

# ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE ZONAS DE FALLAMIENTO ACTIVO EN LAS CONDICIONES DE CUBA\*

Antonio R. Magaz García\*\*  
Jorge Luis Díaz Díaz\*\*  
José Ramón Hernández Santana\*\*

## Resumen

Esta investigación constituye el resultado de la participación de Cuba en el Proyecto "Mapa mundial de las principales fallas activas" del Programa Litosférico Internacional (ILP). Con base en la experiencia en los estudios del relieve cubano, se propone clasificar los elementos geomorfológicos para la identificación de las fallas en *excluyentes*, *primarios* y *secundarios* y emplear el enfoque local para determinar la actividad de las fallas. Los aspectos más característicos de Cuba son las principales estructuras activas que se relacionan con fallas y no con plegamientos, la existencia de cuatro campos temporales de fallamiento, el predominio de los movimientos verticales sobre los horizontales, la asociación de las fallas activas con importantes zonas sismogeneradoras y una difícil diferenciación de la actividad tectónica, pleistocénica y holocénica.

## Summary

This research constitutes the result of the cuban participation in the Project "World map of active faults" within the International Lithospheric Program. On the basis of the experience about cuban relief, the classification of the geomorphological elements in *excluded*, *primary* and *secondary* ones to identify active faults was proposed, as well as the local approach was used to determine their activity. The more characteristic cuban relief features are: main active structures are in relation with faults but not with foldings, existence of four temporary fault fields, predominance of vertical upon horizontal movements, association among active faults and seismic zones and complicated differentiation of the pleistocene and holocene tectonic activity.

## Introducción

En los mapas geológicos y tectónicos más recientes de la República de Cuba (Linares *et al.*, 1985; Shein *et al.*, 1985 y Albear *et al.*, 1988) han sido representadas numerosas estructuras de falla y plegamiento, sin embargo, como una regularidad, estas deformaciones no han sido diferenciadas por su *actividad en el tiempo*, sino de acuerdo con otros criterios de clasificación. Como una regla, la mayor parte de los estudios geológicos regionales y locales han dedicado mayor atención a la historia de las deformaciones hasta el Cenozoico temprano. Por su parte, los numerosos estudios geomorfológicos y de neotectónica realizados con una amplia utilización de los datos geológicos, geofísicos disponibles (Díaz,

\* Recibido: 27 de enero de 1997.

\*\* Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba.

1986; Magaz y Díaz, 1986; Hernández, 1987; Portela, inédito; Portela *et al.*, 1989, Orbera y Arteaga, 1989; Díaz *et al.*, 1989; Díaz *et al.*, 1991; Hernández *et al.*, 1991), han permitido cartografiar y discriminar regionalmente, y en muchos casos a un nivel local, las generaciones de fracturas neotectónicas (nuevas, reactivadas o transformadas en su funcionamiento) correspondientes a esa etapa de desarrollo.

Para ciertas fajas y nudos sismoactivos del archipiélago se ha logrado inferir o reconocer, a grandes rasgos, la actividad reciente y actual de estas fallas mediante la aplicación del principio de interacción dinámica *Morfoestructura - Movimientos Tectónicos Recientes* (Gerasimov, 1973; Lilienberg, 1973, 1977). No obstante, en numerosos casos el comportamiento de los eventos por las fallas no ha podido ser definido con precisión en el tiempo y en términos de desplazamiento por el plano, debido a una serie de problemas derivados, principalmente, de las características propias del relieve y del grado de su estudio, los cuales se tratarán más adelante.

Como hipótesis se parte de que un conjunto de fallas antiguas y jóvenes cubanas ha tenido movilidad durante los últimos 130 ka (Reciente, Holoceno o Pleistoceno tardío) y ello está reflejado en la diversidad de su manifestación geomorfológica de acuerdo con el principio de correlación morfoestructura-morfoescultura-movimientos tectónicos recientes.

Para la realización de este trabajo, los autores tomaron ocho fallas principales de Cuba (**Figura 1**), ubicadas en distintas regiones geomorfológicas de la tierra firme y con diferente historia y evolución, para las cuales existía la mayor cantidad posible de datos.

Por lo expresado y por la necesidad de un nuevo salto cualitativo en el orden teórico-metodológico, se pretende, entre los propósitos del trabajo, divulgar los elementos utilizados, los problemas y los principales resultados del análisis particular del fallamiento cubano con estos enfoques novedosos en nuestro medio.

## **I. Movimientos tectónicos, manifestaciones espaciales y temporales**

En la reunión para la realización del mapa de Zonas Sismogeneradoras de Cuba Oriental (Chuy *et al.*, inédito) se pudo constatar que entre los especialistas cubanos de las diferentes esferas geocientíficas existe diversidad de criterios y polémica en cuanto a la definición y caracterización de las *zonas sismogeneradoras*<sup>1</sup> sobre el concepto de *zonas de fallamiento activo*, así como sobre las relaciones entre ambas categorías. Algunos colegas plantean la existencia de *zonas de origen de terremotos*, cuyo comportamiento dinámico y distribución espacial no puede vincularse a la presencia de falla alguna.

---

<sup>1</sup> Este concepto aún no está bien definido en la literatura cubana y su uso diverge de un autor a otro

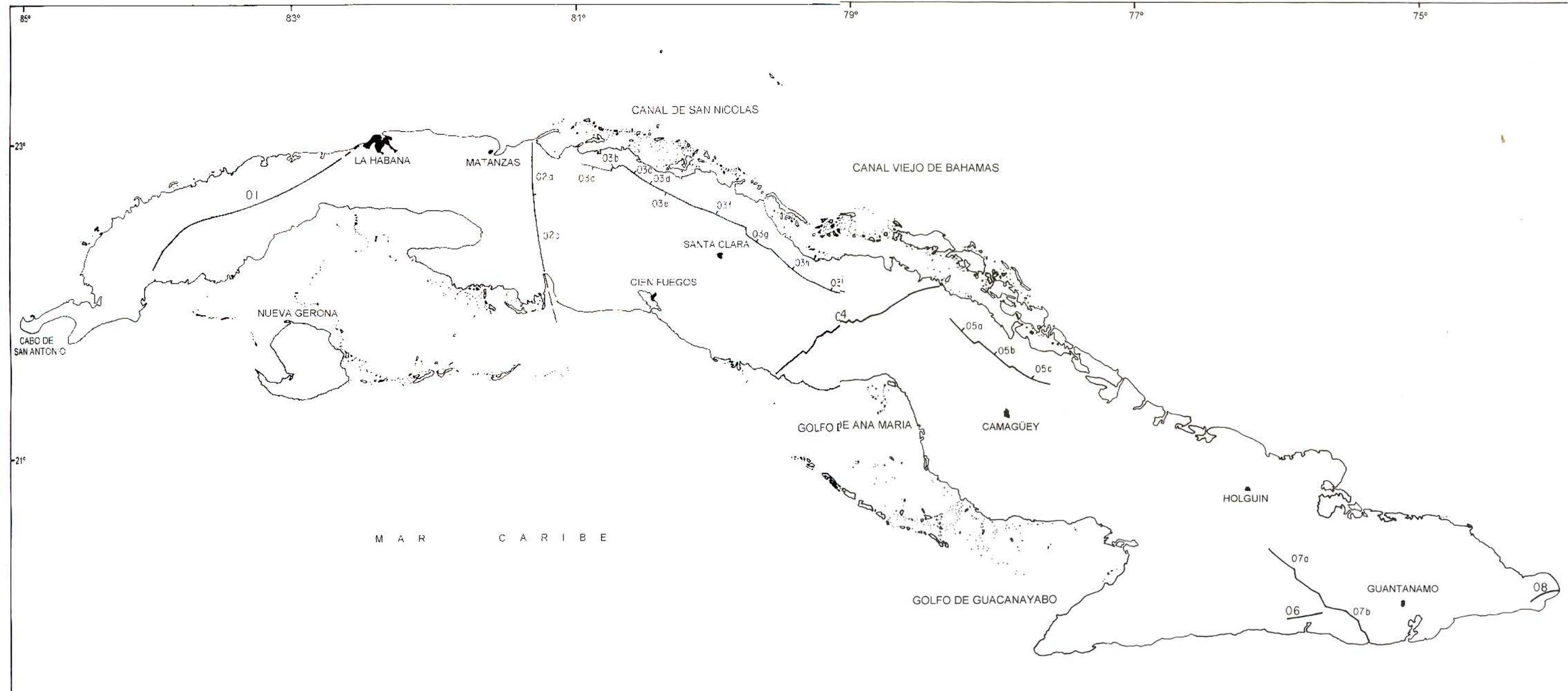


Figura 1. Fallas activas de la República de Cuba. La contribución al mapa mundial de las principales fallas activas del Programa Litosférico Internacional (ILP), es: 01 Falla Pinar; 02 Falla Cochinos-Cárdenas; 03 Falla Las Villas; 04 Falla La Trocha; 05 Falla Cubitas; 06 Falla Boniato; 07 Alineamiento Manatí-San Germán-Baconao y 08 Falla Dos Hermanas.

Se debe partir de un postulado básico: "El evento sísmico se produce por una liberación instantánea de la energía elástica de la Tierra a partir de un desplazamiento súbito entre secciones de litosfera sometidas a tensión" (Kámik y Algermissen, 1980).

Las diferentes pruebas realizadas en numerosas investigaciones geomorfológicas internacionales y nacionales (Guerasimov, 1950; Mescheriakov, 1961, 1980; Nikolayev, 1962; Fiji, 1969; Lilienberg, 1972, 1973; Ranstman, 1979; Ostropico, 1980; Boncev *et al.*, 1982; Díaz *et al.*, 1986; Hernández *et al.*, 1986), han demostrado que la diferenciación morfoestructural neotectónica, de diverso orden, está en estrecha relación con la geodinámica endógena reciente, lo cual se manifiesta en las *zonas de fallas morfoestructónicas* (límites de las unidades de bloque, con expresión en el relieve) por el cambio que se produce en el espectro de los niveles geomorfológicos, en la intensidad y dirección de los procesos exógenos formadores del relieve, en las anomalías de los campos gravitacional y magnético, en las diferencias del flujo térmico del interior de la Tierra, en la distribución de las aguas subterráneas y en los valores de los parámetros dinámicos, de los movimientos tectónicos lentos (seculares) e instantáneos (sísmicos). Lo anterior demuestra que, por una parte, gran número de fallas neotectónicas son sismoactivas (zonas sismogeneradoras), hecho que se produce por la herencia o reactivación prolongada en el tiempo de las principales líneas de movimiento que consolidaron las unidades de bloque a partir del Eoceno Superior-Oligoceno y durante el Neógeno y el Cuaternario (caso de Cuba) (Iturralde, 1977; Magaz y Díaz, 1986), y por otra, que cuando las zonas de origen de terremotos no pueden ser vinculadas a zonas de fallas activas es porque estas últimas no han sido detectadas ni cartografiadas, lo cual significa, en ningún modo, su inexistencia.

Teniendo en cuenta que dentro de la etapa neotectónica de formación del relieve cubano existen elementos estructurales con diferente actividad temporal, para dividir las fallas con mayor precisión, los autores de esta comunicación aceptan los criterios esbozados por Trifonov y Machette (1993), quienes consideran que las zonas de fallamiento activo se pueden definir como aquellas "fallas con manifestaciones de actividad reciente, en el Holoceno ( $\leq 10$  ka) o en el Pleistoceno tardío ( $\leq 130$  ka)". Como señalan estos autores, con las zonas de fallamiento activo se vincula la ocurrencia de la mayor parte de los terremotos históricos fuertes, no obstante, sólo una pequeña fracción de las zonas de fallamiento activo presenta actividad sísmica. Esto ocurre porque los intervalos de recurrencia de las fallas intraplaca, menores, se miden en miles y decenas de miles de años, mientras que el registro sísmico alcanza solo algunos siglos, hasta miles de años en los casos de ciertas regiones que poseen inventarios a partir, por ejemplo, de paleosismodislocaciones fechadas o de otros elementos.

Debido a la elevada probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos fuertes por estas zonas, la identificación, caracterización y cartografía de las zonas de fallamiento activo es un elemento muy importante para los estudios sismotectónicos y de la zonificación del peligro sísmico, lo que permite acceder –junto con otros elementos adicionales– a la información regional sobre la vulnerabilidad y el riesgo.

El estudio de las fallas activas adquiere aun mayor importancia si se considera que con estas zonas se relacionan otros procesos peligrosos, tales como los gravitacionales, erosivos y cársticos; los cambios hidrogeológicos; la actividad de gas y otros, cuyo estudio es necesario para la caracterización geodinámica completa de las zonas de fallas sismoactivas a escala reciente y más antigua.

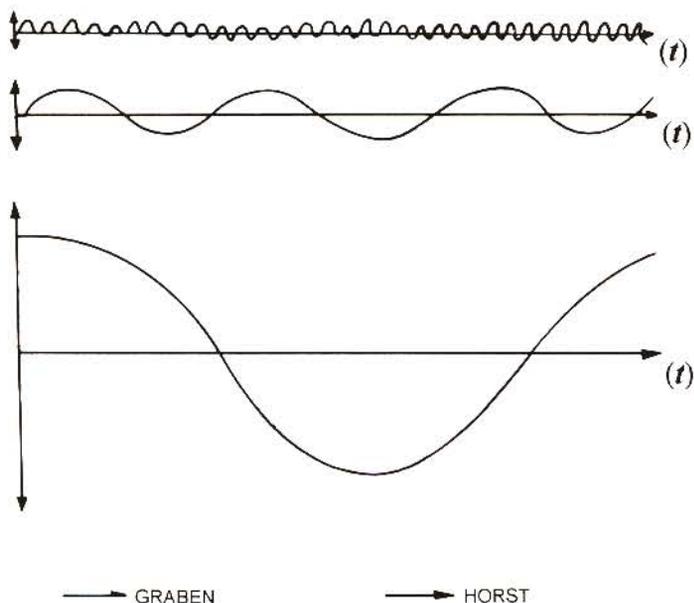
La participación de Cuba en el Proyecto II-2 “Mapa mundial de las principales fallas activas” del programa Litosférico Internacional (ILP), ha servido como complemento metodológico a los métodos geomorfológicos de la Escuela Soviética desarrollados en Cuba, para el estudio del comportamiento de las fallas. La elaboración del Capítulo Cuba del mencionado Proyecto siguió las concepciones, el contenido, el procedimiento implicado y la forma de compilación del banco de datos (catálogos y mapas), de los lineamientos guía confeccionados para el Mapa del Hemisferio Occidental (Haller *et al.*, 1993) lo cual, en la opinión de los autores, abre un camino seguro para acometer el análisis detallado del fallamiento cubano a partir de la vasta información regional existente.

Para conocer el contenido esencial del análisis de zonas de fallamiento activo, es conveniente referirse brevemente al *tiempo de manifestación de los movimientos geológicos*, donde se incluyen los que se expresan en forma de deformaciones cortantes o disyuntivas.

Existe gran diversidad de movimientos geológicos con diferente mecanismo genético, sentido, intensidad, magnitud y tendencia; que por el tiempo de su manifestación se distinguen por tener una periodicidad de diferente duración. En general, las variaciones cortas del sentido, intensidad y amplitud de los movimientos se manifiestan simultáneamente sobre el fondo de una periodicidad de órdenes más elevados, de la cual son parte integrante y determina su tendencia.

Según Iturralde (1977), los movimientos totales o sumarios compuestos por oscilaciones de diferente periodo y amplitud pueden ser comprendidos en el ejemplo de los movimientos de bloque de la etapa de “desarrollo platafórmico” de Cuba (**Figura 2**).

El estudio para los periodos de movimiento de diferente duración requiere de la utilización de métodos diferentes, por lo que se ha tomado el principio metódico de movimientos tectónicos de periodicidad distinta (Gerasimov, 1950; Mescheriakov, 1961; Lilienberg, 1972, 1977, 1982, Lilienberg *et al.*, 1993).



**Figura 2.** Representación del espectro de los movimientos oscilatorios. La suma de las tres curvas ilustra la onda oscilatoria que corresponde con los desplazamientos verticales de los bloques. La escala de tiempo ( $t$ ) y de amplitud, es arbitraria (Tomado de Iturralde, 1977.)

De acuerdo con la periodicidad y los métodos de estudio, los movimientos tectónicos han sido divididos en los siguiente tipos.

- **Paleotectónicos.** Se manifiestan en largos intervalos de tiempo, medidos en decenas y centenares de millones de años y su revelación se debe al empleo de métodos tradicionales de la geología y la geotectónica.
- **Neotectónicos.** Son movimientos de periodicidad media, con intervalos de tiempo de millones, cientos y decenas de miles de años. Se reflejaron en el relieve actual y por consiguiente se pueden caracterizar por métodos geomorfológicos. Es importante señalar aquí, que la etapa de formación del relieve actual de Cuba se inició a partir del Eoceno superior-Oligoceno (Magaz y Díaz, 1986).

- **Históricos.** Tienen periodos de duración del orden de los miles de años y su estudio es factible a partir de métodos arqueológicos, geológicos y geomorfológicos.
- **Recientes (MTR).** Son movimientos de periodos cortos, con intervalos de tiempo de decenas y centenares de años. Han sido estudiados con la aparición de métodos instrumentales, precisos, de investigación (geodésicos tradicionales, geodésicos satelitarios, oceanográficos, geofísicos, hidrológicos y otros) lo que ha permitido crear una base de datos para poder conocer, además, su mecanismo de origen.

Por el carácter de sus manifestaciones se distinguen dos tipos de MTR que están muy relacionados y representan dos formas de un proceso endógeno único, éstos son.

- los movimientos tectónicos recientes lentos o seculares (MTRL), que se registran en el curso de los siglos; se manifiestan en propagación areal extensa con un carácter de bloque en su expresión superficial, ya que transcurren según los patrones de un mosaico; y

- los movimientos tectónicos recientes rápidos, instantáneos o sísmicos (MTRR), que se manifiestan en forma de terremotos, vulcanismo u otros eventos, expresándose superficialmente en forma local (nudos), en zonas areales alargadas y relativamente estrechas (fajas) que se corresponden a fallas y a sus intersecciones, en un mosaico de estructuras de bloque.

De acuerdo con lo anterior, y en atención a los criterios acogidos por los autores sobre zonas de fallamiento activo, en su contenido temporal, el objeto de estudio para el análisis y determinación de estas zonas comprende los dominios de los *movimientos neotectónicos tardíos e históricos* (que para Cuba son los correspondientes al Pleistoceno, 1.6 Ma - 10 ka y Holoceno, < 10 ka) y los *movimientos recientes* (que, de acuerdo con la base cubana de datos, corresponde a los últimos 400 años para los MTRR. Por datos históricos, macrosísmicos e instrumentales y menos de 50 años para los MTRL mediante las nivelaciones geodésicas reiteradas). Sin embargo, durante el proceso de compilación de las estructuras cubanas, en los casos donde no existía el dato o no se pudo obtener con certeza el tiempo de desplazamiento de las fallas dentro del Pleistoceno, fueron incluidas las manifestaciones pliocénicas de los eventos tectónicos.

## **II. Compilación sistemática de zonas cubanas seleccionadas de fallamiento activo. Particularidades de su aplicación en Cuba**

La composición y carácter de la base de datos, los principios de su utilización, la definición terminológica, los tipos de formas de compilación y atributos, así como las reglas para la representación cartográfica de las estructuras de fallas y pliegues activos, son aspectos que

se tratan con rigor en los lineamientos guía elaborados por Haller *et al.* (1993), a los cuales se remite a los lectores. No obstante, en adelante se hará una breve referencia sobre los aspectos esenciales de la forma de compilación y, además, sobre las particularidades y regularidades de la aplicación de este procedimiento a las estructuras cubanas.

La combinación de datos para este tipo de compilación sobre fallas activas no solo permite la identificación de las fallas, su estructura y dinámica, sino también las comparaciones complejas entre los patrones espacio-temporales del fallamiento a distintas escalas territoriales, lo cual contribuye a identificar regimenes de movimiento tectónico reciente de la corteza. El estimar algunos parámetros de terremotos potenciales (Mag. máx, migración espacio-temporal y otros). El comprender mejor las relaciones entre la morfoestructura y morfoescultura, las propiedades mecánicas de las rocas, la distribución y dinámica de las aguas subterráneas y los MTRL. La identificación de los tipos de peligros y de la estimación de sus niveles de severidad para territorios asísmicos actualmente, pero asociados a zonas de fallas activas.

Según Haller *et al.* (1993), las primeras decisiones que debe tomar el compilador de datos sobre fracturas son las referentes a: *a)* el tipo de falla y *b)* la distinción de las estructuras que tienen *movimiento superficial histórico*.

El resultado de la valoración de estos dos aspectos determina la forma de compilación a emplear en la base de datos sobre estructuras. Respecto a los tipos de fallas (a), se consideran: *a)* **falla simple**, que está definida por una edad única de ruptura; *b)* **falla seleccionada**, que puede o no ser de una edad o estilo estructural simple, y la *c)* **falla segmentada**, que presenta segmentos estructurales con comportamiento sísmico propio o que actúan independientemente uno de otro.

Para que una estructura pueda tener esta última nomenclatura debe poseer un alto grado de estudio mediante trabajos de trinchera y datación, con soporte de datos geólogo-geofísicos y geomorfológicos detallados referentes a la morfología de las escarpas de falla, control estratigráfico del tiempo del fallamiento, sentido y magnitud del movimiento, estimados sobre la base de los parámetros dinámicos de los focos de terremotos, variaciones espacio-temporales de las anomalías gravimétricas, de las mediciones del relieve superficial; así como de la estructura geológica que controla la segmentación física, entre otros aspectos.

