

**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO  
“HNOS. SAÍZ MONTES DE OCA”**

**TITULO: “EFECTIVIDAD DE LOS METODOS GEOMORFOLOGICOS  
EN LA BUSQUEDA DE PETROLEO Y GAS DESDE LA REGION DE  
BIJABOS HASTA PINA”.**

*Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias Geológicas*

*(Mención Geología Petrolera)*

**Autor: Lic. Ramón Cruz Toledo  
Tutor: Dr. José Álvarez Castro  
Tutor: Dr. Carlos Cofiño Arada**

Ciudad de La Habana

2008

## AGRADECIMIENTOS

Muy agradecido con mis colegas de la actividad de Exploración de Petróleo que con su ayuda y sugerencias, me permitieron hacer un trabajo mejor terminado.

Tengo que reconocer que trabajamos con un colectivo de compañeros muy valiosos que nunca tienen una justificación para no colaborar y que en este ambiente de desarrollo técnico, con gran humildad, hemos laborado.

Comenzaría el agradecimiento a los que han hecho posible que en estos años de trabajo pueda aplicar mis experiencias en la especialidad, en primer lugar a Silvia Valladares que fue mi tutora, cuando mi graduación de técnico superior en mi primer trabajo geomorfológico, a mi tutor hoy Dr. José Álvarez Castro, por poder demostrar, para el territorio nacional la eficacia del método y desarrollar una metodología para la búsqueda de petróleo, al Dr. Jorge Sánchez que me dio la posibilidad de extrapolar estas experiencias en tierra hacia costa afuera en trabajos en la zona exclusiva del Golfo de México.

A líderes de proyectos como: MSc. Roberto Otero, Dra. Luisa Díaz, Dr. Gustavo Echevarría, Dr. Rafael Tenreyro, Ing. Carlos Fariñas, Dr. Evelio Linares, MSc. Carlos Sosa, Dr. Juan Guillermo López e Ing. Yurisneurys Pérez por permitirme aplicar la Geomorfología.

Al Dr. Manuel Marrero por todas las muestras de aliento constante en la Aplicación de la Geomorfología.

Este justo reconocimiento es necesario ya que sin ellos no hubiese podido ver materializadas mis aspiraciones como especialista en esta rama.

Agradecer además a todos los profesores que fortalecieron nuestros conocimientos y los que trabajaron por la organización, especialmente la dirección, Dr. José Orlando López que junto a otros que coordinaron la maestría por el CEINPET.

A los profesores de Pinar del Río, que a pesar de las dificultades lograron los objetivos planteados.

A mi tutor Dr. Carlos Cofiño por la Universidad de Pinar del Río, por estimularme y apoyarme en la Tesis.

Al Dr. José Francisco Lastra por su dedicación y a Dr. Dámaso Cáceres, por formarme de profesor en la SUM, en las asignaturas de Geografía y Metodología de la Investigación, esta última por las enseñanzas recibidas en asignaturas impartidas por el...

Mi agradecimiento a los especialistas de Majagua por la confianza.

Agradecimiento a amigos y colegas Alina, Lorenza, Loeche, Osvaldo, Rosita, Olga Pascual, Maritza Rodríguez, Nora, Ignacio, Segura, en general a todos mis compañeros y a mi linda familia.

**Dedico este trabajo de tesis  
a mi anciana madre que sanará con esta alegría y  
a mi hijo que físicamente no está, pero vive dentro de mí  
y hoy estará mucho más orgulloso de su padre.**

## INDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCION	9
Objetivo General.	10
CAPITULO I. ANTECEDENTES Y DESARROLLO DE LOS MÉTODOS GEOMORFOLÓGICOS EN LA BÚSQUEDA DE PETRÓLEO Y GAS	12
CAPITULO I. Antecedentes y desarrollo de los métodos geomorfológicos en la búsqueda de petróleo y gas	13
CAPITULO II. Algunos Elementos de la Geología del Petróleo.	21
II.1. Estudio geomorfológico.	21
II.2. Estratigrafía.	22
II.3. Geoquímica de los hidrocarburos.	27
II.3.1 Rocas Madres.	28
II.3.2 Evolución Geológica.	28
II.3.3. Petróleos.	28
II.3.4 Afectación por Biodegradación.	29
II.4 ROCAS RESERVORIOS Y SELLOS.	29
II.4.1 Rocas Reservorios.	29
II.4.2 Fracturados.	30
II.4.3 Fracturados – Porosos.	30
II.4.4 Estudio de los Sellos.	30
CAPITULO III. Análisis Geólogo-Geomorfológico-Estructural-Regional y su relación con la Geofísica.	32
III.1 Geomorfología Regional.	32
III.1.1 Materiales y Métodos.	33
III.1.2 Teoría de la Cizalla Simple (Simple Shear) y Tectónica Postorogénica.	34
III.2. Geomorfología Regional Escala 1:250000.	35
III.2.1. Método Cualitativo del Drenaje y la Interacción con la Tectónica Transcurrente.	37
III.3 Geomorfología Regional Escala 1:50000.	40

Introducción	40
III.3.1. Análisis Regional de Anomalías por Geofísica y Geomorfología.	40
III.3.1.1 Zona de Anomalía Jatibonico	41
III.3.1.2. Zona de Anomalía La Rosa.	42
III.3.1.3. Zona de Anomalía Pina.	42
III.3.1.4. Zona de Anomalía Cristales.	44
III.4 Estructuración Geomorfológica.	45
III.5 Análisis de todas las elevaciones detectadas por Sísmica.	50
CAPITULO IV Estudio Geomorfológico–Estructural y su relación con la Fractura determinada en Pozos de Petróleo y trabajos de Campo en el área Pina–Brujo.	59
IV.1. Características del Reservorio.	60
IV.2. ANÁLISIS Geomorfológico Estructural de Detalle.	62
IV.2.1. Métodos Geomorfológicos Utilizados.	62
IV.2.2. Trabajos Geólogo-Geomorfológicos de Campo.	65
IV.3. Estudio de la Facturación en núcleos y Secciones Delgadas.	66
IV.3.1. Fracturas y aspectos relacionados.	66
IV.3.2. Nomenclatura y definiciones utilizadas.	66
IV.3.3 Generaciones de las fracturas. Distribución areal de las mismas.	67
IV.3.4. Densidad de fracturas, aberturas y distancia entre fracturas.	69
IV.3.5. Tipos de reservorios según fracturas.	70
IV.4. Relación entre las microfracturas observadas en núcleos y macrofracturas en superficies.	71
CONCLUSIONES.	74
RECOMENDACIONES.	76
BIBLIOGRAFIA	78

## RESUMEN

En las investigaciones geomorfológicas de forma interdisciplinaria se comprueba la eficacia del método en la determinación de estructuras que puedan constituir objetivos o prospectos para petróleo. Este resultado se logra a partir de la interpretación cartográfica: el sistema de drenaje como un método cualitativo que expresa patrones que se delimitan como zonas anómalas y que responden a las estructuras geológicas y orienta a posibles vías de migración y trampas.

La morfología de las mismas se confirma con los principios teóricos de Riedel y tectónica de cizalla. Estas nuevas condiciones dan un viraje a la concepción de búsqueda de petróleo en el área de estudio y la posible aplicación en otros países que presenten condiciones geológicas similares.

En el área tipo desde la estructura patrón Pina se identifican características similares hacia la dirección noroeste (estructura Alfonso) que puede significar otra zona favorable para la búsqueda de petróleo.

Se determina el bloque principal desde el punto de vista geomorfológico que incluye la mayor producción de petróleo que se corresponde con la anomalía geofísica y que finalmente en el análisis de detalle los lineamientos se relacionan con la fractura detectada por núcleo en los pozos perforados y los registros FMI.

## SUMMARY

In the geomorphological investigations in an interdisciplinary way it is proven the effectiveness of the method in the determination of structures that they can constitute objectives or prospect for oil. This result is achieved starting from the cartographic interpretation: The drainage system like a qualitative method that expressed patterns which are defined as anomalous areas and that they respond to the geologic structures and it guides to possible migration roads and traps.

The morphology of the same ones you confirms with the Readel's theoretical principles and tectonic of shears. These new conditions give a new methodology to the conception in new study area in countries with similar geology at the Pina area use as a model we found similar NW structures Alfonso. We managed the map the main geomorphologic block with height oil reserves and the corresponding geophysical anomaly and factures know from cores and FMI log.

## INTRODUCCION

El área comprendida en la tesis abarca la parte centro – occidental del bloque 21, donde se encuentra la mayor cantidad de yacimientos de la denominada Cuenca Central de Cuba.

Esta zona ha sido objeto de estudio desde los años 50 cuando se descubrió el yacimiento Jatibonico y hasta la fecha , en que se han descubierto otros yacimientos como Cristales y más recientemente, Pina y el área Brujo, también existen localidades con entrada de petróleo como Alfonso y Mamonal. Por esto tanto CUPET como compañías extranjeras Premier y Sherritt trabajaron en la zona en la modalidad de contrato a riesgo y producción compartida.

Esta área cuenta con gran cantidad de pozos perforados y estudios geólogo - geofísicos de diferentes magnitudes y calidad. En la década de 90 y hasta la fecha se ha introducido la aplicación de los estudios geomorfológicos en proyectos del CEINPET y CUPET como el de Evaluación de Leads para la Exploración con buenos resultados.

La necesidad de incrementar la producción de petróleo medio a ligero en los próximos años exige que la Empresa de CUPET, radicada en Majagua, ejecute la perforación de pozos por medios propios en nuevas estructuras que conlleven al descubrimiento de nuevos yacimientos.

Por todo lo anterior se decidió realizar nuevos estudios para la búsqueda de nuevos prospectos, este trabajo de tesis será uno más de los trabajos que se vinculan a este propósito a petición de la empresa de Majagua y como parte del proyecto 6005 liderado por Carlos Sosa, año 2008.

Con la ejecución de este trabajo se pretende definir las áreas donde se orientan los mejores factores del sistema petrolero que coadyuven a un menor riesgo exploratorio, o sea, definir las posibles vías de migración, posibles trampas y por lo tanto la ubicación de las estructuras más precisas y seguras, aún en los sectores que no exista la sísmica. La geomorfología como método alternativo de búsqueda orienta sobre estos objetivos con los resultados obtenidos en trabajos anteriores y con los antecedentes de criterios especializados, como el que Roberto Aguilera expresaba durante la asesoría al trabajo en Pina, 1998 que la geomorfología puede convertirse en un método de búsqueda, Manuel Marrero afirma estas ideas en el evento de Geofísica 2002.

Partiendo de estas premisas esta tesis centra su objetivo en demostrar la importancia de la aplicación de los métodos geomorfológicos y su interrelación con otras disciplinas para la evaluación de conjunto con los sistemas petroleros.

De esta forma nuestro problema científico objeto de esta investigación, objetivos e hipótesis son las siguientes:

### **Problema Científico.**

Existen aún dificultades con los métodos clásicos para determinar las áreas perspectivas que puedan constituir yacimientos de Petróleo.

¿Como llevar a vías de hecho la aplicación de los métodos alternativos propuestos para la disminución de los riesgos en la Exploración Petrolera?

### **Objeto de Estudio**

Estructuras geológicas en el subsuelo con expresión en el relieve en el área Bijabo - Pina.

Preguntas de investigación científica.

¿Cómo determinar las anomalías geomorfológicas?

¿Como determinar las posibles vías de migración y trampas de Petróleo?

### **Objetivo General.**

Determinar la ubicación estructural de las anomalías Geomorfologicas y su relación con la Geofísica..

### **Objetivo Específico.**

Identificar desde el punto de vista geomorfológico lineamientos que se relacionen con las posibles vías de migración y posibles trampas en la búsqueda de objetivos petroleros.

Determinar todos los sistemas de fracturas y vincularlos con trabajos geológicos e información de pozos.

**Hipótesis.**

Si las estructuras del subsuelo se reflejan en el relieve, entonces, mediante la interpretación cartográfica (elaborando sistemas de drenaje), se pueden identificar anomalías geomorfológicas, que de ser corroborada con los métodos geólogo-geofísicos, estaremos en presencia de un objetivo o prospecto de interés petrolero.

## **CAPITULO I. ANTECEDENTES Y DESARROLLO DE LOS MÉTODOS GEOMORFOLÓGICOS EN LA BÚSQUEDA DE PETRÓLEO Y GAS.**

“La naturaleza inspira, cura, consuela, fortalece y prepara para la virtud al hombre, y el hombre no se halla completo ni se revela a sí mismo, ni ve lo invisible, sino en su íntima relación con la naturaleza”.

José Martí y Pérez

## **CAPITULO I. Antecedentes y desarrollo de los métodos geomorfológicos en la búsqueda de petróleo y gas.**

La Geomorfología es la ciencia que se ocupa del estudio de las irregularidades de la superficie de la tierra; (relieve terrestre). El interés por el relieve surge con el propio hombre. La lucha del hombre primitivo por la subsistencia. En lo que respecta a, estudio sobre relieve resalta el de Avicena, filósofo y médico árabe (980-37NE) quién clasificó las montañas por su origen en dos grupos, la producida por ascenso de la superficie terrestre y las que surgen por la excavación realizada por las aguas escorrentía y el viento sobre rocas más débiles, también concibió la idea sobre el lento trabajo erosivo durante largos periodos de tiempo. En las últimas tres décadas del siglo XIX aparecen los primeros libros de texto con un enfoque Geomorfológico: La obra de Peschel publicada en 1869, la de von Richthofen en 1886, de mayor éxito que el anterior, y el libro de A Penck, en 1894, donde se brinda un enfoque genético de las formas del relieve. El término fue utilizado por primera vez a finales del siglo XIX (unos lo atribuyen a Mc Gee en 1888, otros a A. Keith en 1894), pero su uso no se generalizó hasta los años 30 del siglo XX.

En 1924 fue publicado el libro " El Análisis Morfológico " del geólogo alemán Walter Penck quien con su trabajo fue considerado junto a Davis como autores de la Geomorfología como ciencia, quienes establecieron las bases teóricas de la ciencia de relieve y su aparición como una ciencia independiente con principios y métodos propios y es precisamente, a partir de la década del 30 del siglo XX cuando se generaliza el uso del término Geomorfología para designar a la ciencia de relieve (Seco, 2004).

En los inicios del surgimiento de la geomorfología como ciencia independiente, hubo investigadores que realizaron trabajos aplicados a ciertas tareas de la actividad económica. Trabajos Aplicados a la búsqueda de minerales a partir del estudio de las propiedades del relieve aparecen desde la década de los 30 en los EEUU. (Woolnough, 1930; Jenkins, 1935, Seco, 2004).

Es a partir de la 2da Guerra mundial en que se produce lo que se conoce como el "boom" de los métodos cuantitativos. El desarrollo alcanzado por la cartografía y el consiguiente mejoramiento de los mapas topográficos da origen a la Morfometría (esquemas morfométricos).

En Europa ya existía una cantidad considerable de conocimientos sobre relieve y continuaba su desarrollo por parte de geólogos y geógrafos principalmente. Se reconocía entonces a la Geología Fisiográfica como una nueva rama de la Geología dedicada al estudio del relieve, pero no era una ciencia independiente aún. El establecimiento de la ciencia de relieve se logra a principios del siglo XX, y a esto está vinculada la obra de varios científicos, especialmente la del geógrafo norteamericano William Morris Davis (1850-1934) el cual fue una de las figuras más importantes que ha existido en el campo de los estudios sobre relieve, quien elaboró una teoría que explicaba el desarrollo del relieve de modo progresivo y secuencial.

Davis consideró que el desarrollo del relieve pasaba por tres etapas o estadios: juventud, madurez y vejez, cada uno caracterizado por una morfología y procesos propios de esas etapas. El prestigio de la teoría Davisiana fue tal, que todas las formas de relieve se interpretaron siguiendo los patrones del ciclo de erosión, incluyendo casos en los que la aplicación de dicho modelo era difícil de sustentar. Los factores principales formadores del relieve son la Geología y el Clima. La Morfología Climática (Aubouin J., 1980)

Desde mediados del siglo XX la Geomorfología continua avanzando como una ciencia independiente integrada por varias ramas, cada una de las cuales se ocupa de aspectos diferentes del relieve pero muy vinculadas entre si.

Las más importantes ramas de la Geomorfología en la actualidad son las siguientes: Geomorfología Estructural. Geomorfología Climática. Geomorfología Dinámica, Geomorfología Marina y Geomorfología Aplicada.

Esta última es una rama relativamente reciente surgida en Europa en la década de 1950, que se ocupa de aplicar los conocimientos geomorfológicos a la solución de problemas prácticos de la sociedad humana.

Un factor siempre existió y es la existencia de rocas madres y un oculto sistema petrolero que no revelaba la migración y entrapamiento. (Echevarria, G., 2008). Comunicación personal.

Al presentar a la Geomorfología como ciencia, se debe precisar su objeto de estudio; el relieve. El mismo se incluye en principio para las valoraciones en complejos de métodos no-convencionales de exploración (Rodríguez, O. 2008).

Nuestro planeta se dividió en 7 envolturas: Interior, Corteza, Pedósfera, Superficie, Criósfera y Atmósfera propuesto por J. Budell (en Fairbridge, 1970), más la Biósfera, La Geomorfología se ocupa de la 4ta envoltura, donde se desarrolla el relieve, la que constituye la epidermis de la Tierra que se extiende sobre los continentes y bajo los océanos y mares.

La Geomorfología se destacó como ciencia en los años 30 y en breve tiempo ha ocupado un lugar muy importante entre las histórico sociales (la misma se desarrolla dentro de los límites de la Geografía Física y de la Geología). La Geomorfología ha penetrado en la práctica geológica. Un estudio geomorfológico previo a cualquier investigación en la búsqueda de minerales o petróleo es una manera eficaz para obtener buenos resultados. (Sidorenko A. B., 1971), lo que la convierte en un principio para muchos trabajos investigativos como método alternativo que orienta a la búsqueda de estructuras favorables que puedan contener petróleo y/o gas. Enfoques del tutor José Álvarez Castro ratificados en el 2008 (comunicación personal).

Cuba fue objeto de interés por geólogos y geógrafos de Europa y Norte América desde el siglo XIX debido a la gran presencia de manifestaciones de hidrocarburos y pozos para agua, iniciándose la prospección con la perforación del pozo Thomas Bess en el año 1864, la que culmina con el descubrimiento del yacimiento Guanabo en 1968 en que se aplicaron nuevos métodos de prospección.

La constitución geológica de Cuba es compleja por estar formada por sobrecorrimientos de sedimentos, rocas metamórficas, rocas plutónicas discordancia y orogenia, lo que hizo que especialistas petroleros expresaran en aquellos tiempos (1957-1958) que: En Cuba no hay petróleo.

En la década de los 60 del siglo XX surge la idea de que el petróleo emigró por fallas y en su recorrido donde encontró sellos quedó entrampado. El método más expedito y económico a que se acudió fue la geomorfología, pues el estudio del drenaje de corrientes de aguas superficiales expresaron los desplazamientos del terreno, la divisoria de las aguas y las salidas al mar de ríos y arroyos.

En la década de los 70 especialistas soviéticos y cubanos, en el marco de los temas de Generalización Científica para Petróleo, realizaron algunos trabajos para la exploración, apoyados en criterios geomorfológicos (Shein, V. S. et al., 1975). Estos trabajos se ejecutaron con la finalidad de detectar y cartografiar morfoestructuras que respondían a

estructuras en profundidad capaces de contener petróleo y gas donde la red del drenaje jugó un gran papel dentro del complejo de métodos morfométricos.

El detectar fallas de desplazamiento horizontal en la costa norte de la Habana-Matanzas fue un elemento de mucha importancia para ubicar pozos exploratorios en el área que hoy denominamos Franja Norte de Crudos Pesados (F.N.C.P.). (Echevarria, G., 2008), comunicación personal.

“Breve nota explicativa para el esquema tectónico de las provincias La Habana, Matanzas, Las Villas, Camagüey y la parte norte de la provincia de Oriente”, (Lazarev, P., Logachov, V., S. Paz, P. Florido, E. Amador, 1972). Este trabajo separa complejos estructurales por su constitución tectónica a partir de datos morfológicos y realiza asociaciones litológicas de los mismos en el territorio.

Ya en los años 80 aparecen trabajos con resultados importantes a partir de la definición de las características geomorfológicas de cada región trabajada. Se comienza a separar sectores perspectivas en distintos órdenes y como orientación hacia la búsqueda se localizan sectores anómalos de la red fluvial, relacionados con movimientos neotectónicos que, como resultado confirman un esquema estructural - tectónico de bloque. Se señala en este periodo: “Introducción y Evaluación del Método de Geomorfología Detallada para la Prospección de Yacimientos de Hidrocarburos” (Barea, M. y Rodríguez, M., 1983).

En el informe de trabajo del pozo Gibara 1; Centro, 1984, de R. Rodríguez, J. O. López, R. Otero, G. Barceló, M. Barea y S. Valladares, se expresa que los elementos de relieve heredan las estructuras internas, lo cual se confirmó mediante la comparación con métodos gravimétricos y magnetométricos. Estudio Geomorfológico del área Cantel Camarioca, provincia de Matanzas, 1986 de los autores M. Barea y Nelda Fernández e Introducción y Evaluación del Método de Geomorfología Detallada para la Prospección de Yacimientos de Hidrocarburos en diferentes áreas, años 1987 y 1988 por los mismos autores los que continuaron confirmándose como métodos de apoyo de exploración, estableciendo estructuras y direcciones del agrietamiento en las áreas, así como determinando mediante el esquema estructuro – geomorfológico los bloques de mayor perspectivas Gasopetrolíferas. (Tenreyro, R., 1997).

En esta misma década, (Díaz, J. L., et. al. 1986), define conceptos de morfoestructuras y expone resultados en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba 1989. Sobre este significado, Gorielov, S. K. en 1972, dijo: “La estructura geológica expresada en el relieve...”

En 1988 se alcanza por los especialistas del Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo (CIDP) un alto grado de integración de la Geomorfología (en la detección de morfoestructuras de detalle, en este caso escala 1:10000), con otros métodos en el propio camino de la Exploración. Ese año se realiza el trabajo “Efectividad de los Métodos Geomorfológicos para la búsqueda de petróleo y gas en el sector noroccidental en la provincia de Matanzas (Cruz, R., Hernández, J., 1989), que se presentan los resultados en el Primer Congreso de Geología, del propio año, en el mismo se confeccionan esquemas morfométricos y de drenaje a escala 1: 10000 y se realiza un estudio morfotectónico en el que se proponen áreas perspectivas con orden de prioridad; los resultados obtenidos por la determinación de la fractura en el gavinete (interpretación cartográfica) y los trabajos geomorfológicos de campo tuvieron plena coincidencia. Se realizan trabajos de J. L. Díaz, 1989, referidos al relieve de Cuba, donde se habla sobre el papel morfoestructural importante, tanto, de los movimientos verticales como horizontales.

Por primera vez como se realiza un esquema Neotectónico de Cuba (González, E. 1989), se realizan además trabajos de Neotectónica y la plataforma Marina, Orbera, L. (1989), el cual plantea que después de finalizada la Orogenia del Eoceno Medio superior se produjeron desplazamientos horizontales en todo el territorio nacional. Realización del mapa Cosmogeológico C Capote C.; (1989), donde escribe sobre la existencia de lineamientos transcurrentes de dirección latitudinal y nororiental que afectan a los complejos orogénicos y preorogénicos y su relación con los mismos.

Mario Barea (1989), trabaja en la caracterización de las ofiolitas dentro del Terreno Zaza argumentando que la dirección principal para esta secuencia era NO - SE y que el área estaba afectada con dislocaciones tectónicas en esta misma dirección.

En estas décadas se desarrollaron la geomorfología y sus métodos como especialidad en la actividad petrolera realizada por M. Barea, el que efectuó investigaciones dirigidas a la exploración y búsqueda de petróleo.

En el trabajo “Recuperación Mejorada en el Yacimiento Pina y Caracterización del Reservorio” de Ramón Cruz, (1998) liderado por la Dra. Luisa Díaz y asesorado por el

Dr. Roberto Aguilera, en el que se comparan los resultados geomorfológicos con los trabajos geofísicos, fracturas por núcleo, Petrofísica, Geofísica y trabajos de campo obteniéndose buenos resultados para la modelación matemática en el yacimiento.

Se finaliza un enorme trabajo sobre la Neotectónica de Cuba (Tenreyro, R. y Cruz, R. 1998), realizando un análisis geólogo geomorfológico de la isla a partir del cual se confeccionó un mapa de estructuras geomorfológicas.

Desde 1999, en el proyecto 2132, "Evaluación de Lead para los bloques 6, 7, 9 y 10, liderado por el Dr. José Álvarez Castro, se materializa la aplicación de los métodos geomorfológicos a la búsqueda de petróleo, realizados en una escala 1:250000, durante 4 años, para prácticamente cubrir todo el territorio nacional. Este trabajo por su aporte significativo obtuvo el Premio Relevante de la Academia de Ciencia de Cuba. En este mismo proyecto se comienza un trabajo de Geomorfología Aplicada en la Franja Norte Crudos Pesados que abarcó desde el Mariel hasta Corralillo y de Este a Oeste por la dirección norte sur 4 Km. costa afuera y hasta 10 Km. al sur.

Se determinaron dos direcciones fundamentales, una NW-SE en la etapa orogénica que se debe a la formación de los plegamientos y que constituye las trampas actuales y otra dirección NE-SW que se asocia al post orogénico y que debe estar relacionada a las vías de migración. Es entonces que a partir de esta fecha se comienza a aplicar esta metodología Ramón Cruz, 1999 que, integrada como una morfoestructura, en su concepto más amplio: el subsuelo reflejado en superficie, permitió identificar los distintos movimientos, plegamientos y migraciones para el estudio de toda Cuba desde el Proyecto 2132.

El objetivo de trabajo no se ha limitado al estudio de las tierras emergidas, sino que también, se ha incursionado en el estudio de las superficies sumergidas oceánicas mediante la interpretación Batimétrica y es desde el proyecto 2724, liderado por el Dr. Jorge Sánchez Arango que, Ramón Cruz, 2007, ha dirigido tres trabajos especiales, que han aportado resultados muy novedosos a las investigaciones Geomorfológicas Aplicadas, dirigiendo esta metodología hacia la zonas marinas en el estudio de la Zona Exclusiva del Golfo de México.

Los sistemas de drenaje fueron determinantes para la interpretación de los trabajos realizados en esta etapa (Cruz, R., 2005).

Resumiendo en tres etapas la aplicación de la Geomorfología en la actividad petrolera cubana podemos decir que:

- ? A partir de 1975 se desarrolla la Geomorfología, con sus métodos morfométricos y trabajos de campo, como especialidad en la actividad petrolera, dirigido por el Lic. Mario Barea, realizando varios trabajos para búsqueda y exploración.
- ? Ya en los año 80, aparecen trabajos con resultados importantes a partir de la definición de las características geomorfológicas de cada región trabajada, se comienzan a separar sectores perspectivas en distintos órdenes y como aspecto orientativo de búsqueda se localizan sectores anómalos de la red fluvial, relacionados con movimientos neotectónicos que, como resultado confirman un esquema estructural y tectónico de bloques.
- ? Desde la década de los 90 hasta el presente se ha trabajado con la Geomorfología Aplicada en todo el territorio nacional, obteniéndose resultados alentadores en diferentes proyectos de investigación, sobre la base de una metodología de análisis geomorfológico aplicada a la búsqueda de petróleo diseñada por Ramón Cruz, 1998.

**CAPITULO II. ALGUNOS ELEMENTOS DE LA GEOLOGÍA DEL  
PETRÓLEO.**

## **CAPITULO II. Algunos Elementos de la Geología del Petróleo.**

### **II.1. Estudio geomorfológico.**

En los mapas de geología de superficie se aprecian las secuencias del margen continental, ofiolitas, arco volcánico y rocas postorogénicas, área que presenta la mejor aflorabilidad de las secuencias del cinturón plegado y cabalgado del territorio nacional de Cuba, Fig.III.1.2. El área se halla longitudinalmente atravesada por una falla que ha sido corroborada por los datos geológicos y geofísicos y que se asocia en su recorrido a hundimientos en zonas de presa y lineamientos del drenaje, Fig. III.1.3. El lineamiento hacia el norte, dirigido hacia la Laguna de la Leche, se asocia a los domos salinos; en los trabajos realizados por José Álvarez Castro se identifica un lineamiento que separa esta secuencia en la dirección NW y hacia el sur otro lineamiento que en su recorrido se asocia a la presa Lebrige y hacia la presa de Zaza. Este lineamiento genera una falla de intenso gradiente y se corrobora por la Geología y Geofísica (Pérez, C., 1989, en atlas nuevo de Cuba) Y se observan estos lineamientos: uno NW (relacionado con el rumbo cubano) y otro de dirección NE (Falla de la Trocha) Fig.III.1.4. Este último, responsable de la división en dos grandes áreas: una oriental y otra occidental con características geológicas muy diferentes. Esta última propiamente el área de los yacimientos, donde se desarrolla el estudio.

Los procesos ocurridos en el Eoceno reciente en su mayor parte se asocian a procesos erosivos denudativos de intensidades variables con fuerte desarrollo del Carso. Toda la cuenca se representa como una llanura de bloques escalonados en monoclinales muy fracturados. La mayor parte de la cuenca está representada por densidades del orden de 0.5-1 Km. /km<sup>2</sup>. La casi totalidad de la cuenca presenta ángulos de pendientes entre los valores de 0.5° a 1°.

En general el drenaje de la región está condicionado por la tectónica transcurrente donde la parte más occidental se presenta con mayor intensidad, Fig.IV.5 con una expresión muy bien delimitada en la dirección de los esfuerzos principales (NE). En esta escala se observa el desmembramiento del relieve según la topografía del terreno atendiendo a la distribución altitudinal.

En la región de estudio las mayores alturas se encuentran en la parte septentrional y alcanzan hasta 308 m en la loma del Cacahual, disminuyendo gradualmente en todas

las direcciones. Se observan los diferentes niveles de desplazamientos altitudinales con las estructuras en una dirección fundamental NW –SW (Nuevo Atlas de Cuba, 1989).

## **II.2. Estratigrafía.**

Las rocas más profundas del margen continental no se han observado en los pozos, solamente en la superficie, en áreas aledañas.

Para el análisis estructural estudiamos un área regional de Cuba Central a escala 1:50000 en que se ubica tectónicamente el área de los yacimientos objeto de estudio desde Bijabo hasta Pina, ubicada en la provincia de Ciego de Ávila. En ella se encuentran dos grupos prototectónicos y están evidenciados por las perforaciones de pozos y por superficie.

El primer grupo corresponde al Arco Volcánico del Cretácico y a la Asociación Ofiolítica, ambos dentro del Terreno Zaza. El otro grupo fue llamado antiguamente “Cuenca Superpuesta”, considerada en la actualidad Cuenca de tipo “Piggy Back” del Cretácico Superior al Paleógeno; y cubriendo esta secuencia encontramos los sedimentos de cobertura Postorogénico del Eoceno Medio - Tardío al Reciente.

Se consideran más importantes las secuencias del Arco Volcánico, por su vinculación con los yacimientos de petróleo de Cuba Central y además, por sus implicaciones e importancia regional. Los sedimentos sinorogénicos también son de interés: en primer lugar, el sello regional de los yacimientos y en segundo por presentar acumulaciones de petróleo.

Dentro de la Cuenca Central existen tres áreas importantes que son los yacimientos Jatibonico, Cristales y Pina. A continuación se explicará muy sintéticamente la estratigrafía de la Cuenca Central.

### **TERRENO ZAZA (Arco Volcánico del Cretácico).**

En Cuba los arcos volcánicos surgen en el medio marino y generalmente no se conservan, desarrollándose una secuencia de rocas vulcanoclásticas bien estratificadas, concordantes con las lavas, así como intercalaciones de rocas sedimentarias, donde las corrientes turbidíticas tienen un papel esencial; inclusive, en las etapas finales del vulcanismo pueden diferenciarse arrecifes. Las alteraciones a rocas verdes (clorotizadas, anfibotizadas, epidotizadas) son también una característica originada por la interacción entre el material volcánico y el agua de mar calentada.

En las etapas maduras de la formación del arco insular, pensamos que su desarrollo fue submarino y con el crecimiento de las elevaciones volcánicas pudo alcanzarse, en casos aislados en el Cretácico, el vulcanismo subaéreo. El resultado es la formación de estratos volcánicos de estructura compleja. Se debe destacar que la presencia de rocas estratificadas bien seleccionadas puede ocurrir, simultáneamente con la actividad volcánica y no se debe a variaciones en la ubicación paleogeográfica. También es evidente que en las diferentes etapas del arco insular, con el alejamiento progresivo de la zona volcánica axial disminuye la presencia del material vulcanógeno-sedimentario a sedimentos puros.

En las etapas de desarrollo del arco insular se distinguen dos complejos:

- ? Vulcanógeno – sedimentario.
- ? Efusivos.

#### COMPLEJO EFUSIVO:

Representado por rocas efusivas de composición basáltica y andesito - basáltica muy cataclastizadas tobas y subordinadamente intercalaciones de calizas y arcillas, que constituyen las rocas más antiguas del arco volcánico de edad Aptiano - Albiano Inferior descubierto hasta el presente. Su espesor puede sobrepasar los 2000 m. En el pozo Jat.-78 sobrepasó por más de 2000 m. esta secuencia. En el Yacimiento Pina, su espesor promedio es de 100 m (solamente el pozo Pina-3 pudo cortar un espesor considerable de alrededor de los 1000 m). En el Yacimiento Cristales aún estas rocas no han sido descubiertas.

En el Terreno Zaza en la Cuenca Central se encuentran rocas del complejo ofiolítico de la corteza oceánica. Esto se debe a que existen altos estructurales en la Cuenca y las han cortado los pozos. Ejemplo: El pozo Jatibonico-78 que contiene serpentinita y diabasas con un espesor de alrededor de 300 m. y el pozo la Rosa-2 cortó serpentinita y gabros con espesores de 300 m.

