



UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

“Hermanos Saíz Montes de Oca”

Facultad de Geología y Mecánica

Dpto. de Geología

## **Trabajo de diploma.**

**Título: Perfil regional El Moncada - Sierra Celadas.**

**Trabajo de diploma presentado en opción al título de Ingeniero Geólogo**

**Autor: Yanier Torres Moreno**

**Tutor(es): MSc. Carlos Díaz Guanche**

**Lic. Hermes Farfán González**

Pinar del Río

2009

“Año del 50 aniversario del Triunfo de la Revolución Cubana”

*"El deber del hombre virtuoso no está sólo en el egoísmo de cultivar la virtud en sí, sino que falta a su deber el que descansa mientras la virtud no haya triunfado entre los hombres."*

**José Martí**

## PÁGINA DE ACEPTACIÓN

---

Presidente del Tribunal

---

Secretario

---

Vocal

**Ciudad y fecha:**

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor de este Trabajo de Diploma, y que autorizo a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma:



Yanier Torres Moreno

Email: [jaruco@geomail.upr.edu.cu](mailto:jaruco@geomail.upr.edu.cu)

[jaruco72@gmail.com](mailto:jaruco72@gmail.com)

Yanier Torres Moreno autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Yanier Torres Moreno autoriza al Departamento de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: FTP

Yanier Torres Moreno autoriza al Departamento de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesis disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ Primeramente deseo agradecer a la revolución por permitirme estudiar.
- ✓ Quiero agradecer a mis padres por estar siempre junto a mí brindándome su incondicional apoyo y su inmenso amor.
- ✓ A mí querida hermana que siempre depositó toda su confianza en mí, así como mi sobrino y cuñado.
- ✓ A mi novia Yusnelis Moreno Guzmán por estar todos estos años brindándome el amor, apoyo y comprensión que necesité.
- ✓ También deseo agradecer de forma especial a los padres y hermanos de mi novia por haberme apoyado todos estos años.
- ✓ También quiero agradecer a todos los profesores de Departamento de Geología, por sus amabilidades, comprensión, esfuerzos y dedicación en mi preparación y formación.
- ✓ En general agradezco a todas mis amistades, especialmente; Yineidys, Pablo, Osmany, Kathy, Ulyses, Leodan, Yusdanys, Yondrey, Ahmed, Carlos, Odel. Por su apoyo, dedicación y amistad durante.

## DEDICATORIA

*Dedico esta memoria a:*

*Mis padres*

*Mi hermana*

*Mi novia*

## **Resumen.**

La presente investigación se llevó a cabo por la necesidad de esclarecer desde el punto de vista estratigráfico y estructural la geología de la zona de influencia en el perfil regional El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, su posición actual, de forma que permita determinar sus características y su relación con los procesos geomorfológicos locales. El trabajo se dividió para su realización en dos etapas, una de trabajos de campo, donde se realizó una marcharruta por el perfil en los sectores escogidos en la Sierra de los Órganos para medir elementos de yacencia de estructuras y rocas; así como medir, describir y estudiar las geoformas presentes en el área; y una etapa de gabinete donde se procesó toda la información. Como resultado se determinó la existencia de tres escamas tectónicas, orientadas en la dirección general de los sobrecorrimentos NW –SE, divididas entre sí por secuencias olistostómicas y se pudo comprobar que las formas cárnicas presentes, estaban condicionadas por la existencia de uno o más planos de agrietamiento, lo que sugiere un cambio en el tiempo de la dirección del eje de los esfuerzos principales, originando zonas de intercepción de planos de grietas, siendo estas, por tanto las áreas de mayor debilidad, o sea, los lugares donde existen mayores volúmenes de cavidades o accidentes cárnicos.

## **PALABRAS CLAVES.**

Tectónica, carso

**Abstract.**

Present research was developed in order to explain, from the stratigraphic and structural point of view, the geology along a regional profile located near El Moncada, Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos and its relationships with local geomorphic features.

The investigation was divided in two parts. The first was the field work in the selected locality in Sierra de Los Órganos. A structural profile was built, measuring different structural elements. The field work also included the study and description of geomorphs. The second part was devoted to data processing at the University. Three tectonic scales were determined with the same general NW to SE structural trend as the major overthrusts. Olistostromic sequences are included in between the scales. It was detected that one or more fracture surfaces control the karstic forms development. This suggests a change in time in the main stress position, creating fracture interceptions. The last ones represent the places with a maximum of karstic features.

**KEY WORDS.**

Tectonic, karst



## Tabla de Contenido

Pág.

<i>Introducción</i> .....	1
Diseño de la investigación .....	2
<i>CAPITULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y GEOLOGÍA DE LA REGIÓN.</i> .....	4
I.1. Ubicación geográfica .....	4
I.2. Relieve y particularidades geomorfológicas:.....	5
I.3. Condiciones climáticas .....	6
I.4. Vegetación y fauna. ....	6
I.5. Hidrología.....	7
I.6. Actividad económica. ....	7
I.7. Geología de la región.....	8
I.7.1. Estratigrafía: .....	8
I.7.1.1. Etapa de Synrift. ....	8
I.7.1.2. Depósitos de la primera fase tectónica de la etapa orogénica, sobre el margen continental. ....	9
I.7.1.3. Cuenca de antepaís .....	10
I.7.2. Tectónica.....	12
<i>CAPÍTULO II. HISTORIA DE LAS INVESTIGACIONES ANTERIORES</i> .....	14
<i>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.</i> .....	17
III.1. Métodos de procesamiento .....	19
III.2 Volumen y descripción de los trabajos realizados. ....	19
III.2.1 Etapa de colecta de información de campo.....	19
<i>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LOS RESULTADOS</i> .....	29
IV.1. Características de las estructuras geológicas en el área del perfil El Moncada - Sierra Celadas .....	29
IV. 1.1. Descripción geológica del perfil El Moncada - Sierra Celadas.....	29
IV.1. 2. Estructuras tectónicas. ....	33
IV.1. 2.1. Estructuras plicativas .....	33
IV.1.2.2. Estructuras disyuntivas. ....	35
IV.1.3. Interpretación de los resultados. ....	36
IV.1.3.1. Escama tectónica Alturas de Pizarras del Sur.....	36
IV. 1.3.2. Polja de Santo Tomás. ....	38
IV.1.3.3. Escama tectónica Sierra del Medio. Formación Guasasa .....	38
IV.1.3.4. Polja Los Cañadones.....	41
IV.1.3.5. Escama tectónica Sierra Celadas. Formación Guasasa.....	41
IV.2. Características geomorfológicas en el área del perfil El Moncada - Sierra Celadas .....	42
IV.3. Vinculación de las estructuras geológicas con las formas del relieve cársico en el área del perfil El Moncada - Sierra Celadas.....	49
<i>CONCLUSIONES</i> .....	53
<i>RECOMENDACIONES</i> .....	54
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	55

## **Introducción**

Para la planificación adecuada de cualquier territorio en cuestión, y especialmente las áreas protegidas, conocer el medio físico es una herramienta de incalculable valor.

Tradicionalmente, los elementos que componen el medio físico han sido débilmente incorporados o totalmente inadvertidos durante el diseño de estrategias y planes de manejo de recursos naturales. Es una premisa que para el manejo de cualquier área protegida, independientemente de su categoría, se deben tener en cuenta todos los elementos naturales, económico-sociales, culturales, pero generalmente el status oficial de protección se confiere por aquellos valores que más resaltan de la biodiversidad. Resultaría muy significativo en todo el proceso de gestión de un área protegida (desde su concepción y propuesta, hasta el manejo específico de sus recursos) tener en cuenta la geodiversidad, pues podría condicionar la elaboración de planes de ordenación y gestión del territorio. La consideración conjunta de geodiversidad y biodiversidad nos lleva a contemplar integralmente la diversidad natural, en cuyo marco se establecen relaciones mutuas entre ambos aspectos.

En el caso del Área Protegida del Parque Nacional Viñales, no se cuenta con un estudio detallado del medio físico, lo que lastra la elaboración de estrategias integrales para el manejo y protección del patrimonio natural y cultural del área.

A lo antes expuesto, debe sumarse que más del 80% del área núcleo del Parque Nacional Viñales la constituyen los mogotes y sierras calcáreas, con amplio desarrollo del carso, siendo este un sistema natural dinámico, en extremo complejo que se caracteriza, ante todo, por su vulnerabilidad, fragilidad y por albergar una biodiversidad muy particular.

Siendo el territorio del Parque Nacional Viñales en su mayor parte cársico, resulta sustancial conocerlo a fondo. En él se encierran las tierras de cultivo y las mayores fuentes de agua potable, se asientan los poblados, presas y vías de comunicación y casi toda la actividad diaria, el desarrollo, están vinculados al carso y a los fenómenos asociados al mismo, conociéndolo se logra entenderlo, protegiéndolo se estará protegiendo también toda la actividad humana vinculada a este fenómeno.

El perfil de trabajo se encuentra ubicada en la parte centro occidental de la Sierra de los Órganos, y se extiende aproximadamente en una dirección noroeste-sureste. Se encuentra enclavado en el municipio de Viñales, a unos 18 kms al oeste en el

poblado El Moncada. Las formaciones geológicas presentes comprenden edades del Jurásico Superior al Eoceno Medio parte baja. Para el área de estudio, todas las secuencias mesocenoicas se han incluido en la Unidad Tectónica Viñales de la Zona Estructuro-Facial Guaniguanico (Piotrowska, 1987) con particularidades estructurales propias y constituida por numerosos *nappes* o escamas tectónicas originadas durante la orogénesis cubana (Piotrowska, 1978, 1987; Hatten, 1967; Pszczółkowski, 1978, 1987; Khudoley y Meyerhoff, 1971; en Cobiella, 1996 y Cobiella y et al, 2009). La Unidad Tectónica Viñales abarca la parte superior de la Fm. San Cayetano y las formaciones Jagua, Guasasa, Pons, Ancón y Manacas con un mayor desarrollo de las estructuras más complejas en los depósitos pre-Oxfordianos.

Como característica general, los depósitos terrígenos sobrecorrieron al paquete carbonatado; todas las secuencias hasta aquí descritas tienen un carácter alóctono y fueron emplazadas tectónicamente desde el Sureste (Cáceres, 1998, en Díaz, 1999).

El trabajo ha sido estructurado en cuatro capítulos resumidos de la siguiente manera: el primero se refiere a las características generales de la geografía y la geología del territorio, incluyendo un análisis somero del medio social; en el segundo capítulo se realiza un análisis crítico de la bibliografía utilizada y que representan los antecedentes geológicos y carsológicos que sustentan este trabajo, así como se valora el estado actual de la temática y su posible desenvolvimiento futuro. En el tercer capítulo se explican los métodos empleados y la cantidad de trabajo necesario para la obtención de los resultados. En el cuarto capítulo se analiza la vinculación de la estructura geológica del área y el desarrollo de la morfología cársica. Además se incluyen una Introducción, Conclusiones y Recomendaciones, así como figuras 27 y fotos 17.

## **Diseño de la investigación**

### **Problema.**

La necesidad de esclarecer desde el punto de vista estratigráfico y estructural la geología de la zona de influencia en el perfil regional El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, Cordillera de Guaniguanico; su posición actual, de forma que permita determinar sus características y su relación con los procesos geomorfológicos locales.

**Objeto.**

Geología del territorio que comprende el perfil por la línea El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, Cordillera de Guaniguanico.

**Objetivo General:**

Caracterizar la geología de la zona de influencia del perfil regional El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, Cordillera de Guaniguanico, explicando su relación con la morfología del relieve presente en la región.

**Objetivos específicos.**

1. Explicar los principales tipos de deformaciones plicativas y disyuntivas en la zona de influencia del perfil geológico regional El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, Cordillera de Guaniguanico, a partir del análisis de las meso y macro estructuras presentes, con especial énfasis en el agrietamiento a nivel regional y las causas de su aparición en el corte.
2. Caracterizar la geología y la tectónica que se distribuyen en la zona de influencia del perfil regional El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, Cordillera de Guaniguanico, tanto desde el punto de vista geométrico como de su composición estratigráfica.
3. Establecer la relación existente entre la estructura geológica y el desarrollo cársico del área de influencia del perfil regional El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, Cordillera de Guaniguanico.

**Hipótesis**

Si se conocen las características geólogo-estructurales del territorio comprendido en la zona de influencia del perfil regional El Moncada – Sierra Celadas, Sierra de Los Órganos, Cordillera de Guaniguanico, se puede establecer los factores que condicionan la génesis y desarrollo de las geoformas cársicas locales.

