

5. Resultados

5.1 Mecanismo Focal para el sismo del 29 de octubre de 2009

A continuación se muestran los resultados para el sismo del 29/10/09 al noroeste de Alvarado, Veracruz, utilizando el modelo de Castillo y Moore (1974)(Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Parámetros resultado de la inversión de onda.

Fecha	Hora (GMT)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Prof. (km)	Momento (dina/cm)
29/10/09	10:52:57	246.5	44	39	21.8	6.13e+18

Con el cálculo de la varianza (Tabla 5.2) se obtuvo la grafica de varianza contra profundidad, donde se nota que el mínimo obtenido fue en la profundidad de 21.8 km.

Se realizó la prueba de hipótesis con un nivel de significancia del 0.05. La profundidad focal que se obtiene oscila en un intervalo de 19.9 a 22.9 km en el cual H_0 es verdadera.

Tabla 5.2. Los valores de varianza a diferentes profundidades.

Profundidad (km)	Error Estándar	Varianza	Varianza normalizada
11	0.18	0.0324	1.266
15	0.2	0.04	1.563
20	0.17	0.0289	1.129
21.8	0.16	0.0256	1
25	0.22	0.0484	1.891
30	0.23	0.0529	2.066
35	0.27	0.0729	2.848

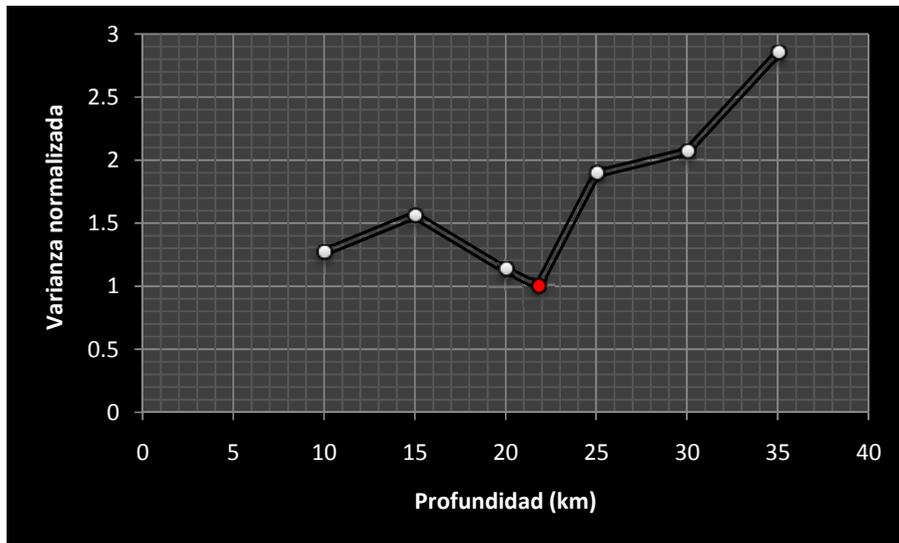


Fig. 5.1. Grafica de varianza normalizada contra la profundidad, donde el punto rojo el mínimo en la profundidad 21.8 km.

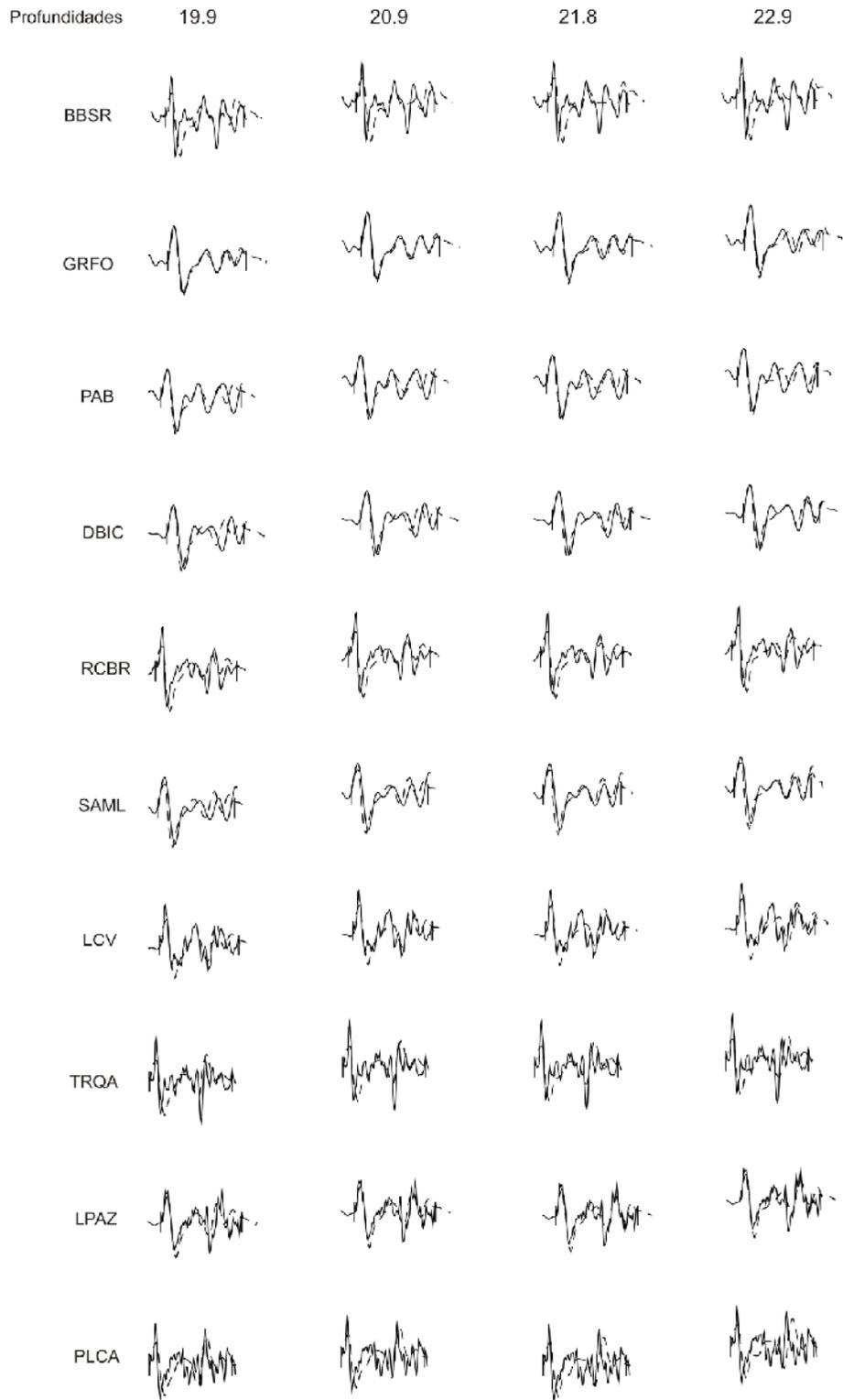
Con este intervalo se realizaron varias pruebas de inversión únicamente cambiando la profundidad y fijando los otros parámetros. Así se hizo la comparación, para escoger los sismogramas generados que reprodujeran mejor la forma del sismograma (Fig. 5.2).