#### COMPLEJO VULCANÓGENO-SEDIMENTARIO

Yacimiento Pina:

La parte inferior del corte (fase explosiva) se compone de tobas de distintos tipos predominando una granulometría gruesa con intercalaciones de calizas de edad

Albiano-Turoniano, el espesor puede sobrepasar los 600 m. Este tipo de secuencia de granulometría gruesa se puede apreciar bien en el Yacimiento Pina; en los otros Yacimientos de la Cuenca es muy difícil de determinar. Esta facie explosiva tiene una gran variabilidad facial, tanto lateral como vertical, aunque seguir un horizonte entre las tobas es sumamente difícil por su variabilidad, para ello es necesario hacer un trabajo a nivel de detalle y aún así resulta difícil.

La parte superior del corte (fase superior explosiva) se compone por tobas de composición andesítica y subordinadamente dacítica con granulometría fina, intercaladas con margas, argilitas y areniscas polimícticas y muy raramente tobas de granulometría gruesa. Dentro de esta secuencia se encontró la biozona de Globotruncanita calcarata que define la terminación del vulcanismo en la Cuenca Central en el Campaniano Superior. Esta secuencia yace discordante sobre la secuencia inferior. Su espesor puede alcanzar los 400 m. Este corte está cubierto discordantemente por los sedimentos sinorogénicos

Algunas observaciones son de gran interés. Tanto las tobas finas como las tobas gruesas contienen un por ciento de vidrio volcánico además de otros minerales secundarios; el vidrio volcánico se altera rápidamente con el contacto del agua y se transforma en arcilla lo que trae como consecuencia que las tobas se alteran y son más friables y pierdan densidad, para los sísmicos es verdaderamente difícil buscar un reflector entre las tobas y los sedimentos sinorogénicos. También al hacerse una interpretación geofísica de pozos es difícil definir el tope tobas por el valor tan bajo que representan las curvas de los registros, esto mismo puede ocurrir con las tobas gruesas, que los valores de las curvas son bajos y en algunos casos es tan alta la alteración que las tobas tienen aspectos conglomerático y solamente pueden definirse por petrografía, por eso se recomienda trabajar en equipo o tomar informaciones adecuadas (litológica paleontológica, etc.) para hacer una interpretación mas exacta. En los Yacimientos de Jatibonico y Cristales las intercalaciones sedimentarias no son tan abundantes como en Pina. En la Cuenca Central, el Yacimiento Pina, es el más estudiado y además por su contenido fosilífero es el que se escogió como patrón para una explicación más exhaustiva de las tobas.

### CUENCA TIPO PIGGY BACK

Se incluyen los sedimentos sinorogénicos de edad Campaniano Tardío hasta el Eoceno Medio Temprano desarrollándose varios ciclos de sedimentación. Todo esto ocurre en la etapa de compresión formando pliegues, discordancias, dislocaciones y distintos niveles de erosión. Está representado litológicamente la misma por areniscas, conglomerados polimícticos, margas, calizas y arcillas, todos estos sedimentos tienen un alto contenido de elementos vulcanógenos redepositados. En la base del sinorogénico de los Yacimientos de Cristales y Pina se encuentran conglomerados de composición vulcanógena y cuando no se cuentan con los elementos primarios (núcleos, litología, paleontología etc.) y se hacen solamente interpretaciones geofísicas, se puede llegar al error de confundir estas rocas con las tobas.

### YACIMIENTO PINA:

Sedimentos del Cretácico Superior Maestrichtiano. Estos sedimentos corresponden a la parte basal del sinorogénico y están compuestos por margas, arcillas, areniscas polimícticas y en menor proporción intercaladas entre ellas, conglomerados polimícticos. Estos sedimentos representan al sello del Yacimiento, tiene un espesor promedio de 50 m. Sobreyace discordantemente a las rocas del Arco Volcánico. Tiene un paleoambiente de aguas batiales. Los sedimentos del Paleoceno están ausentes.

Los sedimentos del Eoceno Inferior tienen muchas semejanzas a los de la secuencia del Maestrichtiano, lo que permite decir que tuvo la misma zona de aporte y el mismo carácter de sedimentación. Están compuestos principalmente por margas, argilitas y algunas intercalaciones de calizas y conglomerados. Estos sedimentos representan el sello más importante del Yacimiento. Su espesor no sobrepasa los 150 m. Yacen discordantemente sobre el Maestrichtiano. Tanto los sedimentos de la secuencia del Maestrichtiano como del Eoceno Inferior representan el sello regional de la Cuenca Central.

Hacia la zona donde están ubicados los pozos Pina-37 y P-61, se encuentran unos conglomerados polimícticos del Eoceno Inferior, por ejemplo como ocurre en el pozo Pina-37 son reservorios de petróleo. Esto se debe a que por debajo de estos conglomerados está ausente el Maestrichtiano y al no existir también los sedimentos finos del Eoceno Inferior, el petróleo de las tobas migra hacia estos conglomerados.

Sedimentos del Eoceno Medio-Temprano: concluye con la discordancia regional de los sedimentos sinorogénicos denominada Orogenia Cubana. Estos depósitos están representados por arenisca polimíctica, conglomerado y en menor proporción margas y arcillas. Tiene un espesor de alrededor de 200 m. El paleoambiente es Batial-Nerítico Externo.

#### YACIMIENTO CRISTALES:

Sedimentos del Campaniano-Maestrichtiano: Generalmente constituye un corte terrígeno - arcilloso, con un espesor promedio de 850 m. En algunos casos hay pozos que pueden sobrepasar el espesor de 1500 m. El corte está constituido por arenisca polimíctica, arenisca tobácea y conglomerado polimíctico. La parte arcillosa corresponde con arcilla y limolita. Tanto el contacto superior como el inferior son discordantes. El paleoambiente es Nerítico Externo-Batial. Hacia la zona norteña del Yacimiento se encuentran calizas organógenas del Maestrichtiano de tipo prearrecifal de 150 m. de espesor, estas calizas están vinculadas a reservorios de petróleo; en este Yacimiento existe una gran variabilidad en su composición terrígena desde conglomerados hasta elementos muy finos como las arcillas.

Los sedimentos del Paleoceno se comportan de manera errática en la Cuenca Central y esto se observa marcadamente en los Yacimientos Cristales y Pina. La ausencia de los mismos en los yacimientos, denota que durante el citado intervalo ocurrió un levantamiento en la correspondiente parte de la Cuenca, que impidió la acumulación de estos sedimentos, exceptuando en la zona donde está ubicado el pozo Cristales-12. La litología corresponde a arenisca polimíctica y en menor grado caliza.

Los sedimentos del Eoceno Inferior son terrígenos-arcillosos con algunas manifestaciones de carbonato y tiene un espesor promedio de 100 m. Su parte terrígena está compuesta por arenisca polimíctica, arcilla, limolita y conglomerado polimíctico. Los carbonatos son calizas de distintos tipos.

Los sedimentos del Eoceno Medio-Temprano son eminentemente terrígenos, representado por arenisca polimíctica, arenisca cuarzosa y arcósica, conglomerado polimíctico, arcilla y en menor proporción, caliza organógena y margas. El contacto superior es algo errático pues mucho de los topes son imprecisos por falta de litología y se han trazado por interpretaciones geofísicas.

#### YACIMIENTO JATIBONICO:

En este Yacimiento están ausentes los sedimentos del Cretácico y del Paleoceno.

Sedimentos del Eoceno Inferior: Están compuestos por intercalaciones de arenisca polimíctica, conglomerado polimíctico y marga. Tiene un espesor aproximado de 200 m. Los sedimentos del Eoceno Medio-Temprano corresponden a una litología terrígeno-carbonatada, la terrígena está representada por arenisca polimíctica, limolitas, conglomerado polimíctico y los carbonatos por caliza y marga. El espesor generalmente es de 200 m., aunque el Jatibonico Sur-1 tiene un espesor de más de 900 m. Estos sedimentos tienen un paleoambiente Nerítico-Batial.

En estos sedimentos sinorogénicos se pueden detectar fundamentalmente dos discordancias regionales, la del Eoceno Medio - Tardío y la del Maestrichtiano Inferior y la discordancia local del Paleoceno.

#### SEDIMENTOS POSTOROGENICOS:

Los sedimentos postorogénicos de edad Eoceno Medio - Tardío al Reciente, representan un corte carbonatado - terrígeno. Tradicionalmente estos depósitos en la Cuenca Central son de pobre recuperación en los pozos. En la zona noreste de la Cuenca el Postorogénico no sobrepasa por lo general el espesor de 400 m. Están presentes en todos los Yacimientos de la Cuenca Central. El Paleambiente de estos sedimentos es de tipo Nerítico.

### **II.3. Geoquímica de los hidrocarburos.**

En el área de la Cuenca Central no se ha podido estudiar las posibles rocas madres de cuenca depositadas en el margen continental que se supone yacen por debajo de las secuencias de la asociación ofiolítica. Sin embargo, su existencia se propone en los diferentes modelos geológicos confeccionados y probablemente constituyan las secuencias generadoras de los crudos presentes en los yacimientos descubiertos allí. La generación de petróleo y gas ocurre enteramente después de la orogenia. La geomorfología orienta sobre las posibles vías de migración y trampas de petróleo partiendo de este principio expuesto.

### II.3.1 Rocas Madres.

A partir de los estudios realizados a las rocas madres de Cuba se ha podido establecer que, el intervalo estratigráfico con mayores contenidos de materia orgánica y más alto potencial de generación de hidrocarburos es el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior Neocomiano bien representado y estudiado en las Unidad Tectónico-Estratigráfica (UTE) y responsable de la generación de muchos de los petróleos descubiertos hasta ahora.

### II.3.2 Evolución Geológica.

En el modelo de evolución geológica presentado por el Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet), (Tenreyro, R. et al. 1996), se exponen en forma muy simplificada algunas consideraciones, de las cuales se escogieron las siguientes:

- Apilamiento brusco de las secuencias del margen continental y del Terreno Zaza desde finales del Cretácico y hasta el Eoceno Medio, que alcanza más de 5 Km. de espesor siendo los hidrocarburos generados producto de este apilamiento, mayormente gaseosos y líquidos.
- Sedimentación de secuencias postorogénicas de edades que van del Eoceno Superior hasta el Reciente. En algunas áreas al centro y sur de la provincia ocurren levantamientos con la consecuente erosión de las secuencias de cuenca y del Terreno Zaza (Álvarez, J, 2000) que se evidencian por la Geomorfología en diferentes partes del área.

### II.3.3. Petróleos.

En el mapa de manifestaciones de petróleo en la Cuenca Central se muestra que en el área de estudio se han descubierto varios yacimientos de petróleo (Jatibonico, Cristales y Pina) y existen manifestaciones de petróleo en numerosos pozos (áreas de Brujos, La Rosa 4, Paraíso, Catalina y Reforma), así como también de aguas sulfurosas.

Relacionado con la calidad del crudo, en el área de la Cuenca Central, la familia II se ha encontrado en los yacimientos de Pina, Brujos, Jatibonico, y Catalina y la familia III en Cristales y se ha podido constatar la presencia de petróleos ligeros no afectados por biodegradación Ej. Petróleos Pina Sur 1 y Reforma 5. Los estudios realizados en estos petróleos indican un origen común para los mismos y sus características se

*Efectividad de los Métodos Geomorfológicos en la Búsqueda de Petróleo y Gas Desde la Región de Bijabos hasta Pina*

corresponden con la familia II de petróleos cubanos, definidas en trabajos previos por López Quintero, J. O. 1999 y Pascual Fernández, O., 2001. (López Quintero, J. O., 1999 "Regional Estudy of Crude Oils from Cuba").

#### **II.3.4 Afectación por Biodegradación.**

En estudios anteriores (Pascual, O., 1994) fue demostrado que a medida que aumenta el espesor y homogeneidad del sello, disminuye el nivel de biodegradación de los crudos y que a medida que aumenta el nivel de biodegradación de los crudos, aumenta el contenido de azufre, es por todo eso que en el yacimiento Pina, la principal causa de las variaciones en las propiedades de los crudos, la constituye la biodegradación.

El espesor del sello resulta un factor determinante en la conservación de los petróleos. Así, en el yacimiento, el espesor aumenta gradualmente del sur hacia el bloque central y parte noreste del mismo, en donde se encuentran los petróleos menos biodegradados, más ligeros, mientras que en la parte meridional se ubican los más pesados, más afectados por biodegradación.

Yacimiento Jatibonico.- Los petróleos generados en este yacimiento se encuentran biodegradados, sin embargo, a pesar de estar tan afectados por este fenómeno, los petróleos presentan valores de azufre bajos y medios.

### **II.4 ROCAS RESERVORIOS Y SELLOS.**

#### **II.4.1 Rocas Reservorios.**

Los reservorios dependen de la litología, estructura del espacio poral, fracturación (debido a los movimientos tectónicos) y a procesos secundarios que pueden mejorar o empeorar la cualidad de los mismos. En la Cuenca Central aparecen disímiles litologías, aunque las más abundantes son las rocas sedimentario-volcánicas y los reservorios son muy complejos presentando diferencias areales; no obstante de forma general se pueden dividir en dos grandes grupos:

#### **II.4.2 Fracturados.**

Se presentan en rocas densas, con muy baja porosidad de matriz; estas fracturas pueden estar parcial o totalmente selladas por calcita o zeolita y ocurren esencialmente las calizas, tobas gruesas y efusivos.

#### **II.4.3 Fracturados – Porosos.**

Estos tipos de reservorios se encuentran mezclados en las diferentes secuencias, aunque se puede decir que son más abundantes los fracturados porosos en conglomerados y Tobas Finas. Con menor incidencia se observan reservorios de tipo porosos en areniscas y aleurolitas polimícticas de las secuencias más jóvenes. La permeabilidad no se analizó pues se cuenta con muy pocos pozos con la determinación de esta propiedad, más bien en los yacimientos, lo que no permite el análisis de su distribución areal.

#### **II.4.4 Estudio de los Sellos.**

La secuencia considerada “sello” en la Cuenca Central es muy heterogénea, ya que, en ella se mezclan sedimentos diversos, como: areniscas, aleurolitas, clastos de calizas, arcillas y material tobáceo en mayor o menor medida alterado a minerales arcillosos. Esta secuencia pertenece fundamentalmente al Eoceno Medio Superior, aunque en algunos sectores se extiende desde el Maestrichtiano Superior (ejemplo Pina), hasta el Eoceno Superior (en los sectores de Jíbaro y Bijabo).

Los espesores del sello influyen en la calidad del petróleo. Ejemplo: Pina. Cuando los espesores del sello son menores de 135 m los petróleos son densos (menores de 22 grados API), mientras que cuando los espesores superan los 400 m los petróleos son ligeros.

Los datos de distribución de la porosidad, tipos de reservorios y sellos han sido comparados con los resultados la geomorfología, así como, de los otros métodos geofísicos, existiendo buena correspondencia entre las direcciones, tipos de fallas y las estructuras con la dirección del desarrollo de mejores reservorios y sellos. La formación de las trampas estructurales fue en la etapa orogénica (Campaniano–Eoceno Medio parte baja) y las estratigráficas en la etapa de su deposición en esa propia edad.

**CAPITULO III. ANÁLISIS GEOLOGO-GEOMORFOLOGICO-  
ESTRUCTURAL-REGIONAL Y SU RELACIÓN CON LA GEOFÍSICA.**

## **CAPITULO III. Análisis Geólogo-Geomorfológico-Estructural-Regional y su relación con la Geofísica.**

### **III.1 Geomorfología Regional.**

#### **Introducción**

El objeto de estudio abarca un área que incluye diferentes bloques, en el contexto regional (Escala 1:250000), área que ha sido estudiada en diversas direcciones, pero el objetivo se centra en el sector desde Bijabo hasta Pina, y se desarrolla en la escala 1:50000.

Esta área de trabajo se vincula con los yacimientos de la Cuenca Central y se ubica desde las inmediaciones del pueblo de Jatibonico hasta Morón por el norte. Por el sur, desde los pueblos Majagua, Ceballos y hasta Santa Lucía en la provincia de Sancti Spiritu y Ciego de Ávila.

Existen varios trabajos geomorfológicos aplicados a la búsqueda de petróleo realizadas por el autor, por lo que el trabajo se vincula a estos resultados en el que se profundiza y se generalizan los mismos. Este estudio se desarrolla desde un aspecto regional hasta un yacimiento, en este caso Pina, (Fig. III) desarrollando el análisis de interpretación cartográfica (1:250000 (más regional) 1:50000, 1:25000 y 1:10000) (Fig. III), para las determinaciones de los diferentes sistemas de drenaje en las mismas escalas, (Fig. III.1. 3, Fig. III.3. 3, Fig. IV. 3), ya que este método cualitativo es determinante para demostrar los resultados y el poco costo de estas investigaciones, que revisten gran importancia, en la orientación hacia la búsqueda de petróleo. Se identificaron las estructuras que se definen por la geomorfología, a partir de la metodología creada en el proyecto 2132, bajo la dirección del Dr. José Álvarez Castro, 1998 en que los lineamientos de dirección NE se hicieron corresponder con la dirección de las vías de migración y la NW con las posibles trampas; estas características en una estructura levantada desde el punto de vista geomorfológico, orientaba hacia áreas con perspectivas para petróleo y gas. Estas condiciones anómalas de la Geomorfología han sido corroboradas en trabajos anteriores por la Geofísica. (Álvarez, J. et al., 1998).

En el área de estudio se realizaron trabajos por el maestrante en el proyecto principal: "Aspectos de la Tectónica de Cuba" de Tenreyro, R. y Cruz, R. en (1997, en el cual se divide Cuba en cinco áreas, limitando las alturas por la cota 100 en que se distinguen Pinar del Río, Habana–Matanzas, Camagüey–Maniabón, Cuba Oriental y Centro,

observándose estructuras geomorfológicas, como la No. 12, que se corresponde con la estructura circular, objeto de estudio, en la escala 1:250000, la que se establece durante la investigación del área y además lineamientos coincidentes con fallas o anomalías geofísicas, como la fallas de la Trocha y de las Villas (Pérez, C., 1989).

Es de destacar que se realizó una compilación de los principales trabajos, en que el maestrante figura como autor y que fueron desarrollados en diferentes proyectos y con diferentes objetivos y escalas, (estos trabajos están citados en la bibliografía) mediante la utilización de la Geomorfología Aplicada a Petróleo.

### **III.1.1 Materiales y Métodos.**

Los materiales primarios para este tipo de trabajo de investigación son las hojas topográficas y el mapa digital escala: 1:250000 y 1:50000, ICGC 1978. (Fig. III.1.1 y Fig. III.1.2)

Por medio de la interpretación cartográfica representada por isoclinas (curvas de nivel), se determinan todas las vías que desarrolla el drenaje con un sentido exquisito (alta densidad), realizando trazos a través de todas las inflexiones de las curvas, que se orientan de manera natural hacia la divisoria de las aguas, sobre la base de cartografía digital de escala 1:250000, 1:50000 e incluso la realizada para 1:10000 de Infopet en el Ceinpet.

En el análisis geomorfológico hemos utilizado el método rector del tipo cualitativo de drenaje, (Fig. III.1.3), utilizado anteriormente en otras investigaciones para búsqueda de yacimientos de petróleo en Zaza, (Otero, 2003), resultando valioso su aplicación.

Las formas que el drenaje adopta en determinadas condiciones geológicas y geográficas conforman la configuración de la red fluvial y constituyen el método principal mediante el cual se realiza esta investigación. El estudio de relieve (en su concepto más amplio), de relación Estructura-Litología-Tectónica, es el principio de interpretación. El drenaje orienta y posibilita la confección de mapas de lineamientos (Fig. III.1.4). Estos esquemas posibilitan determinar las zonas más favorables para orientar la búsqueda de petróleo, desde las condiciones que aporta: lineamientos relacionados con posibles vías de migración y trampas estructurales. Esta dirección responde a lo expresado en la Roseta de rumbo de capa (Fig. III.1.6D) de dirección NW. La metodología aplicada desde 1998 por Álvarez, J., para determinar las estructuras geomorfológicas y se partió de este principio para la identificación de

estructuras y áreas que presentan condiciones favorables para petróleo desde el punto de vista geomorfológico. Las estructuras Geomorfológicas han sido corroboradas por la Geofísica, en estudios anteriores fundamentalmente, la Gravimetría, (Otero, R.; 2003)

### **III.1.2 Teoría de la Cizalla Simple (Simple Shear) y Tectónica Postorogénica.**

La importancia que le daremos a la tectónica de cizalla (wrench tectonics), esta dada por la interacción que pueda existir entre las características de las estructuras determinadas en la red de drenaje, la similitud con este tipo de deformación y su aplicación a la formación de estructuras postorogénicas.

El área de trabajo en superficie se expresa como un horst rodeado por zonas hundidas, (Atlas Nuevo de Cuba, 1989). El estudio palinspático a partir del esquema de las morfohisohipsas precisa una estructura antecedente levantada, en que se desarrolla otra principal relacionada con el rumbo cubano de dirección NW en épocas anteriores, (Etapa orogénica) y un desarrollo más joven posterior que corta esta estructura en la dirección NE. Este último acontecimiento tectónico es generador del relieve en esta parte central de Cuba, (esquemas de trabajo, grupo de exploración) (Cruz, R., 1992).

La teoría de Riedel (Fig. III.1.5), (Rosselló, E., Curso 2004), curso prevé la asociación de pliegues, fallas normales y de cizallas sintéticas y antitéticas repartidas en tres familias: R, R' y P. Cada una de estas estructuras forma con relación a la cizalla un ángulo que depende del ángulo de fricción interna  $F$ . Los pliegues nacen en una dirección de aproximadamente  $45^\circ$  con relación a la cizalla principal y en función del desplazamiento. El pliegue en el mapa toma una forma sigmoidal y sufre cierta rotación. Las fallas R y R' son respectivamente sintéticas y antitéticas de la falla principal. Ellas forman con relación a la primera un ángulo igual a  $F/2$  o de  $90 - F/2$ . Estas fallas se conocen además como cizallas de Riedel. Una tercera familia de accidentes (fallas P) se identifica con frecuencia en los modelos.

Excepto la falla Pinar y Bartlet, las demás estructuras no presentan una clara manifestación de accidentes disyuntivos principales en superficie. La teoría genética de la tectónica de cizalla es, que en el recorrido de la falla principal se asocian estructuras positivas y negativas. (Fig. III.1.6A) (Madrucci, V., 2000).

Como consecuencia de la interacción compresiva entre el arco volcánico cubano y el margen continental meridional del continente norteamericano, se forma el orógeno cubano (sistema de montañas). El núcleo de este orógeno va a estar constituido por

mantos cabalgados desde el sur en un acortamiento del tipo de cabalgamientos de capas finas. Estos aspectos son reflejados en la Tectónica de Cuba. (Tenreyro, R., 1996). En el Mioceno inferior, al parecer, es el momento de reactivación orogénica de Cuba relacionado con las fallas de cizalla. Nótese que las estructuras coinciden con las zonas de inflexión de las fallas, las cuales provocan componentes de compresión. (Fig. III.1.7), según Riedel (Fig. III.1.5)

### **III.2. Geomorfología Regional Escala 1:250000.**

Este trabajo geomorfológico se inicia haciendo una valoración regional en el área Central de Cuba, utilizando los elementos del drenaje, y demostrando la importancia que reviste este tipo de investigación de muy poco costo y alto grado de información para la búsqueda de objetivos petroleros. La elaboración del trabajo a escala es similar a la de los mapas topográficos que dieron origen al mismo. Sobre la base de la interpretación de los patrones del drenaje por su configuración, se pudo realizar una regionalización morfotectónica, y se delimitaron cuatro áreas, en primer lugar: (Área I), la cual se identifica por un lineamiento de dirección NE con un rango de  $45^\circ$ , (Fig. III.1.4) que se extiende desde la costa sur con desplazamiento morfológico sinistral asociado en su recorrido al embalse y lineamiento del río Zaza, embalses la Felicidad, Lebrige y Dignoras, río Jatibonico del Norte, embalses Aridanes y Calvario, Laguna de la Leche, domos salinos Turiguanó y Punta Alegre y salida costa afuera. (Fig. III.1.3 y Fig. III.1.8). esta última, se observa parte del área donde aparece alineamientos por estructuras litológicas, presa Lebrige y Zaza, trazos del drenaje. observándose regionalmente (Fig. III.1.3).

Este lineamiento longitudinal limita por su parte más meridional y septentrional el área de la Cuenca Central de conocido potencial petrolero, ubicada en la misma dirección estructural. Se observa además que este elemento tectónico presenta un sentido sinistral demostrado a partir de las observaciones de la morfología de la costa, incluso en los desplazamientos en su parte más oriental expresado en la geología de superficie (Fig. III.1.2), donde aparecen las rocas postorogénicas, sinorogénicas y rocas del arco volcánico, las que se encuentran en la cuenca mezocenozoica, tipo Piggy Back. En esta área existen lineamientos en la dirección de los emplazamientos de las rocas del margen continental, como una de las mejores expresiones para Cuba relacionados con

las divisorias de las aguas. (Fig. III.1.3) La dirección (NE), (Fig. III.1.4) limita la propia Cuenca y se asocia con la falla de la Trocha, esta se relaciona con la ubicación que se establece en el mapa Tectónico de Cuba (Shein, B. S. et al., 1985) y se identifica con los lineamientos del drenaje de manera muy precisa. Esta dirección es determinante estructuralmente y desde el punto de vista geomorfológico da origen a este relieve. (Cruz, R., 2005). Existen evidencias sobre la reactivación de las fallas transcurrentes de la Trocha durante la etapa Neotectónica. Antonio Magaz y Jorge Luís Díaz, 1986. El drenaje presenta un patrón semicircular, tipo radial, propio de zonas volcánicas (domos cónicos) y los afluentes corren hacia el norte, este y sur, todo ello truncado contra la dirección descrita asociada esta estructura a yacimientos petroleros. Estas formas se reconocen en el trabajo elaborado a partir de sistemas de drenaje donde se identifica este patrón con la búsqueda de petróleo. (Artur, P., 2001).

En el área de cabalgamiento se encuentra (Área II), (Fig. III.1.4), un tipo de drenaje combinado dendrítico-paralelo, con una geología de superficie compuesta por rocas de las UTE Placetas y Camajuaní, (Fig. III.1.2) que se asocia con una gran divisoria de las aguas en la dirección NW, (Fig. III.1.3) en las rocas del margen continental (Fig. III.1.2) hacia la falla de la Trocha de rumbo NE, (Fig. III.1.4) se combinan con lineamientos del drenaje en esta dirección. El complejo de lineamientos tiene relación con los emplazamientos de mantos cabalgados, que en esta parte del área tiene su mejor expresión para Cuba; (Fig. III.1.2 y III.1.3) así mismo, las características determinadas en los sistemas de drenaje se corresponden con la constitución geológica descrita en superficie según mapa. (Fig. III.1.2) La divisoria de las aguas se asocia a los lineamientos bien definidos en zonas de falla y esto existe en otras áreas de Cuba. Ej.: Sur del yacimiento Yumurí (Cruz, R., 1989). Es esta dirección estructural (NW) nuestra evidencia geomorfológica, la cual nos orienta sobre la existencia de posibles trampas para petróleo y gas. (Fig. III.1.7 y III.1.9).

Hacia el sur de esta zona (Área III) existe otro tipo de drenaje dendrítico (Fig. III.1.3) con combinaciones de tipo circular (Fig. III.1.3) donde la geología es de rocas de origen volcánico y ofiolitas, (Fig. III.1.2) esta área está limitada hacia el norte por el lineamiento transversal, conocido por la falla de las Villas (Fig. III.1.7, III.1.2 y III.1.3) y en su parte más sur oriental, limitada por el lineamiento longitudinal relacionado con la falla de la Trocha. Se identifican diferentes estructuras semicirculares, como posibles

zonas levantadas que se corresponden con la divisorias de las aguas, de tipo secundario que pueden ser objeto de interés (Fig. III.1.3). Finalmente (Área IV), ubicada en la parte más septentrional, limitada hacia el sur por la divisoria de las aguas relacionada con la falla de las Villas, en que los ríos corren desde esta estructura hacia el norte con una gran importancia en la dirección NE (ríos de menor orden). (Fig. III.1.3). El tipo de drenaje en esta área es de patrón paralelo, propio de rocas carbonatadas, enclavado en una zona que desde el punto de vista geológico es una cuenca cenozoica, en la cual afloran en superficie las rocas del postorogénico, además aparece la Unidad Tectónico-Estratigráfica de Remedios en los flancos de la parte más levantada. (Fig. III.1.2).

### **III.2.1. Método Cualitativo del Drenaje y la Interacción con la Tectónica Transcurrente.**

En este trabajo se destaca el nivel de información que un elemento cualitativo - geomorfológico, elaborado simplemente a partir de la carta topográfica (Fig. III.1.1) aporta desde el punto de vista estructural y tectónico, que, combinado con la geología de superficie (Fig. III.1.2) puede enriquecer mapas geológicos, especialmente con enfoque petrolero. Existen múltiples métodos morfométricos que brindan muchos valores cuantitativos, bajo el mismo concepto de la interpretación cartográfica, hemos demostrado que el valor cualitativo del drenaje es superior para nuestra investigación en la búsqueda de petróleo. Los trabajos geomorfológicos realizados han tenido plena coincidencia con los datos geofísicos. (Álvarez, J., 2000). El lineamiento longitudinal (dirección NE) (Fig. III.1.4) límite de la Cuenca Central por su parte más occidental, constituye desde el punto de vista geomorfológico, el indicador tectónico que puede propiciar las posibles vías de migración en esa dirección desde las rocas madres. El lineamiento transversal es de dirección NW, (Fig. III.1.4), donde se establecen los emplazamientos de zonas cabalgadas en su mejor expresión para Cuba (Fig. III.1.2) permite identificar claramente las líneas del drenaje (Fig. III.1.3) que pueden constituir las fallas inversas propias de los cabalgamientos (Fig. III.1.7) y los lineamientos de dirección NE como posibles vías de migración (Fig. III.1.3 y III.1.4).

Este desarrollo de sistemas sinestrosales en la dirección NE y el sistema circular contra la falla de la Trocha, muestra la zona más levantada, correspondiendo parcialmente con el

Yacimiento Pina (Fig. III.1. 9 y III.1.3) y otras zonas de interés. La continuación de los movimientos convergentes, en épocas posteriores al Eoceno Medio, han sido evidenciados en primer lugar por las huellas que dejan las fallas en la superficie, estudiadas éstas de forma eficiente por la geomorfología.

Es de destacar que desde el punto de vista geomorfológico las estructuras definidas y alineadas en la dirección NW están asociadas con la divisoria de las aguas y divisorias principales en sí, podemos inferir la similitud con las estructuras similares que responden a la teoría de Riedel (Fig. III.1.5), al ejemplo tectónico de Irán, (Fig. III.1.6C) prácticamente dándole respuesta a un fenómeno estructural que responde a la transpresión. Este desplazamiento sinistral debe ser estudiado con un nuevo enfoque de búsqueda en el área. La zona de estudio se puede interpretar como una zona transpresiva dentro del sistema de fallas de la Trocha. Este evento dentro de la transpresión fue el que pudo dar lugar a la morfología actual que presentan los yacimientos de la zona.

En el área según el modelo geomorfológico, el régimen transcurrente debe ser el responsable de la configuración actual de las estructuras, estos sistemas pudieron haber sido reactivados debido a la neotectónica y que generaron estas fallas de deslizamiento por el rumbo y (en nuestro caso sistema de fallas de la Trocha) (Fig. III.1.9; III.1.7) y la fig. III.1.6 A como un ejemplo en Brasil. A partir del esquema morfológico se logran definir las formas que presenta el sistema de fallas transcurrentes de la zona de estudio (Fig. III.1.7 y III.1.9).

Si tomamos por analogía la geometría que presentan las estructuras determinadas por la geomorfología existe coincidencia estructural con un ambiente transpresivo (Fig. III.1.5; III.1. 7 y III.1. 9).

El esquema complejo de lineamientos fundamentales a partir de la interpretación cartográfica y el esquema del drenaje (Fig. III.1.3) muestra evidencias de un estrés tectónico, que puede estar asociado a un ambiente transpresivo, generado por un sistema de fallas transcurrentes en las direcciones principales con las que se formó el relieve en las áreas de estudio.

En el bloque 1 de Pina, Pérez, Y., (2004) fundamenta este principio a través de un perfil (Fig. III.1.10) y es local. En nuestro trabajo la expresión es regional y pensamos que corrobora esta hipótesis (Fig. III.1.7). El área de compresión incluye el área de Pina

donde existen las mejores condiciones para su ampliación hacia el norte, sur, este y oeste, así mismo extrapolamos estas características hacia otra anomalía en la parte más occidental dividida por una falla con desplazamiento d estral y que puede tener buenas perspectivas al igual que el área patrón (Fig. III.1.9), estas pueden asociarse a pandeos ocurridos en la tectónica transcurrente descritos en varios lugares del mundo. Ejemplo: Irán (Fig. III.1.6C), Brasil (III.1.6A), en que se desarrolla la compresión análoga con objetivos geomorfológicos.

La importancia de asociar los sistemas transcurrentes y sus zonas transpresivas permiten clasificar la zona como posible perspectiva. Analizando la morfología interna de este sistema podrían determinarse estructuras en flor positivas en la que, las diferentes fallas se ramifican a partir de la falla principal de la Trocha (Pérez, Y., 2004). Fig. III.1.10, que coincide con el análisis geomorfológico vinculado a este trabajo.

Cuando ocurre un pandeo derecho en sistemas de fallas transcurrentes sinestrales, se genera una componente compresiva, dando como resultado zonas transpresivas y transtensivas.

En el último mapa combinamos los elementos de drenaje con los resultados del mapa geofísico, donde la anomalía determinada por la sísmica, sobre las estructuras del margen continental, tienen parcial correspondencia con las estructuras que se reflejan en el drenaje, así mismo los prospectos priorizados (Álvarez, J., et. al. 2000) (estructural) presentan una total correspondencia con la relación estructural que define la morfología del drenaje entre fallas transcurrentes y divisoria de las aguas, (Domínguez, R. et. al., 2001). Creemos que la mejor probabilidad de la existencia de las rocas del margen continental estaría asociada a este Manto de Pina (área determinada por la geofísica) y conociendo las evidencias del pozo Morón Norte 1 en la parte norte existirá un amplio desarrollo de las vulcanitas y las ofiolitas hacia el sur.

