

**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.



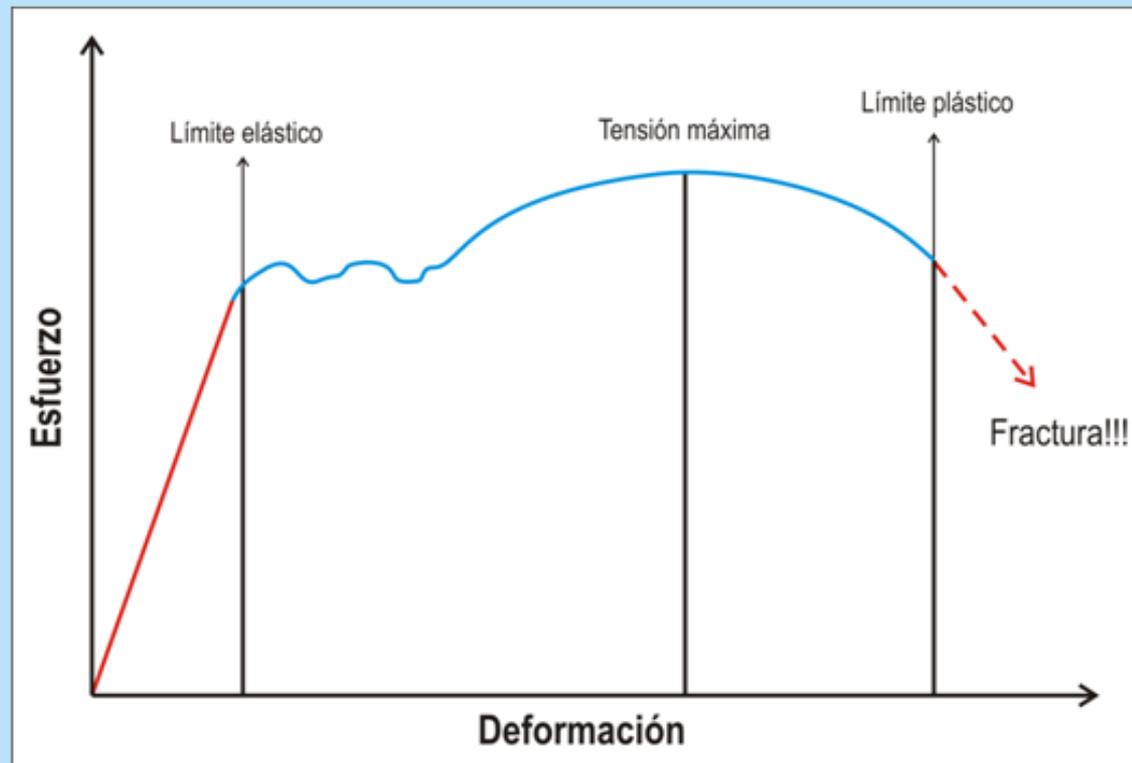
# Marco teórico

- 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.

