

**CONTACTE
CON NOSOTROS**



Usted podrá recibir servicios y productos en las siguientes actividades:

- Exploración
- Geología Estructural
- Geoquímica
- Estratigrafía
- Petrografía y Micropaleontología
- Evaluación de Reservorios y Cálculo de Reservas
- Petrofísica y Muestrería
- Fluidos de Superficie y Capas
- Esquema de Explotación
- Recuperación
- Fluidos de Perforación y Cementación
- Catálisis
- Refinación y Lubricantes
- Química Ambiental
- Química Analítica
- Química Orgánica
- Biotecnología
- Corrosión
- Planta Piloto

Centro de Investigaciones del Petróleo

Washington #169 esq. a Churrucá,
Municipio Centro.Habana, 12000, Cuba.

TELÉFONOS:

Pizzarra: 40 4500, 40 4520, 40 4544
Dirección: 41 1132
Fax: (537) 66 6021

Aplicación de métodos morfométricos como apoyo a estudios neotectónicos

Guillermo Sagripanti*

Daniel Origlia*

Laureano Orbera Hernández **

*Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

**CEADEN, Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo de la Energía Nuclear.

RESUMEN: Las metodologías y técnicas morfométricas aplicadas sobre hojas topográficas a escala 1:50 000 permiten obtener buenos resultados en la detección de estructuras geológicas, establecer límites de bloques, así como también para la identificación y zonificación de bloques levantados o deprimidos por la actividad neotectónica. Favorecen el análisis e interpretación de los distintos niveles de información obtenidos, al considerar la red de drenaje y los aspectos geomorfológicos.

Los resultados alcanzados de la interpretación de la superposición expresan que la zona escogida está tectónicamente perturbada, el control estructural es muy marcado por cuatro familias de fallas, la disección vertical del relieve es considerable y se diferencian claramente aquellos bloques que han sufrido los movimientos neotectónicos antiguos de los recientes.

Se ha comprobado la utilidad de los mapas de superficies básicas de erosión de distintos órdenes, de relieve residual y de disección vertical para la determinación de actividad neotectónica de la zona, así como de las dislocaciones que resultan de ella.

Como producto final se obtuvo un mapa preliminar de fallas de la zona.

ABSTRACT: Morphometric methodologies and techniques applied to topographic sheets on scale 1:50 000 allow obtain good results in the detection of geologic structures, to set up block block boundaries as well as for identification and zonification of blocks elevated or depressed by the neotectonic activity. The support the analysis and interpretation of the different levels of information obtained, consideration of the drainage network and the geomorphologic aspects.

Results obtained from the interpretation of information overlay express that the selected zone is tectonically disturbed, the structural control is quite marked by four families of faults, the vertical dissection of the relief is considerable, and those blocks which have suffered neotectonic movements older than recent ones, are clearly differentiated.

The usefulness of maps of different-rate basic erosion surfaces, of residual relief and vertical dissection to assess the neotectonic activity of the zone as well as the dislocations resulting from this, has been shown.

As a result of this, a structural map of the zones was obtained.

INTRODUCCIÓN

De gran utilidad ha sido hasta el momento la aplicación de métodos geomorfológicos en el estudio de los movimientos novísimos y contemporáneos de la corteza terrestre, considerados como neotectónicos o tectónica viva, lo que ha permitido el análisis de la génesis, rango y edad de las diferentes categorías del relieve y su correlación con los sedimentos del preneógeno y neógeno-cuaternario (Orbera, L., 1994).

El método morfométrico cobró notable desarrollo con los trabajos de V.P. Filosofov, quien lo aplicó a la prospección de las elevaciones gaso-petrolíferas. El método indicado reside en la confección de una serie de mapas morfométricos basado en mapas topográficos (Jain, V.E., 1983).

Los métodos morfométricos aplicados en hojas topográficas permiten un análisis cuantitativo parcializado de los componentes del relieve, identificando las zonas positivas que yacen arriba de los niveles de base de erosión local y las zonas negativas de acumulación. Además, posibilitan establecer la ubicación y el desarrollo de las dislocaciones tectónicas, la determinación de las edades relativas de reactivación y la intensidad de desplazamientos de bloques, que posteriormente analizados en forma general, favorecen a la comprensión de la actividad neotectónica de una región.

Con estos métodos se pueden obtener buenos resultados cuando se aplican en relieves con accidentes marcados, no ocurriendo lo mismo cuando se les emplea en relieves de llanura poco accidentados de tectónica reciente.

Los objetivos del presente trabajo son determinar la ubicación de fallas geológicas límites de bloque, establecer la edad relativa de movimiento entre bloques, categorizar la disección del relieve como indicador de la intensidad de la actividad neotectónica y obtener un mapa preliminar de fallas para la zona, aplicando técnicas y metodologías sobre hojas topográficas.

Ubicación

El área de estudio se ubica al SW del departamento Río Cuarto, en la provincia de Córdoba, entre los 64° 30'-65° 00' de longitud Oeste y 33° 10'-33° 30' de latitud Sur; comprende las hojas topográficas del IGM, Achiras, Sampacho, Suco y Las Vertientes, y cubre una superficie aproximada de 173 900 ha (Figura 1).

Situación geológica

El área de estudio se encuentra comprendida en la provincia geológica Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis; las sierras de Córdoba se resuelven como un conjunto de bloques falla, separados por valles longitudinales; el basculamiento de los bloques mayores del basamento ha generado una morfología asimétrica con ladera oriental tendida y occidental escarpada. Las dislocaciones que limitan longitudinalmente los bloques mayores del basa-

mento son fallas inversas de alto ángulo, buzando de 50 a 70° hacia el bloque levantado; la orientación preferencial de estas es NNO-SSE, aunque también se encuentran otras familias de fracturas transversales o diagonales que dividen los bloques mayores; si bien existen en la sierra fallas de diversas edades, únicamente las originadas o reactivadas por la orogenia Andica, cenozoica son las que definen la expresión morfológica actual (Gordillo, C. y otros, 1979).

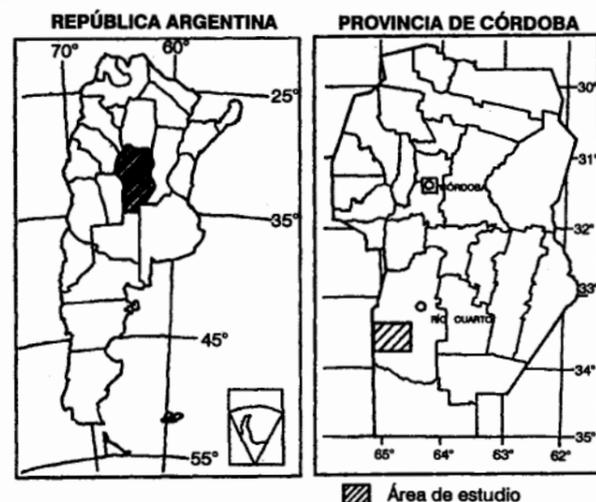


FIGURA 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

La zona es la más austral de la sierra del Comechingones, cuya última expresión son algunos cerros aislados, alineados hacia el SE.