En este primer análisis regional, los sistemas de fallas inversas relacionados a la denominada falla Cristales, al sur de la estructura de forma sigmoidal, relacionado con los posibles cabalgamientos y combinados estructuralmente en su conjunto metodológico, desde el punto de vista geomorfológico muestra las posibles vías de migración en la dirección NE y posibles trampas en la dirección NW. Estas características de similitud a zonas transpresivas determinadas por la morfología del drenaje coinciden con los trabajos realizados de (Rosselló, E. 2004). Es interesante

observar en la escala mas regional de este estudio que el sistema falla de la trocha definido como un área en la dirección NE, ya define paralelas a estas diferentes elementos alineados hacia la parte propia de los yacimiento y delimitando regionalmente un área análoga a un pandeo y las estructuras de Alfonso y Pina desplazadas dextralmente, con características regionales similares y una zona levantada expresada en un parte agua que atraviesa transversalmente ambas estructuras, (Fig. III.1.7 y Fig. III.1.9.).

### **III.3 Geomorfología Regional Escala 1:50000.**

#### **Introducción**

Después de realizar el trabajo regional donde se ubica el área de estudio en su contexto Morfotectónico y su vinculación con la falla transcurrente (Falla La Trocha), desarrollamos el trabajo regional en otra escala de más detalle (1:50000) para identificar el bloque principal que se determina con la interpretación cartográfica en la misma escala y determinar todas las líneas de drenaje bajo el principio expuesto anteriormente y propiciar información geomorfológica para su comprobación con las anomalías Geofísicas (Fig. III.1.4; III.1.5 y III.1.6). El área de estudio se encuentra ubicada en la Cuenca Central que incluye el área de los yacimientos desde Bijabos hasta Pina, y según la regionalización Geomorfológica (Acevedo, M., 1989), pertenece a las llanuras Camagüey–Maniabón y la cordillera de C ubanacán. Desde el punto de vista geológico, en el área de estudio afloran rocas propias del Postorogénico, algunos clastos de tobas de la formación caobilla (que pueden ser producto de levantamientos geológicos). Las formaciones descritas en superficie en esta parte del área son Tamarindo, Arroyo Palma, Ferrer y chambas incluidas en edades geológicas desde el Eoceno hasta el Cuaternario. (Fig. III.3.2 y Fig. III.1.2.A).

#### **III.3.1. Análisis Regional de Anomalías por Geofísica y Geomorfología .**

La búsqueda de petróleo en esta área se debe desarrollar en objetivo fundamental (Unidad Tectónico-Estratigráfica de Placetas como roca madre). Estas evidencias litológicas solo han sido encontradas en superficie (rocas carbonatadas del Kinmeridgiano–Turoniano) con una posible cobertura sedimentaria del Paleoceno – Eoceno Medio (parte baja). Por analogía con la Costa Norte de Cuba, debe contener

trampas fundamentales del tipo Duplex de dimensiones entre 4 y 20 Km<sup>2</sup> y espesores efectivos de hasta 400 m. La mayor probabilidad de existencia sería en el eje central (Manto Pina) pues al sur deben desaparecer al presentarse un amplio desarrollo de los volcánicos y ofiolitas, lo cual se observa en los mapas gravimétricos y magnéticos regionales y hacia el norte debe desarrollarse la Unidad Tectónico-Estratigráfica de Remedios por debajo de Zaza sobreempujado por las evidencias encontradas en el pozo Morón Norte.

Existen evidencias en la zona de domos salinos, que se corresponden con el lineamiento de la falla de la Trocha que se desplaza a través de estructuras circulares. Desde el punto de vista geomorfológico aparece un escenario de estructuras levantadas a todo lo largo del recorrido del área desde Jatibonico hasta Pina incluyendo hacia la parte centro norte el área de la Rosa. Las divisorias de las aguas principales y secundarias así lo corroboran y la división en bloque según la regionalización geomorfológica lo justifica al presentar todos los niveles estructurales en las direcciones NW-NE asociadas a zonas levantadas. En esta regionalización se logra identificar el bloque IV con las mejores características geomorfológicas.

En el eje Central, conocido como Manto Pina se encuentran dos yacimientos, el de Jatibonico y el de Pina. En este manto se observan tres zonas de levantamientos por gravimetría que son: Jatibonico, La Rosa y Pina, presentando dentro de ellas anomalías gravimétricas residuales tanto positivas como negativas en mapas mas detallados, las cuales fueron estudiadas por sísmica, detectando coincidencias en algunas y en otras no, por lo que se realizó el siguiente razonamiento: Los resultados de la Geofísica, se vinculan con la interpretación geomorfológica. Esquema que muestra el área, (Fig. III.3.5).

#### **III.3.1.1 Zona de Anomalía Jatibonico**

En esta zona se han delimitado dos estructuras, una estructura cerrada por sísmica que llamaremos Jatibonico Oeste, la cual presenta un gran riesgo que es el estar invadido por agua, el tope se encuentra a menos de 900 m. y su carácter de saturación de petróleo o agua, va a depender de que la falla que los separa sea abierta o cerrada. De ser una falla cerrada, presentaría saturación de petróleo, pero de ser una falla abierta, estaría invadida de agua. La estructura es segura, con buena calidad en los 3 perfiles

que la contornean. La otra estructura es la de Reforma, la cual presenta entrada industrial de petróleo en el pozo Reforma 5. Los riesgos principales son los cambios faciales que acarrear mucha variación de porosidad y sobre todo de permeabilidad. La estructura se conoce por dos perfiles sísmicos de mediana calidad.

Desde el punto de vista geomorfológico esta área se vincula al bloque I, (Fig. III.3.4. y III.3.4A), donde se desarrollan manifestaciones de petróleo en pozos y áreas de drenaje que limitan estructuras casi circular es levantadas a través de la divisoria de las aguas. (Fig. III.3.3).

### **III.3.1.2. Zona de Anomalía La Rosa.**

Esta zona presenta un alto riesgo debido a que no existen yacimientos a pesar de estar perforada por varios pozos que no han tenido entradas de petróleo. Junto con la anomalía gravimétrica se presenta una anomalía magnética que podría inducir a pensar en un adelgazamiento de la Unidad Tectónico-Estratigráfica de Placetas (posible roca madre) cuestión poco probable y/o una mayor profundidad de yacencia, lo cual llevaría a una migración primaria del petróleo lateral hacia las zonas más levantadas, que serían al este (Pina) y al oeste (Jatibonico), así como al sur (falla Cristales) quedando en esta zona baja de Placetas un área invadida de agua y como el petróleo en el tope de tobas se entrampó a través de fallas verticales posteriores a la migración, en esta área preferiblemente habría agua y en las otras petróleo.

Desde el punto de vista geomorfológico el área se desarrolla en la parte más noroccidental de lineamientos (lineamiento central geomorfológico, lineamiento que divide el área, (Fig. III.3.4), ubicado fundamentalmente en el bloque III con sistema de drenaje en la dirección estructural de Pina con divisoria de las aguas en esta misma dirección, estableciendo una zona levantada.

### **III.3.1.3. Zona de Anomalía Pina.**

A esta zona pertenece el yacimiento Pina y el área de Brujo, presentando varias zonas levantadas por sísmica, dentro de las cuales existen coincidencias con las anomalías gravitatorias. De ellas escogimos las siguientes:

- ? **Ciro:** es una estructura cortada por tres perfiles sísmicos de media na calidad sísmica, por lo que su configuración es bastante precisa delimitándose como un prospecto. Como aspecto positivo está su coincidencia con una anomalía gravimétrica residual y que los pozos Brujo 1, 3, 6 y 7, perforados en su flanco, han presentado entrada de petróleo.
- ? **Alfonso:** Existe coincidencia entre la sísmica y la gravimetría y se ha delimitado como un prospecto cortado por 3 perfiles, a pesar de que uno de ellos presenta una elaboración deficiente. En su flanco oeste se encuentra situado el pozo Alfonso 1 al cual se le extrae petróleo esporádicamente, pues presenta saturación pero muy baja permeabilidad, lo cual puede deberse a su lejanía de la cúpula (más de 1.5 Km.).
- ? **Benjamín (Mirtha Oeste):** No existen pozos en sus inmediaciones y es un objetivo cruzado por dos perfiles sísmicos de mediana calidad, que tienen coincidencia con una anomalía gravimétrica.
- ? **Príncipe (Mirtha Este):** Es una anomalía que en su flanco sur se encuentra el pozo Pina Norte 1, el cual no fue ensayado en la parte del corte relacionada con los mejores reservorios.
- ? **Francisco Norte:** Este objetivo es atractivo por la semejanza entre los pozos Pina y el Francisco 1, perforado sin ensayarse. Se encuentra situado fuera de la zona levantada de Pina, pero recomendamos su estudio por su semejanza con el Pina 2.

Además en esta zona existe el objetivo Paraíso que lo dejamos pendiente al ensayo del pozo. Esta área tiene muy pobre información sísmica.

En esta zona, desde el punto de vista geomorfológico, se presentan las mejores condiciones para la búsqueda de petróleo y según la regionalización geomorfológica se ubica en el bloque IV. Esta área es nuestro objeto de estudio principal y está relacionada con diferentes objetivos y prospectos que se rán estudiados profundamente en la escala 1:50000, así como la zona de falla Cristales que ha sido bien documentada y que se conjuga con los métodos geofísicos. (Fig. III.3.5 y III.3.6)

#### III.3.1.4. Zona de Anomalía Cristales .

Esta zona se observa muy bien por gravimetría y por la geomorfología , la primera se expresa por un gradiente fuerte entre 0 y  $-1$  miligal y se puede observar su prolongación a lo largo de todo el bloque, siendo desplazada eventualmente por varias fallas transcurrentes sinestrales, las cuales deben evidenciar las vías de migración. En esta área existe el yacimiento Cristales y algunos pozos con entrada de petróleo como por ejemplo Mamonal y Agustín; se define un prospecto que es:

Francisco Sur: Presenta una estructura cortada por tres perfiles sísmicos de mediana calidad sísmica y está entre dos zonas con evidencias de petróleo , al NW el yacimiento Pina y al Este el pozo Cacahual 1 con manifestaciones de petróleo durante la perforación.

Existen varios objetivos, no priorizados en este trabajo por contar con poca información sísmica, como por ejemplo Agustín y Cacahual. En la Figura III.3.5 se presenta un mapa con los prospectos y objetivos propuestos.

Desde el punto de vista geomorfológico el recorrido de la falla a Cristales se asocia a los lineamientos circulares cóncavos que limitan por el sur el tipo de drenaje paralelo. Estos lineamientos se desarrollan hasta la zona del yacimiento en el bloque IV (regionalización geomorfológica) (Fig. III.3.4 y III.3.4A)

Esta falla cristales, en su recorrido se relaciona con las áreas: Cristales, Guayacanes, Agustín, Ceballos y Francisco. Son estructuras que se desarrollan en las dos direcciones NW y NE , que se corrobora en las Rosas Diagramas. (Fig. III.3.4A), esta última consideramos que es fundamental vinculada a las fallas transcurrentes , lo que según la metodología aplicada debe estar relacionado con yacimientos más pequeños.

El área de trabajo en escala 1:50000 se pudo dividir por un lineamiento casi central en dos áreas fundamentales; una occidental y otra oriental . Esta se extiende desde Ceballos hasta Pina, con un desarrollo estructural, e incluye el yacimiento Pina, donde las líneas estructurales de dirección NW, el sistema de fallas transcurrentes de dirección NE y la expresión de los parte agua (zonas levantadas), hacen del bloque, un área tipo con posibles estructuras y vías para la migración en el área de Bijabos hasta Pina (Fig. III.4 y Fig. III.4A).

En el área se determinaron 5 bloques: dentro de los cuales existen prospectos, objetivos y otras estructuras favorables. (Fig. III.4A).

**III.4 Estructuración Geomorfológica.****Bloque I (Yacimiento Jatibonico)**

Jatibonico Oeste

**Bloque II (Yacimiento Cristales)**

Estructura Reforma

Estructura Jobo

Guayacanes.

**Bloque III**

Estructura Agustín

Guayacanes Oeste

Rosa Norte

Rosa Sur

Mamonal Norte

Agustín

Marcial

Marcial Este

Guayacanes Este

**Bloque IV (Yacimiento Pina)**

Francisco Sur

Francisco Norte

Fortuna

Alfonso

Ciro

Benjamín

Príncipe

Paraíso Oeste

Pina Sureste

**Bloque V**

Cacahual Norte

Cacahual

La Jagua

Ipa Norte

Ipa Sur

La Finquita

A continuación se delimitan las zonas favorables en un orden de prioridad conocido en el ámbito petrolero: desde prospecto hasta estructura, expuesta a continuación: Sobre la base de la aplicación de los métodos Geólogo-Geomorfológicos se pudieron definir elementos estructurales tectónicos favorables para la determinación de posibles prospectos y objetivos, de esta forma en todos los bloques hay una correspondencia de elementos estructurales, posibles trampas y vías de migración (Fig. III.3.5); en esta misma figura, desde el occidente hasta el oriente del área, se determinaron 5 bloques que se delimitan por fallas en la dirección NW y NE. (Fig. III.3.4 y III.3.4A)

El Bloque IV, (Fig. III.3.6) se convierte en el de mayor interés, fundamentalmente desde Los Pozos Pina1 por el norte hasta el Ceballos 3 por el sur asociando estos pozos a la cuña estructural alineada con encuentro de fallas hasta la estructura R3 , de tipo geomorfológica (Fig III.4 , Fig. III.3.6) la correspondencia con la dirección de la falla Cristales y otros lineamientos similares por el sur, toda esta área posee también una buena expresión estructural. La coincidencia tectónica, que se identifican muy bien a través del drenaje (Fig. III.3.6), y el sistema de fallas transcurrentes con sus desplazamientos de tipo sinestral , relacionados con áreas levantadas en la dirección de los esfuerzos NE. En esta misma dirección, se establece el parte -agua fundamental donde existe mayor número de manifestaciones . (Fig. III.3.4A).

Se destaca una ampliación, (Fig. III.3.6 y III.3.6.1). En esta parte del bloque IV para mostrar la relación de las anomalías geofísicas y los sistemas de drenaje, que muestran una expresión estructural de posibles cabalgamientos en la dirección de las fallas transcurrentes y don de se asocia a diferentes estructuras y objetivos identificados por la sísmica. A continuación realizamos una interpretación geomorfológica para el área relacionada a cada estructura.

**Agustín.-** Se desarrolla desde los flancos hasta la zona de cúpula, den tro de un sector que levanta hacia el Este, estructuralmente se orienta en la misma dirección de las fallas transcurrentes que tienen su expresión en el drenaje, no se observa bien el desarrollo estructural (NW), expresado por el rumbo cubano, como resultado de los cabalgamientos, cerca de esta área y al sur existe una estructura R -2, (Fig. III.3.6.1), que se enmarca dentro una zona que presenta características geomorfológicas de levantamientos y se identifican líneas del drenaje en sus direcciones NE y NW , como resultado de los elementos estructurales que se han señalado. (Fig. III.3.5)

**Marcial.-** Marcial se identifica dentro de líneas de drenaje que hacen que las áreas se desarrollen a través de un parte agua, (zona levantada).

**Rosa Norte y Rosa Sur.-** Zona levantada, que se ubica pa rcialmente en un área donde el parte agua es casi N-S y no están bien definidos los elementos estructurales.

**Mamonal Norte.-** Un área donde existen zonas levantadas en el parte agua y aparecen elementos de estructuras y no se definen bien las fallas transcurrentes, además que el área no cubre exactamente la zona del parte agua.

**Cubita Norte.-** Un área pequeña ubicada en la zona de cúpulas, con una estructura cerrada con elementos estructurales bien definidos.

**Cubita.-** Esta estructura cubre un área mayor pero se desarrolla en una zona que abarca fundamentalmente zonas de drenaje, las fallas transcurrentes son pequeños desplazamientos que no se delimitan bien, existen mayores elementos estructurales hacia el norte.

**Jatibonico.-** La estructura Jatibonico O este se ubica dentro de una estructura circular, zona levantada muy bien definida, según el sistema de drenaje la dirección NW coincide con la dirección del parte agua. Están presentes además el desarrollo de fallas transcurrentes. Existen otras estructuras al SE del Jat -99, donde se desarrolla un parte agua que se señala con líneas discontinuas azul es, es un área que tiene una expresión casi circular.

**Reforma.-** Esta área reviste gran interés por la geomorfología, tiene una expresión de un levantamiento típico, concurren dos parte-agua relacionados con lineamientos en las direcciones fundamentales NE y NW. El área se manifiesta casi circular. Haciendo un triángulo con los pozos Reforma 2, Guayos 4 y Reforma 5, el punto centro sur del mismo reviste gran interés desde el punto de vista geomorfológico por encontrarnos en una zona de cúpula y mantener las condiciones estructurales y tectónicas mencionadas. (Fig. III. 3.5).

**Jobo.-** Se presenta con una zona levantada y mantiene las condiciones estructurales y tectónicas favorables según los elementos geomorfológicos, al SW se delimita una estructura circular de interés.

**Guayacanes.**- Un área que se desarrolla en zonas levantadas parcialmente, desde el punto de vista geomorfológico está dirigido prácticamente en la dirección de las fallas transcurrentes, no estando bien delimitados los elementos estructurales.

**Guayacanes Este.**- El área se encuentra levantada y se desarrolla desde los flancos haciendo el efecto de una estructura circular, por dirección de los elementos del drenaje.

**Cacahual y Cacahual Norte.**- Son estructuras que se desarrollan en una zona de parte agua, de dirección NE y algunos elementos estructurales muy bien identificados en los sistemas de fallas transcurrentes. (Fig. III.3.3; III.3.4; III.3.4A; III.3.5; III.3.6 y III.3.6.1). Se analizaron todas las estructuras mapeadas por la sísmica pero el objetivo fundamental se centra en el Bloque IV que lo exponemos a continuación. (Yacimiento Pina), Francisco Sur, Francisco Norte, Fortuna, Alfonso, Ciro, Benjamín, Príncipe, Paraíso Oeste y Pina Sureste.

**Francisco Sur.**- Desde el punto de vista Geomorfológico, parte del área del prospecto se levanta hasta la estructura R-1, ubicándose en una zona de flanco, que estructuralmente se orienta según las líneas de drenaje en la dirección NW -SE, ubicándose dentro del sistema de fallas transcurrentes sinestrales en la dirección NE, que coinciden con la dirección del parte agua, este sistema de fallas por el S coincide con la falla Cristales. Es de destacar que esta área se identifica con las características estructurales y tectónicas que se detectan para el área Pina. (Fig. III.3.6.1).

**Francisco Norte.**- Un objetivo que se desarrolla exactamente en el parte agua, una zona levantada, incluida en la estructura R-1, y presenta condiciones estructurales - tectónicas mencionadas para el Prospecto Francisco Sur.

Estas estructuras circulares de color verde, mapeada por la Geomorfología (Fig. III.3.6.1), con una dimensión mayor, se ubicaron según los elementos geomorfológicos en zonas que como se mencionan para los prospectos Francisco Sur y objetivo Francisco Norte presentan características que lo asemejan geomorfológicamente al área Pina.

**Paraíso W.-** Esta área se desarrolla por su forma en una dirección NW, y se concreta en una zonación que geomorfológicamente va desde los flancos hasta la cúpula (parte alta principal), y donde aparecen los elementos estructurales de desplazamientos por las fallas transcurrentes sinestrales y los elementos estructurales fundamentales en la dirección NW, estas mismas características estructurales se mantienen para la otra área Paraíso.

Es de señalar que Paraíso W en su extensión SE, se relaciona con la estructura R-3, que tiene una expresión levantada prácticamente en la cúpula, relacionada con la dirección del parte alta fundamental NE y que coinciden con los elementos estructurales en la dirección NW. Hacia el sur de estas áreas existen expresiones del drenaje vinculadas con la falla Cristales. La estructura R -5, tiene una expresión levantada y con los mismos elementos estructurales.

**Fortuna.-** Se incluye como levantamiento dentro del área seleccionada, y la estructura incluye el yacimiento Pina, donde concurren los elementos estructurales. El área se desarrolla desde los flancos hasta el parte alta en la dirección NE. Se manifiestan los elementos estructurales según el drenaje en la dirección NW. Aparece al Sur una estructura (R-6) en la dirección W-E que abarca prácticamente todo el parte alta y donde aparece el desarrollo de la dirección del rumbo cubano, como elemento estructural con rumbo NW y la presencia de los elementos de fallas transcurrentes. (Fig. III.3.6.1).

**Pina Sureste.-** Se ubica en el parte alta en la dirección NW, donde aparece bien definido este rumbo. Las fallas de tipo transcurrente sinistral se identifican fácilmente, ésta área forma parte del yacimiento Pina.

Aparece también otra estructura geomorfológica (R -7) en la que, aunque no se desarrollan los elementos estructurales de dirección NW si se identifica la dirección del parte alta (NE) donde incluye en este recorrido el prospecto y objetivo Francisco Sur y Francisco Norte respectivamente.

**Alfonso.-** El Prospecto Alfonso, se encuentra donde el parte agua fundamentalmente se define en una dirección NW, se observan bien los elementos estructurales y de fallas transcurrentes, aparece una zona ubicada en las cúpulas a través del parte agua.

Al este de esta área se delimita una estructura mucho mayor, por la geomorfología, casi se manifiesta de forma circular, se reflejan los elementos estructurales, fallas transcurrentes de dirección NE donde el área prácticamente se desarrolla en la cúpula.

**Príncipe.-** En el área descrita, como objetivo se desarrollan con claridad los elementos estructurales y concurren levantamientos en la dirección del parte agua, que incluye las áreas Benjamín y Jagua, estas son parte de la dirección del levantamiento que se describe con líneas discontinuas azul y aparecen en ellas los elementos estructurales, fallas transcurrentes y levantamientos.

El área R-9. desde el punto de vista geomorfológico se desarrollan estructuralmente en la dirección NW, las líneas de drenaje que se orientan casi paralelas en esta dirección, delimitando áreas mas levantadas hacia la dirección NE, donde el parte agua y el efecto de las fallas transcurrentes están bien delimitadas. Esta área se expresa interesante ya que en ella se encuentran los pozos de Pina y puede ser de gran interés para la ampliación del área del yacimiento mencionado al este donde no existen pozos perforados y aumenta la calidad del crudo.

**Ciro.-** El área de Ciro se desarrolla dentro de la estructura R -9. Es decir que estas áreas en Ciro se establecen en sistemas estructurales y tectónicos favorables. (Fig. III.3.6.1).

### **III.5 Análisis de todas las elevaciones detectadas por Sísmica .**

#### **I. MANTO MAJAGUA (FALLA CRISTALES).**

##### **Objetivos:**

Agustín.- No coincide con gravimetría ni con geomorfología.

Por sísmica está atravesada por 3 perfiles de muy mala calidad y la estructura dibujada no concuerda con los perfiles, aparentemente la dirección del levantamiento en vez de ser NE-SW parece ser NW-SE. En conclusión no es fiable la construcción sísmica para el área, aunque si es un objetivo por tener la existencia de petróleo en los pozos de Agustín y por la alta inundación de agua del área es imprescindible , antes de perforar , estudiar la forma estructural.

Cacahual Norte.- No coincide la sísmica con la gravimetría ni con geomorfología. Esta atravesado por un solo perfil, en el cual se ve muy bien el levantamiento, pero es en una sola dirección.

El área es importante por estar asociada a la falla Cristales en la zona donde aparecen manifestaciones de petróleo. Se recomienda delimitar con sísmica con perfiles adicionales.

Guayacanes Oeste.- Coincide con gravimetría, no así con geomorfología.

Presenta un solo perfil en que se ve bastante bien el levantamiento, pero la construcción no tiene validez. No se recomienda desarrollar actualmente por estar dentro de la zona de arco volcánico desarrollado y presentar pozos perforados en las inmediaciones con malos resultados.

Guayacanes Este.- No coincide con gravimetría, pero si se refleja por geomorfología.

Presenta dos perfiles con muy mala calidad y la construcción no es fiable. No se recomienda continuar el estudio del área por el momento por las mismas razones que Guayacanes Oeste.

Cacahual.- Coincide bien con la gravimetría, sin embargo no se refleja por geomorfología a pesar de estar las tobas levantadas a 300 m.

Por sísmica está atravesado por un solo perfil en el cual se observa muy bien el levantamiento, pero la construcción de la estructura se realizó basándose en la gravimetría y los datos del pozo Cacahual, el cual está muy desplazado del perfil, por lo que su configuración no es fiable.

En cuanto al área si mantiene el carácter de objetivo por haber presencia de petróleo en las inmediaciones y estar asociada a la cercanía de la falla Cristales. Esta área recomendamos continuar el estudio con perfiles sísmicos transversales y longitudinales.

## II. MANTO JOBO.

### **Prospectos:**

Jobo.- Coincide con gravimetría y geomorfología.

Tiene 3 perfiles sísmicos de mediana calidad en los cuales se observa bien el levantamiento, pero los resultados de la perforación no son alentadores.

### **Objetivos:**

Marcial.- No coincide con gravimetría, aunque sí por geomorfología.

Por sísmica está atravesado por 3 perfiles de baja calidad y en 2 de ellos no se observa el levantamiento por lo que la estructura no es nada fiable y eso unido a que está en el manto Jobo, descrito anteriormente.

Marcial Este.- No coincide con gravimetría ni con geomorfología.

Se ve un levantamiento en la dirección S -N pero no se observa en la dirección E -W por lo que la estructura no es fiable y por las mismas razones que Marcial, recomendamos abandonar el estudio de ella hasta el ensayo de Jobo.

## III. MANTO PINA.

### III.1 ZONA DE JATIBONICO:

#### **Prospectos:**

Jatibonico Oeste.- Existe buena coincidencia tanto por sísmica como gravimetría y geomorfología.

Por sísmica se observa muy claramente y el riesgo a que está sometido es el de invasión de agua ya que el tope se encuentra a 250 metros más bajo que el contacto agua petróleo C.A.P. del yacimiento Jatibonico, por lo que el carácter de su saturación va a depender de que la falla que los separe sea abierta ó cerrada .

#### **Objetivos:**

Reforma.- Existe una magnífica correlación de sísmica, gravimetría y geomorfología.

La estructura está atravesada en dos direcciones por dos perfiles, observándose muy bien el levantamiento en la dirección E -W y en la Norte Sur, el perfil de más baja calidad de la información sísmica.

Por existir el pozo Reforma 5 con petróleo en un flanco de la estructura se recomienda concluir el ensayo del pozo y de ser positivo no esperar por más detalle sísmico y

continuar el desarrollo del área mediante la perforación, se sugiere conjuntamente reestudiar estratigráficamente el pozo Reforma 5, así como, realizar un trabajo en escala 1: 10 000 del área de Reforma.

### III.2 ZONA DE LA ROSA:

Esta área no estará priorizada debido al peligro de la inundación de agua por mayor profundidad de la U.T.E Placetas y la migración vertical sería preferiblemente de agua. No existe ningún prospecto.

Objetivos:

La Rosa Norte.- No coincide ni por gravimetría, ni por geomorfología.

Se presenta atravesada por un solo perfil y de baja calidad por lo que la estructura no es fiable.

La Rosa Sur.- Coincide con gravimetría, no siendo así por geomorfología.

Presenta por sísmica un solo perfil y de mala calidad por lo que al igual de Rosa Norte la estructura no es fiable y se recomienda abandonar este objetivo por el momento.

Cubita.- No coincide con gravimetría, ni con geomorfología.

Solamente está atravesado por un perfil, pero en el mismo se observa muy bien una zona levantada por lo que se recomienda hacer sísmica adicional para detectar la estructura del levantamiento que es mayor de 2 Km.

Cubita Norte.- No coincide con gravimetría, aunque sí por geomorfología.

Igual que en Cubitas existe un sólo perfil en el cual se observa muy bien el levantamiento de 2 km. Al parecer por el perfil 4, de dirección N-S se observó levantado todo el espacio entre la estructura de Cubita y Cubita Norte, con una diferencia de 200 m. en la profundidad del Cubita Norte respecto al Cubita, en este caso esta la presencia de dos elevaciones en una sola estructura.

Mamonal Norte.- No coincide con gravimetría, ni con geomorfología.

Hay un solo perfil con un levantamiento hacia el sur que pudiera asociarlo con el Manto Majagua y tener un entrapamiento contra la falla Cristales, pero aquí existen varios pozos con poco petróleo y mucho agua. Hace falta hacer un suplemento de sísmica para ver como levanta hacia la dirección E-W y con eso se reduciría mucho el riesgo de la alta saturación de agua, estudiar la estructura en la dirección E-W.

### III.3 ZONA PINA:

#### Objetivos:

La Jagua.- Existe coincidencia con la gravimetría y la geomorfología.

Por sísmica es una zona muy interesante, aunque imposible de cartografiar por la poca densidad de perfiles sísmicos que tiene. La calidad de la sísmica puede catalogarse de buena y en la dirección N-S existen 2 perfiles que se cruzan cercanos al tope de la estructura, uno N-S y otro NW-SE. Podemos concluir que la zona es muy interesante, pero no está lista para la perforación por no conocerse su configuración estructural .

Ipa Sur.- No existe ninguna evidencia por gravimetría ni geomorfología y además por sísmica se ve muy mal por lo que recomendamos abandonar el objetivo por el momento.

Ipa Norte.- Al igual que Ipa Sur no existe ninguna evidencia ni gravimétrica ni geomorfológica y por sísmica se ve muy mal también, por lo que recomendamos abandonar el objetivo por el momento .

La Finquita: .- No existe ninguna evidencia por gravimetría ni geomorfología . Además por sísmica, aunque se observa un levantamiento evidente, no es correcta la construcción de la estructura, ya que el levantamiento es E-W y en el perfil 03 se observa que levanta hacia el oeste y se dibuja bajando, o sea, la construcción no es valida ya que no concuerda con los datos.

Si a eso le añadimos, el riesgo de que debajo tenga la U.T.E Remedios al igual que Morón Norte, no habría una acumulación de petróleo conocido en la parte inferior que pudiera haberlo migrado hacia arriba por fallas verticales.

Abandonar ese objetivo por el momento.

Se analizaron todas las estructuras mapeadas por la sísmica pero el objetivo fundamental se centra en el Bloque IV que lo exponemos a continuación. (Yacimiento Pina), Francisco Sur, Francisco Norte, Fortuna, Alfonso, Ciro, Benjamín, Príncipe, Paraíso Oeste y Pina Sureste.

#### Prospectos:

**Fortuna.-** Coincide por gravimetría y geomorfología.

Por sísmica se encuentra mapeado por 4 perfiles en los cuales se observa bien el levantamiento pero tiene el pozo Fortuna # 1 perforado en el tope de la estructura,

demostrando la existencia del levantamiento, pero el pozo resultó seco por lo que recomendamos abandonar por el momento el estudio de dicha estructura.

**Alfonso.**- Coincide con gravimetría y con geomorfología.

Tiene varios perfiles sísmicos (4), 3 de baja calidad y uno solo de buena calidad, por lo que la construcción de la estructura no es del todo fiable, aunque si se observa bien la falla transcurrente de rumbo NE-SW contra la cual se acuña la estructura. Está vinculado al pozo Alfonso # 1 perforado en un flanco de la estructura con presencia de petróleo pero con mala permeabilidad.

Esta estructura se asocia a los elementos estructurales de fallas transcurrentes y a las estructuras muy bien definidas y parecidas al área de Pina.

**Ciro.**- Coincide con gravimetría y geomorfología.

Está atravesada por 4 perfiles de mediana calidad pero se puede mapear la estructura. Esto, junto a la presencia de varios pozos perforados en el flanco norte del área de la estructura mencionada, todos con producción de petróleo.

Objetivos:

**Benjamín (Mirtha Oeste).**- No coincide con gravimetría aunque si se refleja por geomorfología.

Este objetivo a pesar de estar atravesado por 5 perfiles solamente se ve levantado en dos de ellos y en la misma dirección, mientras en las otras tres no se observa dicho levantamiento. La calidad de la sísmica es mala, por gravimetría no se observa bien y por geomorfología se observa la zona levantada.

Este objetivo queda pendiente mientras no se realice sísmica adicional.

**Príncipe (Mirtha Este).**- Tiene coincidencia con geomorfología y se observa una anomalía gravimétrica local.

En cuanto a la sísmica tiene 3 perfiles por la estructura, de ellos en el 20 se observa una elevación (E-W). En el final del perfil 6P se puede observar un levantamiento. En el perfil 7P se observa una elevación, y se amarran a un horizonte más profundo debido a

la información del pozo Las Coloradas # 1. Las Coloradas están al Norte de la falla que limita esta estructura.

En el perfil 03 también se ve levantado, sin embargo se puso hundido a pesar de detectar la falla.

Hacia el NE se observa otro levantamiento estructural (sin nombre) que bien pudiera estar asociado con Príncipe y todo constituir una gran estructura. Parece un lugar muy interesante.

Por todo lo anterior recomendamos reestudiar estratigráficamente el pozo Las Coloradas de 1100 a 1600 m. por parte del CEINPET, mientras que Digicupet debe realizar un reestudio en escala 1:10,000 con todos los perfiles y situar las fallas que independizan el área de Las Coloradas.

**Paraíso Oeste.-** Existe muy buena coincidencia por gravimetría, geomorfología y sísmica.

Aunque existen 3 perfiles de mediana calidad uno de ellos es final y otro va por el flanco Sur, pero innegablemente se observa una zona levantada. La forma de la estructura no es válida. Entre Paraíso oeste y Paraíso este se perforó el pozo Paraíso con buenas manifestaciones durante la perforación pero durante el ensayo no tuvo resultados, por lo que recomendamos, antes de abandonar la estructura continuar su desarrollo hay que concluir el ensayo del pozo.

**Paraíso Este.-** Existe buena coincidencia entre sísmica, gravimetría y geomorfología.

Por sísmica, se puede observar una zona levantada, aunque todo es por finales de perfiles e incluso en casos por los horizontes inferiores ya que los superiores no registraron. La construcción estructural no concuerda con los perfiles, no se observa la parte hundida que se dibuja por el perfil 16B separando el Paraíso este del oeste. La construcción estructural no es válida.

Existe el pozo Paraíso perforado y seguir el estudio de esa región.

**Pina Sureste.-** Existe buena coincidencia entre la sísmica, gravimetría y geomorfología.

Por sísmica el levantamiento se observa bastante bien, pero la parte más elevada de la estructura coincide con el pueblo de Ciro Redondo. Se perforó un pozo en el flanco,

bastante alejado de la estructura, con malos resultados por lo que recomendamos no hacer nada por el momento y en caso de decidirse trabajar la estructura debe ser mediante pozos horizontales.

