

# Evaluación preliminar del campo geomagnético de referencia internacional IGRF-1990 para México y anomalías magnéticas corticales

Hernández -Quintero E.<sup>1</sup>, H. Nolasco-Chávez<sup>1</sup>, J. O. Campos-Enríquez<sup>1</sup>, C. Cañón-Amaro<sup>1</sup>, A. Orozco-Torres<sup>1</sup>, J. Urrutia-Fucugauchi<sup>1</sup> y G. Alvarez-García<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM, México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI), México.

Recibido: 17 de junio, 1993; aceptado: 22 de noviembre, 1993.

## RESUMEN

Se reporta una comparación regional entre el International Geomagnetic Reference Field (IGRF) para 1990 y medidas geomagnéticas de campo obtenidas en 51 localidades del país. El modelo de IGRF provee un campo de referencia regional satisfactorio para México. Las diferencias medias entre el modelo del IGRF y las observaciones de campo parecen definir anomalías regionales. Las diferencias medias del campo total son de 10.6 nT, con una raíz media cuadrática (RMS) de 206 nT. Las diferencias medias correspondientes a la componente horizontal y a la declinación son de 24.4 nT y -0.6' con desviaciones RMS de 116 nT y 18.7' respectivamente. Algunos rasgos de longitud de onda grande en las diferencias de campo total se correlacionan con anomalías aeromagnéticas y observaciones magnéticas de satélite, lo cual sugiere una posible asociación con fuentes en la corteza.

**PALABRAS CLAVE:** geomagnetismo, Campo Geomagnético de Referencia Internacional, México.

## ABSTRACT

A regional comparison between the International Geomagnetic Reference Field (IGRF) for 1990 and the observed geomagnetic field derived from measurements taken at 51 localities is reported. The IGRF model provides a satisfactory reference field for Mexico. The differences between the IGRF model and the observed field seem to define regional anomalies. The total field mean difference is 10.6 nT, with a root mean square (RMS) deviation of 206 nT. Corresponding mean differences for the horizontal component and the declination are 24.4 nT and -0.6', with RMS deviations of 116 nT and 18.7', respectively. Long-wavelength features in the total field correlate with aeromagnetic and satellite magnetic anomalies, which suggests a possible association with crustal sources.

**KEY WORDS:** geomagnetism, International Geomagnetic Reference Field, Mexico.

## INTRODUCCION

El Observatorio Geomagnético de Teoloyucan (TEO) ha estado operando desde principios de este siglo (Sandoval, 1950; Godínez-Luna, 1990). Sus coordenadas geográficas son N 19° 45' N, 99° 11' (coordenadas magnéticas: 29.7° y 327.0°). Está localizado al norte de la Ciudad de México, y es operado por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El Observatorio Geomagnético ha publicado boletines en donde reporta observaciones geomagnéticas desde 1914 (valores medios horarios, mensuales y anuales de los elementos magnéticos, índices k tri-horarios, e índices C).

Entre sus objetivos actuales, se tiene la producción de mapas magnéticos así como la evaluación de los modelos del Campo Magnético Internacional de Referencia (IGRF) en México. Durante 1990 y 1991 se realizaron observaciones magnéticas a lo largo del país, dando como resultado las cartas de los elementos magnéticos para 1990 (Cañón-Amaro *et al.*, 1993).

Debido al uso intensivo y extendido del IGRF en geofísica (por ejemplo en el procesamiento de la información magnética) la evaluación de los elementos del IGRF es una tarea importante (Dawson y Newitt, 1978, 1982; Vassal, 1987) especialmente para áreas que hayan contribuido poco en el análisis de armónicos esféricos. En este artículo se

presenta un informe de la evaluación preliminar en México del modelo del IGRF para 1990.

## DATOS Y RESULTADOS

Un estudio de comparación de los modelos del IGRF desde 1945 hasta 1990 (Peddie, 1983; IAGA, 1988) con información del Observatorio Geomagnético de Teoloyucan indica que los modelos del IGRF proveen un valioso campo teórico de referencia temporal para México central (Urrutia-Fucugauchi y Campos Enríquez, 1993). Durante 1990 y 1991 se realizaron observaciones a lo largo del país en puntos establecidos por la red geomagnética nacional que el Instituto de Geofísica de la UNAM estableció desde sus inicios en México (Cañón A., 1984). Uno de los propósitos fué proveer un conjunto de datos magnéticos para ser utilizados en la evaluación espacial de los modelos del IGRF. Mediciones de la declinación, de la componente horizontal, y de la intensidad total se efectuaron en 51 localidades distribuidas en el país (Figura 1).

