

CORRECCIÓN DE ESTACIÓN PARA HIPOCENTROS DETERMINADOS LOCALMENTE EN EL SISTEMA DE FALLAS SAN MIGUEL, BAJA CALIFORNIA. IMPLICACIONES PARA LA ESTRUCTURA SÍSMICA

F. Farfán, I. Méndez, J. Frez, V.M. Frías, G. Arellano, J. Carlos, L. Orozco, O. Gálvez y J.J. González
CICESE

Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, 22860, B.C., México

RESUMEN

Seleccionamos determinaciones hipocentrales locales de alta calidad y con tiempos de arribo registrados en estaciones de las redes regionales (RESNOM y SCSN) para calcular correcciones de estaciones ubicadas en la frontera de ambas Californias, entre los 31°S y 33.5°S. Los hipocentros están ubicados en la falla San Miguel, en el Valle de Ojos Negros y en sus alrededores más cercanos. En un cálculo, se utilizan todas las determinaciones hipocentrales; otros corresponden a dos altas concentraciones hipocentrales. Los resultados, mostrados en mapas y tablas, señalan variaciones significativas de la velocidad en las estructuras sísmicas recorridas por los rayos. Las correcciones más grandes están en la Cuenca Salton (1.5 s); valores menores (entre 0.25 s y 0.50 s) quedan asociados a la Cordillera Peninsular y aún menores (< 0.25 s), a las estaciones ubicadas cerca de la costa. El modelo *Sierra97* necesita pequeños ajustes para representar mejor la estructura sísmica que va desde la Cordillera Peninsular hasta el Borde Continental; las variaciones requeridas son menores al ~5% y corresponden a la corteza media e inferior. Las variaciones de valores de las velocidades en la zona hipocentral (corteza superior) son menores al 2%. La significación de las correcciones se mide por la compatibilidad entre los valores de estaciones vecinas y que pertenecen a la misma provincia geológica; además, las correcciones satisfacen aproximadamente la hipótesis de que $V_p/V_s = \sqrt{3}$.

INTRODUCCIÓN

La *corrección de estación* para tiempos de recorrido de ondas sísmicas se estima del valor promedio de los residuales (residual = valor observado – valor calculado) para un conjunto de determinaciones hipocentrales. La bondad de las correcciones implica que los hipocentros están bien determinados y concentrados espacialmente; además, debe haber una relativa homogeneidad estructural en el recorrido de los rayos correspondientes y el modelo de estructura sísmica debe ser apropiado en primera aproximación. Correcciones positivas se asocian a velocidades sísmicas medias más pequeñas que las del modelo. Correcciones negativas se asocian a velocidades más grandes. Las correcciones de tiempos sísmicos para estaciones son importantes por lo siguiente: en primer lugar, permiten utilizar posteriormente los tiempos de esas estaciones con mayor propiedad en el cálculo de hipocentros, reemplazando parcialmente la falta de datos locales; en segundo lugar, entregan evidencias acerca de las estructuras sísmicas recorridas. A este respecto, las tendencias sistemáticas de las correcciones son una medida de la homogeneidad de las estructuras sísmicas muestreadas, así como de la calidad de las determinaciones hipocentrales mismas. Se puede considerar al cálculo de correcciones como la etapa exploratoria del problema mayor de determinar directamente las estructuras sísmicas; en este trabajo, nos limitamos a la etapa exploratoria.

En esta investigación, tomamos 210 determinaciones hipocentrales de buena calidad que provienen del estudio de la microsismicidad asociada a la falla San Miguel, realizado en 1998 y que denominamos SIERRA98 (González *et al.*, 1998; Frez *et al.* 2000b, ver también Frez *et al.*, 2000a); en la selección, usamos el criterio de que al menos tres estaciones de redes regionales reportan tiempos de arribo. Estas redes son la Red Sismológica del Noroeste de México, RESNOM, (v. gr. Medina y Duarte, 1979; Hinojosa, 1990) y la Red Sismológica del Sur de California, SCSN, (v. gr. Nordquist, 1964; Norris *et al.*, 1986). “Buena calidad” significa que la red local reporta lecturas de al menos un par de estaciones a distancias epicentrales menores o del orden de la profundidad del foco sísmico y que el hueco acimutal de estaciones es menor a 180°. Estas condiciones permiten una determinación independiente y precisa de cada coordenada del hipocentro. SIERRA98 funcionó entre mayo y septiembre de 1998 con un máximo de 30 estaciones en los últimos dos meses; las estaciones de esta red local (Figuras 4 y 5) están distribuidas en un rectángulo de 80 km x 40 km. Las magnitudes locales (M_L) de los sismos utilizados en este estudio fluctúan entre 2.1 y 3.6; las profundidades están entre 2 y 20 km, aunque concentrados (~80%) entre 10 y 17 km. La magnitud máxima registrada hizo imposible la obtención de tiempos del arribo P_n ; se necesitan sismos de magnitud mayor que 4.5 para que, en esta región, se obtengan registros claros de estos arribos. El marco tectónico regional se muestra en la Figura 1, donde se marca la zona de cobertura de la red local; la sismicidad tomada del catálogo de RESNOM se ilustra en la Figura 2. La