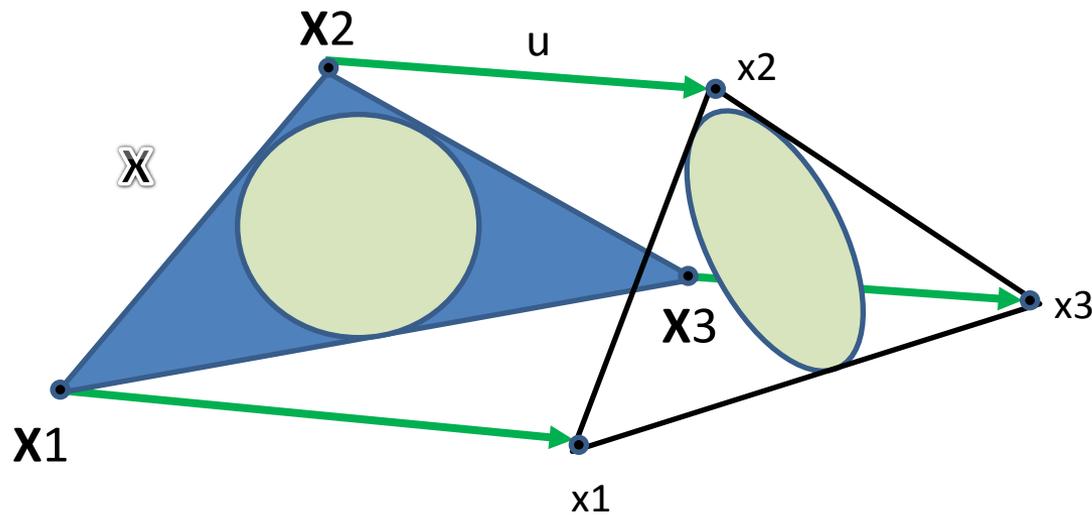


# Marco teórico

## 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

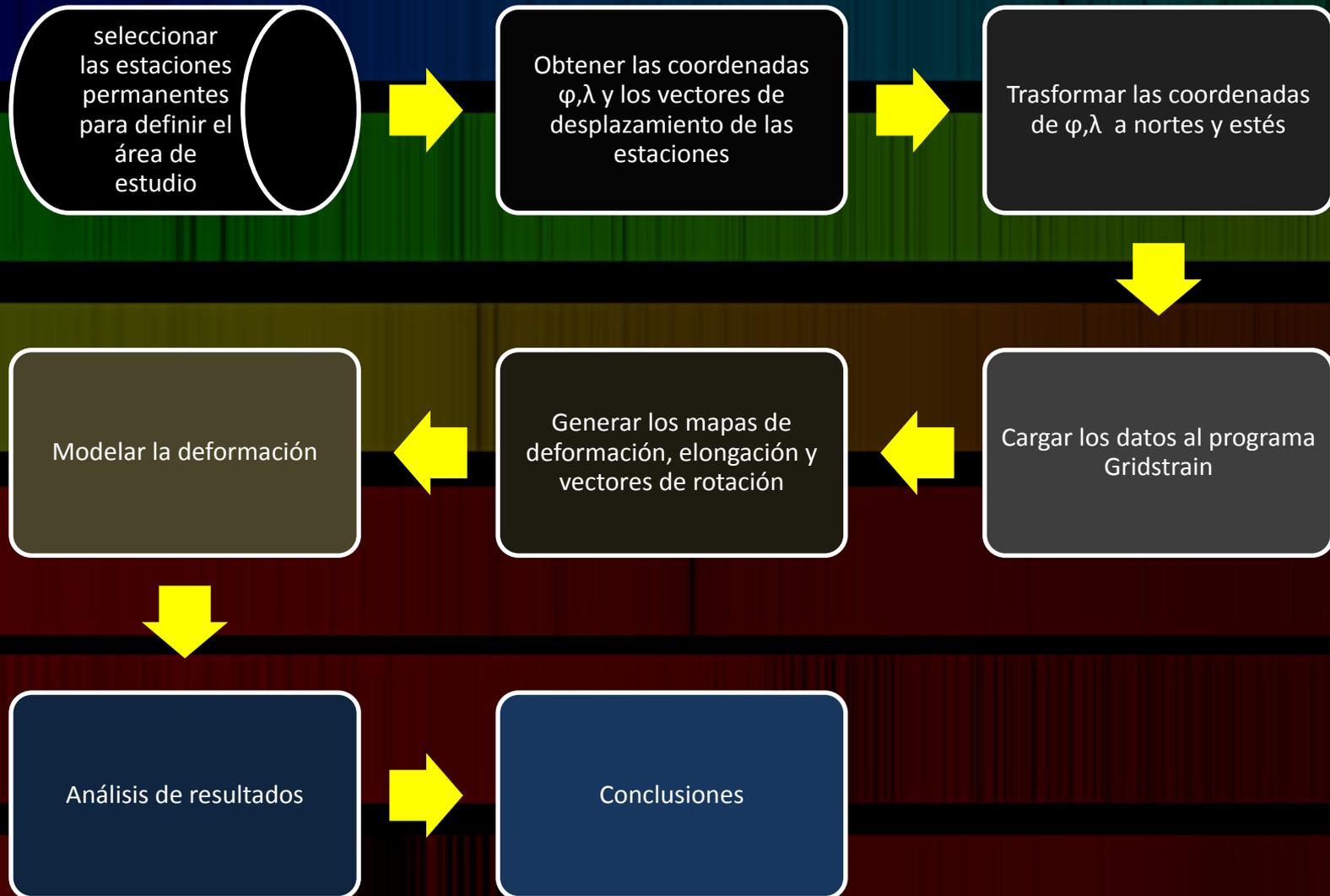
# Marco teórico

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

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.

