

DIFERENCIAS TEMPORALES DE GRAVEDAD  
EN LA LINEA N23 (SAN JUAN-CHEPES)  
OBTENIDOS ENTRE 1970 Y 1986  
ROBLES, J. A.\* - INTROCASO, A.\*\*

RESUMEN

Una reciente remediación gravimétrica (1986) de la Línea N23 (San Juan-Chepes) comparada con las mediciones de 1970, señala: (1) para el oeste de la línea redistribución de masas y (2) movimientos tafrogénicos con su máxima expresión en los alrededores de la estación 31.

ABSTRACT

A recent gravimetric remeasurement (1986) of the N23 Line (San Juan-Chepes) compared with the 1970 measurements, shows: (1) mass redistributions for the west of the line, and (2) taphrogenic movements with highest expression in the surroundings of station 31.

\* INSTITUTO SISMOLOGICO ZONDA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

\*\* INSTITUTO DE FISICA DE ROSARIO (IFIR)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO  
INVESTIGADOR DEL CONICET

### INTRODUCCION

La línea N23 (San Juan-Chepes), de una longitud aproximada de 230 km., se encuentra amojonada en promedio cada 4 km. y corre paralelamente a las vías del Ferrocarril General Belgrano (véase Fig. N° 1). Ella atraviesa la zona donde se produjera el sismo de Cauçete de Noviembre de 1977.

En 1970, Introcaso, A. de la Universidad Nacional de Rosario conjuntamente con personal del Instituto Sismológico Zonda, efectuaron un relevamiento gravimétrico de esta línea trabajando con un gravímetro Worden Geodésico (776) en un sistema: A, B, C.....C, B, A (véase Introcaso-Huerta 1972).

En 1938, el Instituto Geográfico Militar (IGM) realizó una nivelación de alta precisión sobre esta línea que fue renivelada cuidadosamente en 1980 por el Instituto Sismológico Zonda (ISZ), luego del terremoto de Cauçete de Noviembre de 1977. Para las nivelaciones y renivelaciones realizadas se siguieron las exigencias señaladas para las nivelaciones de precisión ; por ejemplo , para la tolerancia se adoptó :  $T = 3\text{mm} \sqrt{L(\text{km})}$ .

Una remediación gravimétrica del total de la línea fue realizada en 1986 con un gravímetro Lacoste Romberg (145) cedido por el IGM en un sistema: AB, BA, ABC.....

Para las remediciones de "g" hemos estimado un probable intervalo de confianza de  $\pm 0,1$  mgal. teniendo en cuenta que se midió en 1970 en un sistema: A, B, C, D...D, C, B, A, sin contemplar por aquel entonces los efectos luni-solares. Excepto en el oeste, los resultados obtenidos por las remediciones de "g" son consistentes, en buena parte de la línea medida, con las deformaciones obtenidas a partir de las renivelaciones.

### RESULTADOS OBTENIDOS

Comparando las deformaciones obtenidas a partir de las renivelaciones (1938 - 1980) con las variaciones de

"g" (1970 -1986), notamos, excepto hacia el oeste de la línea, correlación inversa ("normal") entre "g" y "h" (véase Fig. 1).

La comparación es sólo morfológica, dado que tanto las nuevas nivelaciones como las nuevas mediciones de la gravedad, se apoyaron en uno u otro extremo de la línea N23, aunque debemos admitir que ambos pudieron haber sufrido desplazamientos.

La Fig. 1 muestra también la diferencia de "g" de -0,25 mgal. encontrada por Cerrato (1983) en Cauce, respecto de las estaciones cercanas. Este resultado se ve consistente con nuestras mediciones. Hemos calculado también la deformación hipotética del terreno a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta h' = - \Delta g / \left( \frac{\partial g}{\partial z} \right)_n \quad (1)$$

Siendo:  $\Delta h'$  : deformación hipotética del terreno.

$\Delta g$  : cambio temporal de "g" en cada estación.

$\left( \frac{\partial g}{\partial z} \right)_n$  : gradiente vertical normal de gravedad.

Como podemos observar en la parte superior de la Fig. 1 en términos generales, con excepción de la zona oeste del perfil, la morfología de las curvas obtenidas a partir de (1) y a partir de las renivelaciones coincide aceptablemente. Ambas curvas han sido desplazadas verticalmente para comparar sus formas.

