



COMUNICACIONES CIENTIFICAS
sobre GEOFISICA Y ASTRONOMIA
 La Habana, 1988, No. 5

PELIGROSIDAD SISMICA DE CUBA (2)
 ALGUNOS CRITERIOS SOBRE LA
 PELIGROSIDAD SISMICA EN ZONAS DE
 BAJA ACTIVIDAD DEL TERRITORIO DE
 CUBA.

MARIO COTILLA
 LEONARDO ALVAREZ
 TOMAS CHUY
 OTTO PORTUONDO

Instituto de Geofísica y Astronomía
Academia de Ciencias de Cuba

PELIGROSIDAD SISMICA DE CUBA (2). ALGUNOS CRITERIOS SOBRE LA PELIGROSIDAD SISMICA EN ZONAS DE BAJA ACTIVIDAD DEL TERRITORIO DE CUBA

Mario Cotilla, Leonardo Alvarez, Tomás Chuy, Otto Portuondo

RESUMEN

Utilizando técnicas de teledetección para el desciframiento e identificación de estructuras tectónicas disyuntivas, se confeccionó un esquema a escala 1:1 000 000 de alineamientos del territorio nacional y una zonación en base a la densidad de los mismos así como se identificaron 41 nudos de alineamientos.

A partir de la hipótesis de que los terremotos fuertes sólo ocurrirán en las intersecciones de los alineamientos, se realizó un análisis de la potencialidad sísmica de cada uno de los nudos identificados, relacionándolas con la información sísmológica conocida, complementada con datos neotectónicos, de anomalías magnéticas y gravimétricas.

ABSTRAC

A scheme of alignments of national territory, scale 1: 1 000 000, was obtained by means of remote sensing techniques for interpretation and identification of disjunctive tectonic structures. A zoning based on alignments' density was obtained and were identified 41 knotfalls.

On the hypothesis that the strong earthquakes will occur only in the alignments' intersections, an analysis of seismic potentiality of identified knotfalls was made, taking into account the known seismological information in relation with neotectonic, and magnetic and gravimetric anomalies' data.

INTRODUCCION

La utilización de datos geológicos, tectónicos y geofísicos para la determinación de las magnitudes máximas posibles de los terremotos, se ha generalizado grandemente en las investigaciones sísmológicas con el objetivo de obtener un cuadro más exacto de la realidad. Entre las diferentes formas de abordar este problema las hay que consideran de menor importancia la información sísmológica y de mayor peso a la geologo-tectónica y viceversa. Otra forma de enfocar el problema, es el empleo de las técnicas de reconocimiento de patrones. No obstante, todos estos métodos llevan una buena dosis de subjetividad, por lo que la delimitación precisa de una zona sísmogeneradora, así como la estimación de la magnitud máxima asociada, dista de ser un problema de fácil solución. En el caso del Caribe, región sumamente compleja desde el punto de vista geologo-tectónico y que no ha sido estudiada uniformemente en toda su extensión, se destaca el hecho de que en la misma, la mayoría de

los terremotos ocurren en zonas marítimas, mientras que los estudios geólogo-tectónicos son más detallados en tierra firme. Particularmente, en Cuba se encuentran presentes dos formas de sismicidad, una de ellas, del tipo de entraplacas que afecta su región suroriental, donde los terremotos ocurren fundamentalmente en la zona de Bartlett-Caimán, y la otra del tipo de interior de placas que afecta el resto del país, donde los eventos ocurren en fallas tectónicas, que se caracterizan por largos períodos de inactividad. Por esta razón, la solución del problema debe ser abordada además en dependencia del tipo de sismicidad.

La peligrosidad sísmica de la región suroriental de Cuba fue estimada en (3) por un método caracterizado por la utilización formal de los datos geológicos y tectónicos, con un decisivo peso de la información sísmológica. Para el resto del país, en el presente trabajo se realizó lo contrario; es decir, dada la escasez de datos sísmológicos, se emplearon con mayor peso datos geológicos y tectónicos, aunque el criterio fundamental del análisis correspondió a la información obtenida por métodos de teledetección. El empleo decisivo de materiales cósmicos en el presente trabajo, se debió a la experiencia obtenida con la ocurrencia de un evento sísmico en las inmediaciones de los poblados de Torriente-Jagüey Grande, el día 16 de Diciembre de 1982 (18), cuyo epicentro se ubicó en una zona de sedimentos cuaternarios, sin antecedentes de la presencia de alguna estructura disyuntiva.

IDENTIFICACION DE ALINEAMIENTOS Y SUS NUDOS

La necesidad de localizar posibles estructuras del territorio nacional que pudiesen tener vinculación con la actividad sísmica, aunque no estuviesen señaladas en estudios geólogo-tectónicos; obligó a evaluar detalladamente los alineamientos presentes en la Isla, atendiendo a su longitud, anchura, interrelación entre ellos y asociación con las fallas conocidas. Los trabajos de Teledetección efectuados por otros autores (5,33,34) para toda la Isla y partes de ella, no perseguían objetivos sísmológicos y tenían la limitante de haberse empleado una sola imagen, lo cual impedía tener el grado de confiabilidad requerido para esta tarea. La diferencia fundamental del presente trabajo radicó en la utilización simultánea de materiales cósmicos de gran calidad y sin nubosidad apreciable en dos canales diferentes, el 5 (600-700nm) y el 6 (700-800 nm) a escala ampliada 1 : 500 000 del Landsat. El método utilizado para el descifrado fue el analógico con el empleo de los índices directos e indirectos (27), proceso que coincide de forma general con el utilizado por otros autores (26). Como resultado se obtuvo un esquema de alineamientos del territorio de Cuba a escala 1:1 000 000. De ellos se seleccionaron 30 por considerarse los más importantes (Fig. 1), cuya descripción se presenta en la Tabla 1. Es de señalar que las principales fallas conocidas fueron identificadas con claridad en las imágenes cósmicas, así como los principales sistemas de fracturas lineales y circulares planteadas por otros autores (2, 5, 7, 9, 19, 29, 30, 33, 34) coinciden con los alineamientos delimitados en este trabajo. No obstante, fueron identificados otros no recogidos en anteriores publicaciones, lo que permitió obtener un cuadro más preciso y verificar que los

alineamientos son escasos en las zonas de amplios depósitos de sedimentos no consolidados, pero perfectamente justificables, corroborándose la importancia de este tipo de investigación. Además, se comprobó que existe correspondencia entre algunos alineamientos y zonas de gradientes elevados de anomalías gravimétricas y de contrastes geomorfológicos. Por otra parte, el alineamiento planteado por (2, 29) con dirección NO-SE que se extiende entre Ciudad de La Habana y Jagüey Grande, fue fotoidentificado hasta las inmediaciones de la bahía de Cienfuegos. También la falla Consolación del Norte (19), considerada como de cabalgamiento en (1), fue descifrada sin dificultad por su clara expresión en la imagen cósmica. La presencia de eventos sísmicos en las acuíferas de la costa norte de la Isla, indujo a considerar que la estructura fallada del Margen Continental es activa en la actualidad.

