

Capítulo 4

METODOLOGÍA

4.1. Zona de Estudio

La región de estudio consta de la zona romboidal delimitada por las coordenadas geográficas: **A**(-103.34,17.16), **B**(-98.85,15.52), **C**(-97.04,18.01) y **D**(-101.53,19.64) ubicada en el Estado de Guerrero en el Suroeste Mexicano, ver figura 4.1 (A).

El catálogo empleado consta de 6327 eventos con magnitudes mayores a $M=3.0$, profundidades entre $Z=0$ Km y $Z=100$ Km. y rms entre $r=0$ y $r=1.0$ segundos.

Para la división espacial se considero una malla en forma de rombo con 25 celdas equiespaciadas. La orientación de la malla es la siguiente, el lado mas largo es paralelo a la trinchera y el otro es paralelo a la dirección de convergencia relativa de la placa de Cocos respecto a la placa Norteamericana [DeMets et al., 1994]. ver figura 4.1 (B).

El área de las celdas corresponde con la región del área de ruptura de los sismos históricos para esta zona: 22 de Febrero de 1943 $M_s = 7.7$ [Singh et al., 1984], 28 de Julio de 1957 $M_w = 7.8$ [Singh and Mortera, 1991], 14 de Marzo de 1979 $M_s = 7.6$ [Valdés-González and Meyer, 1996] y 21 de Septiembre de 1985 $M_s = 7.6$ [Valdés-González and Novelo-Casanova, 1998]

En un principio se pensó que la orientación de la malla fuese de la siguiente forma, el lado más largo, paralelo a la trinchera y el segundo perpendicular a la misma, sin embargo, se dispuso de la forma mencionada arriba, una porque el área de ruptura de los sismos que estamos empleando como referencia son paralelas a la trinchera, y segundo porque la dirección de convergencia de las placas que interactúan en el estado de Guerrero puede proporcionar un sentido físico al análisis que estamos proponiendo. La diferencia entre estas dos enfoques se refleja en un ángulo de 17 grados.

En promedio la geometría y las dimensiones de las celdas son, romboides de 100 Km. x 60 Km. x 20 Km. Con centro en la brecha de Guerrero y propagada a ambos extremos hasta cubrir la totalidad del estado.

Para obtener las coordenadas de cada celda se empleo el programa de interpolación UNAMALLA [UNAM, 2010], diseñado en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Para facilitar el análisis del catálogo se dividió el área de estudio en 5 grandes regiones paralelas al lado mas corto de la malla propuesta. Resultando las siguientes:

- R1: C01, C06, C11, C16 y C21
- R2: C02, C07, C12, C17 y C22
- R3: C03, C08, C13, C18 y C23
- R4: C04, C09, C14, C19 y C24
- R5: C05, C10, C15, C20 y C25

4.2. Datos

Los datos con que contamos son los siguientes:

Catalogo proporcionado por el SSN, se extrajo de la base de SEISAN[Ottemöller et al., 2011] con la utilidad *select* del mismo paquete de programas.

En la figura 4.2 (A) se muestra la sismicidad para la zona de estudio con una paleta de colores acorde a la profundidad (colores cálidos representan eventos someros y colores fríos eventos más profundos) y el tamaño del símbolo proporcional a la magnitud.

En términos generales y con base en su distribución espacial se distinguen 3 grandes zonas de sismicidad:

- Una asociada a la Costa, con profundidades medias entre 0-40 Km.
- Una que sigue la Cuenca del Río Balsas, con profundidades medias entre 40-80 Km.
- Y una más (somera 0-20 Km.) en la parte central de la Cuenca del Balsas.

La sismicidad asociada a la costa está presente en las primeras 10 celdas (inferiores), y es menos marcada en los límites entre los estados de Guerrero y Michoacán, sufriendo un ligero defase hacia el continente.