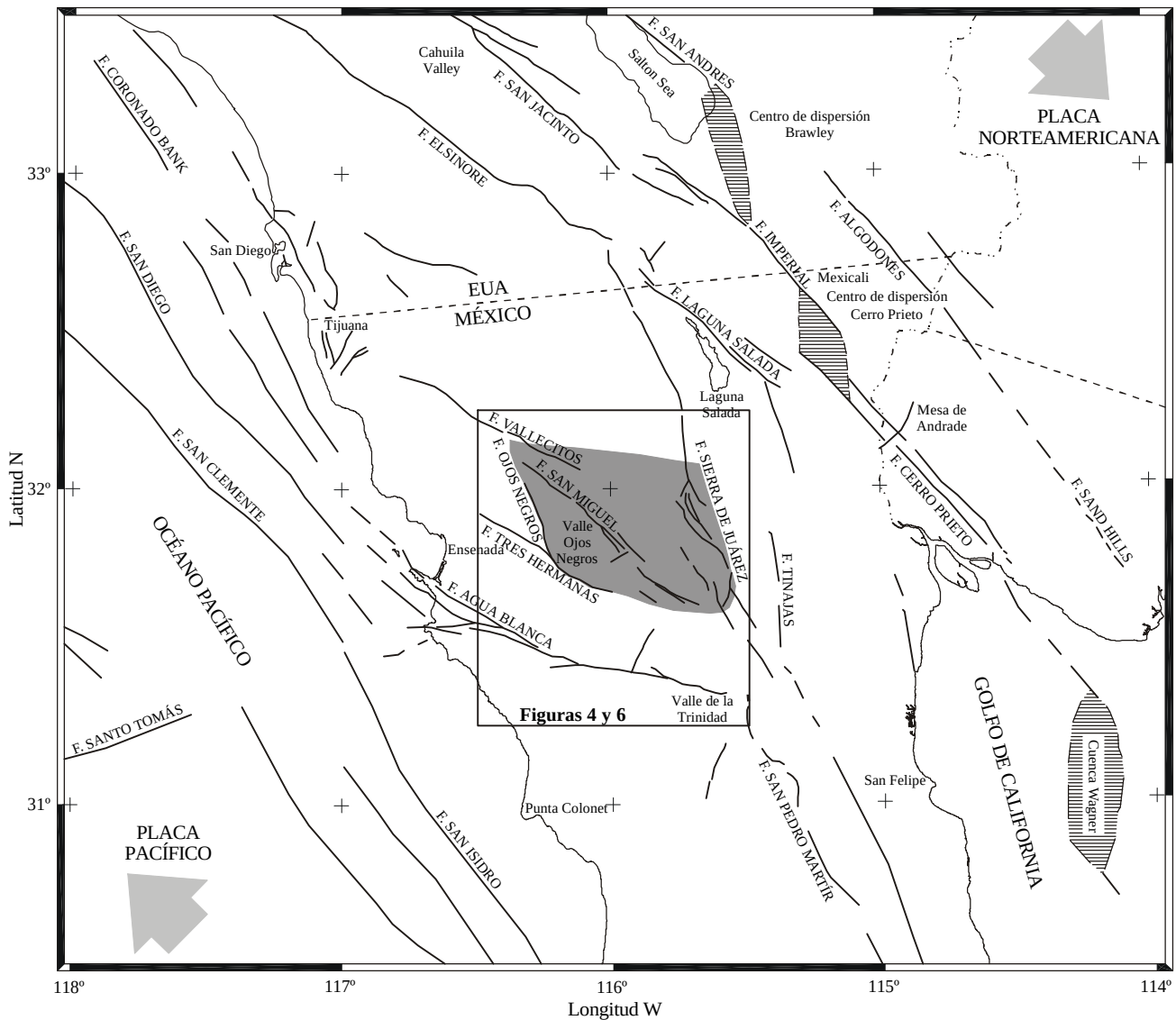


Figura 1. Marco tectónico (basado en Frez y Frías, 1998); la región sombreada muestra la región de estudio, cubierta por una red local (SIERRA98) de estaciones sismológicas. Para detalles de la operación de esta red, ver Frez et al. (2000a) y Frez et al. (2000b).

ubicación de las estaciones locales y regionales se encuentra en la figura 3. La Figura 4 muestra los epicentros de los eventos utilizados. Las figuras 5 y 6 contienen las correcciones resultantes, arribos P y S, para las redes regional y local, respectivamente.

Aspectos relacionados con la sismotectónica del norte de Baja California se pueden encontrar en Frez y González (1991) y Frez y Frías (1998); la primera publicación contiene un resumen acerca de las estructuras sísmicas apropiadas para la región. El límite entre la Cordillera Peninsular y la Cuenca Salton, con un cambio de alrededor de 1500 m de altitud, coincide aproximadamente con la falla Sierra Juárez (Figura 1); la falla Elsinore (Figura 1) marca aproximadamente las altitudes más mayores de la Sierra Peninsular.

METODOLOGÍA

Para calcular las correcciones, utilizamos un procedimiento estándar que se aplica a los eventos seleccionados. En un primer paso, se obtienen residuales promedios para cada estación local; las determinaciones hipocentrales correspondientes utilizan sólo tiempos de arribo de estaciones locales. El cálculo iterativo de hipocentros y correcciones busca convergencia a partir de valores iniciales. La convergencia se mide con respecto a una desviación estándar de los residuales. Al mismo tiempo, se determina la estabilidad de los resultados numéricos con respecto a distintas selecciones de valores iniciales (un valor nulo de la corrección es la selección más común). En un segundo paso, se fijan los hipocentros localmente estimados y se calculan los residuales promedios de las estaciones regionales. Los residuales promedios (locales y regionales) constituyen las correcciones de las estaciones correspondientes. Algunas esta-