Está bastante generalizado el criterio de que en las intersecciones de fallas probadas se pueden originar los terremotos. No obstante, se han producido terremotos en zonas donde esta condición no se cumple (por ejemplo, el caso del terremoto de Torriente-Jagüey Grande), y esto nos decidió a utilizar el concepto más amplio de nudo (intersección) de alineamientos, para abarcar todas las posibles zonas capaces de generar terremotos, ya que como plantean numerosos autores, a éstos se les pueden asociar los mayores índices de actividad sísmica y neotectónica, así como el mayor grado de complejidad tectónica (18, 21, 22, 23, 24, 25, 26). Por otra parte, algunos autores plantean que son precisamente las intersecciones de alineamientos, los lugares donde ocurren los terremotos más fuertes (35). Tomando esto en consideración se planteó la hipótesis de trabajo de que para las zonas de baja actividad sísmica, los terremotos fuertes ocurrirán con mayor posibilidad en los nudos de alineamientos. Es importante esclarecer que un nudo de alineamientos no es punto, sino un área que presenta ciertas características distintivas desde el punto de vista óptico-métrico, con respecto a las zonas circundantes. Por ejemplo, en la zona de los poblados de Torriente y Jagüey Grande (provincia de Matanzas), se presentan dos conjuntos definidos de alineamientos con dirección NO-SE y N-S. Estos elementos lineales se identifican en las imágenes con un tono oscuro y una textura moteada y suave. La zona en cuestión es de grandes espesores de sedimentos no consolidados, donde se desarrolla un gran plan citrícola, por lo que su reconocimiento en el terreno es prácticamente nulo, pero la presencia de estos elementos fotoidentificables conlleva a inferir que ellos son reflejo en superficie de estructuras disyuntivas profundas y activas (Fig.2).

Para diferenciar los nudos de alineamientos entre sí, es necesario utilizar gran cantidad de información adicional. Ejemplo de ello puede verse en (35), donde para zonas de alta actividad sísmica, se utilizan como elementos de un proceso de reconocimiento de patrones 32 elementos de las características morfológicas-topográficas y de la descripción de los propios alineamientos. En nuestro caso, la búsqueda de elementos auxiliares para una clasificación de los nudos de alineamientos estuvo limitada por dos factores: el hecho de que consideramos zonas de baja actividad sísmica, y la escasez de estudios de neotectónica y de campos geofísicos, con igual grado de detallamiento para todo el territorio. No obstante, fueron evidenciados 41 nudos de

alineamientos que no necesariamente tienen que coincidir con las estructuras disyuntivas conocidas (Fig. 3).

La información sísmológica utilizada en su inmensa mayoría fue de tipo macrosísmico, confeccionándose un listado de los datos (4, 10-18) para el periodo 1551-1984, correspondiente a los eventos que fueron denominados "propios"; esto es, cada evento se consideró una sola vez y se asoció, o bien a la localidad donde fue reportada la mayor intensidad, o el centro del área donde se sintieron los estremecimientos más fuertes. Además se tomó en consideración la zonación del mapa de intensidades por datos históricos (14). Como información neotectónica solo fueron considerados los sectores de levantamiento de 2 - 3 y 4 - 5 órdenes (20), que representan la actividad para sectores de estructuras geológicas de edades del Plioceno, Mioceno y Oligoceno. Dentro de los campos geofísicos solo fue considerado el mapa de anomalías de Bouguer a escala 1:500 000 (32). En la Tabla 2 se presenta un resumen de la información auxiliar utilizada.

La clasificación de los nudos de alineamientos fue realizada de forma cualitativa. La expresión de los alineamientos en ambos canales fotográficos, sus dimensiones, orientaciones y relación con otros alineamientos, el número de órdenes diferentes de sectores de levantamientos presentes en una distancia de hasta 2,5 Km del nudo, la presencia de anomalías gravimétricas y la existencia de actividad sísmica, fueron los elementos utilizados para la misma. Esta se diferencia de la utilizada por otros autores; y fue expresamente elaborada de acuerdo a las características de la información primaria de que se dispuso, por lo que no puede ser considerada como definitiva. Se determinaron tres categorías de nudos de alineamiento; cada una de ellas incluida en otra de mayor complejidad. Un nudo de tercera categoría, es aquel donde se intercepten dos alineamientos extensos, ejemplo de esto lo constituyen los nudos 11, 18, 25, 26, 27, 28 y 41. Nudo de segunda categoría es aquel donde convergen un grupo definido de alineamientos que se representan diferencialmente de las zonas circundantes y donde existe actividad sísmica y neotectónica; se señalan con estas condiciones los nudos 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 14, 17, 19, 20, 21, 24, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 y 39. Nudo de primera categoría es aquel que además de cumplir los requisitos anteriores, presenta actividad sísmica y neotectónica relativamente elevadas, en nuestro territorio se señalan con estas características los nudos 1, 2, 3, 8, 13, 15, 16, 22, 23, 29 y 40. Con independencia de lo anterior, existen zonas del territorio nacional que no presentan complejidad tectónica observada, y sin embargo desde el punto de vista sísmológico han presentado actividad aunque débil: Santa Cruz del Sur, Alonso de Rojas - Punta de Cartas, Consolación del Norte y la Sutura Marginal.

Por otra parte, se realizó la determinación de zonas de acuerdo con las densidades de alineamientos y sus orientaciones principales. Este es un aspecto importante ya que de acuerdo con las cantidades y extensión de los alineamientos, es posible establecer un índice sobre el tipo de litología, agrietamiento y actividad neotectónica del territorio; así como el análisis de las direcciones fundamentales permite inferir sobre los desplazamientos y tipos de fracturas y fallas. Se destaca el hecho de que la tendencia de los alineamientos no tiene necesariamente que coincidir con las

orientaciones de las estructuras geológicas conocidas, ya que pueden obedecer a otras características regionales o particulares ocultas del territorio. Las 17 zonas con diferente densidad de alineamientos obtenidas se presentan en la tabla 3 y en la Fig. 4.