**Francisco Norte.**- No existe correlación con gravimetría, aunque sí por geomorfología.

En cuanto a la sísmica existen dos perfiles. En la dirección NNE -SSW existe el perfil 15 en que se observa un levantamiento para los horizontes inferiores, pues en el tope no hay información por los horizontes más profundos, se observa bien el levantamiento en ambos flancos de la estructura.

Analizando los perfiles sísmicos se puede ver que la construcción dibujada no es correcta ya que la estructura sigue un rumbo ENE -WSW y no N-S como se dibujó. Esta dirección lo haría prolongarse con Pina con la dirección de sus estructuras bien conocidas en el yacimiento.

La correlación excelente del pozo perforado Francisco # 1, no ensayado con Pina 2 en cuanto a registros, profundidades y características de las manifestaciones durante la perforación nos lleva a recomendar a no abandonar el área y seguir los resultados de Francisco

El resultado principal obtenido es la gran coincidencia que se ha tenido en el análisis geomorfológico y las anomalías descritas por la geofísica, especialmente en el bloque IV determinado por la interpretación geomorfológica. Es de destacar además el número de estructuras R delimitadas por la geomorfología, lo cual justifica la determinación del bloque IV por las alineaciones NW, que limitan el mismo hacia la parte occidental y oriental (Fig. III. 4). Aquí coinciden todos los factores estructurales geomorfológicos para la ubicación de objetivos petroleros como se ha explicado con anterioridad y desde esta escala de trabajo se orienta un desarrollo estructural expresado a través de las anomalías geomorfológicas: R1, R9, y R8 desde Francisco hasta Alfonso en una dirección NW divididas por fallas, todos estos elementos determinados en el análisis geomorfológico. Estas direcciones se reflejan más gráficamente en las rosas diagrama, (Fig. III.4.A).

**CAPITULO IV ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO–ESTRUCTURAL Y SU  
RELACIÓN CON LA FRACTURA DETERMINADA EN POZOS DE  
PETROLEO Y TRABAJOS DE CAMPO EN EL AREA PINA–BRUJO.**

## **CAPITULO IV Estudio Geomorfológico–Estructural y su relación con la Fractura determinada en Pozos de Petróleo y trabajos de Campo en el área Pina –Brujo.**

El yacimiento Pina descubierto en 1990, se encuentra ubicado en la Cuenca Central, la cual está enmarcada en las provincias de Ciego de Ávila y Sancti-Spíritus. Este yacimiento está constituido esencialmente por reservorios de tipo fracturado en el que las rocas constituyentes son las vulcanógenas y vulcanógeno - sedimentarias del arco volcánico del Cretácico. Tal constitución litológica le imprime al yacimiento características específicas, por cuanto tales rocas por su naturaleza no son muy comunes como horizonte productor en yacimientos de petróleo a nivel mundial. El carácter variable de las rocas volcánicas se acentúa aún más en la acumulación de las tobas, las cuales son el resultado de la sedimentación de las cenizas volcánicas en conjunto con los piroclastos emanados de las sucesivas erupciones, lo cual explica además el carácter discontinuo de ciertas capas dentro de los horizontes de tobas del yacimiento en cuestión.

Referido a los eventos de Colisión que han afectado sucesivamente a la región caribeña, Mann, (1999), propone un modelo evolutivo que considera el desarrollo de un proceso de colisión secuencial entre la placa del Caribe y los márgenes de Yucatán, Norteamérica y Sudamérica. Tales eventos posiblemente se relacionan a escala regional, con la compresión que ha sufrido la placa del Caribe en su deriva hacia el este entre las placas de Norteamérica y Suramérica, estando además afectados desde el oligoceno por el proceso de transcurrancia en el Caribe occidental. (Cruz, I. 2006)

Al cesar las grandes deformaciones producto de la colisión se establece el régimen transcurrente, el cual a nuestro entender es el responsable de la configuración actual del yacimiento, de modo que las zonas de fallas ya generadas pudieron haber sido reactivadas debido a la transcurrancia.

De modo general el modelo geológico del bloque está caracterizado por el levantamiento de las tobas y de los efusivos. (Pérez, Y. 2004).

La continuación de los movimientos convergentes -en épocas posteriores al Eoceno Medio-, han sido evidenciados en primer lugar, por la huella que dejan las fallas en la superficie -estudiadas por la geomorfología; observándose una

sorprendente coincidencia entre éstas y las cartografiadas por las informaciones obtenidas de los pozos.

En segundo lugar, la sismica ha permitido conocer que los horizontes más jóvenes han sido afectados por los movimientos tectónicos, ya que estos se ven desplazados a través de las fallas, lo que constituye un evidente argumento de la continuación de los movimientos compresivos hasta épocas pre-miocénicas. Los propios cortes sísmicos reflejan la débil magnitud de estos movimientos por los pequeños desplazamientos que tienen lugar (Sosa, C. 2006).

#### **IV.1. Características del Reservorio.**

Esta área de estudio en detalle, escala 1:10000 que incluye el yacimiento Pina, se encuentra en la llanura Júcaro - Morón, según la regionalización físico-geográfica (Atlas de Cuba, Acevedo, 1989); y donde geológicamente y de forma general se encuentra el Terreno Zaza sobrecorrido sobre las Unidades Tectono Estratigráficas Placetas, Camajuaní y Remedios. (Fig. III.1.2).

El corte se divide de la siguiente manera:

Rocas Postorogénicas.- Corresponde con un espesor promedio de 350 m, integrado fundamentalmente por conglomerados, areniscas, arcillas y calizas, donde son frecuentes los procesos de dolomitización. Ha sido poco nucleada. Su edad se determina como Eoceno Medio Tardío a Mioceno. Es la cobertura o "tapa" del yacimiento, que descansa sobre el sello del mismo.

Rocas Sinorogénicas: Con un espesor de 800 m, está integrada fundamentalmente por margas biógenas con algún contenido limoso de granos procedentes de la destrucción del Arco Volcánico Cretácico. Menos frecuentemente ocurren intercalaciones de calizas, areniscas y arcillas más o menos calcáreas. Su edad se sitúa desde el Maestrichtiano Superior hasta el Eoceno Medio Temprano y constituye el "sello regional" del yacimiento.

Al Nordeste, en la base de los depósitos del Eoceno Inferior, se encuentran paquetes de conglomerados, con guijarros de efusivos, tobas y calizas, contenidas en la matriz arcillosa, que hacen contacto con las rocas del Arco Volcánico Cretácico en su tope y no deben confundirse con éstas. Su presencia es importante ya que pueden constituir reservorios.

Rocas Preorogénicas: Corresponde al Terreno Zaza desde Aptiano - Albiano hasta el Campaniano. Comprende dos grandes complejos que se diferencian en todo el yacimiento:

Complejo Explosivo: Se trata del reservorio principal del yacimiento, siendo la sección del corte más nucleado. Las diferencias hipsométricas en el tope de la secuencia parecen indicar distinto nivel erosivo en el fondo del mar. De este modo, su contacto con las rocas del Maestrichtiano Superior es discordante: erosión del Maestrichtiano Inferior y parte del Campaniano Superior.

Estamos en presencia de un complejo andesítico con el carácter explosivo bien marcado, muy rico en tobas de diferentes estructuras y granulometría, con frecuentes mezclas de elementos sedimentarios comunes lo que se expresa en la determinación de tufitas y rocas tobáceas.

Los componentes sedimentarios como regla general se incrementan hacia el tope del complejo; también de modo general la granulometría se afina hacia el tope. De aquí la posible división en “tobas finas” y “tobas gruesas” que se ha podido generalizar en casi todos los pozos, correspondientemente la estratificación es más fina y frecuente hacia el tope, donde se encuentran capas laminares y micro laminares y decrece caóticamente hacia la base.

Los elementos fósiles arrojan edad Campaniano para el horizonte “tobas finas”, con un espesor de 400–600 m y Aptiano Superior–Turoniano para el horizonte de “tobas gruesas” con espesor de 400 m. En la base se encuentran lentes de calizas tobáceas con edad Albiano- Cenomaniano.

Complejo Efusivo: Se trata del reservorio subordinado en el yacimiento. Comprende un conjunto de paquetes de flujo de lava, con algunas intercalaciones vulcanoclásticas.

Una particularidad significativa es que casi todos los núcleos cortaron las rocas efusivas y excepcionalmente las vulcanoclásticas. La composición es predominantemente basáltica y andesítica, evidenciándose también su derrame en condiciones subacuáticas y registrando en algunos casos la morfología del paleorelieve submarino. El conjunto se distingue bien por su quimismo y textura de las rocas correspondientes a la culminación de la asociación ofiolítica. El espesor no ha sido

atravesado, sobrepasando en ocasiones los 2000 m. (Segura, R., 1998, en Cruz, R. 1998).

La Geología de superficie muestra que en esta área de detalle solo afloran rocas postorogénicas de la Formación Guines, con una composición litológica de calizas biógenas, detríticas y dolomitizadas, de edad Mioceno Superior.

## **IV.2. ANÁLISIS Geomorfológico Estructural de Detalle.**

### **IV.2.1. Métodos Geomorfológicos Utilizados .**

Sobre la base de la aplicación de los métodos geomorfológicos interrelacionados con los trabajos de campo, se realizaron diferentes esquemas utilizando los resultados obtenidos por la geología de superficie, trabajos de gabinete y la información por datos de pozos. Los materiales utilizados para la obtención de los diferentes esquemas fue la interpretación de las cartas topográficas 1: 250 000, 1: 50 000, de trabajo regional anterior y la escala de detalle 1: 10 000. (Fig. IV.1. y IV.1.1 A). de esta última de manera interrelacionada obtendremos sobre la base de la interpretación estos resultados que se muestran a continuación:

- Red de drenaje. Fig. IV.3
- Esquema de lineamientos. Fig. IV.4
- Disección vertical. Fig. IV.5
- Esquema morfotectónico y Rosa diagrama. Fig. IV.6

Cada mapa fue interpretado de manera que se pudiera ir generando la información tectónica - estructural hasta realizar un mapa final morfotectónico.

#### **Red de drenaje.**

Se confecciona interpretando las hojas topográficas, donde la altimetría se refleja por medio de curvas de niveles, determinándose las corrientes fundamentales y divisorias de las aguas correspondientes y reconociendo estructuras circulares. Este mapa constituye una herramienta indispensable para el estudio de la tectónica donde se realizaron esquemas a escala 1: 10 000, identificándose características diferentes en la morfología y tectónica hacia la parte occidental y oriental. Observándose además de manera excelente la división cualitativa del drenaje, al presentar hacia el área occidental

el sistema de posibles cabalgamientos con un ambiente compresivo en la dirección de los esfuerzos, una zona de transición central y hacia la parte oriental sistemas transcurrentes de dirección NE, fundamentalmente.

Esquema de lineamientos.

Es el resultado de la combinación de la red de drenaje, disección vertical e interpretación cartográfica y se observa igualmente el área dividida en dos sectores: oriental y occidental. En el área oriental se aprecia un menor desarrollo de los lineamientos y se destaca la dirección nordeste, hacia el área donde están ubicados los pozos Brujo, como sistema de fallas transcurrentes. ( Fig. IV.4; IV.5 y IV.6).

Disección vertical.

Se realiza a partir de las cartas topográficas y consiste en la diferencia relativa de altura, o sea, entre la diferencia de la cota máxima y mínima de altitud por cada celda.

Este mapa nos ofrece una importante información sobre los procesos de la neotectónica, por la intensidad de los movimientos reflejados en el desmembramiento del relieve relacionados con los movimientos principales de las fallas en la dirección NE y NW. En este estudio se localizan las mayores diferencias de altura (mayor intensidad), en las fallas regionales que limitan los posibles pliegues de escama; no obstante en la dirección de los cabalgamientos y hacia la zona elevada del pliegue (bóveda) es que observamos una mayor fracturación. Esto nos indica que ésta zona se encuentra en el área de máxima curvatura y por tanto de mayor permeabilidad. Se pudo delimitar las áreas productivas en rangos de valores menores de  $3.5 \text{ m}/0.4 \text{ Km}^2$  (Fig. IV.5) lo que se observa muy bien en la parte occidental, donde la expresión estructural en la dirección noreste es muy evidente; sin embargo hacia la parte oriental del área se presentan igualmente valores relativamente bajos, muy similar a la parte occidental y no aparece el sistema de fallas inversas, sólo existe una expresión tectónica de fallas transcurrentes, de tipo sinistral, que pueden ser vías de migración.

La Rosa diagrama.

La rosa diagrama consiste en la expresión gráfica de los promedios de las direcciones, en este caso de las fracturas.

Se realizó tanto para el afloramiento como para el yacimiento, en el gabinete. En ambas tiene una expresión caótica, aunque se puede apreciar el desarrollo de la tectónica en la dirección del rumbo cubano y todo el sistema de fallas transcurrentes de dirección noreste; existe coincidencia entre las direcciones de máximo y mínimo estrés obtenido en los registros de FMS determinadas por el trabajo de las fracturas en el área, (Rodríguez, M., año 2000). La dirección descrita parece ser decisiva y la generadora del relieve por el efecto de la morfología como elemento primario. Por estas características morfotectónicas que se identifican hacia el área del yacimiento Pina las estructuras reflejadas deben tener un origen neotectónico,

#### Esquema Morfotectónico.

Este esquema surge a partir de la generalización de los elementos de la disección vertical, esquemas de lineamientos y red de drenaje, por los cuales se pudo graficar el desarrollo estructural que, para el bloque occidental se considera de gran interés, ya que pudiera estar relacionado con la zona de bandeda de pliegues (mas levantada), debe presentar mayor fracturación y se orientan a través de las estructuras en una dirección noroeste (dirección de los cabalgamientos). En el esquema pueden observarse las áreas perspectivas A, B, C, y D, que conforman un sistema imbricado de pliegues de tipo duplex, que es originado por la acción de los esfuerzos principales en esta dirección. Se observa la parte occidental muy diferente a la oriental donde encontramos esta última con limitado desarrollo estructural comparada con el área anterior. Se observan fundamentalmente las vías de migración, pero no se descartan áreas de interés para petróleo por lo que la interpretación conjunta de los mapas de pendientes y disección vertical, red de drenaje, lineamiento y el morfotectónico (entre otros) a escala 1:10000 permitió asociar los lineamientos y la morfología de las estructuras superficiales con los frentes de los mantos cabalgados enterrados, los que producto de los movimientos neotectónicos compresivos se han reactivado plegando los sedimentos más jóvenes, efectos estos que pueden ser observados en el mapa de drenaje y el morfotectónico.

### IV.2.2. Trabajos Geólogo-Geomorfológicos de Campo .

El trabajo de campo fundamentalmente se desarrolló en la Cantera “Los Barriles” compuesto de rocas volcánicas situado a 7 Km. del pueblo de Jicotea, en la carretera Ciego - Jatibonico, ubicado en la carta de Ciego de Avila 4481-IV, donde se cortó las rocas que constituyen reservorios. Además se trabajó sobre afloramientos en partes del corte como conglomerados, calizas, margas, en El Armadillo, carretera Majagua – Tamarindo, aproximadamente a 10 Km. del yacimiento Pina, en la carta de Florencia 4482 – III, en escala 1:50000.

Aquí se realizaron mediciones del rumbo en varios puntos, fundamentalmente en las paredes verticales, y algunas en el suelo, con técnicas del disco abierto al asar y dirigidas bajo la dirección del especialista (Aguilera, R. 1980). Tabla #1.

Además de la Tabla anterior la que recoge muy sucintamente el trabajo de campo realizado, podemos puntualizar y concretar varios aspectos interesantes observados:

- ? Tanto en el afloramiento de diabasas y tobas en la cantera (los Barriles), como en el resto de los puntos estudiados y que pertenecen al corte descrito en los pozos del yacimiento Pina, existe una tendencia en los lineamientos de la dirección NE y le sigue la NW, aunque también se observan frecuentemente las NS y EW. Esto se ve reflejado en la Rosa Diagrama (Fig . IV.6).
- ? El fracturamiento es tan intenso (llegando a la milonitización) que puede comportarse como un medio isotrópico.
- ? Es muy común observar un tipo de fracturas curvas que pueden ser consideradas del tipo Shear -extensión.
- ? También se observan las fallas cortándose debido al tectonismo, siendo éstas muy importantes para la producción, como se observa en el trabajo de campo.
- ? En ocasiones se puede apreciar como una falla más reciente desplaza a otra más antigua.
- ? Sobre la base de la media de valores de espaciamiento entre fracturas medidas en el campo (con el fin de propiciar los datos a ingeniería de yacimientos para la modelación matemática), se pudo establecer diferentes rangos para las direcciones NE, NW y EW. Las cuales son:

SW - NE de 0.4 a 0.2 m.

SE - NW de 0.25 a 1.85 m.

EW aproximadamente a 0.20 m

El trabajo de gabinete realizado a la zona del yacimiento Pina se hizo en las cartas de Morón 4482 – II en 1: 50000 y en 4482 – II C4 y 5 en escala 1: 10 000.

### IV.3. Estudio de la Facturación en núcleos y Secciones Delgadas.

#### IV.3.1. Fracturas y aspectos relacionados.

Para este estudio se analizaron 111 núcleos de los distintos complejos existentes en el reservorio: 90 del complejo explosivo y 21 del complejo efusivo, cuyos resultados mostramos a continuación.

Complejo Explosivo	90 núcleos
Fracturas verticales principales	17
Fracturas oblicuas principales	25
Fracturas verticales + oblicuas	11
Fracturas oblicuas paralelas a las capas	8

Nota: En los perfiles con inclinación de capas se obtuvieron 4 direcciones oblicuas más coincidentes con la dirección de las capas ( $8 + 4 = 12$ ).

Complejo efusivo	21 núcleos
Fracturas verticales principales	1
Fracturas oblicuas principales	8
Fracturas principales + oblicuas	0

Segura, R., 1998 en Cruz, R., 1998.

Las fracturas dispersas se distribuyen en todo el corte .

Las superficies de fricción ocurren tanto para las fracturas verticales como oblicuas y dispersas, pero las oblicuas en rocas de granulometría fina son muy conspicuas, como espejos de fricción, a menudo cloritizados.

#### IV.3.2. Nomenclatura y definiciones utilizadas.

Fracturas:

Cerradas: las que no tienen una separación medible y se le asigna el valor  $<0.01$ .

Abiertas: en la cual la separación pueda ser medible.

Mineralizada: Fractura abierta que está rellena por un componente mineral (calcita, zeolita).

Medible: Con suficiente longitud en el núcleo para estimar su ángulo de buzamiento. A menudo cruzan a través del núcleo (oblicuas, horizontales) o la atraviesan según su longitud (verticales).

No medible: Fracturas con insuficiente longitud o demasiado rotas para efectuar su medición.

Superficies de fricción (Slickenside): Superficie pulida o estriada que resulta de la fricción tectónica. Si está muy pulida, con buena reflexión de la luz, se denomina “espejo de fricción” y generalmente expresa zonas de fallamiento. Según Core Laboratories (Canadá) las superficies de fricción disminuyen la permeabilidad de la matriz a la fractura, pero influyen notablemente la permeabilidad direccional dentro de la fractura. (Cruz Toledo 1998).

Observaciones en Pina:

Las fracturas abiertas ocurren tanto para las verticales como para las oblicuas, siguen estas últimas la dirección de las capas o no. Las verticales desarrollan superficies de fricción generalmente estriadas y en la mayoría de los casos con buena impregnación de petróleo. Las superficies de fricción pulidas tienen mayor tendencia a desarrollarse en las fracturas oblicuas y también contienen impregnación de petróleo. Las fracturas dispersas a menudo están rellenas por calcita y/o zeolitas y tienen escasa impregnación.

Nota: La presencia de microfisuras (estudiadas en sección delgada) puede explicar valores altos de permeabilidad en núcleos donde las fracturas no se observan megascópicamente. (Cruz Toledo 1998).

### **IV.3.3 Generaciones de las fracturas. Distribución areal de las mismas.**

Se realizó un estudio de los tipos de fracturas que aparecían en los núcleos, ya fueran verticales, horizontales, oblicuas, dispersas, si se observaba brechamiento, poros y cavernas y en presencia de petróleo. Todo este estudio se reflejó en la siguiente Tabla: (Tabla 2.s.f.: superficie de fricción. (Fig. IV.7)

Del estudio realizado se definieron tres generaciones de fracturas:

- ? La primera generación de fracturas (I) se asocia a las dispersas. Generalmente son cortas, zigzagueantes, cerradas o mineralizadas. Son las que tuvieron más tiempo para mineralizarse por calcita y/o zeolitas y contienen petróleo con menor frecuencia; ejemplo en el pozo P-37, núcleo 5 (Fig. IV.7 y IV.1).
- ? La segunda generación (II) corresponde a las fracturas oblicuas. Las mismas son largas, medibles, abiertas, y contienen petróleo en la mayoría de los casos. Cuando la granulometría es muy fina, se desarrollan superficies de fricción que “chorrean” petróleo. (Fig. IV.9)
- ? La tercera y última generación de fracturas (III) corresponden a las verticales, que dan lugar a superficies de fricción, estriadas frecuentemente, que también contienen petróleo; ejemplo de estas dos lo vemos en el pozo P-27, núcleo 3 (fig. IV.7 y IV.9).

Se puede presuponer que la generación I tiene carácter tectónico (quizás en algunos casos carácter diagenético) muy prematuro. Que la generación II de fracturas oblicuas, es la principal dirección y que la generación III, de fracturas verticales, es la más tardía, quizás postorogénica, de gran importancia en la migración, pues comunica a las generaciones previas.

Debido a la cantidad de pozos incluidos en este estudio se pudo realizar una distribución areal aproximada de las tres generaciones de fracturas ( Fig. IV.8, IV.9 y IV.10). Algunas de las alineaciones tectónicas definidas se observan en los mapas anteriormente referidos.

Si comparamos la frecuencia de estas generaciones en los diferentes litotipos definidos, tobas fina y gruesas y Efusivos, ( Fig. IV.11), de este gráfico se desprende que:

- ? La primera generación de fracturas es más frecuente en las Tobas gruesas y Efusivos que en las Tobas finas.
- ? La tercera generación es muy frecuente en las Tobas finas, teniendo muy poco % de aparición en las Gruesas y Efusivos.
- ? La segunda generación presenta una frecuencia aproximada de aparición en los tres litotipos.

Recordar que la II y III generación de fracturas son las más importantes para la conformación de la roca en almacén.

#### **IV.3.4. Densidad de fracturas, aberturas y distancia entre fracturas.**

Se define la Densidad de fracturas como el número de fracturas existentes en un metro del intervalo del núcleo. En Cuba se toma un intervalo entre 10 – 20 cm., debido a la mala recuperación de los núcleos.

$$DF = \text{Suma lineal de las fracturas (cm.)} / \text{área seleccionada del núcleo (cm}^2\text{)}$$

En la Tabla IV.3 mostramos los resultados de los estudios realizados a secciones delgadas:

Abertura y distancia entre fracturas: Se realizó el estudio macroscópico de 36 núcleos, que son todos los que en alguna medida son representativos. Se consideran solo las fracturas paralelas a las capas, que son las efectivas y con buenas propiedades comunicantes. Los resultados de las mediciones se expresan en la Tabla IV.4, considerándose el intervalo de 20 cm. en cada núcleo. La abertura se determinó con el ocular micrométrico MBS-1

A partir de las Tablas IV. 3 y IV.4 se confeccionó un gráfico de frecuencia expresado en por ciento de las tobas finas, gruesas y efusivas con el fin de comparar estos tres atributos: Densidad, aberturas y distancia entre fracturas; el cual arrojó los resultados siguientes:

- ? La distancia entre fracturas es mucho menor espaciada en las tobas finas que en las tobas gruesas y efusivos.
- ? La abertura de las fracturas son menores en las tobas finas y en los Efusivos que en las tobas gruesas .
- ? La densidad de fracturas se consideró teniendo en cuenta sólo dos poblaciones la tobas en general y los efusivos, observándose que aunque no se diferencian mucho, siempre es mayor en las tobas.

En los efusivos las fracturas principales son variables en todos sus factores. Debe recordarse que dichas fracturas siguen el plano general y no ocurren a lo largo de capas estratificadas como en las tobas.

Debemos de tener en cuenta que la cantidad de fracturas es variable en las tobas finas, lo cual no se puede comparar con las tobas gruesas debido a las escasas mediciones en estas últimas.

#### **IV.3.5. Tipos de reservorios según fracturas .**

##### **Fracturado:**

Densidad de las fracturas ( cm. /cm<sup>2</sup>) >1.50

Extensión (mm) y morfología de las fracturas: Fracturas > 30 -50 perpendiculares o cruzadas con ángulo alto, con buena comunicación.

Evaluación: Las fracturas determinan la capacidad de filtración .

##### **Fracturado – poroso.**

Densidad de las fracturas ( cm. /cm<sup>2</sup>) 0.60-1.50

Extensión (mm) y morfología de las fracturas: Fracturas ± 30, que tienen buena extensión pero se cruzan con menos frecuencia que en el tipo fracturado, su comunicación puede ser regular a buena.

Evaluación: Tanto las fracturas como la matriz intervienen en la capacidad de filtración.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, el reservorio predominante en Pina es el fracturado – poroso y en algunos casos (no determinados por nosotros) podría alcanzarse el tipo fracturado. Debe aclararse que los “poros” de la matriz están constituidos por varias categorías como es la de Microfracturas, observables en sección delgada, ejemplo pozo P-3, núcleo 4 (Fig. IV.12), aunque existen otras como las de Poros por lixiviación y Poros en sentido estricto .

Dichas fracturas siguen el plano general y no ocurren a lo largo de capas estratificadas como en las tobas.

#### **IV.4. Relación entre las microfracturas observadas en núcleos y macrofracturas en superficies.**

El objetivo que se pretende en este estudio, es interrelacionar todos los elementos fracturas, en todos sus aspectos, tanto en superficie en gran escala, a partir de los métodos morfométricos, trabajo geológico de campo, etc., de manera que las microfracturas estudiadas en los núcleos y secciones delgadas obtenidas de los mismos, como las propiedades medidas en estos y que se relacionaban de una u otra forma con las fracturas, se han expresado anteriormente.

Para esto se comparó el porcentaje de fracturas de las tres generaciones fundamentales, de brechamiento con la relación entre espacios de fracturas en el núcleo y las fallas asociadas en superficie a cada pozo. Esto se hizo para conocer alguna posible relación entre dichas generaciones de fracturas y las direcciones de los lineamientos (fracturas-fallas).

A continuación mostraremos la Tabla 5 con los datos de núcleos (micro), obtenidos de las Tablas 1, Tabla 2 y Tabla 4, que nos brinda estos resultados interrelacionados de las generaciones, cantidad y espacio entre fracturas respectivamente, se relacionan además con las direcciones predominantes de los lineamientos, utilizando para ello el pozo y su posición tectónica se expresa las generaciones de fracturas con los valores en porcentaje en el pozo.

Aunque el análisis de los núcleos se realizó a 29 pozos de los 76 estudiados, los resultados obtenidos de las Tablas 1, Tabla 2, Tabla 4 y Tabla 5, pudieron indicar resultados interesantes con la generalización de los resultados obtenidos (Tabla IV.6).

La Tabla 6 nos muestra que existe una tendencia de asociación de la I generación de fracturas con fallas en dirección NW:

- ? La II y III generación de fracturas con los eventos tectónicos en dirección NE.
- ? Cuando se combinan varias generaciones de fracturas y existe además brechamiento, se asocian también a eventos en dirección NE preferentemente.
- ? Del análisis del espaciamiento de las fracturas en los núcleos se obtienen diferentes rangos asociados a las direcciones de los lineamientos según se explicó con anterioridad:
  - SW - NE de 0.7 a 4 cm.
  - SE - NW de 1.0 a 15 cm.

EW a 4 cm.

Resultados:

Los resultados fueron favorables cumpliéndose uno de los objetivos y es el referido a la coincidencia en las direcciones de Fracturas obtenidas: las megafacturas observadas en superficie (trabajo de campo), microfracturas en núcleos de pozos, trabajos geomorfológicos de gabinete, Los mapas de generaciones de fractura y las rosas diagramas Tabla 6, Fig. IV.8, Fig. IV.9, Fig. IV.10, Fig. IV. 6

Se determina una generación de fracturas (I) donde predomina la dirección con rumbo NW asociada a la falla más antigua, vinculada a la etapa orogénica y otra en la dirección de los esfuerzos de dirección NE que, según la metodología, orientan hacia posibles trampas y vías de migración como condiciones favorables desde las investigaciones geomorfológicas para la búsqueda de objetivos y prospectos, que existan rocas generadoras carbonatadas del margen continental que puedan constituir rocas madres, en esta zona con condiciones tan favorables y a sí encontrar otras áreas similares a Pina.

Los sistemas de drenaje delimitaron el área fundamental hacia la parte más occidental y los lineamientos del drenaje en la dirección NW expresaba una morfología que se relacionó desde la escala regional con un ambiente compresivo.

Existen conclusiones y resultados en las tres escalas de trabajo pero resumiremos las conclusiones fundamentales.

## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES.

1. Se Confirma que la geomorfología es un método más dentro del complejo interdisciplinario para la búsqueda de estructuras favorables para la exploración petrolera.
2. Se demostró la relación existente entre las estructuras geomorfológicas y geofísicas. Especialmente en el Bloque IV, donde las estructuras detectadas por la geofísica tienen plena coincidencia con las estructuras geomorfológicas, según la metodología aplicada.
3. Se delimitaron las estructuras donde la geometría de las mismas coincide con la teoría de cizalla: fallas inversas, fallas transcurrentes reflejadas en los sistemas de drenaje, lo que nos indica la posibilidad de la ampliación para la búsqueda de petróleo en esta área patrón.
4. Se identificaron en análisis morfotectónico 5 bloques, determinándose el bloque principal, que coincide con las mejores condiciones geológico – geomorfológicas: estructuración en la dirección N W, zonas levantadas, posibles vías de migración y posibles trampas en la dirección de los esfuerzos (N E).
5. Se identificaron en el área patrón Pina las estructuras levantadas relacionadas con las posibles trampas y vías de migración en las direcciones N W y NE respectivamente, asociados a la tectónica regional del rumbo cubano y la falla La Trocha.
6. Se determinaron otras anomalías geomorfológicas donde no existían trabajos geofísicos.
7. Se propuso una estructura nombrada Alfonso, como objetivo petrolero, partiendo de las características similares al área patrón de Pina, en la dirección N W.
8. Se demostró la coincidencia en la dirección de las megafracturas, observadas en superficie (trabajo de campo), microfracturas en núcleos de pozos y trabajos geomorfológicos de gabinete.

## **RECOMENDACIONES**

## RECOMENDACIONES.

1. Realizar estudios geomorfológicos previos para la búsqueda de objetivos o prospectos a cualquier escala de trabajo.
2. Aplicar trabajos geomorfológicos en zonas donde no exista la sísmica para orientar como método alternativo de búsqueda.
3. Realizar en el 2009 , en el proyecto 6005 trabajos geomorfológicos de detalle, sobre la base de los resultados obtenidos.

## **BIBLIOGRAFIA**

**BIBLIOGRAFIA**

1. Academia de Ciencias de Cuba. Nuevo Atlas de Cuba 1989. Editorial Madrid. España.
2. Aguilera, R. 1980 Naturally Fractured Reservoirs. Penwell publishing.
3. Rodríguez, A.; Manual de geomorfología. Dpto. de Ciencias Básicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Ministerio de Educación Superior. Moa.
4. Álvarez, J. et. al., 1992; Dictamen Técnico Económico del Noreste de la Cuenca Central. Archivo Técnico CEINPET.
5. Álvarez, J., Cruz, R., et. al. 1995; Caracterización Geólogo-Geofísica y posibilidades gasopetrolíferas de los Bloques 16 y 17.
6. Álvarez, J.; Aballí, P.; Cruz, R.; 1998; Proyecto 2132, etapa #1. Evaluación de Lead para los bloques 6, 7, 9 y 10. Archivo del CEINPET. La Habana .
7. Álvarez, J.; Blanco, S.; Cruz, R.; et. al. 1995. Caracterización Geológica de los Bloques 14 y 15.
8. Álvarez, J; Sánchez, J.; 2001. Evaluación de Objetivos y Prospectos de los bloques (del 12 al 18 y 21). Archivo del CEINPET. La Habana.
9. Álvarez, J; Valladares, S; Perera, C.; Cruz, R. et. al. 2000; Evaluación de Objetivos y Prospectos para la Exploración por CUPET del bloque 21. E-468 Archivo del CEINPET. La Habana
10. Álvarez, J.; 1996. Modelo geológico del yacimiento Pina. Archivo del CEINPET. La Habana.
11. Auboin, J., Brousse, R., Lehman, J. P., 1980; Tectónica, Tectonofísica, Morfología. Ediciones Omega, Barcelona, España. pp. 642.
12. Ayan, C., 1994; Measuring Permeability Anisotropy: The Latest Approach. Oilfield Review.
13. Barea, M.; Fernández N. 1986; Estudio Estricto-Geomorfológico del área Cantel Camarioca. Provincia de Matanzas. Manuscrito Archivo del Ceinpet. La Habana.
14. Barea, M.; Fernández, N. 1988; Introducción, análisis y evaluación del método de Geomorfología Detallada para la prospección de yacimientos de hidrocarburos de distintas áreas. Manuscrito Archivo del Ceinpet. La Habana.