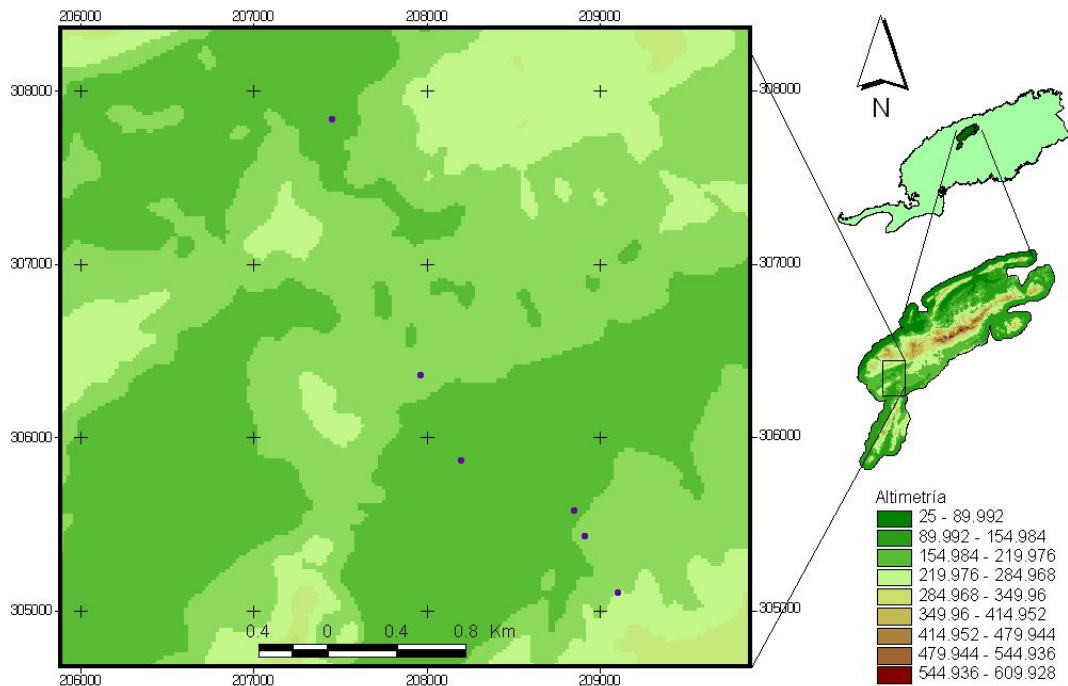
## **CAPITULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y GEOLOGÍA DE LA REGIÓN.**

### **I.1. Ubicación geográfica.**

El área de trabajo se encuentra ubicada en la Cordillera de Guaniguanico macizo montañoso que ocupa la mitad norte de la provincia de Pinar del Río. Este macizo se divide en tres subregiones, cada una con particularidades geográficas y geológicas propias: Sierra de Los Órganos, Sierra del Rosario y las Alturas de Pizarras. La Sierra de los Órganos se encuentra ubicada al oeste, encontrándose flanqueada al norte y sur por las Alturas de Pizarra, al este se encuentra la Sierra del Rosario, estos grandes grupos orográficos se encuentran limitados en la parte sur por un falla regional que le brinda una clara particularidad a la topografía de la zona, pues separa la Cordillera de Guaniguanico de la gran llanura aluvial marina del Sur de Pinar del Río.

La zona donde se desarrollaron los trabajos se encuentra en la parte centro occidental de la Sierra de los Órganos, y se extiende aproximadamente en una dirección noroeste-sureste. Se encuentra enclavada en el municipio de Viñales a unos 18 Km. al oeste del poblado que lleva el mismo nombre y a unos 47 Km. de la provincia de Pinar del Río. Según la Proyección Cónica Conforme de Lambert, en la Hoja Cartográfica 3483-IV-d (El Moncada), a escala 1:25 000. Ocupando una longitud aproximada de 4 Km. (**Fig. 1.**).

# MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA



**Fig.1.** Mapa de ubicación Geográfica

## **I.2. Relieve y particularidades geomorfológicas:**

Toda el área forma parte de la Unidad Morfotectónica Guaniguanico de los Macizos Continentales Meridionales (Núñez-Jiménez *et al.*, 1988). En ella se pueden distinguir tres tipos o categorías del relieve:

- Relieve cársico de montañas bajas estructuro-carsificadas desarrollado sobre las calizas de las formaciones Guasasa y Ancón en los macizos de la Sierra de Celadas y la Sierra del Medio. Todo este paisaje cársico se denomina carso cónico en alturas complejamente plegadas y falladas que en la Sierra de Los Órganos tiene un desarrollo excepcionalmente típico como un carso tropical residual en rocas calizas Jurásico-Cretácicas (Núñez-Jiménez *et al.*, 1988).

- Relieve de montañas bajas denudativo-tectónicas fuertemente diseccionadas de las Alturas de Pizarras del Sur y del Norte, desarrollado sobre las rocas terrígenas de la Formación. San Cayetano, que se ubican al sur y al Norte de los macizos carbonatados de la Sierra de Celadas y la Sierra del Medio (Díaz, 1986).

- Relieve de llanos intramontanos en las poljas marginales o de contacto y valles fluvio cársicos que rodean a los macizos calcáreos (ejemplo: las poljas de Santo Tomás, Los Cañadones y el valle de Pan de Azúcar) ligeramente ondulado con colinas bajas sobre depósitos de la Formación Manacas y terrígenos Plio-Cuaternarios de carácter continental y origen aluvial-marino, con carbolitos (Núñez-Jiménez *et al.*, 1988).

### **I.3. Condiciones climáticas.**

El clima de la subregión se clasifica como tropical húmedo, montañoso con humedecimiento alto y estable, baja evaporación y temperaturas frescas con una marcada oscilación diaria del régimen térmico. Algunos datos climáticos de la zona se muestran a continuación:

- Temperatura media anual del aire: 22°C - 24°C.
- Temperatura media en el período invernal: 18°C - 22°C.
- Temperatura media en el período estival: 25°C - 27°C.
- Precipitación media anual: 1 600-1 900 mm.
- Precipitación media en el período lluvioso: 1 200 - 1 400 mm.
- Precipitación media en el período seco: 400-600 mm.
- Evaporación media anual: 1 400-1 800 mm.
- Humedad relativa media anual: 07:00 horas: 90-95 %  
13:00 horas: 65-70 %.
- Coeficiente de humedecimiento medio anual (K): 1.10-1.50. lo que clasifica como bosque suficientemente húmedo.

Estos datos fueron suministrados por la Oficina Territorial de Meteorología de Pinar del Río del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba (2006).

### **I.4. Vegetación y fauna.**

La flora como la fauna de la región exhiben un elevado índice de endemismo y dado el difícil acceso a algunos sectores de las alturas mogóticas se mantienen con un grado de conservación aceptable, aunque amenazado por la expansión actual y futura de algunas actividades antrópicas como son los cultivos y el auge del turismo

(ecoturismo en senderos, ejemplo “Maravillas de Viñales”) (Vázquez - Romero, 2006).

Las formaciones arbustivas claras conocidas como vegetación de mogotes, con predominio de plantas xerofíticas caracterizan estas elevaciones, mientras que en las zonas más húmedas, donde se encuentran los suelos rojos ferralíticos profundos, al pie de las colinas y de las cadenas montañosas y depresiones son frecuentes los bosques semicaducifolios con ejemplares de gran talla (Vázquez - Romero, 2006).

La fauna salvaje del territorio está caracterizada por insectos, reptiles, moluscos, aves y mamíferos de pequeña talla, la mayoría endémicos y algunos en peligro de extinción, junto a las especies domésticas que han sido introducidas en la zona y que, con el tiempo se han adaptado completamente (Gutiérrez y Rivero, 1997).

#### **I.5. Hidrología.**

Desde el punto de vista hidrogeológico, en la zona se encuentra presente la Subcuenca Santo Tomás perteneciente a la Cuenca Cuyaguategue que está compuesta por 5 subcuencas del tipo dendrítico asimétrico representadas por los arroyos de Santo Tomás, Péñate, el Bolo, la Tierra y los Cerritos, los cuales nacen en las Alturas de Pizarras y cortan transversalmente el Valle del Moncada siendo este un polja marginal o de contacto (Peláez y Gonzáles, 1994).

Estos arroyos son intermitentes y de poco caudal con un cause en forma de “U” abierta con numerosos meandros muy cerrados en su circulación por la parte más llana del Valle, lo que evidencia el tránsito de un estadio de vejez al de rejuvenecimiento. En la parte alta de la subcuenca del arroyo Santo Tomás se aprecian rasgos marcados de fluviocarloso, donde se combinan los efectos de la erosión Fluvial y los procesos de carsificación estableciéndose la red fluvial solamente a lo largo del contacto entre éstas en dirección longitudinal (Peláez y Gonzáles, 1994).

#### **I.6. Actividad económica.**

La producción agropecuaria continúa siendo la principal rama económica de la región, destacándose las producciones de tabaco, café, viandas y hortalizas, con un importante crecimiento del turismo en los últimos años por los excepcionales valores naturales del territorio.



Como se puede observar hasta aquí, el hombre, en su decursar histórico por esta región, siempre ha aprovechado las bondades de los paisajes cárscicos y los ha explotado como vivienda, sitios de refugio, zonas de caza y producción de alimentos y con fines recreativos, es decir, como un medio rico donde extraer las materias primas y los productos necesarios para la vida. De esta sabia forma de aprovechar el entorno, surgió uno de los paisajes más impresionantes del mundo, El Valle de Viñales, donde se conjugan magistralmente las formas naturales con las modificaciones antrópicas, lo que le valió a la región el título de Paisaje Cultural Patrimonio de la Humanidad, conferido por la UNESCO en el año 2000.

## **I.7. Geología de la región.**

### **I.7.1. Estratigrafía:**

En el corte estratigráfico de la región se caracteriza por el desarrollo de formaciones del Jurásico Superior al Eoceno Medio parte baja representadas en su interior por depósitos terrígenos que hacia arriba en el corte se van tornando cada vez más carbonatados, hasta volver a tornarse terrígenos olistostrómicos hacia el final del corte. Su estructura geológica está representada por mantos cabalgados, y la superposición de diferentes eventos tectónicos que agudizan la complejidad del corte.

En la zona están presentes las formaciones San Cayetano, Jagua, Pons, Moncada, Ancón, Manacas y Guasasa, esta última a su vez está representada por los miembros San Vicente, El Americano, Tumbadero, Tumbitas.

#### **I.7.1.1. Etapa de Synrift.**

La Formación San Cayetano descrita por Golyer (1918), aflora en toda la cordillera de Guaniguanico, entre el pueblo de Guane y el poblado de Soroa, provincia de Pinar del Río. Está compuesta por aleurolitas y argilitas de color gris a gris oscuro, pardo y violáceas, finamente estratificadas con aspecto pizarroso, intercaladas con areniscas cuarzosas y cuarzo-micáceas, estratificadas de color blanquecino o amarillo rojizo a veces algo oxidado y con espesores variables. No se conoce su límite inferior. Su límite superior es concordante con las formaciones Artemisa (Miembro La Zarza), Francisco y Jagua (Miembro Pan de Azúcar) y discordante con

las formaciones Manacas, Guane, Paso Real, y Villarroja. En un reciente trabajo realizado por Dueñas et al. (2000) en las cercanías de la localidad Cinco Pesos se dio a conocer una amplia relación de palinomorfos en rocas de la Formación San Cayetano, que mostraron una edad Jurásico Superior.

La Formación Jagua se desarrolla en la Sierra de los Órganos, provincia de Pinar del Río, la cual fue dividida en cuatro miembros: Miembro Jagua Vieja, Miembro Pimienta, Miembro Pan de Azúcar y Miembro Zacarías (Palmer, 1945). Su composición litológica está representada por calizas micríticas negras, pizarras arcilloso-margosas, areniscas y lutitas calcáreas de color gris-pardo oscuro, agrupadas en cuatro conjuntos litológicos diferentes que han permitido separar cuatro miembros. Yace concordantemente sobre la Formación San Cayetano. Está cubierta concordantemente por la Formación Guasasa. En la faja metamórfica Cangre contacta tectónicamente con la Formación Arroyo Cangre. Su edad es Jurásico Superior (Oxfordiano Superior).

La última formación que aflora en la Sierra de los Órganos de la etapa *Synrift*, es la Formación Guasasa, descrita por Herrera (1961). Fue subdividida en cuatro miembros: San Vicente, El Americano, Tumbadero y Tumbitas. Está compuesta por calizas micríticas, calcarenitas, lentes de pedernales. Las calizas a veces son granulares y frecuentemente laminadas. La formación yace concordantemente sobre el Miembro Pimienta (Formación Jagua). Está cubierta discordantemente por las formaciones Ancón, Guane, Manacas y Pons. En la Faja Cangre contacta tectónicamente con la Formación Arroyo Cangre. Su edad es del Jurásico Superior (Oxfordiano Superior) – Cretácico Inferior (Valanginiano).

#### **I.7.1.2. Depósitos de la primera fase tectónica de la etapa orogénica, sobre el margen continental.**

La Formación Moncada compuesta por areniscas calcáreas con intercalaciones de arcillas calcáreas y areniscas de grano fino en la parte más alta de la formación. Se pueden distinguir 5 paquetes de areniscas que disminuyen hacia arriba en espesor y granulometría. En los paquetes inferiores se observan estas características con más claridad (Iturralde-Vinent en: Tada *et al.*, 2003). En su localidad tipo, Valle de Pons en la Sierra de los Órganos; fueron encontradas varias evidencias del choque meteorítico, como son esférulas, cuarzo de choque y una anomalía de Iridio en una

capa de arcillas intercalada en las calcarenitas. La unidad cubre discordantemente a la Formación Pons y no están claras sus relaciones con la Formación Ancón suprayacente, pues no se observa discordancia de ningún tipo. Su edad es Cretácico Superior Maastrichtiano Superior.