Durante el trabajo realizado en Cuba para el Proyecto II-2, ninguna de las estructuras seleccionadas pudo ser compilada como tipo c, debido a la inexistencia de la base de datos requerida. Sin embargo, con la inclusión de la información sobre la intensidad y posición epicentral de los eventos sísmicos y de los gradientes elevados en la curva de velocidad de

los MTRL, se pudo reflejar la actividad reciente de las estructuras y sus partes, pero en este caso, por las formas de compilación para fallas simples y seccionadas, debido a que los criterios para la selección de una falla por secciones son menos rigurosos: la edad relativa, la geometría de la falla, presencia y conservación de las escarpas de falla, morfología y diferencias altitudinales de las superficies de planación y de otros datos geológicos y geomorfológicos.

Con relación a la distinción de *zonas de fallamiento histórico* (se hace referencia a los eventos más nuevos del fallamiento y de estructuras pliegue con expresión o relieve, ocurridos en los últimos 200 años). Como se ha dicho, a este tipo de movimiento se le reconoce en Cuba con el término de movimiento reciente (MTR), con datos menores de 400 años, mientras que los históricos son del orden de los últimos miles de años BP dentro del Holoceno. Por otro lado, los criterios empleados en su definición y sus atributos, forma de compilación, no permitieron –debido a la insuficiencia e inexistencia de datos– registrar de este modo a algunas de las fallas cubanas. Como datos requeridos se consideran: la identificación de las estructuras, segmentos o secciones que fueron afectadas por los eventos sísmicos, así como los parámetros dinámicos geofísicos y geomorfológicos; los cuales no son abundantes en la fuente de datos publicados en el país.

De todo lo anterior, se desprende que para este procedimiento existen cuatro formas de compilación: *a)* fallamiento superficial histórico, *b)* fallamiento por segmentos, *c)* fallamiento por secciones y *d)* fallamiento simple.

Los atributos iniciales de la forma de compilación utilizada para *fallamiento superficial histórico*, son diferentes de los correspondientes al resto de las formas antes apuntadas y además poseen elementos comunes con estas últimas. Los elementos de las formas de compilación para estructuras segmentadas, seccionadas o simples son comunes, con la única diferencia que en las dos primeras, su registro se realiza para cada segmento o sección.

Los atributos contenidos en las diferentes formas de compilación pueden ser clasificados en cuatro grupos.

I. De identificación formal y posición geográfica.

II. De yacencia o geoestructurales.

III. Geólogo-geomorfológicos y grado de estudio.

IV. Los atributos de geodinámica.

A continuación sólo se hará referencia a los atributos más importantes de los grupos II, III y IV, así como a la forma en que éstos fueron tratados (forma de compilación) para el registro de las estructuras cubanas.

Los atributos que tuvieron mayor significación en el desarrollo del trabajo (siguiendo el orden en que aparecen en los anexos) fueron: *a)* el enclave geológico (geologic setting), *b)* el sentido de movimiento (sense of movement), *c)* la expresión geomórfica (geomorphic expression), *d)* el tiempo del paleoevento más reciente (timing of most recent paleoevent), *e)* el intervalo de recurrencia (recurrence interval) y *f)* la intensidad de deslizamiento (slip rate).

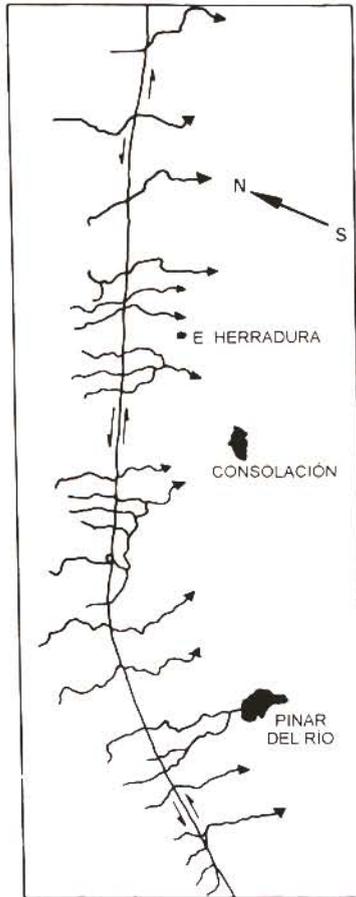
En el *enclave geológico* se ofrece una información breve y general de la falla, señalando su estructura y su situación con respecto a las formas del relieve y otros rasgos geológicos y socioeconómicos. En este atributo se incluye la magnitud sumaria del desplazamiento o el desplazamiento máximo más joven sufrido por la falla, y la edad del movimiento correspondiente. El lector puede encontrar ejemplos en los anexos, donde se pueden observar las diferentes formas de manifestación de las fallas en el relieve (límites de macroformas, mesoformas, microformas y en morfoelementos), lo cual es un aspecto importante en el análisis del resto de los atributos. Para comprender el peso que tuvo el análisis geomorfológico en la compilación de las estructuras, el interesado puede consultar la literatura geomorfológica referenciada en los anexos.

El atributo *sentido de movimiento*, comprende la información más detallada sobre el tipo geoestructural de falla. Se consideran las categorías:

- **T** Sobrecorrimiento (thrust).
- **R** Falla inversa (reverse fault).
- **D** Falla diestra (right-lateral) (strike-slip fault).
- **S** Falla siniestra (left-lateral) (strike-slip fault).
- **N** Falla normal (normal fault)

Si el desplazamiento es combinado (oblicuo), las componentes pueden ser mostradas como  $N > S$  o  $N / S = 5-10 / 1$  que significan, respectivamente, que la componente de desplazamiento vertical es mayor que la componente horizontal siniestra o que la primera componente es entre 5-10 veces mayor que el desplazamiento de la segunda.

Según se muestra en los anexos, en las zonas cubanas de fallamiento activo es común encontrar un sentido de movimiento vertical absoluto o dominante, lo cual se manifiesta en el relieve mediante el conjunto de los elementos primarios. Sin embargo, aun cuando no existen datos sobre los movimientos neotectónicos, históricos y recientes de sentido horizontal, cuando se utiliza la red fluvial como clave analítica para la revelación de problemas estructurales y tectónicos, se pueden detectar morfoelementos que indican la existencia de estos desplazamientos laterales (**Figura 3** y **Anexo 1**).



**Figura 3.** Esquema que muestra la traza de la falla Pinar, donde se observa el desplazamiento hacia el Este de las corrientes fluviales, como evidencia de la actividad y estilo de los movimientos del terreno. (Tomado de Iturralde Vinent, 1986.)

En Cuba los datos geomorfológicos son el tipo de información más útil y extendida para el análisis del fallamiento activo. En ausencia de información más precisa, los datos del relieve cubano, empleados simultáneamente con la información geodésica, geológica y geofísica, ofrecen el conocimiento mínimo indispensable para abordar el problema básico de investigación. Por ello, el atributo *Expresión geomórfica* tiene la mayor significación cuando se aplica el principio de interacción dialéctica morfoestructura-morfoescultura-movimientos tectónicos recientes (Lilienberg *et al.*, 1993); pues no solo permite la identificación de las estructuras activas e inactivas sino que además posibilita, en muchos casos, el conocimiento de los parámetros cinemáticos de las fallas en su desarrollo (Tiempo del paleoevento más reciente, Intervalo de recurrencia e Intensidad de deslizamiento).

La Expresión geomórfica como atributo de la Forma de compilación no solo ofrece el modo de expresión geomórfica general de la estructura de falla en un sentido descriptivo físico-geográfico, sino que permite acceder, en el caso cubano, a la información esencial sobre fallamiento activo como resultado de la valoración de los elementos de manifestación y diferenciación generacional de fallas tratados en la sección III de esta comunicación. Así, en este atributo se hace una referencia detallada sobre aspectos morfológicos, morfométricos, morfogenéticos y cronomorfogenéticos, estableciéndose correlaciones complejas entre las estructuras de fallamiento, la escultura, la morfoestructura y la dinámica endógena antigua y joven, por cuanto a su evolución no existen fallas activas, que no tengan su expresión en los elementos primarios y secundarios, como se verá en la siguiente sección.

Para comprender con claridad la importancia que tiene la Expresión geomórfica en el conocimiento de los atributos de geodinámica (parámetros cinemáticos), se propone por su detalle el ejemplo de la falla Dos Hermanas, cuyo texto y material gráfico aparecen en el **Anexo 4**; así como la revisión del estudio básico que permitió obtener estos resultados, referenciado en el propio anexo como Díaz *et al.* (1991).

En todas las formas de compilación excepto en la de *Fallamiento superficial histórico*, el atributo *Fecha del paleoevento más reciente* posee cinco categorías relacionadas con los periodos de ocurrencia de paleoevento, que en orden de importancia cronológica son:

1. Histórico.
2. Holoceno y post glacial (< 15 ka).
3. Cuaternario tardío o Pleistoceno tardío (< 130 ka).
4. Cuaternario medio o Pleistoceno medio (< 750 ka).
- 4a. *Cuaternario temprano o Pleistoceno temprano* (750 ka - 1.6 Ma) [propuesta cubana].
5. Cuaternario (< 1.6 Ma).

El *Intervalo de ocurrencia* comprende el lapso que media entre los dos últimos eventos disyuntivos sufridos por la falla e incluye el intervalo de tiempo, entre paréntesis, para el cual el intervalo de recurrencia es válido.

La *Intensidad de deslizamiento* comprende el valor en mm/año de la intensidad del movimiento por el plano de la falla. Es el resultado de los desplazamientos sumarios juzgados a partir de la amplitud máxima y el tiempo de ocurrencia del evento, considerando una intensidad de desplazamiento lineal.

Para el Slip rate se consideran tres categorías,

- A. > 5 mm/año, para las estructuras de sistemas interplacas,
- B. 5-1 mm/año, para las estructuras principales de sistemas intraplacas y
- C. < 1 mm/año, para las estructuras menores de sistemas intraplacas.

El atributo *Edad de los depósitos fallados* tiene gran importancia en la compilación del fallamiento activo, en el caso de Cuba, su importancia es relativa debido a que las fallas cortan con frecuencia rocas antiguas para la identificación de fallas activas (Jurásico inferior-Plioceno), y a la inexistencia de datación estrecha de las formaciones cuaternarias.

Una vez definidas las formas de compilación y los atributos que tuvieron mayor significado para el análisis del fallamiento cubano (los interesados pueden consultar los anexos).

### **III. Manifestación de fallamiento activo en Cuba. Elementos de análisis y problemas principales para su determinación**

En el campo global de estructuras de falla, que tienen expresión en el relieve del archipiélago cubano, es posible separar con una confiabilidad aceptable dos grupos generacionales principales. Primero, los sistemas que pertenecen a la Orogenia Cubana (Cretácico superior Cenomaniano-Eoceno medio), con estructuras formadas en un medio de compresión tangencial, y segundo, los que corresponden a movimientos neotectónicos e históricos (post Eoceno superior), con elementos estructurales originados en un medio de distensión y predominio de desplazamientos verticales. Estas últimas fracturas formaron la morfoestructura inicial del relieve actual y transformaron a las estructuras del primer grupo.

Desde el punto de vista geólogo-estructural, los elementos del primer grupo están representados por complicadas estructuras alpinas, imbricadas de mantos, y escamas de sobrecorrimiento de disposición sublatitudinal, con ángulos de buzamiento menores de 45° hasta subhorizontales; fallas inversas cruzadas y de cizallamiento, con sentido de movimiento

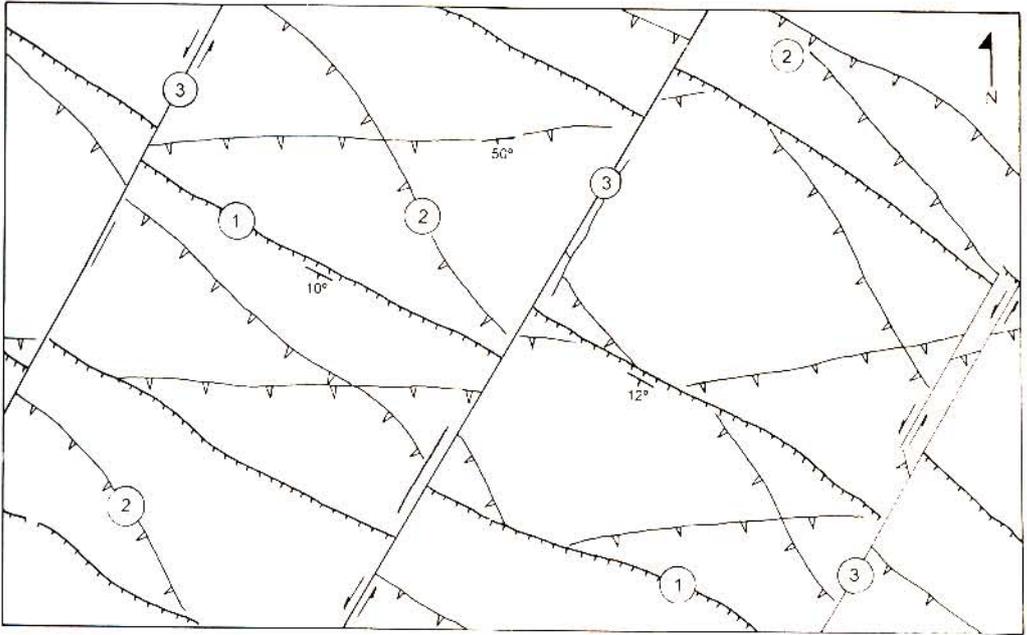
sinistro en la dirección del sobreempuje general S-N. Estas estructuras se presentan en distintos órdenes de magnitud espacial.

Entre las fallas laterales sinistras de esta etapa, destacan por su extensión y movimientos las zonas transverso-diagonales que cortan el archipiélago de NE a SW, a lo largo de las cuales ocurrieron notables desplazamientos del orden de 10-40 km como manifestaciones finales de los eventos alpinos con dominio de movimientos horizontales (**Figura 4a**). Por su parte, los sistemas de fallas neotectónicas forman en el plano un diseño más simple y regular (mosaico), y sus elementos son fallas normales directas y en menor número inversas con ángulos de buzamiento mayores de 50°, hasta subverticales y direcciones dominantes NW-SE y NE-SW o rumbos cercanos así como sublatitudinal, que forman, respectivamente, los límites de morfoestructuras transversales y longitudinales a la isla principal (**Figura 4b**). Estas estructuras también son de diferente orden de magnitud espacial, pues constituyen los límites del fraccionamiento interior del megabloque neotectónico cubano, con unidades de macrobloque que alcanzan centenares de kilómetros cuadrados hasta los microbloques, con superficies del orden de los centenares de metros.

Como peculiaridades notables, en primer lugar, se ha comprobado en varios casos la relativa coincidencia planimétrica entre las líneas (trazas) de las principales fallas antiguas y neotectónicas (tanto longitudinales como transversales), con la singularidad de que las primeras han sido transformadas en su estructura y funcionamiento por planos nuevos de desplazamiento (Iturralde y Roque, 1982a; Magaz y Díaz, 1986). Esta relativa coincidencia espacial aparentemente es contraria a la separación precisa de los grupos de fallamiento. Por otra parte, gran número de fracturas neotectónicas y modernas presentan una disposición discrepante respecto a las estructuras del plano antiguo y, en los casos de estructuras jóvenes, se observa un marcado predominio en muchos órdenes de la componente de desplazamiento vertical sobre la horizontal.

Otro aspecto que dificulta el proceso de separación generacional de fracturas es que muchas fallas neotectónicas y modernas cortan rocas antiguas del Basamento Larámico y de las secuencias estratigráficas inferiores de la Cobertura Neoaútóctona, con edades entre el Jurásico inferior-Eoceno medio y Oligoceno, respectivamente. También, una dificultad aparente en el proceso de separación de las dos generaciones de fallas fundamentales, es que muchas fracturas alpinas y neotectónicas tempranas son inactivas y tienen también su expresión particular en el relieve actual. No obstante, los geomorfólogos cubanos (Magaz, inédito; Hernández *et al.*, 1995) han estudiado que las fallas inactivas y otros morfoalineamientos tienen una manifestación en el relieve que no va más allá de los rasgos geomórficos, que se obtienen por la reelaboración exógena diferencial. Estos rasgos elementales, de expresión lineal, pueden o no estar vinculados a una línea de falla y

en el primer caso no demuestran la movilidad de la estructura. Estos elementos han sido llamados *excluyentes* y son los siguientes



**Figura 4a.** Estilo tectónico alpino y sus elementos: 1.  $\text{TTTT}$  Fallas longitudinales de sobrecorrimiento, 2.  $\nabla\nabla$  Fallas diagonales inversas; 3.  $\rightleftarrows$  Fallas transversales laterales sinistras;  $\text{T}$   $10^\circ$  Dirección y ángulo del buzamiento de las fallas

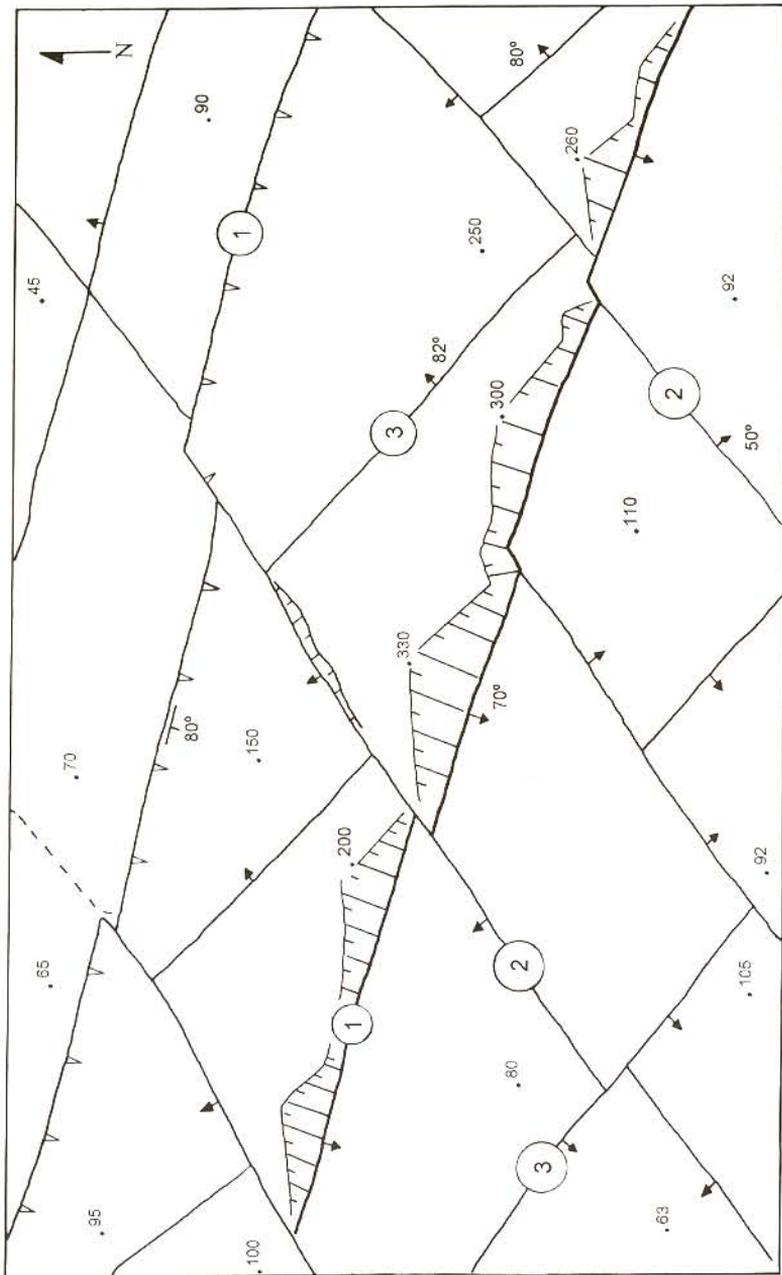


Figura 4b. Estilos neotectónico y sus elementos. 1. Fallas Longitudinales: ▾ Normales; ▽ Inversas; 2 y 3 Fallas Transverso-Diagonales Normales: ▾ Escarpas del relieve; 110 Cotas máximas de superficies de nivelación (en metros); — 80° Dirección y ángulo de buzamiento de las fallas.

- Segmentos de drenaje alineados en una dirección, pertenecientes a una cuenca o a morfoelementos de cuencas vecinas, sin cambios en las superficies de planación.

- Presencia de rápidos y saltos en los cauces sin deformación del espectro de las terrazas fluviales.

- Presencia de cañones, abras y otras formas erosivas transverso-diaagonales a las costas, sin presencia de cambios en el aterrazamiento marino o de las superficies de nivelación (**Figura 5**).

- Rupturas de pendiente en las vertientes (límites de pendientes bipétreas).

- Depresiones lito-estructurales.

Hasta donde admite el grado de estudio geológico y geomorfológico, los elementos primarios que permiten separar las dos generaciones de fallamiento, deben ser probados en su conjunto y son los siguientes.

- Diseño planimétrico de los modelos de fracturamiento (*véase figura 4a y 4b*)

- Relaciones espaciales entre el campo global de fracturas y la morfoestructura del relieve de diferente orden obtenida mediante levantamiento morfotectónico (**Figura 4b**).