POTENCIALIDAD SISMICA DE LOS NUDOS DE ALINEAMIENTOS

La estimación de la peligrosidad sísmica habitualmente se basa en la hipótesis de la estabilidad del régimen sísmico en las diferentes zonas sismogeneradoras. Esto tiene grandes limitaciones para su aplicación en zonas de baja actividad, caracterizadas por bajos periodos de recurrencia de los terremotos, ya que en la práctica raramente puede ser probada. La carencia de datos para la inmensa mayoría del territorio nacional, hizo necesario enfrentar el problema de la estimación de los parámetros del régimen sísmico no a través de los gráficos de magnitud - frecuencia, sino a través de los gráficos intensidad - frecuencia:

$$\log N_I = A - B I \quad (1)$$

donde: I es la intensidad sísmica

N_I es el número de terremotos normalizados a periodos de un año con intensidad I

Los datos del catálogo macrosísmico del periodo 1551-1984 fueron preparados en forma de tablas de número de eventos de cada intensidad sentidos por nudo de alineamientos o localidad asociada al nudo. Para calcular los parámetros de la fórmula fueron agrupados estos datos para las zonas de densidad de alineamientos. Para la normalización temporal se consideró el intervalo a partir del primer reporte dentro de la zona. En la Tabla 4 se muestran los valores N_I para cada zona en el intervalo de intensidades de 4 a 8, ya que el valor I = 3 no resultó representativo. Por otra parte, no se consideraron las zonas 13 a 17, así como la parte sur de la zona 12, debido a que la actividad sísmica histórica de las mismas se encuentra enmascarada por la correspondiente a la zona Bartlett - Caimán, que por ser la frontera entre las placas del Caribe y Norteamericana, resulta la de mayor actividad para el territorio nacional.

Se confeccionó un solo gráfico intensidad - frecuencia para todo el territorio, empleando los valores totales de la tabla 5. Los parámetros estimados por el método de los mínimos cuadrados fueron $A = 2.31 \pm 0.38$ y $B = 0.60 \pm 0.06$. Considerando el parámetro B como constante característica para toda la sismicidad de interior de placa, se realizó la normalización de parámetro A para cada zona, tomando en consideración la fracción del valor suma total (última columna de la tabla 4).

$$A_{ZONA} = A_{REGION} + \lg(N_{ZONA} / N_{REGION}) \quad (2)$$

Este criterio es equivalente al que se utiliza para confeccionar los mapas de actividad sísmica por el método de

sumación (32), ya que la normalización por el valor N_{Σ} ($i = 4$ o $i = 5$) estaría influida grandemente por la escasez de datos en uno u otro intervalo, mientras que para los valores de N_{Σ} este efecto disminuye.

La normalización por nudo de alineamiento se realizó a partir del valor del parámetro A determinado para cada zona, considerando el número total de éstos presentes en ella, dándole peso (p_i) unitario a los nudos asociados a los alineamientos fundamentales y peso 0.5 a los no asociados a ellos. El resto de los parámetros del régimen sísmico (profundidad y magnitud máxima) fue asignado.

$$A^{\text{NUDO } i} = A^{\text{ZONA}} + \lg(p_i / \sum p_i) \quad (3)$$

Se consideró una profundidad media de 20 Km y una magnitud máxima dependiente de la categoría del nudo: primera (6.0 ± 0.25); segunda (5.5 ± 0.25) y tercera (5.0 ± 0.25). El criterio usado para la selección de M_{\max} fue el de que fuese de hasta 0.25 mayor que la máxima reportada para nudos de igual categoría. Para los nudos no asociados a alineamientos fundamentales se tomó $M_{\max} = 4.5 + 0.25$. Esta información se refleja también en la Tabla 2.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Sin considerar la zona de Bartlett - Caimán, que se discute en detalle en (3), la zona más peligrosa la constituye una extensa franja discontinua que abarca los poblados de Pinar del Río, San Diego de los Baños, San Cristobal, Mariel, el bloque Habana - Mampostón, Cifuentes, Remedios, Yaguajay, Esmeralda - Minas y Gibara, ya que forman la frontera entre megabloques con actividad sísmica y tectónica medias. Por orden de importancia continúa otra zona que posee actividades sísmica y tectónica débiles, y que comprende el bloque Bejucal, el Bloque Madruga, la estructura Cidra - San Miguel de los Baños - Carlos Rojas, el bloque Matanzas, la estructura Cantel - Camarioca, Los Arabos - Cascajal, el este de la Bahía de Cienfuegos, la Sierra de Trinidad, Falla, Violeta, Gaspar, Camagüey, Banes, Lomas de Yaguajay, Matías, Central Julio Antonio Mella, El Cobre, San Luis, Laguna de Baconao, Felicidad de Yateras, este de Moa, Cuchillas de Toa y Trinidad. Por último, las zonas con débiles o sin actividades sísmica y neotectónica en Punta de Cartas - San Juan y Martínez, Torriente - Jagüey Grande, Los Arabos - Cascajal, Gáimaro, Victoria de las Tunas, Central López Peña y Santa Rita - Jiguaní.

Debido a que el método que fue utilizado para clasificar los nudos de alineamientos en categorías es menos riguroso que las técnicas de reconocimiento de patrones usadas por diferentes autores (21,35), se consideran estos resultados como preliminares. Por otra parte, aunque los mismos no contradicen los de los estudios sismotectónicos realizados para el territorio nacional (6,27) en cuanto a las estructuras con probabilidad de generar terremotos fuertes, en lo que respecta a las magnitudes máximas, si difieren de éstos. Debe tenerse presente que los estimados presentados son a mediano y largo plazos, y se basan en la historia sísmica conocida, mientras que los trabajos de sismotectónica antes mencionados

plantean magnitudes máximas absolutas, que pudieran ocurrir una vez en 10 000 años, incluso en zonas donde nunca se haya reportado ningún evento sísmico.

La estimación de la potencialidad sísmica de los nudos de alineamientos, lleva implícito un margen de incertidumbre, motivado por la escasez de datos sobre cuya base se realizó. En primer lugar, el gráfico intensidad - frecuencia se confeccionó sobre la base de los N_1 con normalización temporal, considerando como representativas todas las intensidades mayores o iguales a 4 a partir del primer reporte dentro de cada zona de densidad de alineamientos. Un análisis más profundo de este problema puede conducir a estimados de los intervalos de representatividad más reales con dos resultados previsibles: aumento de los valores de ambos parámetros (A y B) del gráfico intensidad - frecuencia, y variación de los factores de normalización por zonas de densidad de alineamientos. No obstante, consideramos que para las intensidades mayores o iguales a 6, estas posibles variaciones pudieran tener poca influencia.