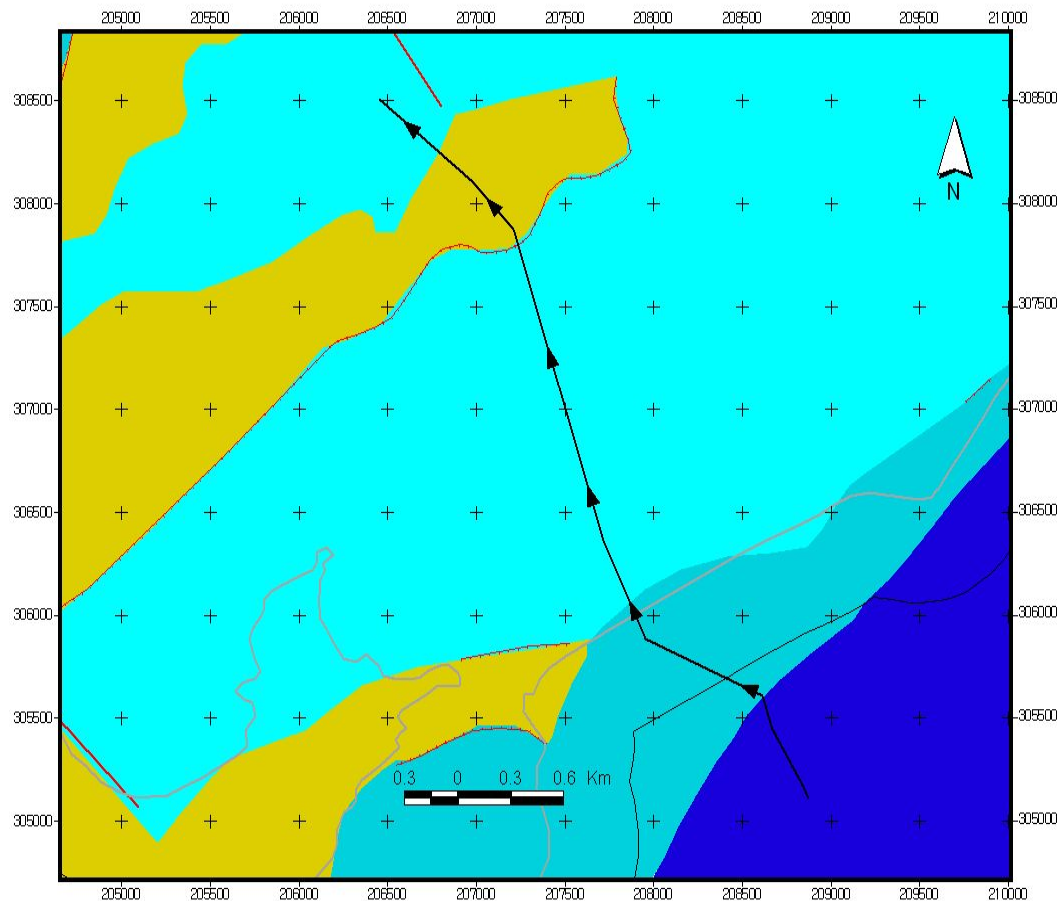
#### **I.7.1.3. Cuenca de antepaís**

P. Truitt en: Truitt y Bronnimann (1956) describieron la Formación Ancón, la cual se desarrolla en toda la Cordillera de Guaniguanico. Este depósito aparece extensamente descrita por R. Myczynski y otros en: A. Pszczolkowski *et al.*, 1975 y posteriormente fue completada por García-Delgado en Martínez *et al.*, 1991. La formación esta constituida por cuatro paquetes litológicos bien diferenciados, dos miembros de brechas, La Güira y La Legua, un paquete de calizas y un paquete de rocas siliciclásticas, ambos innominados. Ambos miembros serán descritos independientemente. Yace discordantemente sobre la Formación Cacarajícara y el Grupo Viñales (formaciones Guasasa y Pons). Está cubierta concordantemente por el Miembro Pica Pica (Formación Manacas) y discordantemente por la unidad informal olistostroma Vieja (Formación Manacas). Los restos fósiles han maracado una edad para la formación Paleoceno Superior- Eoceno Inferior (parte baja)

La otra formación es la unidad Manacas subdividida en dos miembros: Miembro Pica Pica y Olistostroma Vieja (Hatten, 1957). Este depósito fue descrito originalmente solo para la Cordillera de Guaniguanico (Hatten, 1957; Pszczolkowski *et al.*, 1975) y se extiende hacia la región de Martín Mesa en los trabajos de Martínez *et al.*, 1991. En general en la Cordillera de Guaniguanico se diferencian dos secuencias una flyschoides (Miembro Pica Pica) y otra unidad informal olistostromática (Olistostroma Vieja). El primero está constituido por un flysch terrígeno compuesto por areniscas polimícticas, limolitas, argilitas, calcarenitas, pedernales y calizas, mientras que el segundo está formado por depósitos caóticos policomponentes de matriz terrígena muy deformada y cizallada. Su Miembro Pica Pica yace concordantemente sobre la Formación Ancón, y es discordante sobre la Formación Cacarajícara y los grupos Buenavista y Viñales. También yace discordantemente sobre la Formación Santa Teresa. Está cubierta discordantemente por la Formación Guane, pero generalmente su límite superior es erosional. La edad que arroja el conjunto fósil colectado es Paleoceno Superior-Eoceno Inferior.

Edad (m. a.)	Era	Período	Época	Pisos	Notación del Sistema	Formaciones	Miembros	Litología		
22,5 - 65	Cenozoica	Paleógeno	Oligoceno	Chattiano	E3					
				Rupeliano						
			Eoceno	Priaboniano	E2	Manacas				
				Bartoniano						
				Lutetiano						
			Paleoceno	Ypresiano	E1	Ancón				
				Thanetiano						
				Selandiano						
			Daniano			Moncada				
65 - 141	Mesozoica	Cretácico	Superior	Maastrichtiano	K2					
				Campaniano						
				Santoniano						
				Coniaciano						
				Turoniano						
				Cenomaniano						
			Inferior	Albiano	K1	Pons				
				Aptiano						
				Barremiano						
				Hauteriviano						
				Valanginiano						
				Berriasiano						
			Superior	Tithoniano	J3	Guasasa	Tumbitas			
				Kimmeridgiano			Tumbadero			
				Oxfordiano			El Americano			
							S Vicente			
						Jagua				
141 - 195	Mesozoica	Jurásico	Superior	Calloviano	J2	S Cayetano				
				Bathoniano						
				Bajociano						
				Aaleniano						
				Toarciano					J1	
				Pliensbachiano						
			Sinemuriano							
			Hettangiano							

**Fig.2.** Columna estratigráfica de los depósitos presentes en el área (modificada de Martínez et al, 1988)



**Fig.3.** Mapa geológico del área de estudio a escala 1:100 000 (basado en Martínez, 1988)

### **I.7.2. Tectónica.**

Numerosos autores han manifestado el carácter alóctono de las diferentes secuencias en Sierra de los Órganos (Vermunt, 1937; Palmer, 1945; Hatten, 1957; Pszczolkowski *et al.*, 1975; Shein *et al.*, 1975; Mormil *et al.*, 1980; Piotrowska, 1982; Martínez y Fernández de Lara, 1988).

Los rasgos que evidencian una tectónica representada por mantos cabalgados en Sierra de los Órganos, comenzaron a ser manejados en la literatura geológica desde los trabajos de Vermunt (1937), donde se destaca el papel de las serpentinitas en dichos cabalgamientos. Palmer (1945) concluyó sus trabajos sobre la estratigrafía de Cuba, describiendo entre otras las formaciones Jagua y Capdevila, en los que se habla sobre la estructura de mantos en Cuba (Cáceres, 1998).

Hatten (1957), sugiere la estructura de mantos tectónicos en la región de Pinar del Río, relacionando la formación de los mismos con la orogenia Laramídica (cubana), y considera que la formación de mantos contribuyó al origen de sedimentos fliishoides sinorogénicos que se han depositado en su parte frontal.

Piotrowska (1982) plantea que las lineaciones de la Sierra de los Órganos representan tres fases de deformaciones principales. La lineación más antigua observada en las unidades metamórficas, es probable que se haya asociado con los procesos metamórficos. La lineación principal que aparece en todas las unidades tectónicas de dicha sierra, se ha originado durante el transporte tectónico de la fase orogénica principal. La más joven está conectada con las deformaciones post-charriage (Cáceres, 1998).

Martínez *et al.* (1988) revelan dos sistemas principales de estructuras lineales, la primera coincidente con el rumbo de las estructuras de carácter regional (sistema de fallas longitudinal), con dirección Oeste-Suroeste - Este-Noreste, al que pertenecen las fallas inversas de ángulos fuertes y suaves (planos de sobrecorrimientos) que constituyen los límites de las unidades tectónicas con edad Eoceno Inferior parte alta-Eoceno Medio parte baja y las fallas subverticales del Eoceno Medio parte alta y la segunda, cortante de las principales estructuras geológicas del área (sistema de fallas transversales) con dirección Sureste-Noroeste y Suroeste-Noreste. Entre éstas se agrupan las fallas de rechazo horizontal del Eoceno Superior parte baja-Eoceno Superior parte alta y las fallas menores que no presentan una dirección determinada y constituyen sistemas de fracturas tanto en las zonas de desarrollo en las secuencias terrígenas, como en las unidades que conforman el cinturón carbonatado.

## **CAPÍTULO II. HISTORIA DE LAS INVESTIGACIONES ANTERIORES.**

Los primeros trabajos realizados en la Sierra de los Órganos por Vermut (1937), donde se destaca el papel de las serpentinitas en los mantos cabalgados. Palmer (1945) concluyó sus trabajos sobre la estratigrafía de Cuba describiendo entre otras las Formaciones Jagua y Capdevila. En las décadas de los años 50 y 60, Hatten, Rigassi y otros realizaron importantes aportes a la geología de la región al definir formaciones geológicas y estructuras regionales que sentaron las bases para estudios geológicos posteriores. (Hatten, 1957; Rigassi, 1963).

En la década de los años 70, son de destacar los trabajos realizados por la Brigada Cubano-Polaca publicados sintetizadamente en "Contribución a la Geología de Pinar del Río" (Pszczkolwski, 1987). Como parte de estos trabajos, Piotrowska realiza un análisis profundo de la tectónica de la Sierra de Los Órganos dando una diferenciación en unidades tectónicas para ésta y direcciones principales de los movimientos de sobrecorrimento formadores de estructuras de *nappes* o escamas tectónicas, así como algunas direcciones de fracturamiento presentes en la mesoestructura de la Sierra de Los Órganos. (Piotrowska, en Pszczkolwski, 1987).

Uno de los trabajos más importantes sobre la geología de la zona fue el Levantamiento Geológico 1: 50 000 Pinar Centro por la Brigada del proyecto CAME 2 (Martínez *et al.*, 1988) que abarcó el levantamiento geológico de varias hojas cartográficas, entre ellas Consolación del Sur (3483-I) y Sumidero (3483-III). Con este trabajo se definieron la estratigrafía, estructura tectónica, yacimientos minerales entre otras cuestiones, con una concepción generalizadora e integral, realizándose importantes aportes al conocimiento geológico de la región.

El trabajo más reciente y abarcador en la geología regional es la Generalización a Escala 1:100 000 de la provincia de Pinar del Río (Martínez *et al.*, 1991) ejecutado por la brigada geológica de la Empresa Geominera de Pinar del Río. En este trabajo se realiza una generalización del conocimiento geológico acumulado hasta la fecha en la provincia de Pinar del Río. Aquí se ofrece un esquema más acabado y coherente del proceso de evolución geológica del territorio. Este esquema ha servido de base para la fundamentación geológica de este trabajo. Álvarez (Álvarez, 1992, en Díaz, 1999) también se dedicó durante los años 80 al estudio de la evolución tectónica de la Sierra de Los Órganos, planteando un modelo para el desarrollo de los mecanismos tectónicos que dieron lugar a la compleja estructura de la subregión.

Cobiella-Reguera (1996) ha investigado en los años 90 varios aspectos relacionados con la estratigrafía y la evolución estructural del sistema Jurásico de la subregión, realizando importantes y esclarecedores aportes a su conocimiento con una concepción generalizadora.

Cáceres (Cáceres, 1997) presenta un modelo interpretativo del desarrollo de las secuencias terrígenas de edad jurásica del margen continental pasivo en las Alturas de Pizarras del Sur, haciendo especial énfasis en la evolución tectónica de la región y aplicando el análisis microtectónico a la solución de problemas estructurales, determinando la orientación del máximo estrés compresivo durante los sobrecorrimientos y hasta el surgimiento de la falla Pinar, aspectos que se relacionan tanto técnica como metodológicamente con el trabajo que aquí se desarrolla.

Por su parte Denis (1998), aclara la posición de la parte superior del corte estratigráfico, agrupando a los sedimentos acumulados en las depresiones y valles entre mogotes, donde pudo extenderse el intervalo de sedimentación por la presencia de embalses, así como por la acción de procesos eluviales, proluviales, aluviales y cárnicos en el Miembro. Ensenada Grande de la Formación. Guane.