Finalmente, se seleccionó la profundidad de 21.8 km, debido a que tiene el mejor ajuste general de los sismogramas.

Finalmente, en la figura 5.3, se muestra el mecanismo focal resultado de la inversión. En la misma figura también aparecen los sismogramas sintéticos sobre los sismogramas observados de las diferentes estaciones, con amplitudes normalizadas. Los ejes de tensión y compresión así como la función de tiempo. Este mismo formato se utilizará en todas las figuras de mecanismos focales.

La profundidad resultado de este trabajo, es un poco mayor a la reportada por el CMT (17 km) y por el SSN (13 km). Sin embargo, Suárez (2000) obtuvo profundidades focales de 21 y 26 km para dos sismos en la misma zona. Esas profundidades focales para estos sismos corticales coinciden con los resultados aquí mostrados.

Fig. 5.2. Comparación de los sismogramas a diferentes profundidades dentro del rango del intervalo de confianza, la línea continua son los sismogramas observados y la línea punteada los sismogramas sintéticos.



246/44/39/22/6.134E0

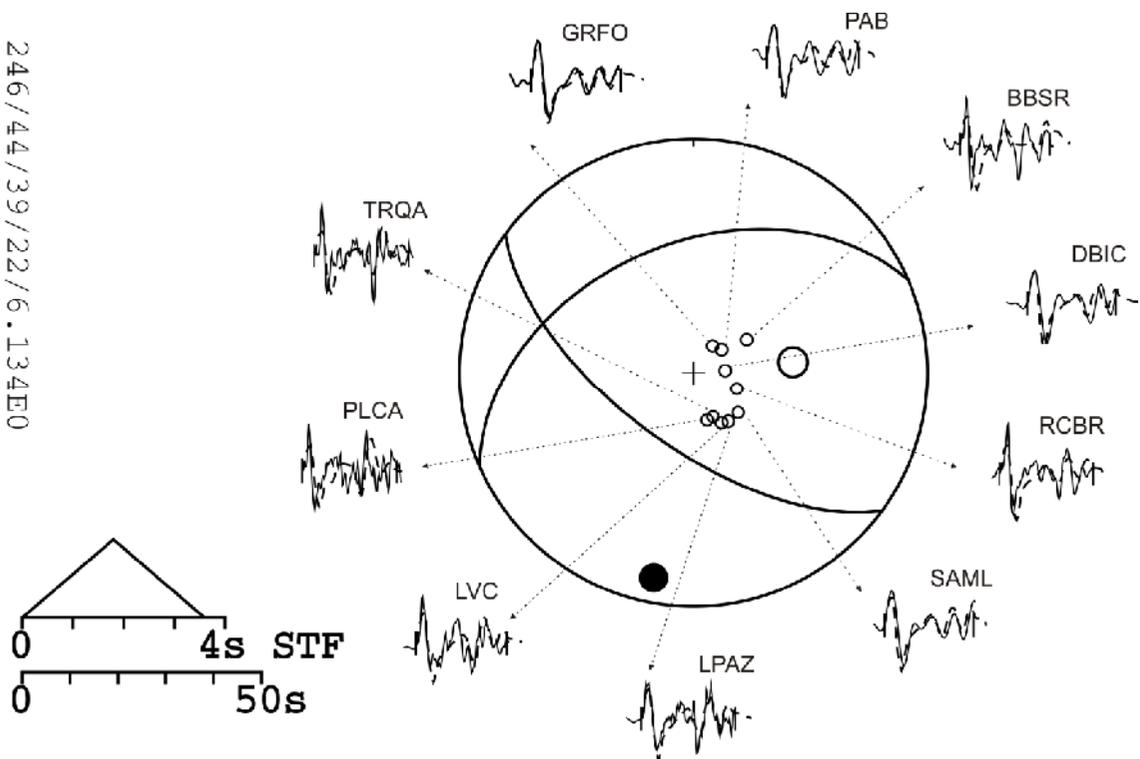


Fig. 5.3. Mecanismo focal obtenido por la inversión, se muestran los sismogramas observados línea continua y los sintéticos línea punteada. Punto negro eje de compresión y punto blanco eje de tensión.

Para la inversión utilizando el modelo general de la Tierra, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 5.3) para este sismo:

Tabla 5.3. Parámetros resultado de la inversión de onda.