$$\begin{pmatrix} \mathcal{J}^{\mathcal{X}^1} \\ \mathcal{J}^{\mathcal{X}^2} \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & \mathcal{J} & 0 & 0 & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^1} & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^2} \\ \mathcal{J} & 0 & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^1} & \mathcal{J}^{\mathcal{X}^2} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathcal{C}^{SS} \\ \mathcal{C}^{ST} \\ \mathcal{C}^{TS} \end{pmatrix}$$

# Metodología



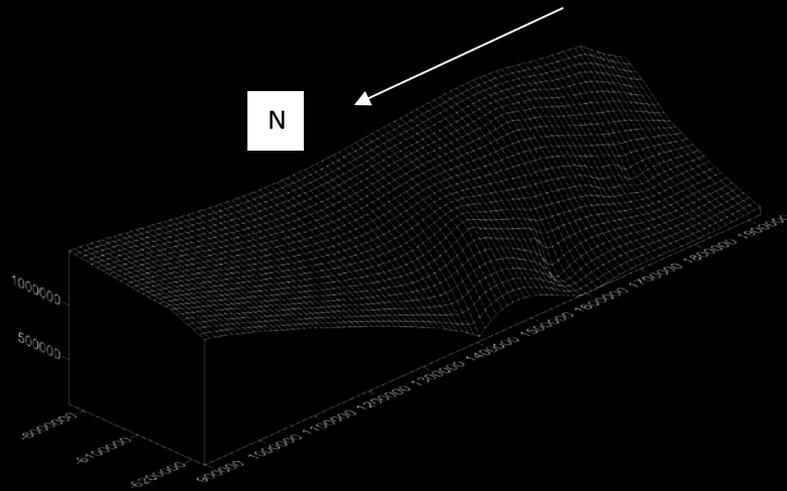
# Área de estudio



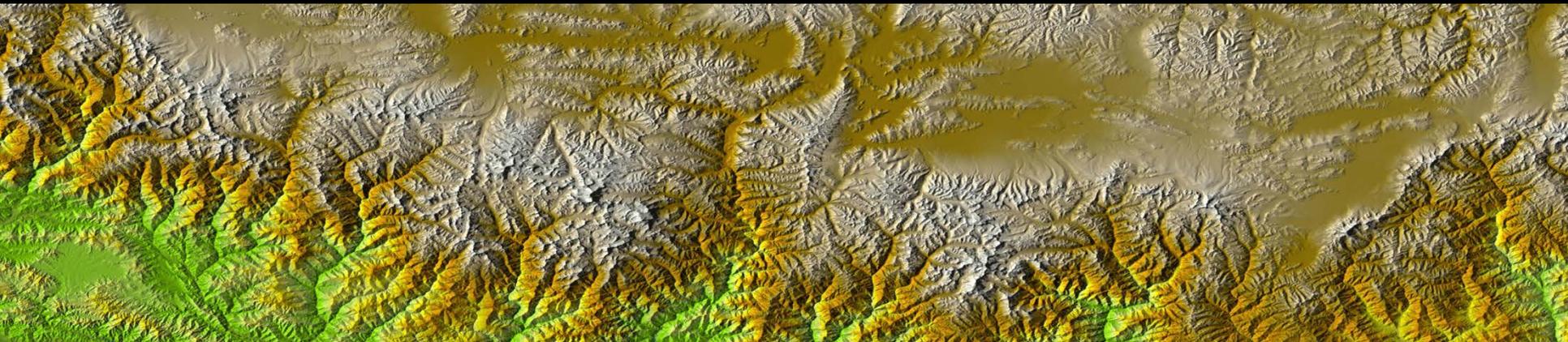
# Datos de las estaciones

| 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 |

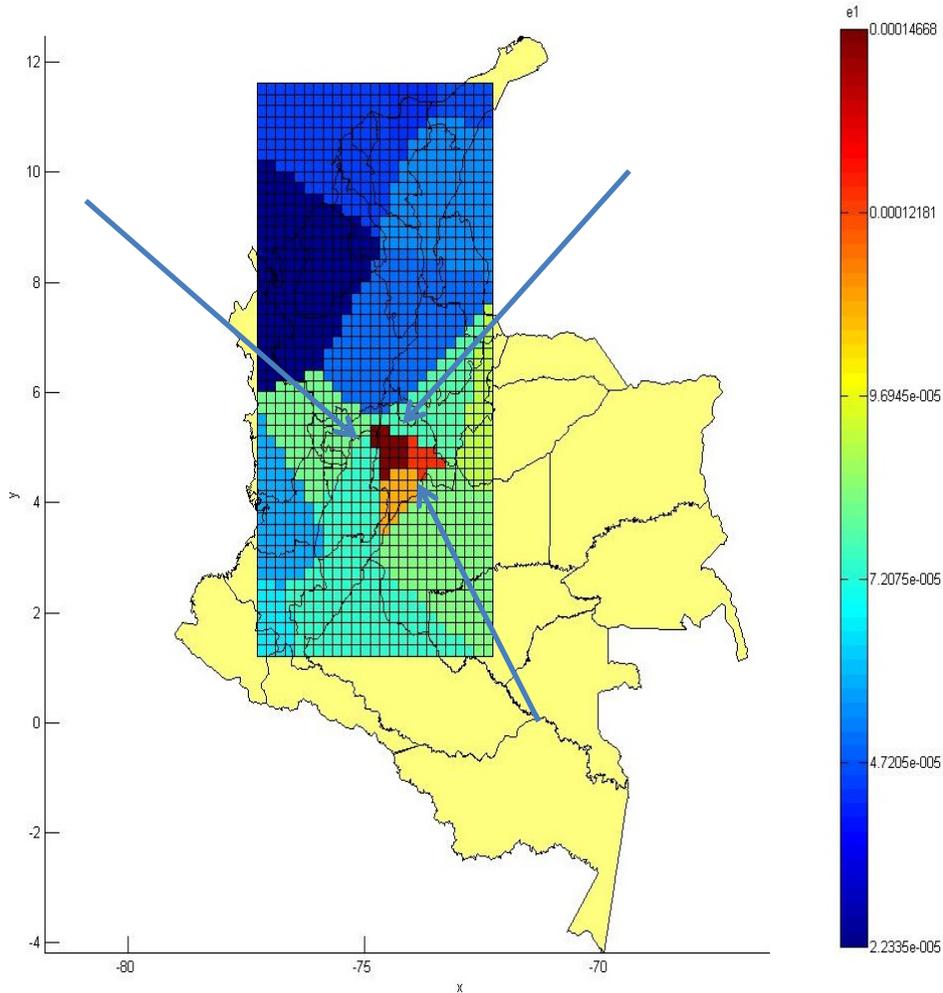
# Elaboración del DEM



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.