En Cuba, los estudios del carso han tenido en la extensa obra de Núñez Jiménez el exponente más conocido. El punto culminante de su obra sobre el tema es la monografía "Cuevas y Carsos" (Núñez-Jiménez, 1988), obligado texto de referencia para los estudiosos y principiantes de la Espeleología y el carso en su conjunto.

Otros investigadores como Viña, Acevedo, Graña, Gutiérrez Domech, Fagundo, Molerio, Rocamora entre otros, han dedicado sus estudios a los distintos aspectos geológicos, hidrogeológicos y geomorfológicos de la evolución de los sistemas cárnicos cubanos.

Por su parte Rocamora (1998), realiza un análisis de la fracturación y el desarrollo del carso en la Sierra del Quemado aplicando técnicas digitales, llegando a conclusiones similares a las obtenidas Rosa (1999) y Díaz (1999), en lo referente a la vinculación de la estructura fisural y la evolución espacial del carso en la Sierra de Viñales y La Sierra de San Vicente.

En Cuba, los estudios del carso han tenido en la extensa obra de Núñez Jiménez el exponente más conocido. El punto culminante de su obra sobre el tema es la monografía "Cuevas y Carsos" (Núñez-Jiménez *et al.*, 1988), obligado texto de referencia para los estudiosos y principiantes de la Espeleología y el carso en su



conjunto. Otros investigadores, han dedicado sus estudios a los distintos aspectos geológicos, hidrogeológicos y geomorfológicos de la evolución de los sistemas cársicos cubanos (Núñez *et al*, 1988; Gutiérrez, 1995; Rocamora, 1998; Molerio, 2003).

Viña y Graña se han dedicado a estudios espeleogenéticos generales y fundamentalmente a la evolución y génesis de las formaciones secundarias en los medios subterráneos, así como al estudio de la fauna cavernícola (Díaz, 1999). En la década de los 90 se realiza una síntesis de sus estudios, dando a conocer las principales características geológicas que intervienen en el desarrollo del carso en la Cordillera de Guaniguanico, enfatizando las diferencias morfológicas y morfométricas de los sistemas cársicos de la Sierra de Los Órganos y la Sierra del Rosario, dadas por las características estratigráficas y estructurales de cada subregión (Gutiérrez, 1995).

Rocamora por su parte realiza un análisis de la fracturación y el desarrollo del carso en la Sierra del Quemado aplicando técnicas digitales (Rocamora, 1998), llegando a conclusiones similares a las obtenidas por otros autores (Rosa, 1999), (Díaz, 1999), (Leal, 2005), (Reyes y Borrego, 2007) en lo referente a la vinculación de la estructura fisural y la evolución espacial del carso en las Sierras de Viñales, Sierras de San Vicente y del Quemado.

Los trabajos realizados por Ramos (Ramos, 1997), Rosa (Rosa, 1999) y Díaz (Díaz, 1999); Leal (Leal, 2005); Reyes y Borrego (Reyes y Borrego, 2007); Palma (Palma, 2008); Biyogo y Beliz (Biyogo y Beliz, 2008) versan sobre la vinculación del desarrollo espacial y morfológico del sistema cársico con la estructura geológica y la evolución geomorfológica de éste en la Sierra de Viñales, Sierra de Tumbadero y Sierra de San Vicente – Ancón, así como el estado medioambiental del territorio.

Molerio (Molerio, 2004); Farfán y Aldana (Farfán y Aldana, 2007) aborda la relación geología, hidrogeología y geomorfología cársica en el área de Viñales, siendo uno de los aportes más recientes al conocimiento del funcionamiento hidrológico de un aparato cársico.

### **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.**

La metodología para la confección de este trabajo consta de dos partes, una de gabinete y otra de campo, divididas en tres etapas:

1. Compilación y análisis de la información precedente.
2. Mediciones y análisis de campo.
3. Procesamiento de la información obtenida.
4. Elaboración y presentación de resultados finales.

1. Compilación y análisis de la información precedente.

Se realizó una amplia búsqueda bibliográfica y se reunió toda información metodológica sobre el tema de la investigación, también se tuvieron en cuenta los resultados de trabajos anteriores los que fueron analizados y sintetizados.

Fueron empleados la hoja cartográfica El Moncada 3483-IV-d Escala 1: 25 000 y el Mapa Geológico 1:100 000.

2. Mediciones y análisis de campo.

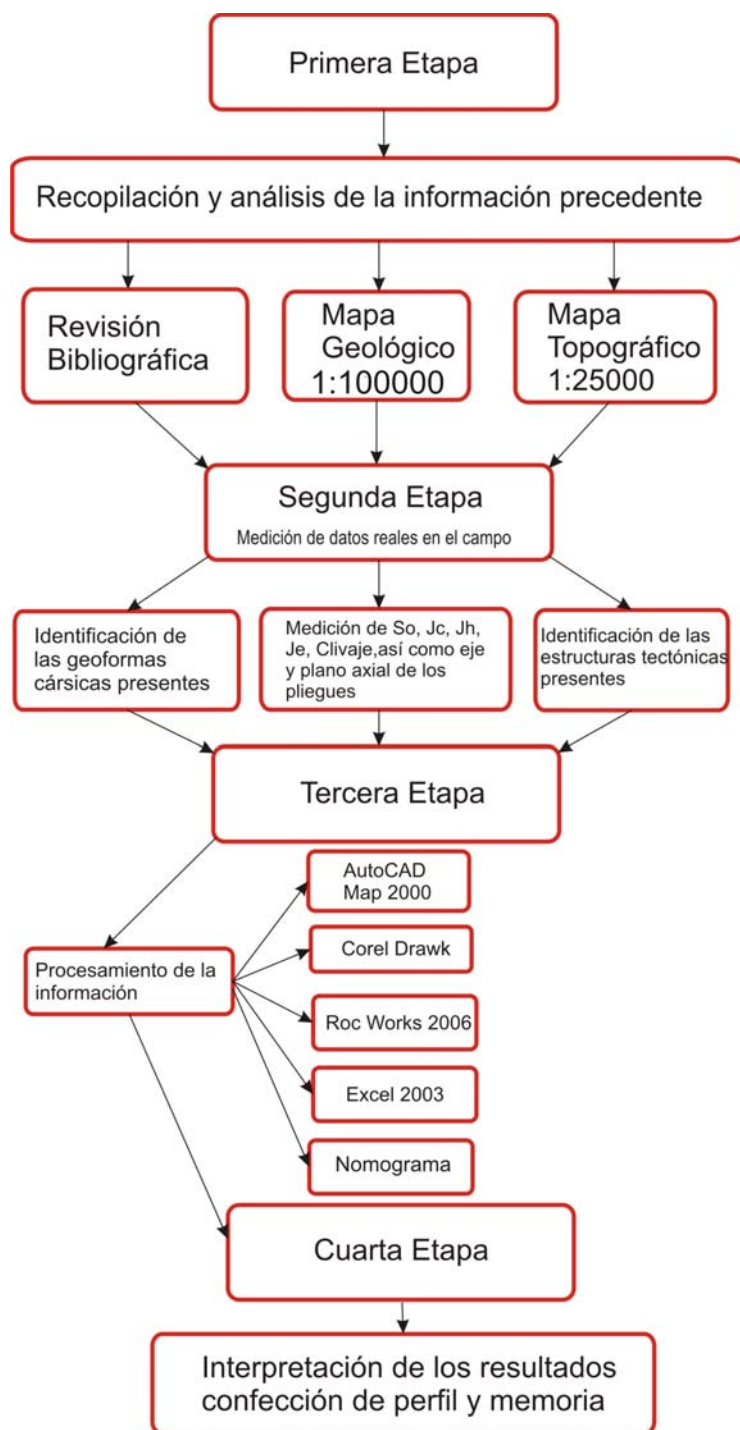
Durante la etapa de trabajos de campo se realizó una marcharrutas por el perfil en los sectores escogidos en la Sierra de los Órganos para medir elementos de yacencia de estructuras y rocas; así como medir, describir y estudiar las geoformas presentes en el área.

Estas mediciones se realizaron con una brújula de geólogo de la Casa Carl Zeiss Jena de fabricación alemana que cuenta con una precisión de  $\pm 2^\circ$ , cinta métrica y pie de rey (para la medición de las oquedades en el microrelieve cársico). Es preciso señalar las dificultades y posibles márgenes de error que se asumen al medir la yacencia de planos de grietas abiertas por los procesos cársicos.

3. Procesamiento de la información obtenida:

Todos los datos obtenidos se procesaron automáticamente sobre el Rockworks 2006, programas análisis espacial de los datos sobre las falsillas de Wulff y la obtención de diagramas de contornos. Destacar la ayuda de Excel, que sirvió como base de datos. Así como el Corel Drawk en la utilización de esquemas y figuras y el Autocad Map2000 en la ubicación de los puntos en el perfil.

4. Elaboración y presentación de resultados finales.



**Fig. 4.** Diagrama de flujo de los trabajos realizados

### **III.1. Métodos de procesamiento**

Conjuntamente con la descripción de los afloramientos durante el itinerario geológico, debe prestarse atención a la posible superposición de eventos tectónicos en el tiempo, sentido e intensidad de las fuerzas que lo originaron y su relación con las demás estructuras conocidas. Así a la vez que se obtienen los elementos necesarios para la construcción de los perfiles geológicos a escala 1: 25 000, se realizan mediciones de elementos estructurales para su posterior procesamiento e interpretación.

Conociendo la orientación espacial de los planos axiales y ejes de los pliegues, grietas de cizallas, de extensión e híbridas, es posible determinar la orientación del máximo stress compresivo  $\sigma_1$ , causante de tales deformaciones en cada punto de observación, por lo que se determinó su comportamiento a lo largo del corte. Con el objetivo de buscar representatividad en el número de datos a manejar, se realiza el agrupamiento de la información por sectores, haciendo uso de las fallas de sobrecorrimiento que atraviesan los perfiles. Con los datos agrupados y la previa rotación de los mismos hasta la posición que ocupaban en el momento de su aparición, se procedió a elaborar los diagramas correspondientes en cada caso.

### **III.2 Volumen y descripción de los trabajos realizados.**

#### **III.2.1 Etapa de colecta de información de campo**

Se realizó un perfil de cuatro kilómetros de longitud con 19 puntos de observación donde se realizaron 36 mediciones de  $S_o$ , 160 mediciones de estructuras disyuntivas, 22 mediciones de estructuras plicativas, así como 35 de observaciones de geoformas cársticas.

#### **Punto 1: Lima (2007)**

Coordenadas: X 209532.35; Y 304584.85

Afloramiento en un escarpe al lado norte del camino.

Constituido por limolitas pardas amarillentas. Además aparecen areniscas pardas, pardo – amarillentas, con algunas intercalaciones de lutitas y areniscas de color pardo violáceo. El afloramiento está destruido, y no se pueden observar elementos de yacencia. Perteneciente a la Formación San Cayetano.

So: 135°/30°

Jc: 318°/70°, 320°/65°, 330°/50°, 315°/70°

**Punto 2:** Barrios (2008)

Coordenadas: X 209100, Y 305100

Afloramiento en una cárcava del piso del sendero de 6m de largo por 2 m de ancho. Constituido por limolitas pardas amarillentas de 50 cm de espesor aproximadamente. A demás de areniscas pardas – amarillentas de 60 cm de espesor y de grano fino. Luego aparecen intercalaciones de lutitas violáceas en areniscas pardas con tonalidades violáceas. Algunas limolitas, en este caso las pardas amarillentas presentan Clivaje de lápiz. Perteneciente a la Formación San Cayetano.

So: 130°/40°, 190°/23°

Jc: 320°/90°, 340°/75°, 340°/70°, 325°/70°

**Punto 3:** Barrios (2008)

Coordenadas: X 208910, Y 305425

Ubicado a 200m del punto anterior en sentido N-NW en una corcova del piso se extiende con 10m de largo por 3m de ancho. Por el orden de aparición del S-SE al N-NW. Se observan limolitas grises con laminación interna y con clivaje de lápiz, también están presentes lutitas pardas grisáceas de espesor de 0,50m con clivaje de lápiz también. Arenisca fina, parda grisácea y también con clivaje. Lutita parda amarillenta de 0,60m de espesor. Se observan limolita parda-amarillenta con cierta laminación con el mismo espesor que la anterior. Lutita gris-violácea de 0.50m y laminada .la prosigue una intercalación de limolita y lutita las dos violáceas con 3m de espesor finalizando con areniscas pardas de grano medio a grueso intemperizado. Perteneciente a la Formación San Cayetano.

So. 090°/10°

Jc. 340°/45°, 310°/65°, 340°/70°, 300°/65°, 030°/80°

**Observación (a):** Barrios (2008)

A 60m del Pto anterior en el piso del camino, se observa un afloramiento de lutitas grises con laminación interna. Tiene lugar en le camino con la misma dirección que en el Pto anterior. Perteneciente a la Formación San Cayetano.