15. Barea, M.; Rodríguez, M. 1988; Introducción, análisis y evaluación del método de Geomorfología Detallada para la prospección de yacimientos de hidrocarburos de distintas áreas. Manuscrito Archivo del Ceinpet. La Habana.
16. Barea, M. et. al., 1989; Caracterización geomorfológica de la asociación ofiolítica en la búsqueda de nuevos depósitos gasopetrolíferos. Congreso de Geología. Libro de Resúmenes. La Habana Cuba.
17. Bernal, D.; Kramez, C.; Valdés, G. 1994; Campos Gigantes de finales de los 80 asociados con subducción tipo A en Sudamérica. Bol., Soc., Venezolana de Geología. Vol. 19. Nos 1 -2. 20-40. ISSN 0583-774X.
18. Capote, C.; Arseniev, Y.; Kalachov, S.; Strzhovich, V. 1989; Mapa cosmogeológico de la República de Cuba a escala 1:500000. Congreso de Geología. Libro de Resúmenes. La Habana Cuba.
19. Artur, P. 2001; Conjunto de folletos adquiridos en misión a Brasil, (Universidad Central de Paraná. (Tesis de Maestría). Paleolineamentos na Bacia do Paraná: Favorabilidade para acumulações de Petróleo. Universidad Río de Janeiro. Brasil.
20. Cruz, R., et al. 1998; Evaluación Morfotectónica de los bloques 6, 7, 9 y 10 como un Objetivo Petrolero. IV Congreso Geológico. Memorias en CD 2001
21. Cruz, R., et al; 2002; La Geomorfología para la búsqueda de petróleo en los bloques 12 y 13. IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica y II Congreso Cubano de Geofísica. Memorias CD. ISSN 959 -7117-03-7.
22. Cruz, R.; Álvarez, J.; Mejías, L.; 2005; Geomorfología Fluvial con un Objetivo Petrolero. VI Congreso de Geología. Memorias en CD-ROM, Geo11-7. La Habana.
23. Cruz, R.; Fariñas, C.; Rodríguez, O.; Pérez, Y.; 2004. Geomorfología Marina en la Evaluación de Leads y Prospectos. Proyecto 2228. Archivo del CEINPET. La Habana.
24. Cruz, R.; Gómez, J.; Rodríguez, O.; Mejías, L.; Rey, R.; 2001. Efectividad de los Métodos geomorfológicos y Teledetección en la Actividad Petrolera. Anais, X SBSR, Foz do Iguazu, 2001. INPE, p.365. Brasil.

25. Cruz, R.; Hernández, J 1989.; Efectividad de los Métodos geomorfológicos para la búsqueda de petróleo y gas en el sector noroccidental de la provincia Matanzas. Congreso de Geología. Libro de Resúmenes. La Habana Cuba.
26. Cruz, R.; Viera, M.; Rodríguez-Loetches, J.; Reyes, O.; Díaz, A.; Díaz, L.; Pascual, O.; Crespín, B.; García, F. 1998; Proyecto 2121 (Jefe Díaz de Armas L.; y consultante internacional Roberto Aguilera) Recuperación Mejorada en el Yacimiento Pina y Caracterización del Reservorio . Archivo del CEINPET. E-351. La Habana.
27. Cruz, I.; 2006; Caracterización Tectono estratigráfica de la zona de fallas La Trocha, Cuba. Universidad de Barcelona, departamento de Geología, Instituto superior Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez Guantánamo, Cuba.
28. Díaz, J. L.; Portela, H. A.; Blanco, P.; Magaz, A.; 1986; Los Principios Básicos de la Clasificación Morfoestructural del Relieve Cubano y su Aplicación en la región Centro-Oriental de Cuba. 60 pp. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geografía. La Habana.
29. Díaz, J. L.; Portela, H. A.; Magaz, A.; Blanco, P.; 1989; El relieve de Cuba. I Congreso de Geología. Libro de resúmenes. La Habana Cuba.
30. Díaz, A. et al. 1996; Utilización de Criterios Hidrogeológicos e Hidrogeoquímicos en los Trabajos de Explotación y Desarrollo Gasopetrolíferos Cubanos. Caracas 96 II AAPG/svg.
31. Domínguez, R.; Prol, J. L.; Martínez, E.; Socorro, R.; et. al., 2001; Mapa Estructural por el tope las rocas de cuenca del margen continental región Norte – Centro – Oriental de Cuba.
32. Expedientes de pozos. Archivos de la Unidad Majagua, Cupet.
33. García, F.; et al. 1998; Informes Anuales de Explotación e Ingeniería de Yacimientos del Yacimiento Pina, U. Majagua, Cupet.
34. Gómez, J.; Alvarez, O.; Cruz, R.; Otero, R.; Gil, J. L.; 2004. Exploración Petrolera: Procesamiento de Imagen Landsat e Información Geológica en la región Habana–Matanzas. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra (digital mapping) ISSN: 1.131-9.5.

35. González, E.; Cañete, C. C.; Díaz, J. L.; Oro, J.; Pérez, L.; Cotilla, M.; 1989; Esquema Neotectónico de Cuba. I Congreso de Geología. Libro de resúmenes. La Habana Cuba.
36. Iturralde, M., 1977; Los movimientos tectónicos en la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba. Informe Científico-Técnico, pp32.
37. Gorielov, S. K.; 1972. Sobre la confección del mapa geomorfológico general de los territorios llanos a escala 1:1 000000.
38. Linares, E., 2003; Comparación entre las Secuencias Mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significado para la Explotación Petrolera. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geológicas. Tomos I, II. La Habana.
39. López, J. G., Blanco, S., Brey, D., Cruz, R. et. al., 1999; Comparación de la Estructura de Fidencia de la UTE Placetas en Cuba Central, con la de los Yacimientos Varadero, Boca de Jaruco y Puerto Escondido.
40. Madrucci, V., 2000; Evaluación de productos integrados TM -LanSat, RadarSat y Gammaespectrométrico para la caracterización Tectónica, Cartográfica y Geológica de un área mineralizada en la región de alta floresta -MT. INPE -7512-TDI/725.
41. Mapa Geológico Digital.1:250000 de la República de Cuba. Ceinpet. INFOPET.
42. Milián, E. et. al., 1998; Efectividad de la metodología de evaluación en los pozos del sector La Rosa. Archivo Técnico CEINPET.
43. Otero, R.; Gómez, J.; Cruz, R., Metodología para la determinación y evaluación de objetivos gasopetrolíferos someros en la secuencia del terreno Zaza. Libro de Resúmenes V Congreso de Geología y Minería, La Habana, Cuba.460pp.
44. Orbera, L.; Cabrera, M., 1975; Investigaciones Morfométricas en la zona de Cabañas-Bahía Honda. Revista Minería en Cuba. Vol. 1, 44-60.
45. Orbera, L.; Cabrera, M.; Kresnikov, N. B.; Volousov, T.P.; Stangue, D.; Arias, A.; López M. A.; Marquetti, M. C., 1989; Neotectónica de Cuba y su Plataforma Marina. El relieve de Cuba. I Congreso de Geología. Libro de Resúmenes. La Habana Cuba.
46. Pérez, Y.; Trujillo, J.; Rodríguez, M.; López, O.; Reyes, O.; Díaz, A.; Rodríguez - Loetches, J.; Pascual, O.; Perera, C.; Aguilar, A.; Cruz, R., 2004; Recuperación

- mejorada de petróleo de áreas de los Yacimientos de Cristales Pina. Proyecto 3405. etapa 10. Jefe de Proyecto Ariel Díaz Sanabria. Archivo del Ceinpet. La Habana.
47. Rodríguez, M., Cruz, R.; Segura, R.; 2000; Estudio Integral de la Fracturación.
48. Rodríguez, M., 1992; Metodología para la evaluación de las rocas vulcanógeno - sedimentarias. Archivo Técnico CEINPET.
49. Rodríguez, O., 2007; Modelo Matemático y Sistema Automatizado para la Interpretación del **Complejo Redox** en la Explotación Petrolera. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana.
50. Roselló, E. A., 2004; Materiales del curso: "Esfuerzo y deformación". Politécnico de Matanzas. Cuba.
51. Roselló, E. A., et. al., 2005; El Hemigrave invertido del yacimiento 25 de mayo - Medanito S.E. (Cuenca Neuquina, Argentina): Evaluación geodinámica de un rift en borde de cuenca.
52. Roselló. E. A. et. al., 2004; 3<sup>ras</sup> Conferencias Técnicas de la ACGGP.
53. Sosa, C., et. al., 2000; Integración de métodos Geológicos, Geofísicos, Geoquímicos y Geomorfológicos y otros, en el estudio del yacimiento cubano. Geoinfo. Primer Congreso Cubano de Geofísica, La Habana, Cuba.
54. Seco, R.; 2004. Libro de Geomorfología. Editorial Félix Varela. ISSN 95 9-258-483-4.
55. Shein, B. S., et. al., 1975; Desarrollo Paleotectónico de las depresiones superpuestas de Cuba y de las estructuras locales dentro de sus límites. Resumen Primera Jornada Científico-Técnica MMCM Tomo I. pp. 3-4.
56. Shein, B. S.; Ivanov, S. S.; Kleshev, K. A.; Iparraguirre, J. L.; García, E.; Rodríguez, R.; López, J. G.; Socorro, R. et. al.; 1985; Mapa tectónico de La República de Cuba a escala 1:500000. Revista Tecnológica. Vol. 15. No. 1. ( pp. 37-39)
57. Shein, B. S.; Ivanov, S. S.; Kleshev, K. A.; Marrero, M.; Socorro, M.; et. al. 1975; Tectónica de Cuba y su plataforma insular con relación a la evaluación de las perspectivas de petróleo y gas. 1975. Archivo del CEINPET. La Habana.

- 
58. Sidorenko, A. B.; La Geomorfología y la Economía Nacional. (Problemas de la Geomorfología Práctica. Serie Geográfica No. 6. Academia de Ciencias de Cuba. pp11.
59. Tenreyro, R.; Cruz, R.; Fariñas, C.; Sosa, M. C.; Segura, R.; 1997; Neotectónica y Tectónica Postorogénica del Archipiélago Cubano. Aspectos Relacionados con el Potencial y la Exploración de Hidrocarburos. (Informe del proyecto: Aspectos de La Tectónica de Cuba con Incidencia Directa en la Exploración de Petróleo. E247. 47 Pp. Archivo del CEINPET. La Habana.
60. Tenreyro, R.; Otero, R.; López, J. G.; Contribución a la Tectónica Regional de Cuba. Aspectos de la Tectónica de Cuba.

# FIGURAS

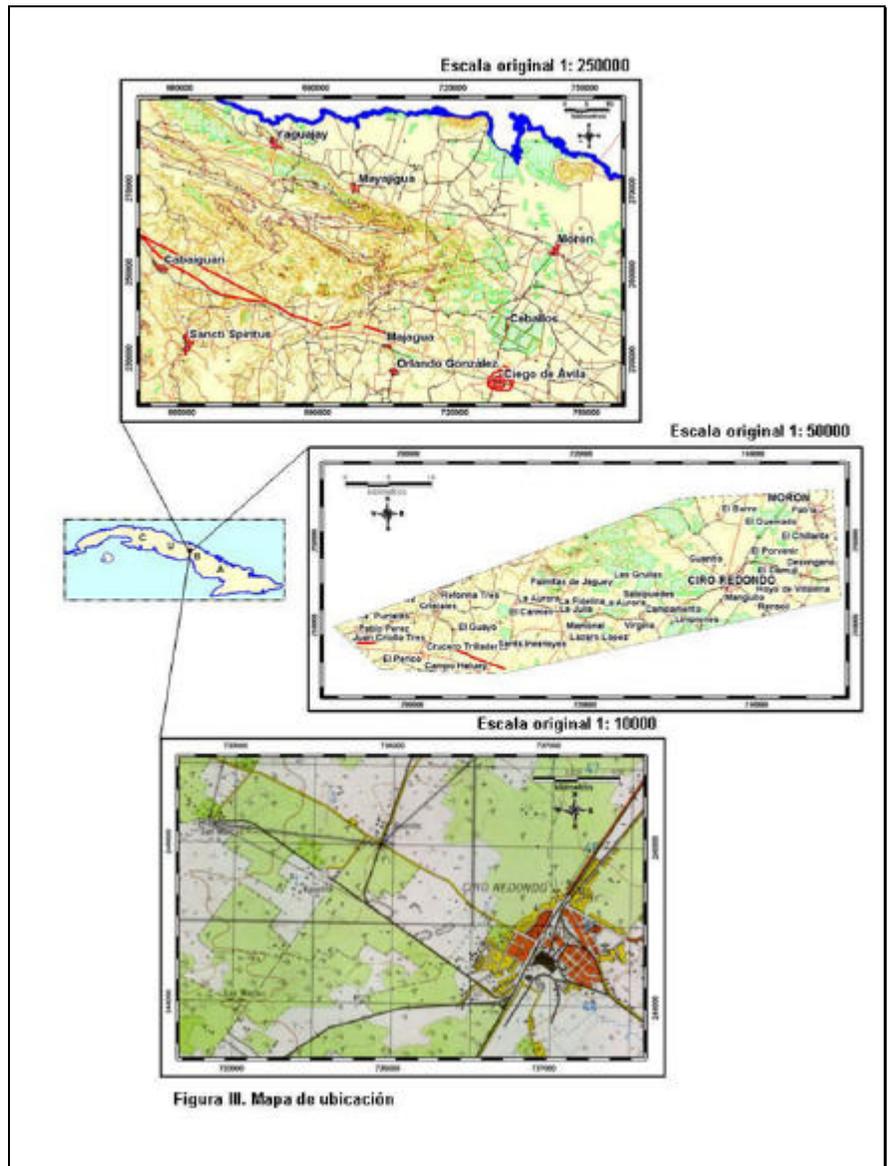


Figura III. Mapa de ubicación

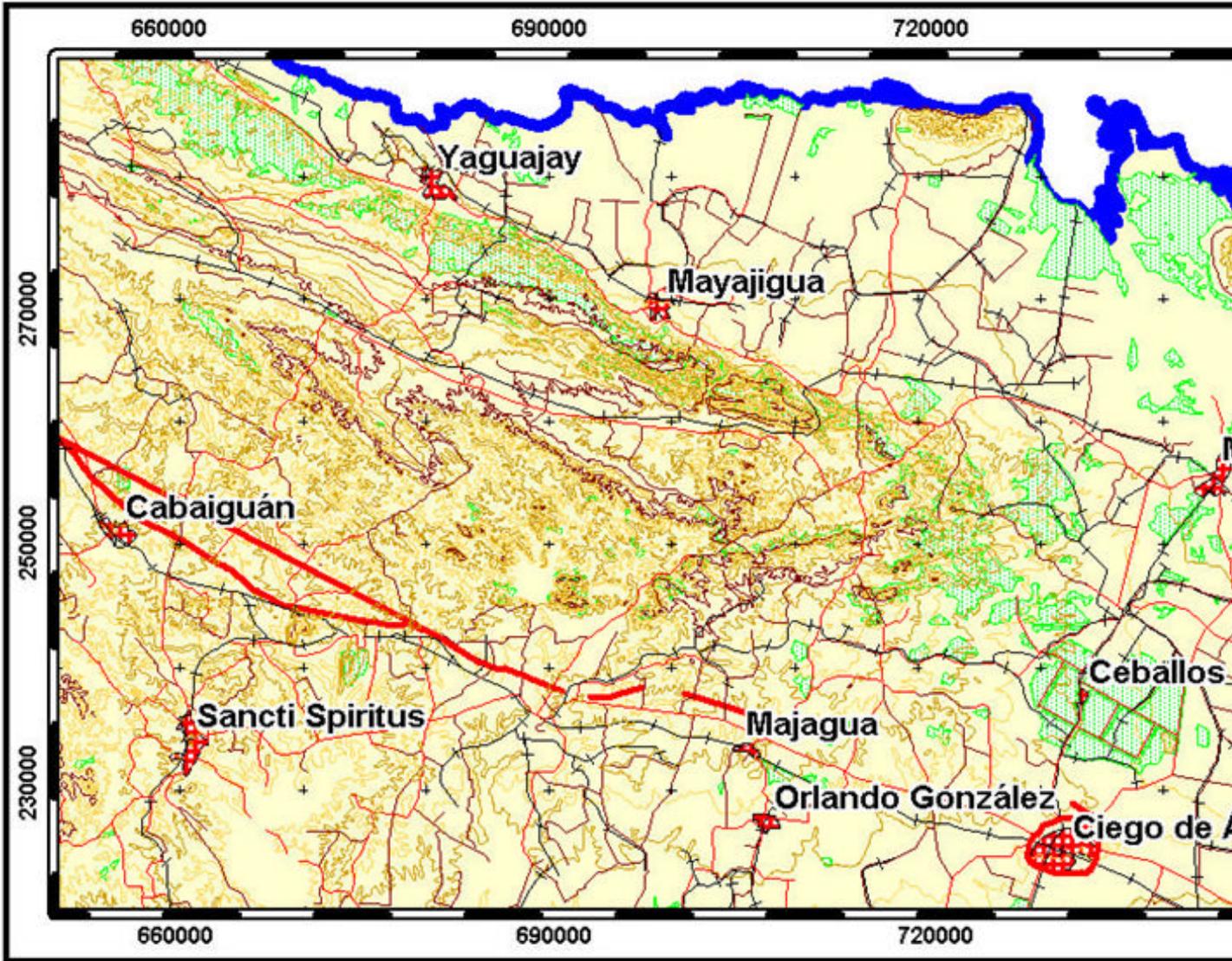


Fig III. 1.1 Mapa Cartografico.  
Esc: 1: 250 000

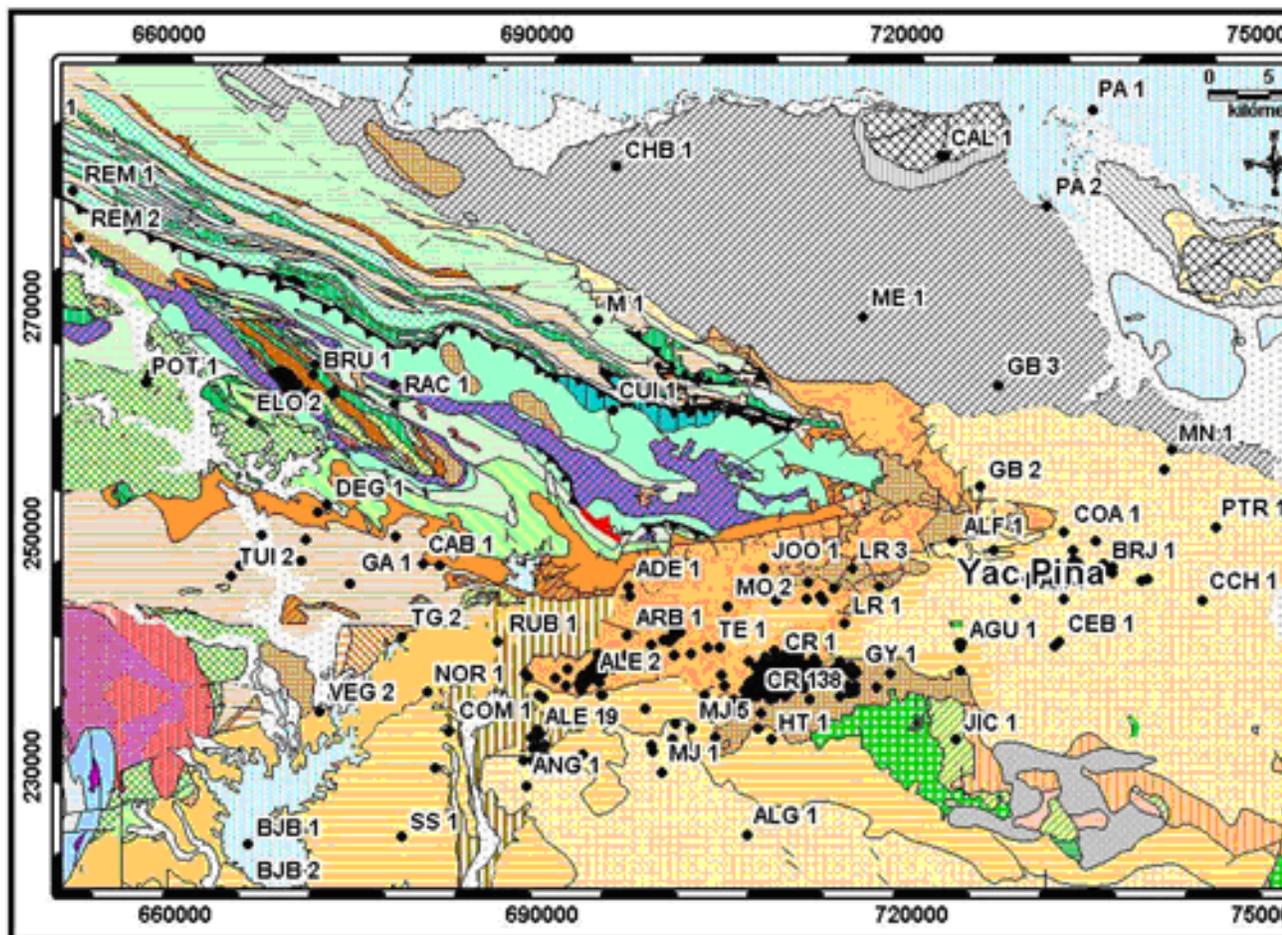


Fig. III. 1. 2 Mapa geológico

Esc. 1: 250 000

LEYENDA GEOLÓGICA	
jm	-Fm. JAIMANITAS: Depósitos marinos. Calizas organodendríticas y organógenas, calcarenitas de color gris pardo, debilmente consolidadas
pQ4	
gi	-Fm. GUINES: Calizas biógenas, detríticas dolomitizadas.
pta	-Fm. PUNTA ALEGRE
cam	-Fm. CAMACHO: Depósitos marinos. Arcillas y arenas arcillosas de color gris verdoso, gris oscuro y pardo, a veces con gravas y guijarros pequeños.
zr	-Fm. ZURRAPANDILLA: Diabasas, basaltos, silicitas, tobas.
	Sobrecorrimientos y nappes reales.
fr	-Fm. FERRER: Conglomerados, areniscas, arcillas, calizas, gravelitas, aleurolitas.
ap	-Fm. ARROYO PALMAS: Margas calizas biógenas arcillosas, calizas arenosas.
ecQ1	
va	-Fm. VERTIENTES: Margas, areniscas, calizas, radiolaritas.
co	-Fm. CAOBILLA: Vulcanitas medio-ácidas a ácidas, tobas, tufitas.
fl	-Fm. FLORIDA: Calcedurita, calizas, margas.
du	-Fm. DURAN: Areniscas, conglomerados, vulcanomicticos, aleurolitas.
jin	-Fm. JIMAGUAYU: calizas biógenas, margas, calciruditas, areniscas.
aiQ4	
vi	-Fm. VILLA ROJA: Arcillas, arenas arcillosas, y arenas con gravas guijarros y a veces cantos rodados. De color rojo.
ju	-Fm. JUGILLO: Brechas.
m	-Fm. MATA: Calizas (biomicritas, calcarenitas) silicitas y brecha-conglomerados.
	Gabros
	Serpentinitas, harzburgitas, liberzolititas, wherilitas, dunitas serpentinizadas.
tgs	-Fm. TAGUASCO: Brechas - conglomerados, conglomerados, areniscas, aleurolitas.
ci	-Fm. CARLOTA: Tobas, margas, arcillas, vulcanitas medias básicas y calizas arrecifales
la	-Fm. LAGUNITAS Conglomerados, areniscas, aleurolitas, arcillas.
vg	-Fm. VEGA (BRECHA SAGUA): Brechas, conglomerados, calizas, areniscas, aleurolitas, margas, arcillas.
th	-Fm. TROCHA ( Fm. MENESES + Fm. COLORADO): Calizas estratificadas, biomicritas, calcarenitas, a veces dolomitizadas
re	-Gp. REMEDIOS: (K1-2 al-m) Calizas biógenas, biomicritas, calciruditas.
	Cuarcitas secundarias
	Cuerpos Pórfidos Plagiogranítico
va	-Fm. VEGA ALTA: Complejo caótico con bloques de calizas, serpentinas y vulcanitas en matriz arcillosa
vz	-Fm. VELOZ (+FIDENCIA) [J3-K1a]: Calizas estratificadas, biomicritas, calcilitas, calcarenitas, intercalaciones de argilitas y silicitas.
pv	-Fm. PROVINCIAL ( Mb. PROVINCIAL, GUAOS, DIEGO, GOMEZ): Calizas, tufitas, tobas, lavas básicas, silicitas y margas.
mb	-COMPLEJO MABUJINA (Pz?): Anfibolitas, gabro-anfibolitas, esquistos, feldespatos-epidoto-anfibolíticos, gneises, migmatitas, pórfidos dioríticos metamorfizados.
mtg	-Fm. MATAGUA: Parte inferior de la Fm. VILLA CLARA y la Fm. CABAIGUAN: Tobas, lavas básicas medias, calizas y rocas clásticas, basaltos, andesito-basaltos, lava brechas, tobas
aiQ2-3	
bl	-Fm. BLANCO: Margas, Calizas.
vi	- Fm. YIGUA: Margas, areniscas, conglomerados, brechas.
	Diques Pórfidos
br	- Fm. BRUJA ( Mb. BRUJA, ABREUS, AGABAMA): Andesitas, margas, tobas.
	Rocas ultrabásicas
yy	-Fm. YAYABO (pMz?-Mz): Anfibolitas granatíferas con plagioclasa ácida, mica blanca y clinozoisita, metasilicita granatífera, eclogitas anfibolitizadas.
nj	-Fm. NARANJO: Rocas metaterrígenas, esquistos cuarcíticos hasta cuarcitas, esquistos cuarzo-cloríticos, mármol, esquistos cloríticos.
lg	-Fm. LOMA LA GLORIA (Mz?): Esquistos cuarzo-moscovíticos con capas aisladas de mármol, esquistos granato-glaucofánicos, metasilicitas, anfibolitas y eclogitas.
sj	GRUPO SAN JUAN: Mármol grises azulosos oscuros a negros, esquistos carbonatados y graníticos, esquistos cloríticos, anfibolíticos.
	Complejo Diques Paralelos
	Diques Pórfidos
	Gabroide