Las litologías presentes en la región son de distintas naturalezas y edad. La estratigrafía comprende: el precámbrico, formado por basamento cristalino principalmente granitos, apatitas, pegmatitas y migmatitas que afloran en la zona de Achivas, cerro Aspero y el cerro Sampacho.

El paleozoico superior (carbónico-pérmico) está representado por areniscas cuarcíticas de grano fino y color rosado claro a pardo rojizo, de rumbo N-S y buzamiento al oeste (Sosic, M., 1964); la mayor expresión es el cerro Suco, que alcanza aproximadamente 130 m sobre la superficie.

El cuaternario está conformado por sedimentos arenosos muy finos de origen eólico de edad pospampeano y sedimentos recientes distribuidos en casi toda el área de trabajo, que en algunos sitios tienen espesores de alrededor de 200 m.

La red de drenaje de la zona comprende arroyos, lagunas y humedales. La mayoría de los arroyos existentes son de escaso caudal y drenan hacia el este y sudeste, teniendo un fuerte control estructural. Las lagunas dispuestas en rosario son alimentadas por los niveles subterráneos de agua, como la laguna de Suco, Seca, Chañaritos y Turnbull.

Es de destacar que la actividad neotectónica en la zona ha sido importante, resultado de ello es la presencia de algunos bloques levantados y otros deprimidos, en su mayoría basculados hacia el este y sudeste, y con las mayores pendientes al oeste, siguiendo el patrón que domina a las sierras de Córdoba.

Los aspectos sismotectónicos son también importantes, ya que hay presentes al menos dos estructuras sismogeneradoras de categoría III (Sagripanti y Orbera, 1995), reactivadas en el cuaternario. Esta zona es considerada sísmicamente activa por las características geológicas y geométricas de las estructuras presentes y porque ha sido epicentro de terremotos históricos de magnitudes máximas de 6,2, en el año 1934, los que han modificado la profundidad del nivel freático y sustancialmente la red de drenaje, ya sea su trayectoria como su disección vertical y horizontal. Es de destacar que la manifestación de microsismos en la zona es frecuente, en promedio 7 por año (Sagripanti, G., 1997), los que poseen seguramente una incidencia directa en la actividad neotectónica.

Métodos morfométricos

La base cartográfica sobre la que se aplicaron los distintos métodos fueron las hojas topográficas del IGM, escala 1:50 000; la hoja Achiras, 3366-24-3; Sampacho, 3366-30-2; Las Vertientes, 3366-24-4 y Suco, 3366-30-1. A los fines de facilitar las distintas tareas se organizaron formando un mosaico, que fue digitalizado con una tableta digitalizadora Summagrid IV y el sistema Autocad V12, almacenando la información en distintos niveles con el fin de favorecer el posterior análisis entre capas (*overlay*) (Mapa 1).

Los métodos morfométricos se fundan en el análisis e interpretación del relieve sobre hojas topográficas de distintas escalas. De este análisis surgen los siguientes mapas morfométricos: hipsométrico; de orden de los valles fluviales; de superficies básicas de erosión; de relieve residual evidente; de relieve residual de segundo, tercer y cuarto orden; y de disección vertical.

La confección del mapa hipsométrico se hace sobre la base cartográfica para lo cual se remarcan las curvas de nivel que se toman como límites (curvas directrices de equidistancia 20 m) y se les dan distintos tintes altimétricos a las áreas encerradas por las curvas. El mapa hipsométrico (Mapa 2) permite adquirir una idea previa de la ubicación de las dislocaciones tectónicas regionales y de los bloques, así como de la intensidad de la actividad neotectónica.

El ordenamiento de la red de drenaje se realiza revelando toda la red, incluyendo aquellos drenajes que son temporarios, es decir, que transportan agua sólo en períodos de lluvia, como cañadas, barrancos, quebradas, etcétera; para ello se consideran las inflexiones de las curvas de nivel.

Después de concluir con el relevamiento de la totalidad de la red, se la ordena siguiendo el criterio de que una corriente de primer orden es aquella que no recibe ningún otro afluente. Una corriente de segundo orden es aquella que se forma por la confluencia de dos de primer orden y así sucesivamente hasta *N* órdenes.

El mapa que se obtiene es el de la red de drenaje ordenada (Mapa 3), considerado base para la aplicación de las metodologías morfométricas, por ello los resultados que se obtengan al aplicar los distintos métodos estarán en función del grado de exactitud con que se haya realizado este.

En los mapas de orden de los valles es importante el análisis de los tramos rectos de la red fluvial y su longitud con el objeto de determinar las zonas de fracturas y dislocaciones tectónicas. Estos mapas reflejan exitosamente el grado de disección horizontal del relieve en relación con los movimientos neotectónicos (Orbera, L; *op. cit.*).

Una superficie básica es aquella que representa la base de erosión local, es una superficie que pasa a través de la intersección de los valles de corrientes temporarias y permanentes con las curvas de nivel.

Para definir esta superficie se marcan sobre el mapa todas las intersecciones de los valles de un orden dado con las curvas de nivel de una determinada cota y se unen por isolíneas suaves denominadas isobasitas, es decir, líneas de igual base de erosión, y se obtienen mapas de isobasitas para distintos órdenes.

En áreas donde la actividad neotectónica ha sido intensa, la distancia entre isobasitas disminuye en las zonas de levantamiento y tiende a aumentar donde hubo descenso. La edad y el orden de los valles guardan estrecha relación: a menor orden, más jóvenes son y las superficies de base de menor orden representan las formas más jóvenes del relieve.

En este estudio se utilizaron goniobasitas en lugar de isobasitas, estas se diferencian de las isobasitas porque son líneas rectas y quebradas, que se trazan siguiendo similares reglas a las descritas para el trazo de las isobasitas, y se obtienen los mapas de goniobasitas de segundo, tercer y cuarto orden, representado en los Mapas 4; 5 y 6 respectivamente.

Las inflexiones de las goniobasitas, así como su gradiente, son indicadores de dislocaciones tectónicas relacionadas con la actividad neotectónica.

El relieve residual representa las formas positivas que yacen sobre las superficies de base locales de cualquier orden. Los mapas de relieve residual indican el volumen de rocas o sedimentos que en un futuro puede ser barrido por la erosión o la denudación bajo condiciones geológicas o físico-geográficas similares (Orbera, L; *op. cit.*).

En este trabajo se consideró el relieve residual local evidente y el relieve residual de segundo, tercer y cuarto orden.

El relieve residual local evidente es aquel que queda definido por curvas de nivel cerradas, representado en el Mapa 7. El relieve residual también puede ser de distintos órdenes, ya que a cada superficie básica de erosión le corresponde un relieve residual, cuando mayor es el orden, mayor es la masa de relieve residual (Fernández, C. y Astraín Rodríguez, 1994).