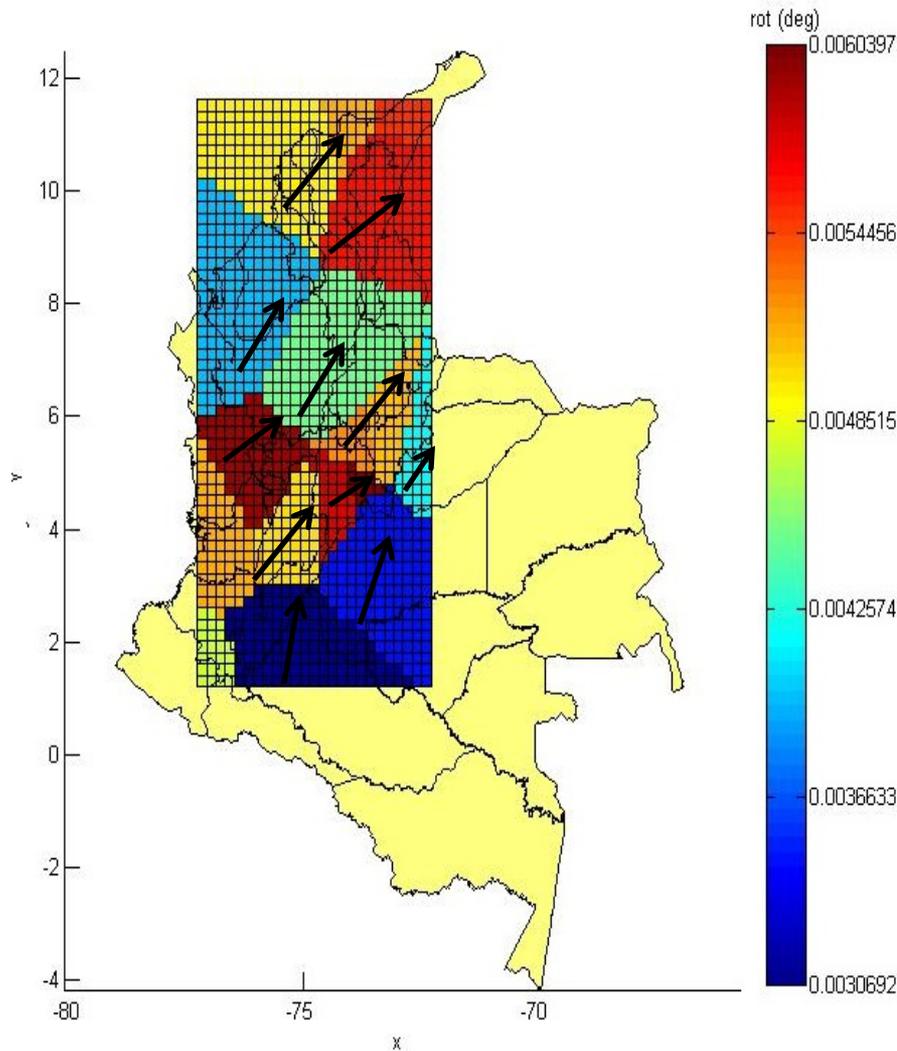


# Elongación Máxima



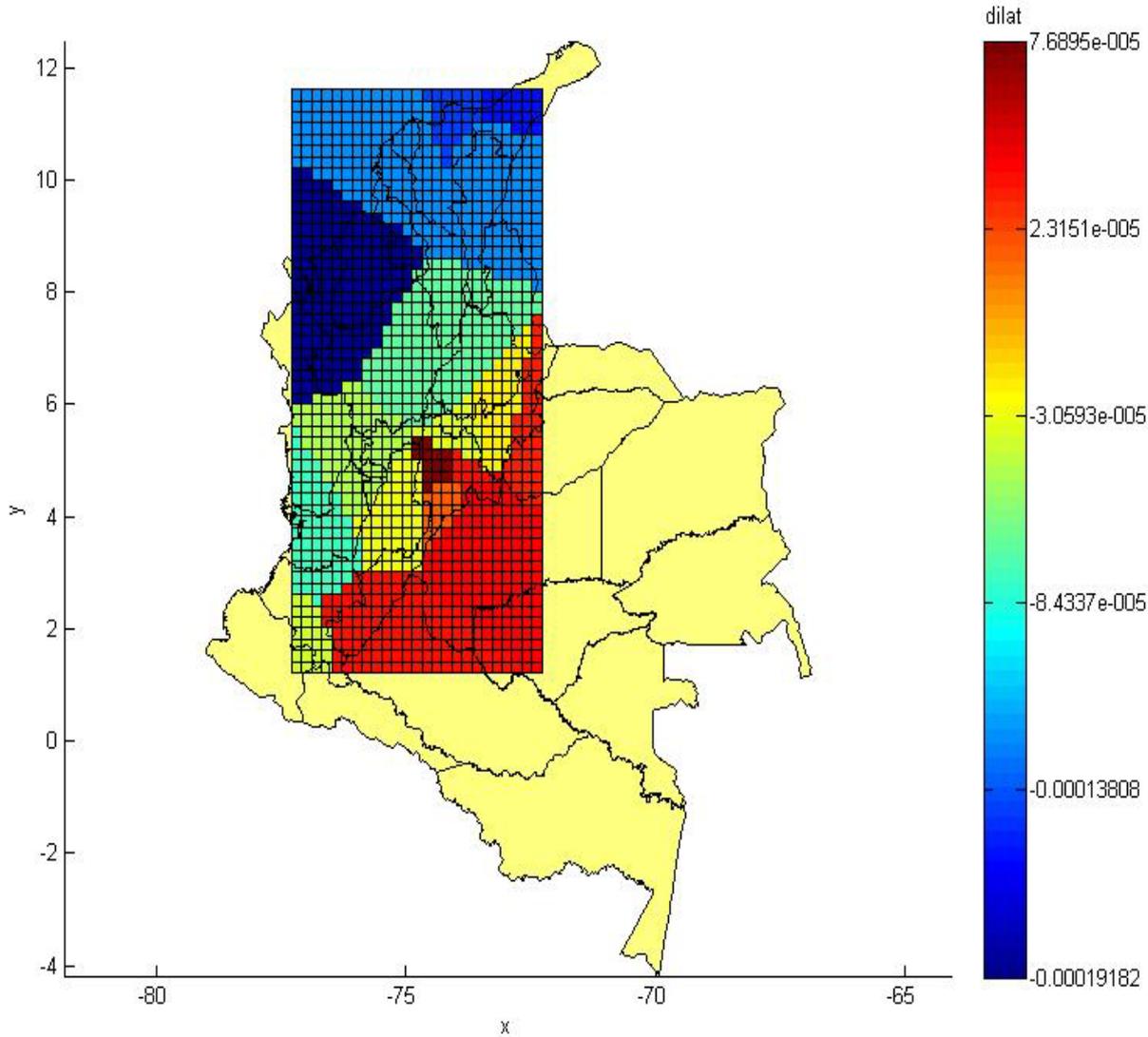
Se observa como la elongación aumenta, a medida que se acerca a las cordilleras central y oriental, la elongación está calculada en milímetros por años debido al vector que se uso para su cálculo. El color rojo muestra la máxima elongación el azul la mínima elongación con valores en un rango de  $0.00014668-2.335e-5$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