La Tabla 1 enlista los nombres de las localidades, las épocas, las coordenadas geográficas, y las componentes geomagnéticas medidas. Algunas de éstas pertenecen a la red de estaciones de repetición del Observatorio Geomagnético de Teoloyucan. Las mediciones se hicieron utilizando equipo fabricado por Ruska, Geometrics, y EDA (magnetómetros de declinación-inclinación, magnetómetros QHM de componente horizontal, y magnetómetros de precesión pro-

Tabla 1

Lista de localidades donde se realizaron mediciones de las componentes magnéticas resumiendo sus características. La latitud y longitud están expresadas en grados, minutos y segundos de arco. H representa la intensidad de la componente horizontal (en nT), F la componente de campo total (en nT), y D, la declinación medida hacia el Este del Norte Geográfico (en grados, minutos y segundos).  $\Delta F$ ,  $\Delta H$ , y  $\Delta D$ , representan las diferencias entre los valores medidos y los obtenidos a partir del IGRF (nT y minutos respectivamente).

1	Bahía de los Angeles, B.C. N.	1990.666	28 56 52	113 33 30	11 47 36	26834	46630	180	-28	-1.8
1	Bahía de los Angeles, B.C.N:	1990.666	28 56 52	113 33 30	11 47 36	26834	46630	-180	28	1.8
2	El Rosario, B.C.N.	1990.666	30 03 52	115 44 22	13 13 36	26846	47277	173	344	17.4
3	Ensenada, B.C.N.	1990.666	31 48 40	116 37 47	12 13 54	25954	48400	371	27	-42.6
4	La Paz, B.C.S.	1990.666	2+ 12 20	110 18 16	10 15 30	28383	44200	-133	167	1.2
5	Punta Abreojos, B.C.S.	1990.666	26 42 39	113 34 41	11 22 00	27402	45300	-89	-137	4.8
6	Punta Palmilla, B.C.S.	1990.666	23 01 48	109 43 34	09 50 30	28534	43630	-46	-7	-5.9
7	San Ignacio, B.C.S.	1990.666	27 18 31	112 53 33	10 29 32	27041	45964	75	-287	-47.4
8	'Y' de S. Domingo, B.C.S.	1990.666	25 31 06	111 54 32	10 57 54	27846	45377	457	-20	12.6
9	Cd. del Carmen, Camp.	1990.833	18 39 34	91 49 46	04 36 00	28600	45268	2688	73	11.4
10	Cd. Acuna, Coah.	1991.250	29 20 00	100 59 00	08 20 36	25950	49054	36	51	13.2
11	Laguna de Jaco, Coah.	1990.500	27 57 28	103 56 50	09 16 36	26571	47603	-111	-63	10.2
12	Monclova, Coah.	1991.250	26 46 30	101 25 04	07 56 30					
13	Torreón, Coah.	1991.250	25 34 53	103 23 24	08 45 24	27500	46220	2	71	3.0
14	Manzanillo, Col	1990.583	19 07 02	104 21 19	08 32 18	29231	41834	-41	-131	1.8
15	Comitán, Chis.	1990.916	16 13 58	92 08 55	04 58 36	29030	40914	-4	-23	10.8
16	Tapachula, Chis.	1990.916	14 52 55	92 18 50	04 54 12	29549	40353	297	211	-5.9
17	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	1990.916	16 45 08	93 05 50	05 03 18	29071	41190	-54	16	-4.8
18	Cd. Juárez, Chih.	1990.500	31 38 30	106 26 30	10 23 30	25513	49680	-56	127	-1.8