El mapa de relieve residual de segundo orden (Mapa 8) se obtiene de la siguiente forma: se indican los puntos de intersección de las goniobasitas de una determinada cota con una curva de nivel de mayor cota y se calculan las diferencias de valor entre ellas; por ejemplo, una goniobasita de segundo orden de cota 340 m corta a una curva de nivel de 360 m, la diferencia es de 20 m. Los puntos de igual valor de diferencia se unen con una isolínea, que es la línea de relieve residual de segundo orden o la isopaqueta de 20 m.

Los bloques elevados más jóvenes quedan evidenciados en los mapas de relieve residual de segundo orden, mientras que los mapas de orden superiores tercero y cuarto resaltan las estructuras más antiguas y de mayor volumen.

El mapa de relieve residual es considerado como el mapa que caracteriza la disección vertical y favorece a la comprensión y estimación de los movimientos neotectónicos verticales.

La disección vertical se basa en el cálculo por unidad de área de las diferencias relativas de altura de un relieve fraccionado, como resultado de los movimientos tectónicos de ascenso, especialmente los neotectónicos.

Superponiendo a la hoja topográfica de base una cuadrícula con una superficie de 1 km², se calcula la diferencia de altura en cada cuadrado, restando de la curva de nivel de mayor cota la de menor cota. El valor alcanzado se ubica con un punto en el centro de cada cuadrado y finalmente se unen los puntos por isolíneas, conformando células de diversa intensidad (Lamadrid Morón, J. y R. Horta Caballal, 1990), y se obtiene el mapa de disección vertical (Mapa 9). Las isolíneas cerradas con valores máximos y las zonas de altos gradientes se relacionan con zonas de levantamientos o zonas de fallas.

La disección vertical es un indicador de la profundidad de las morfoestructuras y del desplazamiento relativo de los bloques que conforman el relieve, así como también las diferencias entre la dinámica de los procesos tectónicos y erosivos, por lo tanto, los desplazamientos verticales neotectónicos de mayor intensidad estarán evidenciados por los valores máximos obtenidos. Estos

valores se utilizaron para la categorización del relieve de la zona, aplicando el criterio de O.K. Leontiev (1969).

CONCLUSIONES

El principal producto resultante de la aplicación de los métodos morfométricos sobre hojas topográficas es el mapa preliminar de fallas para la zona (Mapa 10), de vital importancia para estudios geológicos posteriores.

Los lineamientos de fallas más importantes definidos a partir de la interpretación y el análisis por superposición de capas (*overlay*) de los mapas: hipsométrico; red de drenaje ordenada; superficies básicas de erosión de segundo, tercer y cuarto orden; de relieve residual evidente; de relieve residual de segundo, tercer, cuarto orden y de disección vertical, son cuatro, cuyas orientaciones acimutales aproximadas son las siguientes: 035°-040° N, 120°-130° N, 000° N y 090° N.

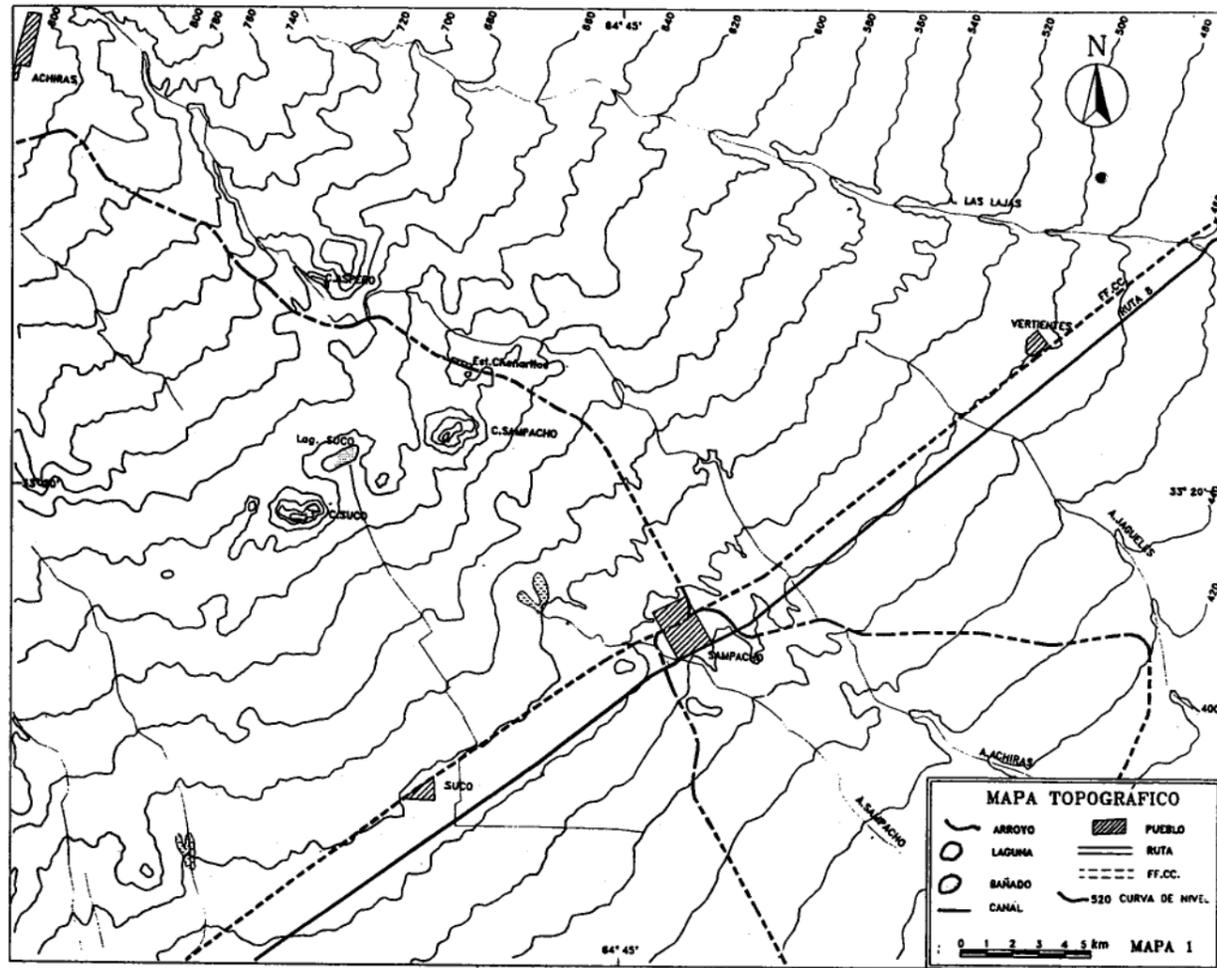
Se identifican dos zonas bien diferenciadas de bloques ascendidos y deprimidos, los primeros se ubican en la zona NW y los segundos, al SE y N, caracterizan-

dose esta porque tiene lugar el nacimiento de dos arroyos, al SE nace el arroyo Sampacho y al EN, el arroyo Jagueles (Mapa 11). La orientación de los ejes longitudinales de los bloques elevados tienen una tendencia NW-SE, mientras que los mesobloques de SW-NE.