- Cambios (vinculados a las fallas) de tipo morfológico, morfométrico y morfogenético en el espectro pleistoceno temprano y medio, neogénico tardío y más antiguo de superficies de planación poligenéticas (superficies denudativas de nivelación, terrazas marinas, fluvio-marinas, fluviales y de los pisos del carst) (**Figura 6a y 6b**); así como en numerosos morfoelementos y formas del relieve (cauces, líneas de costa, sistemas de cuevas, escarpas y otros), siempre que estos cambios no estén vinculados a la litología

- Presencia y distribución de valles antecedentes y de fragmentos relictos y colgados de valles, cuevas y paleosurgencias cársticas (**Figura 6c**)

- Distribución de las capturas de ríos, de los fragmentos de cuencas fluviales carstificadas y de las zonas de absorción y de emisión de los sistemas, aparatos y zonas cársticas (**Figura 6c**)

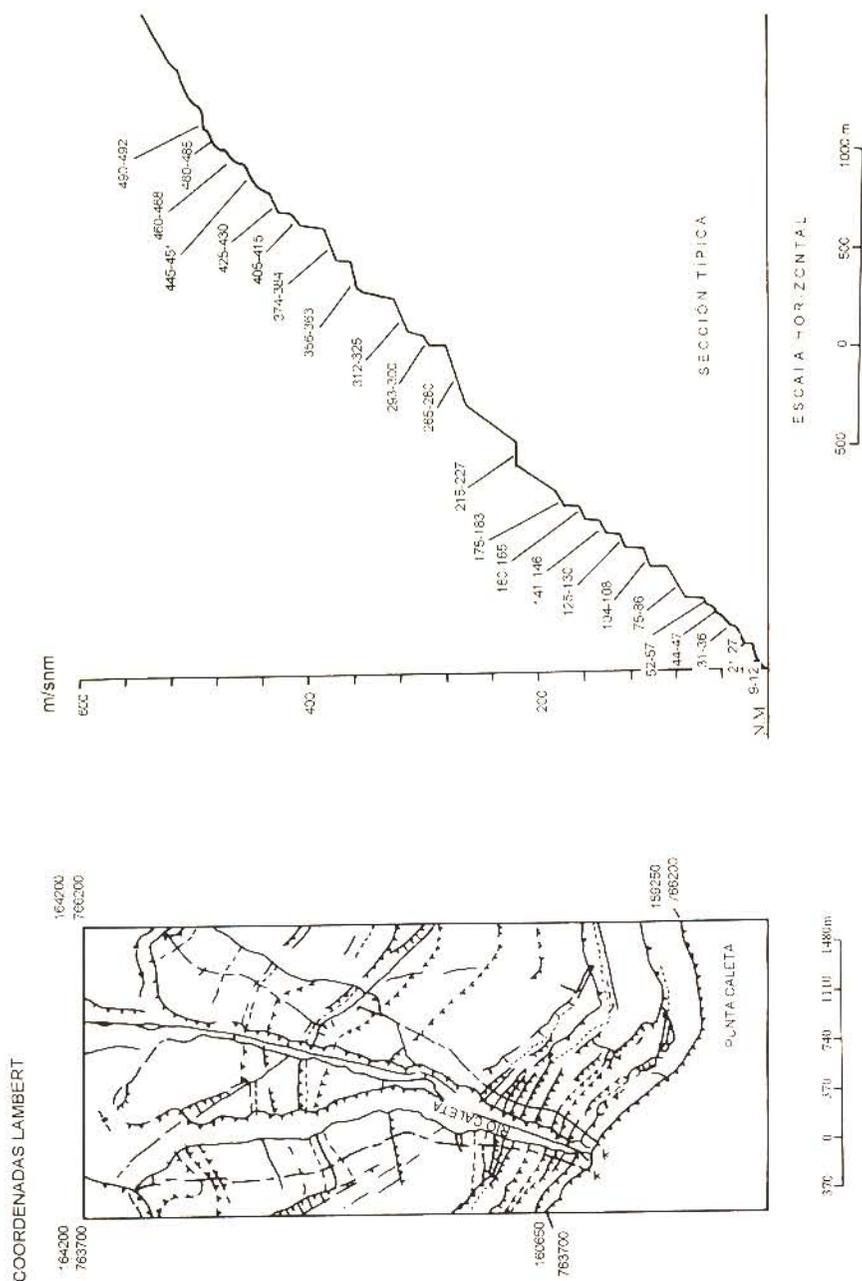
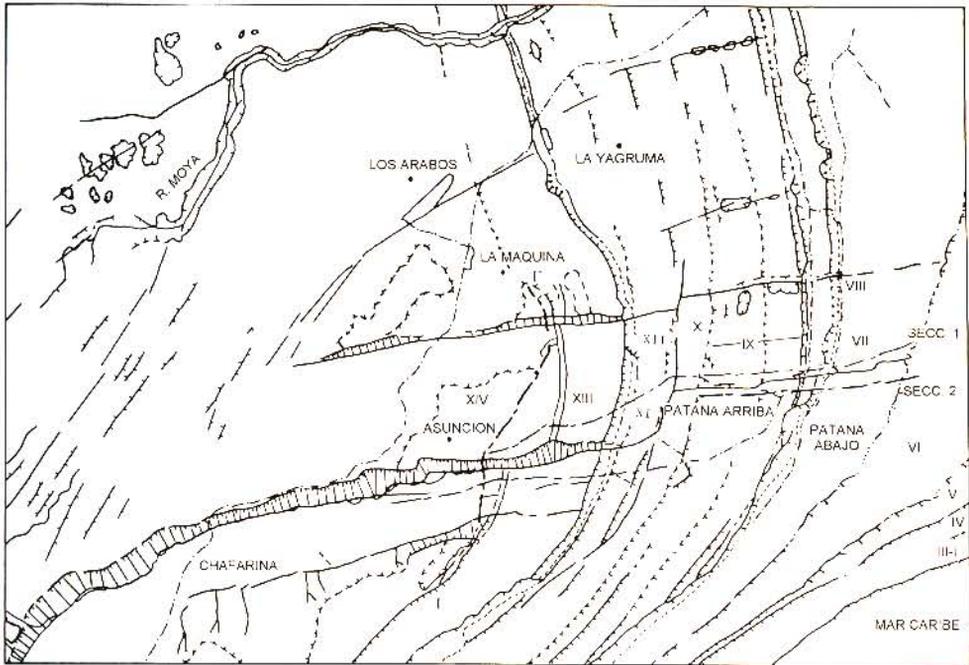
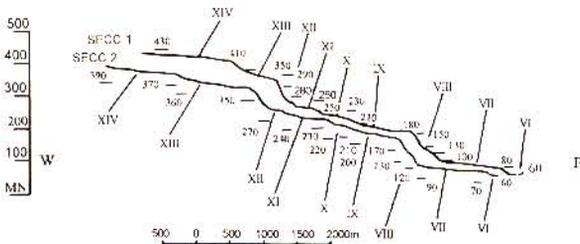
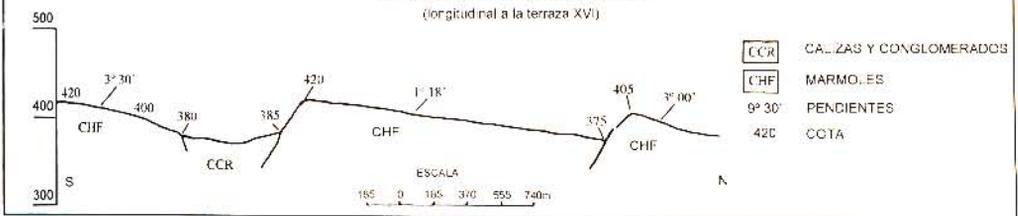


Figura 5 Elemento excluyente. Identicas secciones típicas de terrazas marinas por ambas márgenes del Río Caleta, extremo oriental de Cuba, obtenidas por nivelaciones topográficas, demuestran la inactividad de la falla antigua durante el Plioceno-Cuaternario. X ---- Líneas de Nivelación; - - - - - Escarpas Marinas; - - - - - Escarpas de Falla. (Tomado de Díaz *et al.*, 1991.)



PERFIL GEOLOGO GEOMORFOLOGICO I-I  
(longitudinal a la terraza XVI)



**Figura 6a.** Elemento primario. Planta y perfiles que muestran los cambios morfogenéticos de las terrazas marinas Plio-pleistocénicas por efecto de la falla Dos Hermanas  
 --- Líneas de nivelación; Escarpas marinas; Fallas y Escarpas de falla; Depresión cársica; XI Número de la terraza. (Tomado de Diaz *et al.*, 1991.)

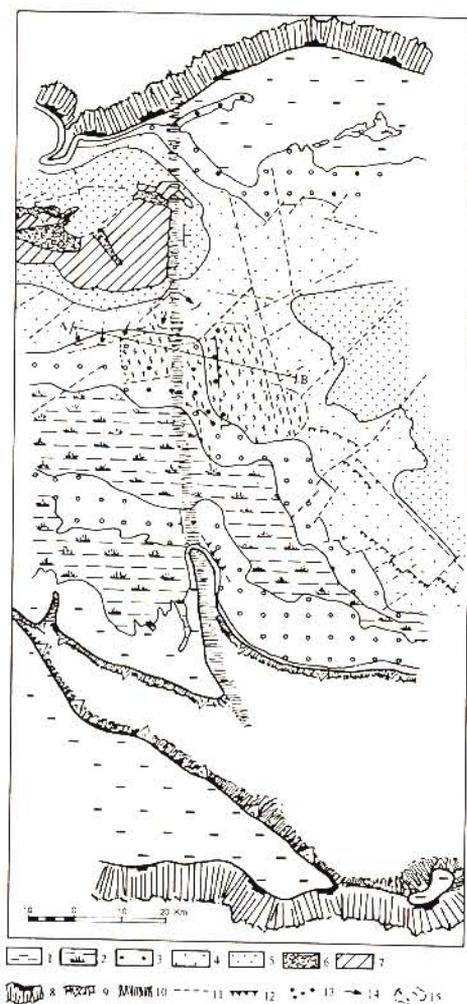


Figura 6b. Inflexiones planimétricas de las terrazas marinas a causa de la movilidad de la falla Cochinos-Cárdenas.

1. Llanuras abrasivo-acumulativas de la plataforma insular, 2. Llanuras lacustres y palustres (QIV), 3. Llanuras abrasivas y abrasivo-acumulativas, carsificadas (H = 2-3, 5-7 m) (QIV), 4. Llanuras abrasivas y abrasivo-acumulativas, ligeramente onduladas (H = 10-15, 20-25, 35-40 m) (QII-III), 5. Llanuras abrasivo-erosivas, onduladas (H = 40-45, 50-60, 75-80 m) (QI-II), 6. Alturas de horst y bloques, sinclinales, carsificadas (N2- Q1), 7. Escarpa tectónica, 8. Falla Cochinos-Cárdenas, 9. Escarpa tectónica, 10. Escarpa tectónica, 11. Escarpa tectónica, 12. Escarpa tectónica, 13. Escarpa tectónica, 14. Escarpa tectónica, 15. Escarpa tectónica.
- (Modificado de Portela, inédito.)

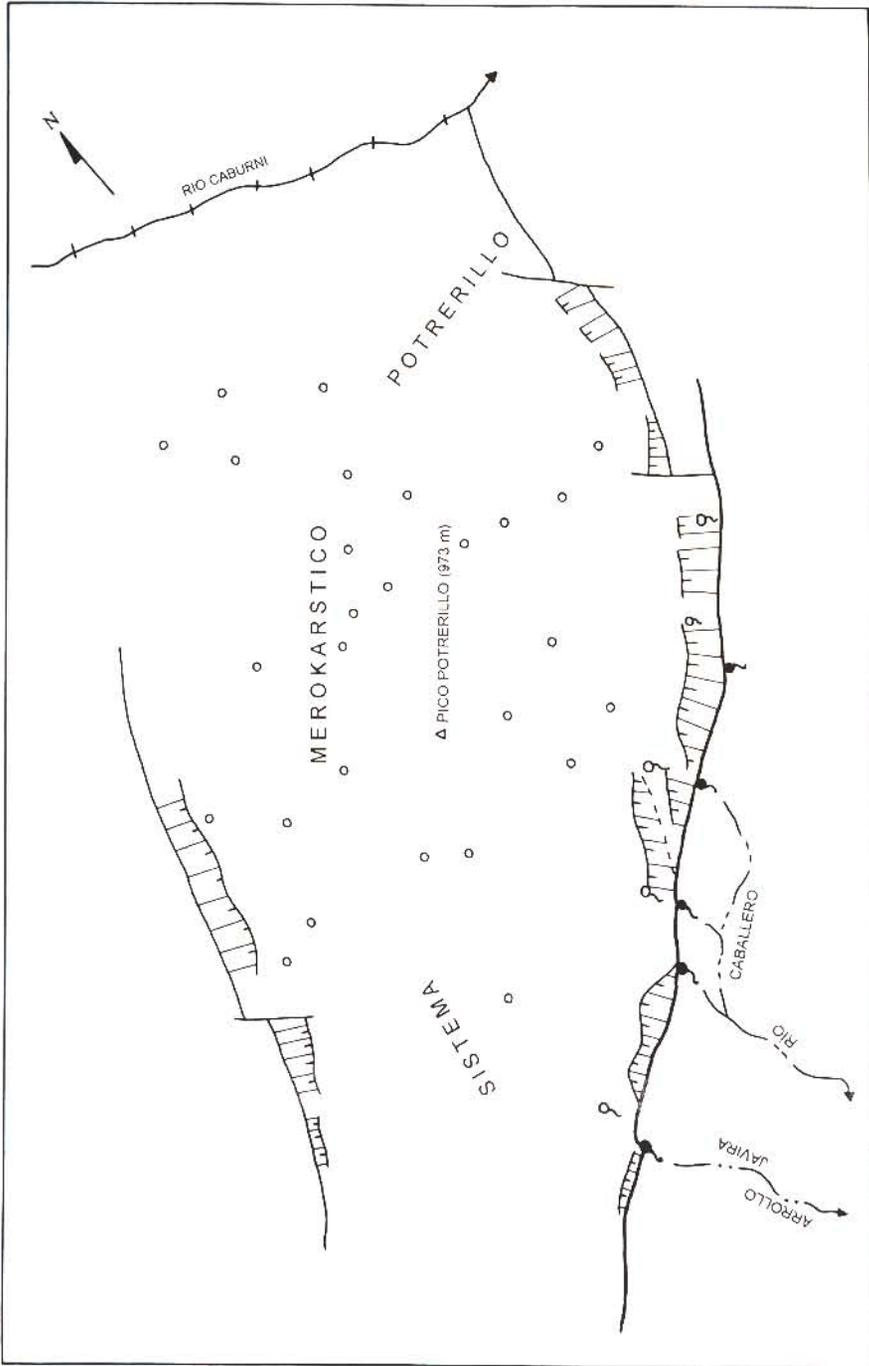


Figura 6c. Elemento primario. Paleosurgencias kársticas colgadas por efecto de la movilidad pleistocénica de la falla Caballero; límite suroriental del sistema Potrerillo. Montañas de Trinidad. Surgencias. P Paleosurgencias; O Sumideros. F Fallas y escarpas de falla. + + + + + Río transcurriente, - - - - - Ríos surgentes (Segun Magaz *et al.*, 1994 )

- Cambios de facies y en el espesor de las secuencias terciarias y de la cobertura friable pleistocénico inferior y medio.
- Cambios granulométricos y de facies del aluvión pleistocénico inferior y medio.
- Cierta configuración general e individual en el diseño de la red fluvial (diseños de evasión, centrípeto y centrífugo de tipo radial, y otros).

La utilización de estos *elementos primarios* para la determinación de las estructuras neotectónicas de falla, incluyendo la parte reactivada en esta etapa del sistema alpino, posibilita un primer acercamiento para la identificación de las *zonas de fallamiento activo* en las condiciones de Cuba, pues de acuerdo con las investigaciones geomorfológicas realizadas (Díaz *et al.*, 1991; Magaz *et al.*, 1991), todas las fallas con actividad pleistocénica tardía, holocénica y reciente, se manifiestan en el relieve mediante uno o varios de estos elementos, lo cual se debe, como se ha expresado, a la revelación de movimientos heredados o reactivados de una geoestructura (post eocénica superior) de bloque aún en desarrollo.

Hasta aquí, la aplicación de los elementos primarios y excluyentes permite la separación de las dos generaciones de fracturas fundamentales; así como el subconjunto de ambas que forma el grupo de las *potencialmente activas*.

A un escalón superior, en el proceso de discriminación de las fracturas cubanas se utilizan elementos secundarios (Hernández *et al.*, 1990; Magaz *et al.*, 1991; y otros) que permiten finalmente separar las zonas de fallamiento activo con movilidad reciente, holocénica o pleistocénica superior. Estos elementos son:

- Deformaciones de sedimentos y formas acumulativas y elaboradas del relieve (terrazas marinas y fluviales, superficies cársticas y otras) pleistocénico medio, tardío y holocénico y formación de topografía joven vinculada al fallamiento.
- Presencia de sismodislocaciones del relieve, fechadas por métodos absolutos o relativos (lineales y en forma de arco o circo) en las vertientes asociadas a las fallas donde se identifican derrumbes, corrimientos y deslizamientos sísmicos del Pleistoceno tardío, el Holoceno y más jóvenes (**Figura 7a**).
- Variaciones bruscas de las facies dinámicas del aluvión pleistocénico tardío, holocénico y actual en las zonas de fallas.



**Figura 7a.** Elemento secundario Paleosismodislocación holocénica temprana de la Loma de los Aposentos, Guantánamo, asociada con la movilidad de las fracturas de Cuba suroriental.

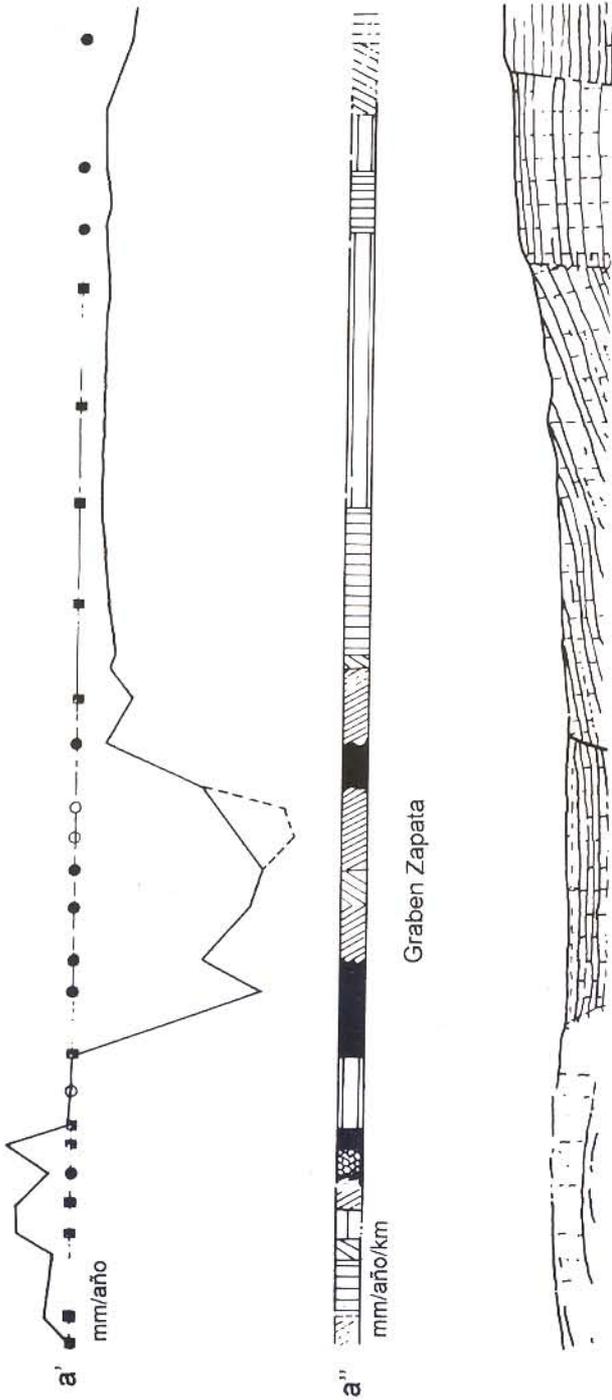
- - - Borde interno de la terraza marina del Pleistoceno superior, - · - · - Borde interno de la terraza marina del Holoceno superior,  Borde del circo de desplome.