Fig. III. 1. 2. A Leyenda Geológica

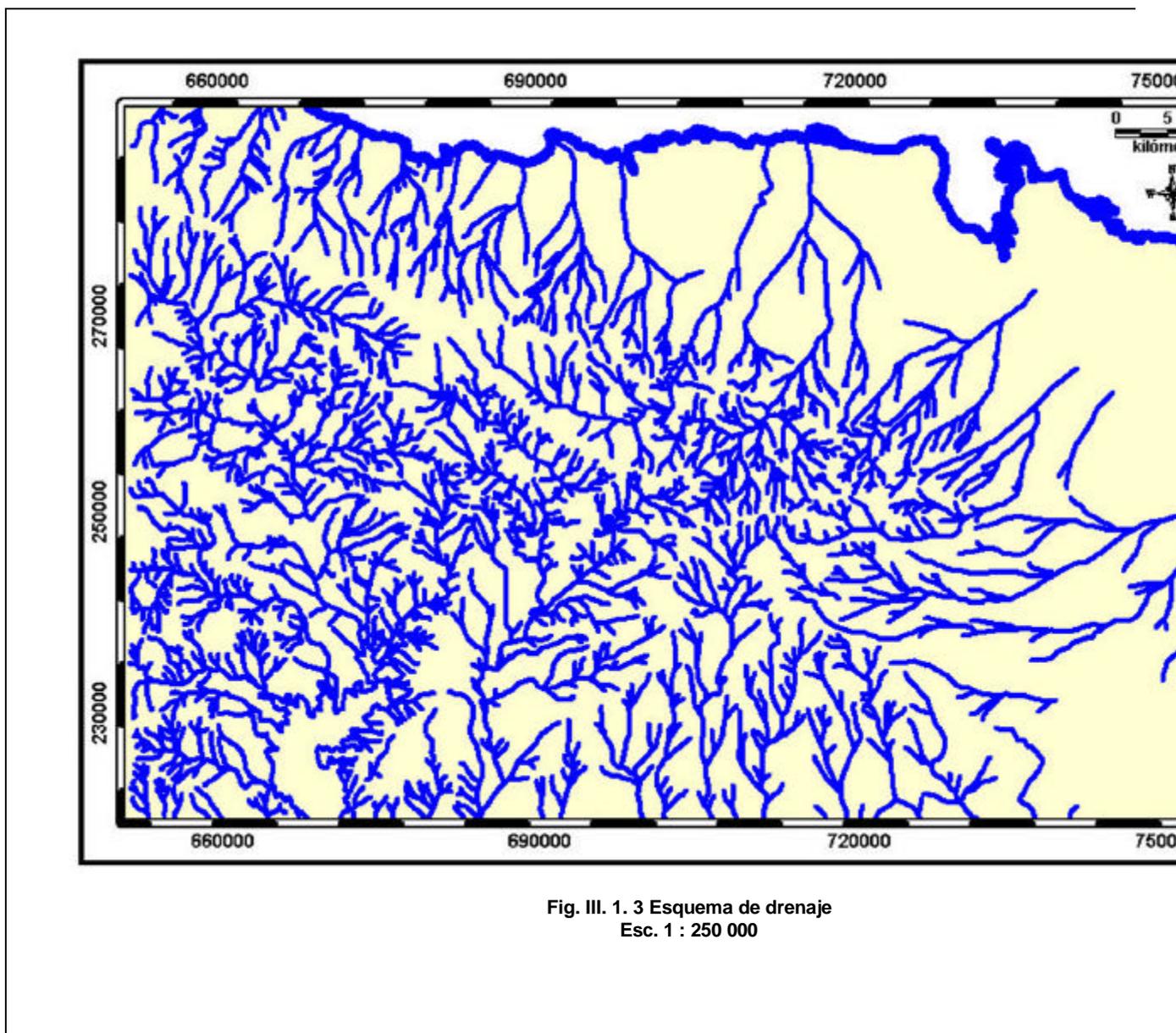


Fig. III. 1. 3 Esquema de drenaje  
Esc. 1 : 250 000

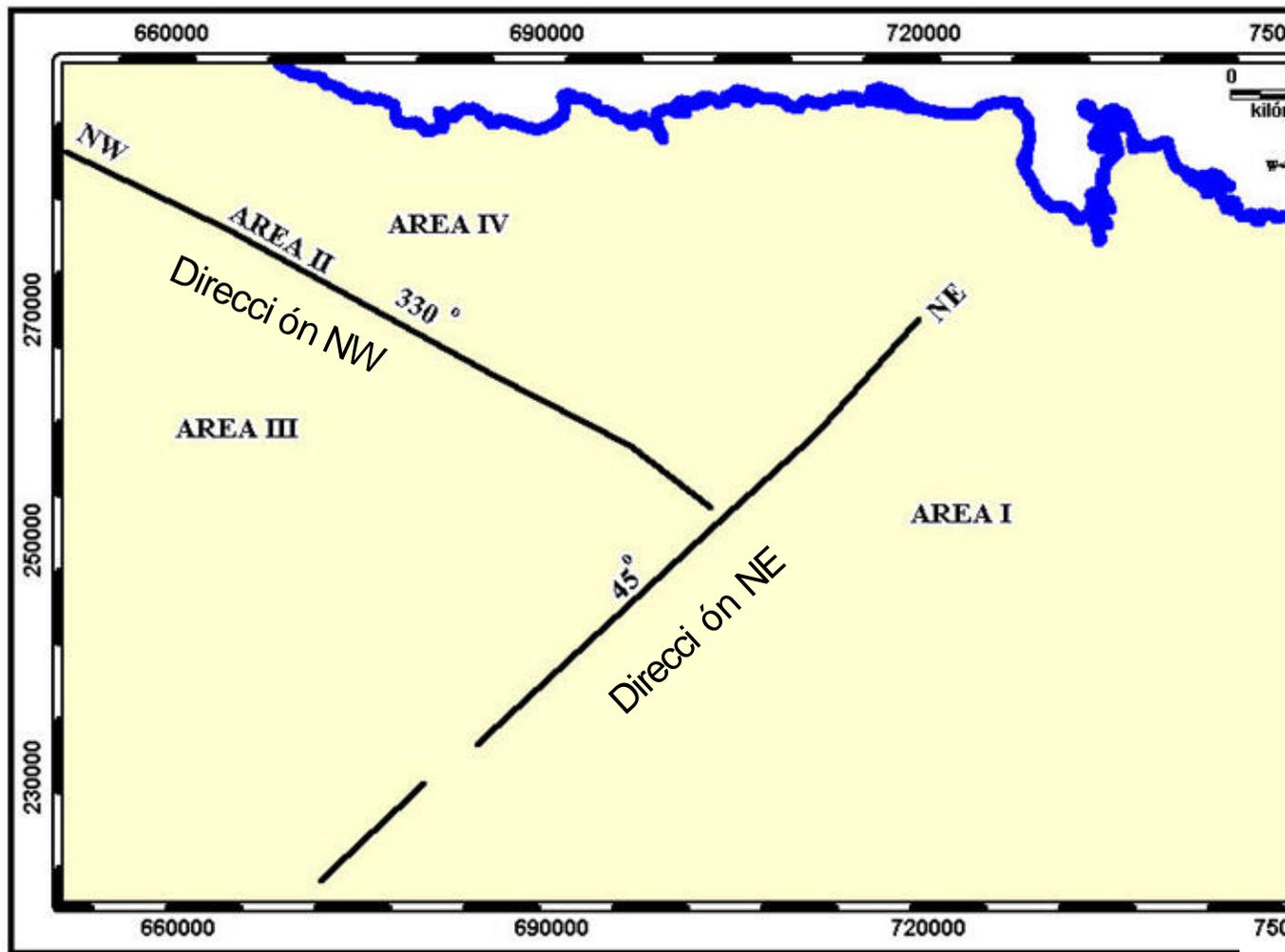


Fig. III. 1.4 Mapa de lineamientos fundamentales.  
Esc. 1 : 250 000

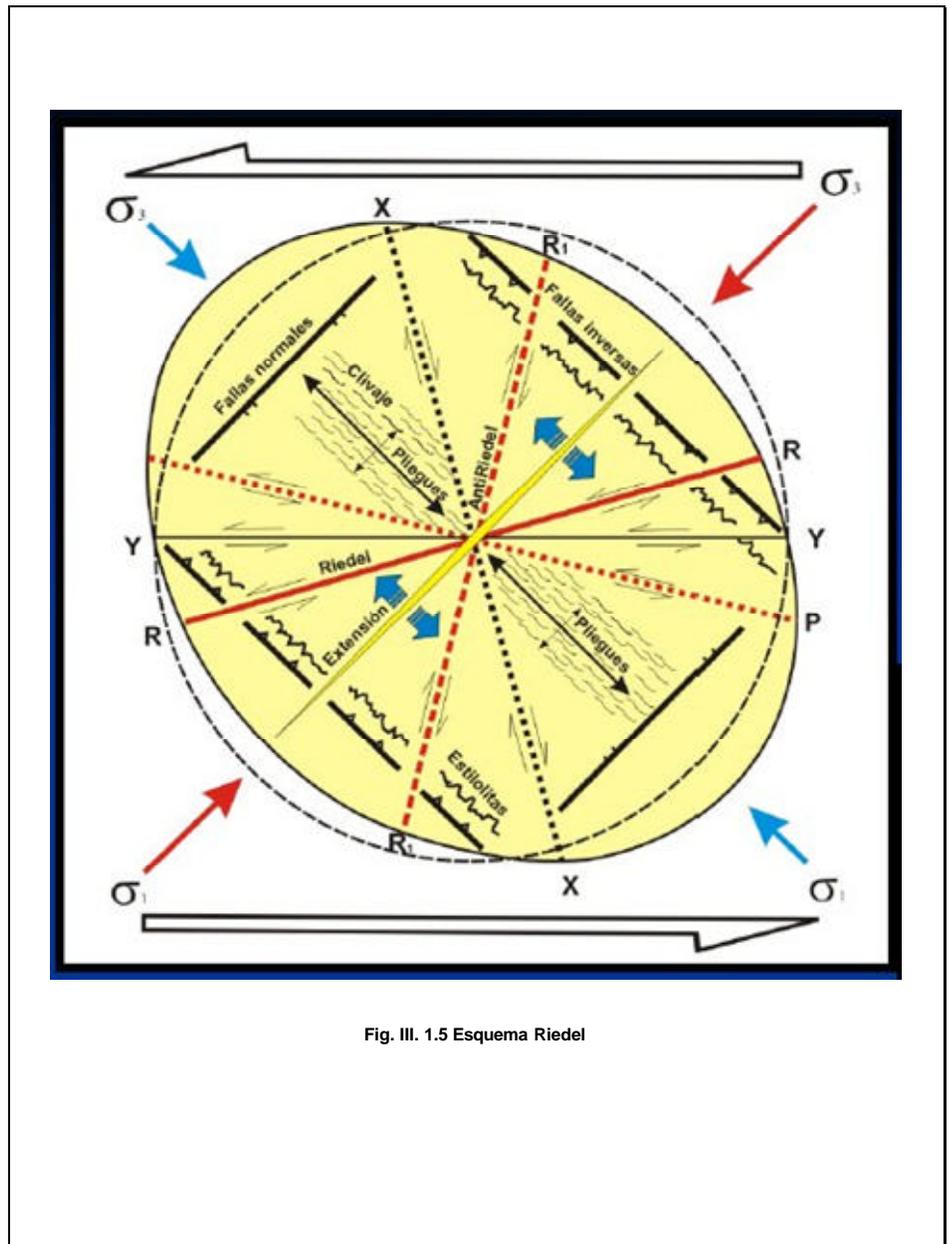


Fig. III. 1.5 Esquema Riedel

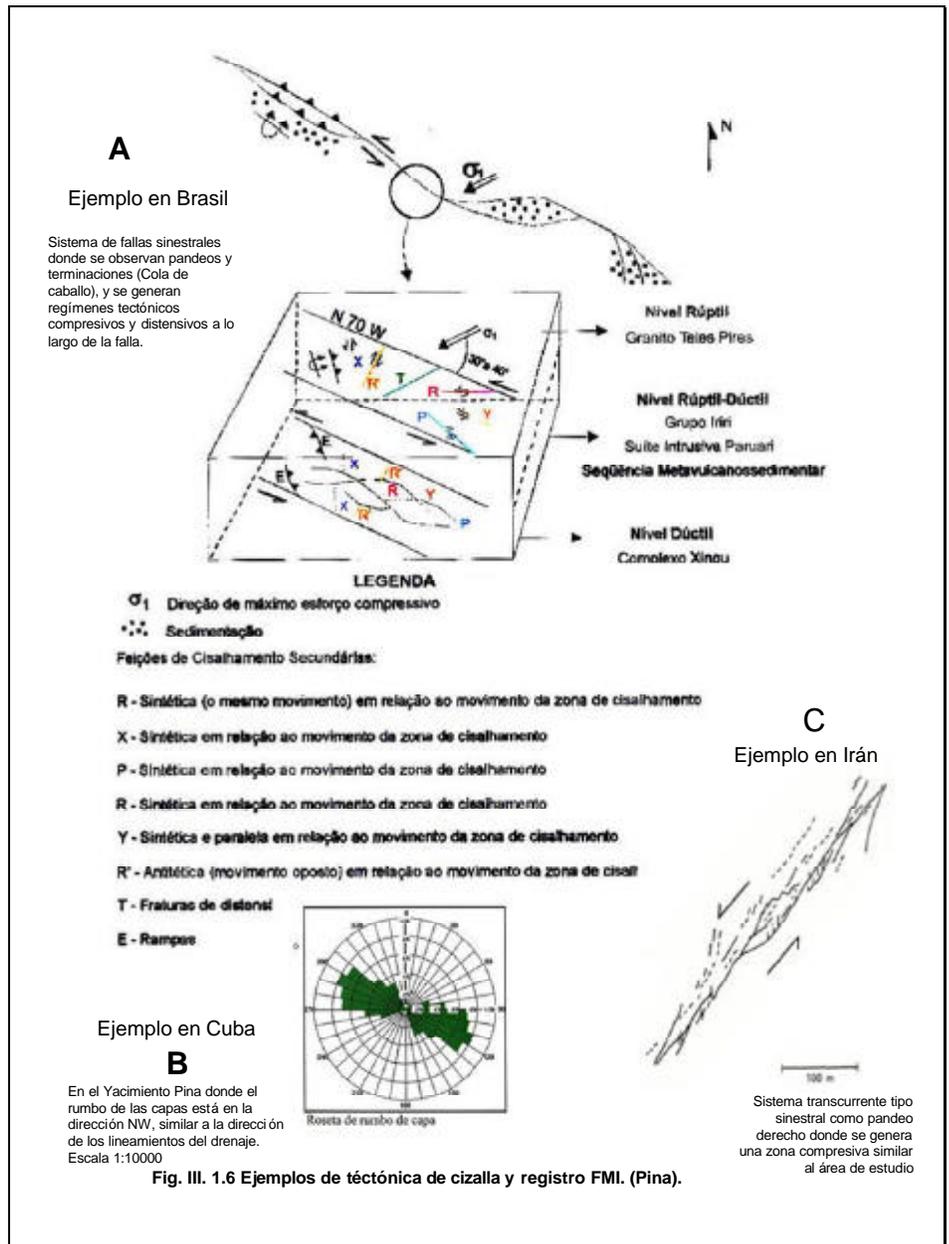
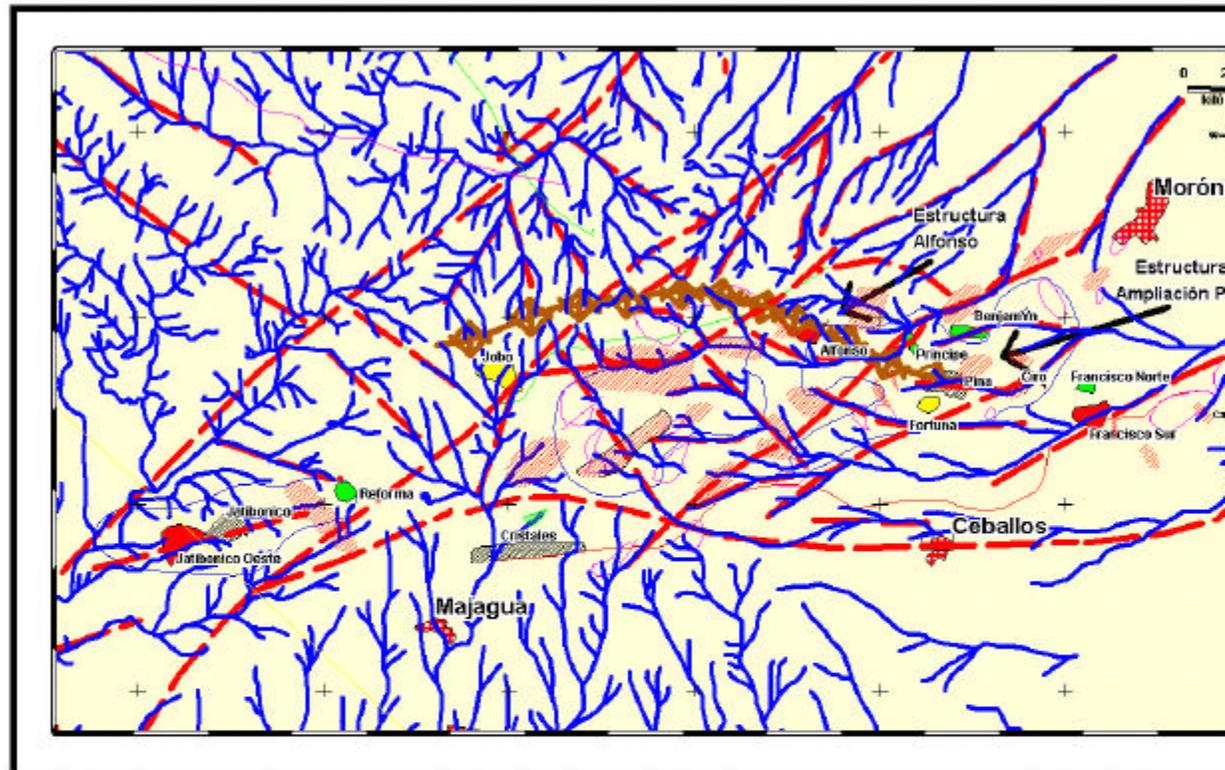


Fig. III. 1.6 Ejemplos de tectónica de cizalla y registro FMI. (Pina).



LEYENDA

- |  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  Prospectos (Priorizados)               |  Objetivos priorizados |  Otros prospectos u objetivos  |  Drenaje         |
|  Prospectos (No priorizados)            |  Yacimientos           |  Prospectos Falla Cristales  |  Divisoria de la |
|  Estructuras y fallas por geomorfología |  Pueblos               |  Levantamientos locales del tope de las rocas del margen continental . Objetivos geológicos. (René Domínguez 2 |   |