Los valores de h, que fueron fijados en 20 Km, pudieran tener variaciones. Debe tenerse presente que no existe una sola estimación instrumental confiable de la profundidad de los terremotos en la región estudiada. Los tres terremotos más fuertes de la región occidental: el de 1860 en San Cristóbal, el de 1939 en Remedios - Caibarién y el de 1982 en Torriente - Jagüey Grande, tienen estimaciones de profundidad entre 15 y 30 Km (4,18). El valor de 20 Km, por otra parte, corresponde aproximadamente a los 2/3 de la profundidad media de la corteza en el territorio nacional, lo que hace aceptable este valor para la profundidad de ocurrencia de los eventos.

Un aspecto que merece especial atención, es la normalización del parámetro A por nudo de alineamiento dentro de cada zona, atendiendo no ya a la actividad reportada, sino a la vinculación de éste con las estructuras fundamentales. En muchos casos coincide aproximadamente con la actividad reportada, pero en otros, donde la actividad en el corto intervalo de observación ha estado concentrada fundamentalmente en un solo nudo, lo que se hace es "repartir" esta actividad con todos los demás nudos de alineamientos de la zona. Hay un caso que debe ser tomado con reservas, y es el de los nudos 6 y 8, ya que la estadística fundamental para ellos la constituyen valores de $I = 4$ e $I = 5$ reportados en Ciudad de La Habana, donde lógicamente existen más elementos para considerar como realmente representativos esos valores, y al no ocurrir lo mismo con otras zonas, se pudiera haber elevado artificialmente su peso en el proceso de normalización del parámetro A.

Como conclusión, podemos señalar que los resultados obtenidos permiten realizar una caracterización a nivel nacional de la potencialidad sísmica de los nudos de alineamientos, a nuestro juicio, las fuentes más probables de los terremotos más fuertes en las zonas de baja actividad. A pesar de las limitaciones discutidas, consideramos que con carácter preliminar este esquema puede ser utilizado para realizar estimados de la peligrosidad sísmica en Cuba. Las investigaciones futuras deben orientarse en dos direcciones: la aplicación de técnicas de reconocimiento de patrones para procesar un mayor volumen de información geológico-tectónica y geofísica, y el análisis del completamiento de los datos macrosísmicos en las diferentes partes de la Isla, lo que permitiría

mejorar los resultados obtenidos en el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1- Levantamiento Geológico de Pinar del Río, Cuba. Escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba y Polonia(1978). Archivo del Instituto de Geología y Paleontología.

2- ALBEAR, J.F.; MAKAROV, V.I.; BAGUINIAN, M.K. y TELEGUIN, B.P. (1982): Experiencia de utilización de las fotos cósmicas y aéreas multizonales en investigaciones geológicas en Cuba. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*, No. 2, pp. 27-40. (en ruso).

3- ALVAREZ, L. (en prensa). Peligrosidad sísmica de Cuba (1). Sacudibilidad sísmica de Santiago de Cuba.

4- ALVAREZ, L. y CHUY, T. (1985): Isoseismal Model for Greater Antilles En: *Proceedings of the 3rd International Symposium on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk*. Liblice Castle, Czechoslovakia, June 17-22, 1985, pp. 134-141.

5- ARSENIYEV, Y.M.; CAPOTE, G. y KALASHOV, S.N. (1983): Esquema cosmo-fototectónico de Cuba, Escala 1:500 000. C.I.G.

6- RELOUSOV, T.P.; KRESTNIKOV, V.N.; SHEBALIN, N.V. (1983): Delimitación de zonas sismogeneratoras en Cuba Central y estimación de su magnitud máxima. En: *Investigación de la sismicidad de las zonas de baja actividad sísmica (Cuba Central)*. M. Nauka, pp. 81-85 (en ruso).

7- COTILLA, M.O.; GONZALEZ, M.; SAN MARTIN, E. (1984): Empleo de una foto cósmica en la identificación de lineamientos en parte de la zona estructuro-facial Caimán. *Archivo Dpto. Sismología, IGA, AC de Cuba*.

8- COTILLA, M.O. y PORTUONDO, O. (1984): Descifrado de lineamientos a partir de un fotoplano del nordeste de la provincia de Holguín. *Archivo del Dpto. de Sismología, IGA, AC de Cuba*.

9- COUTIN, D.P.; NAGY, E. y RIVERO, F. (1980): La Teledetección en el estudio de la estructura semicircular del sur de Holguín (zona oriental de Cuba). *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, No. 2, pp. 43-51.

10- CHUY, T. (1982): Actividad sísmica de la provincia de Holguín. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 2, pp. 20-45.

11- CHUY, T. (en prensa). Influencia de las condiciones geológicas en la intensidad sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba.

12- CHUY, T. y ALVAREZ, L. (en prensa). Sismicidad histórica de La Española.

13- CHUY, T. y GONZALEZ, B.E. (1980): Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 1, pp. 18-32.

14- CHUY, T.; GONZALEZ, B.E. y ALVAREZ, L. (1983): Sobre la peligrosidad sísmica en Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 4, pp. 37-52.

15- CHUY, T.; GONZALEZ, B.E. y ESCALONA, S. (1980): Información macrosísmica de las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 1, pp. 33-57.

16- CHUY, T.; GONZALEZ, B.E. y VOROBIQVA, E.O. (1984): Sismicidad del territorio de las provincias de Camagüey y Ciego de Avila. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 5, pp. 61-74.

17- CHUY, T. y PINO, O. (1983): Datos macrosísmicos de los terremotos

en la provincia de Santiago de Cuba. Inv. Sismológicas en Cuba, No. 2, pp. 47-136.

18- CHUY, T., VOROBIOVA, E.O., GONZALEZ, B.E., ALVAREZ, L., PEREZ, E.R., COTILLA, M.O. y PORTUONDO, O. (1983): El sismo del 16 de Diciembre de 1982. Torriente-Jagüey Grande. Investigaciones Sismológicas en Cuba, No. 3.

19- FURRAZOLA-BERMUDEZ, G.; JUDOLEY, C.M.; MIJAILOVSKAYA, M.S.; MIROLIVBOV, Y.S.; NOVOJATSKY, I.P.; JIMENEZ, N.A. y SOLSONA, J.B. (1972): Geología de Cuba. La Habana, Pueblo y Educación, pp. 240.

20- GONZALEZ, C.E. (1983): Mapas Geomorfológicos de Cuba. Escala 1:250 000. MINBAS.