Hemos calculado también los cambios de gravedad a partir de las deformaciones topográficas. Es decir,  $\Delta g' = - \Delta h \times 0.3086$ , y como en la Fig. 1, abajo, ellos constituyen una imagen especular de la deformación "h" observada.

## DISCUSION

Rundle (1978) demostró que para el modelo de una esfera dilatada en un semiespacio elástico y homogéneo, el

cambio de gravedad es igual al efecto de aire libre debido al levantamiento.

Para el modelo de falla inclinada, enterrada en un semiespacio elástico y homogéneo, el cambio de gravedad involucra ambos efectos: Aire Libre y Bouguer.

En áreas sísmicas y volcánicas, zonas de extracción de petróleo, de aguas subterráneas (extraídas sin colapsar) los cambios de "g" están relacionados con cambios de "h" mediante relaciones notablemente anómalas.

Hasta el momento, las deformaciones originadas por el terremoto de Cauce de Noviembre de 1977 han sido interpretadas con diferentes modelos.

Así Volponi et al (1982) propusieron un levantamiento de la parte oriental de Pie de Palo respecto de la occidental a través de una falla inversa inclinada hacia el este, explicando de esta forma la diferencia de cota de 1,30 m, que por otra parte resultó consistente con la diferencia de "g" (mediciones de 1970 y 1979,80).

Kadinsky-Cade et al (1985) y Reilinger y Kadinsky (1985) propusieron modelos de deformación superficial usando la profundidad focal de 17 km. y seleccionando un plano inclinado hacia el oeste.

Langer y Bolhinger (datos no publicados) prefirieron trabajar con una profundidad de 25-30 km. Sus modelos proponen un plano inclinado al este como causal.

Bastias (datos no publicados) estudió en el borde oriental de la Sierra de Pie de Palo el complejo sistema de Ampacama-Niquizanga proponiendo una elevación del bloque oriental con inclinación al este.

En nuestro caso, la curva de deformación para la línea N23 fue calculada a partir de los cambios de "g" con un coeficiente de aproximadamente 3,1 microgal/cm que corresponde al gradiente vertical normal. No obstante, el gradiente

vertical de la zona es notablemente anómalo, tanto por nuestras mediciones como por los datos publicados por Volponi et al (1982) que admiten valores de:  $\frac{\Delta g}{\Delta z} = -(3,9 \text{ a } 4,1) \frac{\text{microgal}}{\text{cm}}$

Con este gradiente, la máxima deformación calculada (estación 31) en la hipótesis de dilatación es de aproximadamente 1m. y en la hipótesis de fallamiento de 1,30 m.

La Fig. 2 muestra tanto las deformaciones topográficas (Fig. 2<sup>a</sup>) como el probable intervalo de confianza de los  $\Delta h'$ , idealizados, calculados a partir de los "g" observados, admitiendo una incertidumbre probable de  $\pm 0,1$  mgal.

La Fig. 2 'b' muestra el intervalo de confianza para las diferencias de "g" observadas, ( $\Delta g \pm 0,1$  mgal.) junto con la curva  $\Delta g'$  calculada a partir de las  $\Delta h$ . Notemos que los lapsos de las renivelaciones (1938 - 1980) son diferentes a los de las remediciones de "g" de 1970 - 1986). Por ello y dadas las incertidumbres que admitimos para las primeras mediciones de "g" de 1970, no podemos ser conclusivos cuantitativamente, aunque las correlaciones inversas sobre Pie de Palo (y en menor medida hacia el este) resultan significativas.