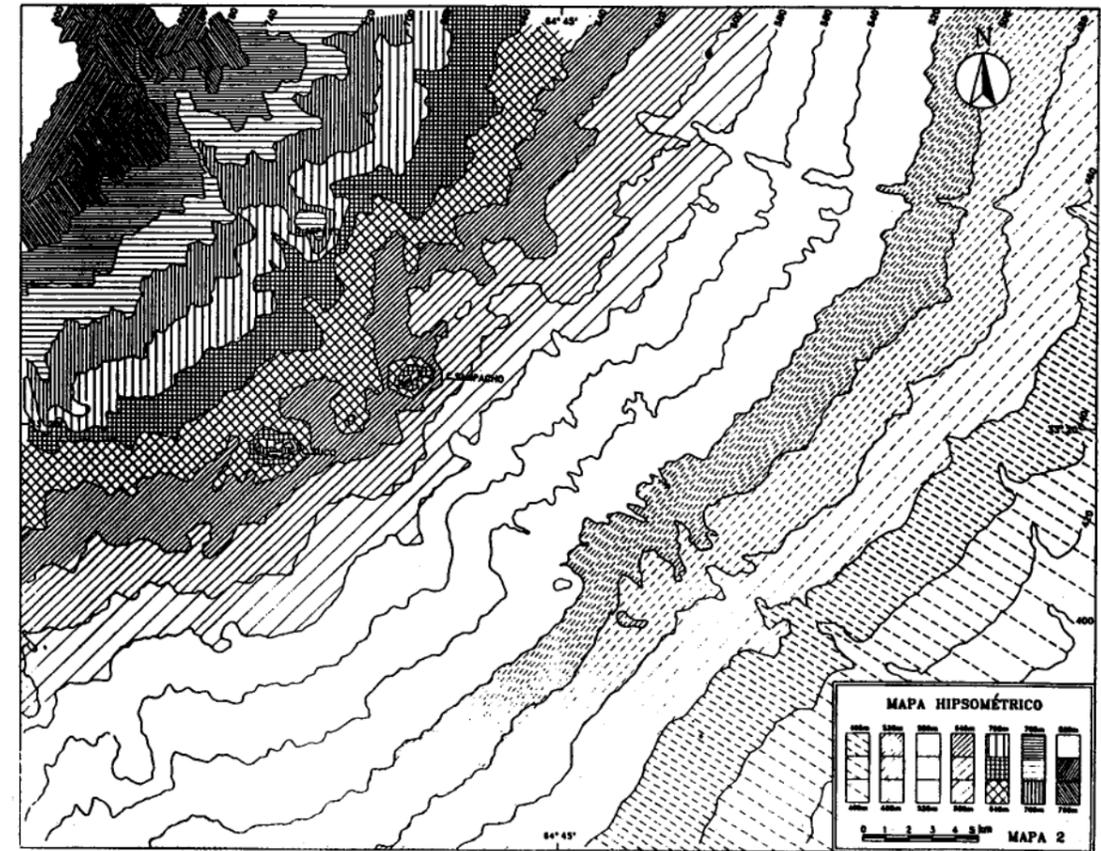
En la zona central se observa un mesobloque ascendido, este se comporta como una barrera al escurrimiento superficial cuya dirección es SE y en los mesobloques deprimidos contiguos ubicados al NW del anterior, se han instalado cuatro lagunas y humedales; todos configuran un rosario.

Se identificó la presencia de un macrobloque que comprende la mayor parte de la zona estudiada, controlado por las estructuras más antiguas y de mayor expresión, el que aparentemente ha sufrido los movimientos neotectónicos más viejos, así como también una serie de mesobloques que han sufrido los movimientos neotectónicos más recientes, en su mayoría controlados por estructuras más jóvenes y de menor expresión (Mapa 12).

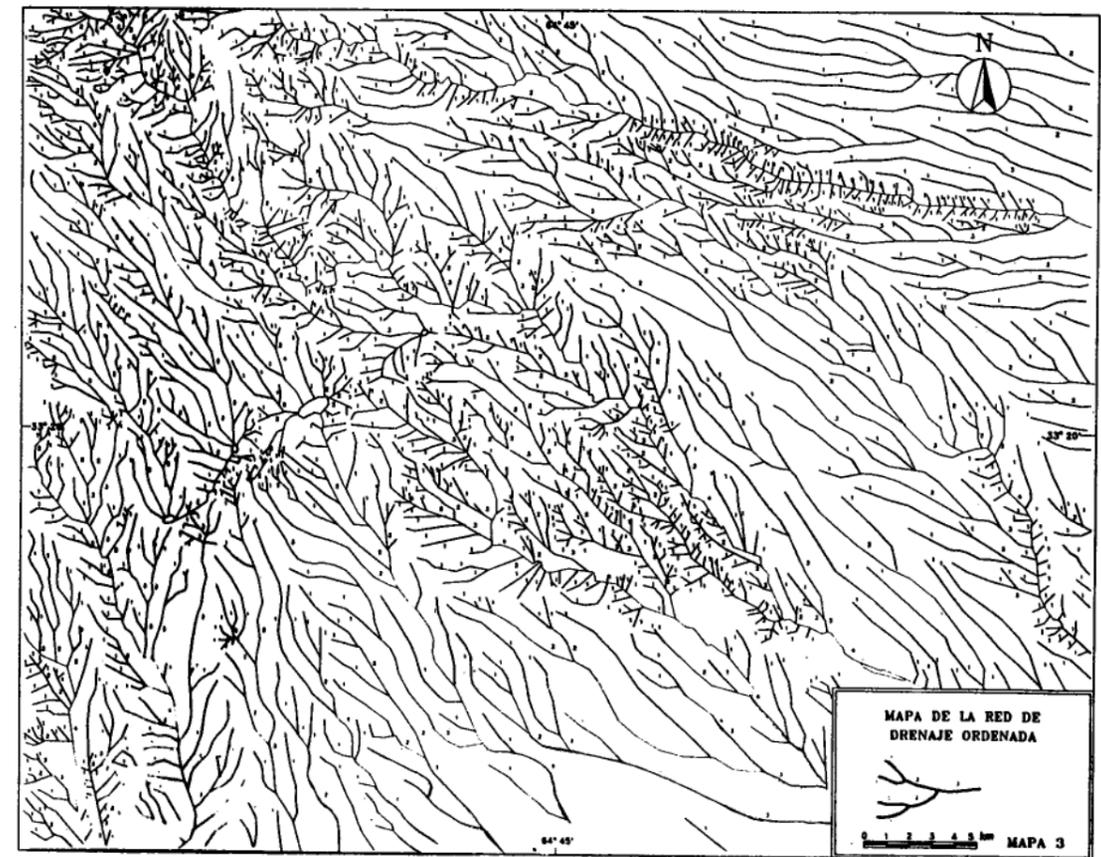
De la categorización de la disección del relieve resulta que la zona está comprendida entre relieves de llanura considerablemente diseccionada y relieves de colina profundamente diseccionados.