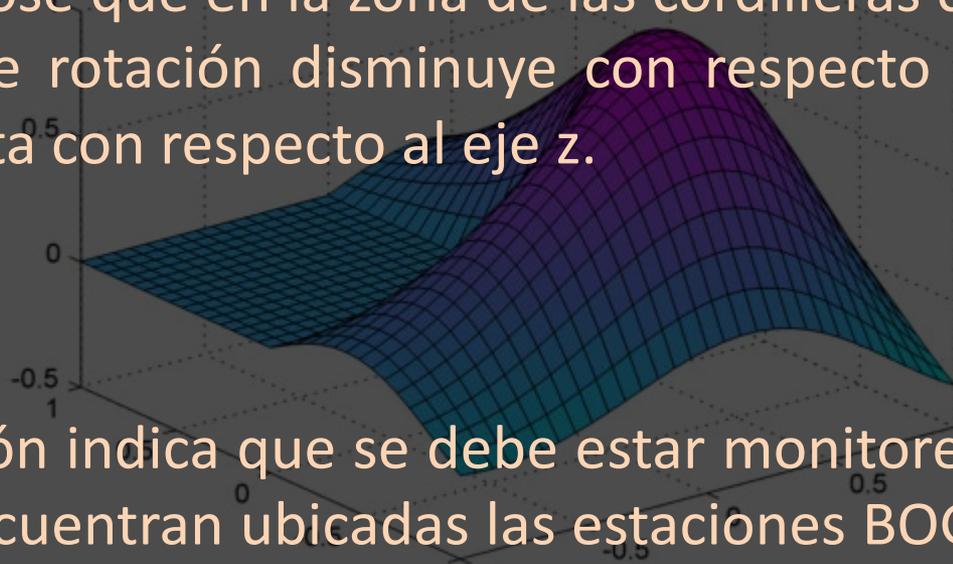
# Dilatación



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

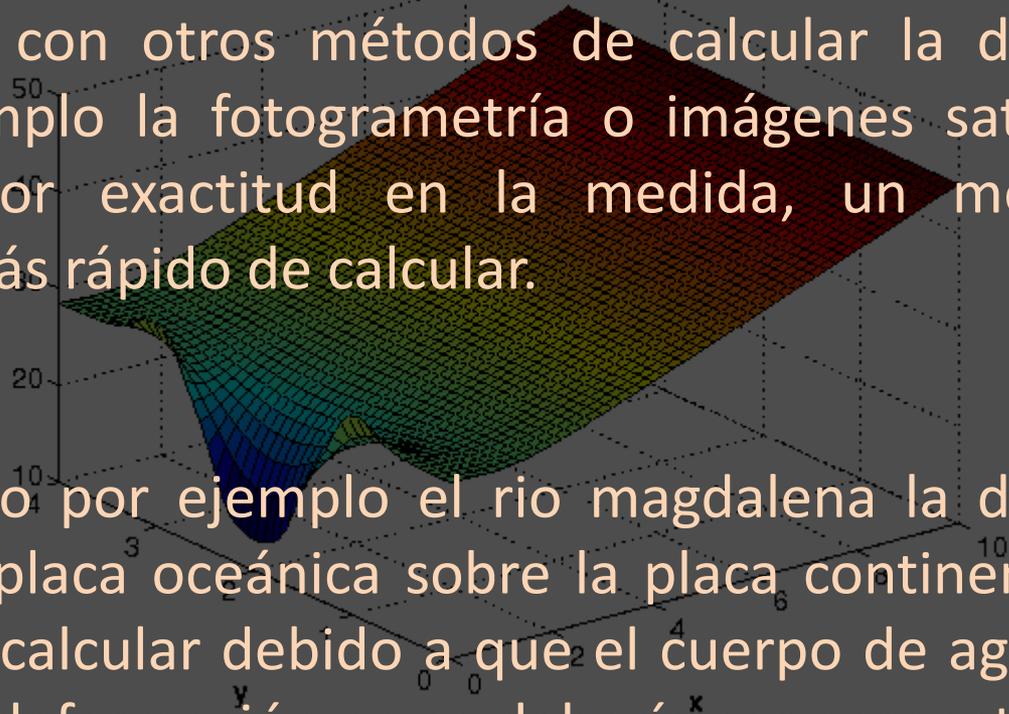
- Los vectores de rotación de las deformaciones indican que la placa continental se está deformando en dirección NE, con un ángulo máximo de  $0^{\circ}0'19.6''$  y uno mínimo de  $0^{\circ}0'11.05''$ , y evidenciándose que en la zona de las cordilleras central y oriental su ángulo de rotación disminuye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