Por su parte la sismicidad asociada a la cuenca del Balsas se encuentra distribuida en las 15 celdas restantes (especialmente en las diez ultimas), finalmente la tercera zona, se encuentra en la parte media de la región R3. Cabe destacar que las celdas 11-15 (zona central de la malla

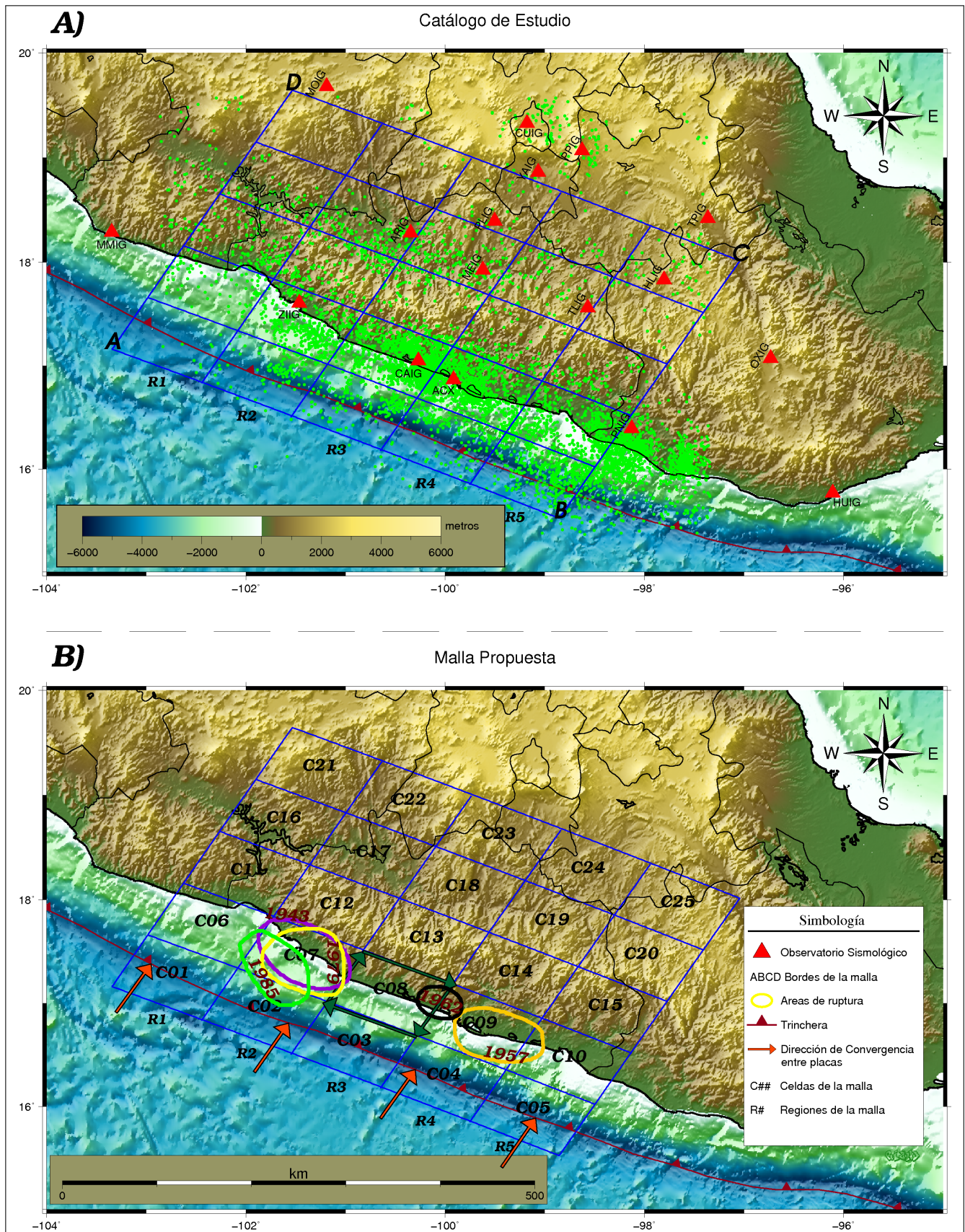


Figura 4.1: (A) Región de Estudio. En triángulos rojos se muestran las estaciones que el SSN emplea en la determinación rutinaria de hipocentros para el estado de Guerrero. En puntos verdes el catálogo empleado en este trabajo. Nótese como la actividad sísmica en la costa es mucho mayor que en otras regiones. (B) Áreas de ruptura de sismos históricos para la zona de Guerrero [Kostodoglov and Pacheco, 1999]. Se etiqueta cada celda, como referencia.

propuesta) juegan un papel de transición, ya que da la impresión que la sismicidad es nula en esta franja.