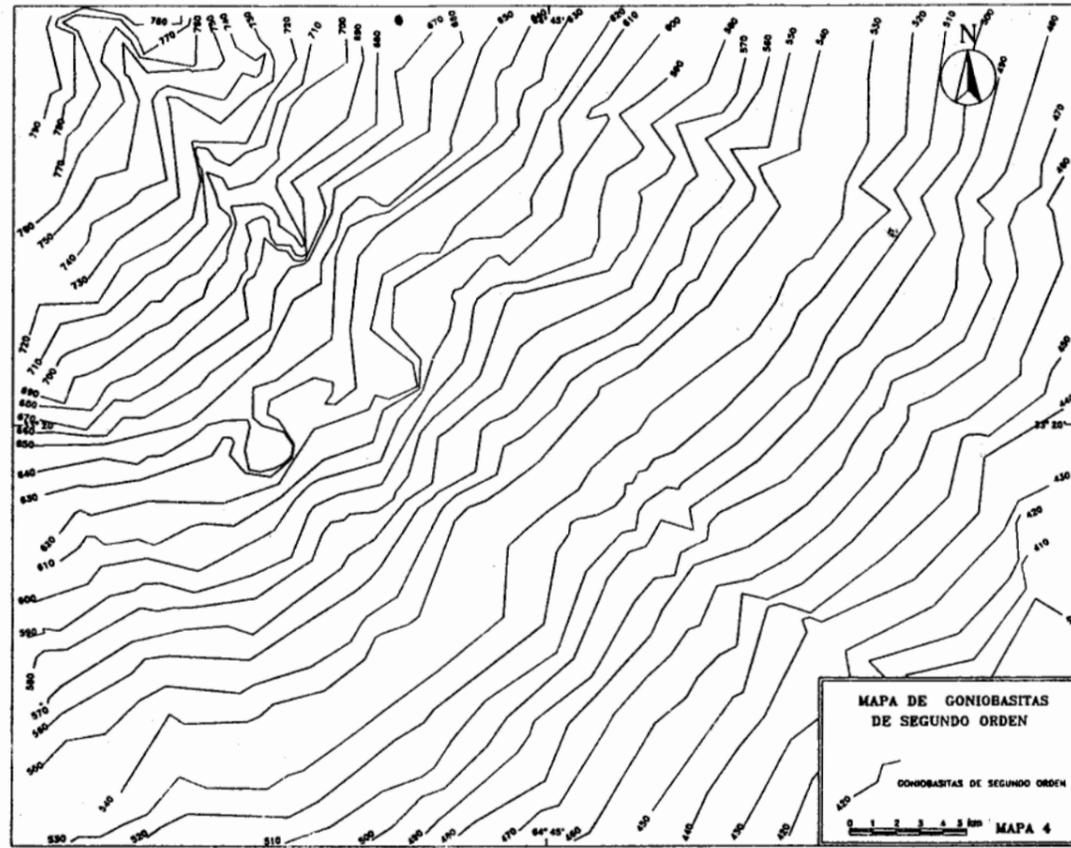
MAPA 1.



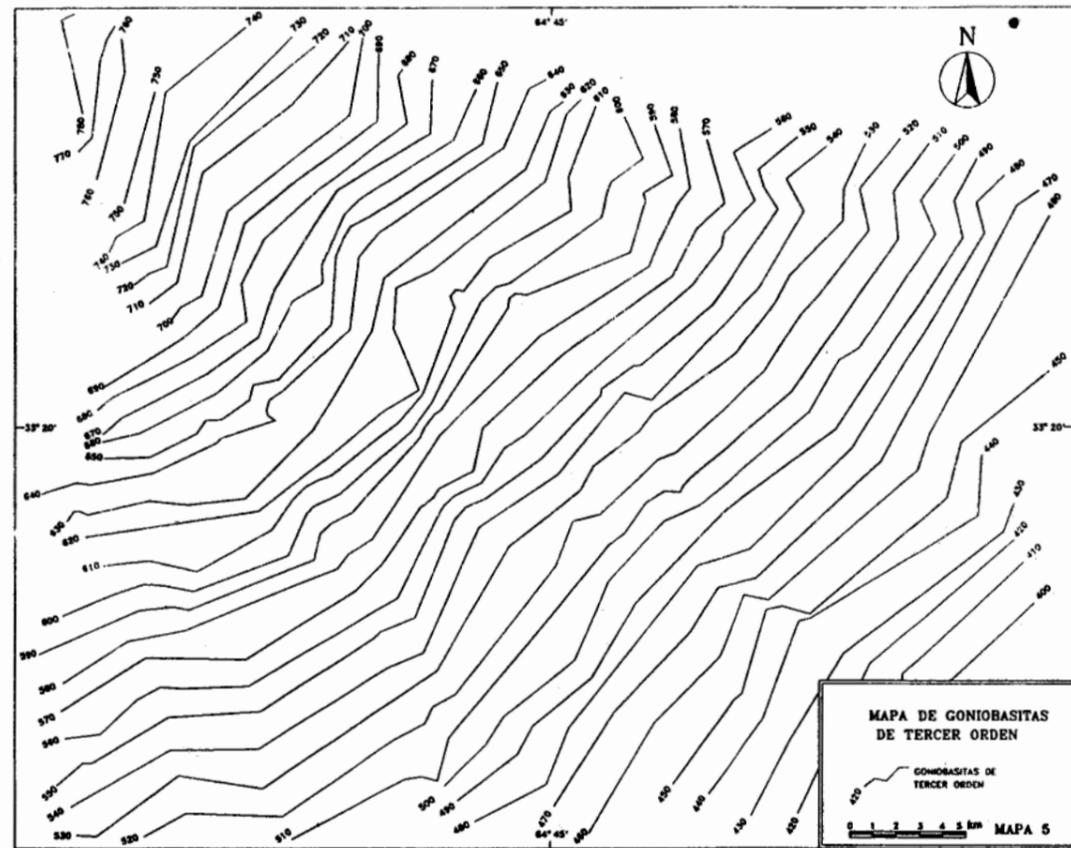
MAPA 2.



