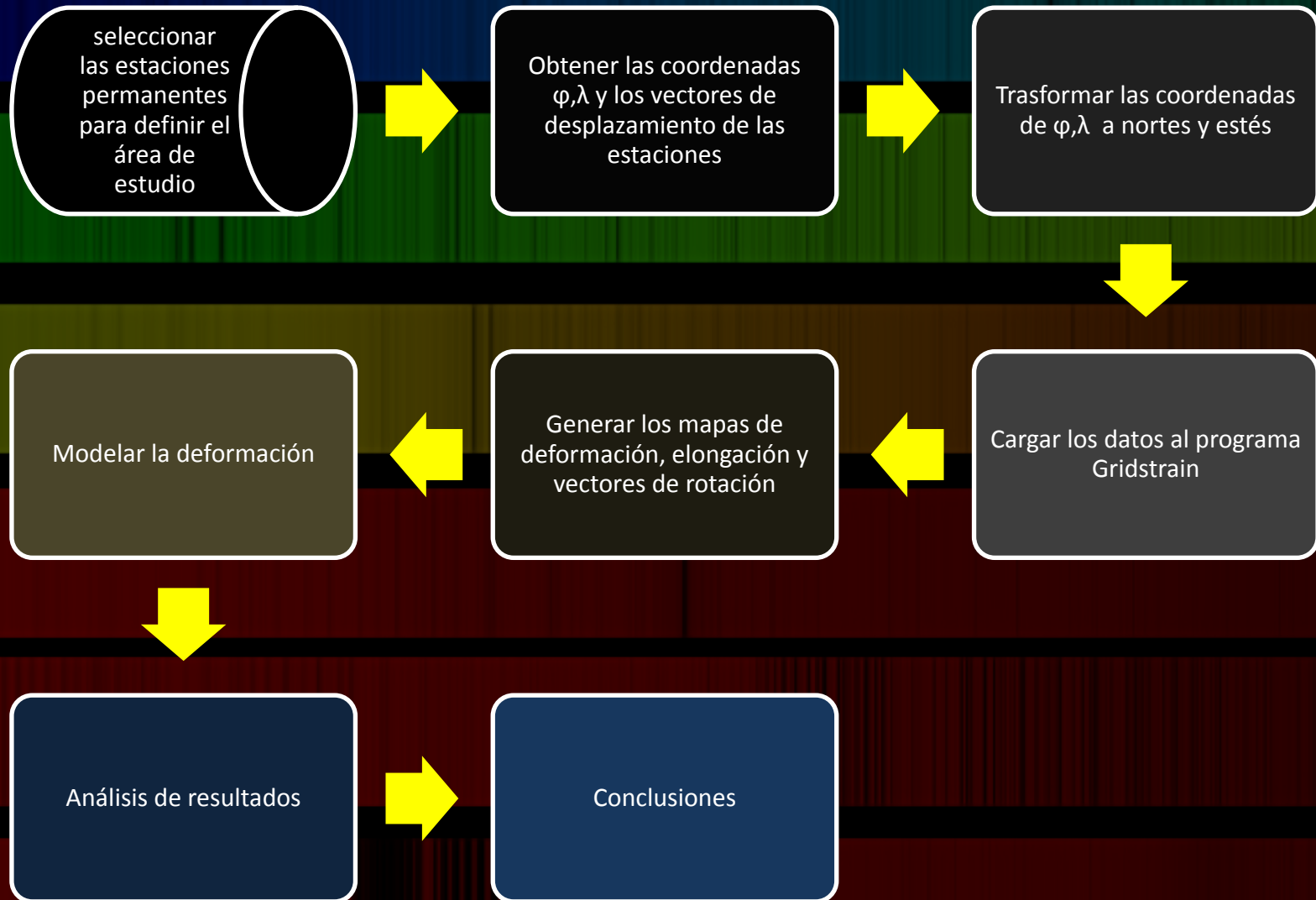
Marco teórico

$$\begin{pmatrix} 1_{u_1} \\ 1_{u_2} \\ 2_{u_1} \\ 2_{u_2} \\ \dots \\ \dots \\ n_{u_1} \\ n_{u_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1_{X_1} & 1_{X_2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1_{X_1} & 1_{X_2} \\ 1 & 0 & 2_{X_1} & 2_{X_2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2_{X_1} & 2_{X_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & n_{X_1} & n_{X_1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & n_{X_1} & n_{X_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ G_{11} \\ G_{12} \\ G_{21} \\ G_{22} \end{pmatrix}$$