So. 090°/10°

Jc. 310°/65°, 225°/70°, 300°/60°, 240°/60°, 320°/65°, 290°/65°

**Punto 4:** Barrios (2008)

Coordenadas: X 208850, Y 305575

Afloramiento en el piso del camino de 5m de largo por 2m de largo en un sentido de S-N ubicado a demás a 100m al S de la despulpadora. Constituido por limolita con laminación interna, grisácea, en todo el afloramiento. Perteneciente a la Formación San Cayetano.

So.  $300^{\circ}/70^{\circ}$ ,  $325^{\circ}/50^{\circ}$

Si.  $210^{\circ}/65^{\circ}$ ,  $220^{\circ}/70^{\circ}$

Jc.  $115^{\circ}/46^{\circ}$ ,  $015^{\circ}/65^{\circ}$ ,  $010^{\circ}/90^{\circ}$

**Punto 5:** Barrios (2008)

Coordenadas: X 208200, Y 305865

Afloramiento caracterizado por un suelo de la Formación San Cayetano. Se encuentra a 250m al SW del estanque y al NW del Camino de la Vaquería.

Se encuentra constituido por limolita de color pardo amarillento, areniscas de grano fino de color pardo rojizo y lutitas de color pardo verdoso en forma de clivaje de lápiz.

So.  $0.70^{\circ}/50^{\circ}$ ,  $080^{\circ}/30^{\circ}$

Jc.  $210^{\circ}/45^{\circ}$ ,  $200^{\circ}/70^{\circ}$ ,  $350^{\circ}/30^{\circ}$ ,  $250^{\circ}/40^{\circ}$ ,  $140^{\circ}/60^{\circ}$

**Punto 6:**

Coordenadas: X: 208237.04, Y: 30601.2

Carretera Viñales – Pons cercano al entronque del Moncada al frente del almacén de fertilizantes.

El suelo tiene una coloración parda grisácea, arcillosa, con pequeños fragmentos de rocas muy alterados con granos de cuarzo y mica. No se observa el afloramiento todo se encuentra cubierto con vegetación secundaria. Nos encontramos en presencia de la Formación Manacas.

**Punto 7:**

Al costado del almacén de fertilizantes UBPC. El Moncada el suelo presenta una coloración rojo a pardo rojizo, areno arcilloso, con clastos de calizas y pequeños fragmentos de rocas muy alteradas de color rojo. Nos encontramos en presencia de la Formación Manacas.

Descendemos hacia una pequeña depresión, donde aparece el contacto con las rocas calizas.

**Punto 8:**

Coordenadas: X: 208119.38, Y: 306186.5

Afloran calizas grises a gris oscura, pelitomórficas de fractura concoidal, bien estatificadas con un grosor entre 5 y 15 cm. Con nódulos de carbonatos y presencia de óxido de hierro, además se encuentran presentes vetillas finas rellenas de calcitas, atacadas por procesos cárnicos en superficies.

Estas calizas presentan un So:  $170^{\circ}/10^{\circ}$ .

**Observación (a):**

En el camino encontramos grandes bloques de roca caliza bien estratificadas de coloración gris a gris oscura con fractura concoidal donde se pueden observar grietas híbridas y grietas de cizallas las grietas híbridas en ocasiones se desplazan entre ellas.

Dos metros más adelante en el camino encontramos una zona de debilidad tectónica donde coinciden varios planos de agrietamiento.

**Observación (b):**

El camino sigue por encima del afloramiento y observamos otro bloque de rocas calizas con y se puede observar el predominio de grietas de cizallas:

$50^{\circ} \rightarrow 148^{\circ}$ ,  $62^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}$ ,  $52^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}$ ,  $40^{\circ} \rightarrow 156^{\circ}$ ,  $40^{\circ} \rightarrow 150^{\circ}$ ,  $50^{\circ} \rightarrow 102^{\circ}$ ,  $42^{\circ} \rightarrow 180^{\circ}$

**Punto 9:**

Coordenadas

X: 208038.06    Y: 306268

El camino sigue por encima del afloramiento y se observa un cambio suave en el buzamiento de las calizas hacia el sur tienen un So  $10^{\circ}/150^{\circ}$  y mientras que al norte tienen un So  $20^{\circ}/300^{\circ}$ .

Estas rocas se encuentran bien estratificadas con una coloración gris a gris oscuro, además presentan fractura concoidal, también se pueden observar nódulos y lentes de pedernal.

Es posible diferenciar distintos tipos de grietas como son de cizallas, vetillas rellenas de calcitas las cuales son grietas híbridas ya que se encuentran alargadas.

En esta afloramiento también es posible identificar formas cárnicas como pueden ser los lapices, los procesos de captura así como acanaladuras, perforaciones cilindroideas y pozas de corrosión.

Jc:  $72^{\circ} \rightarrow 218^{\circ}$ ;  $54^{\circ} \rightarrow 220^{\circ}$ ;  $58^{\circ} \rightarrow 214^{\circ}$ ;  $56^{\circ} \rightarrow 272^{\circ}$ ;  $42^{\circ} \rightarrow 238^{\circ}$ ;  $48^{\circ} \rightarrow 228^{\circ}$ ,  
 $80^{\circ} \rightarrow 245^{\circ}$ ;  $65^{\circ} \rightarrow 190^{\circ}$ .

Jh:  $60^{\circ} \rightarrow 44^{\circ}$ ;  $66^{\circ} \rightarrow 244^{\circ}$ ;  $52^{\circ} \rightarrow 252^{\circ}$ ;  $46^{\circ} \rightarrow 62^{\circ}$ ;  $46^{\circ} \rightarrow 42^{\circ}$ ;  $62^{\circ} \rightarrow 226^{\circ}$ ;  $70^{\circ} \rightarrow 228^{\circ}$ ;

34°→102°.

Lapiaz

Perforaciones cilindroideas:

Diámetro: 20, 27, 17, 26, 19, 16

Profundidad: 25, 21, 18, 19, 8, 13

Pozas de corrosión:

Diámetro: 58, 56

Profundidad: 27, 24

**Observación (a):**

Coordenadas: X: 207 993.98 Y: 306 354.9

A la orilla del camino encontramos una uvala que se forma en rocas calizas de coloración gris a gris oscuras además presentan nódulos y lentes de pedernal estas calizas presentan fractura concoidal, son pelitomórficas, en el lado norte del camino y al lado sur del mismo encontramos un ejemplar de palma corcho.

**Observación (b):**

A 20m de la observación anterior comenzamos a bajar un hoyo de sierra, el camino desciende por un escalón geomorfológico. Se observa que el buzamiento continúa siendo hacia el sur con So: 124°/25°. Se observan rocas calizas bien estratificadas de coloración gris a gris oscuras además presentan nódulos y lentes de pedernal estas calizas presentan fractura concoidal, son pelitomórficas. En el lugar han ocurrido procesos de desprendimiento graviclásticos aquí la meteorización y disolución de la roca es mucho mayor.

**Observación (c):**

Coordenadas: X: 207962,61 Y: 306358,6

Se observan calizas de coloración gris a gris oscuro pelitomórficas de fractura concoidal la cual se encuentra bien estratificada. En dos vetillas de calcitas se pueden ver que existe un desplazamiento de 3mm estas grietas se encuentran dentro de una acanaladura proceso cársico donde habido un lavado de la roca o desgaste.

Jh: 60°→107°; 60°→165°

Jc: 55°→140°

**Punto 10:**

Coordenadas: X: 207895.16 Y: 306418.3



En el fondo del hoyo del Bobo y 20 m antes de llegar al mismo fondo, empezamos a observar calizas de coloración gris oscuras de grano fino, bien estratificada de de fractura concoidal, con nódulos y lentes de pedernal.

**Punto 11:**

Coordenadas: X 207895.74 Y: 306449.1

Se pueden observar calizas micríticas oscuras, bien estratificadas, con nódulos y estratos de pedernal, clivaje en calizas hojosas.

So:  $290^{\circ}/15^{\circ}$

Grietas rellenas de calcitas

Jh:  $65^{\circ} \rightarrow 238^{\circ}$ ;  $60^{\circ} \rightarrow 240^{\circ}$

Desplazan a una grieta de cizalla

Jc  $55^{\circ} \rightarrow 162^{\circ}$

**Observación (a):**

A 10 m del Pto 5 nos encontramos calizas de de coloración gris a gris oscuro con nódulos de pedernal So:  $280^{\circ}/5^{\circ}$

Vetillas rellenas de calcitas

Jh:  $85^{\circ} \rightarrow 48^{\circ}$ ;  $85^{\circ} \rightarrow 46^{\circ}$ ;  $88^{\circ} \rightarrow 160^{\circ}$   $70^{\circ} \rightarrow 160^{\circ}$

Este Pto tiene un azimut de  $347^{\circ}$ .

**Punto 12:**

Coordenadas X: 207719.39 Y: 306643.1

Se observan calizas bien estratificadas las que presentan una coloración gris a gris oscuras pelitomórficas, presentan fractura concoidal a demás se encuentran presentes nódulos y lentes de pedernal en este punto se pueden observar grietas de extensión rellenas de calcitas, estas grietas se disponen en forma de escalón.

So:  $180^{\circ}/20^{\circ}$

Je:  $20^{\circ} \rightarrow 170^{\circ}$

**Punto 13:**

Coordenadas: X: 208016.31 Y: 306782.1

En la vereda se observan bloques de calizas que presentan buena estratificación, presentan una coloración gris a gris oscuras, pelitomórficas, presentan fractura concoidal a demás se encuentran presentes nódulos y lentes de pedernal, están presentes procesos tectónicos así como procesos cársicos.

So:  $130^{\circ}/10^{\circ}$

Jh:  $10^{\circ} \rightarrow 65^{\circ}$ ;  $5^{\circ} \rightarrow 70^{\circ}$ ;  $10^{\circ} \rightarrow 68^{\circ}$ ;  $52^{\circ} \rightarrow 50^{\circ}$ ;  $52^{\circ} \rightarrow 48^{\circ}$ ;  $30^{\circ} \rightarrow 130^{\circ}$ ;  $32^{\circ} \rightarrow 185^{\circ}$ ;  
 $46^{\circ} \rightarrow 60^{\circ}$ ;  $56^{\circ} \rightarrow 62^{\circ}$ ;  $50^{\circ} \rightarrow 12^{\circ}$ ;  $48^{\circ} \rightarrow 10^{\circ}$ ;  $50^{\circ} \rightarrow 10^{\circ}$   
Jc:  $60^{\circ} \rightarrow 162^{\circ}$ ;  $65^{\circ} \rightarrow 228^{\circ}$ ;  $68^{\circ} \rightarrow 228^{\circ}$ ;  $68^{\circ} \rightarrow 230^{\circ}$

**Punto 14:**

Coordenadas: X: 208121.13      Y: 307189.3

El Pto se toma a la bajada de Hoyo Grande donde se pueden observar calizas bien estratificadas de coloración gris a gris oscuras pelitomórficas, presentan fractura concoidal a demás se encuentran presentes nódulos y lentes de pedernal. También es posible observar que han sufrido procesos cársicos los cuales son diversos como son procesos de captura, perforaciones cilindroidea, formación de lapiaz o diente de perro y las acanaladuras.

So:  $178^{\circ}/10^{\circ}$

Jc:  $50^{\circ} \rightarrow 240^{\circ}$ ;  $55^{\circ} \rightarrow 160^{\circ}$ ;  $45^{\circ} \rightarrow 76^{\circ}$ ;  $28^{\circ} \rightarrow 82^{\circ}$ ;  $30^{\circ} \rightarrow 75^{\circ}$ ;  $40^{\circ} \rightarrow 45^{\circ}$ ;  $32^{\circ} \rightarrow 40^{\circ}$ ;  
 $62^{\circ} \rightarrow 7^{\circ}$

Jh:  $60^{\circ} \rightarrow 240^{\circ}$ ;  $57^{\circ} \rightarrow 55^{\circ}$

Clivaje:

$70^{\circ} \rightarrow 360^{\circ}$ ;  $74^{\circ} \rightarrow 24^{\circ}$ ;  $70^{\circ} \rightarrow 342^{\circ}$ ;  $60^{\circ} \rightarrow 314^{\circ}$

Lapiaz:

Diámetro: 0.20, 0.25, 0.24, 0.15, 0.20, 0.15, 0.30, 0.26

Profundidad: 0.40, 0.20, 0.22, 0.24, 0.16, 0.18, 0.15, 0.30

Perforaciones cilindroideas

Diámetro: 0.40, 0.60, 0.30, 0.50, 0.25

Profundidad: 0.30, 0.40, 0.35, 0.40, 0.30

**Punto 15:**

Coordenadas: X: 208036.03    Y: 307221.7

En el fondo de Hoyo Grande. Se observa que el mismo se encuentra cubierto por gran cantidad de materia orgánica; además en el existen varios sumideros. En el lado sur del camino Hoyo Grande- Las Celadas aparece un afloramiento de calizas bien estratificadas las que presentan una coloración gris a gris oscuras pelitomórficas, tienen fractura concoidal, a demás se encuentran presentes nódulos y lentes de pedernal. Este afloramiento tiene unos 15 m de alto por unos 20 m de largo. En el están presente formas cársicas como lo son los lapiaz o dientes de

perro, perforaciones cilindroideas, estos no se pueden medir por ser muy irregulares al estar muy meteorizado, además están presente la acanaladuras y capturas.