Fecha	Hora (GMT)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Prof. (km)	Momento (dina/cm)
29/10/09	10:52:57	147.5	71	146.23	26.7	5.29e+26

Se localizó un mínimo de variancia a la profundidad de 26.7 km (Tabla 5.4) (Fig. 5.4), el cual fue utilizado como modelo de referencia para el análisis estadístico.

La prueba de hipótesis con nivel de significancia del 0.5, da como resultado un rango de profundidades de 25.5 a 28.1 km en el cual H_0 es verdadera.

Se hizo la comparación de los sismogramas a diferentes profundidades y se escogió el modelo con una profundidad de 26.7 km (Fig. 5.5).

Tabla 5.4. Se muestra los valores de varianza a diferentes profundidades.

Profundidad (km)	Error Estándar	Varianza	Varianza normalizada
5	0.23	0.0529	3.674
10	0.19	0.0361	2.507
15	0.17	0.0289	2.007
20	0.18	0.0324	2.25
25	0.14	0.0196	1.361
26.7	0.12	0.0144	1
30	0.16	0.0256	1.778
35	0.16	0.0256	1.778

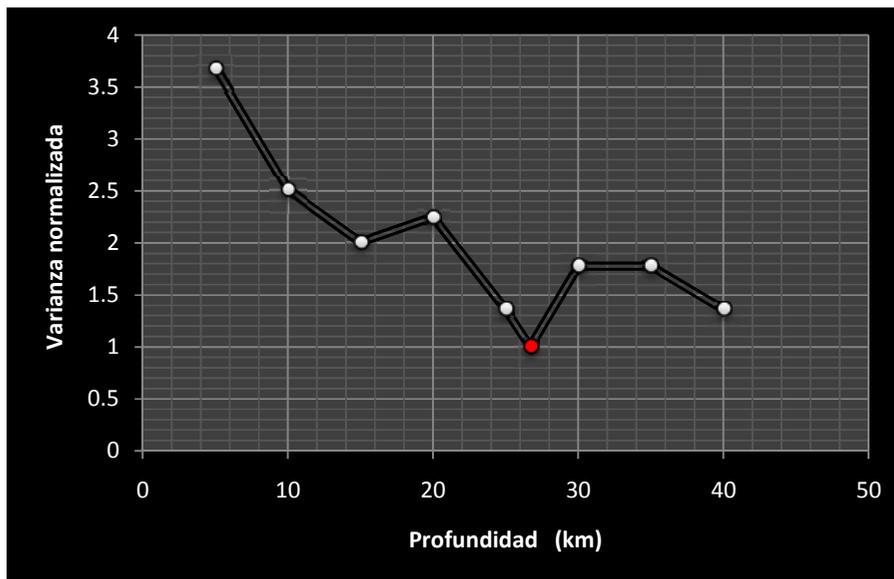
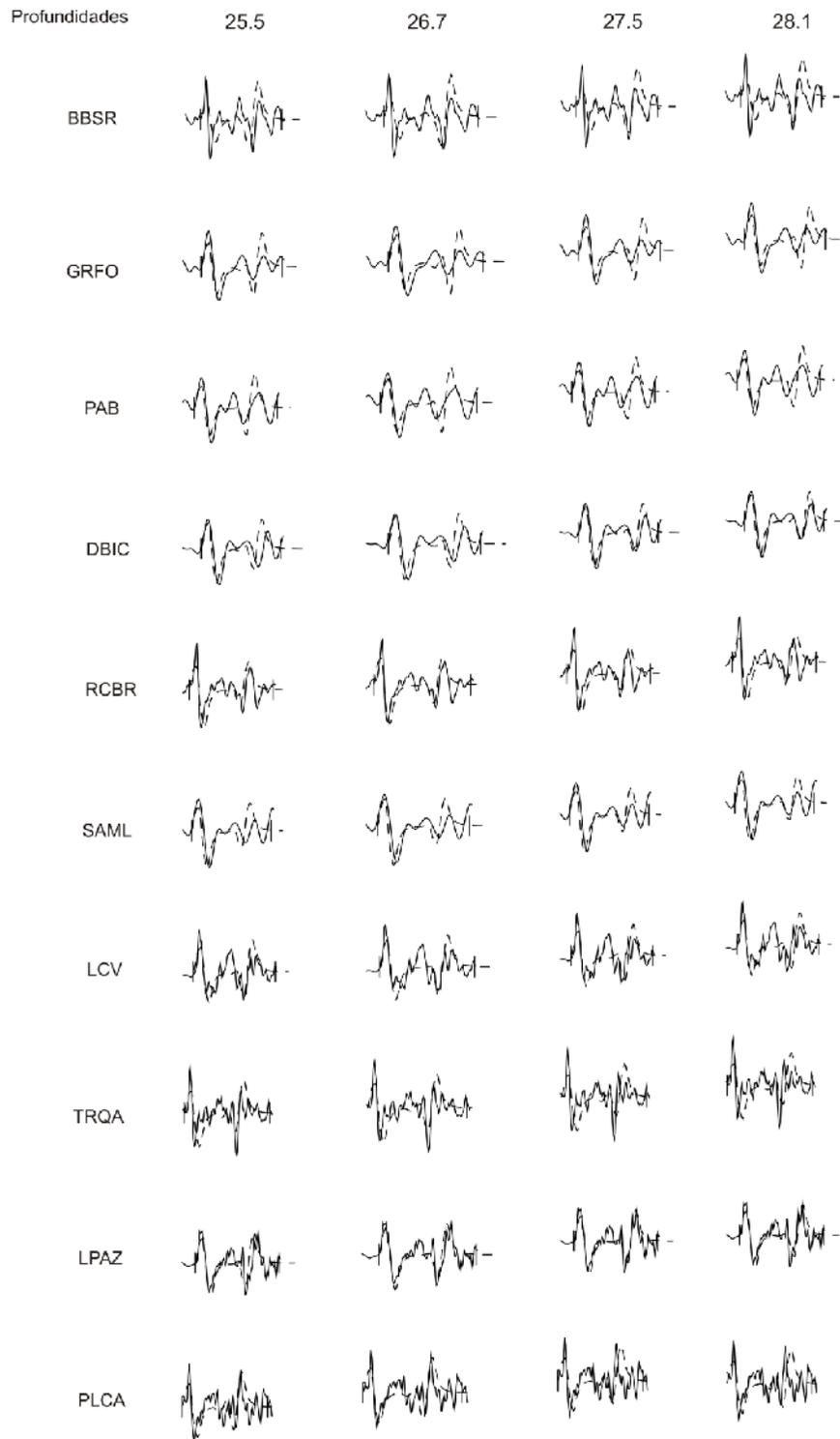


Fig. 5.4. Grafica de varianza normalizada contra la profundidad, donde se punto rojo marca el mínimo en la profundidad 26.7 km.