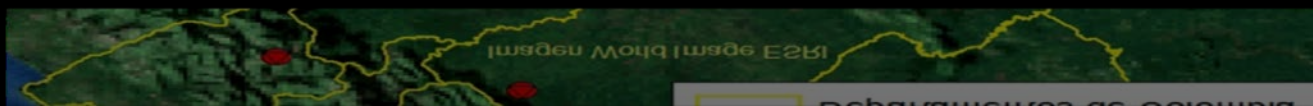
Para resolver el sistema de ecuaciones lineales se usa métodos de algebra lineal; la ecuación 1 y 2 debería estar dentro de 3 matrices, dos de las cuales contienen cantidades conocidas y una que contenga cantidades desconocidas.

$$\begin{pmatrix} \mathcal{J}^{\mathcal{X}^3} \\ \mathcal{J}^{\mathcal{X}^4} \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \mathcal{J} & 0 & 0 & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^1} & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^5} \\ \mathcal{J} & 0 & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^1} & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^1} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathcal{C}^{SS} \\ \mathcal{C}^{ST} \\ \mathcal{C}^{TS} \end{pmatrix}$$

Metodología



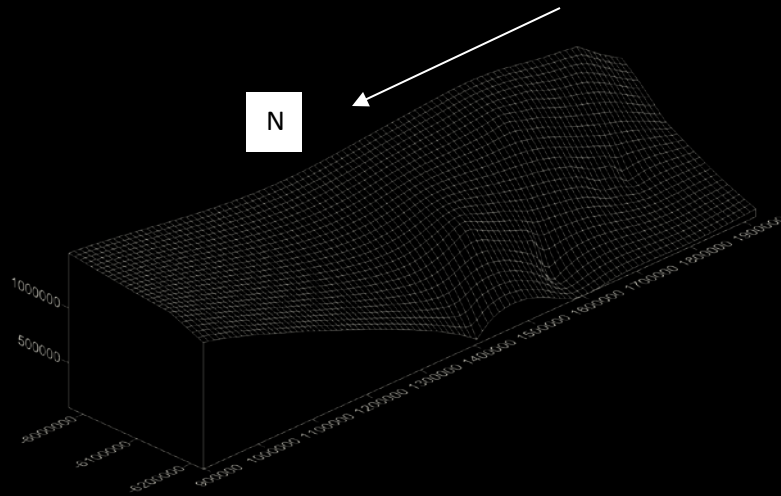
Área de estudio



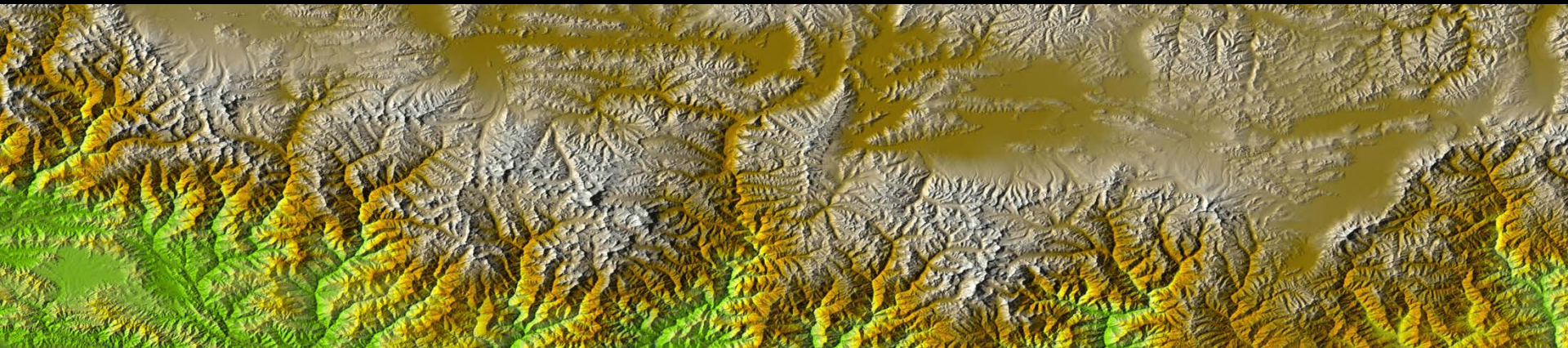
Datos de las estaciones

Estación	localización	estado	coordenadas elipsoidales		altura elipsoidal	coordenadas UTM	
			latitud	longitud		Norte	Este
ABCC 41939M001	Bogotá	activa	4.661234	-74.126922	2576.6001	596836.266	515277.768
ABPD 41041M001	Bogotá	activa	4.476565617	-74.09886805	2958.3754	599973.662	494866.468
ABPW 41940M001	Bogotá	activa	4.689569	-73.995115	2837.1211	611452.374	518429.798
APTO 41933S001	Apartado	activa	7.877786995	-76.63239165	45.2012	320035.01	871138.502
BERR 41910S001	Puerto Berrio	activa	6.492684	-74.41031	159.0692	565200.8	717705.371
BOGA 41901M002	Bogotá	inactiva	4.638681	-74.079949	2610.3695	602049.892	512791.126
BOGT 41901M001	Bogotá	activa	4.640072896	-74.08093954	2576.7233	601939.815	512944.86
BQLA 41934S001	Barranquilla	inactiva	11.019709	-74.849641	47.5584	516424.72	1218162.79
BUEN 41912S001	Buenaventura	activa	3.882022534	-77.01042061	57.7469	276754.682	429351.967
FLOR 41916S001	Florencia	activa	1.620262594	-75.60450194	314.2532	432759.53	179098.208
FQNE 41936S001	Fuquene	activa	5.467342746	-73.73480873	2602.0343	640159.156	604471.491
IBAG 41918S001	Ibagué	activa	4.428044243	-75.21472359	1216.0854	476177.429	489445.154
PERA 41905S001	Pereira	activa	4.792495373	-75.68950946	1496.7381	423539.488	529765.562
PSTO 41925S001	Pasto	activa	1.211710944	-77.27708044	2569.107	246607.137	134037.189
RIOH 41927S001	Riohacha	activa	11.51321574	-72.86970234	12.4723	732359.648	1273589.38
SAMA 41928S001	Santa Marta	activa	11.2252468	-74.18709359	22.7302	588739.684	1241007.81
TUNA 41930S001	Tunja	activa	5.53132847	-73.36388208	2831.8549	681241.203	611646.511
VALL 41906S001	Valledupar	activa	10.47396566	-73.25197027	208.4954	691319.978	1158347.23
VIVI 41931S001	Villavicencio	activa	4.07466127	-73.58399337	407.2746	657186.41	450518.152
YOPA 41932S001	Yopal	activa	5.321761047	-72.38899426	334.3519	789394.659	588843.353