So:  $150^{\circ}/10^{\circ}$

Jc:  $20^{\circ} \rightarrow 50^{\circ}$ ;  $85^{\circ} \rightarrow 220^{\circ}$

Jh:  $40^{\circ} \rightarrow 40^{\circ}$ ;  $50^{\circ} \rightarrow 38^{\circ}$   $45^{\circ} \rightarrow 35^{\circ}$

#### **Punto 16:**

Coordenadas: X: 207930.81      Y: 307248.3

Pared norte de Hoyo Grande donde se encuentran calizas bien estratificadas de color gris a gris oscuro, pelitomórficas, de fractura concoidal, con nódulos y lentes de pedernal. Estas calizas están atacadas fuertemente por procesos cárscicos ya que a estas rocas las cubren gran cantidad de materia orgánica factor fundamental para que ocurran estos procesos, algunos de estos procesos son lapiaz, perforaciones cilindroideas, procesos de capturas y acanalamiento.

So:  $315^{\circ}/10^{\circ}$

Jc:  $65^{\circ} \rightarrow 62^{\circ}$ ;  $75^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}$ ;  $75^{\circ} \rightarrow 57^{\circ}$ ;  $40^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}$ ;  $40^{\circ} \rightarrow 130^{\circ}$

Clivaje:

$80^{\circ} \rightarrow 330^{\circ}$ ;  $55^{\circ} \rightarrow 320^{\circ}$ ;  $70^{\circ} \rightarrow 318^{\circ}$

#### **Observación (a):**

En el camino o vereda se observan calizas bien estratificadas de color gris a gris oscuro, pelitomórficas, de fractura concoidal, con nódulos y lentes de pedernal. En estas calizas se puede observar un proceso plicativo en el lado norte de la vereda, estas presentan un buzamiento So:  $150^{\circ}/42^{\circ}$  mientras que en el lado sur del camino estas presentan un So:  $336^{\circ}/50^{\circ}$

#### **Observación (b):**

Coordenadas: X: 207554.47      Y: 307593.74

En el camino afloran calizas de coloración gris a gris oscuro las cuales parecen ser alguna estructura plegada, la cual esta meteorizada pues los estratos parecen que están verticalmente.

#### **Observación (c):**

Coordenadas: X: 207454.39      Y: 307589.49

50 m antes de llegar al Pto 17 se puede observar en el lado sur del camino HG-Celadas rocas calizas bien estratificadas, de coloración negra de la formación Pons

y por debajo de estas se pueden observar rocas calizas de coloración violácea perteneciente a la formación Ancón.

So: 326°/68°

**Punto 17:**

Coordenadas: X: 207432 Y: 307614.51

Saliendo del Hoyo de Sabino en la chapilla 120, en la parte norte del camino se observan calizas de coloración gris a gris oscuro bien estratificadas, pelitomórficas, de fractura concoidal, con nódulos y lentes de pedernal. Estas calizas forman un pliegue tumbado donde solo se puede ver la parte yacente del mismo pues la parte colgante se encuentra meteorizada.

Eje 20°→240°

So 40°/30°; 340°/58°; 330°/52°

Rumbo del pliegue 226°

Clivaje: 50°→178°; 58°→156°; 30° v 164°; 2°→168°; 40°→130°

**Observación (a):**

Coordenadas: X: 207438.23 Y: 307792.82

A 50 m del Punto anterior observar que el camino pasa por encima de calizas bien estratificadas de coloración gris pelitomórficas de fractura concoidal, la cual presenta lentes y nódulos de pedernal.

**Observación (b):**

Coordenadas: X: 207438.23 Y: 307792.82

50 m de la observación anterior se observa en el camino se observan calizas bien estratificadas de coloración gris pelitomórficas de fractura concoidal, la cual presenta lentes y nódulos de pedernal. Estas calizas hacen una pequeña estructura plegada

Clivaje: 78°→140°; 70°→120°; 60°→142°

**Punto 18:**

Coordenadas: X: 207453,26 Y: 307832,52

En la polja de Los Cañadones: se observa el contacto tectónico de la Formación Guasasa con la Formación Manacas. El suelo es de coloración rojizo a pardo y también están presentes pequeños afloramientos de rocas calizas las cuales mantienen la estratificación original, buzando hacia el Sur. Estas calizas son de coloración gris a gris oscuras pelitomórficas de fractura concoidal, presentan lentes y nódulos de pedernal. Los estratos son de 10 – 70 cm de espesor.

So 110°/10°; 320°/52°; 318°/48°

Je: 80°→240°; 68°→248°

Jh: 80°→340°; 60°→324°; 75°→150°

**Observación (a):**

Coordenadas: X: 207180.86 Y: 308234.51

En la Formación Manacas observamos un bloque de caliza de coloración gris a gris oscuro pelitomórficas de fractura concoidal, la cual presenta lentes y nódulos de pedernal perteneciente a la Formación Guasasa, en el mismo se ven grietas de cizallas las que se encuentran muy lavadas por procesos cárnicos. El bloque mantiene la yacencia general observada para el área.

So: 160°/40°

Jc: 45°→332°; 40°→106°

**Punto 19:**

Coordenadas: X: 207083.16 Y: 308507.07

Pared sur de la Sierra Celadas: están presentes calizas bien estratificadas y los estratos tienen espesores que oscilan desde 3 cm hasta los 50 cm, la coloración es gris a gris oscuro, pelitomórficas, de fractura concoidal, la cual presenta lentes y nódulos de pedernal. Formación Guasasa. Estas calizas se encuentran atacadas fuertemente por los procesos cárnicos como son las acanaladuras los procesos de captura, lapiaz y perforaciones cilindroideas.

So: 122°/8°

Jc: 70°→212°; 68°→32°; 63°→214°; 65°→330°; 80°→312°

Jh: 88°→360°; 72°→332°; 40°→350°

Clivaje: 75°→320°

## **CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LOS RESULTADOS**

### **IV.1. Características de las estructuras geológicas en el área del perfil El Moncada - Sierra Celadas**

Para el área de estudio, todas las secuencias mesocenoicas se han incluido en la Unidad Tectónica Viñales de la Zona Estructuro-Facial Guaniguanico (Piotrowska, 1987) con particularidades estructurales propias y constituida por numerosos *nappes* o escamas tectónicas originadas durante la orogénesis cubana (Piotrowska, 1978, 1987; Hatten, 1967; Pszczółkowski, 1978, 1987; Khudoley y Meyerhoff, 1971; en Cobiella, 1996 y Cobiella y et al, 2009). La Unidad Tectónica Viñales abarca la parte superior de la Fm. San Cayetano y las formaciones Jagua, Guasasa, Pons, Ancón y Manacas con un mayor desarrollo de las estructuras más complejas en los depósitos pre-Oxfordianos.

Como característica general, los depósitos terrígenos sobrecorrieron al paquete carbonatado; todas las secuencias hasta aquí descritas tienen un carácter alóctono y fueron emplazadas tectónicamente desde el Sureste (Cáceres, 1998, en Díaz, 1999).

#### **IV. 1.1. Descripción geológica del perfil El Moncada - Sierra Celadas.**

El perfil comienza al Sur del valle del Arroyo Santo Tomás, en la zona de las Alturas de Pizarras del Sur, hasta la Sierra de Celadas, con una dirección Noroeste (320°), perpendicular a las estructuras geológicas conformadas por tres escamas tectónicas bien definidas, separadas entre si por las secuencias olistostrómicas de la Formación Manacas (**Figs.1; 5; 6**)

El itinerario se inicia con la Formación San Cayetano de la Unidad Alturas de Pizarras del Sur, compuesta por areniscas de composición cuarzo-micácea, las cuales varían en el grado de compactación, con intercalaciones de limolitas de grano grueso y samitas de grano fino, (también compuestas por micas y cuarzo). Se observan gran cantidad de grietas de cizalla e híbrida rellenas de cuarzo.

Las partes que afloran a la superficie es comúnmente encontrárselas muy fracturadas, con numerosos planos de clivaje de distintas generaciones, muy destruidos y aunque se sabe que está in situ los elementos de yacencia varían entre ellos bruscamente, el buzamiento predominante es hacia el SE, aunque hacia la

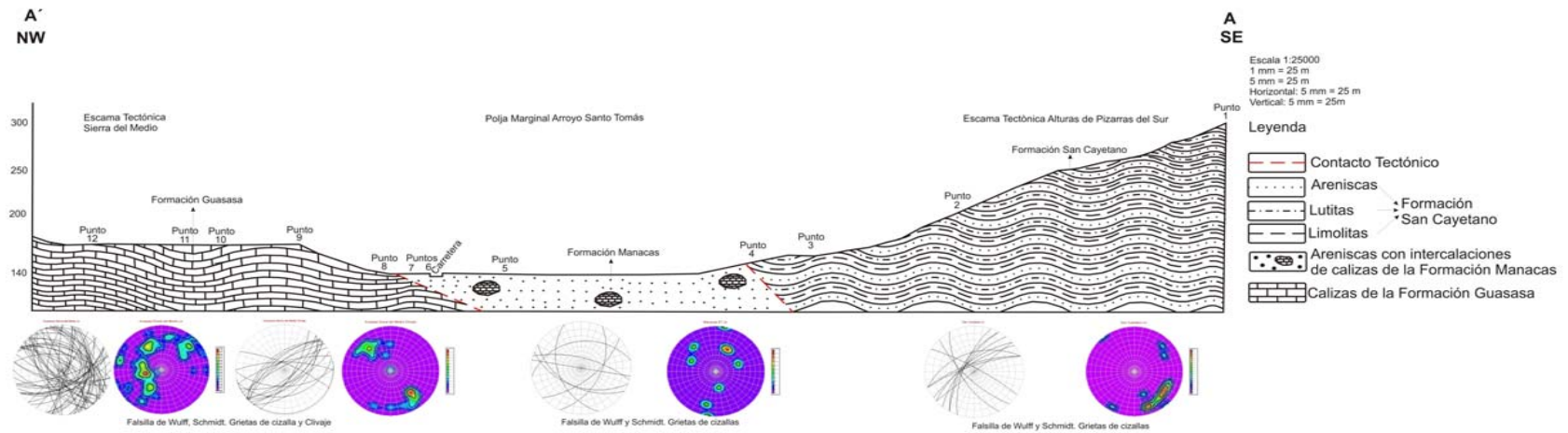
zona de contacto con la Formación Manacas, la dirección del buzamiento varía desde el SW hasta el NW (**Fig.13**).

Contactando tectónicamente a través de un plano de sobrecorrimiento con la Formación San Cayetano se encuentran las secuencias de la Formación Manacas, que ocupan la parte baja del relieve, coincidiendo con la polja del Arroyo Santo Tomás, donde se observan bloques estratificados de coloración verdosa, así como una matriz más dúctil también de la misma coloración. Es frecuente encontrar olistolitos de diferentes dimensiones y composición dentro de su matriz, en la mayoría, bloques de calizas de las formaciones San Cayetano, Guasasa, Pons, Ancón, que en algunos casos afloran de forma masiva y en otros aparecen subordinados a la estratificación, dando idea de orientación hacia el SE, aunque a veces se comprueban orientaciones locales hacia en NE.

Unidad del Cinturón de Mogotes (escama tectónica Sierra del Medio), caracterizada por calizas grises a gris oscuro, pelitomórficas, bien estratificadas (5 a 15 cms). Presentan nódulos de carbonatos y óxido de hierro, además de vetillas finas rellenas de calcita, atacadas por procesos cársicos en superficie (**Fig.16**). En toda esta escama, las rocas están plegadas de forma suave, conformando ondas y bastante fracturadas, a veces ocurren fenómenos locales de estructuras plicativas compresivas.

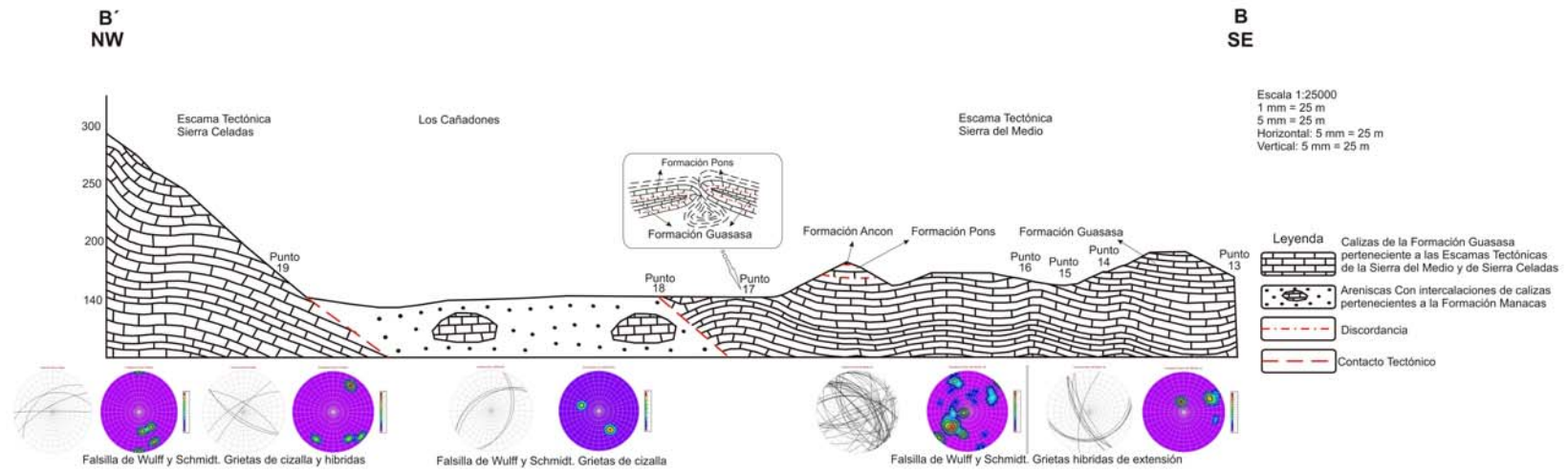
Hacia el Norte, en el límite de la cuenca del Arroyo Santo Tomás, se observa el contacto de tipo tectónico (sobrecorrimiento), con muy bajo ángulo de buzamiento (10°), en dirección SSE, de las formaciones Manacas y Guasasa, esta última perteneciente a la

Al avanzar hacia el noroeste, se observa una estructura de mesopliegue anticlinal, donde los procesos cársicos, han actuado preferentemente sobre las fracturas de clivaje, dando lugar a dolinas de disolución y desplome, llamadas comúnmente “hoyos de sierra”. Más adelante, aparecen los contactos entre las formaciones Guasasa, Pons y Ancón.