Se puede observar también que conforme nos acercamos a la plataforma continental, la profundidad de los hipocentros aumenta. La sismicidad dibuja como la placa se inclina cerca de la costa y se tuerce y mete por debajo de los volcanes en el estado de Veracruz.

Sin embargo surge una pregunta, ¿este arreglo que observamos es constante?, es decir, ¿durante estos 12 años, la sismicidad se ha desarrollado en estas 3 franjas?

Inflexiblemente no podemos responder esta pregunta, de ahí el interés en realizar esta investigación.

En la determinación rutinaria de la localización de eventos sísmicos el Servicio Sismológico Nacional utiliza el paquete de Programas SEISAN cuyo algoritmo de localización es HYPOCENTER [Ottemöller et al., 2011].

Para validar nuestros datos se decidió llevar a cabo la relocalización del catalogo mediante el algoritmo de Doble Diferencia [Waldhauser and Ellsworth, 2000]. Vease 3.4.

En el gráfico 4.2 (B) se observa el mapa de relocalización de hipocentros para la totalidad de los eventos.

Nótese que las 3 grandes zonas de sismicidad antes mencionadas se marcan de forma importante. Como es de esperarse el numero de eventos disminuye ya que el algoritmo descarta pares de eventos que están pobremente ligados a otros pares de eventos.

Para está ventana se tienen 4133 eventos, lo que corresponde con el 65% del catalogo de estudio. Lo que implica una pérdida del 35% de información.

No es un resultado excelente, pero para fines de comparación se considera satisfactorio.

Veremos más adelante que en efecto esta tendencia en la sismicidad se mantiene a lo largo de las tres ventanas de tiempo analizadas, y que además se definen subregiones dentro de estas.

En la figura 4.3 se observan las secciones correspondientes al mapa de hipocentros para el catálogo de estudio antes y después de efectuar la relocalización. Para las secciones se dividió la zona de estudio en 5 regiones con 5 celdas cada una en dirección de la convergencia relativa entre placas. La zona central corresponde con la Brecha Sísmica de Guerrero.