- Presencia de “picos” y zonas de elevados gradientes en los gráficos de las velocidades de los MTRL –elaborados sobre la base de nivelaciones geodésicas repetidas de I orden coincidentes espacialmente con las zonas de fallamiento (**Figura 7b**)

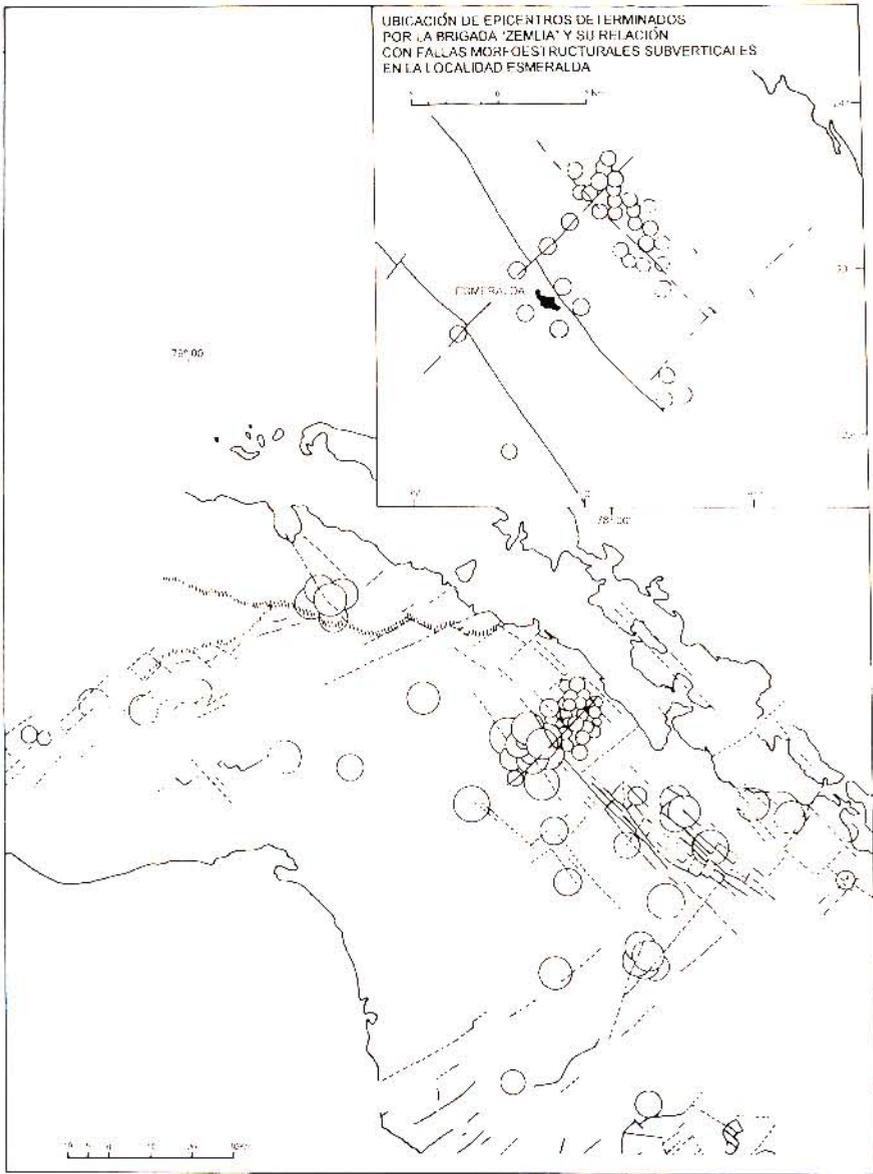
- Relaciones espaciales fuertes entre las zonas de fractura e intersecciones de fracturas con los nudos y cadenas de terremotos (**Figura 7c**).

- Coincidencia del diseño de las isosistas de terremotos (campo pleisosístico de atenuación sísmica) con el sistema de fracturas limítrofes de bloques (**Figuras 7d y 7e**).

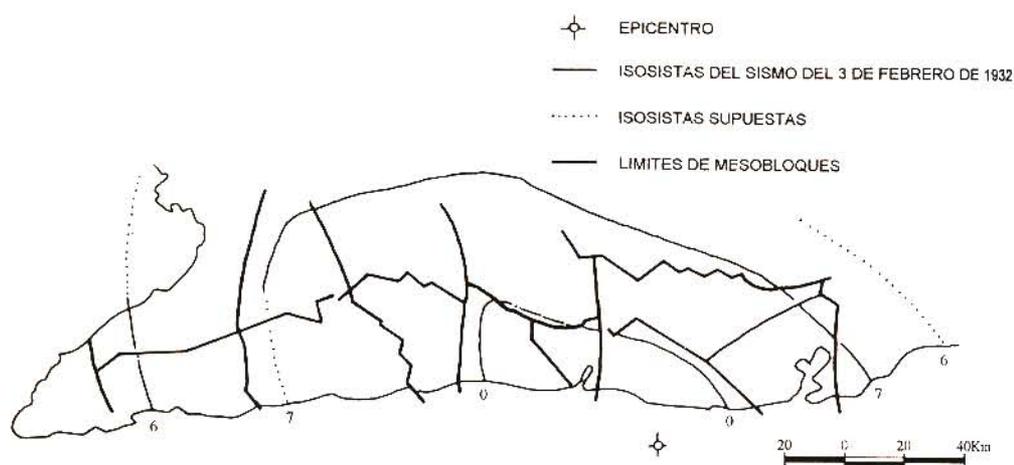
Por lo general, las fracturas activas que se manifiestan en estos elementos, también se reflejan regularmente mediante los elementos primarios debido a la presencia de paleoeventos del Paleógeno superior, Neógeno y del Pleistoceno temprano y medio, sufridos por estas estructuras durante el proceso de consolidación o de herencia de la morfoestructura actual.



**Figura 7b** Elemento secundario. Reflejo de la inserción de la falla Cochinos-Cárdenas con el graben Zapata, Matanzas, en la curva de las velocidades de los MTRL (a') y en el gradiente de velocidades (a''). (Tomado de Díaz *et al.*, 1986.)



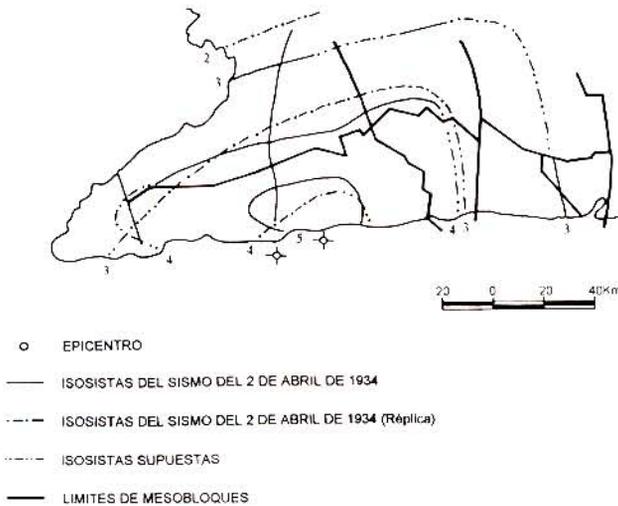
**Figura 7c.** Alineamientos morfoestructurales y epicentros --- Morfolineamientos;  
 ——— Fallas; // // // // Zonas de falla. (Tomado de Magaz y Diaz, 1986.)



**Figura 7d.** Correlación del área pleistostística del sismo del 3 de febrero de 1932 y el plano morfoestructural de Cuba sudoriental. (Tomado de Hernández *et al.*, 1989.)

Este esquema de discriminación escalonada de las fracturas cubanas (**Figura 8**), mediante la valoración de los elementos descritos (primarios, excluyentes y secundarios), se adapta a las regularidades y particularidades de la evolución geotectónica y geólogo-geomorfológica del archipiélago, y conlleva a la identificación de las *zonas de fallamiento activo*. No obstante la utilidad del esquema, su empleo se hace difícil debido a la inexistencia o insuficiencia en la base de datos fundamentales.

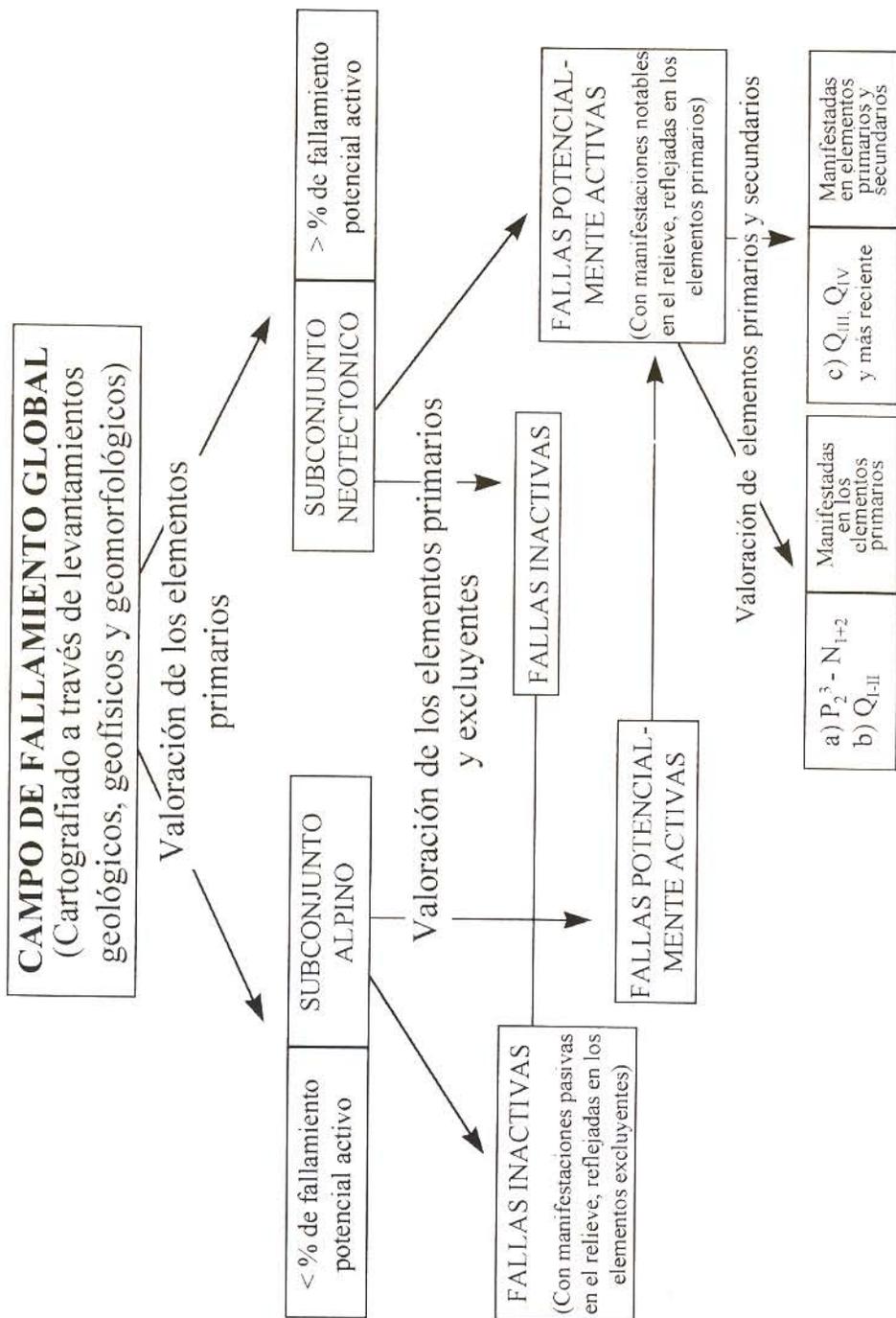
Las etapas Neógeno-cuaternaria y holocénica han sido poco estudiadas, pero las características propias del desarrollo geológico, con profusos y pequeños cambios climáticos en esta etapa, han hecho difícil el fechado o exacto de los sedimentos de esta época, manteniéndose en discusión, inclusive su origen. Las formaciones neógenas están descritas y fechadas con un alto grado de exactitud en cuanto a su posición estratigráfica y geomorfológica, lo que no ocurre para las cuaternarias.



**Figura 7e.** Correlación entre el área pleistocénica de los sismos del 2 de abril de 1934 y el plano morfoestructural de la Sierra Maestra centrooccidental. (Tomado de Hernandez *et al.*, 1989)

Los movimientos neotectónicos, históricos y recientes son conocidos a grandes rasgos o están inferidos por datos geomorfológicos, en particular el comportamiento de los eventos por fallas no se puede ubicar en tiempo y en términos de desplazamiento del plano, aun cuando muchas de ellas son sismoactivas y tienen reflejo en el campo de los MTR y en la morfoestructura

Los principales problemas geomorfológicos que pueden ser relacionados con la determinación de fallas y plegamientos activos en el Cuaternario y Holoceno fueron señalados por Magaz *et al.* (1989), y están enlazados con el predominio de superficies geomorfológicas marinas, fluviales y de planación sin datar, con un origen denudativo (elaboradas), es decir, con ausencia total de una cobertura sedimentaria, con la inexistencia hasta el momento, de superficies geomorfológicas acumulativas (construidas) fechadas, cuya edad permitiría extender la misma, mediante métodos de fechado relativo, a las superficies señaladas en el punto anterior, dentro de ciertos límites o bloques tectónicos, con el fraccionamiento en bloques morfoestructurales que no permite realizar correlaciones simples de edad entre superficies situadas en bloques con diferente historia evolutiva; y con el afloramiento predominante de rocas neogénicas y más antiguas en las que están elaboradas las superficies geomorfológicas



La consecuencia fundamental de las condiciones geomorfológicas antes mencionadas, es la imposibilidad de obtener, en la mayoría de los casos, un fechado estrecho de las superficies utilizando los procedimientos de la datación relativa, lo cual no permite fijar el momento de los eventos de las estructuras (fallas y pliegues) cuaternarias y holocénicas.

Los datos reflejados en el Capítulo Cuba del Proyecto II-2 muestran el grado de estudio actual de la actividad cuaternaria de las estructuras, a partir de hechos demostrados por las investigaciones realizadas hasta el momento.

Como se ha visto, las estructuras de fallas activas son frecuentes en la *Etapa geomorfológica cubana del desarrollo*. Mientras, las estructuras de plegamiento sólo se expresan como una regularidad, pasivamente en el relieve (Sección Relieve, Nuevo Atlas Nacional de Cuba, 1989), es decir, son un reflejo de la Etapa orogénica alpina bajo la acción de la erosión diferencial como morfoestructuras pasivas.

Existe un solo caso de plegamiento neogénico (Mioceno superior-Plioceno) la Loma de Cunagua, Región Central, cuyo origen se debe al efecto de la trascurrencia siniestra de la zona de fallas "La Trocha", la cual dio origen a la estructura braquiplegada mencionada, en forma de una elevación de 338 m de altitud (Hatten, 1958 e Iturralde y Roque, 1982b).

### **Aplicación en Cuba del procedimiento para la compilación de fallas activas**

Con base en el grado actual de conocimientos y en el ejemplo de 8 fallas cubanas, los autores han determinado un grupo de condiciones temporales, espaciales y geodinámicas que pueden caracterizar, en tierra firme, los límites internos del campo morfotectónico cubano.

1. Existen cuatro campos temporales de fallamiento: las fallas *antiguas* (pre Eoceno medio), las *neotectónicas* (Eoceno superior-Pleistoceno tardío), las *modernas* (Holoceno hasta el Reciente) y las *heredadas y reactivadas*, cuya edad puede abarcar toda la etapa neotectónica y moderna.
2. Se consideran como fallas activas, las estructuras longitudinales y transversales, límites de las morfoestructuras correspondientes de diferente orden, ya sean heredadas o "nuevas"
3. Las principales fallas activas son importantes zonas sismogeneradoras ( $I \leq 8$ ) para las condiciones de Cuba, y tienen expresión en el relieve y en los MTRI.

4. Los principales tipos de movimiento encontrados se relacionan con estructuras de falla y no con estructuras de plegamiento, lo cual es característico para la etapa neotectónica en otras regiones del mundo.
5. Predominio de los movimientos verticales sobre los horizontales, de ahí el carácter de bloque de la corteza terrestre y de la morfoestructura inicial del relieve actual (tectomorfoestructura activa). Sólo algunas fallas neotectónicas y modernas presentan indicadores geomorfológicos de desplazamientos laterales.
6. Marcada tendencia de la actividad tectónica cuaternaria y holocénica es difícil de diferenciar, lo cual se debe a las características geomorfológicas y a la ausencia de datos confiables. Se han logrado identificar eventos en el Pleistoceno tardío y en el Holoceno.
7. Como territorio intraplaca predominante, la intensidad del deslizamiento (slip rate) es del orden del primer milímetro por año y menor.
8. Las estructuras estudiadas contienen fallas, cuyo sentido del movimiento e historia de evolución fue diferente desde su origen en toda su extensión o ha cambiado a lo largo de su traza durante su desarrollo (seccionadas), como estructuras homogéneas en el tiempo y en el espacio (simples).
9. Aparentemente no existe correlación directa entre el orden y dimensión de las fallas neotectónicas e históricas, y el carácter geodinámico en la etapa definida para fallamiento activo. En consonancia, con los datos fácticos, se puede plantear la hipótesis de que pudiera estar ocurriendo una reactivación tectónica de acuerdo con patrones geodinámicos diferentes a los de la etapa de consolidación y desarrollo de la morfoestructura actual

Cabe destacar los casos de: *a)* la falla Dos Hermanas, cuya intensidad de deslizamiento sobrepasa los valores medios de las estructuras menores en zonas intraplacas (4 mm/año), lo cual debe relacionarse con su carácter de plumaje como subsistema de estructuras periféricas a la zona de transformación siniestra, con infracorrimiento parcial, que tipifica al sistema principal de la sutura interplacas cubana-caribeña (Fosa de Bartlett), *b)* la Sección Esmeralda de la falla 05 (unnamed), la cual presenta un sentido de movimiento inverso en la etapa neotectónica. Esto se repite solamente en una serie de fallas pertenecientes a la comunidad morfoestructural del Norte-Central de Cuba (Magaz y Díaz, 1986).

#### **IV. Recomendaciones**

Sobre la base de los principales problemas surgidos en el estudio y compilación de las zonas cubanas de fallamiento activo, se pueden plantear las siguientes recomendaciones metodológicas.

- Realizar estudios de trinchera y de datación absoluta de sedimentos en el subconjunto de fallas potencialmente activas (que se manifiestan en el relieve mediante los elementos primarios), así como en las activas (reflejadas en los elementos primarios y secundarios), con el fin de obtener un control estratigráfico y morfoestratigráfico de los paleoeventos de fractura. Incluye el fechado absoluto y relativo de formas del relieve asociadas con las fallas (generaciones de paleosismodislocaciones del relieve, superficies de planación y otras).
- Restablecer e intensificar el monitoreo geodésico de los MTRI, mediante las nivelaciones repetidas y utilizar la base de datos sobre la variabilidad de los niveles hídricos con los mismos fines.
- Iniciar las investigaciones sobre las variaciones temporales de las anomalías gravimétricas a lo largo de las fallas activas.
- Obtener los parámetros dinámicos de los focos de terremotos en el monitoreo geofísico (magnitud del momento sísmico, sentido de movimiento, deslizamiento promedio geofísico y otros).
- Monitorear las modificaciones actuales del relieve en las zonas epicentrales, prestando mayor atención a las asociadas a fallas activas que permitan obtener el *Deslizamiento máximo superficial*, *Sentido del movimiento*, la *Longitud de ruptura superficial* y otros.
- Elaborar un procedimiento adecuado para la identificación y pronóstico de regímenes de movimientos tectónicos con base en los patrones espacio-temporales de fallamiento activo en sectores claves.

#### **Agradecimientos**

Tanto las editoras como los autores de este trabajo quieren hacer patente su agradecimiento por la desinteresada colaboración que sobre aspectos gráficos prestaron José Juan Zamorano y Raúl Alvarado, del Instituto de Geografía de la UNAM.

### Referencias y bibliografía consultada

- Albear, J. F., I Boyanov, K. Brezsniansky *et al.* (1988), Mapa geológico de Cuba, Instituto de Geología, Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, 40 hojas, escala 1:250 000.
- Boncev, E., V. I Bunc, L. Christoskov *et al.* (1982), A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria, *Rev. Geol. Balcánica*, 12(2):3-48.
- Chuy, T. J., M. Rubio, L. Alvarez *et al.* (inédito), Mapa de las principales zonas sismogeneradoras de Cuba Oriental, escala 1:250 000.
- Díaz, J. L. (1986), Morfoestructura de Cuba Occidental y su dinámica reciente [en ruso], Resumen de la tesis de doctorado en Ciencias Geográficas, Instituto de América Latina, Moscú, 32 pp.
- Díaz, J. L., A. H. Portela, P. Blanco, A. R. Magaz y J. R. Hernández (1986), Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la Región Centro-Oriental de Cuba, Ed. Academia, La Habana, 60 pp.
- Díaz, J. L., J. R. Hernández, A. R. Magaz, A. H. Portela y P. Blanco (1989), Morfoestructura, en Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Relieve, cuadernillo IV.3.1, mapa 8.
- Díaz, J. L., A. R. Magaz, J. R. Hernández *et al.* (1991), "Reconstrucción tectónica local mediante el análisis de la morfoescultura marina en la franja costera Río Seco-Punta Maisí, provincia de Guantánamo, Cuba", en *Morfotectónica de Cuba Oriental*, Ed. Academia, La Habana, pp. 19-23.
- Fiji, Y. (1969), "Relation between maximum vertical displacements of the crust and magnitudes earthquakes and its application to the problem of earthquake prediction", *Japan Bull. Geogr. Surv. Inst.*, 15.
- Guerasimov, I. P. (1950), "Movimientos recientes y neotectónica" [en ruso], en *Problemas de geografía física*, Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, tomo XV, pp. 232-236.
- Guerasimov, I. P. (1973), "Correlaciones dinámicas de los movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre y los procesos exógenos formadores del relieve, que transcurren en su superficie" en *Movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre*, Academia de Ciencias de la URSS, 5:605-616.
- Haller, K. M., N. Michael y I. D. Richard (1993), "Guidelines for US database and map. For the maps of major active faults, Western Hemisphere, International Lithosphere Program (ILP), Project II-2 US Department of Interior, US Geological Survey, 45 pp.