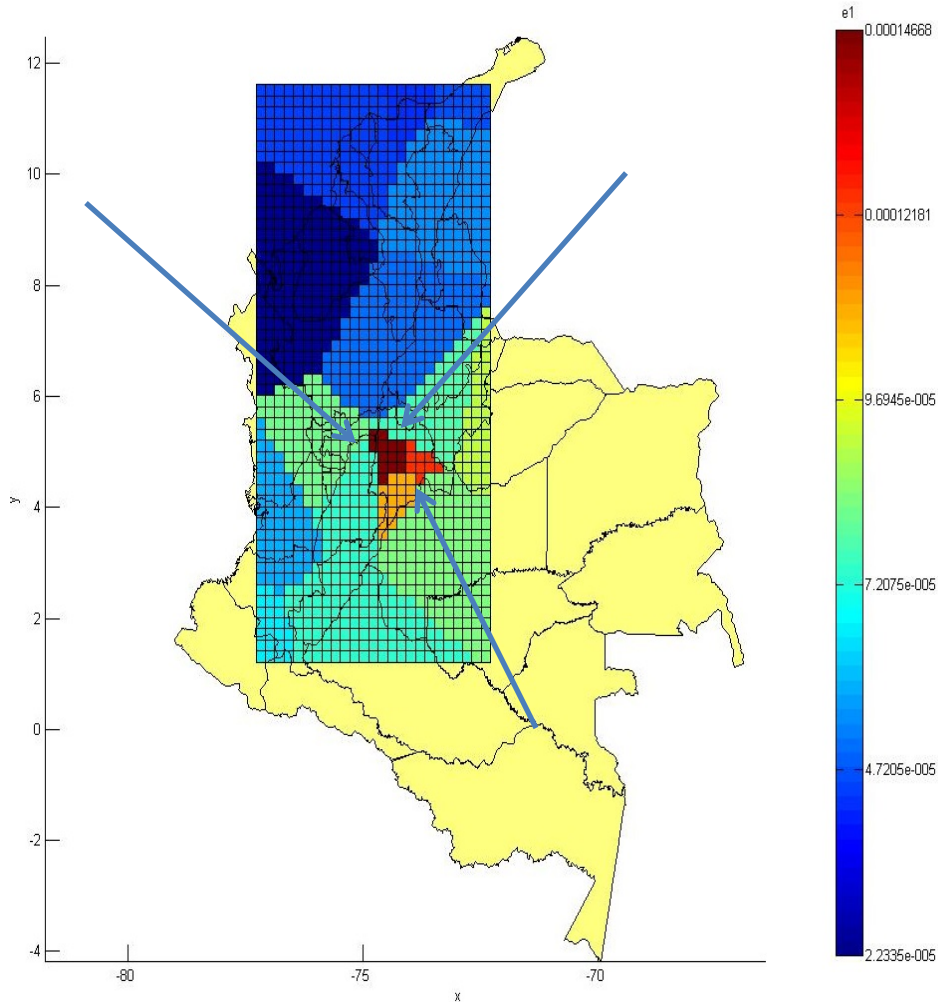
Elaboración del DEM



El DEM muestra que las deformaciones se están concentrando en la zona oriental de la muestra de datos, el eje x son las coordenadas este de las estaciones, el eje y son las coordenadas norte de las estaciones y el eje z son las cotas de las estaciones, este tipo de modelo sirve para confirmar que las coordenadas estén bien y análisis con respecto a las coordenadas de las estaciones de la zona de estudio.