En la figura 5.6 se observa el mecanismo resultado de la inversión.

Fig. 5.5. Comparación de los sismogramas a diferentes profundidades dentro del rango del intervalo de confianza, la línea continua son los sismogramas observados y la línea punteada los sismogramas sintéticos.



148/71/146/27/5.287E23

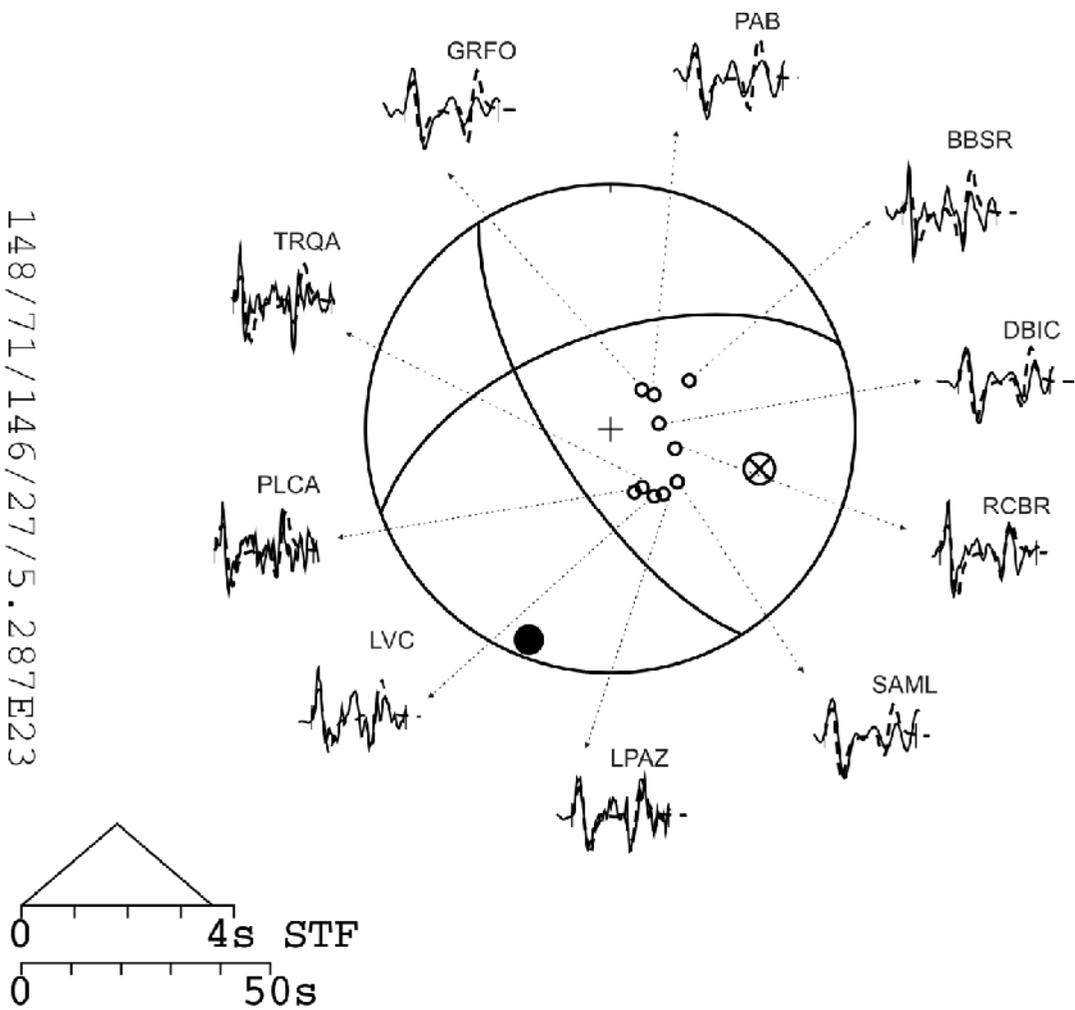


Fig. 5.6. Mecanismo focal obtenido por la inversión, se muestran los sismogramas observados línea continua y los sintéticos línea punteada. Punto negro eje de compresión y punto blanco eje de tensión.

En cuanto a la profundidad, en este caso donde se maneja un modelo de capas distinto, hay un incremento en la profundidad con respecto al modelo anterior de 5 km. Sin embargo, vale la pena enfatizar que ambos modelos de velocidad utilizados confirman que la profundidad focal de este sismo es de entre los 22 y los 26 km. Como se discute más abajo, los sismos corticales normalmente no ocurren a esas profundidades.

5.2 Mecanismo Focal para el sismo del 23 de mayo de 2007

Los resultados para el sismo del 23/05/10 al noroeste de Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz son mostrados en la Tabla 5.5, utilizando el modelo de Castillo y Moore (1974).

Tabla 5.5. Parámetros resultado de la inversión de onda.