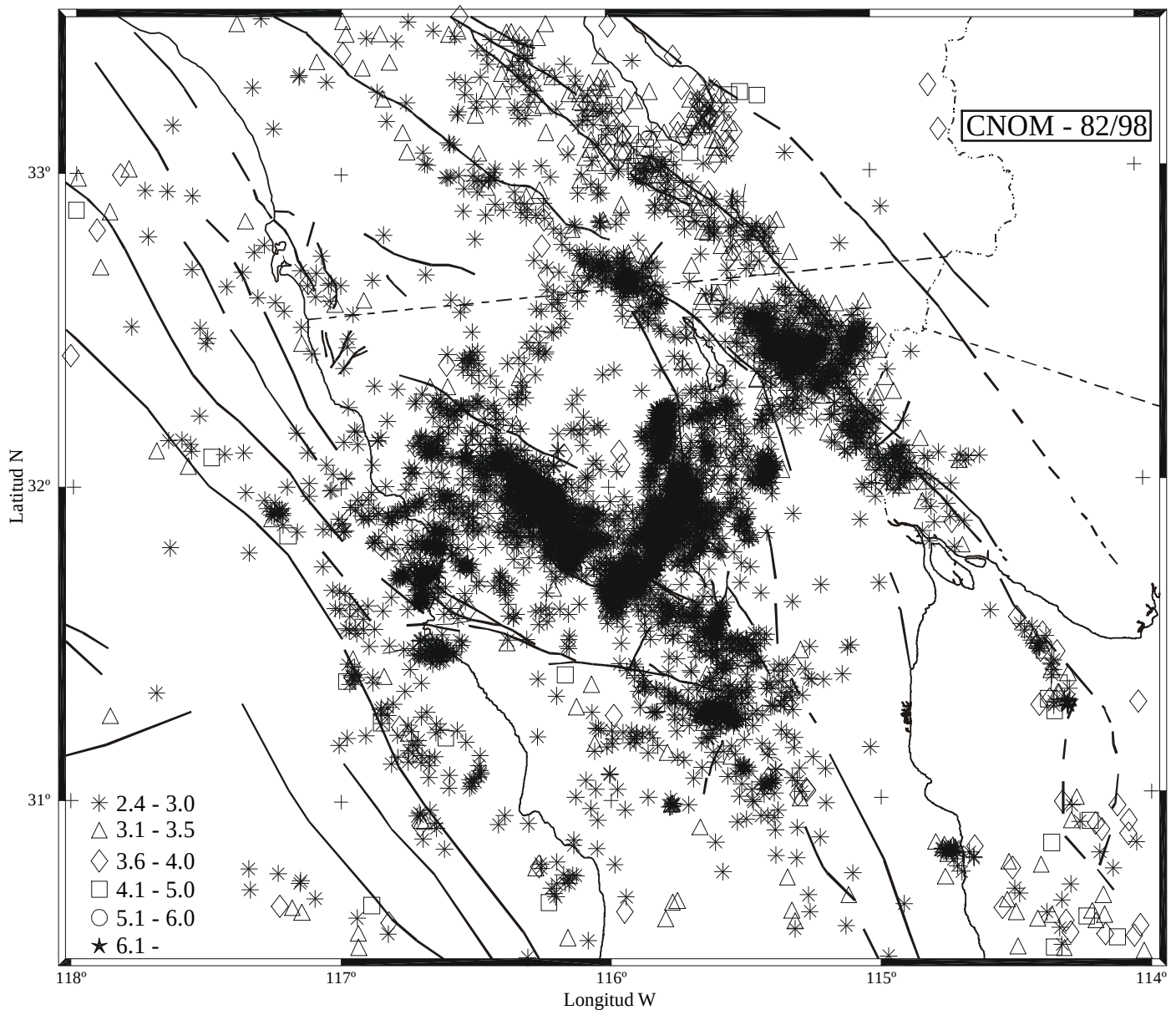


Figura 2. Sismicidad de la región cubierta en la Figura 1 y localizada por la red regional RESNOM entre 1982 y 1998; mapa basado en Frez y Frías (1998).

ciones pueden contribuir local y regionalmente, como en el caso de PGX y RDX; los valores consignados toman en cuenta todos sus tiempos de arribo.

DESARROLLO DEL TRABAJO

De las aproximadamente 1200 determinaciones hipocentrales de alta calidad obtenidas en SIERRA98, se seleccionaron 210 eventos con tiempos de arribo P registrados en al menos tres estaciones de las dos redes regionales. Los epicentros que resultan de este proceso se muestran en la Figura 4. Para el cálculo de hipocentros, utilizamos el programa HYPO71 (Lee y Lahr, 1975); el modelo de estructura sísmica el *Sierra97* (Frez *et al.*, 2000a) que aparece en la Tabla 1; este modelo es una modificación del de Nava y Brune (1982). Todos los tiempos

Tabla 1. Modelo de estructura sísmica *Sierra97* utilizado en los cálculos (Frez *et al.*, 2000).

MODELO SIERRA97		
V _P (km/s)	V _S (km/s)	Profundidad interfase superior (km)
4.60	2.66	0.00
5.75	3.32	0.50
6.57	3.79	5.23
6.95	4.01	19.88
8.02	4.63	42.02

de arribos locales (precisión de 0.01 s a 0.03 s) y de la Red RESNOM fueron leídos por los autores.

Los tiempos de arribo de las estaciones regionales fueron extraídos de los catálogos electrónicos de RESNOM y de la Red del Sur de California. Luego, se aplicó el esquema iterativo ya descrito para calcular los residuales promedios de todas las