- Hatten, C. *et al.* (1958), *Geology of Central Cuba eastern Las Villas and Western Camaguey provinces, Cuba*, Fondo Geológico del MINBAS, La Habana, 250 pp.
- Hernández, J. R., D. A. Lilienberg y R. González (1986), "Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y de las depresiones circundantes", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 12:36-48.
- Hernández, J. R. (1987), *Geomorfología estructural y geodinámica reciente del relieve de Cuba suroriental en la zona de interacción de la Microplaca cubana y la fosa profunda de Bartlett [en ruso]*, Resumen de la tesis de doctorado en Ciencias Geográficas, Ed. Ministerio de Cultura, Moscú, 24 pp.
- Hernández, J. R., J. L. Díaz, A. R. Magaz y A. H. Portela, (1990), "Principales tipos morfoestructuro-geodinámicos de zonas sismogeneradoras del territorio provincial de Guantánamo", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 18:24-32.
- Hernández, J. R., J. L. Díaz, A. R. Magaz *et al.* (1991), *Morfotectónica de Cuba Oriental*, Ed. Academia, La Habana, 43 pp.
- Hernández, J. R., A. R. Magaz, M. A. Ortiz y J. J. Zamorano (1995), "Clasificación morfoestructural (tipológica) y morfotectónica (regional) del relieve oriental cubano modelo insular de transición interplacas", en *Geomorfología. Investigaciones Geográficas Boletín*, Instituto de Geografía, UNAM, México, núm. especial 3, pp. 13-35.
- Hernández, J. R., M. A. Ortiz y J. J. Zamorano (1995), "Regionalización morfoestructural de la Sierra Madre del Sur, México", *Investigaciones Geográficas Boletín*, Instituto de Geografía, UNAM, México, núm. 31, pp. 45-67.
- Iturralde Vincent, M. A. (1977), "Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba", *Inf. Científico-Técnico*, núm. 20, 24 pp.
- Iturralde Vincent, M. A. y F. D. Roque (1982a), "La Falla Cubitas: su edad y desplazamientos", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 4:57-70.
- (1982b), "Nuevos datos sobre las estructuras diapiricas de Punta Alegre y Turiguanó, en la provincia de Ciego de Avila", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 4:47-56.
- Kármik, V. y S. T. Algermissen (1980), "Zonificación sísmica", en *Terremotos. Evaluación y mitigación de su peligrosidad*, Ed. Blume, Barcelona, pp. 11-49.
- Lilienberg, D. A. (1972), "Los movimientos tectónicos recientes y su relación con la morfoestructura", en *Problemas actuales de la ciencia geomorfológica soviética*, Ed. Nauka, Moscú, pp. 36-39.

- (1973), "Cuestiones de la correlación entre los movimientos verticales recientes, las peculiaridades morfoestructurales de la corteza terrestre y la sismicidad", en *Movimientos recientes de la corteza terrestre*, Academia de Ciencias de la RSSE, Talin, pp. 605-616.
- (1977), "Movimientos tectónicos recientes y la diferenciación morfoestructural de la corteza terrestre", en *Movimientos recientes de la corteza terrestre*, Resúmenes de la VII Conferencia Científica de la URSS, tomo I, pp. 25-27.
- (1982), "Movimientos tectónicos recientes, carácter de su manifestación y aspectos de su cartografía" [en ruso], en *Problemas de neotectónica y de geodinámica reciente de la litosfera*, Academia de Ciencias de la RSSE, Talin, tomo II, pp. 50-53.
- Lilienberg, D. A., J. R. Hernández, M. E. Marques y L. Alvarez (1993). *Movimientos tectónicos recientes de Cuba. El polígono geodinámico complejo de Santiago de Cuba*, Ed. Academia. La Habana, tomo I y 2, 453 y 118 pp.
- Linares, E., P. G. Osadchij, A. V. Doubnia *et al.* (1985), Mapa geológico de Cuba, Ed. ICCG. La Habana, 4 hojas, escala 1 500 000.
- Magaz, A. R. (inédito), La morfoestructura nororiental de Cuba. Archivo Instituto de Geografía Tropical. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Cuba.
- Magaz, A. R. y J. L. Díaz (1986), "Las morfoestructuras de la Región Centro-Oriental de Cuba", en *Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la Región Centro-Oriental*, Ed. Academia, La Habana, pp. 13-60.
- Magaz, A. R., J. L. Díaz, A. H. Portela *et al.* (1989), "Principales problemas actuales de la geomorfología de Cuba y su importancia en la economía nacional", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 15-16:104-114.
- Magaz, A. R., J. R. Hernández, J. L. Díaz *et al.* (1991), "El complejo de formas del relieve gravitacional de la franja costera Baitiquiri-Punta Maisí, provincia de Guantánamo, Cuba", en *Morfotectónica de Cuba Oriental*, Ed. Academia, La Habana, pp. 28-43.
- Mescheriakov, Y. A. (1961). *Movimientos tectónicos jóvenes y los procesos erosivo acumulativos de la porción noroccidental de la Llanura rusa* [en ruso], Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, 83 pp.
- (1980), *Geodinámica reciente y relieve* [en ruso], Ed. Nauka, Moscú, 283 pp.
- Nikolayev, N. I. (1962). *Neotectónica y su expresión en el relieve del territorio de la URSS*, Ed. Gosgeolteizdat, Moscú, 392 pp.

- Ostropico, P. A. (1980). "Modelo de los movimientos verticales recientes de la corteza terrestre en regiones sísmicas y las regularidades del sentido de los movimientos lentos", en *Movimientos recientes de la corteza terrestre (métodos y resultados de la investigación)*, Ed. Naukova Dumka, Kiev, pp. 132-143.
- Orbera, L. y F. Artcaga (1989), Neotectónica, en Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid. Sección Constitución Geológica, cuadernillo III.2.4, mapa 8.
- Portela, A. H., J. L. Díaz, J. R. Hernández, A. R. Magaz y P. Blanco (1989), "Geomorfología", en Nuevos Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid. Sección Relieve, cuadernillo IV.3.2-3, mapa 11.
- Portela, A. H. (inédito), "Morfoestructura insular y morfoescultura tropical de Cuba (según investigaciones con el empleo de teledetección) [en ruso], tesis de doctorado en Ciencias Geográficas, Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS, Moscú. 191 pp.
- Ranstman, E. Y., (1979), *Los lugares de terremoto y la morfoestructura de los países montañosos* [en ruso], Ed. Nauka, Moscú, 169 pp.
- Shein, V. S., K. A. Klischov, J. L. Yparraguirre *et al* (1985), Mapa tectónico de Cuba, Ed. ICGC, La Habana, 4 hojas, escala 1:500 000.
- Trifonov, G. V. y N. M. Machette (1993), "The world map of major active faults project", *Rev. Annali di Geofisica*, vol. XXXVI, núm. 3-4.

## ANEXOS

(FORMAS DE COMPILACIÓN DE LAS FALLAS CUBANAS)

## ANEXO 1

### COMPILATION FORM FOR SIMPLE FAULTS

**STRUCTURE NUMBER.** 01

Comments: Referida como falla No. 1 en el Mapa de alineamientos, escala 1:2 000 000 de Pérez (1989)

**STRUCTURE NAME.** Falla Pinar

Comments: En la literatura geológica y geomorfológica esta estructura ha sido conocida como falla Pinar desde que fue nombrada por Wassall (1956). La falla se extiende desde los alrededores de Playa de Galafre (Oeste) hasta el poblado de Cayajabos (Este). Algunos autores opinan que se extiende hasta la Bahía de La Habana, según los datos geofísicos y de geología profunda (Pérez, 1989 y Orbera, 1989).

**SYNOPSIS.** La falla está muy bien estudiada hasta el Cenozoico temprano, no así en el Cuaternario.

**DATE OF COMPILATION.** 03/22/95.

**COMPILER AND AFFILIATION.** Jorge L. Díaz Díaz y Antonio R. Magaz García, Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba

**STATE.** Pinar del Río y La Habana.

**COUNTY.** San Cristóbal, Pinar del Río, San Juan y Martínez, Los Palacios, Minas de Matahambre y Candelaria (en la provincia de Pinar del Río) y Artemisa (en la provincia La Habana). Según la división municipal.

**1° x 2° SHEET.** Pinar del Río 3483, Los Palacios 3583, Artemisa 3684, San Juan y Martínez 3482, San Cristóbal 3584.

**PROVINCE.** La falla es el límite entre la Subregión Llanura aluvial del Sur de Pinar del Río y las subregiones Pizarras del Sur y Sierra del Rosario.

**RELIABILITY OF LOCATION.** Good.

Comments: La localización de la falla está basada en el mapa geológico a escala 1:250 000 de un Colectivo de autores (1988), a partir del mapa geológico de Pinar del Río de Piotrowska *et al* (inédito) y en el mapa geomorfológico de Díaz (1986), sobre una base topográfica 1:100 000.

**GEOLOGIC SETTING** Falla normal, de ángulo alto a lo largo de toda su traza, con posible componente horizontal. Buza hacia el ESE entre Playa de Galafre y las inmediaciones de la ciudad de Pinar del Río y hacia el SE en el resto de la traza. Constituye el flanco sur de la Cordillera de Guaniguanico. Un desplazamiento máximo de 10 m debe haber ocurrido a partir del Cuaternario tardío.

**SENSE OF MOVEMENT.** N.

**Comments:** Se discute su probable desplazamiento horizontal siniestro en el Cuaternario, como herencia de los movimientos ocurridos en el Mesozoico tardío. Algunos autores, al referirse a esta falla, solo nombran su desplazamiento sinistral en la parte alta del Eoceno medio.

**DIP.** 70° S.

**Comments:** Brigada cubano-polaca de geología (trabajos de campo).

**DIP DIRECTION** SE.

**GEOMORPHIC EXPRESSION** El rasgo más notable de su expresión superficial es la escarpa tectónica transregional erosionada, que se presenta en forma de facetas triangulares y trapezoidales. Entre las corrientes del Arroyo Grande y el Río Pedernales, la escarpa es de retiro. En la pared de la Sierra del Rosario la escarpa posee alturas entre 200 y 450 m, en la Sierra de los Organos solo alcanza entre 60 y 250 m y hacia el SW, en la llanura alta, posee alturas menores de 60 m. Las corrientes de curso corto forman pequeñas cascadas de 2 a 3 m de altura al cortar la falla Pinar. Otra expresión superficial es el cortamiento de conos deluviales, originando el elevamiento de sus sedimentos entre 5 y 10 m.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** La falla separa dos zonas estructuro-faciales y tectónicas diferentes desde el Jurásico y Cretácico. Fundamentalmente separa rocas de esas edades de rocas del Paleógeno, Neógeno y Cuaternario (Colectivo de autores, 1988). Ahora bien, la falla corta sedimentos del Cuaternario temprano (Kartashov *et al.*, 1981) y deluvios más jóvenes sin datación absoluta.

**DETAILED STUDIES**

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT** (4) middle and late quaternary (< 750 ka)

**Comments** De acuerdo con la edad de las rocas datadas que corta (Formación Guane Cuaternario inferior), sólo se puede atestiguar Cuaternario medio. Según la posición de los sedimentos deluviales de los conos, la edad del último paleoevento puede ser Cuaternario tardío-Holoceno (130 ka) pero no hay datación absoluta de estos sedimentos. La falla tiene

expresión en la curva de las velocidades de los movimientos tectónicos recientes mediante gradientes que oscilan entre 0.02 y 0.2 mm/año/km. También la falla es sismoactiva en su sector Pinar del Río-Cayajabos y principalmente en la zona de San Cristóbal, donde han ocurrido terremotos de hasta Intensidad 8 (escala MSK, 1964).

**RECURRENCE INTERVAL.** ND

Comments: No existen publicaciones al respecto para el Cuaternario, ni otros datos que permitan evaluar la existencia de varios eventos paleohistóricos.

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente < 1 mm/yr.

Comments: No hay datos publicados acerca del slip rate, pero de cualquier forma la edad de los sedimentos cortados y los valores de la escarpa que origina el cortamiento permiten calcular un valor pequeño (0.02).

**LENGTH.** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE.** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS.** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

**Referencias y bibliografía consultada**

- Colectivo de autores (1988). Mapa geológico de la República de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, 40 hojas, escala 1:250 000.
- Díaz, J. L. (1986). Morfoestructura de Cuba Occidental y su geodinámica reciente. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, tesis no publicada de Ph. D., 237 pp.
- Kartashov, I. P., A. G. Sherniajovskiy y L. L. Peñalver (1981). *El antropogeno de Cuba*. Ed. Nauka, Moscú, 144 pp.
- Núñez, A. (1970). "Regiones naturales", en Núñez, A. (ed.), Atlas Nacional de Cuba, Dirección General de Geodesia y Cartografía de la URSS, Moscú, p. 63.
- Orbera, L. (1989). Neotectónica, 1:2 000 000, en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Sección Constitución Geológica, cuadernillo III.2.4, mapa 8.
- Pérez, C. M. (1989). Alineamientos, 1:2 000 000, en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Sección Constitución Geológica, cuadernillo III.3.1, mapa 11.

Piotrowska, K. (1978). "Nappe structures in the Sierra de los Organos". Western Cuba, *Acta Geológica Polónica*, v. 28, núm. 1, pp. 97-170.

Wassall, H. (1956). Petróleo y serpentinitas, *Resúmenes*, XX Congreso de Geología, México, Sección 3, p. 67.

Cartografía de la falla.

En la leyenda:

01, Falla normal Pinar, Cuaternario superior y medio (4), < 1 mm/yr (C), solid line.

## COMPILATION FORM FOR SECTIONED FAULTS ANEXO 2 STRUCTURE ATTRIBUTES

**STRUCTURE NUMBER.** 02

Comments: Referida como falla No. 5 en el Mapa de alineamientos a escala 1:2 000 000 de Pérez (1989).

**STRUCTURE NAME.** Falla Cochinos-Cárdenas

Comments: Esta falla fue nombrada a partir de la denominación de la Cuenca Cochinos por Judoley (1964) y recomendada por Portela (1989), como Falla Cochinos-Cárdenas. Se dispone submeridionalmente desde las inmediaciones del poblado de Salé (Norte) hasta el extremo sur de la depresión submarina de la Bahía de Cochinos, al norte de Cayo Piedras (Sur).

**SYNOPSIS.** La Falla Cochinos ha sido reconocida por métodos geofísicos y geomorfológicos. No posee estudios de trinchera. Es una faja de fallas transversal que posee una zona principal de fallamiento.

**DATE OF COMPILATION.** 06/15/95.

**COMPILER AND AFFILIATION.** Jorge Luis Diaz Diaz y Antonio R. Magaz Garcia, Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

**STATE.** Matanzas.

**COUNTY.** Ciénega de Zapata, Cárdenas, Jovellanos, Pedro Betancourt, Jagüey Grande.

**1° x 2° SHEET.** Playa Girón 3982, Jagüey Grande 3983, Jovellanos 3984, Cárdenas 3985.

**PROVINCE.** En su sector norte, la zona de fallas Cochinos-Cárdenas separa las subregiones de Alturas de Bejucal-Madruga-Coliseo y la Llanura Occidental; en sus porciones central y meridional, corta a esta última llanura.

**GEOLOGIC SETTING.** La Falla Cochinos-Cárdenas coincide con el límite oeste de una estrecha depresión de gabren que funcionó como tal hasta el Mioceno medio cuando la falla mantuvo un sentido de movimiento inverso, elevándose su labio occidental (Bovenko *et al.*, 1979, Judoley, 1964). Durante el Plioceno-Cuaternario, en su sector de llanura, ocurrió el cambio en la tendencia de movimiento relativo entre sus bloques, elevándose el oriental según un plano de falla normal. Este desarrollo estructural moderno ha creado su seccionamiento que se refleja claramente en la escultura del relieve (Portela, *ob. cit.*). El desplazamiento o salto máximo en esta etapa alcanzó 60-120 m en su sección de Coliseo, según un plano subvertical con ligera inclinación al este. En el tercio intermedio y sur de la traza (llanura) los desplazamientos no deben exceder los 12-15 m según un plano normal con inclinación de 85° al Oeste.

**NUMBER OF SECTIONS.** 2

Comments: Hasta la fecha de esta compilación no han sido cartografiadas ni nombradas las secciones. El modelo de seccionamiento propuesto es responsabilidad de los compiladores y ha sido elaborado sobre la base de la información geofísica y geomorfológica utilizada y elaborada respectivamente por Portela (*ob. cit.*)

**LENGTH** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE.** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS.** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

### SECTION ATTRIBUTES

**SECTION NUMBER.** 02a

**SECTION NAME.** Coliseo

Comments: Se extiende desde las inmediaciones del poblado de Salé (Norte) hasta las inmediaciones del poblado de Roque (Sur).

**RELIABILITY OF LOCATION.** Good.

Comments: La fuente temática utilizada para el trazado de la zona de fallas fue el mapa geomorfológico a escala 1:250 000 de Portela (1989), que aparece generalizado a escala 1:1 000 000 en 1988 por un Colectivo de autores (Portela *et al.*, 1989). El levantamiento original de las escarpas y las líneas o trazas de falla fue realizado mediante interpretación

geomorfológica de las fotografías aéreas a escalas 1:37 500 (del proyecto de vuelo 1972) y 1:62 500 (proyecto de vuelo 1956) y transferido por inspección al mapa topográfico 1:100 000 del ICGC, edición 1972.

#### **SENSE OF MOVEMENT. N**

Comments: Según los perfiles morfoestructurales de Portela (*ob. cit.*).

#### **DIP.**

Comments:

#### **DIP DIRECTION. E**

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** La Sección Coliseo de la falla Cochinos-Cárdenas se expresa en el relieve por la presencia de un escalón tectónico representado por escarpas tectónico-denudativas (de retiro) y tectónico-denudadas, discontinuas almeadas (con alturas entre 60-120 y pendientes entre 15-30°), que determinan la separación entre las Alturas de Coliseo y la llanura de Colón. En la llanura existen fracturas paralelas a la escarpa (en una faja de 4 a 8 km de ancho) que condicionan la dirección de segmentos de drenaje de los ríos El Hatico, Bermejo, Cimarrones, Burenes, Biajaca y San José. La discontinuidad de la escarpa se produce en las fallas transverso-diagonales donde existen abras erosivas.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** La mayor parte de la zona de fallas corta y desplaza verticalmente a las rocas de la Formación Güines del Mioceno inferior y medio. En la loma Esmeralda, la altura de la escarpa del relieve (80 m) coincide con la magnitud de desplazamiento del piso de la Formación Güines. Además corta a pequeños afloramientos de las Formaciones Nazareno ( $P_2^{2-3}$ ), Peñón ( $P_2^2$ ) y Chirino ( $K_{1-2}$  al-em) y las rocas de la asociación ofiolítica mesozoica (Colectivo de autores, 1988).

#### **DETAILED STUDIES**

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** (5) Cuaternario ( $< 1.6$  Ma)

Comments: La zona de fallas limita una superficie marina abrasiva del Pleistoceno inferior de denudativas de igual edad (Portela, *et al.*, *ob. cit.*). En esta sección no existen nudos ni fajas sísmoactivas y no se tiene información sobre la tectónica reciente lenta

#### **RECURRENCE INTERVAL. ND**

Comments:

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (C) < 1 mm/año

Comments: Valorado sobre la base del desplazamiento máximo expresado en el escalón del relieve (120 m) que separa superficies de diferente génesis durante el Pleistoceno temprano.

**LENGTH** (km)

**AVERAGE STRIKE** (Azimuth).

**ENDPOINTS** (Lat-Long)

**SECTION NUMBER.** 02b

**SECTION NAME.** Torriente.

Comments: Se extiende desde el poblado de Roque (Norte) hasta el extremo sur de la depresión submarina de la Bahía de Cochinos (Sur).

**RELIABILITY OF LOCATION.** Good.

Comments: La fuente temática utilizada para el trazado de la zona de fallas fue el mapa geomorfológico a escala 1:250 000 de Portela *et al.* (1989), que aparece generalizado a escala 1:1 000 000 en 1989 por los mismos autores. El levantamiento original de las escarpas y las líneas o trazas de falla, fue realizado mediante interpretación geomorfológica de las fotografías aéreas a escalas 1:37 500 (del proyecto de vuelo 1972) y 1:62 500 (del proyecto de vuelo 1956) y transferido por inspección al mapa topográfico 1:100 000 del ICGC, edición 1972.

**SENSE OF MOVEMENT.** N

Comments: Según los perfiles de interpretación geofísica de la Brigada Tierra (Bovenko *et al.*, 1979, citado por Portela, *ob. cit.*).

**DIP.** 85° W

Comments: Obtenido de los perfiles anteriormente citados. Corta calizas duras del Mioceno inferior y medio en un punto situado a 3 km al sur del poblado Pedro Betancourt.

**DIP DIRECTION.** W

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** La sección Torriente de la falla Cochinos-Cárdenas se expresa en el relieve por fracturas y alineamientos paralelos en una faja entre 4 y 8 km de ancho. Estas fracturas determinan el patrón de distribución espacial de las depresiones cársicas (valles ciegos, sumideros y dolinas lacustres) y los valles epigeos. En el fondo marino se expresa mediante una escarpa de 250 m de desnivel máximo, que corresponde al

borde occidental de una estrecha depresión de graben moderna, y en el borde oriental por el alineamiento de polisurgencias cársicas submarinas. El aspecto más significativo de la expresión morfológica de esta sección de falla es la configuración de las terrazas marinas holocénicas y pleistocénicas superiores, las que sufren inflexiones y cambios del ancho de sus plataformas en el área de sus intersecciones con la zona de fracturas.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** La falla corta depósitos del Holoceno y del Pleistoceno superior en su mitad sur. Al norte corta depósitos del Mioceno inferior y medio (Colectivo de autores, *ob. cit.*).