21- GUELFAND, I.M.; GUBERMAN, Sh.A.; KEYLIS-BOROK, V.I.; KNOPOFF, L.; PRESS, F.S.; RANTSMAN, E.Ya.; ROTVAIN, I.M.; SIDORSKII, A.M. (1976): Condiciones de surgimiento de terremotos fuertes (California y otras regiones). Vichislitel'naya Seismologiya, No. 9, pp. 3-91. (en ruso).

22- KATTS, I.G.; KONN, M.L. (1976): Acerca de la clasificación de los síntomas para el desciframiento de los objetos geológicos y las investigaciones a distancia (en ruso). Edit. Educación. Geología y Prospección, No. 11, pp. 106-108.

23- KONN, M.L. y RASVETAEV, L.M. (1976): Acerca de los lineamientos determinados por medio de las fotos cósmicas en la parte oriental del cinturón alpino (en ruso). Edit. Educación. Geología y Prospección, No. 11, pp. 6-35.

24- MAKAROV, G.V. (1981): Lineamientos (problemas y direcciones de la investigación con ayuda de medios y métodos aerocósmicos) (en ruso). Investigación de La Tierra desde el cosmos, No. 4, pp. 109-114.

25- MAKAROV, G.V.; SCHUKIN, Y.K. (1976): Valoración de la actividad de las fallas ocultas (en ruso). Geotectónica, No. 1, pp. 96-109.

26- MEKEL, M.J.F. (1976): El empleo de la fotografía aérea en el levantamiento geológico. Tomo I. Archivo del Instituto de Geología y Paleontología AC de Cuba (en microfilm).

27- ORBEREA, L. (1980): Informe sobre las condiciones sismotectónicas de las provincias orientales para la ubicación de la CEN Norte de Holguín. Ministerio de la Industria Básica, EPIB, Dpto. Estudio de Campo, 55 p.

28- PORTELA, A. BLANCO, R.S.P.; DIAZ, J.C. y MAGAZ, A. (1981): Alineamientos y estructuras circulares en la imagen cósmica del LANDSAT de la parte occidental de la provincia de Pinar del Río. Archivo del Inst. de Geografía AC de Cuba.

29- PORTUONDO, O. y COTILLA, M.O. (1983): Interpretación de los lineamientos y estructuras en las provincias Habana - Matanzas a partir de fotos cósmicas. Archivo Dpto. Sismología, IGA, AC de Cuba.

30- PORTUONDO, O. y COTILLA, M.O. (1983): Desciframientos de los lineamientos y de las estructuras en la zona Gibara - Banes a partir de una foto cósmica. Archivo Dpto. Sismología, IGA, AC de Cuba.

31- RIZNICHENKO, Yu.V. (1964): Método de suma de terremotos para el estudio de la actividad sísmica (en ruso). Izv. ANSSSR, Ser. Geofizicheskaya, No. 7, pp. 969-977.

32- SOLOVIOV, D.N.; SKIDAN, S.A.; SKIDAN, I.K.; PANKRATOV, A.P. (1963): Mapa gravimétrico de la República de Cuba. Rev. Tecnológica, Vol. 11, No. 2, pp. 8-19.

33- TRIFONOV, V.G.; FORMELL, F.; ORO, A.J.; PEREZ, P.C. (1981): Mapa de los elementos estructurales de la provincia de Oriente. AC de

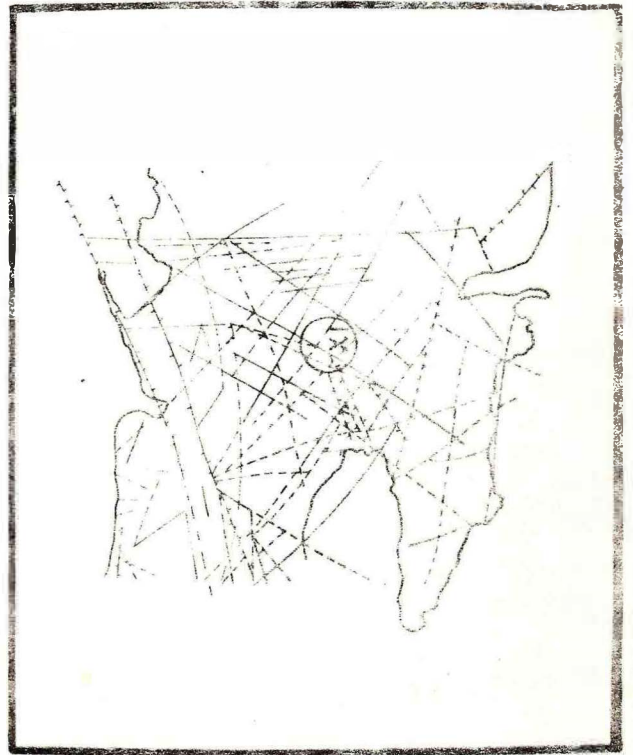
Cuba.

34- TRIFONOV,V.G.; FORMELL,F.; ORO,A.J.; PEREZ,P.C. (1981): Mapa de los elementos estructurales de la provincia de Pinar del Río. Inst. de Geología y Paleontología. AC de Cuba.

35- ZHIDKOV,M.P.; ROTVAIN,I.M. y SADOWSKII,A.M. (1975): Pronóstico del lugar de posible ocurrencia de terremotos fuertes. IV. Intersecciones múltiples de lineamientos de la meseta Armeniana, los Balkanes y la cuenca del Mar Egeo (en ruso). Vichislitel'naya Seimologiya, No. 8, pp. 53-70.