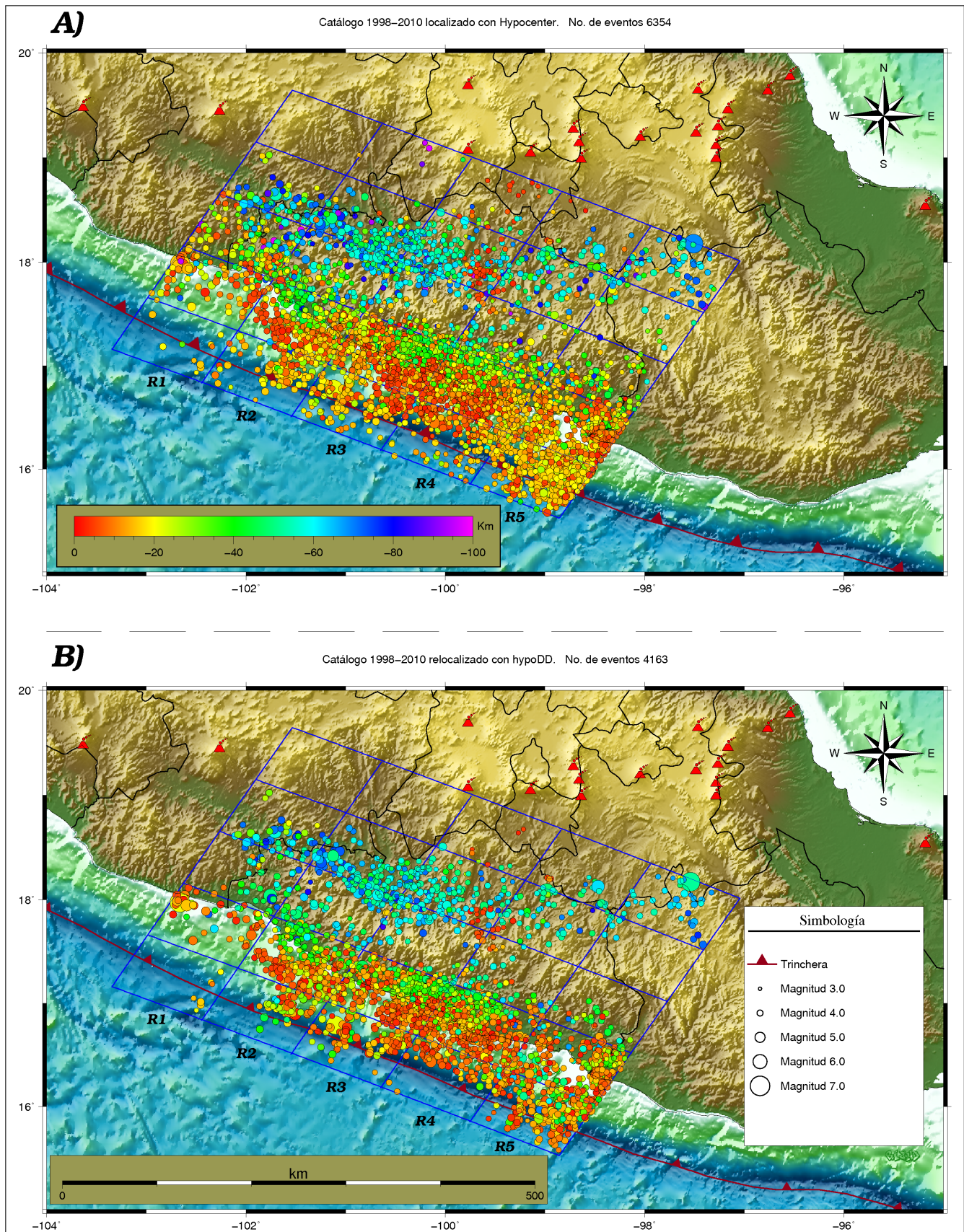


Figura 4.2: (A) Zona de Estudio. En forma visual y sin hacer ningún análisis se distinguen 3 grandes regiones de sismicidad. La Costera, la que sigue la Cuenca del Río Balsas y una en la Zona Central de la misma cuenca. (B) Hipocentros relocalizados con el algoritmo de doble diferencia hypoDD. Se agrupan y definen de mejor forma las tres zonas sísmicas mencionadas en el apartado anterior.