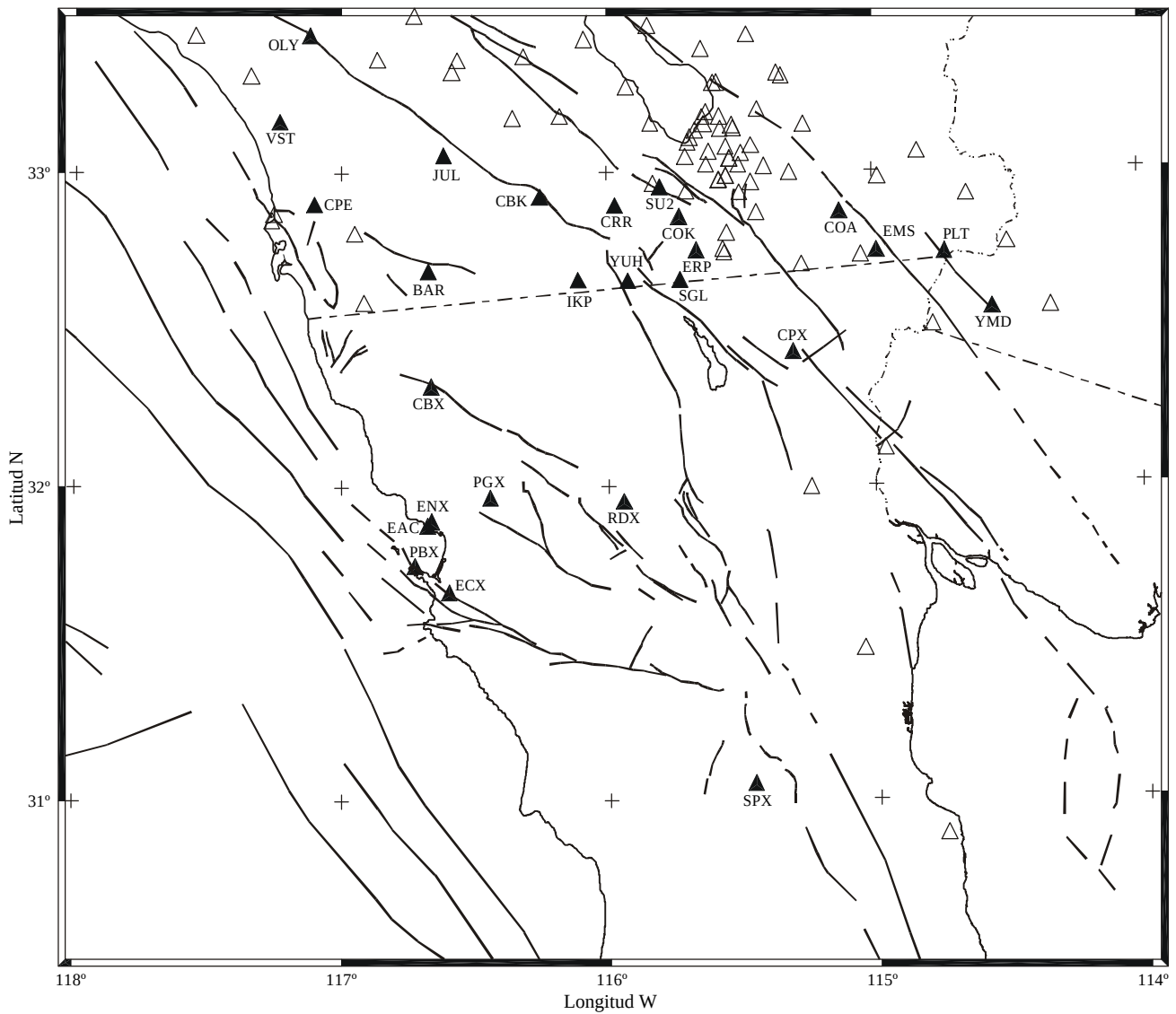


Figura 3. Estaciones sismológicas de las redes regionales de ambas Californias, RESNOM, en el norte de Baja California, y SCSN, en el Sur de California. Se marcan con negritas y con su nombre a las estaciones para las cuales se calcularon correcciones de estación.

estaciones (ondas P y S). Algunas de las estaciones de la red RESNOM no operaron durante el periodo de estudio y, por lo tanto, sólo se reportan resultados para PGX, CBX, RDX, ENX, EAC, ECX, PBX, SPX y CPX. Evaluamos la calidad de cada corrección tomando en cuenta el valor de su desviación estándar. En la primera iteración, revisamos cuidadosamente los valores promedios y su desviación estándar, así como los residuales individuales, con el propósito de corregir valores anómalos de tiempos de recorrido. La compatibilidad entre correcciones de estaciones vecinas, tanto para ondas P como para S, se estudia bajo la hipótesis de que la distribución espacial de las correcciones regionales depende de estructuras sísmicas recorridas por los rayos. El Borde Continental, la Cordillera Peninsular y la Cuenca Salton, particularmente estas últimas, se distinguen fuertemente por sus estructuras sísmicas, aunque cada uno de ellos son relativamente homogéneos y tienen variaciones lentas en sus perfiles NW-SE que se deben principalmente a la profundidad de discontinuidades estructurales (ver, por ejemplo, el resumen de Frez y González, 1991).

Los resultados que se muestran en las figuras 5 y 6 y la Tabla 2 corresponden a las correcciones calculadas con los sismos cuyos epicentros se muestran en la Figura 4, menos algunos que están en la frontera del área cubierta por la red local o que producen resultados inestables. Los valores relativamente altos de desviaciones estándares (tabla 2 y 3) se deben a la heterogeneidad del área de hipocentros y de las trayectorias, a diferencias en profundidades de los focos sísmicos (mayormente, entre 10 y 17 km) y a errores en los tiempos de arribo. No tenemos suficientes hipocentros como para refinar las estimaciones y reducir las desviaciones estándares, separando diferentes rangos de profundidad. Sin embargo, podemos utilizar epicentros agrupados compactamente (v. gr., nidos o racimos de nidos sísmicos). En este trabajo, tomamos dos agrupamientos compactos de hipocentros (Figura 4): uno, con 25 eventos, en el extremo NW del Valle OjosNegros/Falla San Miguel entre LOS8, AGD8, SIE8 y ELO8; el otro, con 63 eventos, entre las estaciones ABL8, ELN8, CCO8 y LPU8. Los resultados para este caso se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Correcciones de estación calculadas con todos los hipocentros localmente determinados (Figura 4) y que tienen arribos al menos en tres estaciones de las redes regionales. STA: estación sismológica; NRES: número de arribos; SRWT: ponderación total, según Hypo71; SDRES: desviación estándar correspondiente; CORR: corrección resultante. Las estaciones están listadas alfabéticamente en el siguiente orden; RESNOM: entre CBX y SPX; SCSN: entre BAC y YUH; Red Local: entre ABL8 y TPI8.

STA	ONDA P				ONDA S			
	NRES	SRWT	SDRES	CORR	NRES	SRWT	SDRES	CORR
CBX	166	343.91	.24	.06	154	206.03	.36	.24
CPX	5	5.44	.48	1.47	3	1.46	.93	2.72
EAC	5	7.08	.06	.13	5	4.88	.13	.49
ECX	98	145.01	.16	.17	93	81.08	.31	.39
ENX	123	167.05	.16	.17	118	95.84	.26	.32
PBX	95	128.71	.17	.32	84	65.99	.26	.63
PGX	173	253.58	.19	.01	170	177.28	.21	.14
RDX	176	236.42	.09	.05	171	146.60	.18	.19
SPX	6	6.07	.16	.41	6	2.33	.20	.80
BAC	3	.68	.09	.07	--	--	--	--
BAR	43	25.40	.31	.06	57	28.07	.36	.04
CBK	43	20.74	.32	.83	4	.89	.25	2.34
COA	5	8.09	.60	1.19	--	--	--	--
COK	10	3.62	.39	1.55	--	--	--	--
CPE	25	11.00	.31	.07	11	6.23	.42	.15
CRR	35	14.15	.26	.92	3	.48	.09	1.27
EMS	6	7.88	.64	1.69	--	--	--	--
ERP	12	3.77	.21	1.42	--	--	--	--
IKP	60	43.34	.23	.45	25	11.22	.30	.40
JUL	54	23.94	.54	.31	22	7.75	.37	.37
LTC	3	.66	.23	-.09	--	--	--	--
OLY	7	1.92	.49	-.26	--	--	--	--
PLT	3	2.49	.60	.67	--	--	--	--
SGL	51	45.21	.25	.72	11	3.44	.53	1.50
SU2	9	3.43	.22	.95	--	--	--	--
VST	3	1.55	.11	-.05	--	--	--	--
YMD	10	22.31	.40	1.52	5	12.29	.34	2.36
YUH	64	60.44	.17	.36	33	19.43	.32	.35
ABL8	145	123.41	.07	.01	144	105.64	.13	.12
ACA8	130	184.46	.37	-.09	128	154.65	.19	.06
AGD8	46	84.73	.07	-.11	46	72.39	.10	-.03
ARM8	66	55.75	.11	.15	61	44.55	.13	.25
CAM8	32	26.26	.15	.14	30	17.00	.27	.28
CCO8	159	117.08	.12	-.11	157	93.92	.17	-.06
ELA8	172	194.86	.13	-.06	163	153.95	.12	.04
ELN8	51	39.75	.06	-.01	51	30.90	.14	.03
ELO8	36	56.98	.10	-.03	36	47.96	.17	.14
EPO8	115	83.63	.15	.02	103	58.33	.24	.23
EWA8	39	62.29	.09	-.11	38	46.78	.13	-.08
GON8	144	154.72	.09	-.08	144	127.85	.14	-.01
HER8	93	74.64	.10	-.09	93	62.88	.16	-.01
K618	121	88.31	.16	-.07	113	58.07	.28	.03
LAE8	125	174.26	.11	-.18	126	149.59	.17	-.22
LAS8	148	154.71	.10	.06	146	132.03	.13	.21
LCA8	91	88.56	.14	-.13	86	67.71	.17	-.03
LOS8	78	80.30	.16	.03	75	65.40	.21	.24
LPO8	85	83.63	.14	-.23	69	58.84	.28	-.32
LPU8	103	98.64	.11	.11	92	69.75	.22	.12
MAR8	45	40.97	.12	-.10	43	31.97	.16	-.08
PAP8	123	164.85	.08	-.19	112	106.68	.13	-.24
ROM8	77	67.51	.06	.17	75	56.41	.14	.43
RVI8	10	10.51	.12	-.01	10	9.57	.18	.10
RVS8	141	138.29	.11	.00	132	101.97	.22	.10
SCA8	49	41.57	.15	-.19	43	34.12	.20	-.22
SEM8	127	130.64	.10	-.11	123	105.81	.12	-.05
SIE8	49	97.31	.11	-.04	50	80.17	.12	.04
SIO8	101	119.83	.10	-.05	98	88.90	.15	-.04
TPI8	85	111.46	.10	.04	83	90.02	.16	.17