19	Chihuahua, Chih.	1990.500	28 42 27	105 59 07	09 52 12	26530	47870	-22	31	0.0
20	N. Casas Grandes, Chih.	1990.500	30 24 18	107 52 53	10 38 36	26136	48760	77	15	-4.2
21	Parral, Chih.	1990.500	26 54 43	105 46 18	09 28 54	27132	46833	54	163	-1.8
22	Durango, Dgo.	1990.500	24 00 30	104 39 30	08 42 06	28102	45080	38	112	-9.0
23	Acapulco, Gro.	1990.916	16 53 51	99 59 08	07 17 30	29710	40990	103	109	-7.8
24	Zihuatanejo, Gro.	1990.916	17 38 14	101 33 48	08 19 30	29473	41787	568	-73	29.9
25	Guadalajara, Jal.	1990.583	20 31 46	103 17 45	08 27 48	28899	43081	192	-32	7.8
26	Teoloyucan, Mex.		19 44 48	99 10 53	07 15 18	28794	42700	-83	-59	5.4
27	Uruapan, Mich.	1990.583	19 24 36	102 03 12	08 33 18	29040	42150	-140	-101	34.8
28	Tepic, Nay.	1990.583	21 28 21	104 53 00	08 47 24	28923	43374	49	151	1.2
29	Oaxaca, Oax.	1990.916	17 24 00	96 42 36	06 54 12	29220	41041	-403	-3	28.8
30	Pinotepa Nacional, Oax.	1990.916	16 20 26	98 03 15	06 57 06	29683	40879	201	115	3.6
31	Salina Cruz, Oax.	1990.916	16 10 41	95 11 48	05 53 36	29410	40686	-80	44	-4.8
32	'Y' Sn. M. Allende, Qro.	1991.250	28 49 12	100 26 28	07 36 12	28750	43501			
33	Chetumal, Q. Roo	1990.833	18 30 22	88 19 29	02 35 24	28383	42800	250	155	-7.8
34	F.C. Puerto, Q. Roo	1990.833	19 33 56	88 02 44	02 08 24	28008	43365	100	52	-17.4
35	Puerto Juárez, Q. Roo	1990.833	21 10 52	86 48 24	00 42 06	27401	44620	267	-34	-48.6
36	San Luis Potosí, S.L.P.	1991.166	22 11 28	101 00 00	07 54 36	28290	44160	-79	-35	8.9
37	Culiacan, Sin.	1990.666	24 45 59	107 28 24	09 41 24	28006	45181	35	68	-1.2
38	Los Mochis, Sin.	1990.666	25 48 45	108 58 54	10 17 12	27803	45370	-218	130	4.2
39	Mazatlán, Sin.	1990.583	23 11 36	106 24 04	09 21 36	28306	43980	-283	-64	6.0
40	Nogales, Son.	1990.666	31 13 19	110 59 14	11 44 30	25810	48650	-53	-44	3.6
41	Punta Penasco, Son.	1990.666	31 19 07	113 33 02	12 26 30	25976	48331	9	4	7.8
42	Sn. José Guaymas, Son.	1990.666	27 59 56	110 54 25	10 52 48	26962	46100	-584	-65	-7.8
43	Ciudad Victoria, Tamps.	1991.166	23 42 46	98 56 16	07 17 24	27806	45570	84	50	7.2
44	Matamoros, Tamps.	1991.166	25 46 17	97 31 49	06 29 36	27006	46969	-54	59	-3.6
45	Tampico, Tamps.	1991.166	22 16 44	97 52 14	06 55 36	28166	44810	166	72	13.8
46	Minatitlán, Ver.	1990.833	17 59 30	94 33 06	05 54 18	28905	42080	75	-23	17.4
47	Nautla, Ver.	1990.995	20 13 08	96 47 11	06 02 12	28806	42970	-377	227	-18.6
48	Veracruz, Ver.	1990.995	19 09 08	96 11 17	05 53 30	28766	42632	-44	-32	-16.2
49	Mérida, Yuc.	1990.833	20 55 58	89 38 16	02 44 42	27866	44270	95	111	-22.2
50	Concepción del Oro, Zac.	1991.250	24 37 24	101 23 15	07 15 30	27310	45600	-213	-291	-43.8
51	Zacatecas, Zac.	1990.500	22 45 55	102 33 40	08 23 36	28240	44490	81	-18	7.2