**Fig.5.** Perfil A-Á: Alturas de Pizarras del Sur – Polja del Arroyo Santo Tomás – Sierra del Medio.





**Fig.6.** Perfil Sierra del Medio – Los Cañadones – Sierra de Celadas.

El contacto entre la escama tectónica compuesta por las formaciones Guasasa, Pons y Ancón, con la Formación Manacas, se encuentra en la polja de Los Cañadones, a unos 3 kms del punto de inicio del perfil. El plano de sobrecorrimiento tiene una dirección SE. En la polja de Los Cañadones, la Formación Manacas presenta suelos pardo-rojizos, con pequeñas intercalaciones de calizas y rocas terrígenas. Las calizas son de color gris a gris oscuro, pelitomórficas de fractura concoidal, bien estratificadas, con capas de pedernal; mientras que las secuencias terrígenas están muy afectadas por los procesos de intemperismo, solo pudiendo determinar la presencia de fragmentos de las rocas más resistentes. Los bloques de calizas, parecen tener cierta orientación, en la dirección general de los sobrecorrimientos hacia el SE (**Fig. 21**).

Del otro lado de la polja de Los Cañadones, aparece el contacto tectónico, con un buzamiento suave al SE, entre la Formación Manacas y la escama tectónica de la Sierra Celadas, de la Unidad del Cinturón de Mogotes, integrada por Formación Guasasa.

La Formación Guasas está compuesta por calizas grises a gris oscuras, de grano fino, compactas, recristalizadas, con fractura concoidal, bien estratificadas (estratos de finos a medios, de 3 hasta 50cms de espesor), con capas y lentes de pedernal. Estas rocas se encuentran muy fracturadas y atacadas por procesos cárscicos.

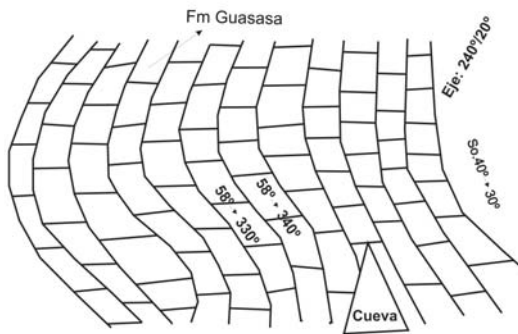
#### **IV.1. 2. Estructuras tectónicas.**

##### **IV.1. 2.1. Estructuras plicativas.**

Las estructuras plegadas aparecen ampliamente distribuidas en todo el perfil, fundamentalmente originadas durante el propio movimiento de los mantos durante los sobrecorrimientos, siendo comunes a todas las escalas. Otras estructuras de este tipo aparecen asociadas a campos de esfuerzos locales o vinculados al surgimiento de estructuras disyuntivas (**Fig.7 y 8, Foto 1**).

En la Formación San Cayetano, los estratos tienen un aspecto distorsionado, dando idea de plegamiento.

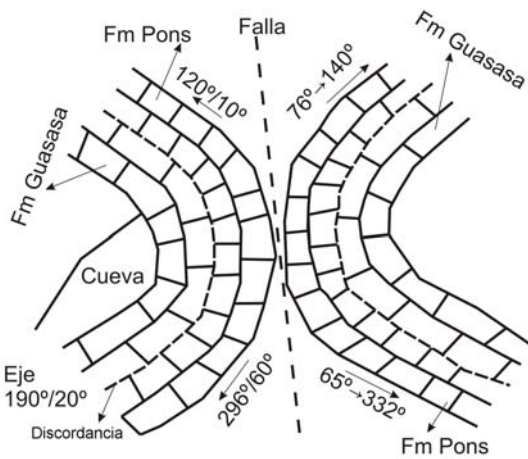
La Formación Guasasa muestra un intenso plegamiento, muchas veces asociados a estructuras falladas. Son comunes los pliegues de charnelas amplias, y ocasionales los pliegues apretados tumbados, con planos axiales inclinados, y con vergencias contrarias, sobre todo en la zona cercana al contacto entre la escama tectónica Sierra del Medio y la Formación Manacas en Los Cañadones. (**Fig.7 y 8, Foto 1**). También aparece el fenómeno de budinaje en zonas de compresión del frente de los pliegues. (**Fig.9 y 10, Foto 2**),



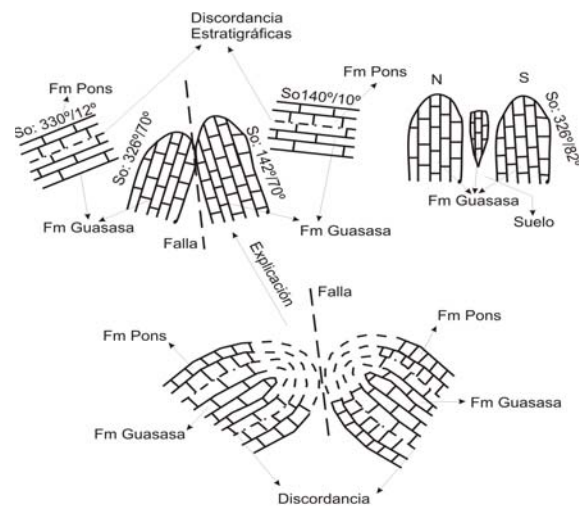
**Fig.7.** Punto17.Pliegue tumbado con vergencia hacia el Sur. Escama tectónica Sierra del Medio.



**Foto1.** Punto17.Pliegue tumbado con vergencia hacia el Sur.  
Escama tectónica Sierra del Medio



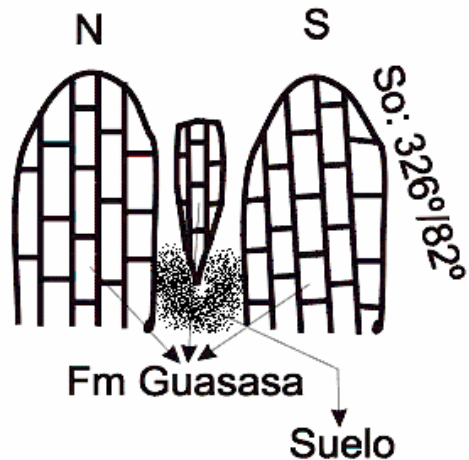
**Fig.8.** Pliegues encontrados. Escama tectónica Sierra del Medio.



**Fig.9.** Estratos verticales con budinas en rocas de la Fm Guasasa. Escama tectónica Sierra del Medio.



**Foto.2.** Estratos verticales con budinas en rocas de la Formación Guasasa. Escama tectónica Sierra del Medio.



**Fig.10.** Budinas en zonas de compresión. Escama tectónica Sierra del Medio.

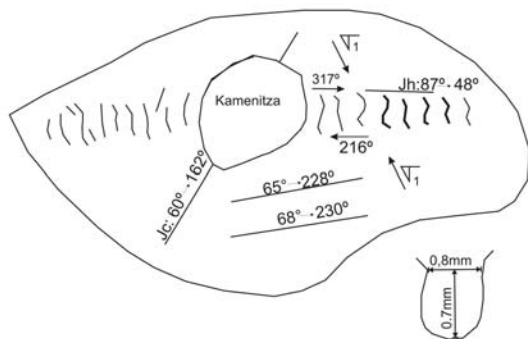
#### IV.1.2.2. Estructuras disyuntivas.

Las más variadas estructuras disyuntivas se expresan a lo largo de todo el perfil y resultan ampliamente distribuidas las grietas de cizalla, de extensión e híbridas, vetas sigmoidales y en escalón, así como diferentes tipos de clivaje, aunque muy distorsionadas por los procesos de disolución cársica.

La Formación San Cayetano se caracteriza por un intenso clivaje de lápiz con planos ( $S_1$ ) subparalelos a los de la estratificación ( $S_0$ ), o formando cierto ángulo con esta. Se desarrollan además abundantes grietas de cizalla.

La Formación Manacas con rocas muy trituradas, las estructuras disyuntivas se manifiestan dentro de los bloques u olistolitos de las formaciones San Cayetano y Guasasa.

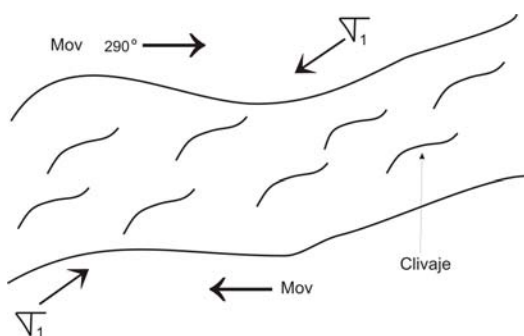
Para la Formación Guasasa, son características y ampliamente distribuidas las grietas de cizalla, así como las vetillas híbridas y de extensión, vetas sigmoidales y en escalón, así como de clivaje y zonas de sheart. (**Figs.10; 11; 12 y Foto 3**)



**Fig.11.** Vetillas sigmoidales. Escama Tectónica Sierra del Medio.



**Foto.3.** Kamenitza y vetillas sigmoidales. Escama Tectónica Sierra del Medio.



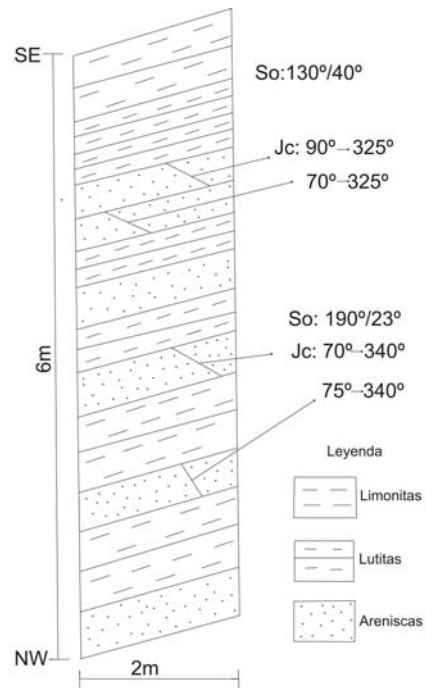
**Fig.12.** Clivaje en las rocas calizas de la Formación Guasasa. Escama tectónica de la Sierra del Medio.

### IV.1.3. Interpretación de los resultados.

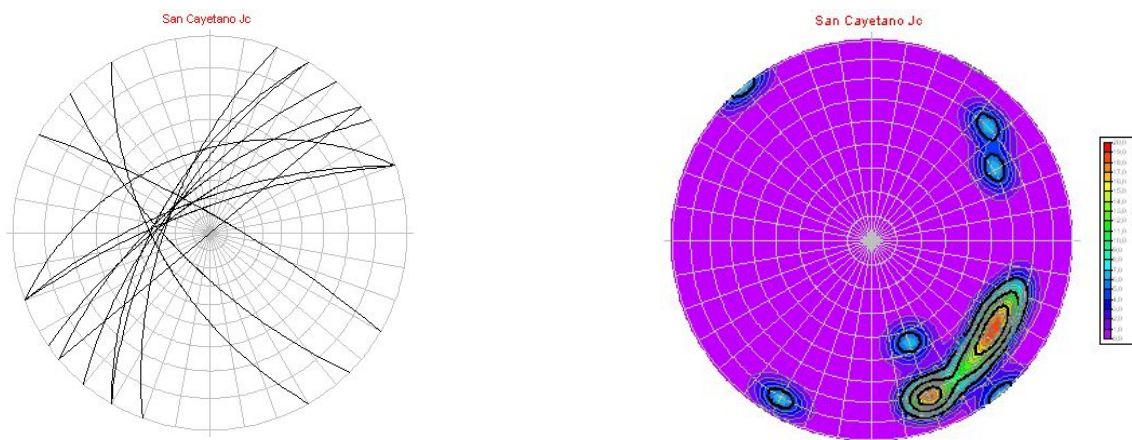
#### IV.1.3.1. Escama tectónica Alturas de Pizarras del Sur.