Fecha	Hora (GMT)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Prof. (km)	Momento (dina/cm)
23/05/07	19:09:15	102.2	89	8.8	6.7	3.032e+21

Con el cálculo de la varianza (Tabla 5.6) se obtuvo la grafica de varianza contra profundidad, donde se nota que el mínimo obtenido fue en la profundidad de 6.7 km. A diferencia del sismo de Alvarado del 2009, que se discutió arriba, la reducción en la variancia no es tan marcada. Sin embargo, es claro que la profundidad focal oscila entre los 5 y los 15 km (Fig. 5.7).

Tabla 5.6. Se muestra los valores de varianza a diferentes profundidades.

Profundidad (km)	Error Estándar	Varianza	Varianza normalizada
3	0.15	0.0225	2.778
5	0.11	0.0121	1.494
6.7	0.09	0.0081	1
10	0.11	0.0121	1.494
15	0.12	0.0144	1.778
20	0.22	0.0484	5.975

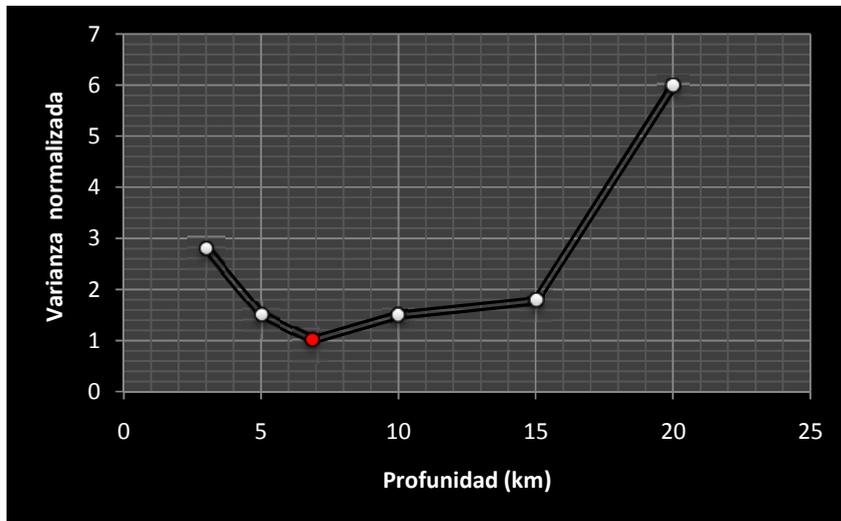


Fig. 5.7. Grafica de varianza normalizada contra la profundidad. Mínimo marcado con un punto rojo en la profundidad 6.7 km.

Al hacer la prueba de hipótesis el rango de profundidades para el cual H_0 es verdadera es muy grande. La causa es visible en la grafica de la Fig. 5.7 que muestra que el mínimo es muy local, y que no hay una gran diferencia con los demás datos. Otro punto a mencionar es que al realiza la inversión cambiando la profundidad y fijando los demás parámetros el ajuste a los primeros pulsos es muy parecido, por esta razón no existe una diferencia notable entre la varianza de los sismogramas (Fig. 5.8).

Lo que sí es claro es que la profundidad focal de este evento no es del orden de los 20 km, como en el caso de los sismos en la del sismo de Alvarado o de los eventos de Coatzacoalcos. Esta diferencia en la profundidad sugiere que los eventos tienen un origen tectónico probablemente distinto.