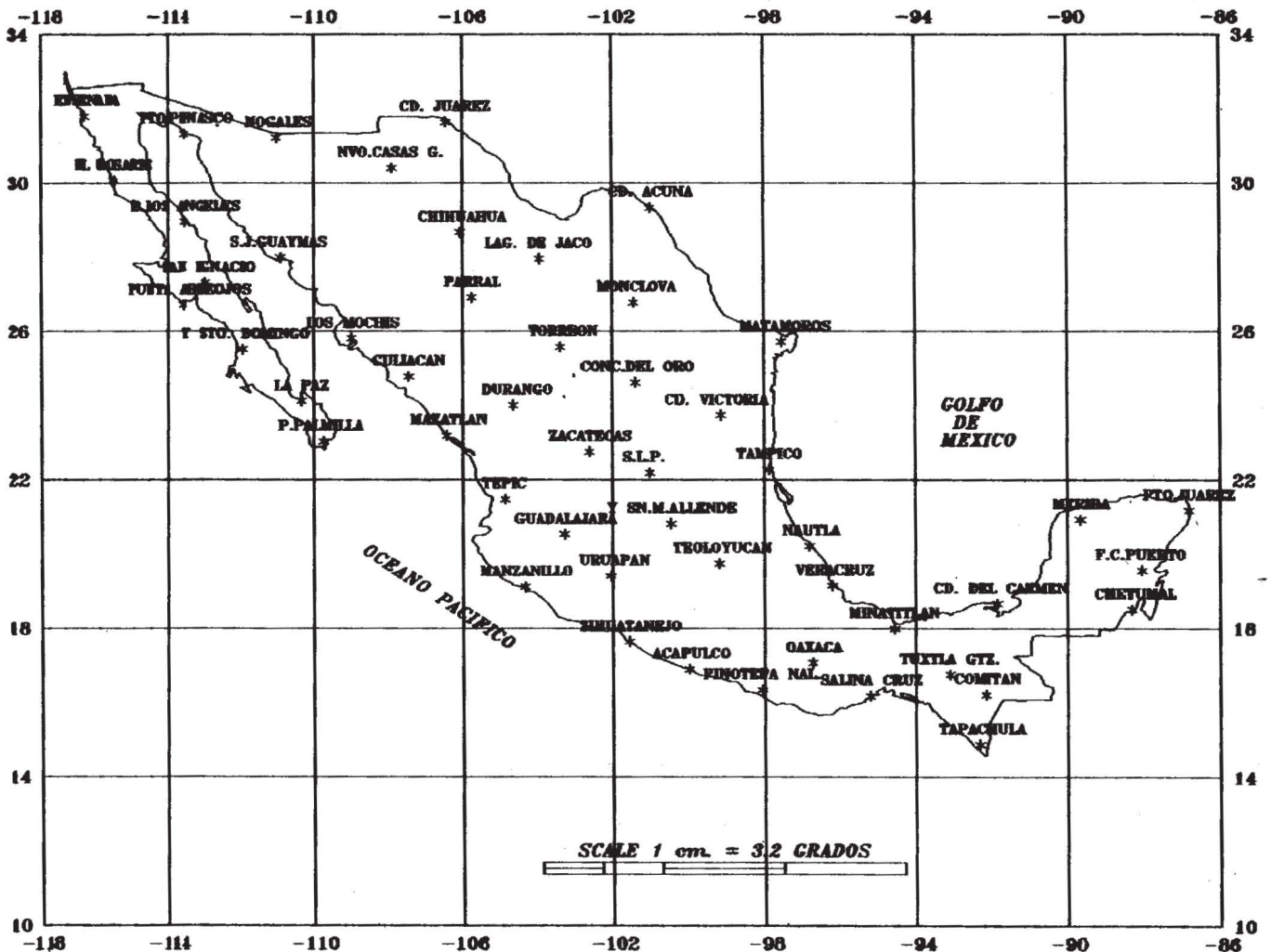


Fig. 1. Distribución de los lugares donde se realizaron las mediciones magnéticas en México.

tónica). Las mediciones se corrigieron por variación diurna mediante promediación de valores máximos y mínimos. Utilizando la variación secular de las estaciones de la red de repetición, la información se redujo a la época 1990.0 con el fin de evitar una comparación con el modelo preliminar del IGRF para 1990-1995, el cual está basado en la predicción que reportan los coeficientes de variación secular para este período (IAGA, 1992).

Las Figuras 2, 3, y 4 presentan los resultados de nuestro análisis comparativo. Para el campo total la diferencia media entre el IGRF y las medidas obtenidas en campo fué de 10.6 nT, y una media (RMS) de 206 nT (el valor de 2688 en Ciudad del Carmen no se consideró porque está asociado al malfuncionamiento del magnetómetro de campo total). Las diferencias varían entre -584 y 568 nT. Las diferencias presentan una distribución espacial (Figura 2) y no se encontró ninguna dependencia con la longitud o latitud asociada a la distribución de observatorios geomagnéticos en esta región del planeta (Figura 2). El patrón que exhiben

las áreas es de extensión regional, y en particular las diferencias positivas se caracterizan por grandes longitudes de onda a lo largo de la costa sudoeste del Océano Pacífico, una gran porción de la Península de Yucatán, la costa del Golfo de México a lo largo de la frontera con los E.E.U.U., en la Península de Baja California. La parte continental muestra valores negativos, y solamente la provincia geológica de la Sierra Madre Occidental (SMOc) se asocia con valores positivos.

Ya que las mediciones y su reducción se practicaron cuidadosamente (no se encontró correlación entre las diferencias más pronunciadas y los índices Kp de actividad geomagnética en los días de medición correspondientes), creemos que este patrón se asocia con anomalías corticales regionales observadas en los mapas geomagnéticos (aeromagnéticos y mapas de anomalías magnéticas de satélite) que cubren al país (o parte de él). Las diferencias positivas corresponden con las anomalías magnéticas positivas pronunciadas de extensión regional. Por ejemplo, en el Mapa de