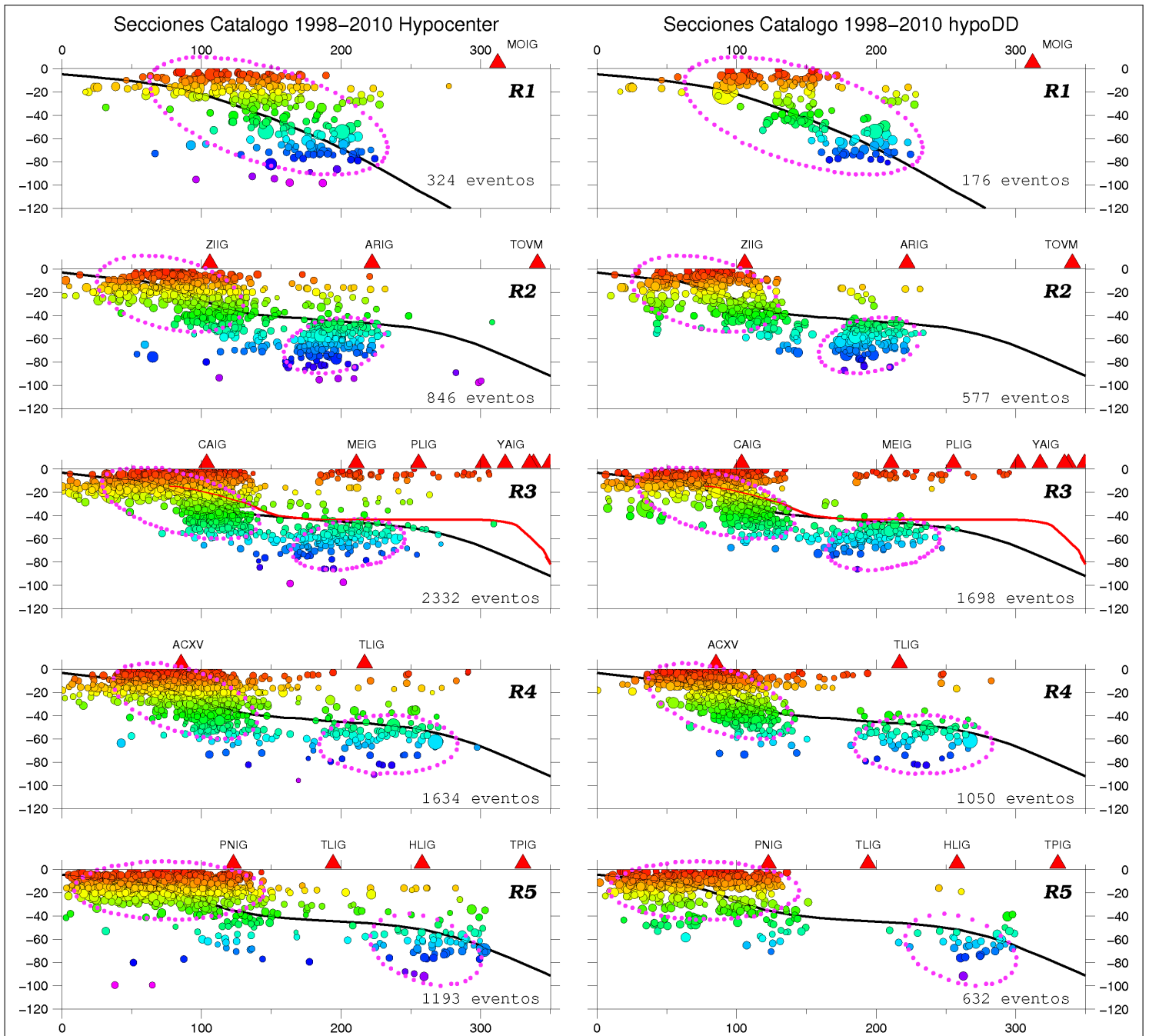


Figura 4.3: **(A)** Secciones para el mapa de hipocentros. En línea negra sólida, la geometría de subducción propuesta por [Pardo and Suárez, 1995] y en línea roja sólida la geometría propuesta por [Pérez-Campos et al., 2008]. En triángulos rojos las proyecciones de los observatorios sísmológicos de la Red Sísmica Nacional. En la región R1 se observa un “defase” en la sísmicidad, visualmente la sísmicidad comienza más hacia el continente que las regiones restantes. Con fines exclusivos de comparación y de forma completamente arbitraria en color magenta se ha trazado en forma aproximada el contorno que sigue la sísmicidad para la ventana dos de análisis. Véase 5.1.2 **(B)** Secciones para el catálogo relocado con hypoDD. Por la naturaleza del algoritmo de doble diferencia en este gráfico las secciones están más limpias y los eventos aislados son pocos.

4.3. Ventana Temporal

En lo que respecta a la ventana temporal, se definieron tres ventanas de tiempo con base en la ocurrencia de los tres sismos lentos más importantes reportados para el estado de Guerrero, [Lowry et al., 2001], [Kostoglodov et al., 2003], [Franco et al., 2005], [Larson et al., 2007] .

Cabe mencionar en esta parte que la ventana de tiempo es arbitraria, y que en un principio se pensó en hacer el análisis por años, sin embargo la escala de tiempo que empleamos los seres humanos no necesariamente corresponde con la dinámica del planeta, por eso se eligió el inicio de estos fenómenos, ya que al parecer son cíclicos, con tasas de recurrencia de 4.5 años [Cotte et al., 2009], buscando así un significado físico para la ventana de tiempo.

