

Efectividad de la geomorfología aplicada en la precisión de fallas generadoras del relieve en la provincia de Pinar del Río Cuba.

Ramón Cruz Toledo¹
Jorge Sanchez Arango¹
Roberto Otero Marrero¹
Julio Ernesto Gómez Herrera¹
Carlos Sosa Meizoso¹
Carlos Fariñas Hernández¹
Yusneurys Pérez Martínez¹
Lorenza Mejías Rodríguez¹
Osvaldo Rodríguez Moran.¹

¹Centro de Investigaciones del Petróleo: Washington # 169, Esq. a Churruga, Cerro, código postal: 12000, Ciudad de La Habana, Cuba.

cruzt@ceinpet.cupet.cu , jsanchez@ceinpet.cupet.cu , roberto@ceinpet.cupet.cu ,
juliog@ceinpet.cupet.cu , sosa@ceinpet.cupet.cu , carlosof@ceinpet.cupet.cu ,
yuspm@ceinpet.cupet.cu , lorenza@ceinpet.cupet.cu , ormoran@ceinpet.cupet.cu

Resumen.

La geomorfología aplicada de conjunto con la gravimetría, el procesamiento de imágenes y trabajos de campo, aportaron resultados muy alentadores para la comprobación y precisión de la ubicación espacial de la llamada falla que identificamos como San Andrés - San Diego. Estos resultados se resumen en: sistemas alineados del drenaje, un origen tectónico de desgarre según la expresión de las morfoestructuras y el crecimiento del cuarzo en la dirección del movimiento de la referida falla (310 grados). Estas informaciones han sido obtenidas de imágenes satelitales publicadas por Google 2005 y del Museo Virtual obtenido de un sitio especializado de Internet. La expresión de tectónica de desgarre observada en las imágenes y fotos se confirman con los sistemas de drenaje y los frentes de cabalgamiento de las zonas compresivas mapeadas en los trabajos geológicos. La existencia de la falla ha sido apoyada por un estudio de los esfuerzos de Riedel que confirman el carácter sinistral para la Falla Pinar y dextral para la Falla San Andrés – San Diego.

Abstract.

The applied geomorphology in connection with the gravimetric map, image processing and fieldworks, contributed to obtain very encouraging results for the confirmation and precision of the spatial location of the fault that we named San Andreas – San Diego Fault. These results are expressed in: the aligned drainage systems, the existence of the strike-slip faults and the growth of quartz in direction of the movement of the mentioned fault (310 degrees). These informations have been obtained from satellite images published by Google 2005 and also from the Virtual Museum of a specialized web site in internet. Tear-faults are observed on the images and pictures which are confirmed with the drainage systems and the thrust faults mapped during the geologic field-works. The existence of the fault has been supported by a study of the Riedel's efforts which confirm the sinistral character of the Pinar Fault and the dextral character for the San Andres-San Diego Fault.

Key words: Geomorphology, drainage, image processing.

Palavras chaves: Geomorfologia, drenagem, processamento de imagens.

1. Introducción

A partir del año 1975 se desarrollan la geomorfología y sus métodos como especialidad en la actividad petrolera

Desde 1988 hasta 1995 se alcanza en nuestro país un alto grado de integración de la geomorfología aplicada al petróleo con otros métodos en el propio camino de la exploración.

En ésta última década (1995 - 2005) se ha logrado una mayor aplicación de los métodos geomorfológicos en la prospección de yacimientos de petróleo y gas, con resultados relevantes donde se han identificado estructuras que pueden constituir posibles trampas, así como las posibles vías de migración de los hidrocarburos desde las rocas madres a las trampas. Se ha podido comprobar la elevada coincidencia de las anomalías geomorfológicas con las anomalías geofísicas.

En éste trabajo se demuestra que con la aplicación de diversos métodos geomorfológicos en conjunto con otros métodos ya sea geofísico como de teledetección y de campo, se pudo determinar la ubicación espacial de fallas de tipo transcurrente, que de cierta manera de vinculan con las anomalías planteadas. Este trabajo se desarrolla en la parte mas occidental de la isla de Cuba, en la provincia de de Pinar del Río (**Figura 1**).

2. Materiales y métodos

Uno de los logros de este trabajo resulta precisamente la utilización de poca cantidad de materiales que a pesar de su fácil adquisición, en la actualidad resultan de gran utilidad al ser manejados con una óptica diferente y en algunos casos se han utilizado nuevas técnicas aplicadas en el Centro de Investigaciones del Petróleo (Cuba).