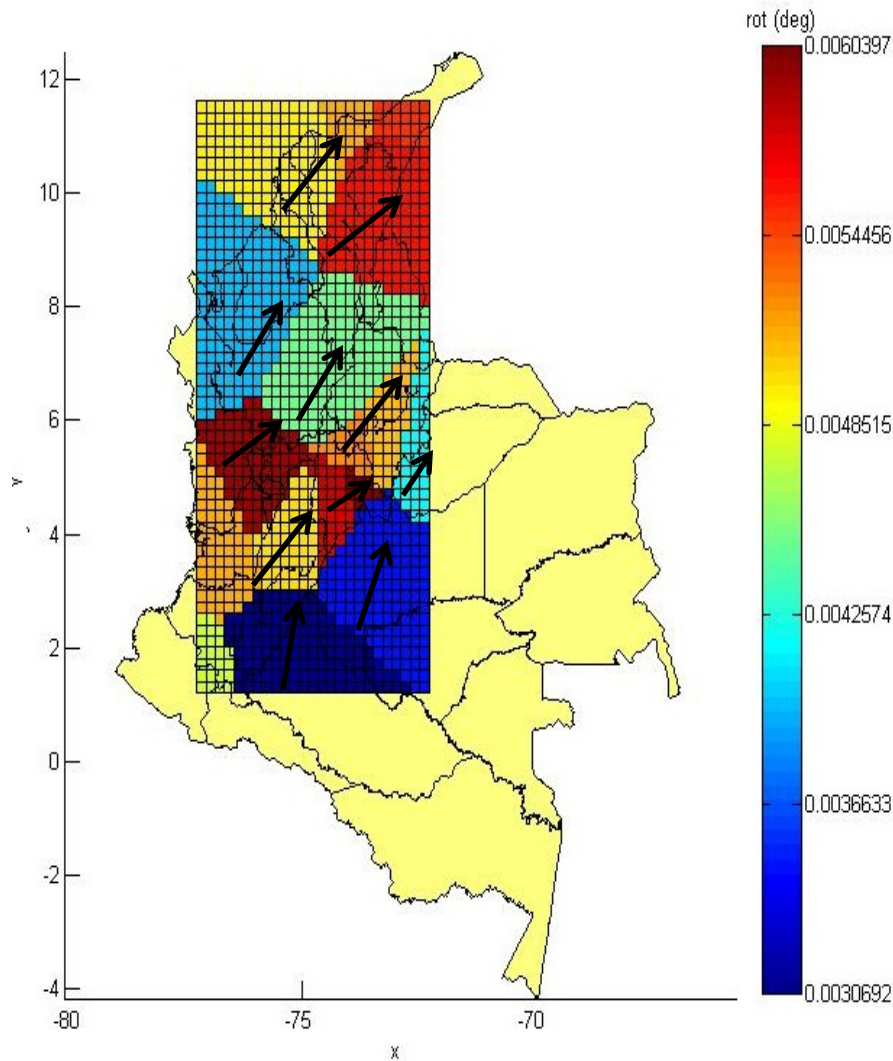


Elongación Máxima



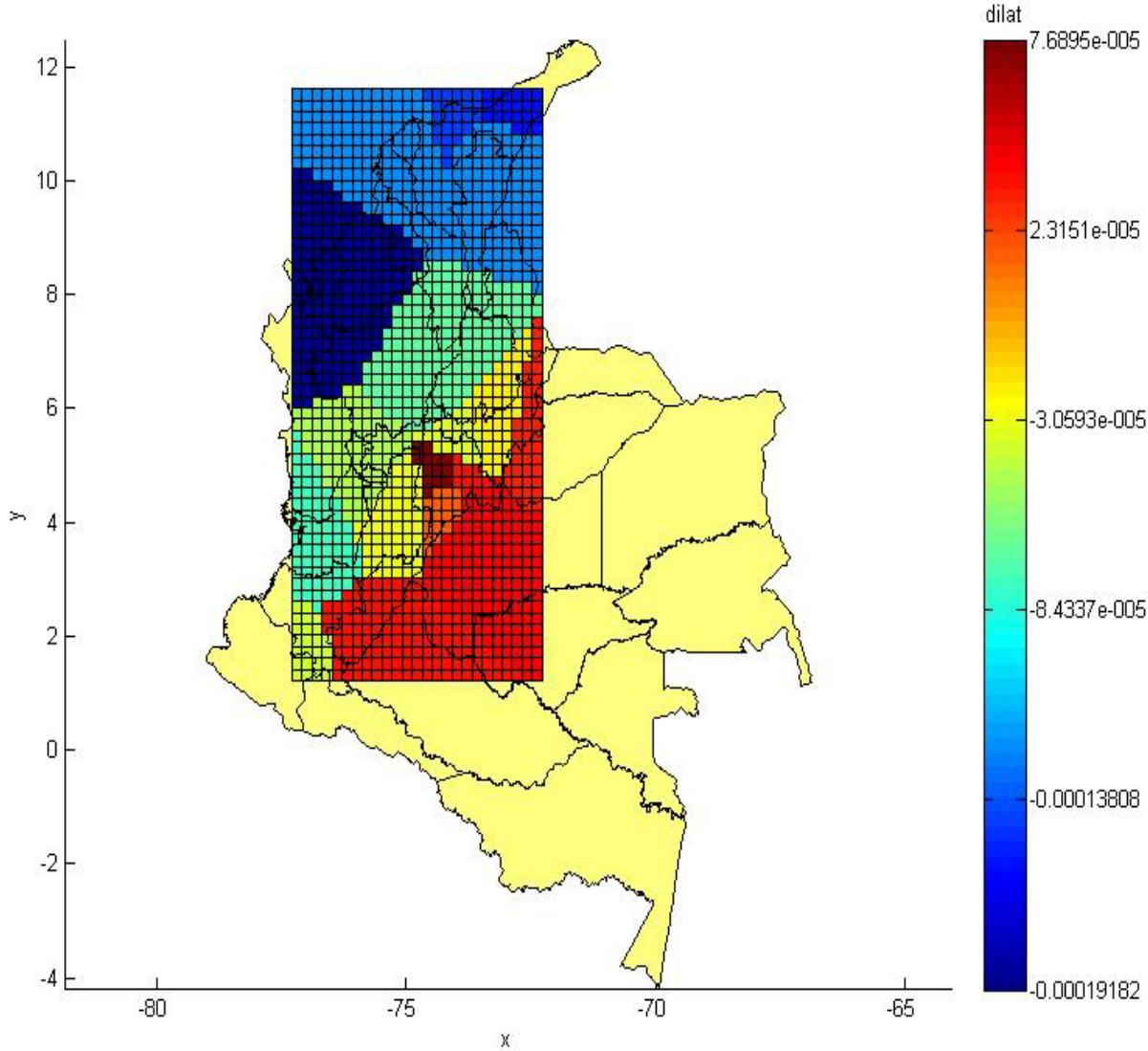
Se observa como la elongación aumenta, a medida que se acerca a las cordilleras central y oriental, la elongación está calculada en milímetros por años debido al vector que se uso para su cálculo. El color rojo muestra la máxima elongación el azul la mínima elongación con valores en un rango de $0.00014668-2.335e-5$ metros por año.