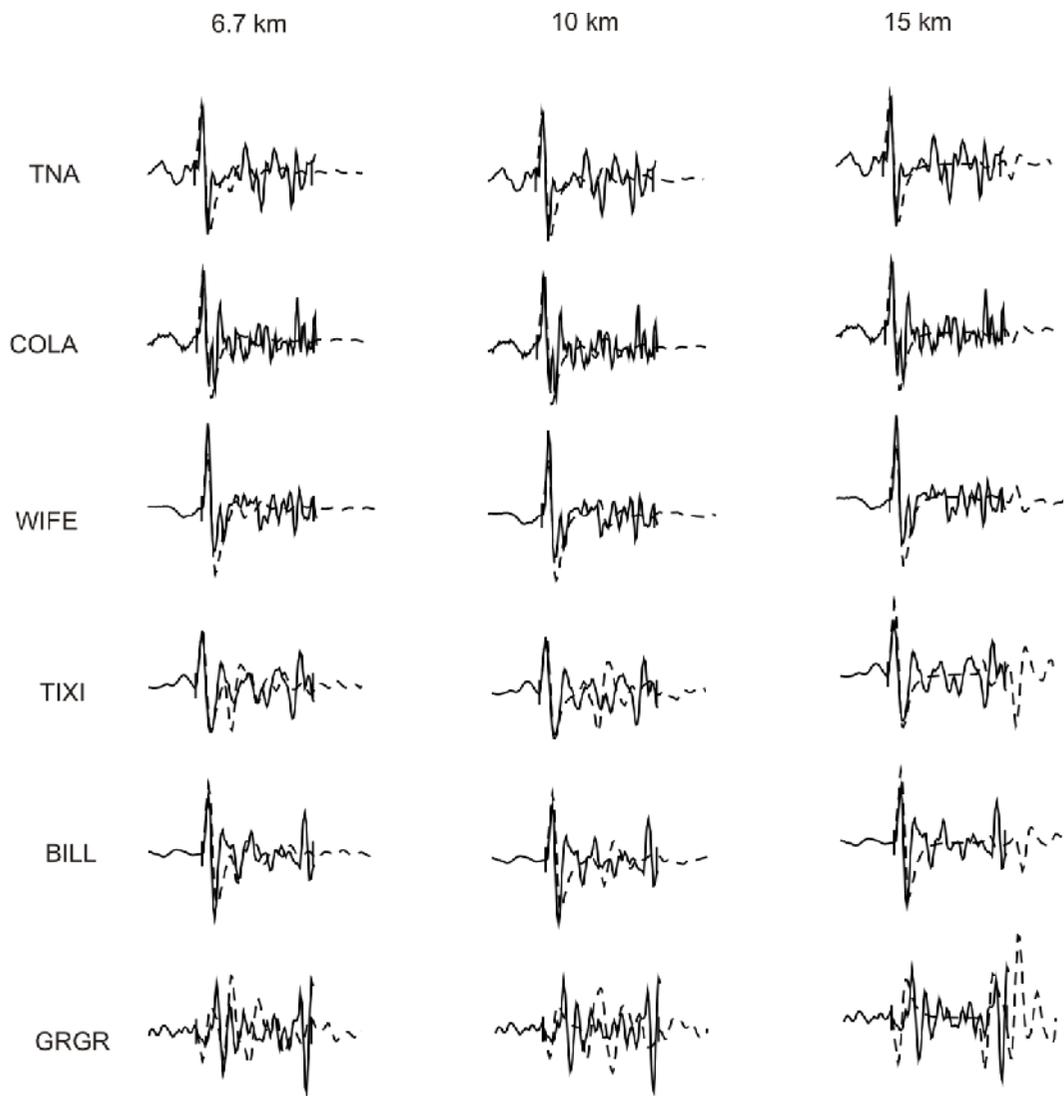


Fig. 5.8. Comparación de los sismogramas a diferentes, la línea continua son los sismogramas observados y la línea punteada los sismogramas sintéticos. El arribo de la onda P es bien reproducido en todas las profundidades propuestas.

Finalmente se decidió tomar la profundidad resultante de la inversión, ya que es el mejor ajuste entre los sismogramas sintéticos y los observados (5.9).

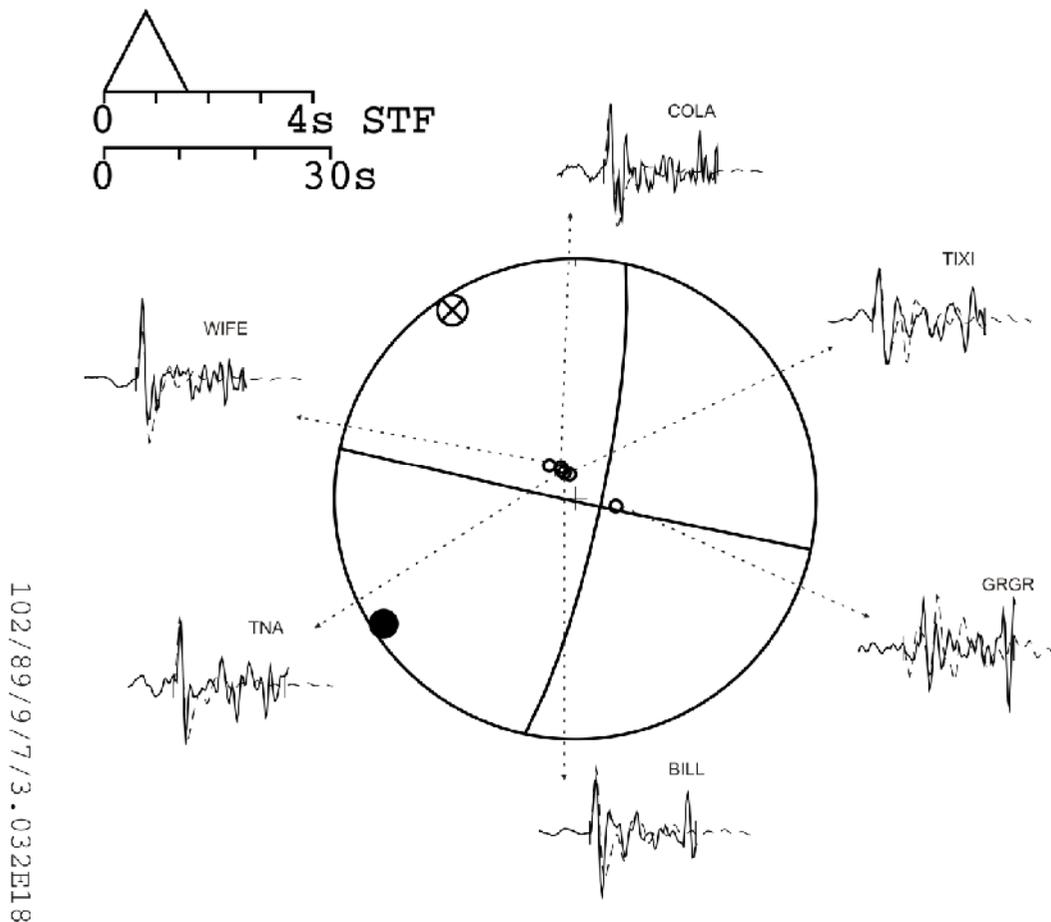


Fig. 5.9. Mecanismo focal obtenido por la inversión, se muestran los sismogramas observados línea continua y los sintéticos línea punteada. Punto negro eje de compresión y punto blanco eje de tensión.

Para la inversión utilizando el modelo general de la Tierra, se obtuvieron los siguientes resultados para este sismo:

Tabla 5.7. Parámetros resultado de la inversión de onda.

Fecha	Hora (GMT)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Prof. (km)	Momento (dina/cm)
23/05/07	19:09:15	96.9	80	2.9	6.66	9.71E+23

Con el cálculo de la varianza (Tabla 5.5) se obtuvo la grafica de varianza contra profundidad, donde se nota que el mínimo obtenido fue en la profundidad de 6.66 km.

Tabla 5.8. Se muestra los valores de varianza a diferentes profundidades.