Mediante el uso de imágenes de reciente disposición tales como las de Google Earth estas han sido usadas por el método de observación fundamentalmente en áreas costeras donde se hace visible la morfología y relieve del fondo marino en zonas relativamente cercanas a la costa, utilizando de conjunto los lineamientos del drenaje, el procesamiento de imágenes, la gravimetría y para corroborar la existencia de la falla de referencia, un trabajo de campo y un análisis de Riedel. Figura 7

Los materiales usados fueron:

Cartografía digital 1:100 000 ICGC año 2005 Imágenes Landsat 7 ETM + con tres bandas, Mapa de Anomalías de Bouguer escala 1: 100 000, Imágenes de Google Earth.

3. Resultados y discusión

El paisaje geomorfológico que se observa a través del sistema de montaña tiene una relación de sistema de manto de cabalgamiento de rocas del margen continental (Cobiella J. L. 2002) y del Arco Volcánico con las diferencias en la competencia mecánica de las rocas a la meteorización.

Desde el punto de vista geomorfológico el alineamiento que divide la zona norte accidentada de la llanura de la cuenca de los Palacios denominado Falla Pinar, es la responsable y generadora principal del relieve en la región desde Guanahacabibes hasta el Mariel con un desplazamiento sinistral que se identifica por la morfología de la costa, la geología de superficie y el gradiente batimétrico.

Esta dirección SW – NE es una dirección reiterada a lo largo de todo el territorio cubano La otra dirección fundamental es el alineamiento relacionado con la denominada Falla de San Andrés o La Palma según otros autores, el cual no solo divide el sistema montañoso Guaniguanico sino que por su carácter transcurrente dextral (argumentado con la batimetría cercana a la costa y la morfología de ésta) desplaza a ambas unidades tectono - estratigráficas

Órganos y Rosario deformando a las mismas a lo largo y en la zona cercana del sistema de falla lo cual se observa con claridad en el mapa geológico de Pinar del Río (**Figura 2**)

De norte a sur y camino hacia falla Pinar, se aprecian estas regularidades en el afluente del Río Guacamaya, Río Rico y Río Puerco, donde sus aguas drenan hacia la costa norte, en dirección NW similar a la dirección de la falla San Andrés (**Figura 3**).

La observación del Río San Diego esencialmente en su porción central, a la altura de la traza de la falla San Andrés, muestra una marcada desviación de su cauce hacia el sur extendiéndose un buen tramo en esta dirección y demostrando de esta manera el carácter dextral de esta falla lo cual es también corroborado mediante la observación de la morfología de la costa en su salida por el norte. Mas hacia el sur, el propio Río San Diego al cruzar la traza de la falla Pinar sufre una desviación evidente hacia la derecha es decir al este, lo cual argumenta el carácter sinistral de la falla Pinar, detalle este también observado en otras locaciones a lo largo de toda esta falla, donde se han tomado en consideración otros arroyos y afluentes de la red de drenaje del área.

En un análisis de los sistemas de esfuerzos que generaron la Falla Pinar de tipo sinistral y aplicándole el Patrón de Riedel se obtienen diversas direcciones de fractura que mantienen relaciones dinámicas y cinemáticas entre si. (**Figura 4**)

Considerando los elementos mencionados se puede establecer la relación existente entre los sistemas X complementarios a R1 (Rosselló E. A. 2001) y el sistema de fallas denominado San Andrés el cual se desarrolla con una componente dextral de forma antitética a la falla Pinar.

A partir de la teoría de los sistemas de Riedel, en un estudio similar usando el drenaje de la zona, se observa con un sentido casi igual a lo visto para los alineamientos descritos, es decir que se corroboran las direcciones fundamentales de los sistemas de fallas vistos a partir del mismo esfuerzo principal en la dirección SW – NE

Resumiendo en la orientación según los valores de los ángulos que se generan en la descomposición del sistema Riedel, concluimos con: Azimut 310, rumbo N52W (para la falla de San Andrés), Azimut 332, rumbo N28W (para R1), Azimut 38, rumbo N 38 E (para R), Azimut 50, rumbo N50E (para La Falla Pinar).