Fig. 1



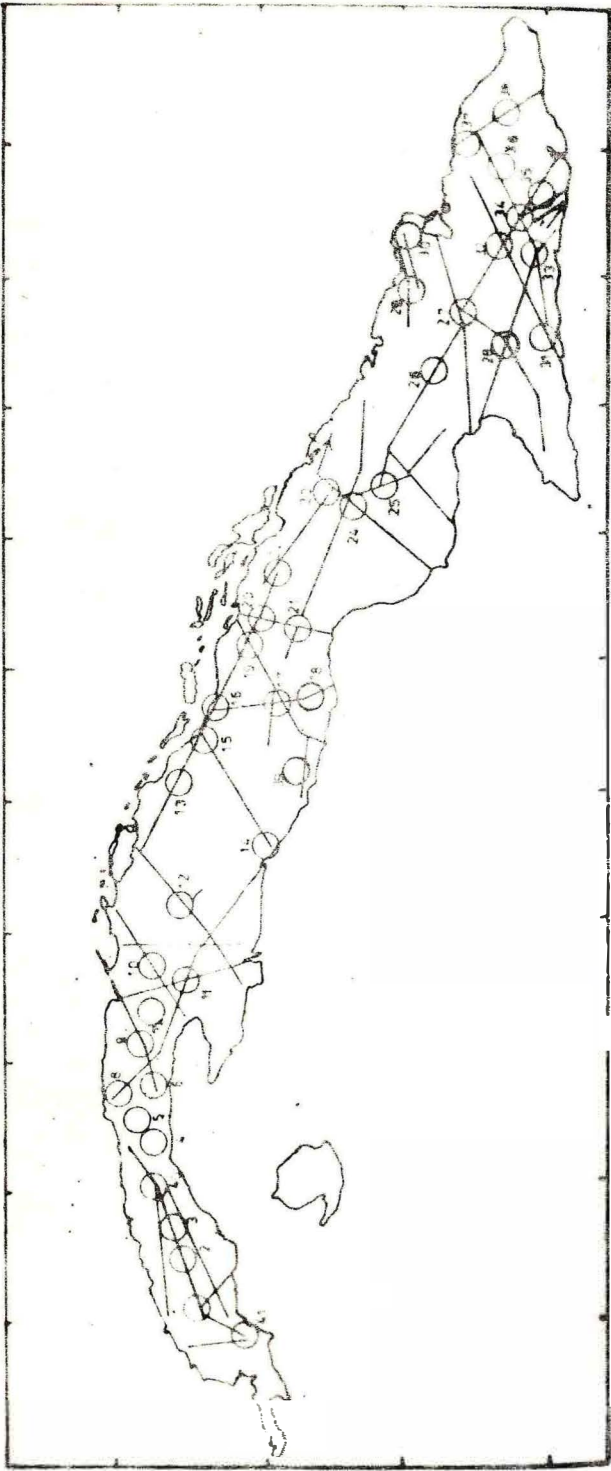


FIG. 3

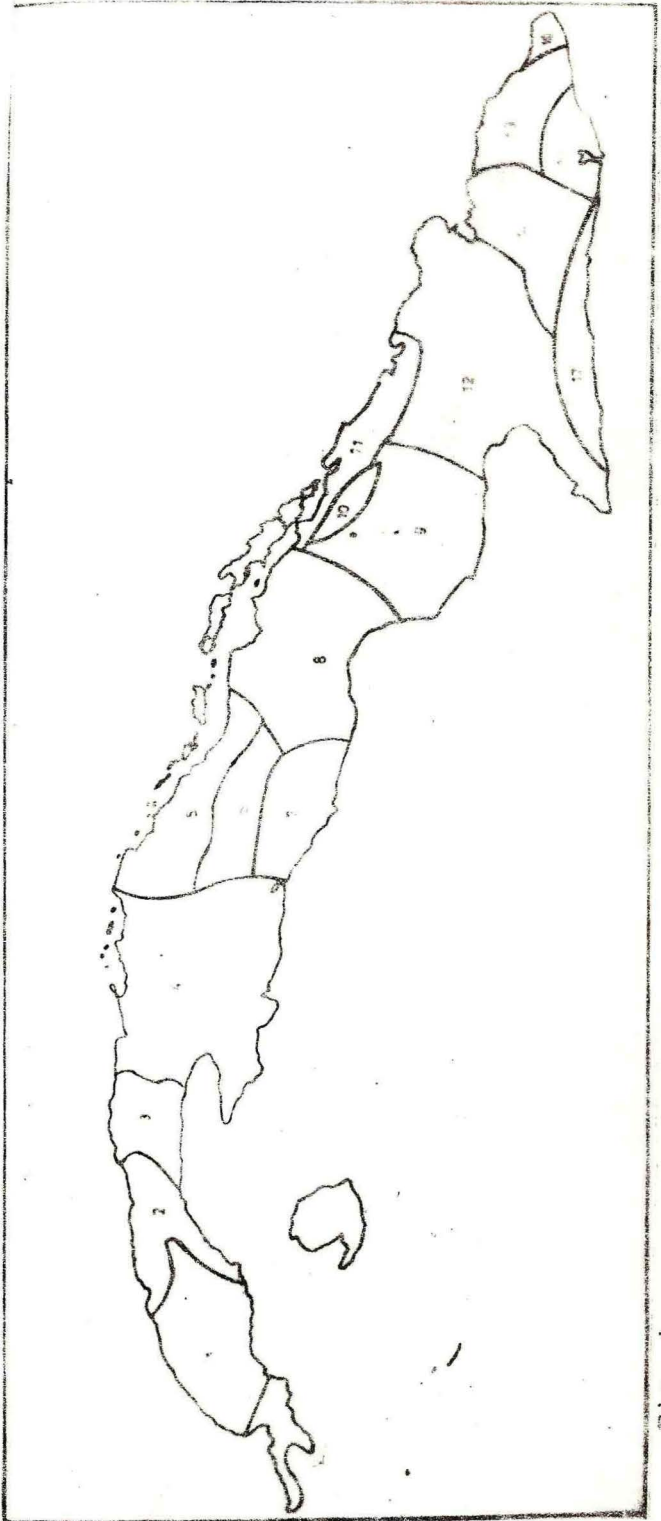


FIG. 4

Tabla 1. Alineamientos fundamentales

No	Alineamiento (descripción y nombre conocido)	Dirección	Poblados-localidades
1	Pinar (180 km)	NE-SO	Norte de San Juan y Martínez-norte de Pinar del Río-norte de Consolación del Sur-norte de San Cristóbal-Norte de Candelaria-Mariel
2	Guane (zona de alineamientos definidos) (110 km)	NE-SO	Muy bien definido en la zona de San Cristóbal
3	Gran concentración de estructuras circulares	N-S	Oeste de Santa Lucía-oeste de Minas de Matahambre - oeste de San Juan y Martínez
4	Zona de alineamientos definidos (60 km)	NO-SE	Cruza la isla entre Pinar del Río y Consolación del Sur-Viñales-este de Santa Lucía
5	Alineamiento definido (50 km)	NO-SE	La Coloma-este de San Juan y Martínez (zona de inflexión de las anomalías gravimétricas)
6	Consolación del Norte (alineamiento definido) (90 km)	E-O	Consolación del Norte-Bahía Honda-Mariel
7	Zona de alineamientos definidos (140 km)	NE-SO	Güines-Matanzas-Hicacos (zonas de inflexiones de los campos gravimétricos)
8	Alineamiento definido	NO-SE	Cienfuegos-Jagdey Grande-Ciudad de La Habana
9	Cochinos (zona de alineamientos definidos y de anomalías gravimétricas) (90 km)	N-S	Cruza la isla desde la Bahía de Cochinos hasta la Bahía de Cárdenas
10	Alineamiento definido coincidente con anomalías gravimétricas (100 km)	NO-SE	Bahía de Cochinos- Bahía de Matanzas
11	Batabanó (zona de alineamientos definidos) (90 km)	NE-SO	Ensenada de la Broa- Cayo de las Cinco Leguas
12	Guamá (alineamiento coincidente con zonas de gradientes gravimétricos) (130 km)	NE-SO	Península de Zapata-Bahía de Cochinos-Los Arabos-Rancho Veloz
13	Cienfuegos (130km)	NE-SO	Este de Cienfuegos-Santa Clara-Remedios
14	Sancti Spiritus (alineamiento definido y zona de gradiente gravimétrico) (130 km)	NE-SE	Este del macizo metamórfico del Escambray
15	Trinidad (alineamiento definido en sectores) (55 km)	E-O	Cienfuegos-norte del Escambray-Cambaiguán
16	Las Villas (350 km)	NO-SE	Paralelo a la costa norte desde la Sierra Morena (alturas del NE de de la Las Villas)-Sagua la Grande- Camajuaní-Sur de Remedios-Yaguajay-Mayajigua-Chambas
17	Zona de alineamientos extensos (100 km)	NO-SO	Cruza la isla por Punta de Manatí-El Jibaro-Sancti Spiritus-Yaguajay