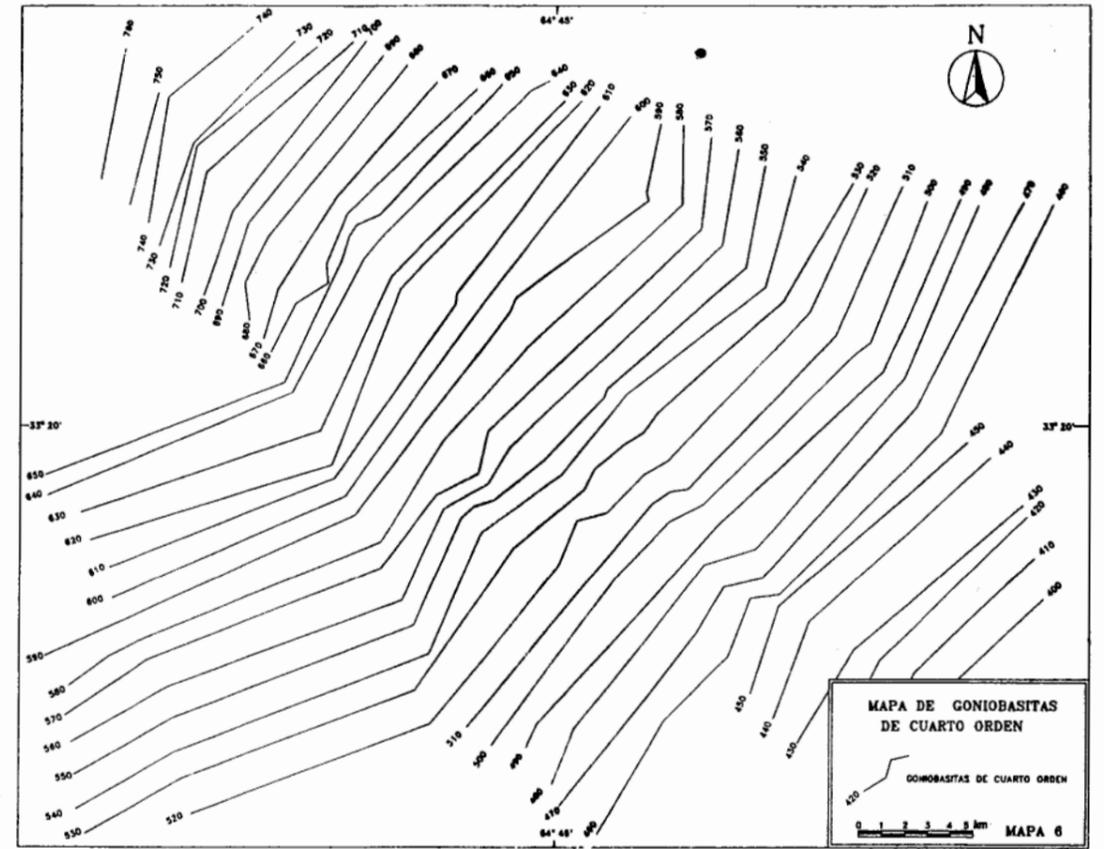
MAPA 3.



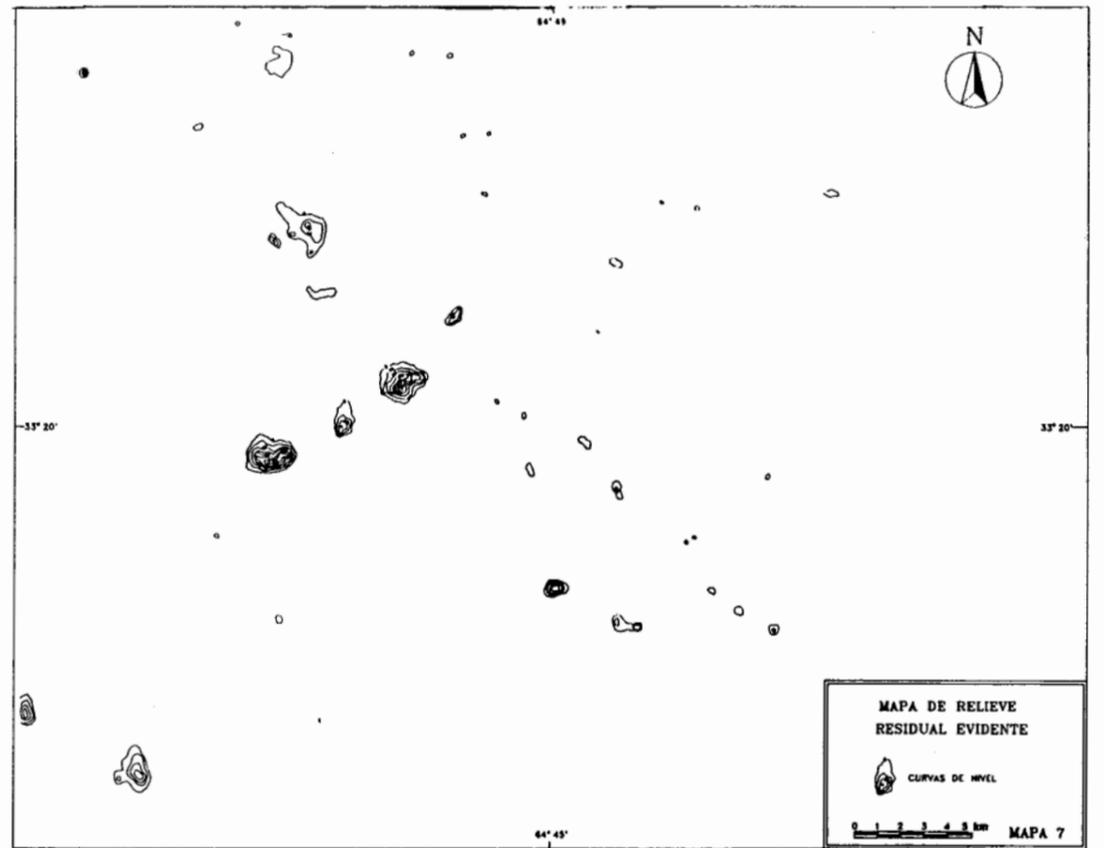
MAPA 4.



MAPA 5.