Cáceres D. et al .2003 hace referencia a tres posibles variantes para la ocurrencia de la Falla de San Andrés y nuestro análisis coincide con la tercera de éstas que refiere a una falla transcurrente sincrónica con la falla Pinar originada como fractura de Riedel. La continuación del trabajo, posibilitó la documentación de otros afloramientos que resultaron interesantes para demostrar la existencia de la falla analizada, como es, el afloramiento existente en la Loma de Abilio al norte de San Diego de los Baños donde aparecen areniscas cuarcíferas de estratificación media y gruesa, con abundantes fracturas rellenas de cuarzo e intercalaciones de lutitas, todas ellas pertenecientes a la Fm. San Cayetano, en el que pudo documentarse un plano de falla, destacándose en el mismo, numerosas fracturas rellenas de cuarzo y una parte de estas vetas o vetillas de cuarzo, paralelas al plano de la falla, donde se muestra crecimiento de cuarzo y estrías que indicaban un movimiento transcurrente, con azimut de buzamiento de $220^{\circ}/55^{\circ}$ y estrías en la dirección $310^{\circ}/20^{\circ}$ de inclinación., tomadas por Ramón Cruz ,nov 2005.

El trazo determinado a partir de los elementos geólogo geomorfológicos de la falla Pinar que se desplaza a través de zonas de embalses de agua, alineamientos del drenaje, desplazamientos del drenaje en dirección sinistral, características topográficas y geomorfología de la costa desde su salida al sur y al norte. Cruz Toledo R, et al, 2001 y Echevarria Rodríguez Gustavo, et al, 2001.

Esta falla limita al sur las rocas del Cretácico Superior y las del Jurásico de la Fm San Cayetano al norte. Su trazo se ubica desde el Cabo Francés en la bahía de Cortés al sur,

continuando hacia las alturas pizarrosas del sur, con alturas de más de 400 m (Sierra de Los Órganos), continuando hacia el sur de la Sierra del Rosario, con alturas límites de 655 m. Sale al mar por la costa occidental de La Habana, después de pasar al sur de las alturas del Mariel, con valores de 275 m sobre el n/m.

Desde el punto de vista estructuro-tectónico la falla de San Andrés provoca el contacto de la Formación San Cayetano en la Sierra de los Órganos (oeste) que constituyen las secuencias depositadas en el Rift que dio lugar a la separación de Pangea con la Fm. Artemisa del margen continental en la sierra del Rosario (este) y su trazo coincide además con embalses de agua.

Un índice positivo es que a través de la zona de falla San Andrés se presentan manifestaciones de petróleo y de agua sulfurosa, igualmente desde el encuentro de esta con la falla Pinar aparecen otras manifestaciones de petróleo coincidiendo aproximadamente con el cambio del contexto geológico en general presentado en este trabajo.

Desde el Eoceno Medio hasta la actualidad los procesos de estructuración del paisaje geológico en Cuba fueron fundamentalmente la transurrencia y extensión los cuales llegan a definir con claridad los accidentes tectónicos como la Falla Pinar y la Falla de San Andrés aunque esta última no ha sido evidenciada con la misma seguridad, en los trabajos de campo.

En este trabajo se brindan nuevas evidencias geodinámicas sobre su posible existencia y origen tectónico de la misma.

Los resultados obtenidos mediante las modelaciones realizadas a las imágenes Landsat, a las imágenes digitales del terreno, y mediante evidencias geomorfológicas apoyadas en trabajos de campo han sido la base para la caracterización de esta falla. Los estudios gravimétricos, aportaron de conjunto el trazado de la fallas referidas, a partir de las zonas de gradiente (**Figuras 2, 3 y 4**).

Las evidencias aportadas se sustentan en un fundamento teórico, según el patrón de Riedel que demuestra la existencia de la falla antitética dextral debido a los esfuerzos principales suroeste – noreste (σ_1) y que denominamos Falla San Andrés – San Diego (**Figuras 2 y 32**).

Los trabajos de campo nos aportaron nuevas evidencias geodinámicas de una falla de tipo dextral con crecimiento de cuarzo en los planos de fricción y estrías en la dirección 320 que se incluye dentro del rango de los lineamientos observados en el campo entre 310 –330 grados de dirección (**Figura 6,7**)

Existen otros elementos que atestiguan la existencia de esta falla por los datos de campo, pero no tan significativos, como este punto al norte del pueblo de San Diego.

Hay además indicios geomorfológicos muy similares a la San Andreas Fault en EEUU con respecto a los esquemas de drenaje, explicados anteriormente, tales como la presencia de valles lagos y bahías y la dextralidad del drenaje provocada por la falla.