Por otra parte las Sierras Pampeanas, tres de las cuales son bordeadas por el perfil, han sido consideradas como un sistema de bloque falla (Gordillo-Lencinas 1972) y su movilidad ha sido sostenida por la reconocida sismicidad de la zona (Volponi 1979, Triep et al 1984). Introcaso et al (en prensa) sostienen que la Sierra de Córdoba y las Sierras Pampeanas del oeste responden a una tectónica tangencial activa. Fuertes movimientos compresionales provocarían el levantamiento de las Sierras a través de fallas listricas. Kadinsky-Cade y Reilinger (1985) encuentran para las Sierras Pampeanas un acortamiento de 10 mm/a para los últimos 5 M.a. A partir de estas consideraciones y teniendo en cuenta la relación inversa "normal" entre cambios de "g" (negativos) y cambios de la superficie topográfica (positivos) como puede verse

en la Fig. 1, excepto en el oeste, concluimos que la correlación entre  $\Delta g$  y  $\Delta h$  se debe a un modelo de fallamiento más que a un modelo de dilatación elástica. Un fenómeno distinto podría estar presente en el oeste de la sección, donde la falta de correlación entre  $\Delta g$  y  $\Delta h$  parece indicar significativas redistribuciones de masas.

### CONCLUSIONES

Se destaca aquí la importancia de combinar en los estudios de deformaciones superficiales y cambios endógenos de masas, renivelaciones de alta precisión con precisas mediciones de "g".

Desde el extremo Oeste (Nodal 70 de la línea N23), hasta aproximadamente la estación 37, la curva de deformación obtenida a partir de renivelaciones de precisión no presenta correlación inversa ("normal") entre  $\Delta g$  y  $\Delta h$  (nótese también las discrepancias entre ambas curvas de deformación, en la parte superior de Fig. 1). Estarían presentes allí significativas redistribuciones de masas.

Luego, culminando en la estación 31, existe una nítida correlación inversa ("normal") entre  $\Delta g$  y  $\Delta h$ , que interpretamos como levantamiento tafrogénico.

Futuras mediciones completarán este estudio.

### RECONOCIMIENTO

Al Instituto Geográfico Militar por haber cedido el Gravímetro Lacoste Romberg (145) utilizado en la medición de la línea.

A las autoridades del Ferrocarril Nacional General Belgrano por el aporte de un coche motor y personal del ferrocarril, de valiosa ayuda en el presente estudio.