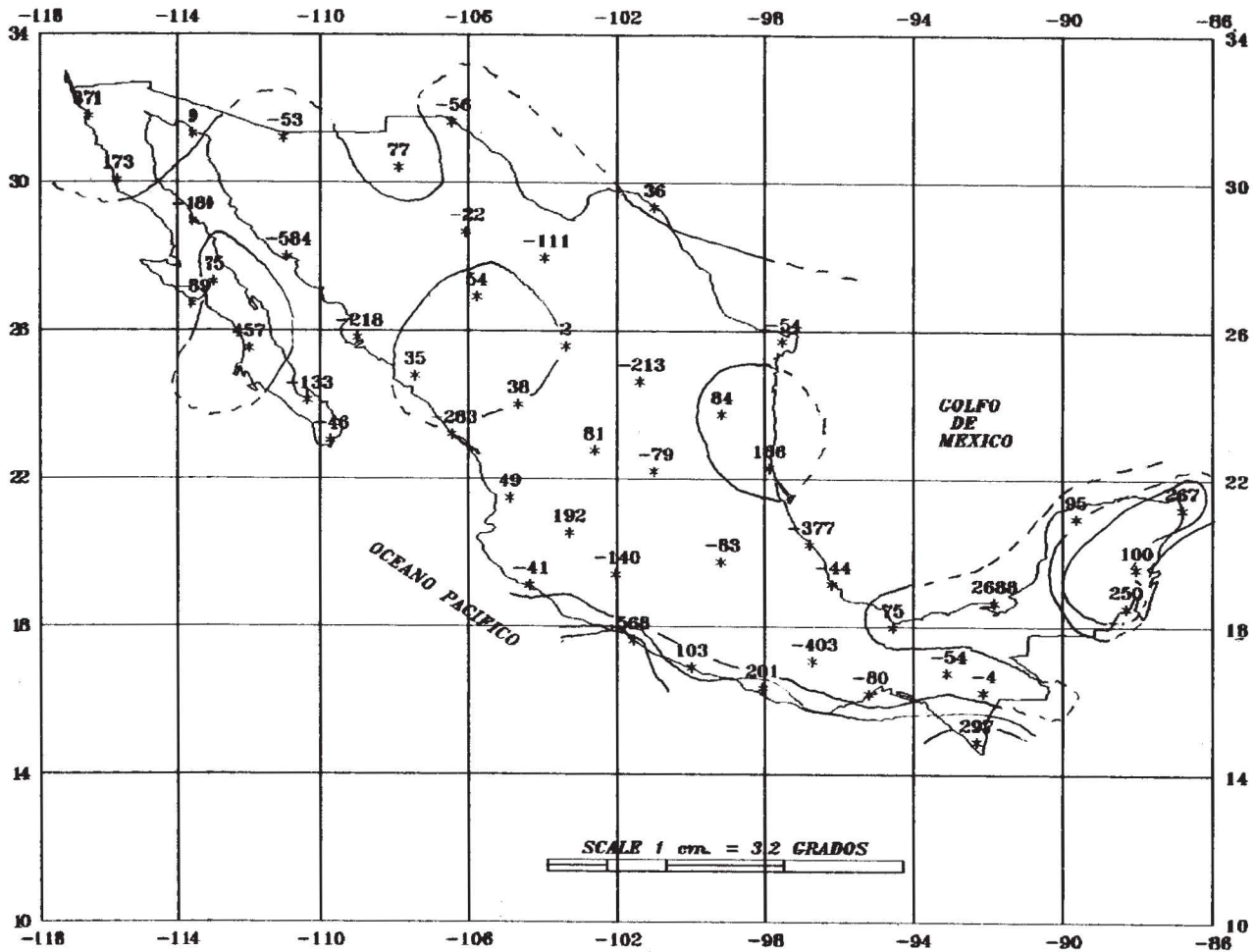


Fig. 2. Diferencias entre la intensidad total de campo magnético medida, y los valores obtenidos del IGRF. Solamente la isolínea de intensidad cero nT está indicada (hacia el suroeste también las de 100 y 200 nT). Los valores mostrados están en nT.

Anomalías Magnéticas para América del Norte puede observarse que 1) la región de los Tuxtlas y la provincia alcalina situada a lo largo del Golfo de México en la Planicie costera exhiben anomalías magnéticas positivas de longitud de onda intermedia; 2) anomalías positivas marcadas también se observan a lo largo de la costa del Océano Pacífico. Los mapas de anomalías magnéticas vectorial y escalar de MAGSAT (Frey, 1982; Hinze et al., 1982; Langel et al., 1982 a y b; Cohen y Achache, 1990) muestran anomalías positivas de extensión regional a lo largo de la costa suroeste, y sobre la península de Baja California una correlación se observa entre el máximo en las anomalías derivadas de datos de satélite y las diferencias correspondientes obtenidas en este trabajo.

Se puede observar también en la península de Yucatán una anomalía de intensidad intermedia que se correlaciona con las anomalías de la costa suroeste y con aquella que cubre la región del Mar Caribe (Council et al, 1989).

Dos diferencias positivas aisladas cerca de los E.E.U.U. pueden ser asociadas con la parte más meridional de una

anomalía magnética regional localizada en la cuenca del oeste de Texas y que cubre gran parte del sur de los E.E.U.U. Finalmente las diferencias negativas cubren una gran porción del norte de México (con excepción de la SMOc) y concuerdan con la existencia de una anomalía negativa regional que cubre gran parte del Golfo de México y se extiende hacia el este en la parte norte del país.