Vectores de rotación



se observa los vectores de desplazamiento con respecto al norte en sentido de las manecillas del reloj, indicando la dirección NE, la escala de color indica que zonas tienen un mayor o menor ángulo o azimut, la escala se encuentra entre los valores de $0^{\circ}0'19.6''$ y $0^{\circ}0'11.05''$ siendo estos el mayor y menor valor.

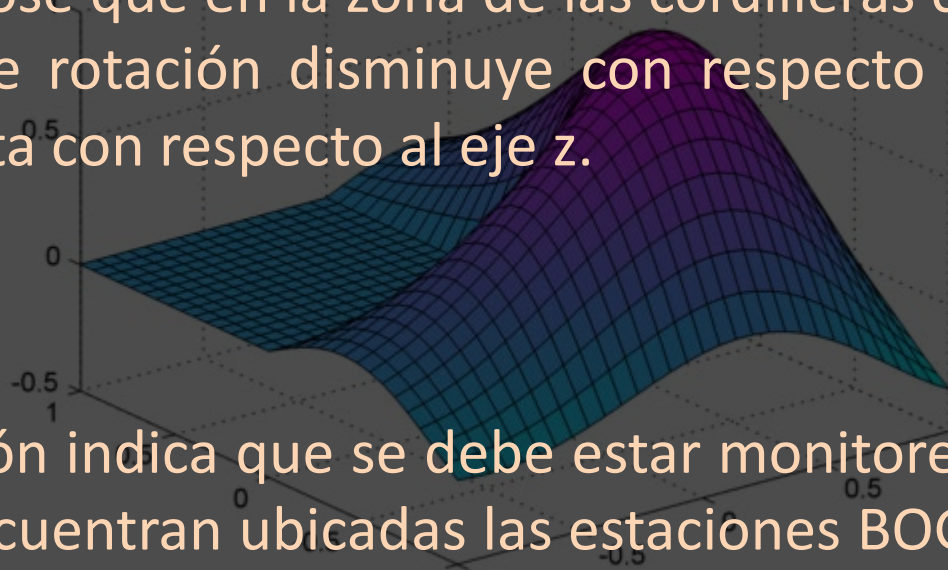
Dilatación



se observa el valor de la dilatación, siendo el rojo el mayor valor y el azul el menor esta escala esta en mm/año.

conclusiones

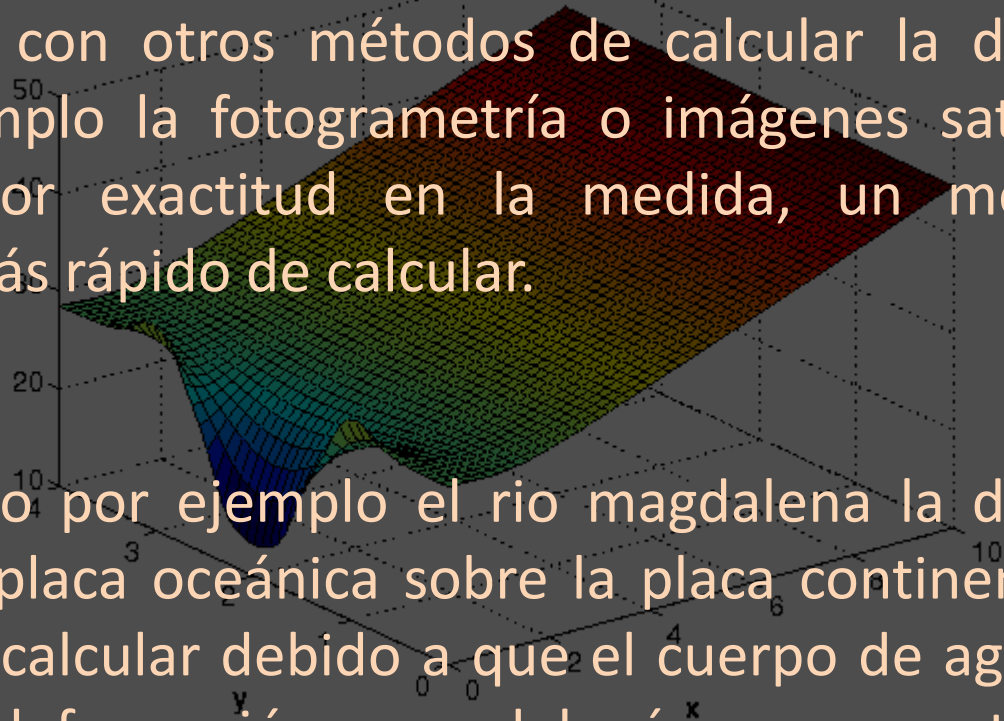
- Los vectores de rotación de las deformaciones indican que la placa continental se está deformando en dirección NE, con un ángulo máximo de $0^{\circ}0'19.6''$ y uno mínimo de $0^{\circ}0'11.05''$, y evidenciándose que en la zona de las cordilleras central y oriental su ángulo de rotación disminuye con respecto al norte debido pero aumenta con respecto al eje z.