#### **DETAILED STUDIES.**

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** Holoceno y postglacial (< 15 ka).

Comments: La zona de fallas de la sección fue activa durante el Holoceno como lo demuestran las características morfométricas de las terrazas de esa edad (Portela, *ob. cit.*). En la etapa actual existe débil sismicidad con terremotos de hasta M-5 (Chuy, 1989) vinculados a los principales nudos morfotectónicos formados por la falla y otras direcciones de fractura. El campo de los movimientos tectónicos recientes se muestra con gradientes entre 0.1 - 3.0 mm/año/km.

#### **RECURRENCE INTERVAL.** ND

Comments:

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (C) < 1 mm/año.

Comments: La intensidad de deslizamiento de 0.8-1.0 mm/año se basa en el desnivel topográfico de 12-15 m entre los bloques delimitados por la zona de fallamiento principal y el tiempo del desplazamiento (15 000 años) según la edad holocena de las terrazas deformadas.

**LENGTH.** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

#### **Referencias y bibliografía consultada**

Bovenko, V. T., V. E. Cherybakova y G. Hernández (1979). "Estructura geológica profunda de la parte occidental de la Isla de Cuba", en *Tectónica y Geodinámica de la Región del Caribe*, Moscú, Ed. Nauka, pp. 130-142.

Chuy, T. J. (1989), Epicentros de terremotos por datos macrosísmicos 1551-1983, 1:2 000 000, en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Características Geofísicas, cuadernillo II.3.2, mapa 33.

Colectivo de autores (1988), Mapa geológico de la República de Cuba, Instituto de Geología y Palaeontología, Academia de Ciencias de Cuba, 40 hojas, 1:250 000.

Judoley, M. C. (1964), Geología de Cuba, Consejo Nacional de Universidades, La Habana, 239 p.

Pérez, C. M. (1989), Alineamientos, 1:2 000 000, en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Constitución Geológica, cuadernillo III.3.1, mapa 11.

Portela, A. H. (1989), Morfoestructura insular y morfoescultura tropical de Cuba (según investigaciones con el empleo de métodos de teledetección), Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, tesis no editada de Ph. D., 191 p.

Portela, A. H., J. L. Díaz, J. R. Hernández, A. R. Magaz y P. Blanco (1989), Geomorfología, 1:1 000 000, en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Relieve, cuadernillo IV.3.2-3, mapa 11.

Cartografía de la falla.

En la leyenda:

02. Falla normal Cochinos-Cárdenas

02a, Sección Coliseo, Cuaternario(5), < 1mm/año (C), solid line.

02 b, Sección Torriente, Holoceno y postglacial (2), < 1mm/año (C), solid and dashed lines.

### COMPILATION FORM FOR SECTIONED ANEXO 3 FAULTS

#### STRUCTURE NUMBER. 07

Comments: Referida como falla No. 16 en el Mapa de alineamientos a escala 1:2 000 000 de Pérez (1989).

**STRUCTURE NAME.** Unnamed fault. Constituye el sector suroriental del alineamiento Manatí-San Germán-Baconao (Nagy, 1983), una de las principales fracturas profundas del territorio oriental cubano y límite de las zonas estructuro-faciales precubanas (pre Eoceno medio superior), la cual ha sido activa en las fases subherciniana, larámica y cubana, con evidencias geomorfológicas, geofísicas y geodinámicas de funcionamiento actual.

Esta falla se extiende longitudinalmente por la región nororiental del macizo montañoso de la Gran Piedra, limitando por el sur las sierras Larga y de Santa María de Loreto. Su traza se prolonga 45 km con un rumbo SE-NW desde Playa Borrachos, en la costa sur, hasta el poblado de San Germán. Otros autores opinan que ella continúa hasta el poblado de Manatí en la costa norte (Nagy, *ob. cit.*).

**SYNOPSIS:** La falla está bien estudiada hasta el Paleógeno, no así durante el Cuaternario, aunque en el plano morfoestructuro-geodinámico existen valiosas referencias (Hernández, 1987).

**DATE OF COMPILATION:** 10/31/95

**COMPILER AND AFFILIATION:** José Ramón Hernández Santana, Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

**STATE:** Santiago de Cuba y Holguín.

**COUNTY:** Santiago de Cuba, Songo-La Maya, San Luis y Mella en la provincia Santiago de Cuba, y Urbano Noris, en la de Holguín.

**1° x 2° SHEET:** Punta Morrillo Chico 5175, Loma Santa María 5176, Gran Piedra 5076, Julio Antonio Mella 5077.

**PROVINCE:** En su tramo meridional la falla separa las regiones de Alturas y Montañas de Santa María de Loreto y las montañas de la Sierra de la Gran Piedra, y en su tramo septentrional corta la región Llanura de Palma-San Luis.

**GEOLOGIC SETTING:** Falla normal, de ángulo alto a lo largo de toda su traza. Generalmente buza hacia el NE. Bordea el flanco meridional de las sierras Larga y Santa María de Loreto, anillo montañoso exterior del macizo de la Gran Piedra. En su Sección a Playa Borrachos-El Cristo, la falla determinó tectónicamente el valle por donde fluye el río que le da el nombre inicial (Baconao). A lo largo de este valle ha formado largas, continuas y abruptas escarpas tectónicas denudadas fundamentalmente por procesos sismogravitacionales, que son interrumpidas por fracturas transverso-digonales de dirección SW-NE.

Esta falla constituye el modelo de fallas derivadas del desplazamiento lateral izquierdo de la sutura interplacas América del Norte-Caribe, desarrolladas durante la etapa neotectónica temprana.

“El eje estructuro-dinámico del macizo montañoso de la Gran Piedra lo constituye la falla profunda Baconao-El Cristo. Los movimientos neotectónicos formaron el valle-graben longitudinal axial a lo largo de los ríos Baconao e Indio y el golfo-graben donde actualmente se encuentra la laguna Baconao. La periferia septentrional del macizo está ocupada por una morfoestructura invertida, controlada por la falla Baconao, y elevada durante los ascensos neotectónicos de la parte marginal de las cuencas Central y Guantánamo. Por ejemplo, en el Eoceno superior, la región de Santa María de Loreto era una depresión, en la cual se acumularon los conglomerados de la Formación Camarones del Eoceno medio-superior (descrita por Lewis y Straczek en 1955) y que actualmente es una meseta horst-monoclinal de 600-620 m de altitud” (Hernández, 1987 y 1989). Hacia el NW, en la Sección b El Cristo-San Germán, la falla y su sistema de plumaje controla los cauces de los ríos Guaninicúm y Cauto y forma la escarpa tectónica meridional de la altura Júcaro-Choricera (143 m de altitud), situada a 5 km al sur del poblado de San Germán.

**NUMBER OF SECTIONS.** 2

Comments: El modelo de seccionamiento propuesto se fundamenta en las expresiones diferenciadas del relieve, tanto morfológicas como morfométricas y en los rasgos de su diseño en condiciones montañosas y llanas.

**LENGTH** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

**SECTION ATTRIBUTES**

**SECTION NUMBER.** 07a.

**SECTION NAME.** El Cristo-San Germán.

Comments: A lo largo de esta sección la falla controla la formación del valle de los ríos Guaninicúm y Cauto, y diseña la distribución de sus meandros encajados en la llanura fluvio-marina del río Cauto, desarrollada sobre la depresión graben-sinclinal del Cauto.

**RELIABILITY OF LOCATION.** Good.

Comments: La localización de la traza se fundamenta en el mapa geológico de Cuba a escala 1:250 000 (1988) y del mapa geomorfológico de la zona de sutura interplacas (Hernández, 1987; Hernández *et al.*, 1991). Los levantamientos originados fueron realizados mediante métodos geólogo - geomorfológicos tradicionales (de gabinete y campo), con materiales

aéreos pancromáticos a escalas 1:62 500 y 1:37 000 y mapas topográficos 1:50 000 y 1:100 000.

#### **SENSE OF MOVEMENT. N**

Comments: Nagy (1983) considera que el contacto entre las zonas estructuro-faciales precubanas Auras y Tunas es una falla profunda de tipo transversal, que se continúa desde Manatí, pasando por San Germán, hasta el pie nororiental de la Sierra de Baconao (posiblemente sea Sierra Larga).

#### **DIP.**

Comments

#### **DIP DIRECTION. NE**

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** La alineación del relieve fluvial en las llanuras denudativas de Dos Caminos-Alto Songo, Auza-La Carolina y Cauto Oriental, tanto del diseño de la red fluvial como de sus espectros de terrazas y cauces, refleja el control tectónico de esta Sección. En su tramo NW, 5 km al sur del poblado de San Germán, la sección de falla limita las elevaciones neotectónicas de Júcaro-Choricera y origina una configuración de falla de tijera, donde se aprecian los sectores elevados opuestos de la altura Júcaro-Choricera y la llanura colinosa alta de Buenaventura-Remanganaguas (6 km al NE del poblado de Contramaestre), contra los deprimidos ocupados por el valle del río Cauto.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** Esta sección de la falla corta las formaciones mioceno-cuaternarias de la cuenca media del río Cauto y por su carácter profundo debe cortar el basamento cretácico de la zona estructuro facial de las sierras de Nipe-Cristal-Baracoa, constituido por la serie vulcanógena de la Formación Bucuey (descrita por Coutin *et al.*, 1976).

#### **DETAILED STUDIES**

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** (5) Cuaternario (< 1.6 Ma).

Comments: De acuerdo con el mapa de los movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre de Cuba Nororiental (Lilienberg *et al.*, 1992) esta sección de la falla se comporta como una interfase de zonas geodinámicas contrastantes. Cauto Central (-6.0 mm/año) y Nipe-Cristal-Baracoa (+2.0 a 6.0 mm/año)

#### **RECURRENCE INTERVAL. ND**

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (C) < 1 mm/año.

**LENGTH** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

**SECTION NUMBER.** 07b

**SECTION NAME.** Baconao-El Cristo.

Comments: Formó el valle tectónico del río Baconao y las escarpas tectónicas meridionales de las montañas horst-monoclinales de Sierra Larga y Santa María de Loreto, desde Playa Borrachos en la costa suroriental de Cuba hasta el poblado El Cristo.

**RELIABILITY OF LOCATION.** Good.

Comments: La localización de la traza se basa en el mapa geológico de Cuba a escala 1:250 000 (1988), a partir del mapa de alineamientos del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (Pérez, 1989) y del mapa geomorfológico de la zona de sutura interplacas (Hernández, 1987; Hernández *et al.*, 1991). Los levantamientos originales fueron realizados mediante métodos geólogo-geomorfológicos tradicionales (de gabinete y campo), los materiales aéreos pancromáticos a escalas 1:62 500 y 1:37 500 y los mapas topográficos 1:50 000 y 1:100 000.

**SENSE OF MOVEMENT.** N

Comments: Observado en el perfil geólogo-geomorfológico complejo (Hernández, 1987, 1989).

**DIP.**

Comments.

**DIP DIRECTION.** NE

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** Esta sección de falla se expresa en el relieve por una serie de escarpas abruptas de tipo tectónico-denudativas, con alturas entre 300 y 500 m, por la estructura de un valle-graben y el diseño rectilíneo del río Baconao en algunos sectores. En la formación del valle del río Baconao esta falla y su sistema secundario jugaron un gran rol, creando una serie de graben paralelos escalonados.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** La falla corta y desplaza a los sedimentos fluviales cuaternarios y deforma las terrazas pleistocénicas correspondientes. Constituye el límite de la cuenca marina del Eoceno medio-superior, tipificada en la Formación Camarones y separa

"las zonas estructuro-faciales precubanas (pre-Eoceno superior) Auras y Tunas y entre Caimán y sierras de Nipe-Cristal-Baracoa" (Nagy, *ob. cit.*).

## DETAILED STUDIES.

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT** (3) Cuaternario tardío (~130 ka)

Comments: En el valle graben del río Baconao, en la zona de San Juan, como resultado de la reconstrucción tectónica del Pleistoceno tardío, producto del desplazamiento de diferentes bloques, se desarrolló un fenómeno único en Cuba – un espectro de meandros colgados a la altura de 60-80 m sobre el corte actual del cauce (Hernández, 1987, Hernández *et al.*, 1989). Estas deformaciones tectónicas sobre morfoelementos fluviales relativamente jóvenes evidencian la actividad cuaternaria tardía del fallamiento.

El mapa de los movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre (Hernández *et al.*, 1989) refleja un gradiente de las velocidades de los movimientos superior a 1 mm/año/km, constituyendo la falla Baconao el límite contrastante entre los ascensos recientes del núcleo central del macizo de la Gran Piedra (+1.0 a +2.0 mm/año) y de los descensos relativos de la Depresión graben-sinclinal central, al Norte (-1.0 a -4.0 mm/año).

Desde el punto de vista sismoestadístico, Alvarez (1993) presentó la actividad actual a lo largo de la falla Baconao, con ocurrencia de eventos sísmicos superficiales (26 a 35 km) en la tierra emergida y profundos (~50 km) en su prolongación submarina por la fosa de Bartlett y en su intersección con el sistema interplacas transregional América del Norte-Caribe, reflejando intensidades con clases energéticas de 11 y 12.

En las escarpas tectónicas de Sierra Larga se aprecian sismodislocaciones cuaternarias de gran extensión

**RECURRENCE INTERVAL**. ND

**SLIP RATE**. Desconocido, probablemente (C) ~1mm/año.

Comments: Valorado sobre la base del diapason de las deformaciones tectónicas de la faja meándrica colgada del valle del río Baconao durante el Pleistoceno tardío.

**LENGTH** (km). Determinado mediante datos de SIG

**AVERAGE STRIKE** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

### Referencias y bibliografía consultada

- Alvarez, J. L. (1993), "Movimientos sísmicos", en Cepero, F. J. (ed.), *Movimientos tectónicos recientes de Cuba*, Ed. Academia, La Habana, t. 1, pp. 309-327.
- Colectivo de autores (1988), Mapa geológico de la República de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, Ed. Academia, La Habana, 40 hojas, escala 1:250 000.
- Coutin, D. P. y E. Nagy (1976), "Manifestaciones de piedras semipreciosas en el sur de Oriente", *Serie Geológica*, núm. 25, pp. 3-7.
- Hernández, J. R. (1987), Geomorfología estructural y geodinámica reciente del relieve de Cuba Suroriental en la zona de interacción de la Microplaca Cubana y la fosa profunda de Bartlett, Instituto de Geografía, Moscú, tesis no publicada de Ph. D., 264 p.
- Hernández, J. R. (1989), *Geomorfología estructural del sistema montañoso de la Sierra Maestra y de las depresiones graben adyacentes*, Ed. Academia, La Habana, 45 p.
- Hernández, J. R., J. L. Díaz, O. Bouza y R. González (1989), Influencia de las particularidades morfoestructurales de Cuba Suroriental en la formación de los valles y terrazas fluviales, Reporte de investigación del Instituto de Geografía, núm. 2, 20 p.
- Hernández, J. R., D. A. Lilienberg y M. E. Marques (1989), Movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre, en Oliva, G. (ed.), *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Relieve, cuadernillo IV.2.1, mapas 4a-4d.
- Hernández, J. R., J. L. Díaz, A. R. Magaz y D. A. Lilienberg (1991), "Evidencias morfoestructuro-geodinámicas del desplazamiento lateral siniestro de la zona de sutura interplacas de Bartlett", en Moreno, H. J. (ed.), *Morfotectónica de Cuba Oriental*, Ed. Academia, La Habana, pp. 5-9.
- Lewis, G. E. y J. A. Straczek (1955), "Geology of south central Oriente, Cuba", *U. S. Geological Survey Bull.*, núm. 975 D, pp. 171-336.
- Lilienberg, D. A. y M. E. Marques (1992), Nuevos datos sobre los movimientos tectónicos recientes de Cuba Nororiental, Informes de la Academia de Ciencias de la URSS, t. 324, núm. 6, pp. 1255-1259.
- Pérez, C. M. (1989), Alineamientos, en Oliva, G. (ed.), *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Constitución Geológica, cuadernillo III.3.1, mapa 11.

**Cartografía de la falla.****En la leyenda:****07** Falla profunda, normal, Baconao-San Germán.

07a Sección El Cristo-San Germán, Quaternary (5), &lt; 1 mm/año, (C), dashed line.

07 b Sección Baconao-El Cristo, late Quaternary (3), &lt; 1 mm/año, (C), solid line.

**COMPILATION FORM FOR SIMPLE FAULTS ANEXO 4****STRUCTURE NUMBER.** 08**Comments:** Referida como Falla No 2. en Díaz *et al.* (1991)**STRUCTURE NAME.** FALLA DOS HERMANAS.**Comments:** El nombre se deriva del antiguo poblado Dos Hermanas, ubicado hacia el centro de la traza de la falla. En las cartas topográficas actuales esta localidad aparece con el nombre de Patana Arriba. En sus estudios geomorfológicos, Díaz *et al.* (*ob cit.*), utilizaron el nombre de esta falla para designar al sistema de fracturas al que ella pertenece como elemento principal. Se dispone sublatitudinalmente, desde el curso superior del río Ovando (en un punto situado a 1 km al oeste del poblado Ovando del Medio), hasta su extremo oriental, ubicado a 3.5 km al estenoreste del poblado Patana Abajo.**SYNOPSIS.** La falla ha sido estudiada desde posiciones geomorfológicas.**DATE OF COMPILATION.** 03/08/95.**COMPILER AND AFFILIATION.** Antonio R. Magaz Garcia y José Ramón Hernández Santana, Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.**STATE.** Guantánamo.**COUNTY.** Maisí.**1° x 2° SHEET.** Maisí 5376.**PROVINCE.** Región Oriental, Subregión Grupo orográfico Sagua-Baracoa, Zona Meseta de Maisí.

**RELIABILITY OF LOCATION.** Good.

Comments: El levantamiento original de la escarpa y la línea de falla fue realizado mediante interpretación geomorfológica y geológica de las fotografías aéreas a escala 1:37 500 del ICGC, y transferido por inspección al mapa topográfico 1:50 000 del mismo organismo. La fuente temática utilizada para el trazado de la falla fue el mapa de complejos de formas del relieve (sectores IV y V) de Magaz *et al.* (1991).

**GEOLOGIC SETTING** Falla normal con inclinación al sursureste, cuya escarpa disminuye gradualmente en altura hacia el oriente desde 60 m hasta menos de 5 m (falla rotacional según el buzamiento). Los datos geomorfológicos indican que el desplazamiento principal ocurrió en la parte baja del Pleistoceno superior (Díaz *et al.*, *ob. cit.*).

**SENSE OF MOVEMENT.** N

Comments: Díaz *et al.*, (*ob. cit.*).

**DIP.** 25° - 30° SSE. Valorado a partir de la inclinación de las escarpas en calizas duras y mármoles en los alrededores del poblado Patana Arriba (antiguo poblado Dos Hermanas).

**DIP DIRECTION.** SE

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** La falla Dos Hermanas se manifiesta en el relieve por su escarpa, que desplaza verticalmente a 12 terrazas abrasivo-marinas Plio-pleistocenas hasta un máximo de 60 m. Desde el punto de vista morfológico y morfométrico, el perfil de estas terrazas es idéntico en los bloques yacente y colgante de la falla. En planta, las terrazas intermedias no presentan cambios morfológicos en los puntos de intersección con la falla, que es posterior a la formación de aquéllas. Solo en las terrazas XIV y IV hay cambios del ancho de sus plataformas a ambos lados de la falla, lo cual se relaciona con la movilidad de la fractura durante la formación de las mismas.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** Un 13.4% de la falla corta las calizas coralinas pliocenas de la Formación Maya; 44.6% a calizas, margas y conglomerados del Mioceno superior de la Formación Cabo Cruz y 42% a calcarenitas y mármoles del Jurásico superior Oxfordiano-Thitoniano y a calcilutitas, areniscas, esquitos y tobas metamorfizadas del Jurásico superior-Cretácico inferior, respectivamente, de las formaciones Chafarina y Sierra Verde (Nagy, inédito; Jakus, 1983; Gyarmati, 1983). En el mapa geológico inédito de Nagy, la falla no corta el Plioceno pero la inspección geomorfológica confirma el cortamiento mediante la deformación de las terrazas marinas pleistocenas (Díaz *et al.*, *ob. cit.*).

**DETAILED STUDIES.** No posee estudios de trinchera. Se realizaron nivelaciones taquimétricas de 4<sup>o</sup> orden por ambos bloques de la falla, transversales a las terrazas marinas desplazadas (Díaz *et al.*, *ob. cit.*)

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** (3) Cuaternario tardío (< 130 ka).

Comments De acuerdo con el criterio hipsométrico de datación del relieve (Lilienberg, 1973), y con las relaciones morfológicas entre las terrazas y la falla, el paleoevento más reciente debe haber ocurrido en los inicios del Pleistoceno superior, que es la edad probable de la terraza más joven transformada morfológicamente por la falla durante su formación (terrazza IV). El evento no se extendió al Holoceno debido a la inexistencia de deformaciones cortantes en las terrazas de esta edad (terrazas I, II y III). Con la falla se asocian terremotos de Intensidad IV (MSK, 1964) según Chuy (1989). No existen datos sobre la tectónica reciente lenta.