Las correlaciones sugieren que el patrón observado en las diferencias entre los valores del IGRF y la información de campo representa una versión suavizada (debido a la poca cobertura) de las anomalías regionales. Las diferencias correspondientes a la componente horizontal presentan un patrón similar (Figura 3). Solamente se observan diferencias menores. La desviación media correspondiente y la desviación RMS son de 24.4 nT, y 116 nT respectivamente.

El IGRF se adapta mejor a la información de declinación (Fig. 4). Las diferencias más grandes son de cerca de 45 minutos. En este caso tenemos valores de -0.6' y de 18.7' para la diferencia media y la desviación de RMS respectivamente. Podemos concluir de esta evaluación que el

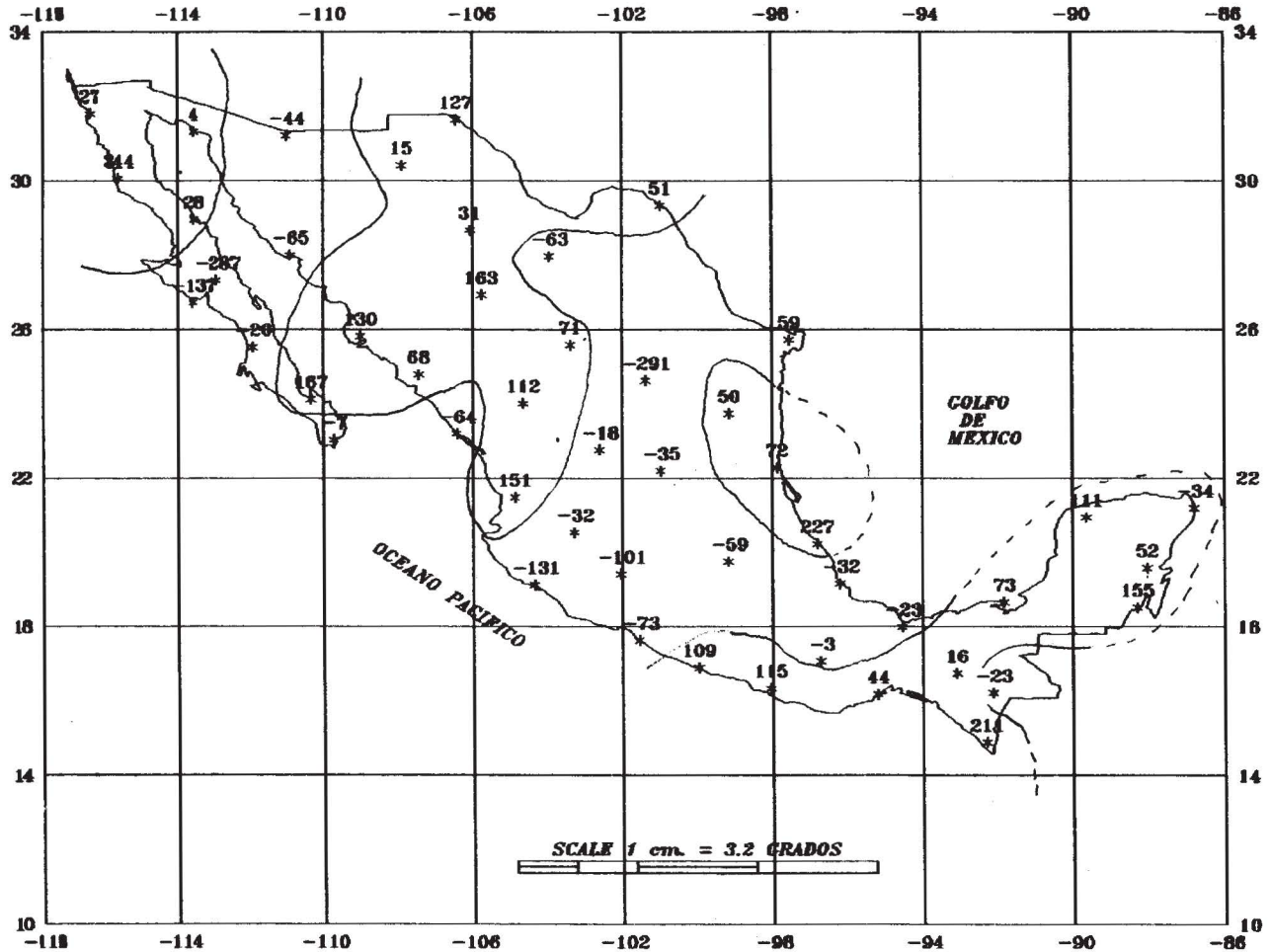


Fig. 3. Diferencias entre la componente horizontal de campo magnético medida y valores obtenidos del IGRF. Solamente la isolinia correspondiente a cero nT está indicada. Los valores están mostrados en nT.

IGRF provee un excelente campo geomagnético de referencia para el territorio mexicano para la época 1990.0. La evaluación del IGRF antes de 1990 utilizando la información de las estaciones de repetición está en curso.