Se hallan también manifestaciones de petróleo y agua sulfurosa a través de la falla.

Otro elemento de interés es que en los Órganos las estructuras aparecen arqueadas hacia el sureste (parte occidental) y en Rosario hacia el noroeste (parte mas oriental) demostrando un posible origen tectónico de desgarre que puede explicar el origen de esta falla.

Además durante la post-orogénica con una óptica novedosa pueden asociarse estas fallas con el sistema de múltiples escarpes y estructuras de fondo marino en la parte noroccidental de Cuba. Estos escarpes de relieve tienen una disposición consecuente con la alineación de líneas del drenaje secundarias, con un claro reflejo de la morfología de la costa, en la misma dirección de la falla San Andrés –San Diego. Estas zonas alineadas de desgarre son muy similares a los desplazamientos descritos en la literatura como de carácter dextral (**Figura 5**).

Podemos resumir que ambas fallas son las principales estructuras tectónicas del origen del relieve pinareño. Ambos sistemas de fallas conjugados, sobre la base de la metodología

geomorfológica aplicada en el territorio nacional donde las direcciones fundamentales apuntan en la dirección de las trampas y las posibles vías de migración, es por tanto que estas fallas sintéticas y antitéticas del sistema de Riedel comprobado en el complejo de métodos, pueden constituir las vías de migración de los hidrocarburos desde la zona de Cocina debajo de los cabalgamientos hacia diferentes trampas formadas durante la orogenia.

Esta migración de los fluidos pueden extrapolarse hacia los bloques marinos del Golfo de México ya que la tectónica del plioceno fue relativamente limitada en Cuba, por lo tanto, los posibles daños ocasionados a las trampas no deben ser significativos. Tenreyro Rafael, et al. 1997

4. Conclusiones

- 1.- Se pudo precisar una Falla que divide la zona de articulación Sierra de los Órganos y Rosario la cual nombraremos San Andrés - San Diego.
- 2.- Esta falla tiene una expresión muy bien definida en los mapas de disección vertical, pendientes y los resultantes de los filtros direccionales de mejoramiento de imágenes como son los análisis de sombra (shadow) donde se tipifican altos valores de las propiedades que identifican una falla.
- 3.- Se aportaron nuevas evidencias para la existencia de la Falla San Andrés - San Diego, según el análisis del patrón de Riedel donde esta se constituye en la componente de esfuerzos "X" antitético.
- 4.- Las investigaciones realizadas sobre informaciones obtenidas de imágenes satelitales publicadas por Google 2005 y del Museo Virtual obtenida de un sitio especializado de Internet confirman su ubicación y extensión desde el mar hasta la Falla Pinar.
- 5.- Se pudo sustentar las características morfoestructurales a través de las imágenes satelitales, geológicas, sistemas de drenaje y resultados de las observaciones cinemáticas en el campo para avalar el origen tectónico (desgarre) y el crecimiento del cuarzo en la dirección del movimiento, lo que resulto una nueva evidencia para su confirmación.
- 6.- Con la precisión de las dos estructuras tectónicas más importantes del relieve pinareño se puede inferir según la metodología aplicada que ambas pueden estar relacionadas con vías de migración y entrapamiento en probables sistemas petroleros en el área incluidos los del Golfo de México, en algunos de los cuales existen conocidas manifestaciones tanto a lo largo de toda la falla Pinar como en ambos lados de la falla San Andrés en las Localidades de Caimito, Burén y en el pozo Caribe 1.
7. - En la zona de articulación de la Sierra del Rosario con la Sierra de los Órganos no se observan gradientes del campo gravimétrico que por su extensión e intensidad se puedan asociar a la existencia de una dislocación de tipo disyuntiva con apreciables desplazamientos verticales entre sus bloques.
8. - En esta zona de articulación al norte de la Falla pinar, se observa una distorsión o torcedura del campo gravimétrico, correlacionable en dirección sureste- noroeste, que sugiere la posible presencia de una falla de cizalla que pudiera estar asociada a la posible Falla San Andrés.

Bibliografía

Cáceres Govea Dámaso, et al. Análisis estructural en la zona de articulación Sierra de los Organos- Sierra del Rosario, en el sector San Diego-Bermejales. Pinar del Río. En: Congreso de Geología y Minería Geología Regional, 2003. Cuba ISBN 959 – 7117 – 11 – 8, CD ROM.