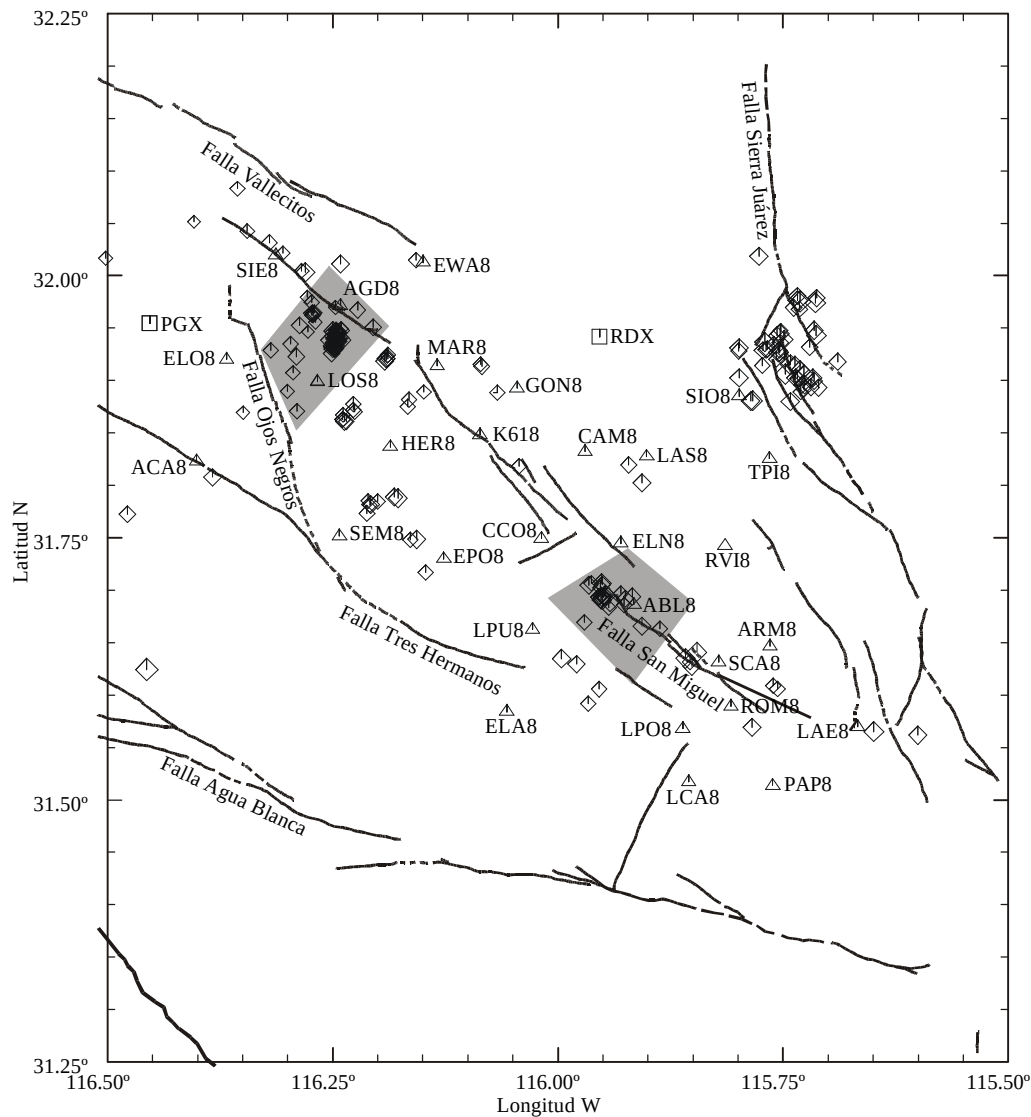


Figura 4. Mapa con los epicentros seleccionados para este trabajo, tomados de un total de ~1200 determinaciones de SIERRA98, con la condición de que tengan arribos registrados en al menos tres estaciones de las redes regionales RESNOM y/o SCSN. Los cuadriláteros encierran las agrupaciones compactas de epicentros que se mencionan en el texto.

RESULTADOS

Las correcciones obtenidas a partir de todos los hipocentros (Tabla 2 y Figura 5) muestran varias sistematicidades. Las correcciones de las estaciones RESNOM para los arribos P son todas positivas, con valores más altos (0.35s-0.45s) para las estaciones PBX y SPX y muy alto (1.5s) para CPX; las correcciones de las estaciones RDX y PGX (menores a 0.1s) se calcularon primero local y, luego, regionalmente (con arribos no considerados “locales”). Los recorridos hacia CPX contienen una alta heterogeneidad estructural con el paso desde la estructura de la Sierra Peninsular hasta el flanco oeste del Valle Mexicali. Las restantes estaciones tienen correcciones positivas relativamente pequeñas y están ubicadas hacia la costa. Las correcciones positivas sugieren una velocidad promedio más baja que la de *Sierra97* en la corteza media para la Sierra Peninsular y la costa. Los tres valores más altos mencionados de correc-

ciones para onda P se asocian también a valores grandes para la onda S, con un factor entre 1.5s y 2.0s que se interpreta como una conducta poissoniana aproximada de las estructuras ($V_p/V_s = \sqrt{3}$). No podemos comprobar estadísticamente esta hipótesis cuando las correcciones son pequeñas, con diferencias dentro de las desviaciones estándares correspondientes.