### CONCLUSIONES

Hemos evaluado el IGRF en México. Para la época 1990 se tienen los valores de 10.6 nT, 24.4 nT, y de  $-0.6'$  para las diferencias medias entre la intensidad total, la componente horizontal y la declinación medida en el campo y los valores obtenidos del IGRF. La desviación RMS tiene valores de 206 nT, 116 nT, y 18.7' respectivamente. Las diferencias presentan un patrón que se correlaciona con las anomalías magnéticas regionales que reportan mapas basados en datos del MAGSAT, y pueden ser asociadas a fuentes en la corteza (es decir, hemos obtenido una versión suave, debido al muestreo escaso, de anomalías regionales de origen cortical). El IGRF provee un campo de referencia geomagnético satisfactorio para México.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las observaciones y asistencia de A. Godínez-Luna y Gerardo Zenteno. Esta es una contribución del Departamento de Geomagnetismo y Exploración del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

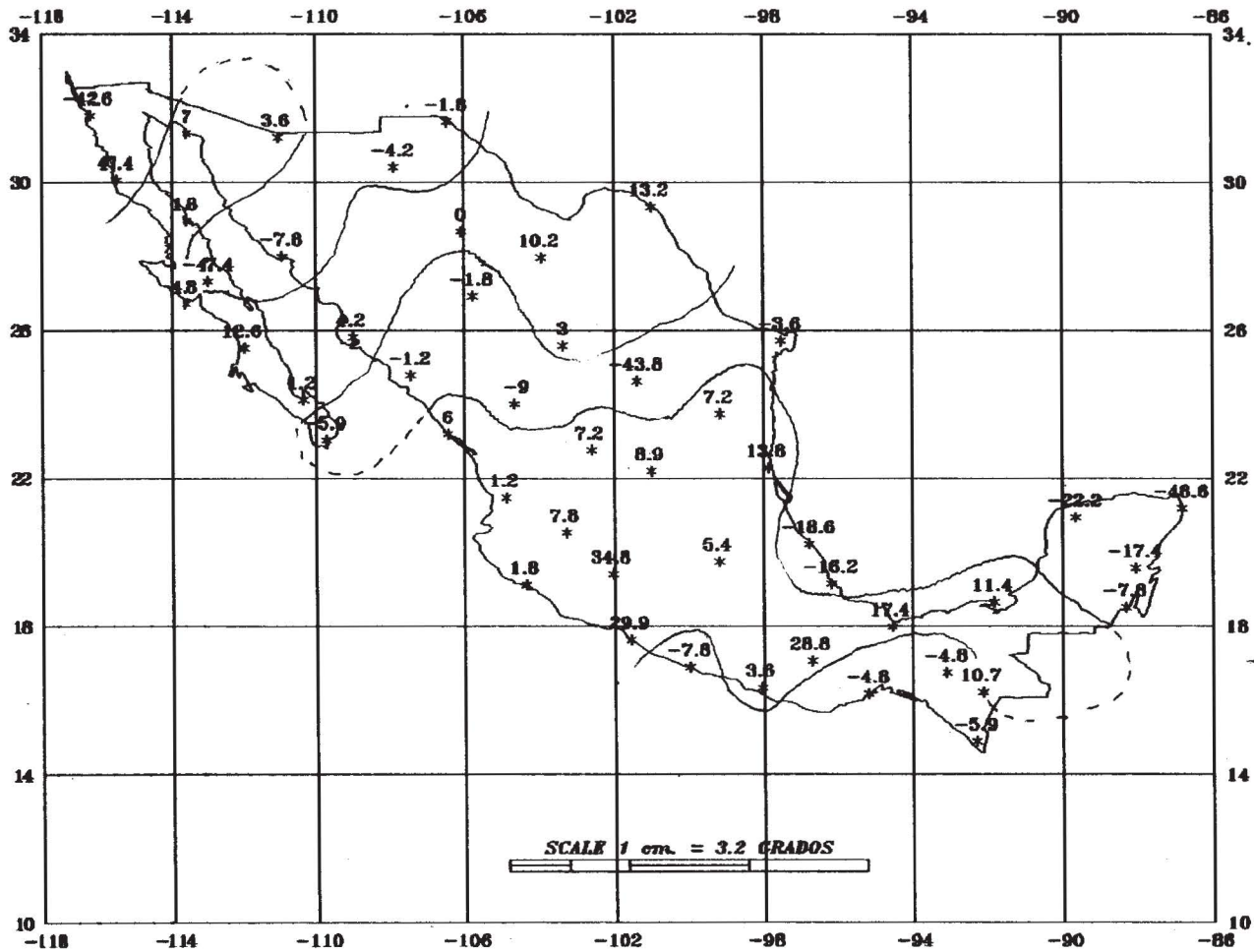


Fig. 4. Diferencias entre la declinación magnética medida y los valores obtenidos del IGRF. Solamente la isógona correspondiente a cero minutos se indica. Los valores están mostrados en minutos.