Profundidad (km)	Error Estándar	Varianza	Varianza normalizada
4	0.22	0.0484	1.891
5	0.18	0.0324	1.266
6.66	0.16	0.0256	1
10	0.19	0.0361	1.410
15	0.2	0.04	1.563
20	0.2	0.04	1.563
25	0.18	0.0324	1.266
30	0.19	0.0361	1.410
35	0.19	0.0361	1.410

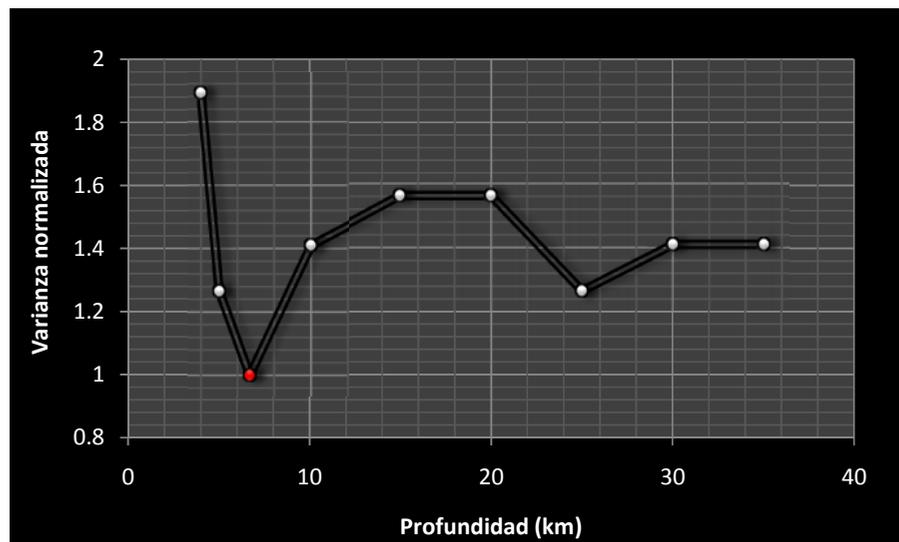


Fig. 5.10. Grafica de varianza normaliza contra la profundidad, donde se nota el mínimo en la profundidad 6.66 km.

Utilizando este modelo, se encontró el mismo problema al hacer la prueba de hipótesis, a pesar de que la grafica de la varianza normalizada contra la profundidad nos muestra un mínimo más claro que en el caso anterior. Cuando se hicieron las pruebas para diferentes profundidades se observó el mismo comportamiento entre los sismogramas observados y los sintéticos en los primeros arribos, por tanto una vez

más la diferencia de varianza de los sismogramas sintéticos es muy pequeña a diferentes profundidades.

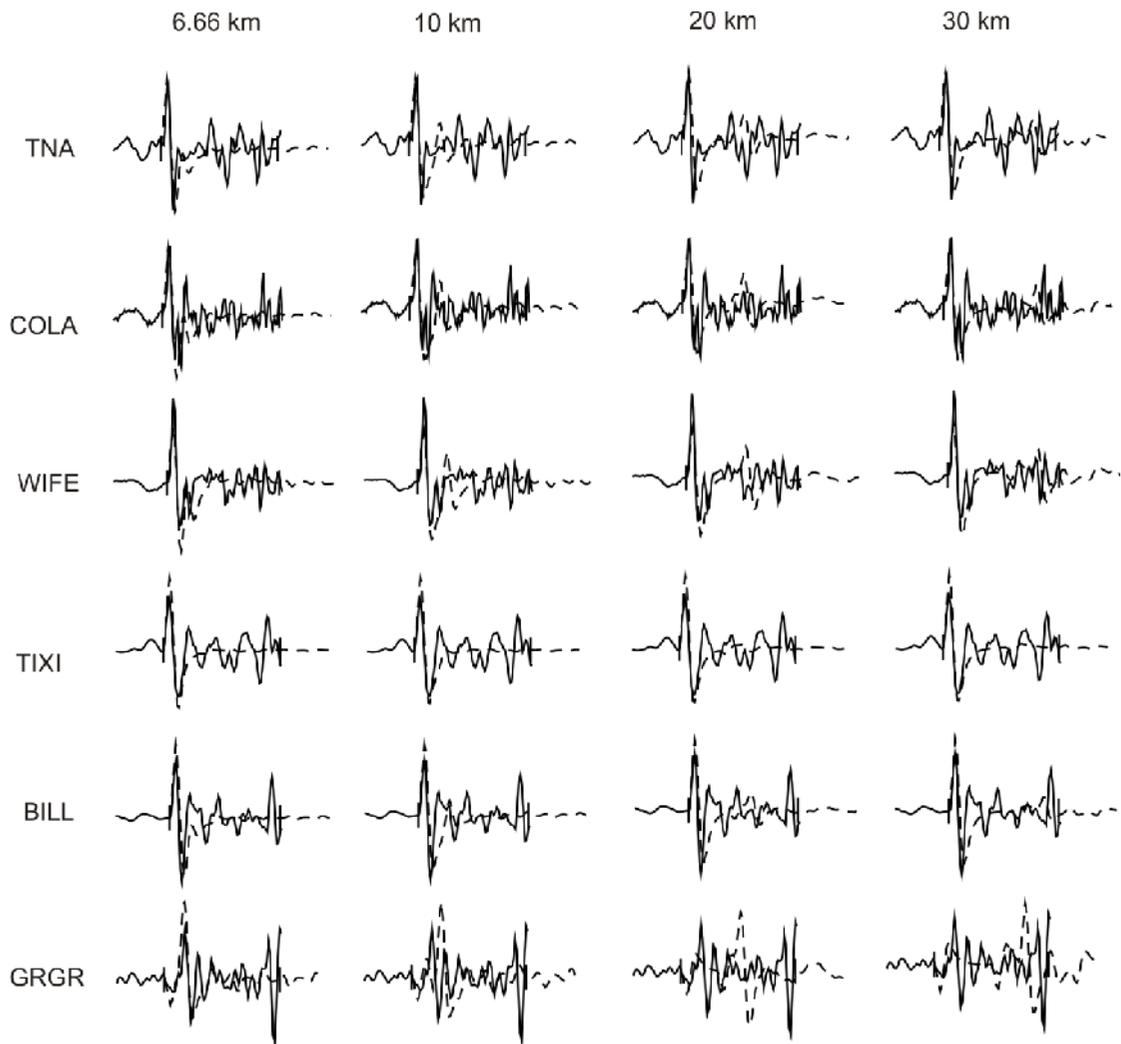


Fig. 5.11. Comparación de los sismogramas a diferentes, la línea continua son los sismogramas observados y la línea punteada los sismogramas sintéticos. El arribo de la onda P es bien reproducido en todas las profundidades propuestas.