Las correcciones de las estaciones de la SCSN para los arribos P se dividen entre las asociadas a estaciones que están en el Valle Imperial y su flanco W, (SU2, CRR, COA, COK, ERP, EMS, PLT, YMD y SGL) con valores positivos y cercanos o mayores que 1s (de acuerdo con la corrección de CPX); mientras que las que están en la Sierra y el Borde Continental tienen valores pequeños o moderados y casi siempre positivos. Las correcciones de las estaciones IKP (0.45 s) y CBK (0.83 s) son intermedias entre los valores altos del valle y los bajos de la costa; las correspondientes altitudes, 957 m y 414 m, son

Tabla 3. Correcciones de estación basadas en dos agrupaciones espaciales y muy compactas de hipocentros. Agrupación 1 (63 eventos): entre las estaciones ABL8, ELN8, CCO8 y LPU8; agrupación 2 (25 eventos): entre las estaciones LOS8, AGD8, SIE8 y ELO8. Las estaciones están listadas alfabéticamente en el siguiente orden; RESNOM: entre CBX y RDX; SCSN: entre BAR y YUH; Red Local: entre ABL8 y TPI8.

STA	ONDA P				ONDA S			
	NRES1	CORR1	NRES2	CORR2	NRES1	CORR1	NRES2	CORR2
CBX	10	-.05	56	.03	10	.19	56	.18
EAC	--	--	4	.12	--	--	4	.49
ECX	13	.14	30	.13	12	.23	30	.48
ENX	15	.27	42	.12	10	.36	38	.22
PBX	14	.27	25	.26	9	.60	20	.60
PGX	22	.11	59	-.04	20	.21	59	.09
RDX	22	.21	57	.11	22	.27	53	.35
BAR	3	.27	10	-.07	5	.21	16	-.23
CBK	--	--	12	.66	--	--	--	--
CPE	--	--	11	-.05	--	--	4	.01
CRR	--	--	10	.76	--	--	--	--
IKP	4	.72	15	.30	3	.71	6	.17
JUL	4	.53	15	-.18	3	.75	5	.31
SGL	4	.86	12	.56	--	--	--	--
YUH	6	.51	17	.34	--	--	7	.32
ABL8	20	.07	48	.01	20	.10	47	.17
ACA8	16	.06	43	-.13	17	.14	42	-.03
AGD8	6	-.04	13	-.10	6	.05	13	-.03
ARM8	9	.24	23	.22	9	.35	23	.35
CAM8	4	-.17	6	.31	4	-.40	6	.58
CCO8	22	.02	53	-.18	22	-.01	53	-.16
ELA8	25	.04	58	-.16	25	.07	59	-.06
ELN8	7	.00	17	.03	6	.00	17	.11
ELO8	5	.08	12	-.02	5	.26	12	.14
EPO8	16	-.25	33	.13	16	-.51	31	.42
EWA8	5	.11	12	-.11	5	.05	12	-.08
GON8	17	-.01	47	-.09	16	-.09	47	-.04
HER8	11	-.05	27	-.14	9	-.07	28	-.08
K618	19	-.33	38	.10	19	-.59	35	.32
LAE8	20	-.06	40	-.10	20	-.08	39	-.17
LAS8	19	.12	43	.14	18	.17	41	.36
LCA8	17	-.07	27	-.24	17	.00	26	-.16
LOS8	11	.17	29	.05	10	.26	28	.30
LPO8	16	-.16	23	-.34	15	-.28	14	-.30
LPU8	16	.06	29	.20	16	-.07	25	.55
MAR8	8	.06	12	-.16	8	.06	12	-.12
PAP8	16	-.17	42	-.26	15	-.20	37	-.39
ROM8	13	.25	25	.21	13	.51	21	.54
RVS8	18	-.06	46	.05	18	-.11	38	.09
SCA8	5	-.11	15	-.25	5	-.21	11	-.18
SEM8	17	.09	42	-.16	16	.01	41	-.06
SIE8	4	.23	18	-.07	5	.33	18	.01
SIO8	11	-.10	31	.00	11	-.25	31	.03
TPI8	9	-.04	26	.16	8	.00	27	.38

ilustrativas para su interpretación. Las correcciones para las estaciones JUL (0.31 s) y OLY (-0.26 s) indican que el modelo *Sierra97* es adecuado para las altitudes máximas de la Sierra Peninsular mientras que los valores de BAR (0.06 s), CPE (0.07 s) y VST (-0.05 s) permiten una conclusión semejante para la zona entre la anterior y la costa. La magnitud de las correcciones indica pequeños cambios en las velocidades equivalentes o menores al 5% en la parte media y profunda de la corteza. Las correcciones pequeñas hacia la costa coinciden con una conducta semejante de las estaciones (excepto PBX) correspondientes de RESNOM. Como para el caso de las estaciones RESNOM, las correcciones de la onda S están dentro de un factor de 1.5 a 2.0 de la corrección del arribo P en los casos en

que la comparación tiene significación (tomando en cuenta las desviaciones estándares correspondientes); excepciones notables son los casos de IKP, YUH y JUL.

Las estaciones de la red local tienen, en su mayoría, correcciones negativas (sombreadas en la Figura 5) y pequeñas en valor absoluto (menores a 0.10 s), lo que sugiere velocidades marginalmente mayores (a lo más del 2%) que las de *Sierra97* dentro de los primeros 15 km de profundidad.