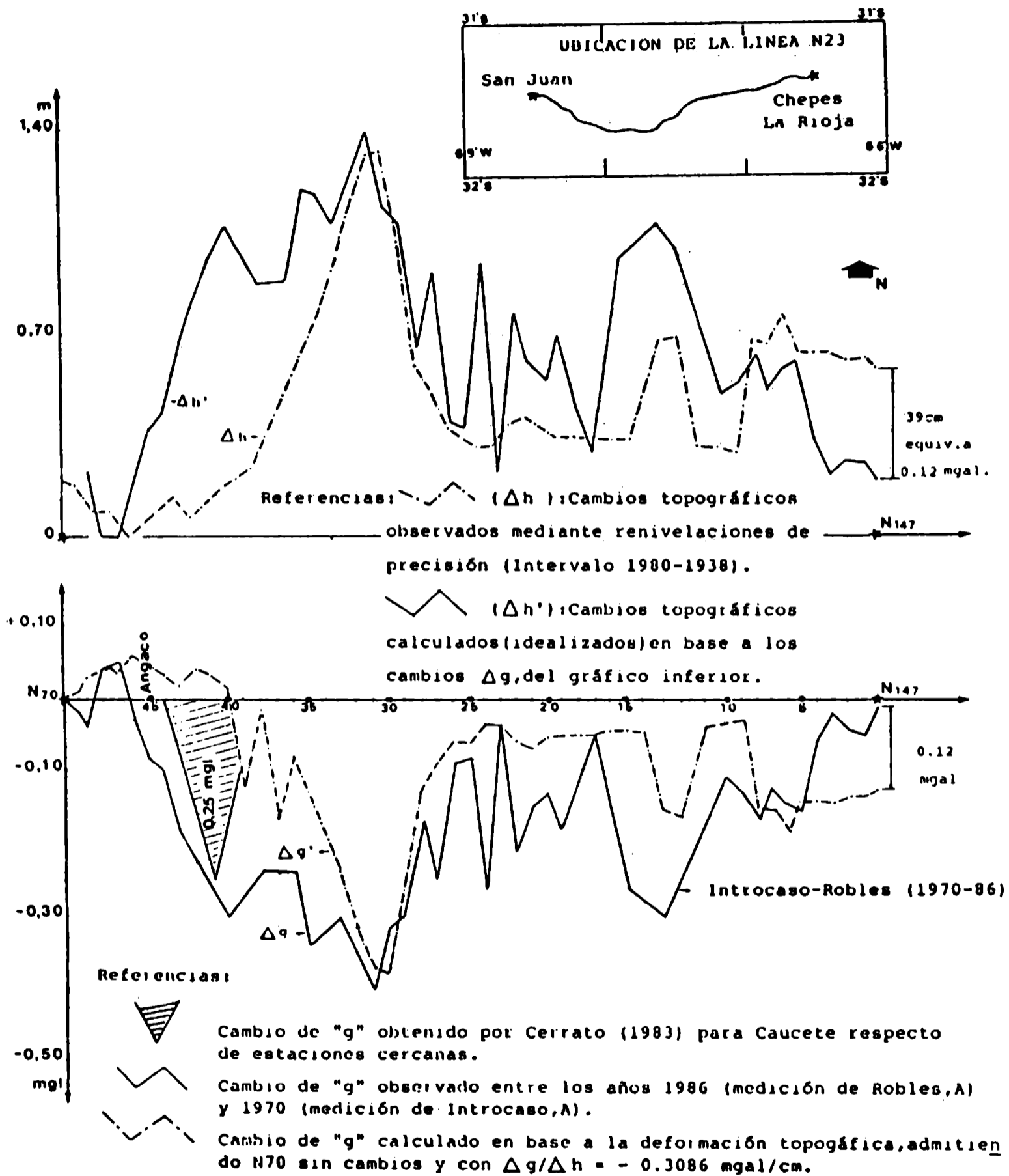


FIGURA 1- Arriba. Cambios topográficos observados ( $\Delta h$ ) y calculados ( $\Delta h'$ ) en base a los g observados sobre la Línea N23.

Abajo. Cambios de gravedad observados ( $\Delta g$ ) y calculados ( $\Delta g'$ ) en base a las deformaciones ( $\Delta h$ ) sobre la Línea N23.

a-Grado de coincidencia entre los  $\Delta g'$  calculados y la zona de vacilación de los valores de "g" observados ( $\Delta g \pm 0.1 \text{ mgal}$ ).

b-Grado de coincidencia entre las deformaciones topográficas  $\Delta h$  observadas y la zona de vacilación de los valores  $\Delta h'$  calculados en base a los  $\Delta g \pm 0.1 \text{ mgal}$ .