Cobiella-Reguera, J. Una panorámica de los Sistemas Jurásico y Cretácico de Cuba, en: Memorias II, Congreso de Geología y Minería, 1998, La Habana Centro Nacional de Inf. Geológica, p. 274-276. ISBN: 959-7117-02-9

Cruz Toledo R., Gomez Herrera J., Rodríguez Morán O., Mejias Rodríguez L., Rey Palli R. Efectividad de los métodos geomorfológicos en la actividad petrolera. En: IV Congreso de Geol. Y Minería, 2001. ISBN 959 – 7117 – 10 – X.

Cruz Toledo Ramón, Fariñas Carlos, Rodríguez Osvaldo, Pérez Yusneurys, Geomorfología Marina .En: Evaluacion de Leads y prospectos. Proyecto 2228, 2004. En: archivo Ceinpet. La Habana.

Cruz Toledo Ramón, Sosa Meizoso Carlos, Rodríguez Morán Osvaldo, Tenreyro Pérez Rafael. La geomorfología como parte del complejo de métodos de exploración petrolera utilizados en la provincia de Pinar del Río. Memorias I, Congreso de Geología y Minería, 1998. p. 165. ISBN: 959-7117-01-0

Echevarria Rodríguez Gustavo, et al, 2001 Evaluación de Leads para la Exploración. Etapa 9. Informe sobre prospectos y Objetivos preparados para la Exploración, bloques, 5, 8, 11 y 19. Archivo de petróleo. Ceinpet.

José Álvarez Castro, Cruz Toledo Ramon. “Evaluación de Leads y Prospectos para la exploración petrolera en los bloques 6; 7; 8; 9; 10; 14; 15; 16; 17. En: Proyecto 2132 año 1995 archivo técnico Ceinpet.

Linares, E.. Manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos y aguas sulfurosas en Cuba: Relaciones con Unidades Tectonoestratigráficas y Yacimientos Gasopetrolíferos: Minería y Geología 1999. Vol. XVI N0.2 pág. 39-45

Rosello E. A. 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: Una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geodinámicas. Asociación Geológica Argentina. Serie D. Publicación Especial. N° 5 19 – 43 (2001).

Tenreyro Rafael, Cruz Ramón, Fariñas Carlos, et al. 1997. Neotectonica y tectónica postorogénica del archipiélago cubano. Aspectos relacionados con el potencial y la exploración de HC. Ceinpet Archivo E – 257.

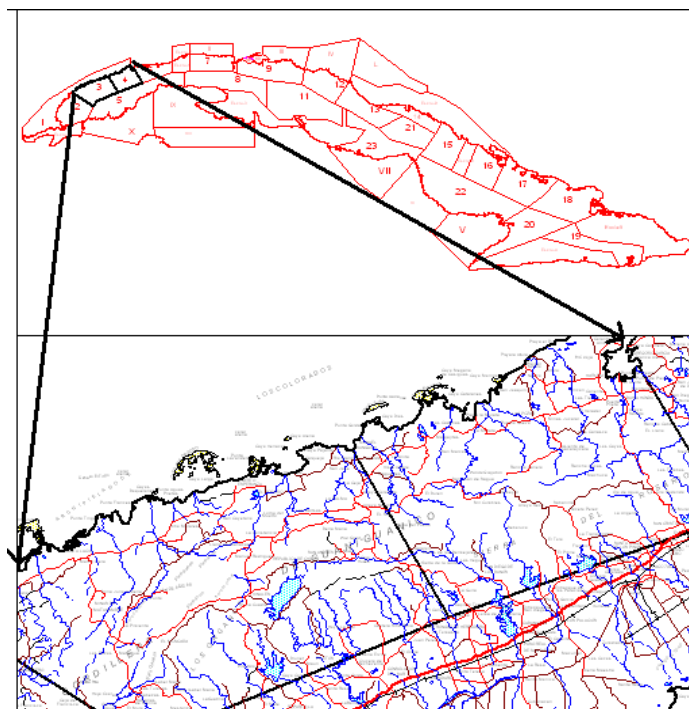


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Provincia Pinar del Río, Cuba.