Tabla 1. Continuación

No	Alineamiento (descripción y nombre conocido)	Dirección	Poblados-localidades
18	Tuinicú (alineamiento definido en sectores) (50 km)	E-O	Norte del Escambray y se prolonga hasta el Cauto
19	Zona de alineamientos (zona de gradientes gravimétricos) (70 km)	NE-SO	Cruza la isla por este de Júcaro-Gaspar-Velazco
20	Camagüey (zona de alineamientos definidos y de gradiente de anomalías gravimétricas) (110 km)	NE-SO	Cruza la isla por Camagüey
21	Tunas (alineamiento corto y definido) (80 km)	NE-SO	Amancio-Colombia
22	Oriente (zona de alineamientos definidos y de gradiente de anomalías gravimétricas) (150 km)	NE-SO	Cruza la isla desde Bahía de Nipe-Naranjo, luego se desvía hacia Jiguaní y continúa hasta Guacanayabo
23	Zona de alineamientos definidos y extensos (130 km)	NO-SE	Cruza la isla por este de Bahía de Guantánamo-este de Tortiguilla-este de Sagua de Tánamo
24	Zona de alineamientos definidos y extensos (80 km)	NO-SE	Cruza la isla por el oeste de Baracoa hasta el oeste de Punta Caleta
25	Zona de alineamientos definidos y extensos (160 km)	NO-SE	Siboney-NE de Santiago de Cuba-Palma Soriano-Contramaestre-Jiguaní-Guacanayabo
26	Zona de alineamientos definidos y extensos (140 km)	E-O	Palma Soriano- San Luis- norte de Guantánamo
27	Alineamiento interrumpido (155 km)	NE-SO	El Cobre-Alto Songo-La Maya
28	Alineamiento definido y extenso (55 km)	NO-SE	Este de la Bahía de Guantánamo-San Germán-Holguín
29	Zona de alineamientos cortos y definidos (25-10-40 km)	NO-SE	Inmediaciones de la Laguna de Baco
30	Zona de alineamientos definidos y de gradiente de anomalías gravimétricas (140 km)	NE-SO	Cabo Cruz-San Germán

Tabla 2. Nudos de alineamientos

Nudo	Io	N	g	Sector de levantam. m. orden	Poblados-localidades	Categ.	A	Mmax
1	4	4	si	600(4-5)	N. de P. del Río, Conso- lación del Sur, Viñales	1	0.54	6.0±0.25
2	6	3	si	100(4-5) 200(2-3)	San Diego de los Baños	1	0.54	6.0±0.25
3	7	17	si	20(4-5) (2-3)	San Cristóbal	1	0.60	6.0±0.25
4	5	2	-	20(4-5) (2-3)	Bloque Bejucal	2	0.30	4.5±0.25
5	5	2	-	20(4-5) (2-3)	Bloque Habana	2	0.30	4.5±0.25
6	4-5	3	-	40(4-5) (2-3)	Bloque Madruga, Estructu- ra Cidra-San Miguel de los Baños, Carlos Rojas	2	0.70	5.5±0.25
7	4	-	-	60(4-5) 40(2-3)	Estructura San Miguel de los Baños, Carlos Rojas	2	0.05	4.5±0.25
8	5	22	-	60(4-5) 200(2-3)	Bloque Habana-Manpostón	1	0.70	6.0±0.25
9	5	6	si	100(4-5) 120(2-3)	Bloque Matanzas	2	0.35	5.5±0.25
10	5	-	si	60(4-5) 40(2-3)	Estructura Cantel-Cama- marioca	2	0.35	5.5±0.25
11	4	5	si	-	Torriente-Jagüey Grande	3	0.35	5.0±0.25
12	4-5	1	si	60(4-5) 80(2-3)	Los Arabos-Cascajal	1	0.35	5.5±0.25
13	6	12	si	80(4-5) 100(2-3)	Cifuentes-Calabazar de	1	1.19	6.0±0.25
14	6	2	-	20(4-5) 40(2-3)	E. Bahía de Cienfuegos- Sierra de Trinidad	2	0.74	5.5±0.25
15	6	24	si	20(4-5) 40(2-3)	Remedios-Camajuani	1	1.19	6.0±0.25
16	5	19	si	40(4-5) (2-3)	Yaguajay	1	1.19	6.0±0.25
17	4	4	si	40(4-5) (2-3)	Jatibonico	2	0.63	5.5±0.25
18	6	-	-	-	Central Manuel Sanguily	3	1.08	5.0±0.25
19	5	5	si	40(4-5) 100(2-3)	Falla	2	1.08	5.5±0.25
20	6	1	si	40(4-5) 60(2-3)	Violeta	2	1.08	5.5±0.25
21	5	1	si	40(4-5) 20(2-3)	Gaspar	2	1.08	5.5±0.25
22	6	16	si	40(4-5) 20(2-3)	Esmeralda	1	1.08	6.0±0.25
23	5	9	si	40(4-5) 20(2-3)	Minas	1	0.26	6.0±0.25
24	5	6	si	40(4-5) 20(2-3)	Camagüey	2	0.26	5.5±0.25
25	5	2	-	-	Guáimaro	3	0.61	5.0±0.25
26	5	1	si	-	Victoria de Las Tunas	3	0.45	5.0±0.25