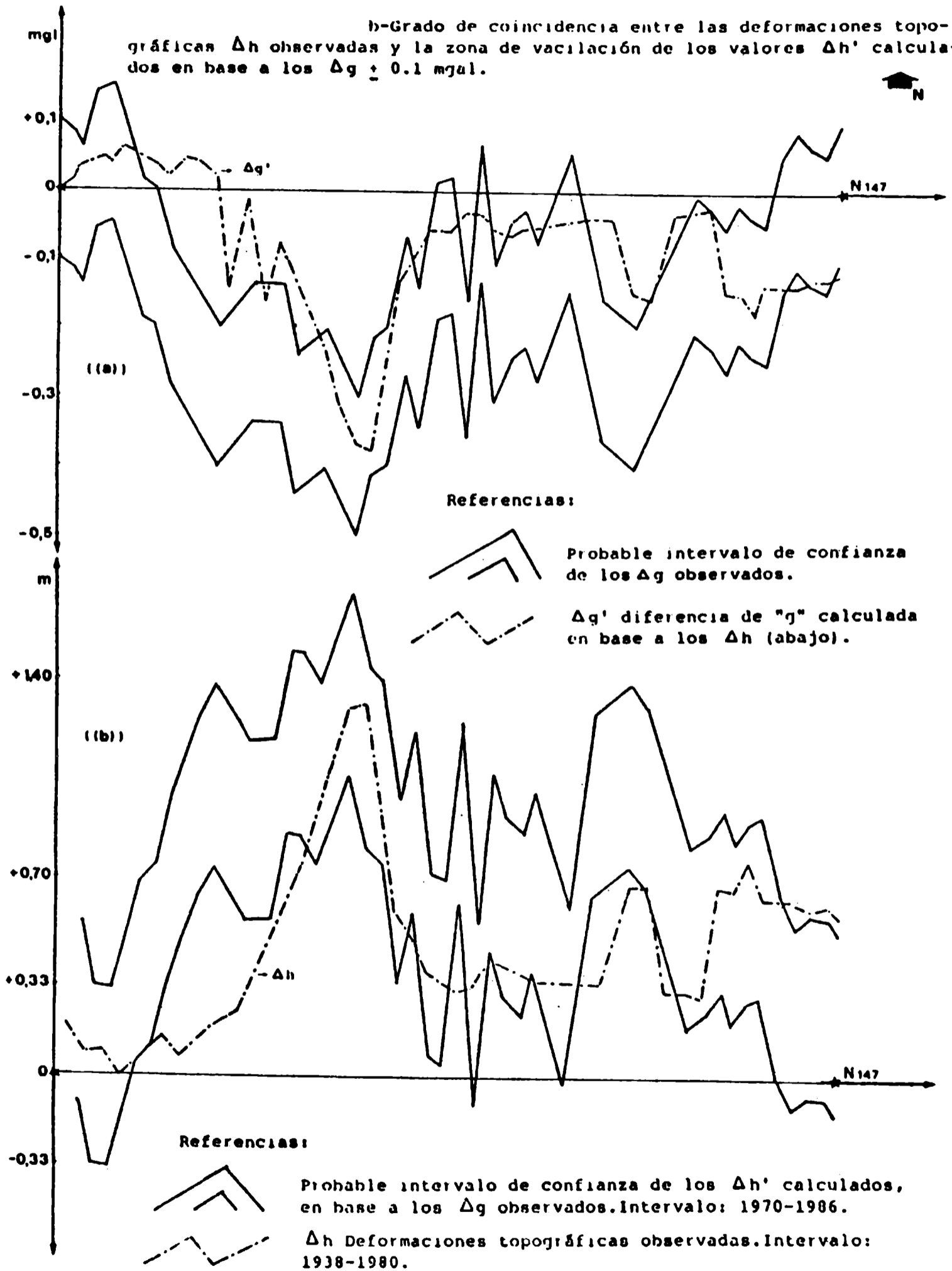


FIGURA 2



Este trabajo fue soportado parcialmente por CONICET (PID 3-073400-85), por la Universidad Nacional de San Juan (FCEFN) y por el Instituto de Física de Rosario.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Cerrato, A. - Masciotra, J. - Nuñez, O. - 1983.  
Remediciones de la línea gravimétrica Mendoza-San Juan-Guayamas 1949 - 1982.  
Instituto de Geodesia. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
2. Gordillo, C. E. - Lencinas, A. - 1972.  
Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. I Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba Vol. 1-1-79.
3. Introcaso, A. - Huerta, E. -1972.  
Perfil gravimétrico trascontinental Sudamericano (Paralelo 32°) I.P.G.H. 21 N° 22 - Pág. 133 - 159.
4. Introcaso, A. - Lión, A. - Ramos, V. - 1987.  
La estructura profunda de la Sierra de Córdoba en prensa en Revista de la Asociación Geológica Argentina (R.A.G.A.)
5. Kadinsky - Cade, K. - Reilinger, R. - 1985.  
Surface deformation associated with the November 23, 1977 Caucete - Argentina earthquake sequence. J.G.R. Vol. 90 - 12691 - 12700.
6. Reilinger, R. - Kadinsky - Cade, K. - 1985.  
Earthquake deformation cycle in the Andean Back Arc, western Argentina J.G.R. Vol. 90 p - 12701 - 12712.
7. Rundle, J. - 1978.  
Gravity changes and the Palmdale uplift, Geophy. Res. Le Hers. Vol. 5 - 41 - 44.
8. Volponi, F. - Quiroga, M. - Robles, A. - Sisterna, J. - 1985.  
El terremoto de Caucete del 23 de noviembre de 1977. Universidad Nacional de San Juan.

9. Triep, E. - Cardinalli, C. - 1984.  
Mecanismos de sismos en las Sierras Pampeanas occidentales  
- 9° Congreso Geológico Argentino. Actas III, 61 - 80.
10. Volponi, F. - Sisterna, J. - Robles, A. - 1982.  
Orogenia, fuerzas gravitacionales y fuerzas tectónicas  
5° Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, Actas  
III - 719 - 730.