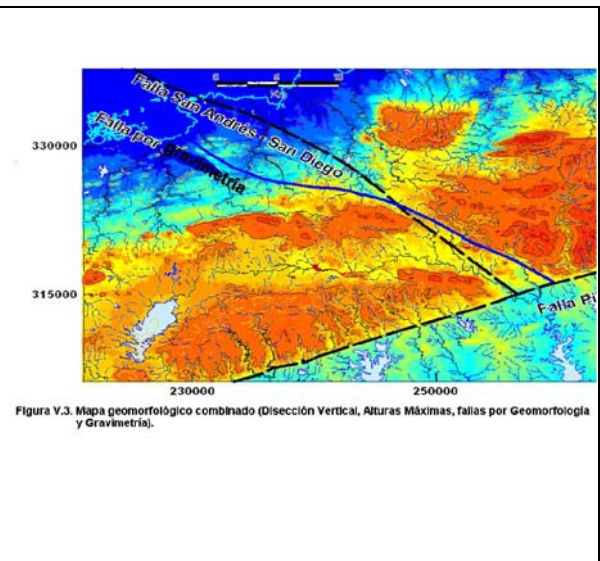
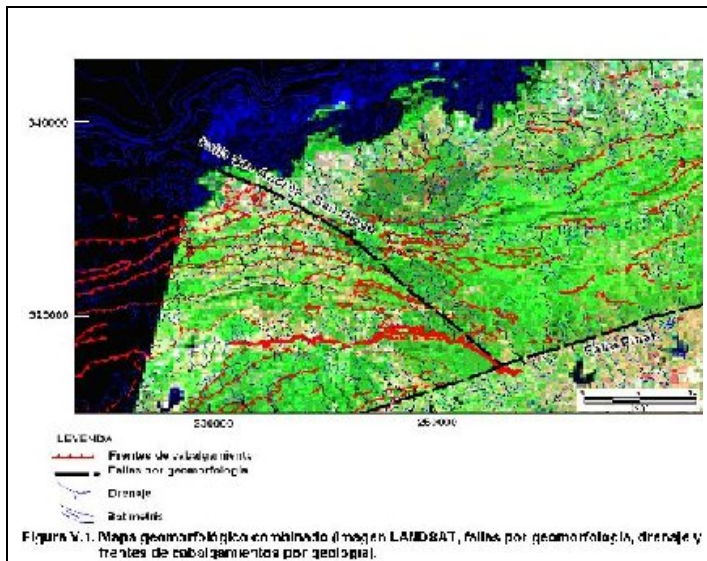


Figura 2. Mapa geomorfológico-imagen landsat

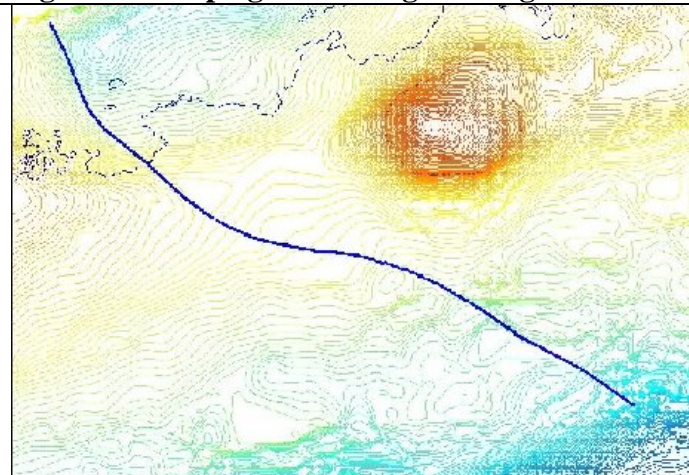


Figura 4. Mapa anomalías Bouguer

Figura 3. Mapa geomorfológico

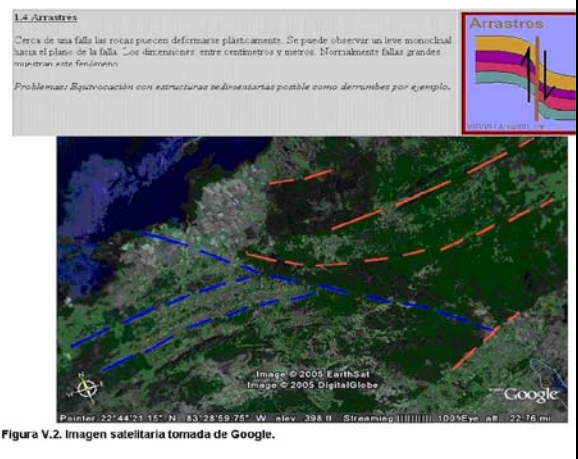


Figura 5. Esquema de Imágenes Google