**RECURRENCE INTERVAL.** 4,68 Ma (< 4.8 Ma)

Comments: Corresponde al tiempo que media entre los dos paleoeventos únicos de movimiento: 1ro. Plioceno inferior (4 800 000 años) y 2do. Pleistoceno superior, parte baja (120 000 años). La edad de estos eventos está estimada mediante fechado geomorfológico relativo, sobre la base de las edades de las terrazas transformadas por la falla durante su elaboración (terrazas XIV y IV). La terraza XIV corta sedimentos del Mioceno superior y es, sin duda, del Plioceno antiguo; la terraza IV fue elaborada por abrasión durante el interglacial Sangamon.

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (B) 5-1 mm/año.

Comments: La intensidad del movimiento (4 mm/año) se ha estimado sobre la base del desplazamiento máximo (60 m) entre las superficies dislocadas de igual edad, y del intervalo de tiempo de duración del último paleoevento, que ha sido determinado por el período de elaboración de la terraza más joven transformada por la falla (15 000 años). La edad de esta terraza abrasiva (terrazza IV) está relacionada con sus depósitos correlativos de la Formación Jaimanitas (105 000-120 000 años) fechada por métodos paleomagnéticos (Pérez, 1986). Los compiladores estiman que este valor se explica por el vínculo de esta falla con el sistema de plumaje perteneciente a la zona de transformación principal de Bartlett (Hernández *et al.*, 1991).

**LENGTH (km)** Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE (Azimuth).** Determinado mediante datos de SIG

**ENDPOINTS (Lat-Long).** Determinado mediante datos de SIG.

## Referencias y bibliografía consultada

- Chuy, T. J. (1989). Epicentros de terremotos por datos macrosísmicos 1551-1983, en Oliva, G. (ed.) Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto Geográfico Nacional de España. Sección Características Geofísicas, cuadernillo II.3.2, mapa 33.
- Díaz, J. L., A. R. Magaz, J. R. Hernández, A. Venerco y F. Pérez (1991), Reconstrucción tectónica local mediante el análisis de la morfoescultura marina en la franja costera Río Seco-Punta Maisí provincia de Guantánamo, Cuba, en Moreno, H. J. (ed.), *Morfotectónica de Cuba Oriental*, Ed. Academia, La Habana, pp. 19-23.
- Gyarmati, P. (1983), "Las formaciones metamórficas de Cuba Oriental", en Albear, J. F. (ed.) *Contribución a la geología de Cuba Oriental*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, pp. 90-98.
- Hernández, J. R., J. L. Díaz, A. R. Magaz y D. A. Lilienberg (1991), "Evidencias morfoestructuro-geodinámicas del desplazamiento lateral siniestro de la zona de sutura interplacas de Bartlett", en Moreno, H. J. (ed.), *Morfotectónica de Cuba Oriental*, Ed. Academia, La Habana, pp. 5-9.
- Jakuz, P. (1983), "Formaciones vulcanógeno-sedimentarias y sedimentarias de Cuba Oriental", en Albear, J. F. (ed.), *Contribución a la geología de Cuba Oriental*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, pp. 32-45.
- Magaz, A. R., J. R. Hernández, J. L. Díaz, A. Venerco, F. Pérez, P. Blanco, M. Fundora y C. Cruz (1991), "El complejo de formas del relieve gravitacional en la franja costera Baitiquiri-Punta Maisí, provincia de Guantánamo", en Moreno, H. J. (ed.), *Morfotectónica de Cuba Oriental*, Ed. Academia, La Habana, pp. 28-43.
- Nagy, E. (inédito). Mapa geológico de la provincia de Oriente. Archivo Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, 18 hojas, escala 1:100 000.
- Pérez, J. (1986), Escala magnética condicional para los depósitos del intervalo Plioceno-Cuaternario de Cuba, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, resumen no publicado de la tesis de Ph. D., La Habana, 22 pp.

Para mostrar la falla en el mapa.

Leyenda:

08, Falla normal Dos Hermanas, Cuaternario tardío (3), 5-1 mm/año (B), solid line.

## COMPILATION FORM FOR SECTIONED FAULTS ANEXO 5

**STRUCTURE NUMBER.** 03

Comments: No tiene numeración asignada en otros estudios.

**STRUCTURE NAME.** Unnamed fault ( $\approx$  la traza de la falla Las Villas).

Comments: Kanchev *et al.* (1975), Portela *et al.* (1989), Díaz *et al.* (1989) y Portela (1989), cartografiaron esta neofalla subvertical que no debe confundirse con la falla Las Villas (Judoley, 1964), también llamada Camajuani (Iturralde *et al.*, 1981) que funcionó como sobrecorrimiento durante el Eoceno medio tardío. Las trazas de ambas fracturas son cercanas y en partes coincidentes, y la primera desplaza a esta última. Esta falla delimita el borde meridional de las Alturas del Norte de Las Villas y se extiende por espacio de 230 km desde el extremo Suroeste de la Sierra de Bibanasi hasta el extremo sureste de la Sierra de Jatibonico

**SYNOPSIS.** No ha sido reconocida mediante estudios de trinchera. Su modelo de seccionamiento fue cartografiado sin nombrar sus elementos (Portela, *ob cit.*)

**DATE OF COMPILATION.** 05/10/95.

**COMPILER AND AFFILIATION.** Antonio R. Magaz García, Instituto de Geografía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

**STATE.** Villa Clara, Matanzas, Sancti Spiritus

**COUNTY.** Corralillo, Sagua la Grande, Remedios, Camajuani, Yaguajay, Martí, Quemado de Güines, Encrucijada

**1° x 2° SHEET.** Sagua la Grande 4184, Santa Clara 4283, Colón 4084, Yaguajay 4382, Morón 4482, Placetas 4282, Santo Domingo 4183.

**PROVINCE.** En líneas generales, la falla constituye el límite entre la Cordillera de Las Villas y el Domo de Santa Clara

**GEOLOGIC SETTING.** Falla normal casi vertical, en sectores con inclinación al Sursuroeste. Bordea el flanco sur de las sierras de Bibanasi, Morena, Bonita, Mamey, Las Azores, Bamburanao, Meneses y Jatibonico. Forma largas escarpas tectónicas denudadas, interrumpidas en las fallas transverso-diagonales (que forman una división en bloques) y en los valles y abras erosivas. El salto de falla apreciable en el relieve posee valores entre 60-240 m, producido a partir del Plioceno y durante el Cuaternario, cuando mantuvo movimientos rítmicos (Portela *et al.*, *ob cit.*).

**NUMBER OF SECTIONS.** 9

Comments: El modelo de seccionamiento se fundamenta en las diferencias morfológicas y morfométricas de las elevaciones, en especial, en los cambios altitudinales de las superficies

cimeras, creados por la división principal en bloques transversales (Portela, *ob. cit.*). Esta división supone que la falla no posee una edad única de movimiento e intensidad (slip rate) durante el Cuaternario, por lo que se incluyó en la forma de compilación por secciones, aunque estas últimas no han sido nombradas ni estudiadas en detalle en el trabajo de referencia y sí cartografiadas o delimitadas. Solo se incluyó la aplicación de la sección más conocida (Jatibonico).

**LENGTH** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE**. (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS**. (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG

### SECTION ATTRIBUTES

**SECTION NUMBER**. 03 i

**SECTION NAME**. Sección Jatibonico.

Comments: Formó el flanco sur de la Sierra de Jatibonico. Se extiende desde la localidad Aguada de Carrillo, en el extremo oeste de la sierra hasta el abra del río Chambas (Este).

**RELIABILITY OF LOCATION**. Good.

Comments: La localización de la traza se basa en el mapa geomorfológico a escala 1:250 000 de Portela (1989) y en el mapa geológico a escala 1:100 000 de Kantchev *et al.* (*ob. cit.*). Los levantamientos originales fueron realizados mediante los métodos geólogo-geomorfológicos tradicionales (de gabinete y campo), con materiales aéreos pancromáticos a escalas 1:62 500 - 1: 37 500 y mapas topográficos 1:50 000 y 1:100 000.

**SENSE OF MOVEMENT**. N

Comments: Observado en el perfil geomorfológico complejo III-III de Portela *et al.* (*ob. cit.*).

**DIP**

Comments.

**DIP DIRECTION**. SW

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** Esta sección de falla se expresa en el relieve por una escarpa continua de tipo tectónico-demudativa, con alturas entre 60 m (al Oeste) y 240 (al Este) y pendientes de 15-35° hasta verticales, incluso extraplomadas en la localidad de Boquerón. La traza de la fractura está reflejada en la dirección de los ríos subsecuentes de orden inferior y en el límite Norte de una extensa y estrecha depresión litológico-estructural. La escarpa solo está interrumpida en los cañones de los ríos Jatibonico del Norte (inactivo superficialmente) y Chambas (activo)

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** Esta sección de falla separa las zonas estructuro-faciales de Camajuani y Zaza, que respectivamente pertenecen a la cobertura del Paleomargen continental de Bahamas (Jurásico superior tithoniano-Cretácico superior maestrichtiano) y al Arco Volcánico Cretácico. No existen estudios morfo-cronológicos de las formas del relieve asociadas con la falla. Solo puede precisarse que la falla y su sistema corta y desplaza a la estructura de sobrecoimiento del Eoceno medio tardío (Portela, *ob. cit.*, Díaz *et al.*, *ob. cit.*).

#### DETAILED STUDIES.

#### TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT (5) Cuaternario (< 1.6 Ma)

Comments: El sistema de terrazas marinas cuaternarias esculpidas en el flanco norte de las elevaciones y en la llanura septentrional, evidencian la actividad del fallamiento longitudinal y en particular en esta sección, donde se presentan las superficies más elevadas y estrechas (Portela, *ob. cit.*). Las líneas de nivelación repetida no cortan la falla y no están reportados sismos hasta la fecha de esta compilación.

#### RECURRENCE INTERVAL. ND

Comments.

#### SLIP RATE. Desconocido, probablemente (C) < 1 mm/año

Comments: Valorado sobre la base de la altura máxima de la escarpa en rocas duras (240 m) y la edad probable de la superficie de cima (Plioceno).

**LENGTH.** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE.** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS.** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

## Referencias y bibliografía consultada

- Díaz, J. L., A. H. Peraza, A. R. Magaz y J. R. Hernández (1989), Morfoestructuras, 1:2 000 000, en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Relieve, cuadernillo IV.3.1, mapa 8.
- Furrazola Bermúdez, G., C. M. Judoley, M. S. Mijailovskaya y Y. S. Miroliubov *et al.* (1964), *Geología de Cuba*, Consejo Nacional de Universidades, La Habana, 239 p.
- Iturralde Vincent, M. A., D. Tchuney, R. C. Ortega *et al.* (1981), Mapa geológico del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas, no publicado, 11 hojas, escala 1:100 000.
- Kantchev, I. L., J. V. Boyanov, N. Popov *et al.* (1975), Mapa geológico de la provincia de Las Villas, Cuba, no publicado, 8 hojas, escala 1:100 000.
- Portela, A. H. (1989), Morfoestructura insular y morfoescultura tropical de Cuba (según investigaciones con el empleo de métodos de teledetección), Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, tesis no publicada de Ph. D., 191 p.
- Portela, A. H., J. L. Díaz, J. R. Hernández, A. R. Magaz y P. Blanco (1989), Geomorfología 1:1 000 000, en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Relieve, cuadernillo IV.3.2-3, mapa 11.

Cartografía de la falla.

En la leyenda.

03, Falla normal no nombrada.

03a, Sección Sierra de Bibanasi, solid line.

03b, Sección Corralillo, solid and dashed lines.

03c, Sección Sierra Morena, solid line.

03d, Sección Rancho Veloz, solid line.

03e, Sección Loma del Mamey, solid line.

03f, Sección Loma Teresa, Encrucijada, solid and dashed lines.

03g, Sección Camajuani, solid line.

03h, Sección Bamburanao, solid line.

03i, Sección Jatibonico, Cuaternario (5), < 1 mm/año (C), solid line.

NOTA: Solo se realizó la aplicación de la sección Jatibonico. En el resto de las secciones solo referimos la expresión geomorfológica (solid and dashed lines).

## COMPILATION FORM FOR SIMPLE FAULTS. ANEXO 6 STRUCTURE ATTRIBUTES

**STRUCTURE NUMBER.** 04

Comments: Referida como falla No. 7 en el mapa de alineamientos a escala 1:2 000 000 de Pérez (1989).

**STRUCTURE NAME.** Falla La Trocha.

Comments: Fue nombrada originalmente por Hatten *et al.* (1958). Es una faja de fallas que se extiende de suroeste a noreste, respectivamente, desde la Punta del Caney, en el delta del río Zaza hasta Punta Marcelina en la Bahía de los Perros (Portela, 1989). Según este último autor, la faja tiene mayor extensión hacia el SW. llegando hasta los bordes del talud insular pero es en este tramo donde las evidencias geomorfológicas indican menor actividad cuaternaria.

**SYNOPSIS.** Esta faja de falla no posee estudios geólogo-geomorfológicos detallados hasta la fecha de esta compilación. Ha sido pobremente reconocida, lo cual se refleja en las diferencias entre los trazados propuestos por varios autores (Puscharousky, 1970; Iturralde y Roque, 1982; Stepanovich *et al.*, 1985; Pérez, 1989; Portela, 1989, entre otros).

**DATE OF COMPILATION.** 05/20/95.

**COMPILER AND AFFILIATION.** Antonio R. Magaz García (Instituto de Geografía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba) y Armando H. Portela Peraza.

**STATE.** Sancti Spiritus, Ciego de Avila.

**COUNTY.** Sancti Spiritus, Jatibonico, Majagua.

**1° x 2° SHEET.** Sancti Spiritus 4381, Tunas de Zaza 4280, Ciego de Avila 4481, Trinidad 4281.

**PROVINCE.** En líneas generales, es el límite entre las regiones Central y Camagüey-Maniabón.

**RELIABILITY OF LOCATION.** Good.

Comments: La localización de la zona de fracturación principal de la faja de fallas La Trocha, se basa en el mapa geomorfológico a escala 1:250 000 de Portela (*ob. cit.*). El levantamiento original de la traza fue realizado mediante la interpretación del relieve en las fotografías aéreas a escalas 1:62 500 - 1:37 500, y transferida por inspección al mapa

topográfico a escala 1:100 000 del ICGC. Estos datos fueron correlacionados con perfiles de interpretación geofísica.

**GEOLOGIC SETTING.** Zona de fallas normales y normales transcurrentes siniestras, de ángulo alto a lo largo de toda su traza, con inclinación entre el sureste y el sursureste. Según los perfiles estructuro-geomorfológicos (Portela, *ob. cit.*), una buena parte del desplazamiento máximo vertical (aproximadamente 600 m) debe haber ocurrido a partir del Plioceno superior y durante el Cuaternario. Esta zona de fallas divide los mesobloques hósticos de Cuba Central o Villa Clara y Camagüey.

**SENSE OF MOVEMENT.** N.

Comments: A partir del Plioceno superior y durante el Cuaternario predominaron los desplazamientos verticales según un plano normal (Iturralde, 1977; Portela, *ob. cit.*). Shein *et al.* (1985), establecieron un sentido normal transcurrente en su mapa tectónico. Los desplazamientos laterales (10-20 km) fueron significativos entre el Oligoceno y el Plioceno inferior como se aprecia en la formación de la Loma de Cunagua, entre otras evidencias (Iturralde, 1981 y 1988; Iturralde y Roque, 1982, Meyerhoff y Hatten, 1968). Iturralde (com. pers.) considera la existencia de una componente de desplazamiento lateral siniestro durante el Cuaternario.

**DIP.**

Comments

**DIP DIRECTION.** SE

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** La amplia faja de dislocaciones paralelas determina en el relieve un sistema de bloques escalonados que descienden hacia el sureste, lo cual tiene reflejo directo en el diseño rectangular de la red fluvial del curso inferior del río Zaza y en la configuración de los niveles geomorfológicos de diferente génesis, altitud y edad. Algunos tramos de dislocación se manifiestan en el relieve en forma de límites claros de los tipos morfogenéticos (separando superficies denudativas de las abrasivas). Hacia el nordeste, más allá del poblado de El Macío, la falla no se expresa claramente en el relieve de la llanura Ciego-Morón (Portela, *ob. cit.*). En el tramo Santa Bárbara-Punta Marcelina se expresa en la distribución de los territorios palustres y en la formación de la altura braquiplejada Loma de Cunagua. Según este autor, al SW la falla La Trocha continúa hasta los límites del Megabloque Cubano y corta transversalmente la terminación oriental de la trinchera submarina de Jagua y al macizo montañoso marino del Banco de Paz, pero los datos no permiten asegurar en este tramo movimiento cuaternario.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** En el levantamiento original, los autores señalan pequeñas trazas probables que cortan o delimitan a sedimentos aluviales o palustres del Holoceno y a depósitos aluviales del Pleistoceno medio-superior. También corta a rocas del Mioceno inferior y Medio tardío, así como a pequeños alloramientos del Eoceno medio y del Cretácico superior Maestrichtiano-Campaniano (Colectivo de autores, 1988).

**DETAILED STUDIES.** No posee estudios de trinchera.

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** (5) Cuaternario (< 1.6 Ma).

Comments: Las superficies morfológicas que fueron controladas durante su formación por la zona de fallas tienen edades comprendidas entre el Plioceno superior y el Holoceno (según el mapa geomorfológico de Portela, *ob. cit.*). En la traza de la falla se presentan actualmente nudos sismoactivos de segunda categoría (Cotilla *et al.*, 1988). En la etapa reciente, con la zona de falla, se asocia una sismicidad con terremotos de  $M = 3.0-3.5$ , y en el campo de los movimientos tectónicos recientes se observa un gradiente de 0.5 mm/año/km en la zona de falla principal (Magaz y Díaz, *ob. cit.*).

**RECURRENCE INTERVAL.** ND.

Comments

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (C) < 1mm/año.

Comments: Con base en el desplazamiento máximo del piso de las secuencias Neógenas (aprox. 600 m) y la edad probable del último movimiento notable de sentido normal (Plioceno superior al Reciente), según datos aportados por Portela (*ob. cit.*).

**LENGTH.** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE.** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS.** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

### Referencias y bibliografía consultada

Colectivo de autores (1988). Mapa geológico de la República de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología, 40 cartas, escala 1:250 000.

Cotilla, M., L. Alvarez, T. J. Chuy y O. Portuondo (1988). "Peligrosidad sísmica (2). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica en zonas de baja actividad del territorio de Cuba". *Revista Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, pp. 1-10.

- Hatten, C. W. *et al.* (1958), *Geology of Central Cuba eastern Las Villas and Western Camaguey provinces, Cuba*, Fondo Geológico del MINBAS, La Habana, 250 pp.
- Iturralde Vinent, M. A. (1977), *Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba*, Informe Científico-Técnico No. 20, Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba, 24 pp.
- Iturralde Vinent, M. A. (1981), "Nuevo modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, núm. 3, pp. 51-89.
- Iturralde Vinent, M. A. y F. D. Roque (1982), "Nuevos datos sobre las estructuras diapíricas de Punta Alegre y Turiguanó, en la provincia de Ciego de Avila", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, núm. 4, pp. 47-55.
- Iturralde Vinent, M. A. (1988), *Naturaleza geológica de Cuba*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 146 pp.
- Meyerhoff, A. y C. Hatten (1968), *Diapiric structures in Central Cuba*, AAPG Mem., 8, pp. 315-357.
- Pérez, C. M. (1989), Alineamientos, 1:2 00 000, en Oliva, G. (ed.), *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Instituto Geográfico Nacional de España, Sección Constitución Geológica, cuadernillo III.3.1, mapa 11.
- Portela, A. H. (1989), *Morfoestructura insular y morfoescultura tropical de Cuba (según investigaciones con el empleo de métodos de teledetección)*, tesis no publicada de Ph. D., Moscú, 191 pp.
- Puscharovsky, Y. (1970), "Tectónica", en Nuñez, A. (ed.), *Atlas Nacional de Cuba*, Dirección General de Geodesia y Cartografía de la URSS, La Habana, p. 16.
- Shein, V. S. *et al.* (1985), *Mapa tectónico de Cuba*, MINBAS, Centro de Investigaciones Geológicas, Ed. ICGC, 4 mapas, escala 1:500 000.

Cartografía de la falla.

En la leyenda:

04, Falla normal La Trocha (N), Cuaternario (5), < 1mm/año (C), solid, dashed and dotted line.

**COMPILATION FORM FOR SECTIONED FAULTS ANEXO 7****STRUCTURE NUMBER.** 05

Comments: No tiene numeración asignada en otros estudios.

**STRUCTURE NAME.** Unnamed fault (= igual a la traza de la falla Cubitas)

Comments: Magaz y Díaz (1986) hacen referencia a esta neofalla que no debe confundirse con la falla Cubitas que funcionó como sobrecorrimiento durante el Eoceno medio tardío (Iturralde y Marrero, 1982). Las trazas de ambas fracturas son cercanas y la primera desplaza a esta última. Se extiende desde las inmediaciones del río Caonao, cerca de Ojo de Agua (Oeste) hasta el poblado de Canjilones (Este).

**SYNOPSIS.** No ha sido suficientemente estudiada. El modelo de seccionamiento ha sido propuesto basado en estudios geomorfológicos

**DATE OF COMPILATION.** 04/18/95.

**COMPILER AND AFFILIATION.** Antonio R. Magaz García (Instituto de Geografía Tropical) y Manuel A. Iturralde Vinent (Museo de Historia Natural), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

**STATE.** Camagüey

**COUNTY.** Esmeralda, Sierra de Cubitas.

**1° x 2° SHEET.** Esmeralda 4581, Camagüey 4680, Alvarado 4681

**PROVINCE.** La falla constituye el límite entre las subregiones naturales de la Sierra de Cubitas y del peniplano de Florida-Camagüey-Victoria de las Tunas, en la Región Camagüey-Maniabón.