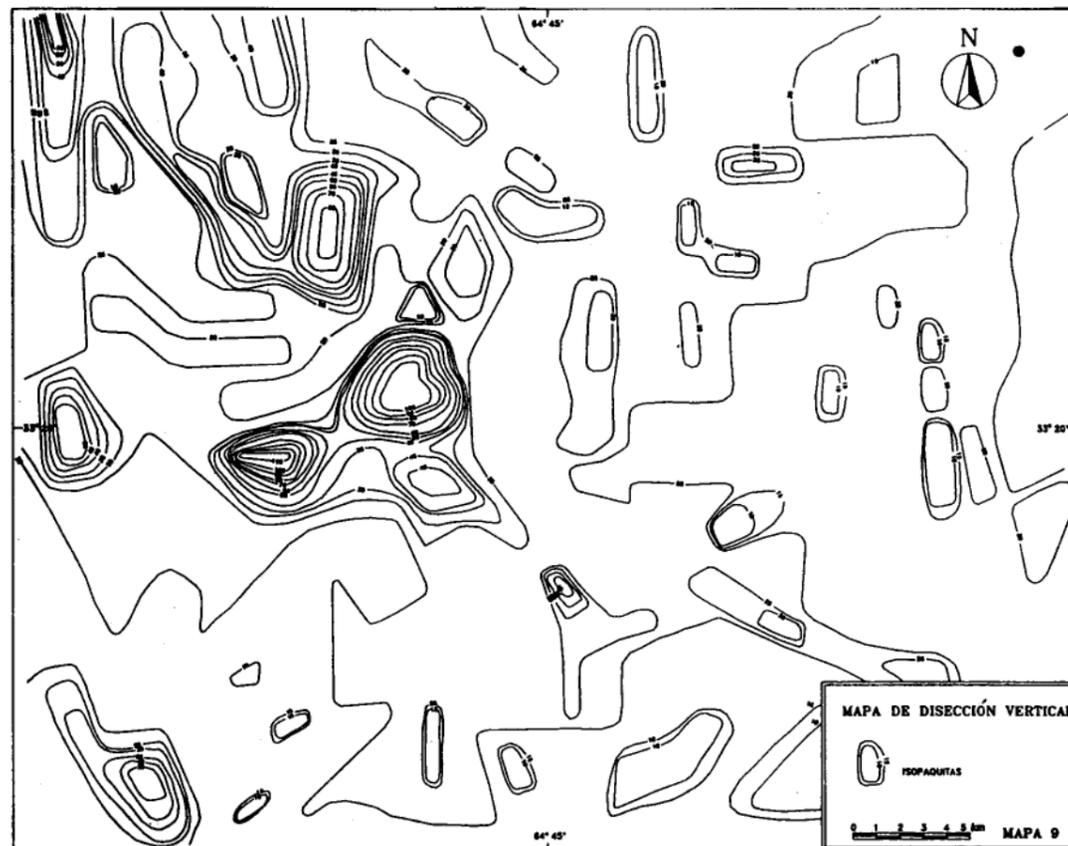
MAPA 6.



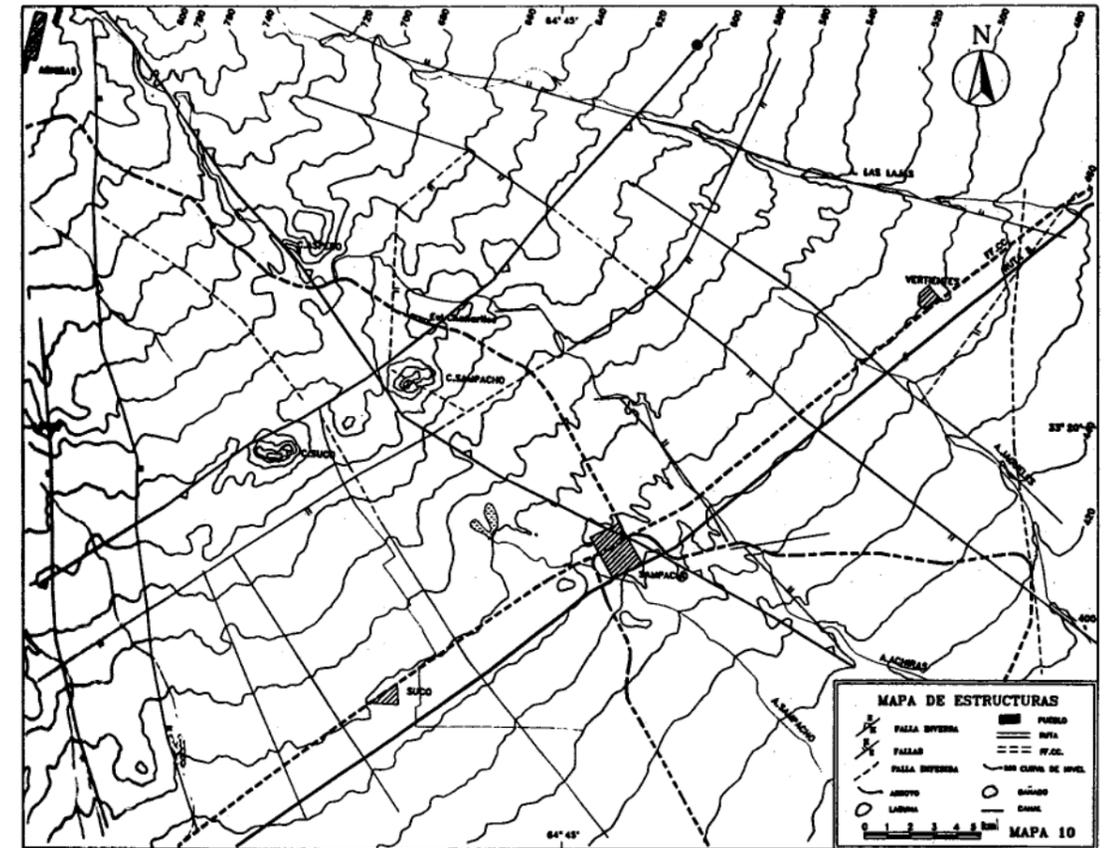
MAPA 7.



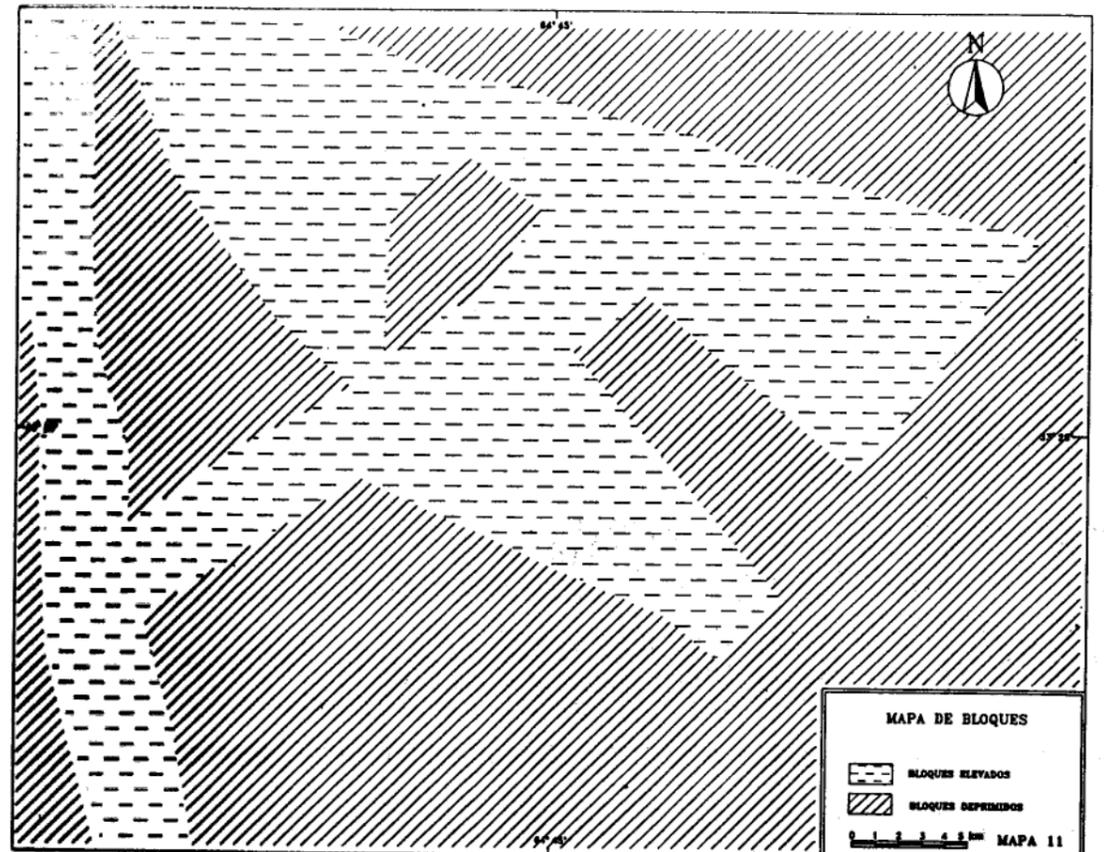
MAPA 8.