- La elongación indica que se debe estar monitoreando la zona en donde se encuentran ubicadas las estaciones BOGT, BOGA, ABCC, ABPD Y ABPW debido a que se presenta la mayor deformación y movimiento de masas del terreno, afectando la población aledaña a la zona.

conclusiones

- La placa se está deformando un máximo de 7.6895mm/año, esta precisión se debe a que los GPS por manejar coordenadas infinitesimales permiten calcular las deformaciones al milímetro si se compara con otros métodos de calcular la deformación como por ejemplo la fotogrametría o imágenes satelitales, se evidencia mayor exactitud en la medida, un método más económico y más rápido de calcular.



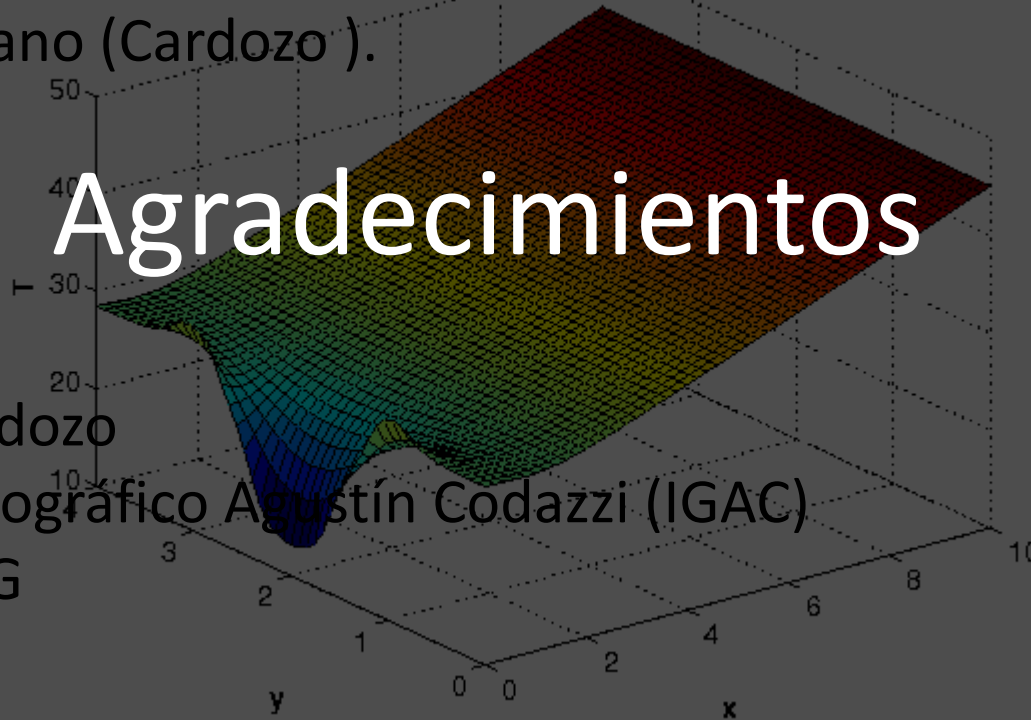
- En zonas como por ejemplo el rio magdalena la deformación que genera la placa oceánica sobre la placa continental es más complicada de calcular debido a que el cuerpo de agua altera la topografía y la deformación no se debería con respecto a la placa oceánica sino con respecto al cuerpo de agua.

Bibliografía

- Strutural Geology Algorithms (Cardozo).
- Computers and geosciences (Cardozo).
- Strain and rotation rate from GPS in Tibet, Anatolia, and the Altiplano (Cardozo).
- SIRGAS.ORG

Agradecimientos

- Néstor Cardozo
- Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
- SIRGAS.ORG





**Graci
as**