Las correcciones calculadas para estaciones regionales a partir de agrupaciones espaciales de hipocentros muestran una menor desviación estándar y las tendencias generales ya descritas se mantienen (Tabla 3). Cuantitativamente, estas correccio-

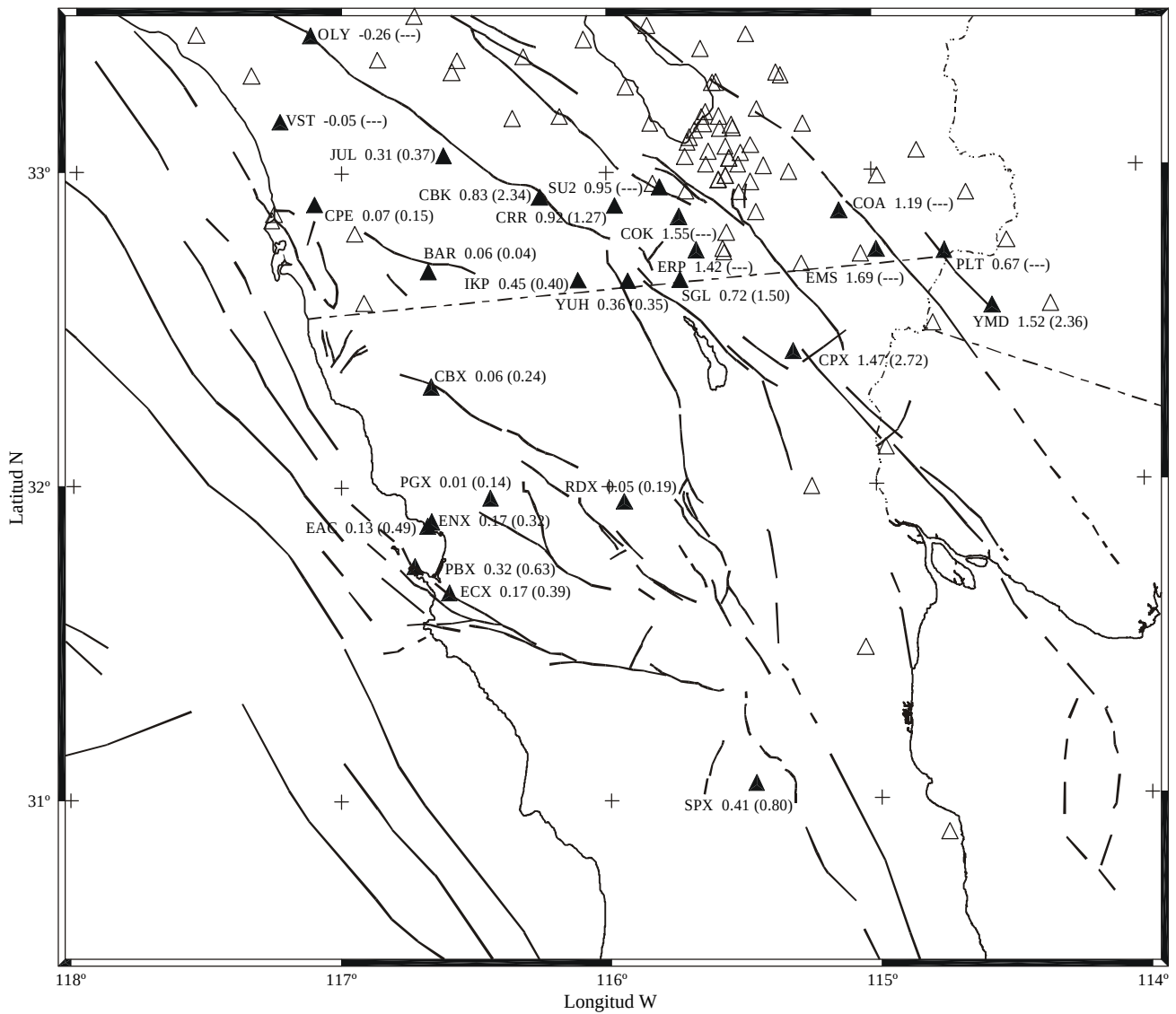


Figura 5. Correcciones de estación de las redes regionales para los arribos primarios P y S; el valor entre paréntesis corresponde a la corrección de la onda S. Las correcciones son calculadas a partir de todos los hipocentros mostrados en la Figura 4 y listados en la Tabla 2. La corrección entre paréntesis corresponde a la de onda S.

nes se ubican dentro del intervalo formado por la corrección calculada con todos los hipocentros y con una variación de una desviación estándar; las excepciones a esta regla son las correcciones de onda P para PGX y RDX (estaciones locales). Siendo estas correcciones pequeñas, la relación entre la de los arribos P y S reflejan predominantemente el error en determinar los tiempos, mayor para S que para P. Estas correcciones de estaciones locales dependen del agrupamiento hipocentral correspondiente; su estudio detallado debe incluir todos los ~ 1,200 hipocentros determinados en SIERRA98.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Utilizamos determinaciones hipocentrales locales de alta calidad para calcular correcciones de estaciones tanto locales como regionales. El método iterativo converge en sólo tres pa-

sos, alcanzándose convergencia en la cuarta iteración, tanto en tiempos de P como de S, con una convergencia más lenta, pero aún clara, dentro de las tres iteraciones para el segundo caso.

Las tendencias anotadas parecen ser significativas; las concordancias de las correcciones para ondas P y S a través de un modelo poissoniano de estructura y las tendencias espaciales encontradas son indicativas en este respecto. Debe enfatizarse que las correcciones de estación son función de la configuración de la red local, del agrupamiento espacial de los hipocentros utilizados y del modelo estructural utilizado; nos parece que los datos de SIERRA98 utilizados son adecuados para este cálculo.

Los resultados indican velocidades medias algo más bajas (no más del 5 %) para recorridos en la corteza media e inferior; una relativa concordancia en el eje de la Sierra Peninsular (para el cual se estimó el modelo Nava-Brune) y en la dirección de la