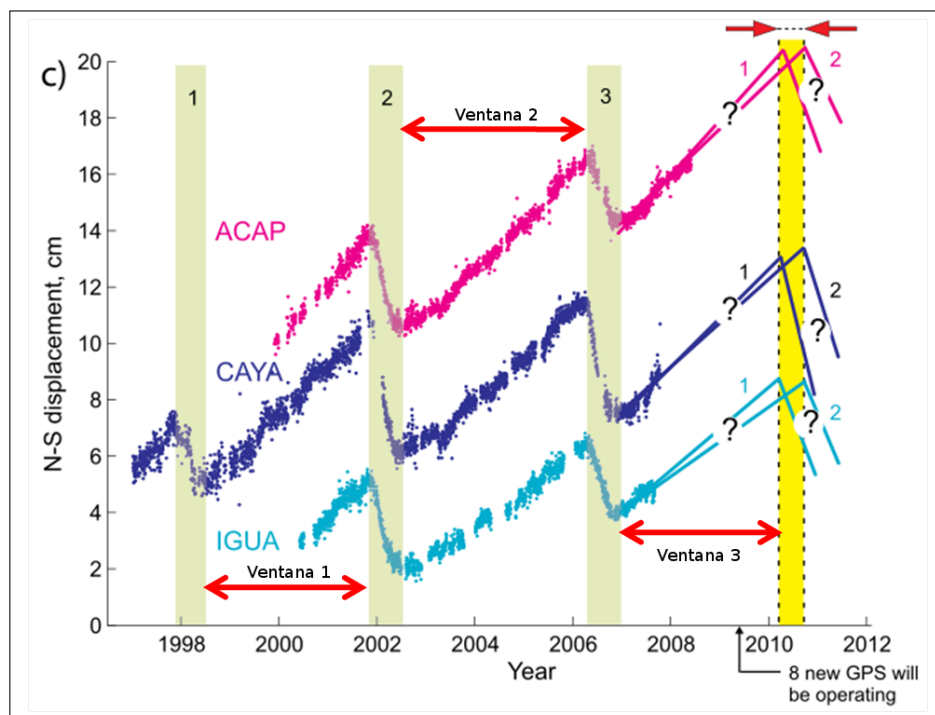


Figura 4.4: Gráfico que muestra las series de tiempo GPS para los tres Sismos Lentos más importantes reportados para el Estado de Guerrero. En este trabajo se empleó el tiempo interevento entre cada SL, que corresponde con una ventana de 4.5 años en promedio. Tomado de [Cotte et al., 2009].

Las tres ventanas de tiempo propuestas son:

- 1998-03-01 00:00:00 UTC - 2001-10-01 00:00:00 UTC
- 2001-10-01 00:00:00 UTC - 2006-04-01 00:00:00 UTC
- 2006-04-01 00:00:00 UTC - 2010-01-01 00:00:00 UTC

4.4. Programa FORTRAN para la Selección de Eventos

Una vez que se extrajo el catalogo de la base de **SEISAN** [Ottemöller et al., 2011] en formato Nórdico, se procedió a convertir el catálogo a un formato legible para el lenguaje Fortran, con la utilidad *report* del mismo paquete de programas

Hecho esto, se presento el problema de hacer la selección espacial y temporal de los eventos para su análisis.

Para el primer problema, se considero el caso de coordenadas planas, y no tomado en cuenta la forma esférica del planeta, ya que nos encontramos en el punto límite (500 km), para no considerar el caso tridimensional [Frez, 2004]

Como nuestra área es romboidal, se formulo el caso de cuatro rectas, se obtuvo la ecuación general de cada una: $AX+BY+C=0$. Por la geometría analítica básica sabemos que si un punto esta contenido en una recta al sustituir en su ecuación general se obtendrá cero, sin embargo si ocurre lo contrario, el punto de análisis está por debajo o por encima de la recta, acorde a la pendiente de la misma. Ver figura 4.5