### BIBLIOGRAFIA

- BARRACLOUGH, D. R., 1987. International Geomagnetic Reference Field: the fourth generation. *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 48, 279-292, 1987.
- CAÑON-AMARO, C., E. HERNANDEZ-QUINTERO, H. NOLASCO-CHAVEZ, A. OROZCO-TORRES y G. ALVAREZ-GARCIA, 1993. Cartas Magnéticas de la República Mexicana para la época 1990.0, Escala 1: 5000,000. Instituto de Geofísica-INEGI, México.
- CAÑON-AMARO, C., 1984. Variaciones de la declinación magnética de la República Mexicana desde 1630. *Comunicación Técnica*, Nº. 38, IGF-UNAM.
- COHEN, Y. y J. ACHACHE, 1990. New global vector magnetic anomaly maps derived from MAGSAT data. *J. Geophys. Res.* 95, B7, 10783-10800.
- COMMITTEE FOR THE MAGNETIC ANOMALY MAP OF NORTH AMERICA, 1987. The magnetic anomaly map for North America (scale 1:5000,000), a publication of the Decade of North American geology. The American Society of Geology, Inc., Boulder Colorado.
- COUNIL, J. L. J. ACHACHE y A. GALDEANO, 1989. Long-wavelength magnetic anomalies in the Caribbean: Plate boundaries and allochthonous continental blocks. *J. Geophys. Res.*, 94, B6, 7419-7431.
- DAWSON, E. y L. R. NEWITT, 1978. IGRF comparisons. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 16, 1-6.
- DAWSON, E. y L. R. NEWITT, 1982. Comparison of IGRF models with North American magnetic data. *J. Geomag. Geoelectr.*, 34, 393-400.
- FREY, H., 1982. MAGSAT scalar anomaly distribution: The global perspective. *Geophys. Res. Lett.*, 9, 4, 227-280.
- GODINEZ-LUNA, A., 1990. Valores magnéticos para el año de 1987. *Obs. Magnético de Teoloyucan, Datos Geof. Serie C*, Inst. Geof. UNAM, México, 46 pp.

- HINZE, H. J., R. R. B. VON FRESE, M. B. LONGACRE y L. W. BRAYLE, 1982. Regional magnetic and gravity anomalies of South America. *Geophys. Res. Lett.*, 9, 4, 314-317.
- IAGA DIVISION I WORKING GROUP 1 (D. R. Barraclough, Chairman), 1988. International Geomagnetic Reference Field Revision, 1987. *Geophys. J.* 93, 187-189.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOMAGNETISM AND AERONOMY (IAGA), Division V. Working group 8. Analysis of the main field and secular variation (R. A. Langel, Chairman), 1992. International Geomagnetic Reference Field, 1991 revision. *Geophys. J.*, 108, 945-946.
- LANGEL, R. A., J. D. PHILLIPS y R. J. HORNER, 1982. Initial scalar anomaly map from MAGSAT. *Geophys. Res. Lett.*, 9, 4, 269-272.
- LANGEL, R.A., C.C. SCHNETZLER, J.D. PHILLIPS y R. J. HORNER, 1982. Initial vector anomaly map from MAGSAT. *Geophys. Res. Lett.*, 9, 4, 273-276.
- PEDDIE, N. W., 1983. International Geomagnetic Reference Field-Its evolution and the difference in total field intensity between new and old models for 1965-1980. *Geophys.*, 48, 12, 1691-1696.
- SANDOVAL, O. R., 1950. Elementos magnéticos en la República Mexicana. Servicio Geomagnético, Instituto de Geofísica, UNAM (México), pp. 182.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. y J. O. CAMPOS-ENRIQUEZ. Geomagnetic secular variation in central Mexico since 1923 AD and comparison with 1945-1990 IGRF models. *J. Geomag. Geoelectr.*, 45, 3.
- VASSAL, J., 1987. Secular change in the geomagnetic fields in west Africa for thirty years: Comparison with fourth generation IGRF models. *J. Geomag. Geoelectr.*, 39, 699-707.
- 
- Hernández-Quintero E.<sup>1</sup>, H. Nolasco-Chávez<sup>1</sup>, J.O. Campos-Enríquez<sup>1</sup>, C. Cañón-Amaro<sup>1</sup>, A. Orozco-Torres<sup>1</sup>, J. Urrutia-Fucugauchi<sup>1</sup> y G. Alvarez-García<sup>2</sup>.
- <sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM.  
Del. Coyoacán, 04510 México, D. F.
- <sup>2</sup>Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI), Héroes de Nacozari 2301 sur.  
20290 Aguascalientes, Ags., México.