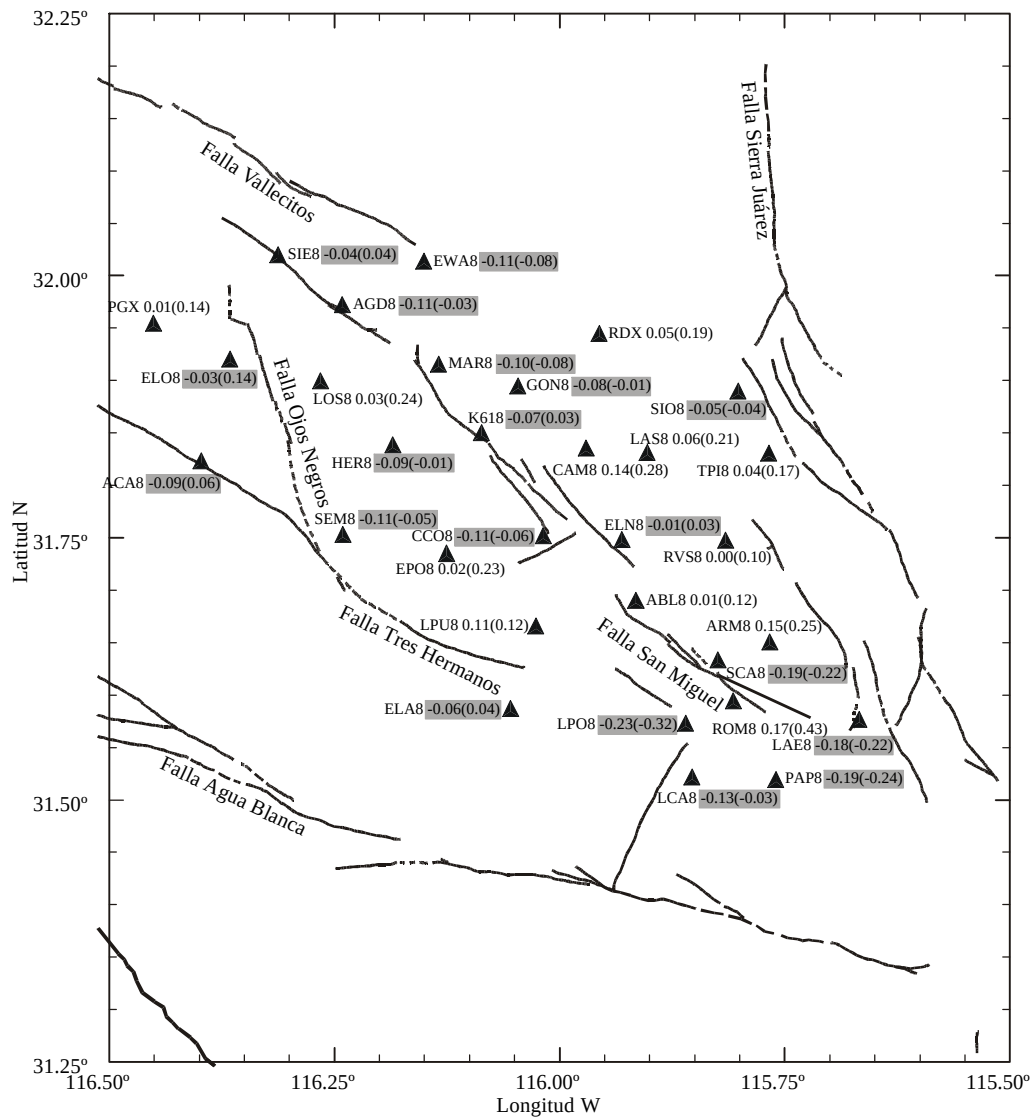


Figura 6. Correcciones de estación de las redes locales para los arribos primarios P y S; el valor entre paréntesis corresponde a la corrección de onda S. Las correcciones son calculadas a partir de todos los hipocentros mostrados en la Figura 4 y listados en la Tabla 2. Las estaciones PGX y RDX pertenecen a RESNOM. Los valores sombreados tienen correcciones negativas.

costa. La preponderancia de correcciones negativas y pequeñas dentro de la red local sugiere una velocidad media marginalmente más alta (no más del 2%) que la de *Sierra97*, en los primeros 15 km de profundidad (ya que la mayoría de los recorridos se realizan en la corteza superior). Un estudio más detallado de las correcciones de las estaciones de la red local basado en todas las determinaciones hipocentrales (y no sólo en aquellos eventos con registros en estaciones regionales como se especifica en este estudio) y el trabajo asociado de modificar el modelo *Sierra97* es materia de un trabajo separado.

AGRADECIMIENTOS

La operación de SIERRA98 fue financiada por CONACYT (Proyecto 25309-T) y CICESE; la instrumentación fue prestada por IRIS/PASSCAL. Agradecemos al USGS/CalTech y RESNOM por permitirnos el uso de los datos regionales, así

como también al resto de los participantes del proyecto 25309-T. R. Eaton colaboró con la administración del proyecto y en la edición del manuscrito. Agradecemos a los revisores y a F. Suárez por comentarios e información que han mejorado la presentación del artículo.

REFERENCIAS

- Frez, J. y J.J. González (1991). Crustal structure and seismotectonic of northern Baja California, *en* American Association Of Petroleum Geologists Memoir #47, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, B. Simoneit y J.P. Dauphin, ed., 261-283, Tulsa, Oklahoma, EEUU.
- Frez, J. y V.M. Frías (1998) Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas Californias, *GEOS*, Vol. 18, pp 112-130.

- Frez, J., J.J. González, J.G. Acosta, F.A. Nava, I. Méndez, J. Carlos, R.E. García-Arthur, and M. Alvarez (2000a) A detailed microseismicity study and current stress regime in the Peninsular Ranges of northern Baja California, Mexico: the Ojos Negros Region, *Bulletin Seismological Society of America*, vol. 90, pp. 1133-1142.
- Frez, J., J.J. González, J.G. Acosta, F.A. Nava, H. Fabriol, M. Alvarez, G. Arellano, J. Carlos, R.E. García-Arthur, I. Méndez y F. Farfán (2000b) Monitoreo de sismicidad con redes locales en el norte de Baja California, 2a. Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, GEOS, vol. 20, p. 232.
- González, J.J., J. Frez, L. Orozco, R. Ochoa, I. Méndez, F. Carrillo, G. Arellano, O. Gálvez, R. Eaton, J. Acosta, A. Nava, A. González, A. González, A. Ortega y M. Alvarez (1998). Verano del '98: Un sondeo de microsismicidad en el corazón del norte de Baja California, Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, GEOS, Vol. 18, p. 343.
- Hinojosa, A. (1990). Procesado de archivos sísmicos RESNOR en estaciones de trabajo SUN, Reporte Técnico Interno, CIST9001, CICESE, Ensenada, B.C., México, 25 pp.
- Lee, W.H. and J.C. Lahr (1975). HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, USGS Open-File Report 75-311, 114 pp.
- Medina, M. and C. Duarte (1979). Red sismológica de telemedición digital del campo geotérmico de Cerro Prieto, Mexicali, Second Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field Proceedings, Comisión Federal de Electricidad, Mexicali, México, pp. 355-368.
- Nava, F.A. y J.N. Brune (1982) An earthquake-explosion reversed refraction line in the Peninsular Ranges of Southern California and Baja California Norte, *Bulletin Seismological Society of America*, vol. 72, pp. 1195-1206.
- Nordquist, J.M. (1964). A catalogue of southern California earthquakes and associated electronic data processing programs, *Bulletin Seismological Society of America*, vol. 54, pp. 1003-1011
- Norris, R., C. Johnson, L. Jones, and K. Hutton (1986). The southern California Network Bulletin, USGS Open-File Report 86-96, 32 pp.