Fig. III. 1. 7 Mapa morfoestructural I  
Esc. 1 : 250 000

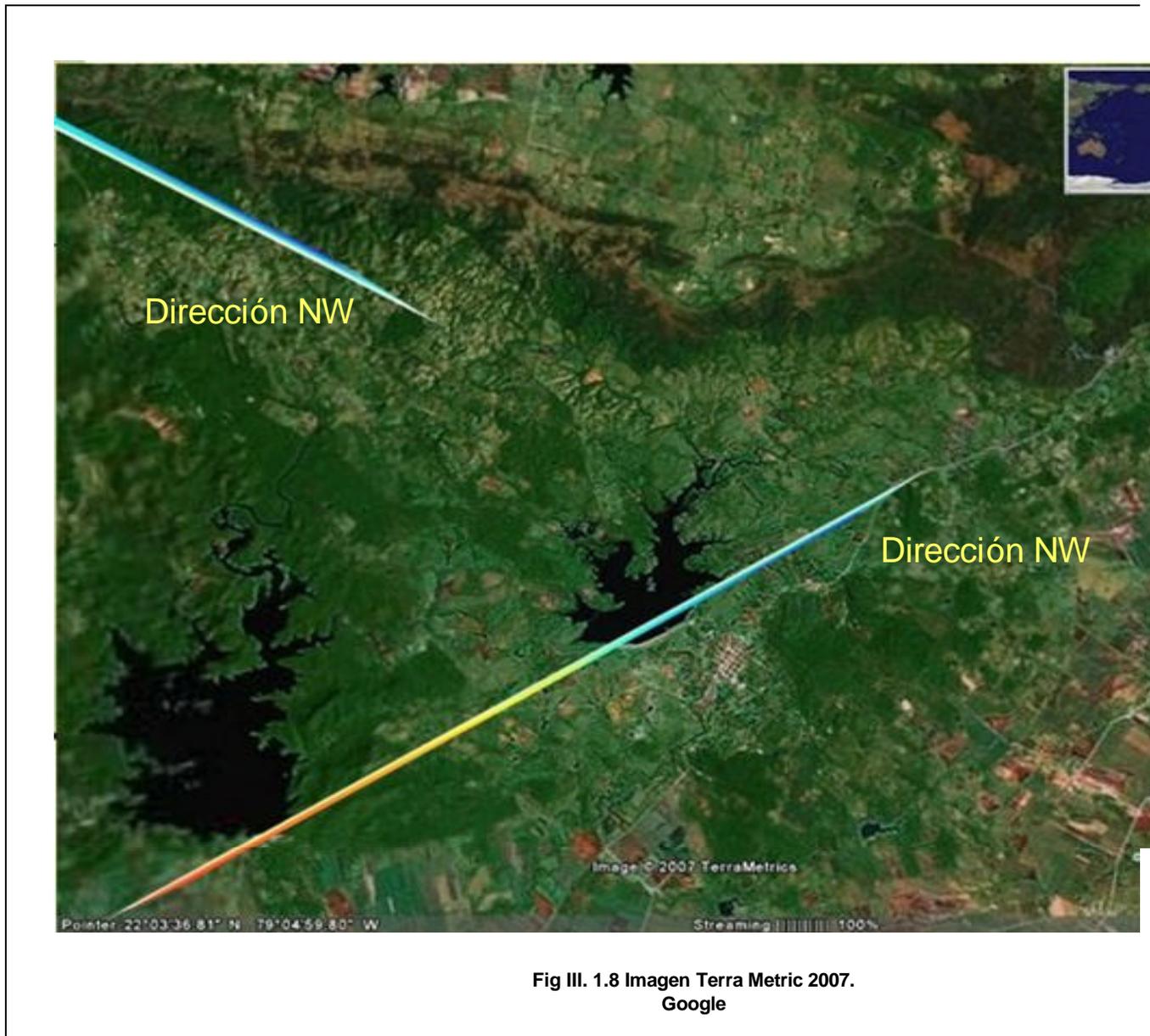


Fig III. 1.8 Imagen Terra Metric 2007.  
Google

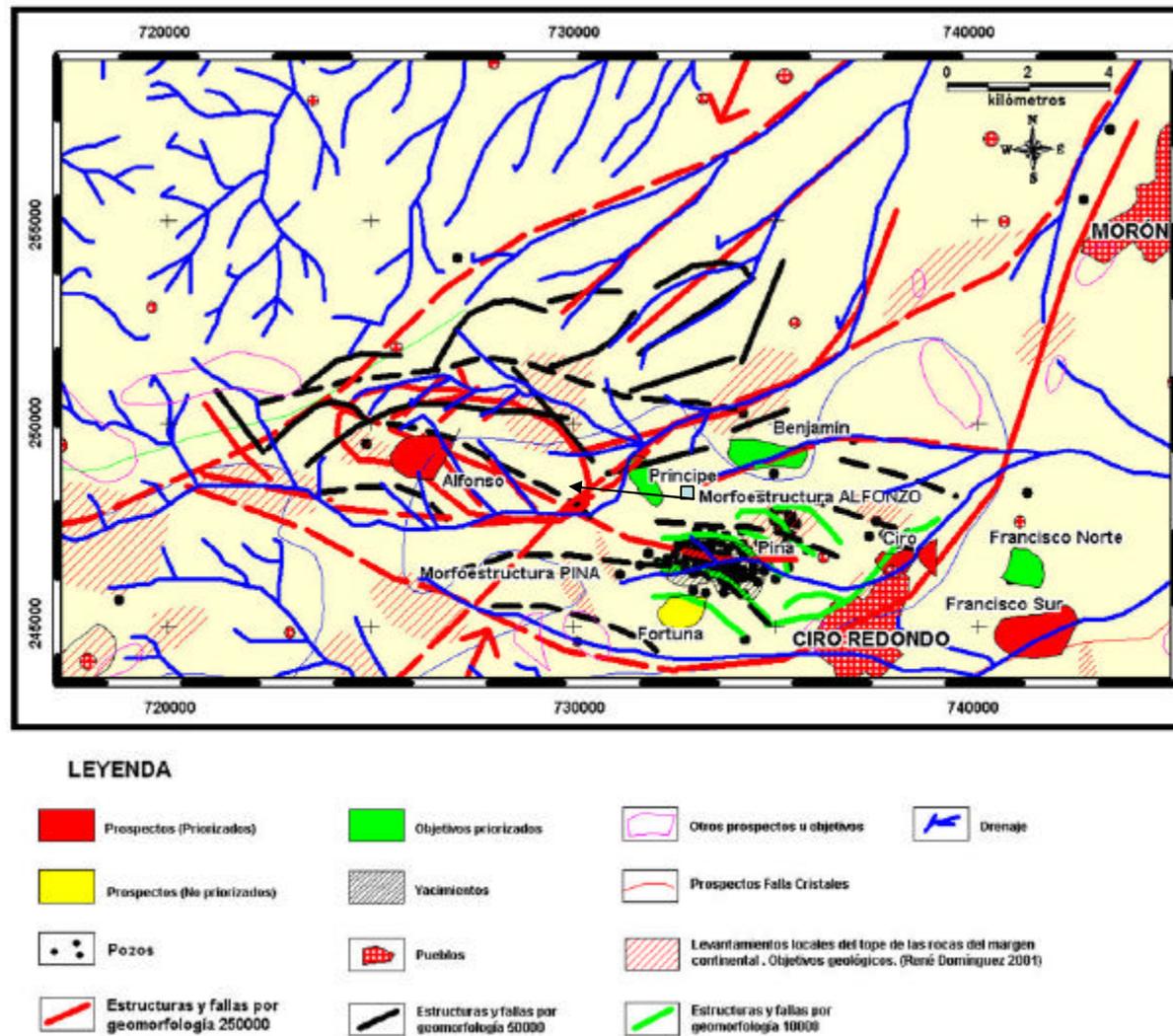


Fig III. 1.9 Mapa Morfotectónico II (Estructura Alfonso Pina)  
Esc: 1: 250 000

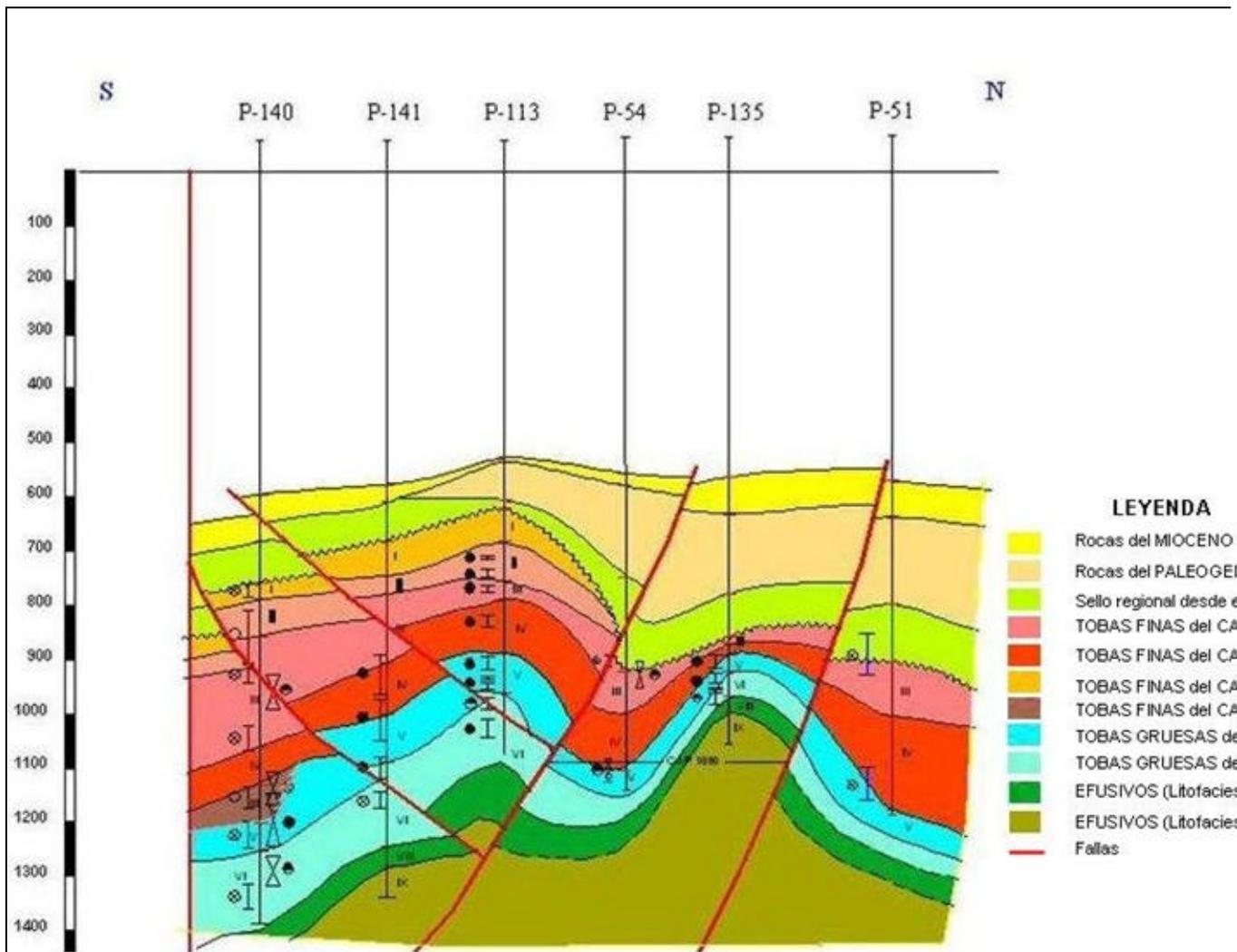


Fig III. 1.10 Perfil Geológico Bloque 1 Pina  
 Autor: Y. Pérez 2004

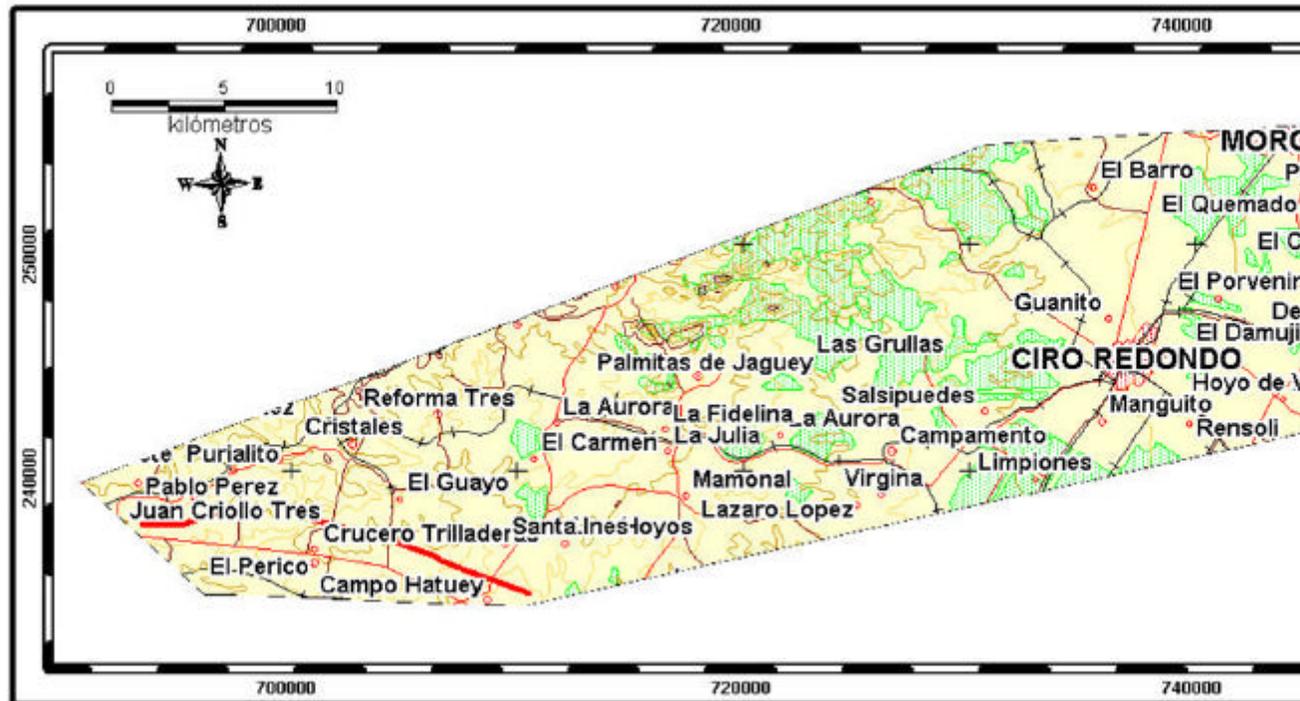


Fig. III. 3. 1 Esquema cartográfico.  
Esc. 1 : 50 000

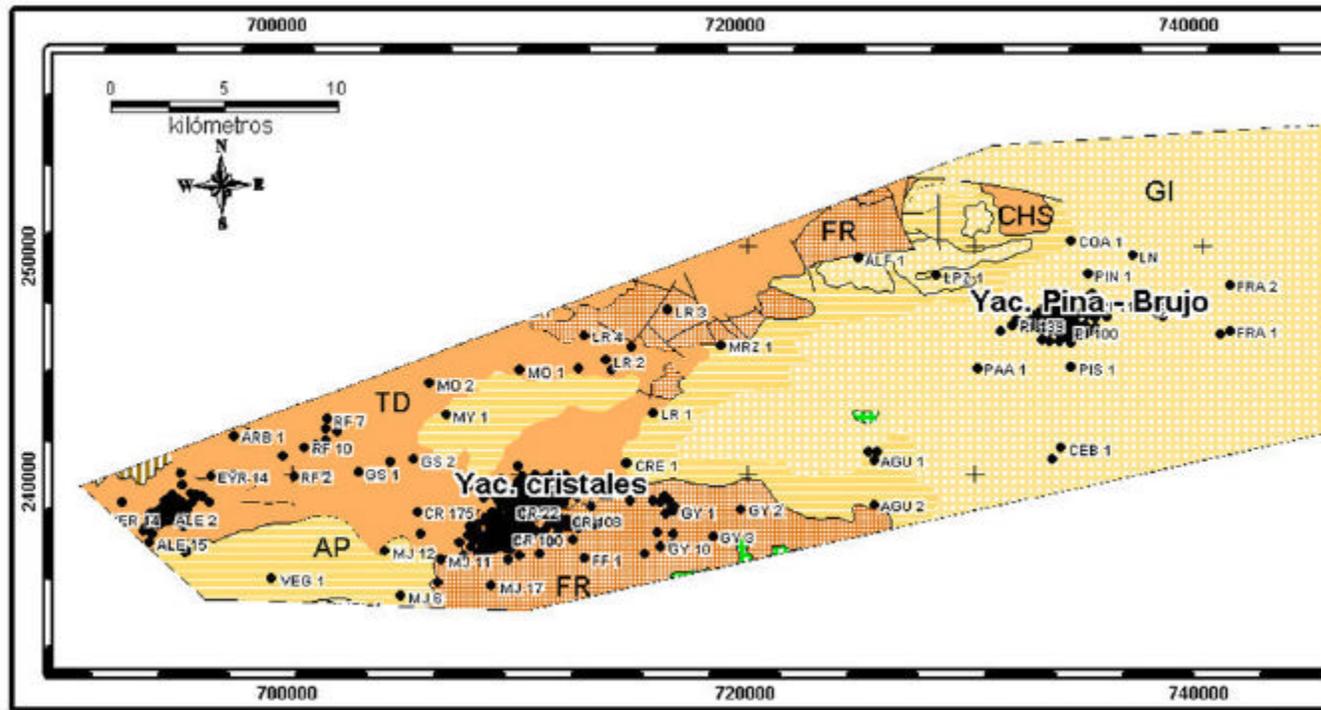


Fig. III. 3. 2 Esquema geológico.  
Esc. 1 : 50 000

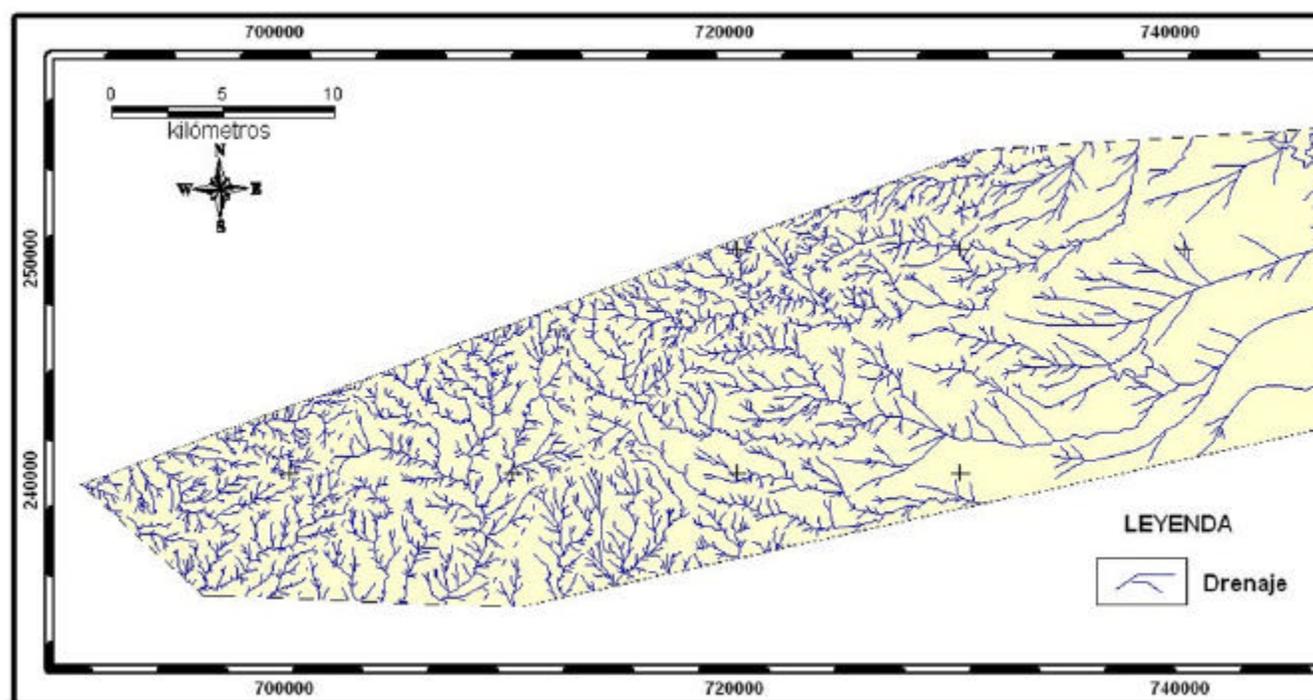


Fig. III. 3. 3 Esquema drenaje.  
Esc. 1 : 50 000

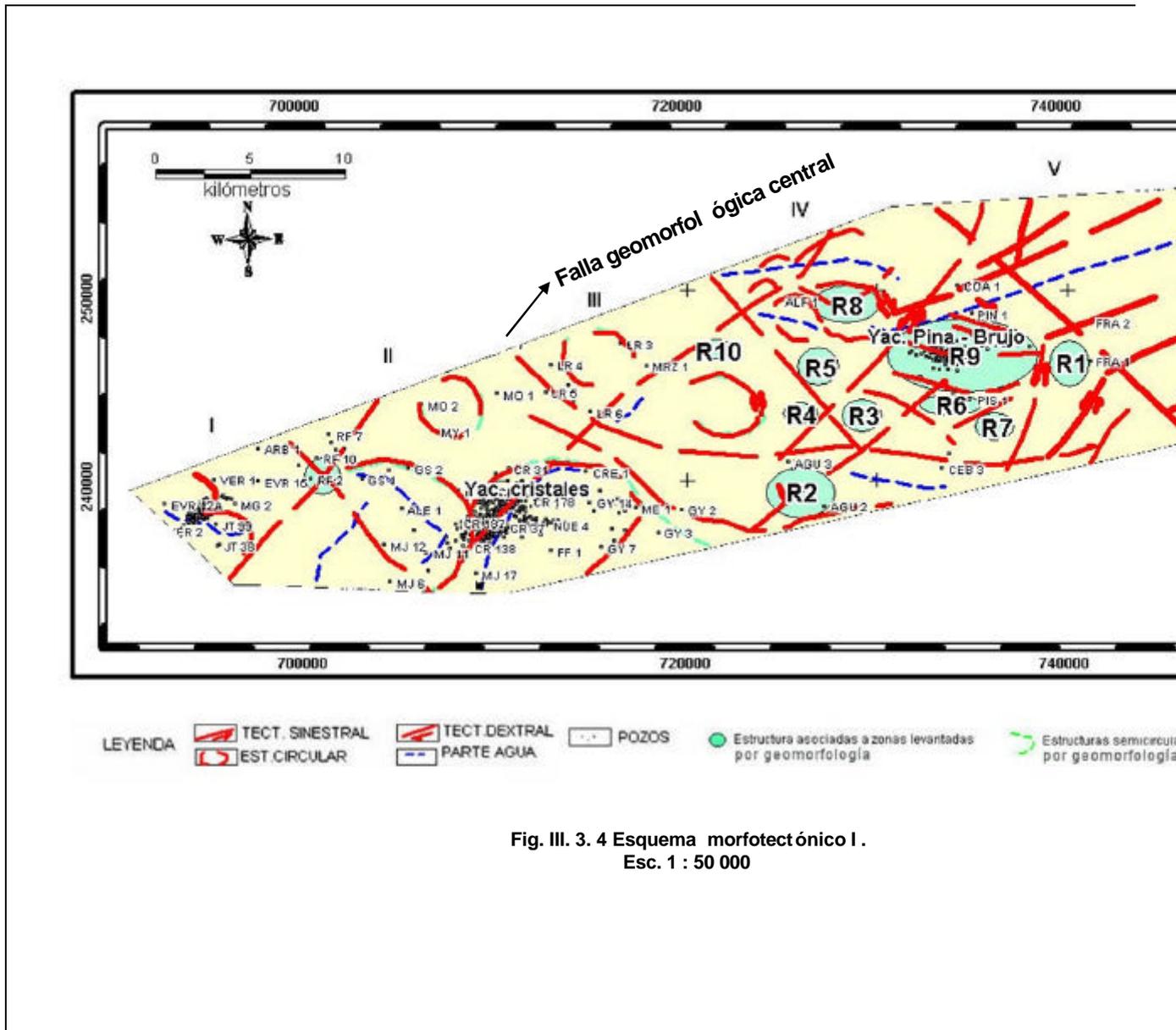


Fig. III. 3. 4 Esquema morfotectónico I.  
Esc. 1 : 50 000

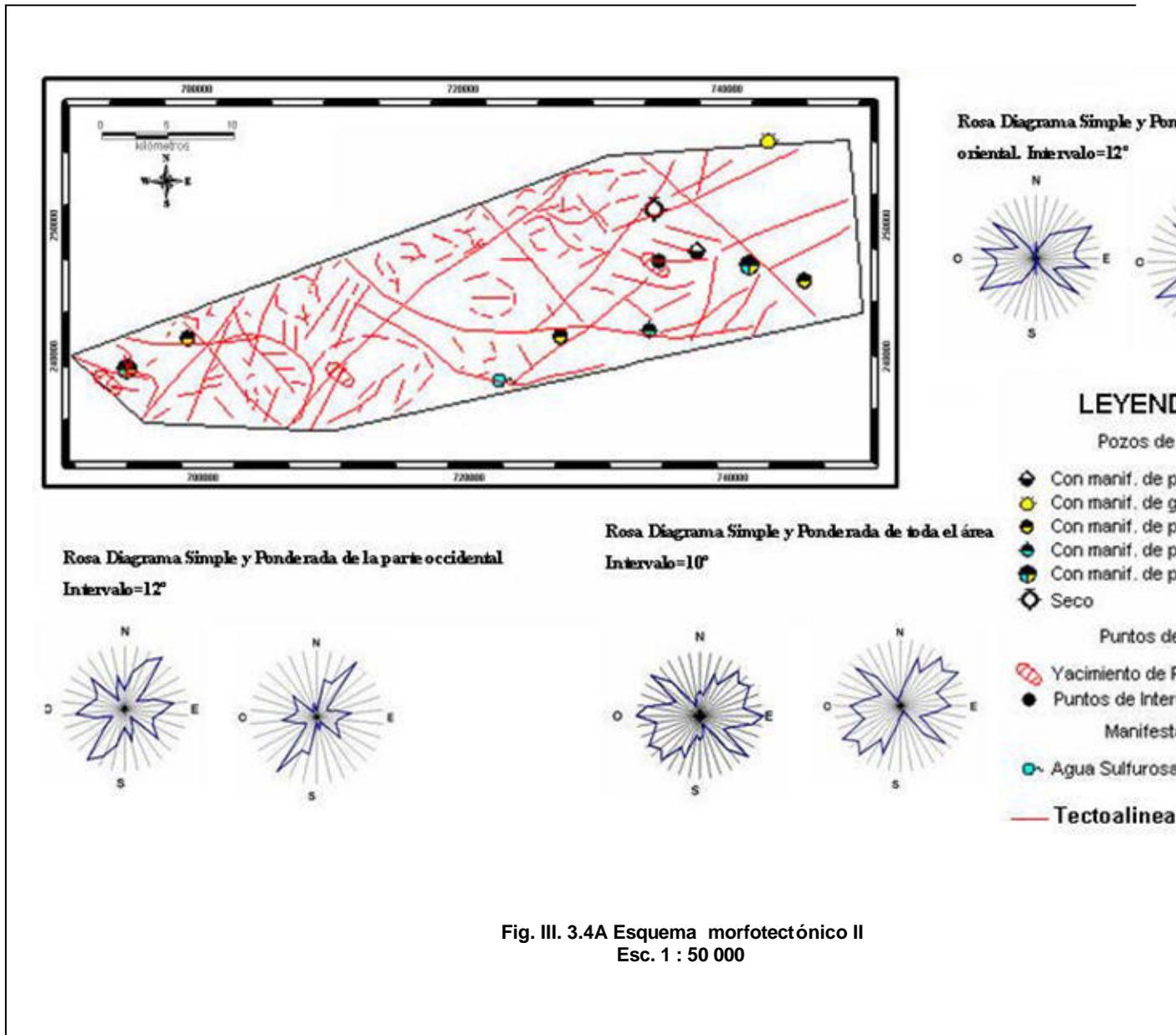
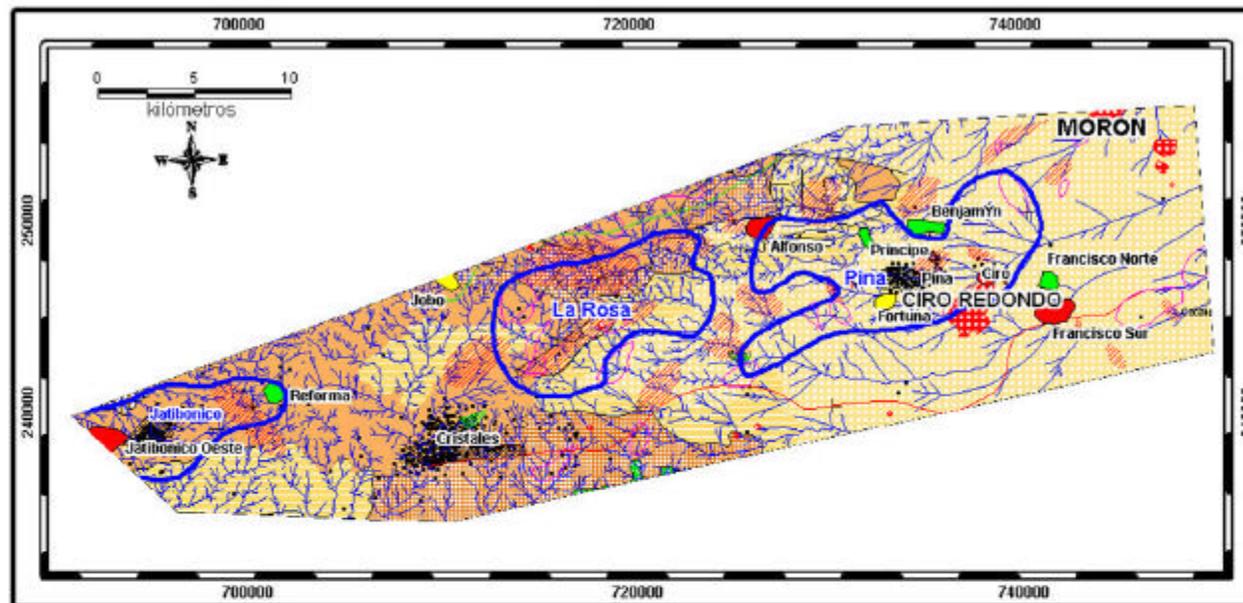


Fig. III. 3.4A Esquema morfotectónico II  
Esc. 1 : 50 000



LEYENDA

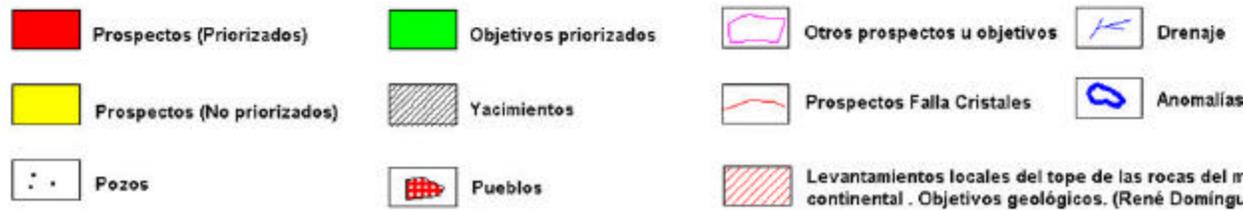
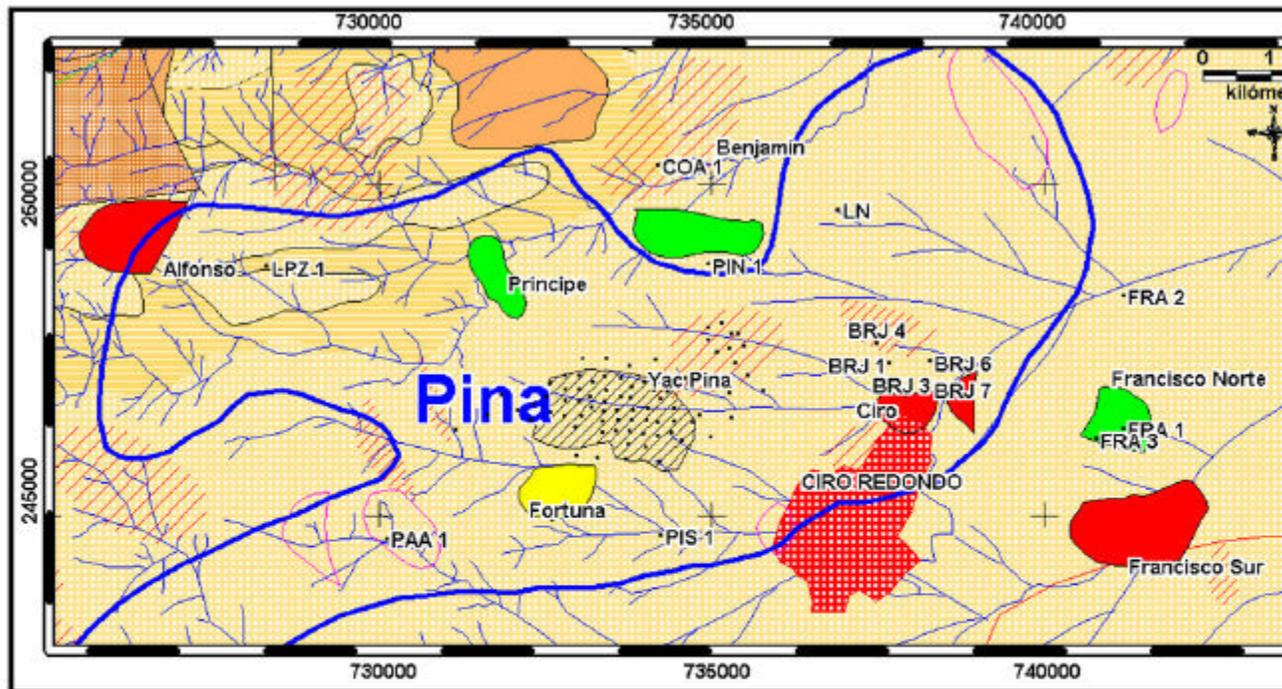


Fig. III. 3. 5 Mapa combinado de drenaje de pozos estructura geofísica.  
Esc. 1 : 50 000



LEYENDA

- |   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|  Prospectos (Priorizados)    |  Objetivos priorizados |  Otros prospectos u objetivos   |  Drenaje     |
|  Prospectos (No priorizados) |  Yacimientos           |  Prospectos Falla Cristales   |  Anomalias p |
|  Pozos                       |  Pueblos               |  Levantamientos locales del tope de las rocas del ma continental . Objetivos geológicos. (René Domingue |   |

Fig. III. 3. 6 Esquema ampliado (Bloque IV) sistema de drenaje mapeado y sísmica.  
Esc. 1 : 50 000