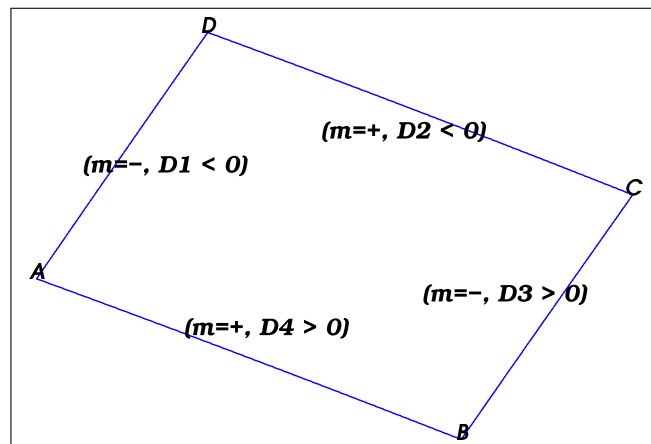


Figura 4.5: Geometría para el problema de un punto dentro de un área romboidal

Trabajando para las cuatro rectas se obtiene el conjunto de ecuaciones siguientes:

$$D1 = A1X + B1Y + C1$$

$$D2 = A2X + B2Y + C2$$

$$D3 = A3X + B3Y + C3$$

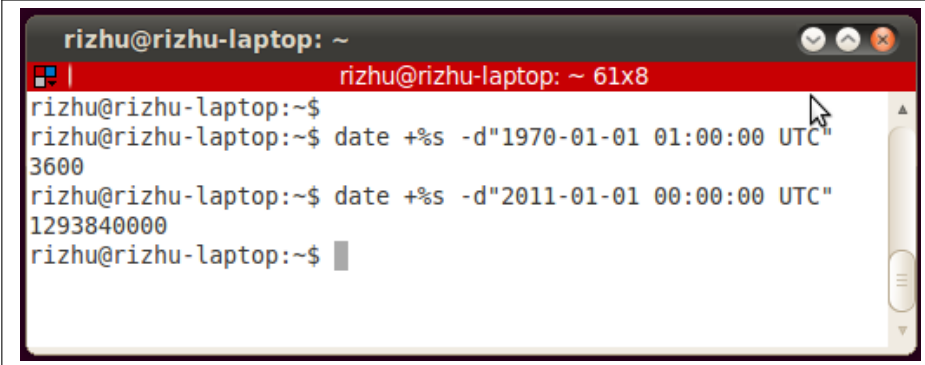
$$D4 = A4X + B4Y + C4$$

Y el problema se reduce a que se cumplan las 4 condiciones para determinar si el punto esta contenido o fuera del polígono.

SI $(D1 \text{ y } D2 \leq 0 \text{ Y } D3 \text{ y } D4 \geq 0)$ El punto esta dentro del polígono.

Una vez hecho esto, el problema se presentó al momento de hacer la selección temporal. En primera instancia se pensó en convertir a día julianos. Sin embargo ya que el trabajo se hizo bajo el Sistema Operativo GNU/Linux, nos percatamos que existe una utilidad llamada `date`, que en una de sus opciones, para una fecha dada se puede calcular el numero de segundos que han pasado desde 1970-01-01 00:00:00 UTC.

La orden en la linea de comando puede verse en la figura 4.6 con lo cual de una manera sencilla se le asigna un número entero a la fecha de cada evento y en el algoritmo la selección se limita a un mayor ($>$) o menor ($<$) que.



```
rizhu@rizhu-laptop: ~  
rizhu@rizhu-laptop: ~ 61x8  
rizhu@rizhu-laptop:~$  
rizhu@rizhu-laptop:~$ date +%s -d"1970-01-01 01:00:00 UTC"  
3600  
rizhu@rizhu-laptop:~$ date +%s -d"2011-01-01 00:00:00 UTC"  
1293840000  
rizhu@rizhu-laptop:~$
```

Figura 4.6: Timestamp. Tiempo en Segundos. Tenemos que para la fecha 2011-01-01 00:00:00 UTC han transcurrido 1,293,840,000 segundos

En resumen las características requeridas del programa FORTRAN diseñado son:

1. Selección de epicentros en una área romboidal.
2. Selección en una ventana de tiempo.
3. Selección en rango de magnitud.
4. Selección en rango de profundidad.