**GEOLOGIC SETTING.** Falla normal de ángulo alto a lo largo de toda su traza en las Secciones **b** y **c**, con inclinación al SW. Bordea el flanco sur de la Sierra de Cubitas, formando largas escarpas tectónicas denudadas, solo interrumpidas en las fallas transverso-digonales (que forman una división en bloques) y en los cañones y abras erosivas. El desplazamiento máximo de la falla (algo superior a 200 m) ocurrió en la sección oriental a partir del Plioceno antiguo y durante el Cuaternario (Magaz y Díaz, *ob. cit.*; Iturralde y Marrero, *ob. cit.*). En la sección **a**, la falla es inversa

**NUMBER OF SECTION.** 3

Comments La delimitación de las secciones tiene como fundamento las diferencias morfológicas y morfométricas del espectro de niveles geomorfológicos, de la escarpa tectónica y de las formas erosivas, erosivo-cársicas de la Sierra de Cubitas (Magaz y Díaz, *ob. cit.*). En ese trabajo fueron nombradas las dos secciones del sector de la Sierra.

**LENGTH** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE.** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG

**SECTION ATTRIBUTES**

**SECTION NUMBER.** 05a.

**SECTION NAME.** Sección Esmeralda.

Comments: Estudiada por Lilienberg (com. pers.), Magaz y Díaz, *ob. cit.* Se extiende desde un punto situado a 1.5 km al norte del poblado de Ojo de Agua (Oeste) hasta el pueblo de San José (Este).

**RELIABILITY OF LOCATION.** Poor.

Comments: La localización está inferida por datos geofísicos y morfoestructurales (Bovenko *et al.*, 1979; Magaz, 1989). La fuente es el mapa morfoestructural de la provincia de Camagüey a escala 1:5 000 000 del último autor.

**SENSE OF MOVEMENT.** R.

Comments: A partir de las proximidades del poblado Donato y del Río Quemado el buzamiento de la falla se mantiene SW, mientras que el labio sur se encuentra más elevado tanto en la estructura geológica como en el relieve.

**DIP**

Comments.

**DIP DIRECTION.** SW

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** Se manifiesta en el relieve por una escarpa desnuda, muy levemente inclinada hacia el NE, baja y ancha, que separa a dos escalones de llanura y en morfolineamientos del curso inferior del río Caonao.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** Esta sección de falla corta las áreas carbonatadas y carbonatado-terrigenas de la formación Arroyo Palmas, del Mioceno inferior y medio y a las calizas cristalinas del Grupo Remedios, del Cretácico inferior y medio, Albiano-Maestrichtiano (Iturralde *et al.*, 1981).

**DETAILED STUDIES.**

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** (5) Cuaternario ( $< 1.6$  Ma).

Comments: La edad de conformación de la morfoestructura es del Plioceno, de acuerdo con los datos geológicos y la existencia de niveles geomorfológicos colgados poligenéticos evidencia la existencia de movimientos tectónicos rítmicos dentro del Cuaternario. La falla es sismoactiva con terremotos de Intensidad VI (escala MSK, 1964) y las líneas de nivelación repetida no cortan a la misma pero si expresan su movilidad debido al reflejo del escalonamiento en la curva de velocidades de los bloques del mismo sistema ubicados al NW (Lilienberg, com. pers.; Magaz y Díaz, *ob. cit.*; Chuy y Rodríguez, 1980, Alvarez *et al.*, 1989 y Bovenko *et al.*, *ob. cit.*).

**RECURRENCE INTERVAL.** ND

Comments.

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (C)  $< 1$  mm/año.

**LENGTH** (km) Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE.** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS.** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

**SECTION NUMBER.** 05b

**SECTION NAME.** Sección Occidental.

Comments: Formó el sector suroccidental de la Sierra de Cubitas (Magaz y Díaz, *ob. cit.*, Magaz, *ob. cit.*). Se extiende desde el río Quemado (Oeste) hasta la localidad de Las Delicias (Este)

**RELIABILITY OF LOCATION.** Poor

Comments: La localización de la falla es imprecisa en el levantamiento original debido a la existencia de dos morfoalineamientos paralelos no inspeccionados en el campo (escarpa y curso superior del río Quemado). La situación de la escarpa se basa en el mapa morfoestructural a escala 1:500 000 (Magaz, *ob. cit.*).

**SENSE OF MOVEMENT.** N

Comments: Iturralde *et al.* (*ob. cit.*)

**DIP.**

Comments

**DIP DIRECTION.** SW

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** Esta sección se caracteriza por escarpas tectónico-denudativas discontinuas (con alturas entre 60-110 m) y por el condicionamiento tectónico del río Quemado. La discontinuidad de la escarpa se debe a las formas erosivas elaboradas en zonas de fallas transverso-diagonales a la sección.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS** La sección de falla corta a las calizas cristalinas del Grupo Remedios del Cretácico inferior y medio (Albiano-Maestrichtiano) y a los nappes del Eoceno medio tardío que afectan a estas rocas (Iturralde *et al.*, *ob. cit.*).

**DETAILED STUDIES.**

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** (5) Cuaternario (< 1.6 Ma).

Comments: Basado en la morfología de las escarpas y en el tectoalineamiento del valle del río Quemado. Esta sección de falla es sismoactiva en su extremo NW, pero no hay datos cuantitativos. Las líneas de nivelación repetida no cortan la falla pero sí expresan su movilidad debido al reflejo del escalonamiento, en la curva de velocidades, de los bloques del mismo sistema ubicados al NW (Chuy y Rodríguez, *ob. cit.*; Magaz y Díaz, *ob. cit.*; Alvarez *et al.*, *ob. cit.*).

**RECURRENCE INTERVAL.** ND

Comments.

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (C) < 1mm/año.

Comments. Considerado con base en el salto máximo apreciable en el relieve (110 m) y la edad probable del inicio del levantamiento (Plioceno antiguo).

**LENGTH.** (km). Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE.** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS.** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

**SECTION NUMBER.** 05c.

**SECTION NAME.** Sección oriental.

Comments: Formó el sector suroriental de la Sierra de Cubitas (Magaz y Díaz, *ob. cit.*; Magaz, *ob. cit.*). Se extiende desde la localidad Las Delicias hasta el poblado de Cangilones (Este).

**RELIABILITY OF LOCATION** Good.

Comments: La localización de las escarpas se basa en el mapa morfoestructural a escala 1:500 000 de Magaz (*ob. cit.*). El levantamiento original se realizó mediante interpretación geológica y geomorfológica de fotografías aéreas a escalas 1:62 500-1:37 500, transferido por inspección al mapa topográfico 1:50 000 del ICGC.

**SENSE OF MOVEMENT.** N

Comments: Observado en los cortes geológicos transversales a la falla por el desplazamiento de las fracturas de sobrecorrimiento del Eoceno medio tardío (Iturralde *et al.*, *ob. cit.*).

**DIP.** 80°-85° SW

Comments: Iturralde *et al.*, (*ob. cit.*). Medido en rocas del Grupo Remedios (calizas cristalinas) a 1.2 km al NW del conocido Paso de Lesca.

**DIP DIRECTION.** SW

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** Esta sección de falla está caracterizada tanto por escarpas tectónicas conservadas y continuas como por escarpas tectónico-denudativas discontinuas, con alturas entre 160-240 m. La discontinuidad de la escarpa se debe a la presencia de cañones erosivos de valles antecedentes extintos (Magaz, *ob. cit.*).

**AGE OF FAULTED DEPOSITS** La falla corta sedimentos neógeno-cuaternarios (conglomeráticos, ricos en clastos rodados ferruginosos) procedentes de una corteza de intemperismo eluvial sobre serpentinitas (Cortina y Buguelsky, 1974; Magaz y Díaz, *ob. cit.*) También corta a olistostromas del Eoceno medio al superior, a calciruditas del Eoceno inferior y medio y a calizas cristalinas del Grupo Remedios del Cretácico inferior y medio, Albiano-Maestrichtiano (Iturralde *et al.*, *ob. cit.*).

**DETAILED STUDIES.** No tiene estudios.

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT** (5) Cuaternario ( $\approx$  1.6 Ma).

Comments: Ante la ausencia de datos cronológicos estrechos de los sedimentos y formas del relieve relacionados con la falla, se puede señalar que las superficies cuaternarias de la serie

geomorfológica vertical, la distribución intermacizo de los niveles horizontales homólogos de cavernamiento, y el desarrollo y profundidad de las formas erosivas y kársticas en su estrecha correlación con las fallas del mismo sistema, son reflejos esculturales de los levantamientos rítmicos de la Sierra de Cubitas durante el Cuaternario (Magaz y Díaz, *ob. cit.*; Iturralde y Marrero, *ob. cit.*). Las líneas de nivelación repetida circundan la estructura por el Norte y no cortan la falla pero sí expresan su movilidad debido al reflejo, en la curva de velocidades, del levantamiento del bloque Sierra de Cubitas asociado a ella. Es sismoactiva con terremotos asociados de Intensidad hasta V (MSK, 1964).

#### **RECURRENCE INTERVAL. ND**

Comments. La ausencia de datación absoluta de los sedimentos y formas del relieve impide el conocimiento sobre la temporalidad de los paleoeventos cuaternarios.

**SLIP RATE.** Desconocido, probablemente (C) < 1mm/año

Comments. La intensidad (0.08 mm/año) se ha considerado sobre la base de los 260 m de salto máximo en esta sección de la fractura y la edad probable del inicio del levantamiento en el Plioceno antiguo

**LENGTH.** (km) Determinado mediante datos de SIG.

**AVERAGE STRIKE** (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG.

**ENDPOINTS.** (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

#### **Referencias y bibliografía consultada**

- Alvarez, G. L., T. R. Chuy y M. R. Cotilla (1989), Epicentros de terremotos y peligrosidad sísmica, en Faloh, R. (ed.), Atlas de Camaguey. Instituto de Geografía e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana, p. 13.
- Bovenko, V. T., V. E. Cherybakova y G. Hernández (1979), "Estructura geológica profunda de la parte occidental de la Isla de Cuba", en *Tectónica y geodinámica de la región del Caribe*, Ed. Nauka, Moscú, pp. 130-142.
- Chuy, T. R. y M. Rodríguez (1980), "La actividad sísmica de Cuba basada en datos históricos", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, núm. 1, pp. 1-40.
- Cortina, F. y Y. Buguel'sky (1974), "Sobre la existencia en Cuba de lateritas ferroniquelíferas redepositadas sobre calizas", en Iraeta, T. (ed.), *Contribución a la Geología*, Ed. Academia, public. especial, núm. 2, La Habana, pp. 117-139.

Irralde Vinent, M. A., D. Thunev, R. C. Ortega *et al.* (1981), Mapa geológico del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas, no publicado. 11 hojas, escala 1:100 000.

Irralde Vinent, M. A. y F. D. Marrero (1982). "La falla Cubitas: su edad y desplazamientos". *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, núm. 4, pp. 57-70.

Magaz, A. R. (1989). "Morfoestructuras", Faloh, R. (ed.), Atlas de Camagüey, Instituto de Geografía e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana, p. 17.

Magaz, A. R. y J. L. Díaz (1986). "Las morfoestructuras de la región Centro-Oriental de Cuba", en *Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región centro-oriental de Cuba*, Ed. Academia, public. especial, La Habana, pp. 45-60.

Cartografía de la falla.

En la leyenda:

05, Falla no nombrada.

05a, Sección Esmeralda ( R ), Cuaternario (5), 1:1 mm/año (C), Dotted line.

05b, Sección Occidental ( N ), Cuaternario (5), 1:1 mm/año (C), Solid and Dashed line.

05c, Sección Oriental ( N ), Cuaternario (5), 1:1 mm/año (C), Solid line.

## COMPILATION FORM FOR SIMPLE FAULTS ANEXO 8

### STRUCTURE NUMBER. 06

Comments: Referida por Hernández *et al.* (1989) como zona sismogeneradora, en la hoja "Movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre" (IV.2.1. 4e) del Nuevo Atlas Nacional de Cuba.

### STRUCTURE NAME. Falla Boniato.

Comments: En la literatura geológica y geomorfológica esta estructura ha sido conocida como falla Boniato, tanto por el Instituto de Geología y Paleontología (1983) como en las investigaciones morfoestructuro-geodinámicas (Hernández, 1987 y 1989; Hernández *et al.*, 1987 y 1989; Lilienberg *et al.*, 1993). La falla se extiende desde los poblados de Pueblo Nuevo y Santa Clara, a 4-5 km al NW del poblado El Cobre (Oeste) hasta el pueblo Dos Bocas (Este). Esta estructura constituye el eje de articulación tectónica entre la meseta horst-monoclinal de Boniato, al Norte, y la depresión graben-monoclinal compleja de Santiago de Cuba, al Sur.

**SYNOPSIS.** El régimen geodinámico de la falla está bien estudiado en la etapa reciente (últimos 20 años), no así en el Cuaternario.

**DATE OF COMPILATION.** 28/12/95.

**COMPILER AND AFFILIATION** José Ramón Hernández Santana, Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia y Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

**STATE.** Santiago de Cuba.

**COUNTY.** Santiago de Cuba.

**1° x 2° SHEET.** Santiago de Cuba 5076, Contramaestre 4976.

**PROVINCE.**

**RELIABILITY OF LOCATION** Good.

Comments: La localización de la traza se basa en el mapa geológico de Cuba a escala 1:250 000 (Colectivo de autores, 1988), a partir del mapa de alineamientos (Pérez, 1989) y del mapa geomorfológico de la zona de sutura interplacas (Hernández, 1987, Hernández *et al.*, 1991). Los levantamientos originales fueron realizados mediante métodos geólogo-geomorfológicos tradicionales (de gabinete y campo), con materiales aéreos pancromáticos a escalas 1:62 500 y 1:37 500 y mapas topográficos 1:50 000 y 1:100 000.

**GEOLOGIC SETTING.** Falla normal de ángulo abrupto a lo largo de toda su traza, con buzamiento hacia el Sur. Bordea el flanco meridional de la meseta horst-monoclinal de Boniato (480-590 m de altitud). A lo largo de su traza están formadas abruptas escarpas tectónicas, modificadas parcialmente por los procesos erosivo-denudativos. Paralelas a esta estructura existen otras fallas de menor jerarquía pero derivadas de su tectogénesis con escarpas modelos de espejos de fallas cubanos, como la falla Puerto Pelado, ubicada a menos de 1 km al sur de ella.

**SENSE OF MOVEMENT.** N

Comments: Observado en el perfil geólogo-geomorfológico complejo (Hernández, 1987, 1989, Hernández *et al.*, 1989).

**DIP.** 65° S

**DIP DIRECTION.** S

**GEOMORPHIC EXPRESSION.** El rasgo morfoestructural más notable de su morfología es la escarpa tectónica (400-450 m de altura relativa), que constituye la zona de articulación entre la meseta horst-monoclinal de Boniato y la depresión graben-monoclinal compleja de Santiago de Cuba. El cortamiento de la escarpa refleja varios ciclos de estabilidad tectónica, expresados en restos de superficies de planación pliocuaternarias, de carácter lineal, a lo largo de la misma.

Como resultado de los procesos tectogénicos de esta estructura, existen innumerables fallas y grietas de idéntica dirección sublatitudinal, que determinan la formación de cuevas paralelas a ella. Una de estas estructuras secundarias es la cueva de Puerto Pelado (más de 200 m de altitud), la cual conserva el más típico espejo de falla del país.

**AGE OF FAULTED DEPOSITS.** La falla corta los miembros Caney (tobas calcáreas, calizas tobáceas) y Cuabitas (tobas ácidas) de la Formación vulcanógeno-sedimentaria Cobre (Taber, 1931), cuya edad se extiende desde el Cretácico superior hasta el Eoceno medio (Jakus, 1983). En la superficie de la meseta de Boniato, bloque elevado por la falla de igual nombre, afloran las calizas de la Formación Puerto Boniato, de la parte media del Eoceno medio, según Nagy *et al.* (1976).

**DETAILED STUDIES.** No existen.

**TIMING OF MOST RECENT PALEOEVENT.** (5) Cuaternario (< 1.6 Ma). La escarpa de la falla Boniato presenta una fuerte remodelación por los procesos erosivo-denudativos, mostrando en su parte frontal secuencias escalonadas de facetas triangulares de diferente altitud y edad (160-180 m, 240-260 m, 340-360 m), a lo largo de superficies de planación lineales (parteaguas) estrechas. El nivel inferior de 160-180 m se corresponde con las superficies areales de la meseta costera de Santiago de Cuba-Siboney y las alturas de horst-monoclinal que se extienden hacia el Este (Daiquirí, Juraguá y otras). Por correlaciones geólogo-geomorfológicas estos niveles se corresponden con el Pleistoceno temprano y constituyen las divisorias actuales de los depocentros del Plioceno, donde está desarrollada la formación Santiago con margas de esa edad, ocupando las partes centrales, más deprimidas, del graben de Santiago de Cuba. Realmente, tanto la falla Boniato como los límites disyuntivos de los cerros litorales constituyeron durante el Cuaternario temprano los umbrales de una cuenca cerrada, al Sur por un paleoarchipiélago, reflejo de un estilo tectogénico marginal (Hernández, en prensa), vigente en la actualidad en otras regiones cubanas, como los archipiélagos Sabana y Camagüey, al Norte de la isla de Cuba. Los cálculos geodésicos y los perfiles complejos sobre la geodinámica reciente permitieron conocer que durante los últimos 20 años, la morfoestructura transversal superpuesta (en el contexto de la Sierra Maestra) de Boniato-Santiago de Cuba experimenta una inversión de los movimientos hacia ascensos de +3 mm/año y más, lo cual representa una anomalía de los

mismos con relación al plano morfoestructural y a la tendencia de la geodinámica durante la etapa neotectónica de desarrollo del relieve (Hernández *et al.*, 1987).

Los resultados de la nivelación geodésica de alta precisión arrojaron valores de ascenso de hasta +3 mm/mes entre 1982/83 y 1983/84 para el bloque de la meseta monoclinial de Boniato, y de descenso hasta +2.5 mm/mes entre 1983/84 y 1984/85 mientras que en la depresión-graben de Santiago de Cuba los valores oscilaron entre 0 y 0.5 mm/mes para ambos periodos (Hernández *et al.*, 1987)

Los datos sismoestadísticos reflejan una alta densidad de epicentros con focos superficiales de 2-5 a 15-25 km de profundidad y una pequeña clase energética de  $K < 7-10$  (Alvarez, 1993), según la escala MSK de 1964. El carácter subcortical de los terremotos en esta región indica la existencia de un proceso de intensa formación reciente de fallas, con desplazamientos verticales seculares oscilatorios y liberación de energía sísmica (Hernández *et al.*, 1987)

#### RECURRENCE INTERVAL. ND

SLIP RATE.(C) < 1 mm/año.

Comments.

LENGTH (km). Determinado mediante datos de SIG.

AVERAGE (Azimuth). Determinado mediante datos de SIG

ENDPOINTS (Lat-Long). Determinado mediante datos de SIG.

#### Referencias y bibliografía consultada

Alvarez, L. (1993). "Movimientos sísmicos". en Cepero, F. J. (ed.). *Movimientos tectónicos recientes de Cuba*. Ed. Academia. La Habana, pp. 309-326.

Colectivo de autores (1988). Mapa geológico de la República de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, 40 hojas, escala 1:250 000.

Hernández, J. R. (1987). Geomorfología estructural y geodinámica reciente del relieve de Cuba Suroriental en la zona de interacción de la Microplaca Cubana y la fosa profunda de Bartlett. Instituto de Geografía, Moscú, tesis no publicada de Ph. D., 264 p.

Hernández, J. R. *et al.* (1987). "Carácter oscilatorio de la geodinámica endógena reciente en zonas sismogeneradoras cubanas", *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, núm. 13, pp. 23-31.

Hernández, J. R. (1989), Geomorfología estructural del sistema montañoso de la Sierra Maestra y de las depresiones graben adyacentes, Ed. Academia, La Habana, 45 p.

Hernández, J. R., D. A. Lilienberg y M. E. Marques (1989), "Movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre", en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Relieve, cuadernillo IV.2.1, mapa 4a-4d.

Hernández, J. R. *et al.* (1991), *Criterios geomorfológicos para la clasificación morfotectónica de Cuba Oriental*. Ed. Academia, La Habana, pp. 10-18.

Instituto de Geología y Paleontología (1983), *Contribución a la geología de Cuba Oriental*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 273 p.

Jakus, P. (1983), "Formaciones vulcanógeno-sedimentarias y sedimentarias de Cuba Oriental", en Albear, J. F. (ed.), *Contribución a la geología de Cuba Oriental*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, pp. 17-85.

Lilienberg, D. A. *et al.* (1993), *Movimientos tectónicos recientes de Cuba*, Ed. Academia, La Habana, t. 1 y 2, 453 p. y 118 p.

Nagy, E. *et al.* (1976), Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000, Archivo del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba.

Pérez, C. M. (1989), "Alineamientos", en Oliva, G. (ed.), Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección Constitución Geológica, cuadernillo III.3.1, mapa 11.

Cartografía de la falla

En la leyenda:

N. Falla normal Boniato, Cuaternario (5),  $\approx$  1 mm/año (C), solid line.