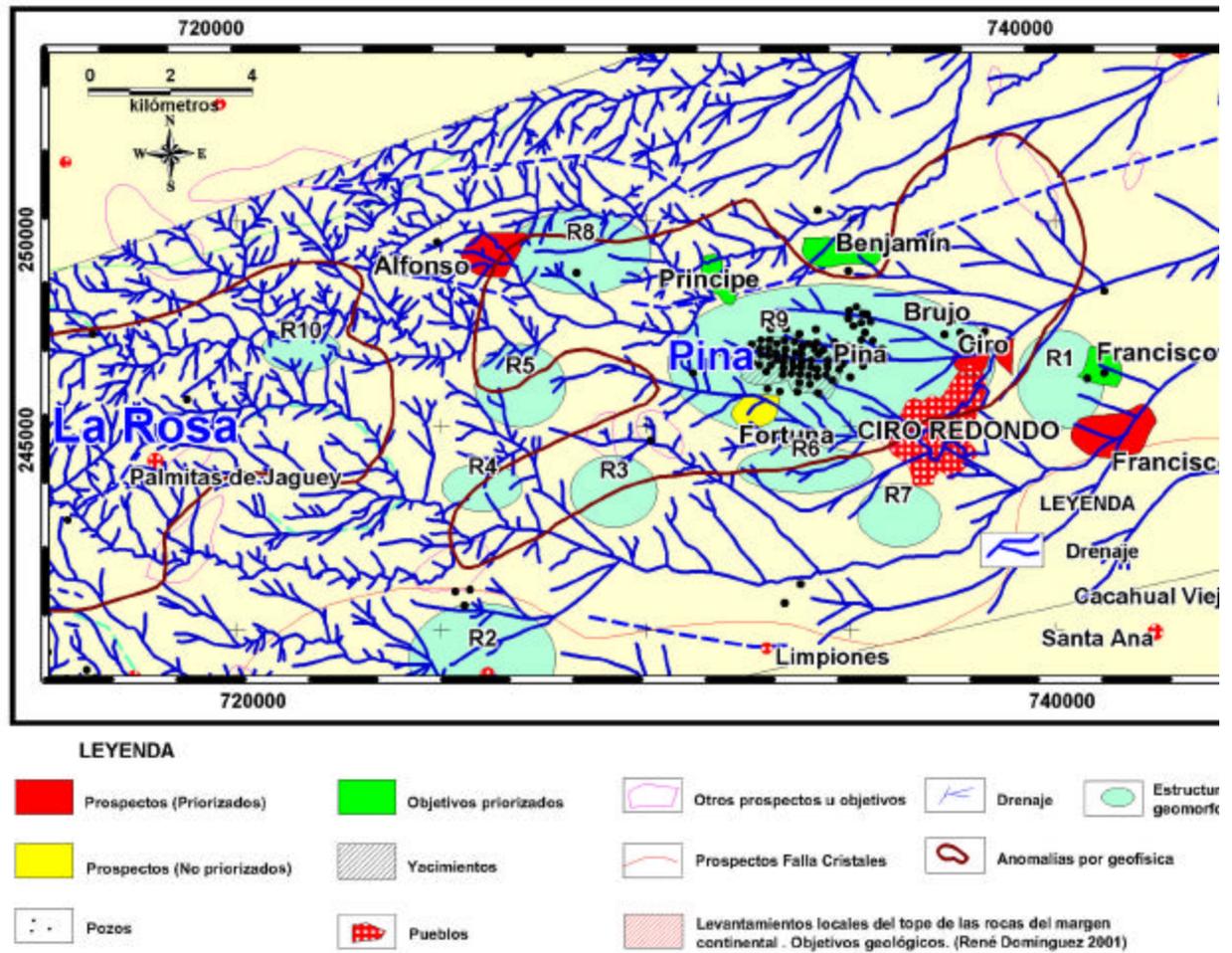


Fig. III. 3. 6. 1 Mapa morfotectónico  
Esc. 1 : 50 000

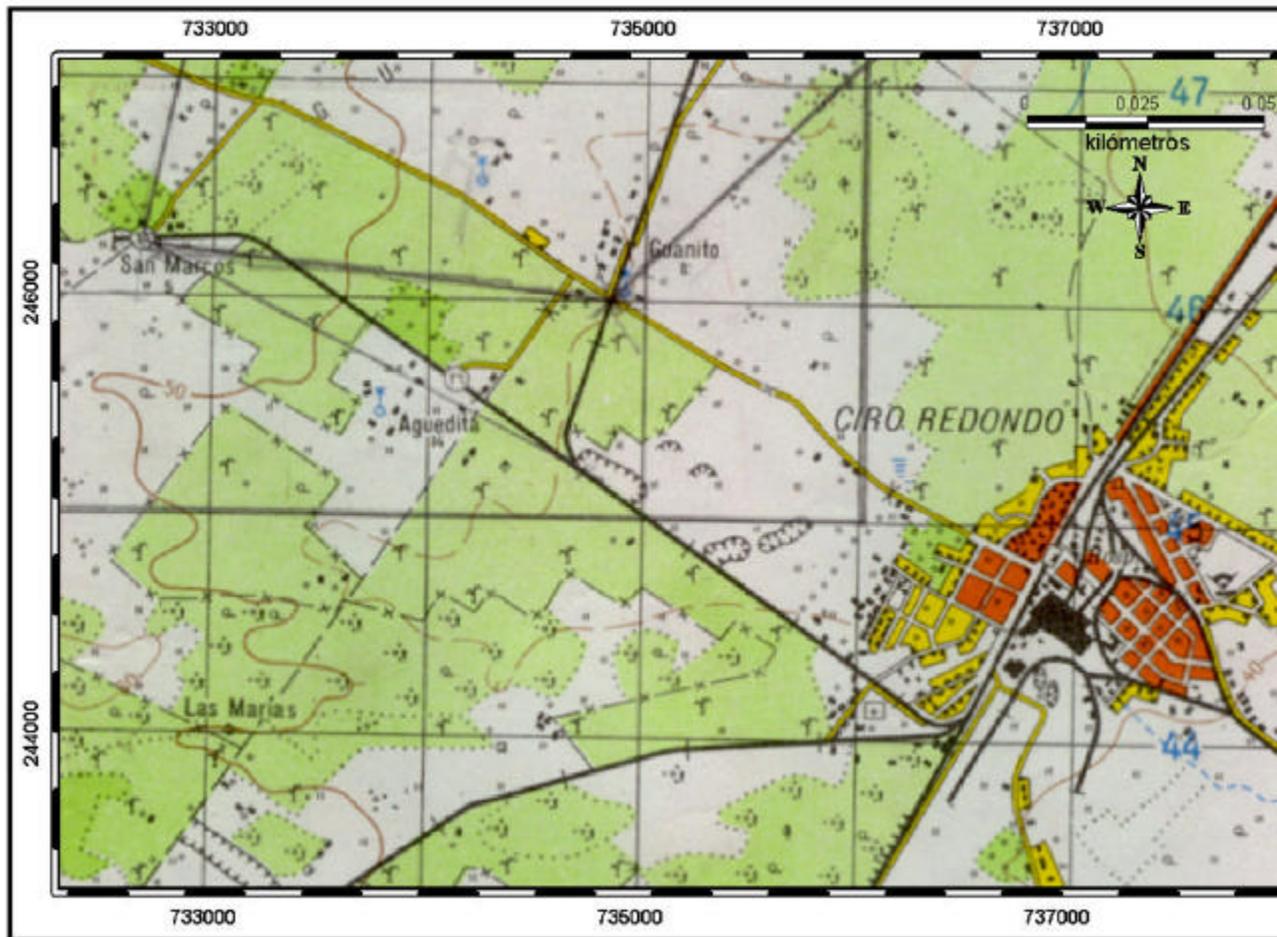


Fig. IV. 1 Mapa cartográfico.  
Esc. 1:10 000

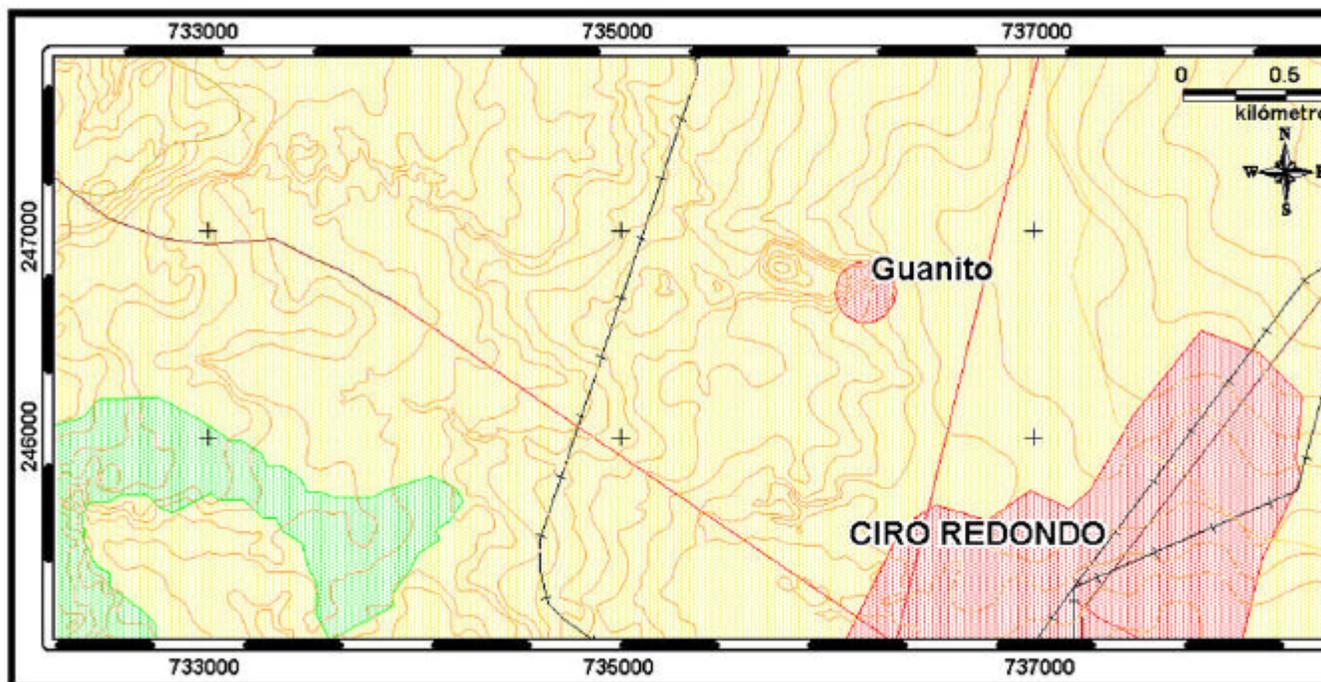


Fig. IV. 1A Mapa cartográfico.  
Esc. 1:10 000

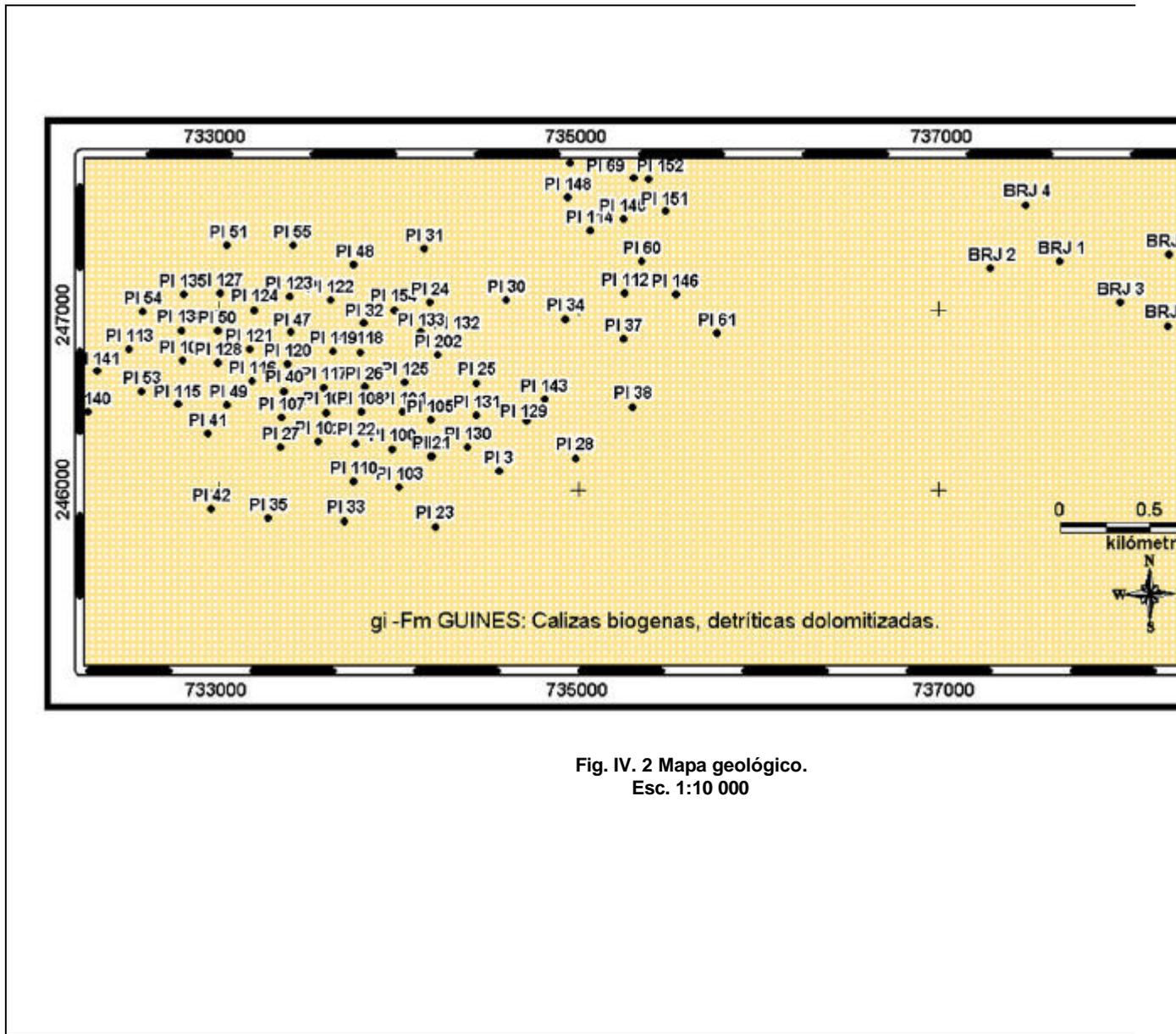


Fig. IV. 2 Mapa geológico.  
Esc. 1:10 000

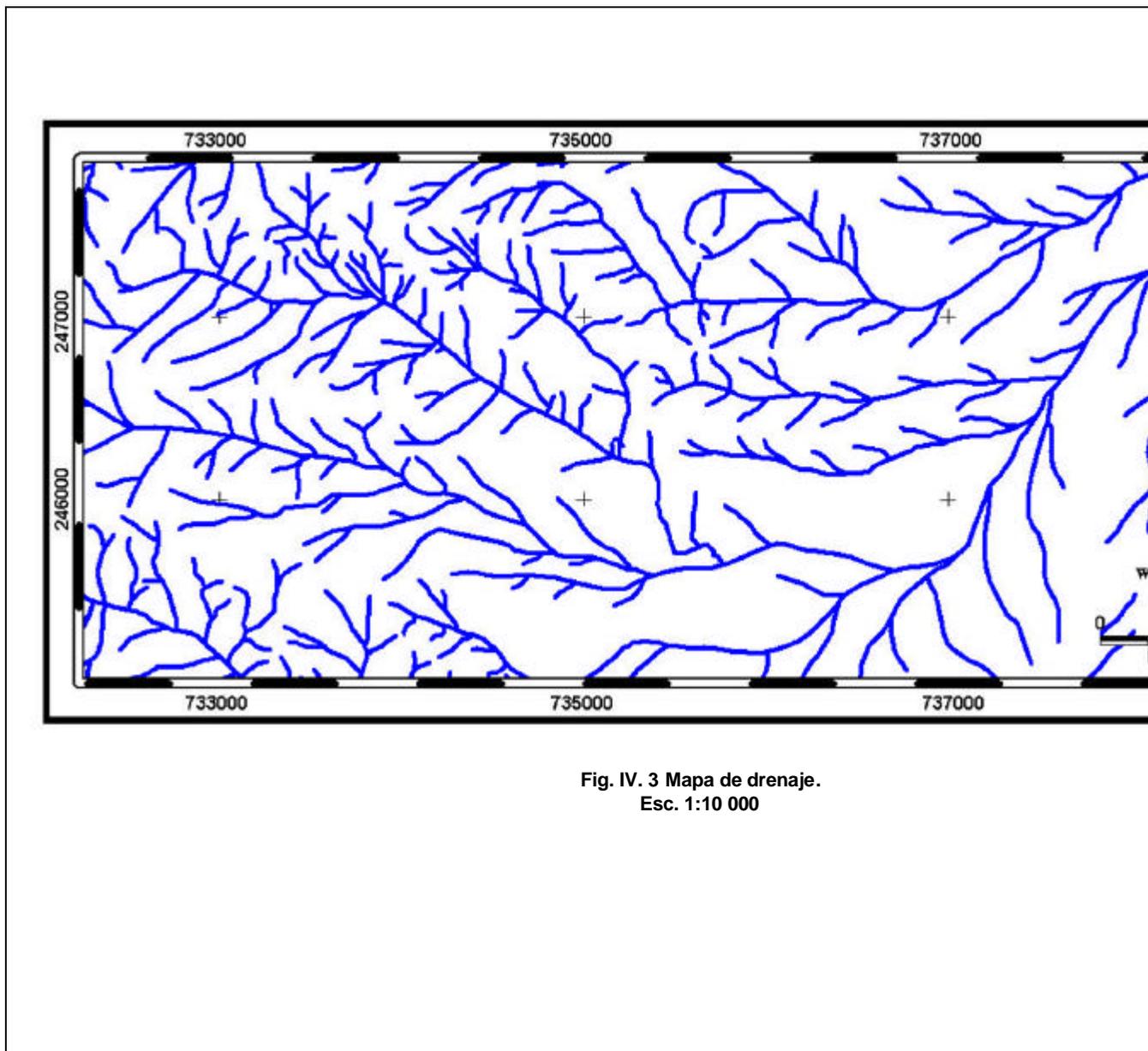


Fig. IV. 3 Mapa de drenaje.  
Esc. 1:10 000

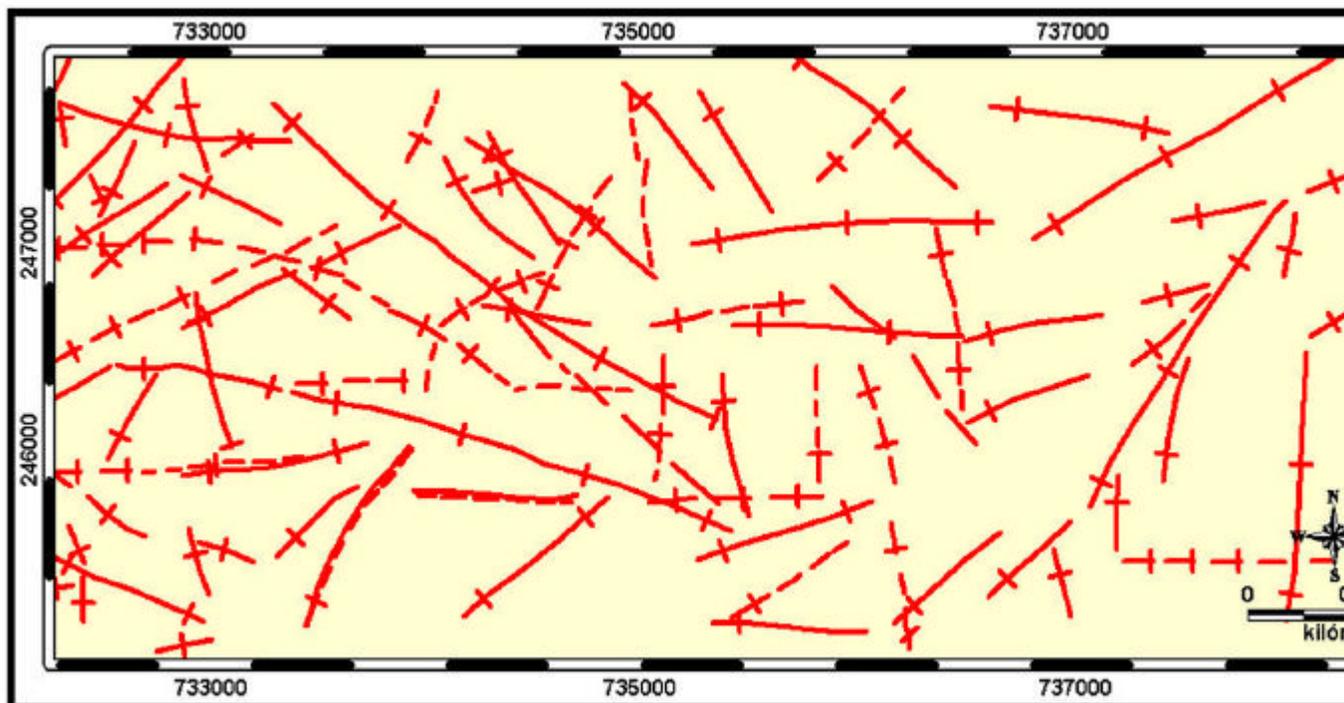
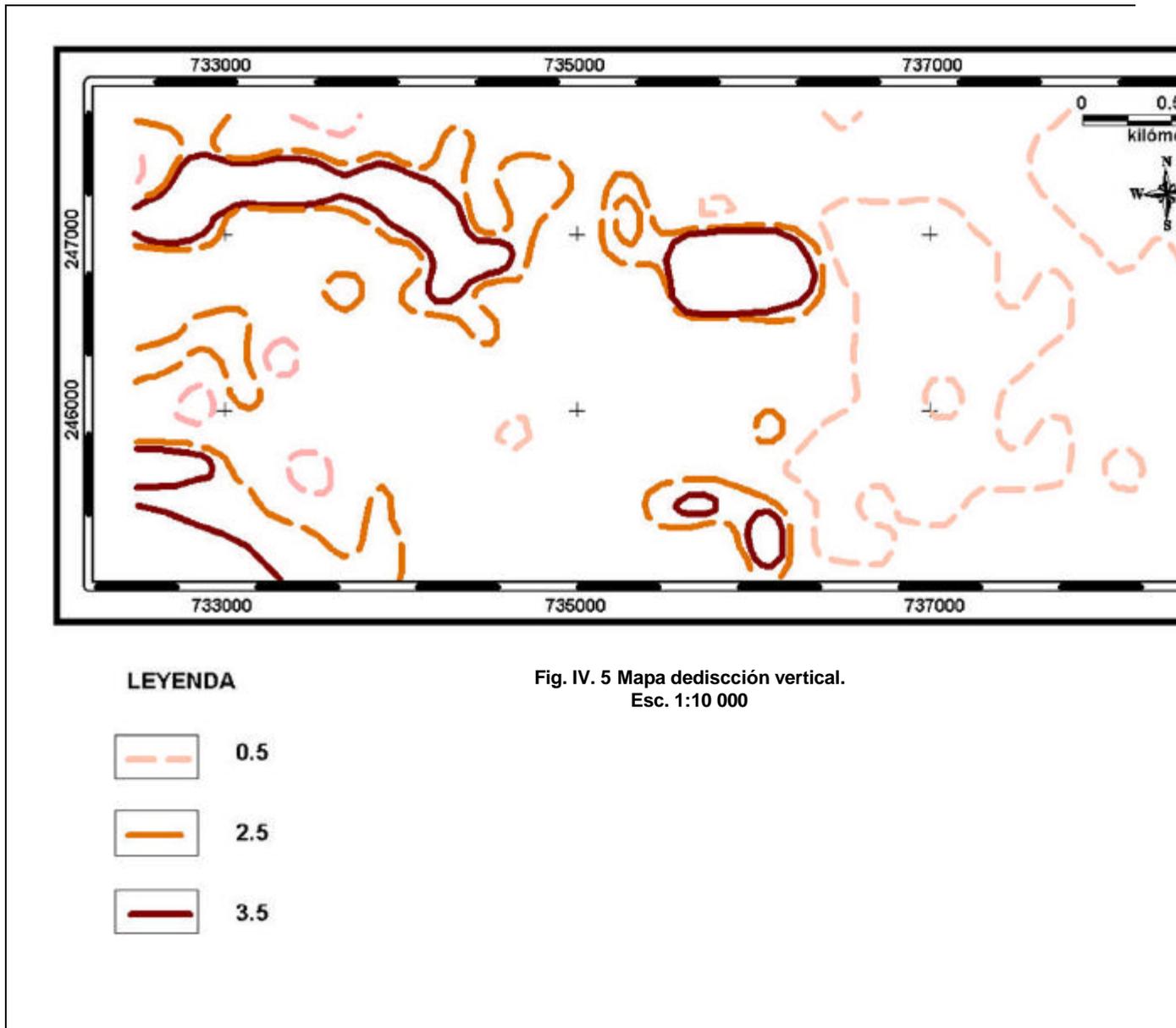
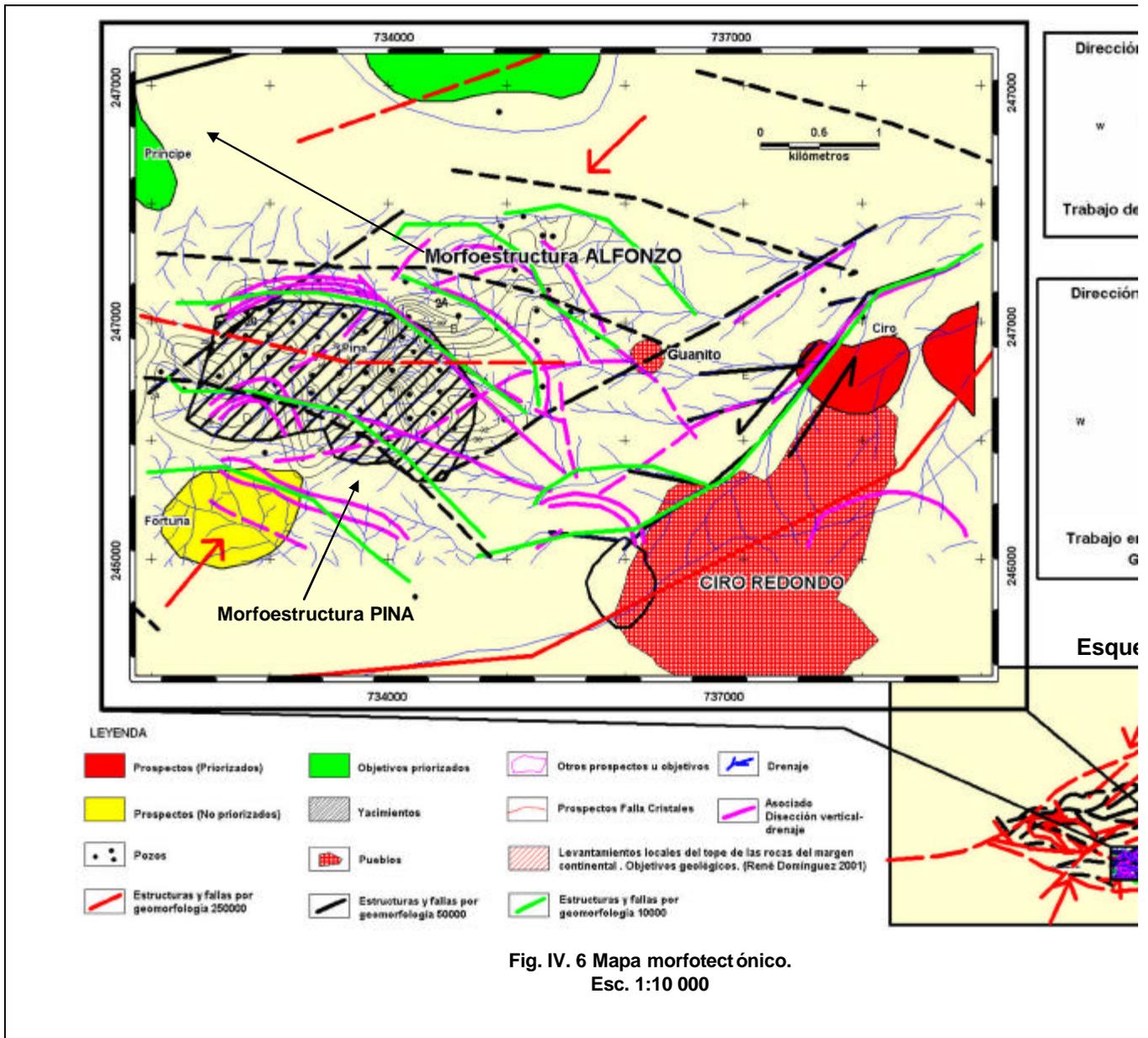
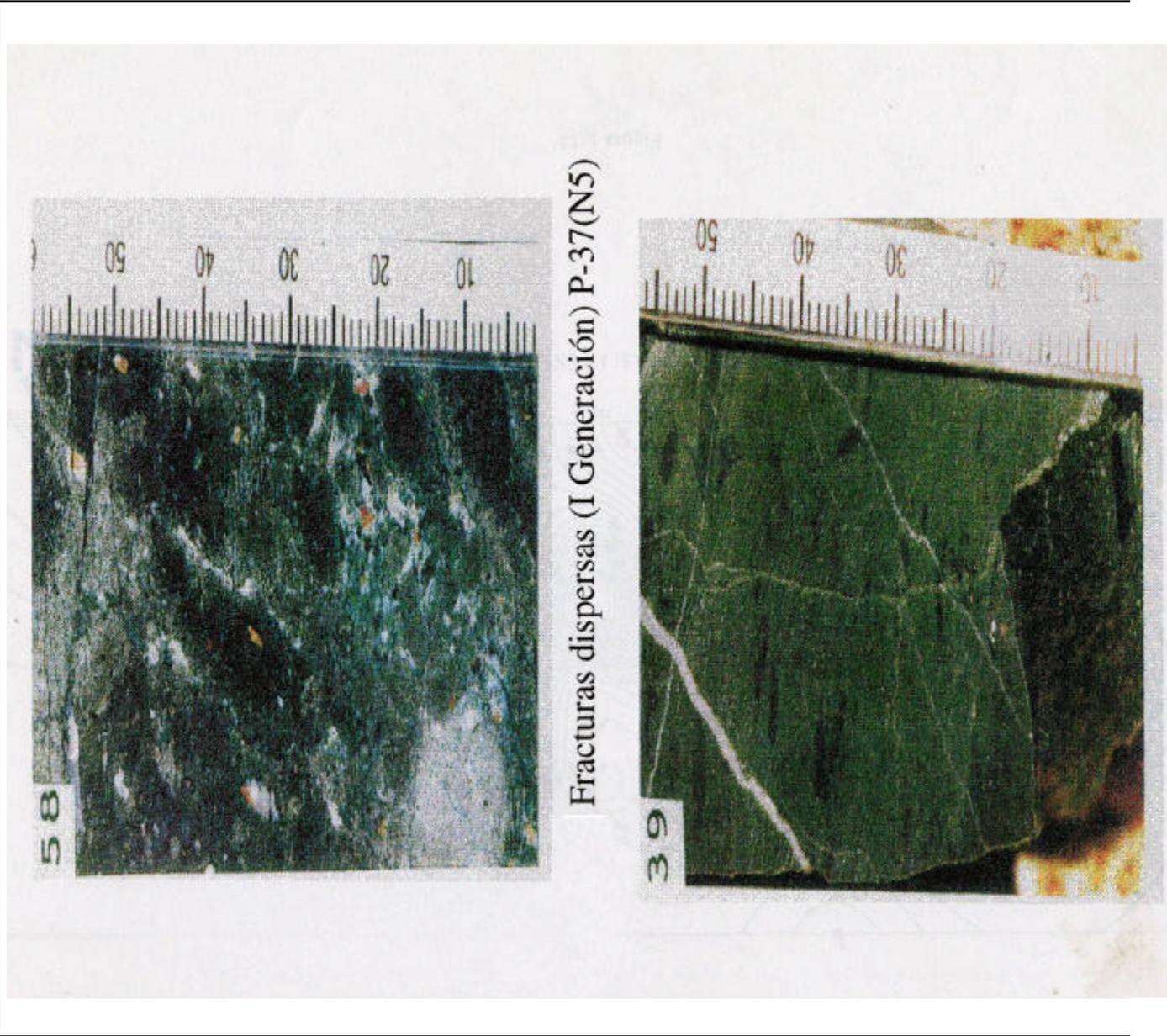


Fig. IV. 4 Mapa de lineamientos.  
Esc. 1:10 000







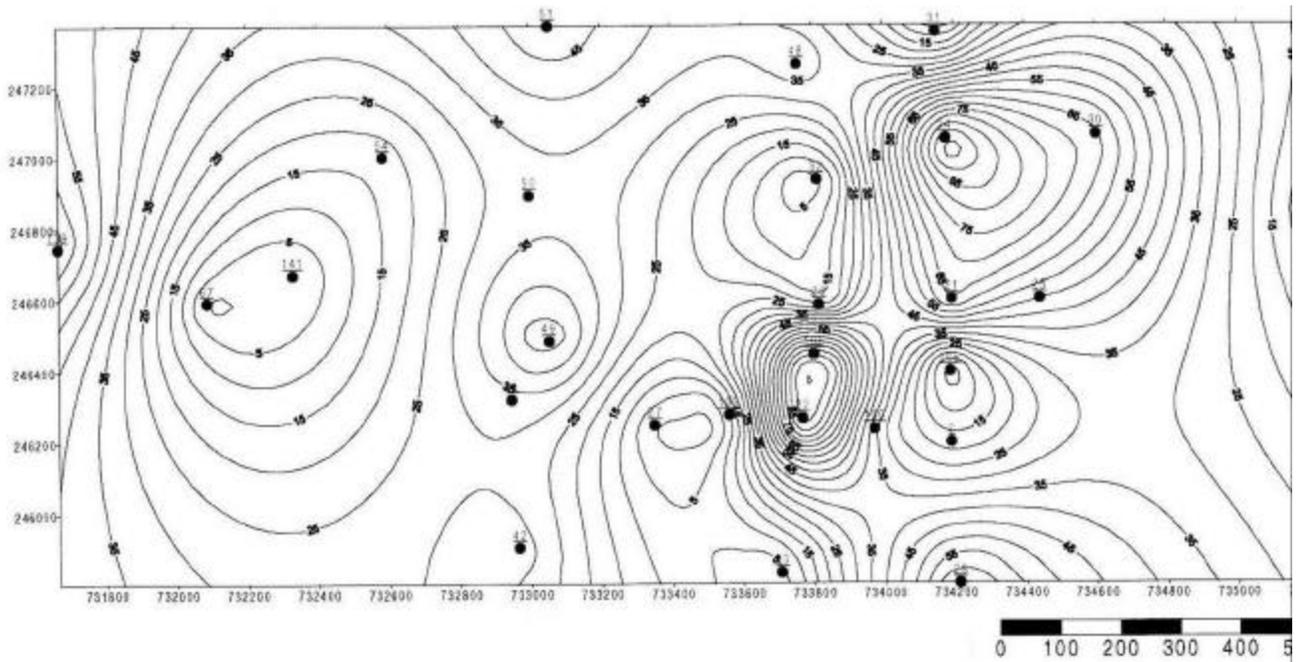
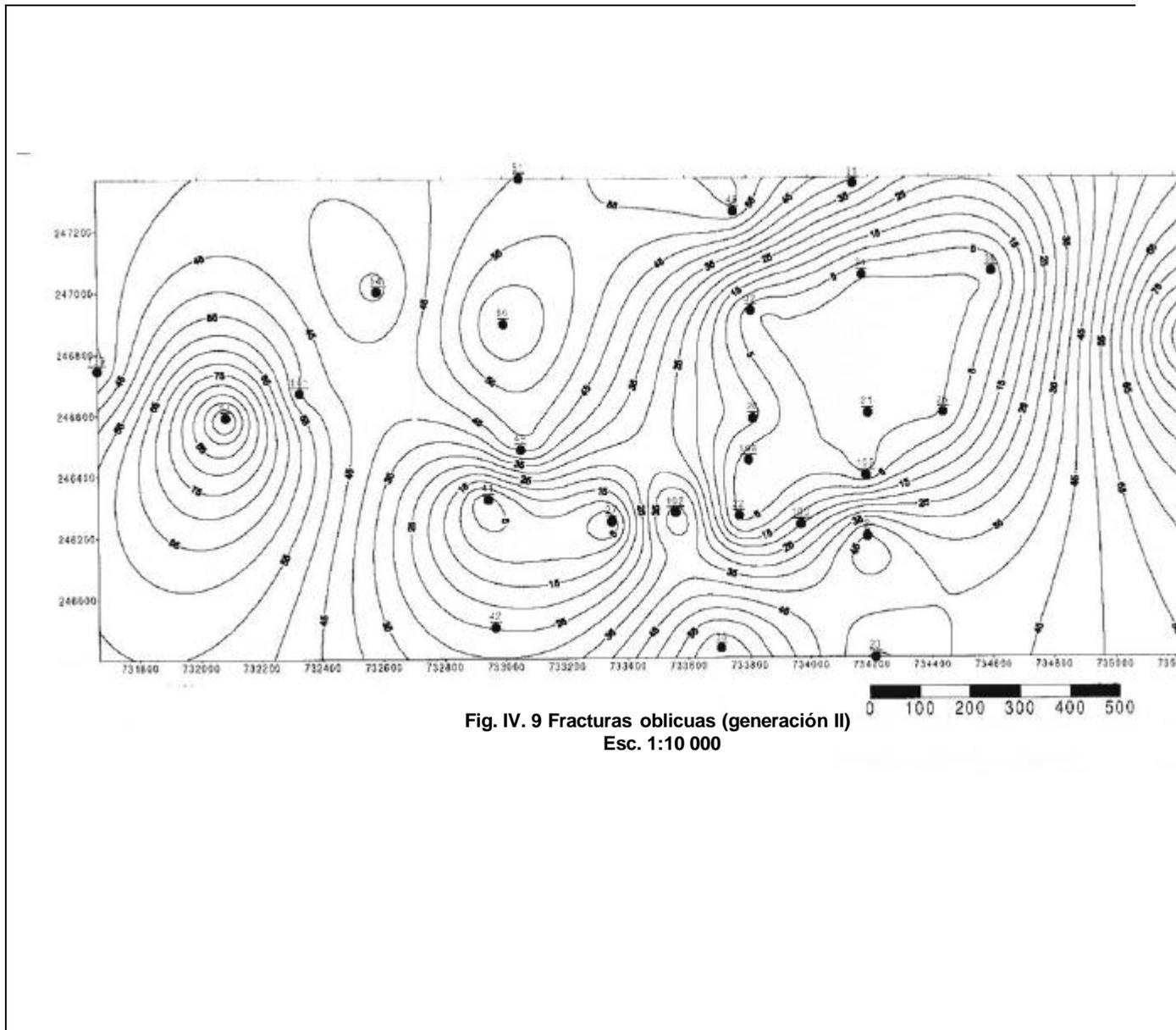


Fig. IV. 8 Fracturas dispersas (generación I)  
Esc. 1:10 000



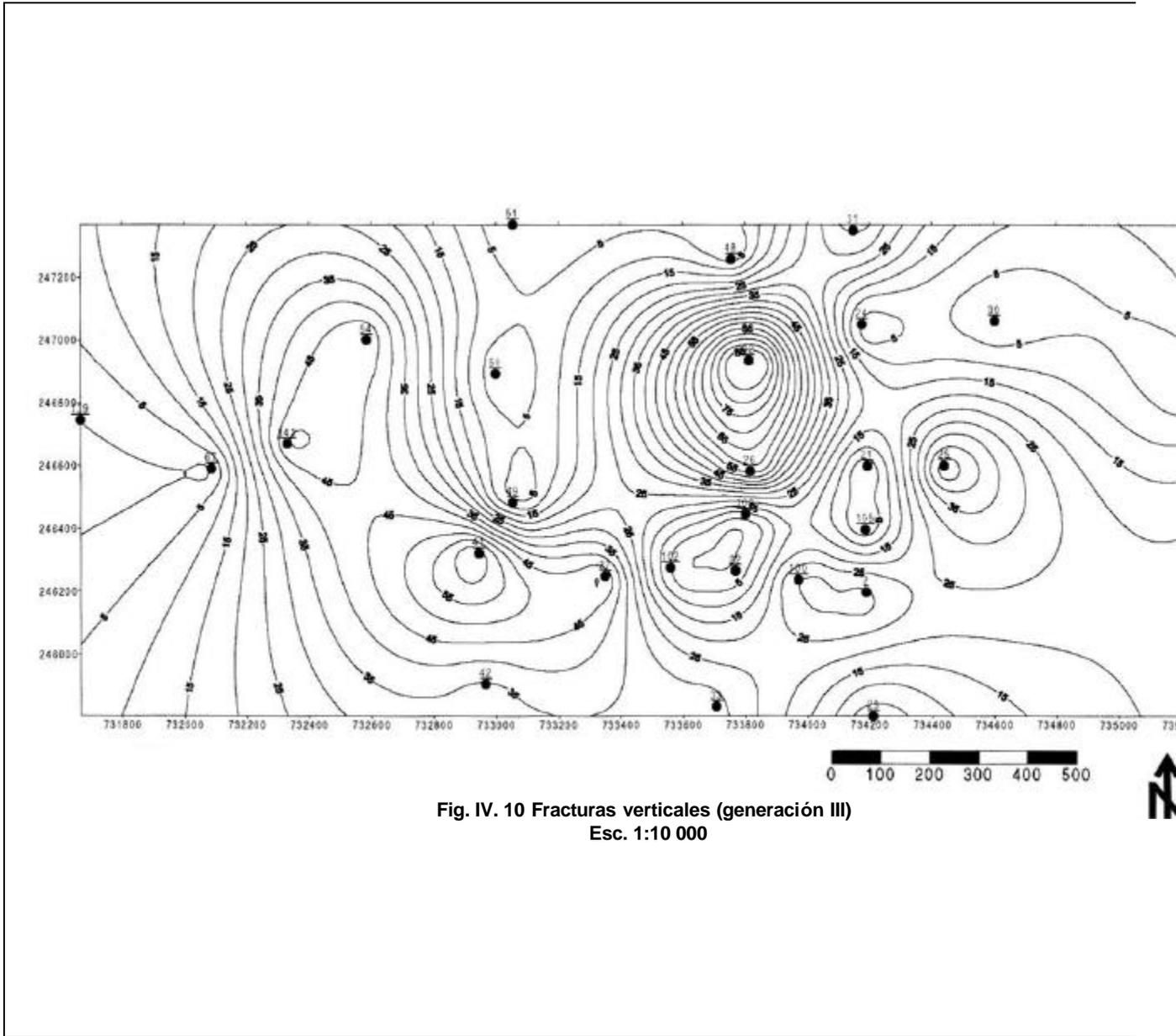


Fig. IV. 10 Fracturas verticales (generación III)  
Esc. 1:10 000

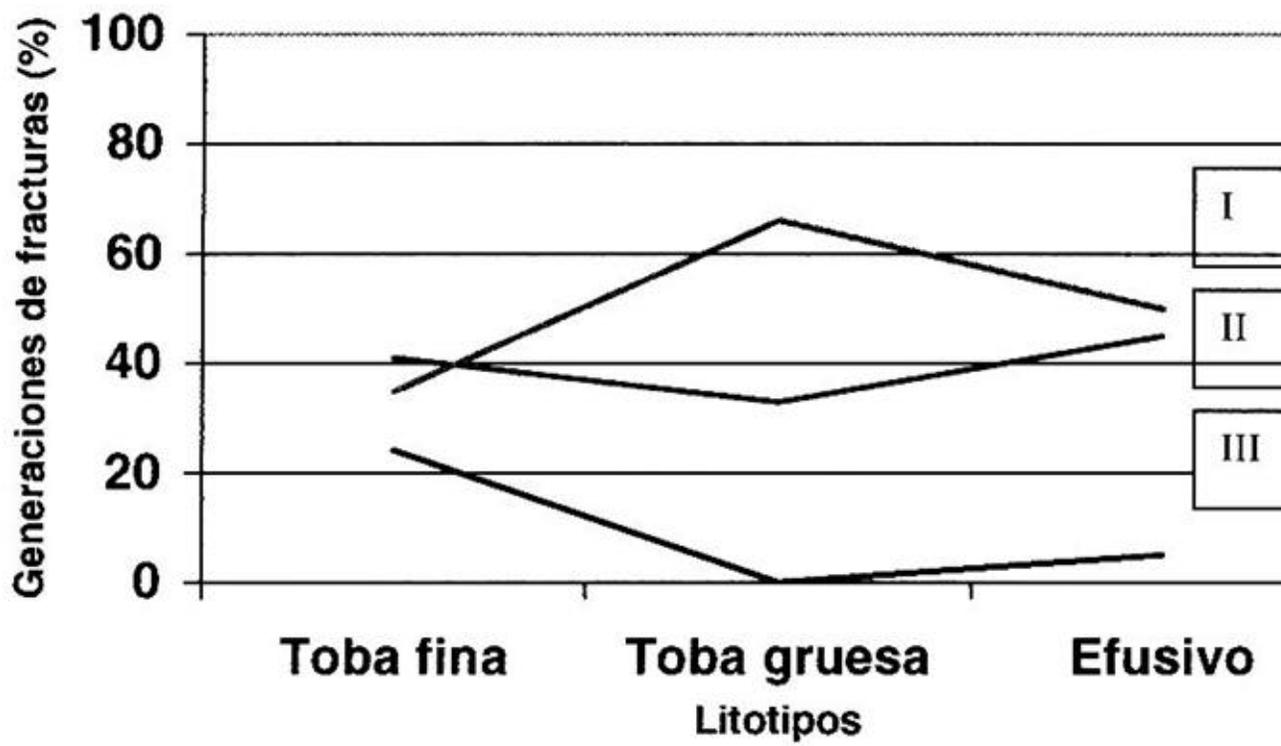


Fig. IV. 11 Generación de Fracturas



M. J. S. P. 2 (NIA)

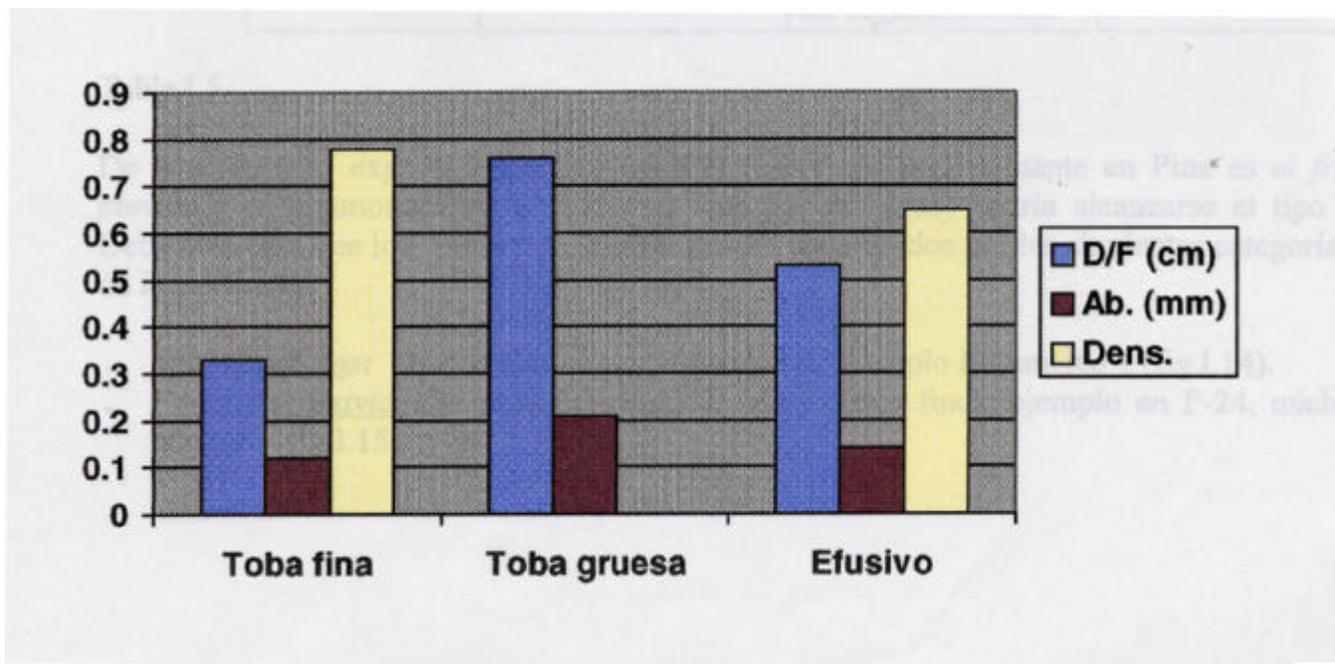


Fig. IV. 13 Tobas

Tabla 1 Trabajo de campo.

Punto	Posición	Fracturas ° (#)	Espacio (cm)	Observaciones
1 Cantera de Diabasas (Afloramiento)	Corte en cantera	20(5),140(3),90(3),120(2),40(3) 70(3),75(1),30(3),110(1),130(2),80(1),170(1),50(3), 150(1).	NW 200(4) NE 50 (4)	Fracturación caótica. Se observa sistema Microfallas en Todas direcciones.
2	Corte en cantera	20(8),130(12),75(1),85(1),30(14),110(3),115(9),125(5)	NW 140, 52 NE 11, 8(2), 7, 6, 9, 14,	Idem
3	Vista Panorámica	130 (8), 50(11), 0(12), 150 (5),160(4)		Grandes fallas
4	Sobre el afloramiento	150(6), 120(8), 20(3) 110(2) 15(1), 160 (2)	NW3(2), 2(2),1,22(7)	
5	Sistema de diaclasas escalonadas.	76 (15)	NE 20 (14) EW 20	Se hunden con 55°. En planta se observa EW corta a las NS.
6	Corte en cantera	90 (40)	NE 2(13),1(13), 8(13).	Cortadas por fracturas a 30°.
7	Tobas(bloque) Tobas (afloramiento)	90 y grieta 70 30		Estratificación subhorizontal
8 Otras partes del corte	Conglomerados	70 (4),175(1), 80(1) 30(1), 130(1)	NE 10(1),5(1),7(1)	Conglomerados dentro del sello.
9	Conglomerados	20(4)	NE 23,25,21,35	Fracturas
10	Calizas arrecifales	30 (10)		Milonitización. Fracturas abiertas NS.
11	Diabasa Zurrapandilla.	140 (5) 0(1) y 120(1)	NW27(2), 14(2)	Fracturas con espejo de fricción.
12	Margas de Lesca	110(3), 60(5)		Las de 60° cortan a las de 110°.

Tabla 2 Fracturas de pozos.

Pozo	vertical	horizontal	oblicua	diagonal	fresta	poros	FEWERO
Explosiva							
2571	+			+	+		+
2572	+		+			+	+
2573	+ GJ						+
2576				+	+		+
2577	+ GJ						+
2578	+ GJ						+
2579				+	+	+	+
2572				+			+
2573	+		+ GJ	+			+
2574			+	+		+	+
2575				+			+
2577	+ GJ		+ GJ				+
2578	+		+ GJ				+
114171	+		+ GJ				+
30071	+ GJ			+	+		+
30072			+ GJ				+
30073	+ GJ			+	+		+
30074	+ GJ			+			+
30075			+				+
30076	+ GJ			+			+
30078	+ GJ			+			+
3391				+ GJ			
3392				+ GJ			+
3393			+ GJ				
256	+ GJ		+ GJ				
257	+ GJ		+ GJ				+
258			+ GJ	+			+
3074				+	+	+	+
3077				+			+
233				+ GJ			+
2374			+ GJ	+			+
2571				+			+
2572				+			+
2573				+ GJ			+
2575				+ GJ			+
2571			+				+
2572			+ GJ				+
2574			+ GJ	+			+
2575			+ GJ				+
2576			+ GJ				+
2577			+ GJ				+
2578			+ GJ				+
2572	+ GJ		+ GJ				+
2573	+		+ GJ				+
2574	+ GJ			+ GJ			+
2571				+ GJ			+
2572			+	+			
2573				+			
2574	+	+				+	
2574				+ GJ			+
2575		+ GJ		+			+
2573			+				+

2574						+ GJ	+
2577							+
2578						+ GJ	+
2579	+ GJ						+
2577						+ GJ	+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+
2573							+
2574							+
2575							+
2576							+
2577							+
2578							+
2579							+
2572							+

**Tabla 3 Esquema de datos de pozos.**

COMPLEJO	POZO	NUCLEO	DENSIDAD
Explosivo	100	1	0.4
	100	2	0.76
	100	5	0.63
	2	6	0.52
	2	7	1.1
	2	8	1.1
	30	4	0.93
	30	5	1.1
	30	6	0.54
	23	4	0.62
	22	5	1.12
	49	2	0.91
	54	2	0.5
	27	4	0.81
	21	4	1.1
	48	3	0.51
	48	4	0.63
48	5	0.51	
32	2	0.78	
41	4	0.62	
67	1	0.8	
Efusivo	2	10	0.42
	54	5	0.71
	50	5	0.71
	139	4	0.92

**Tabla 4 Información sobre fractura.**

Pozo/núcleo	Ubicación geológica	Cantidad de fracturas	Distancia entre fracturas (cm)	Abertura de las fracturas (mm)
2/6		1	-	0.15
2/7		4	1-3-2.5	0.10
2/8		5	0.7-4-3.5	0.12
3/2		3	1-6.4-5.2	0.10
21/4		6	2.2-3.5-4-5.3-3.6	0.10
30/4		2	7.7	0.13
32/2		1	-	0.10
35/2		2	3.8	0.15
35/4		4	2.6-2.8-3	0.10

Tabla 4 Información sobre fractura (Continuación).

41/4	Tobas finas	2	1.9	0.12
48/3		2	8	0.12
48/4		2	2.3	0.12
49/2		1	-	0.10
55/1		3	1-0.7	0.11
55/3		5	1.1-0.7-0.8-3.2	0.10
67/1		2	0.8	0.2
100/1		2	6.1	0.10
100/2		3	5-3.6	0.11
100/5		2	8.8	0.10
s.i/2	2	3	0.10	
22/5	Tobas gruesas	2	15	0.15
23/4		2	4	0.20
30/5		4	6.2-8.8-5.2	0.20
47/5		3	2.5-2.9	0.30
48/5		1	-	0.20
s.i/6		4	6.8-7.3-5.9	0.20
2/10	Efusivo	2	16.3	0.10
3/8		2	1.3	0.15
3/9		2	4.6	0.10
27/4		2	14.2	0.20
30/6		1	-	0.20
47/6		5	0.5-1.1-2.3-1.6	0.10
50/5		1	-	0.15
54/5		2	6.3	0.12
139/4		2	4.8	0.20
Sf		1	-	0.10

Tabla 5 Generación de Fracturas y Fallas.

Pozo	I(%)	II(%)	III(%)	Brecha (%)	# fract. T/E	Esp. Cm T/E	Fallas
2	17	50	33		10 2	4-0.7 16.3	NE, NW NE
3					3 2	6.4-1 1.3	NW, EW NW
21	67	33				5.3-2.2	NW, NE
22	100				2	15	NW, NE
23	67	33			2	4	EW
24	100						NW, NE
25	50	50					NE, NW, NW
26	13	13	63	13			NW
27			50	50	2	14.2	NW, NW
28							NW, EW NS
30	67			33	2 4 (7)	7.7 5.2 8.8	NW, NW, NE, NE
31		60	40				NE, NE
32			100		1		NE
33	33		64				NE, NE
34							NE, NW
35					6	3.8-2.6	
37		100					NE, NW
38	100						NS, NW
40							NE, NW
41	33		67		2	19	NE, NW
47					3 5	2.9-2.5 2.3-0,5	NE, NW
48	40	60			5	8-2.3	NW
49	50	50			1		NE, NW
50	33	64			1		NE, EW
51	50	50					NE, NW, EW
53							NE
42	34	25	34	8			NE

## Generación de Fracturas y Fallas (Continuación tabla 5).

54	17	33	58		2	6.3(E)	NE, EW
55					8	3.2-0.7	NE, EW
60							NW, NS
61		50	50				NW, NE
67		100			2	0.8	
69							NW
100	34	20	34	15	7	8.8-3.6	NW, EW
101							NE, EW
102		50		50			NW, NE
103							NE, NE
104							EW
105				100			NE
107							NW, NW
108	100						EW, NW
109							NE, NE
110							NE, NW
111							NE, NW
113							NE, NW
116							NE, NW
117							NW, NE
118							NW, NE
119							NW, NE
120	33	33		13			NE
121							NE
122							NE, NW
123							NW
124							NW, NE
125							NW
127							NE
129							EW, NE
130							NW, NW
131							NW
132							NW
133							NW, NE
138							NE, NW
139	67	33			2	4.8	
141		50	50				NW, NE
143							NW, NW
145	100						NW, NS
146							NE, NW
147							NW
148							NE, NS
149							NW
151							NW

T: Tobas finas y gruesas; E: Efusivos

Tabla 6 Generalización de las fracturas.

<b>Generación de fracturas</b>	<b>% de incidencia</b>	<b>Fracturas en su</b>
I	77	NW
II	80	NE
III	80	NE
I - II	100	NE - NW
II - III	100	NE - NW
I - III	100	NE - NW
II - Brechamiento	100	NE - EW
I - II - Brechado	100	NE
Brechado	100	NE