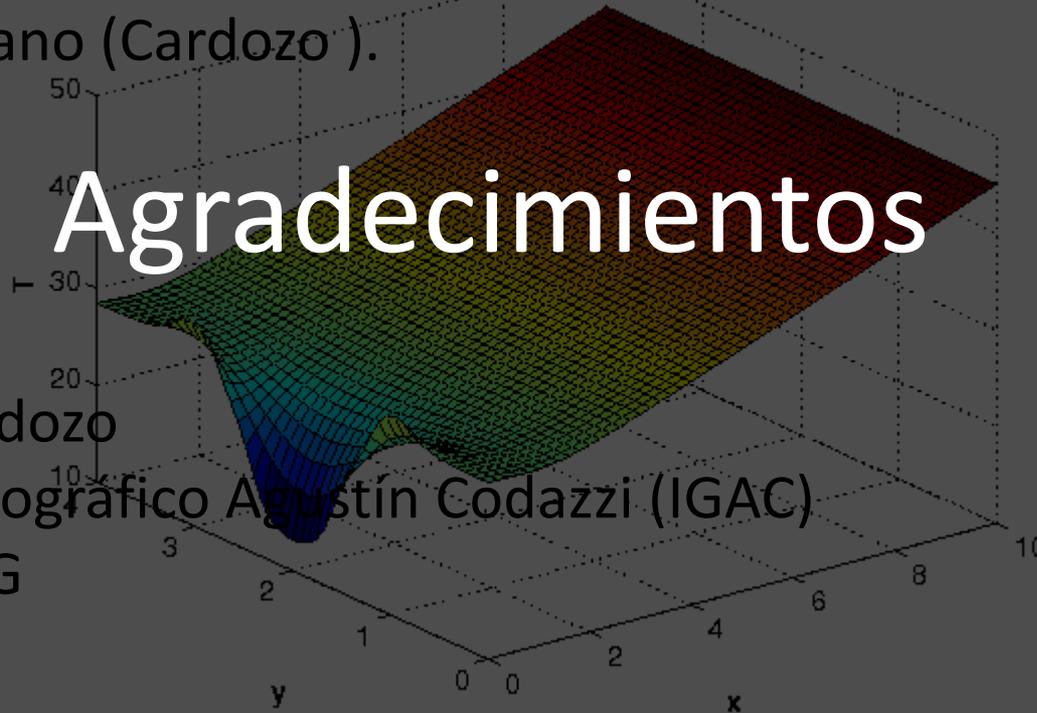
- En zonas como por ejemplo el rio magdalena la deformación que genera la placa oceánica sobre la placa continental es más complicada de calcular debido a que el cuerpo de agua altera la topografía y la deformación no se debería con respecto a la placa oceánica sino con respecto al cuerpo de agua.

# 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**