Tabla 2. Continuación

Nudo	Id	N	g	Sector de levantam. m. orden	Poblados-localidades	Categ.	A	Mmax
27	5-6	2	si	-	Central Lopez Peña	3	0.45	5.0±0.25
28	6	-	si	-	Santa Rita-Jiguani	-	-	-
29	5	6	-	80(4-5) (2-3)	Gibara-Santa Lucía	1	0.45	6.0±0.25
30	5	-	-	60(4-5) 100(2-3)	Banes-Lomas de Yaguajay	2	0.45	5.5±0.25
31	7	-	si	100(2-3)	Matías	-	-	-
32	7	-	si	100(4-5) (2-3)	Central Julio A. Mella	-	-	-
33	7-8	-	si	100(4-5) (2-3)	El Cobre	-	-	-
34	7-8	-	-	80(4-5) 100(2-3)	San Luis	-	-	-
35	8	-	-	100(4-5) (2-3)	Laguna de Baconao	-	-	-
36	8	-	-	80(4-5) (2-3)	Felicidad de Yateras	-	-	-
37	6	4	-	80(4-5) (2-3)	E. de Moa	-	-	-
38	7	-	-	60(4-5) (2-3)	Cuchillas de Toa	-	-	-
39	6	9	si	60(4-5) 100(2-3)	Trinidad	2	0.74	5.5±0.25
40	6	7	si	200(4-5) 40(2-3)	Mariel-Bahía Honda	1	0.60	6.0±0.25
41	5-6	2	si	-	Punta de Cartas-San Juan y Martínez	3	0.54	5.0±0.25

Tabla 3. Zonas de densidad de alineamientos

No	Clasificación	Dirección predomin.	Región	Descripción
1	Muy densa	NE-SO 0°-20°	Occidental, oeste de la provincia Pinar del Río	Alineamientos cortos y agrietamientos de estructuras circulares
2	Escasa	NE-SO 40°-60°	Occidental, este de la provincia Pinar del Río y oeste de la provincia La Habana	Alineamientos extensos
3	Media	NE-SO 0°-20°	Occidental, este y sur de La Habana	Alineamientos medianamente extensos
4	Media	NE-SO a SE-NO	Occidental, este de la provincia Matanzas, al rededores de Jovellanos, Colón-Cascajal	Alineamientos extensos que cambian de dirección precisamente en la zona de inflexión de la isla

Tabla 3. Continuación

No	Clasificación	Dirección predomin.	Región	Descripción
5	Media	NO-SE	Central y norte, Alturas del NO de Las Villas (S. Morena-Jumagua)-Sagua la Grande-Cifuentes-Calabazar de Sagua-Encrucijada-Camaguey-Remedios-Alturas del NE de Las Villas	Alineamientos paralelos a la forma de la isla, de longitudes extensas
6	Muy densa	NO-SE	Central, Alturas de Santa Clara-Ranchuelo-Santa Clara	Alineamientos cortos
7	Muy densa	no definida	Central y Sur, cúpulas de Trinidad y Sancti Spiritus	Alineamientos cortos en ambas cúpulas de direcciones NO y NE, y en su parte norte de dirección EO
8	Densa	NE-SO	Central, alrededores de Ciego de Avila-Morrón a Cunagua-Veloz-Central Ecuador	Alineamientos que cruzan la isla en una amplia franja
9	Escasa	NE-SO 5°-20°	Central, Florida-Camaguey-Sibanicú-Casorro-Guáimaro	Alineamientos cortos, paralelos a la dirección de la isla
10	Densa	NO-SE 5°-30°	Central y norte, Sierra de Cubitas	Alineamientos extensos, paralelos a la dirección de la isla
11	Escasa	NO-SE 10°-30°	Central, alrededores de Manatí-Puerto Padre-Chaparra	Alineamientos curvos y cortos
12	Media	NE-SO 5°-15°	Oriental, alrededores del golfo de Guacanayabo-río Cauto-Maceo-San Pedro de Cacocum-Holguín	Alineamientos medianamente extensos
13	Escasa	NO-SE y E-O	Oriental y norte, Cuchillas de Moa-Toa-Sierra del Purial	Alineamientos extensos, los E-O son paralelos a la estructura Caimán
14	Densa	NE-SO	Oriental y norte, Sierras de Nipe-Cristal	Alineamientos cortos
15	Muy escasa	NO-SE	Oriental y sur, alrededores de la bahía de Guantánamo	Alineamientos extensos
16	Muy densa	NO-SE	Oriental, alrededores de la Punta de Maisí	Alineamientos extensos
17	Muy densa	NE-SO al oeste NO-SE al este	Oriental y sur, Sierra Maestra	Alineamientos cortos

Tabla 4. Frecuencia de las intensidades sísmicas por zonas de densidad de alineamientos

Zona \ I	4	5	6	7	8	N_{Σ}	$\frac{N_{\Sigma}}{N_{\Sigma}^{total}}$
1	0.0270	0.0270	-	-	-	0.054	0.0515
2	0.0400	0.0130	0.0045	-	0.0045	0.062	0.0591
3	0.0290	0.0230	-	-	-	0.052	0.0496
4	0.0340	0.0120	0.0057	-	-	0.052	0.0496
5	0.2100	0.0230	0.0078	-	-	0.240	0.2288
6	0.0220	-	-	-	-	0.022	0.0210
7	0.0190	0.0190	-	-	-	0.038	0.0363
8	0.1900	0.0930	0.0230	-	-	0.306	0.2955
9	0.0140	-	0.0071	-	-	0.021	0.0200
10	0.0140	0.0045	-	-	-	0.019	0.0181
11	-	0.1000	-	-	-	0.100	0.0953
12*	0.0300	0.0220	-	0.0075	-	0.060	0.0572
total	0.6290	0.3370	0.0671	0.0075	0.0045	1.049	

* - De la zona de densidad de alineamientos No 12 sólo se tomó su parte norte, que comprende los nudos 26, 27, 29 y 30.

Pie de gráficos

Fig. 1 Mapa de alineamientos determinados por identificación de fotos cósmicas (simplificado del original a escala 1 : 1 000 000).

Fig. 2 Ejemplo de determinación de la presencia de un nudo de alineamientos. El número romano XI corresponde al 11 en la tabla 2.

Fig. 3 Alineamientos principales y nudos de alineamientos. Los números corresponden al número de orden de los nudos en la tabla 2.

Fig. 4 Zonas de diferente densidad de alineamientos. los números corresponden al número de orden en la tabla 3.

Editado e impreso por:

Instituto de Geofísica y Astronomía,
Academia de Ciencias de Cuba.

60 ejemplares

Ciudad de La Habana, diciembre de 1988