Debido a esto, se concluyo que la mejor profundidad para este modelo, es la resultante de la inversión, por el ajuste de los sismogramas y la reducción de varianza Fig. (5.12).

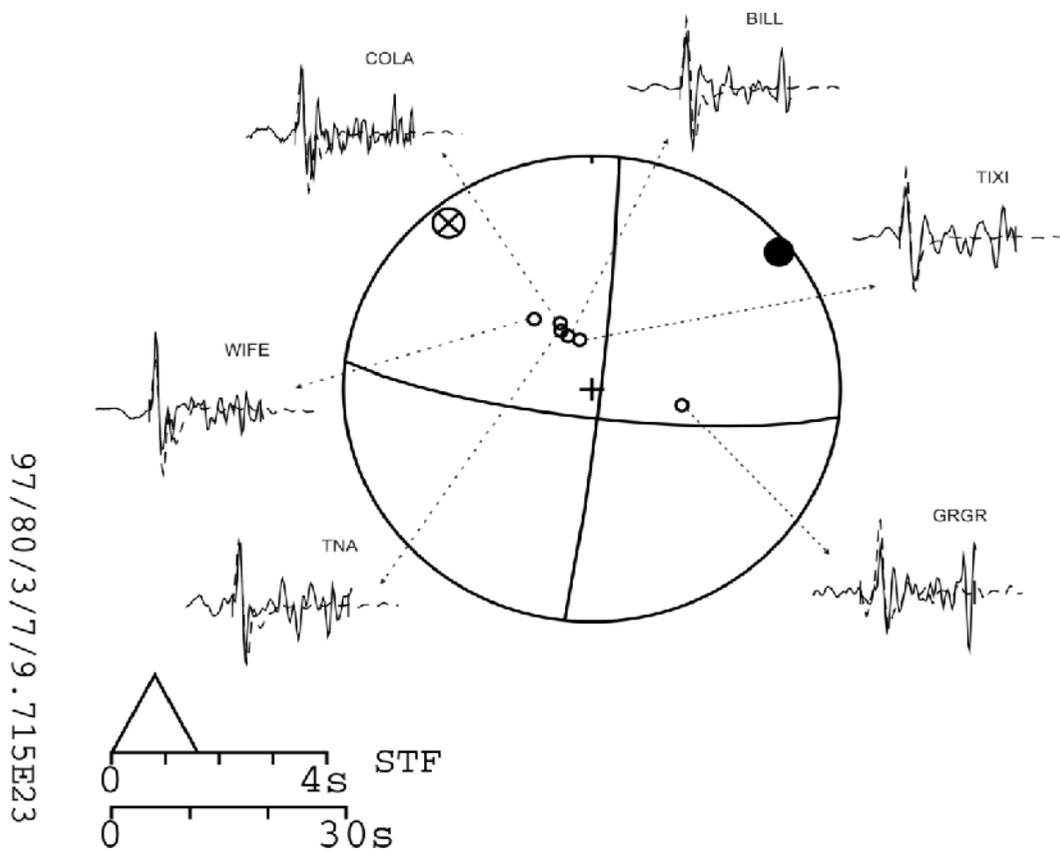


Fig. 5.12. Mecanismo focal obtenido por la inversión, se muestran los sismogramas observados en línea continua y los sintéticos en línea punteada. Punto negro eje de compresión y punto blanco eje de tensión.

La profundidad definida en para los dos modelos es casi igual, sin embargo al revisar la profundidad publicada por CMT (24 km) y SSN(16 km), se nota como se marca una diferencia, de más de 10 km, para ambos casos.

5.3 Análisis de los diferentes modelos utilizados

Para el caso del sismo de 29/10/09, se obtuvo estos valores de varianza.

Tabla 5.9. Valores de varianza para las inversión del sismo de Alvarado, con los diferentes modelo de capas.

	Castillo y Moore (1974)	Modelo General
S^2	1.31044E-05	6.25E-06

El intervalo de F con un nivel de significancia de 5% para el cual la hipótesis nula es verdadera es 0.248, 4.026.

Para calcular F la formula es $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$, usando como numerador el valor de varianza muestral más grande.

El valor de F para los valores obtenidos de varianza se tiene:

F = 2.097, por lo tanto como está dentro del rango H_0 no se rechaza.

Entonces lo diferencia de varianza entre los dos modelos no es significativa, con una intervalo de confianza de 95%.

Para el caso del sismo de 23/05/07, se obtuvieron estos valores de varianza

Tabla 5.10. Valores de varianza para las inversión del sismo de Tuxpam, con diferentes modelos de capas.

	Castillo y Moore (1974)	Modelo General
S^2	2.36E-05	4.97E-06

El intervalo de F con un nivel de significancia de 5% para el cual la hipótesis nula es verdadera es 0.140, 7.146.

Para calcular F la formula es $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$, usando como numerador el valor de varianza muestral mas grande.

El valor de F para los valores obtenidos de varianza se tiene:

F = 4.75, por lo tanto como está dentro del rango H_0 no se rechaza.

Entonces la diferencia de varianzas entre los dos modelos no es significativa, con un intervalo de confianza de 95%.