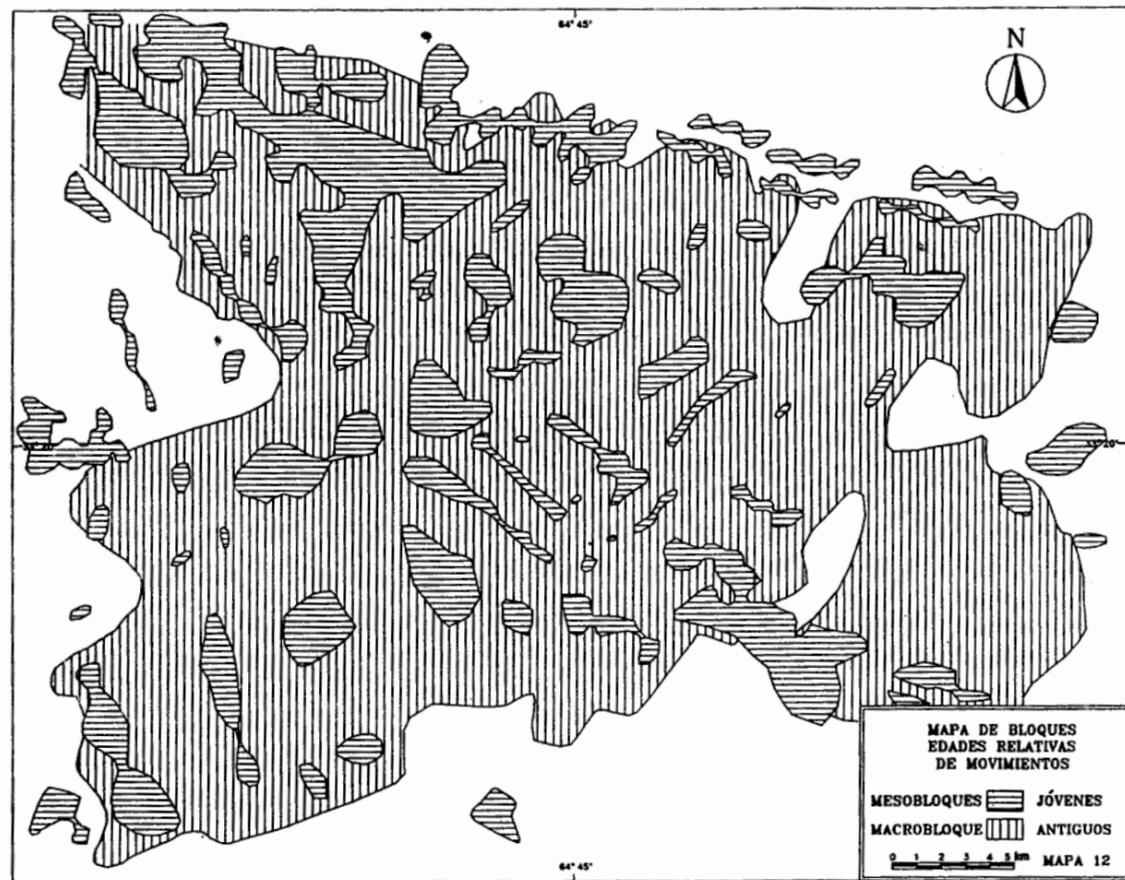
MAPA 9.



MAPA 10.



MAPA 11.



MAPA 12.

BIBLIOGRAFÍA

ASTRAÍN RODRÍGUEZ, P. y C. GUILLARTE FERNÁNDEZ: *Sistema complejo de digitalización del relieve, análisis morfométrico, teledetección de fracturas y detección de estructuras disyuntivas*, MINFAR, La Habana, Cuba, 1994.

GORDILLO, C. y A. LENCINAS: «Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis», *Simposio de Geología Regional Argentina*, volumen I, pp. 577-650, 1979.

JAIN, V.E.: *Geotectónica General*, Parte 1, Editorial Mir, 1984.

LAMADRID MORÓN, J. y J.-HORTA CABALLAL: *Geomorfología*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1990.

LEONTIEV, O.K.: *Geomorfología General*, Escuela de Geografía, Universidad de la Habana, 1969.

ORBERA HERNÁNDEZ, L.: *Curso de Neotectónica*, UNRC, 1994.

SAGRIPANTI, G. y L. ORBERA HERNÁNDEZ: «Aporte al conocimiento sismotectónico de la provincia de Córdoba», 1995 (inédito).

SAGRIPANTI, G.; D. ORIGLIA and O. CAMPANELLA: «Historic and Present Seismology of the Sampacho Area, Córdoba Province, Argentina», *Environmental & Engineering Geoscience*, 1997.

SOSIC, M.: «Descripción geológica de la hoja 24h, Sierra del Morro», 1964.

MOA TE BRINDA TODO UN TESORO
DE RIQUEZAS

31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, AUGUST 2000



The most important event of the geosciences and one of the oldest scientific conferences of the world, the 31st International Geological Congress, could not be left out of your agenda for the year 2000. The conference shall take place from 6 to 17 august, at Riocentro, Rio de Janeiro, during the celebration of the 500th anniversary of the discovery of Brazil.

The goal is to create a wide forum of debates where the most outstanding advances of geological sciences will be presented. Discussions on *Geology and Sustainable Development: Challenges for the Third Millennium* will be brought up.

The event is crucial to build up a more balanced future concerning environmental development and preservation, a context in which the geologist plays a vital role - contributes effectively to the technical and economical solution that are most appropriate to the current moment.

Your attendance is very important.

Join the 31st International Geological Congress.



FOR DETAILS:

SECRETARIAT BUREAU
31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS
Av. Pasteur, 404-Anexo 31 IGC-Urca
Rio de Janeiro-RJ-CEP 22.290-240
Phone: 55 21 295 5847 • Fax: 55 21 295 8094
E-mail: 31 igc@31 igc.org.br
<http://www.31 igc.org.br>