El diagrama que representa las mediciones de grietas de cizalla hechas en la escama tectónica Alturas de Pizarras del Sur y que incluye a la Formación San Cayetano, señala una dirección NW-SE del eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  entre los 300°-310°, que lo vincula con la dirección del movimiento tectónico durante los cabalgamientos; y otra dirección NE-SW del eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  entre los 30°-40°, lo que evidencia una rotación del máximo estrés compresivo, correspondiendo con esfuerzos posteriores a los cabalgamientos. (Figs.13; 14). La dirección predominante de las grietas es NW, SW.





**Fig.13.** Afloramiento en el camino perteneciente a la formación San Cayetano, Escama Tectónica Alturas de Pizarras del Sur (Libreta de Campo. Brigada 3, 2008).



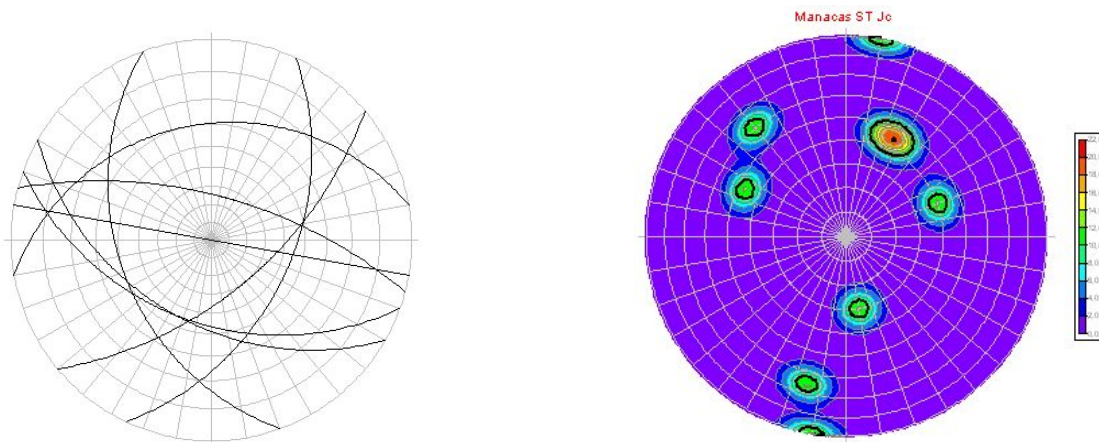
**Fig.14.** Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas de cizalla. Escama Tectónica Alturas de Pizarras del Sur.

#### IV. 1.3.2. Polja de Santo Tomás.

En la Formación Manacas se evidencia una dirección NW- SE del eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$ , entre los 280° y 300°, lo que se corresponde con la dirección general de transporte tectónico producto de los sobrecorrimientos, con una cierta desviación atribuible a su cercanía a la zona de pivote del macizo de la Sierra de Los Órganos, debido al empuje diferencial de los mantos tectónicos (Cáceres comunicación personal), así como otra dirección del eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  de NNE-SSW, entre los 40° y 50°, que puede deberse a rotaciones del máximo estrés compresivo posteriores a los sobrecorrimientos.

En tanto que los sistemas de grietas están orientados hacia el SW, SE y NNE.

(Figs.15)



**Fig.15.** . Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas de cizalla. Polja de Santo Tomás.

#### IV.1.3.3. Escama tectónica Sierra del Medio. Formación Guasasa

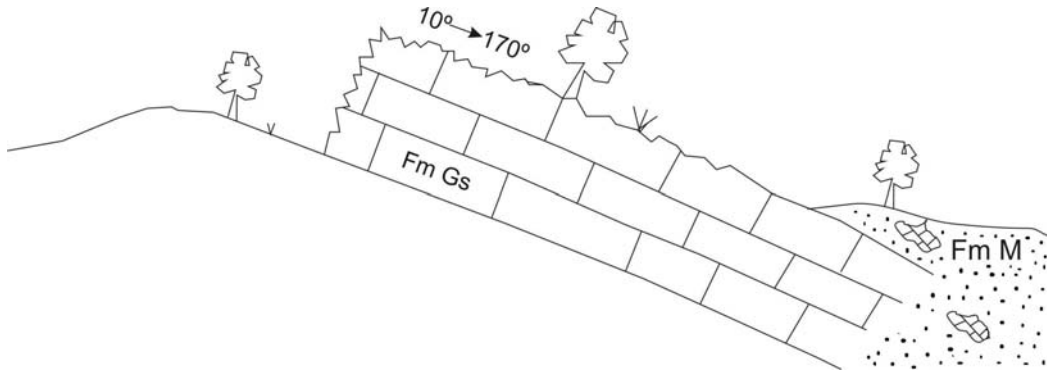
En el diagrama de grietas de cizalla la orientación para el eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  es de NW-SE, entre 310°-320°, correspondiendo a la dirección de los esfuerzos durante los cabalgamientos. Además aparece una orientación NE-SW, evidenciando una rotación del eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  entre 60°-80°.

Por su parte los diagramas de grietas híbridas ratifican la orientación del máximo estrés compresivo  $\sigma_1$  en dirección SE-NW, rotado en dirección WNW-ESE y NE-SW. (Figs.20)

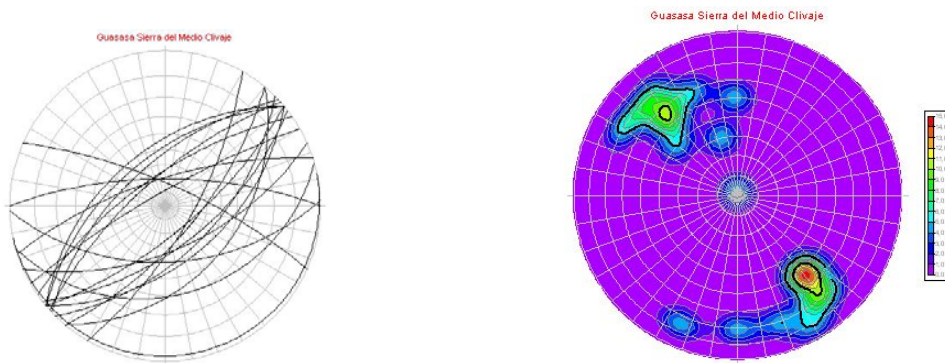
Las grietas de cizalla e híbridas tienen como direcciones de buzamiento principales NW, SE, NE, SE. (Figs.18y 20)

Tanto en el diagrama de grietas de expansión como en el de grietas de clivaje, la orientación para el eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  es de NW-SE, rotado en dirección SW-

NE. (**Figs.17 y 19**) las grietas de expansión y de clivaje señalan direcciones hacia el NW, SE, NE, SW.

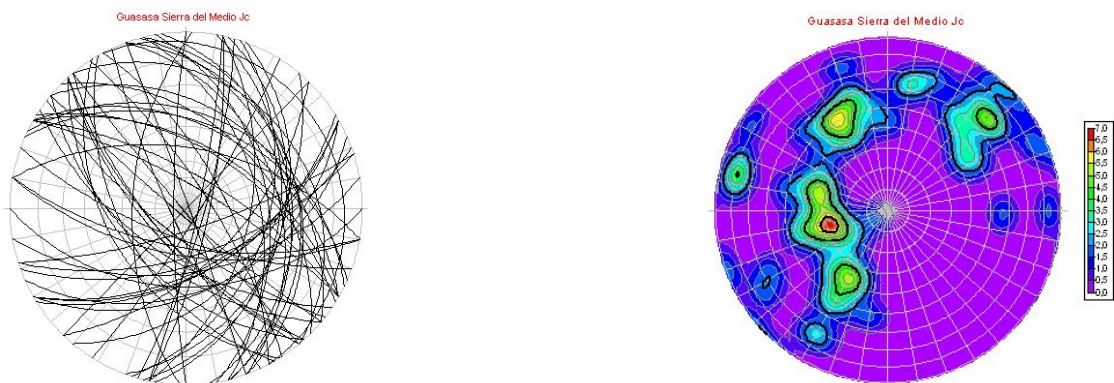


**Fig.16.** Contacto entre las formaciones Manacas y Guasasa.  
Polja de Santo Tomás y Escama Tectónica Sierra del Medio.

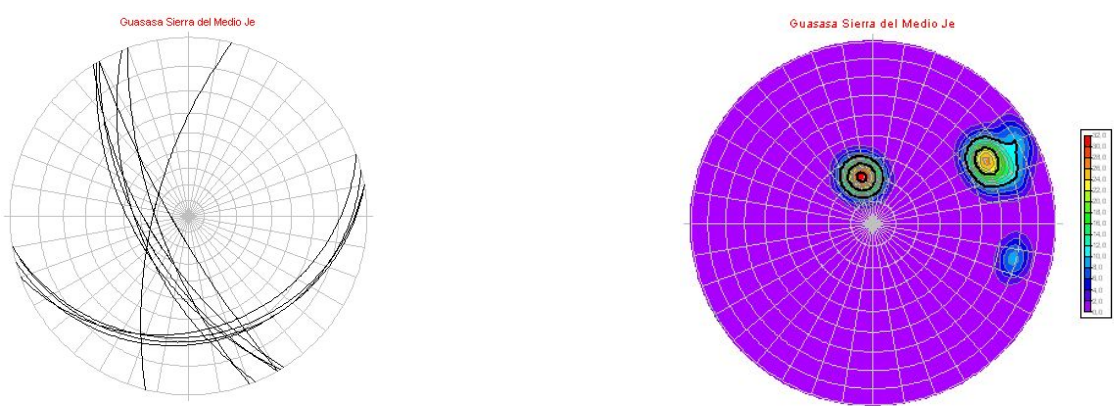


**Fig.17.** . Farsillas de Wulff y de Schmidt. Clivaje. Escama. Tectónica Sierra del Medio.

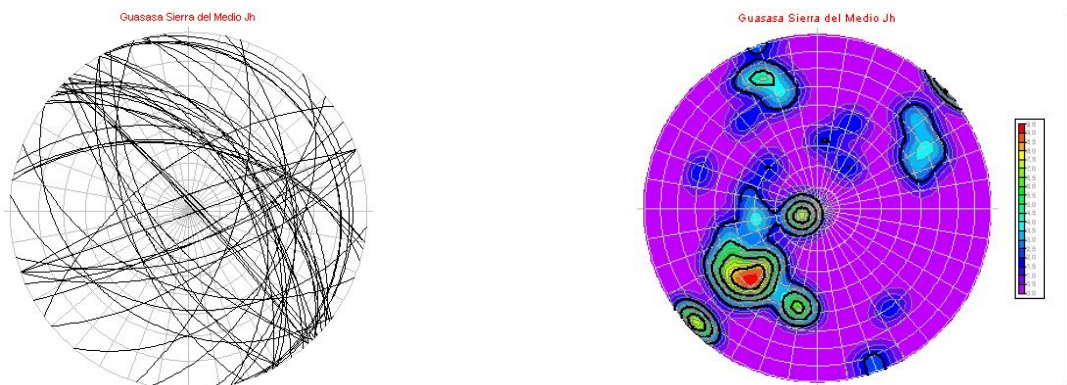




**Fig.18.** Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas de cizalla. Escama Tectónica Sierra del Medio.



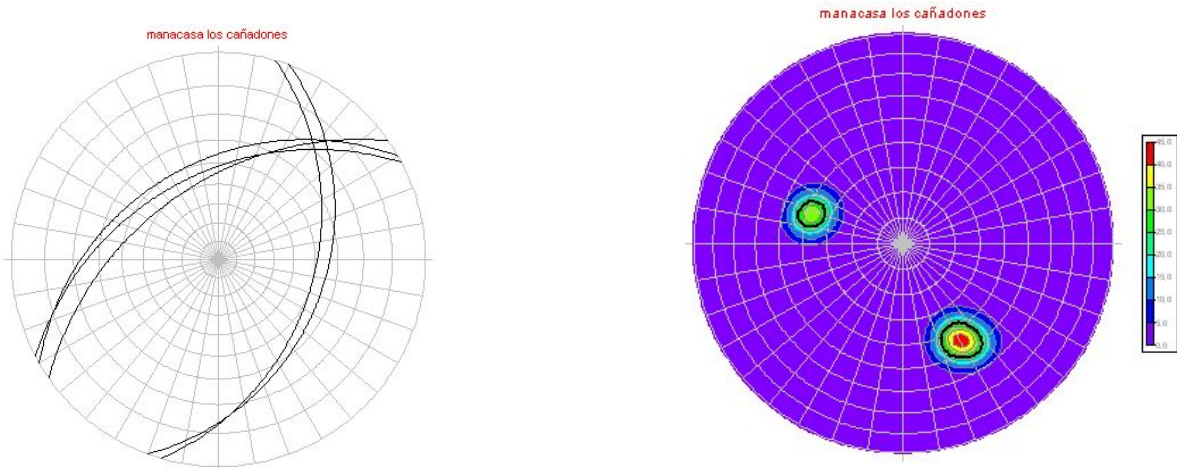
**Fig.19.** . Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas de extensión. Escama Tectónica Sierra del Medio.



**Fig.20.** . Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas híbridas. Escama Tectónica Sierra del Medio.

#### IV.1.3.4. Polja Los Cañadones

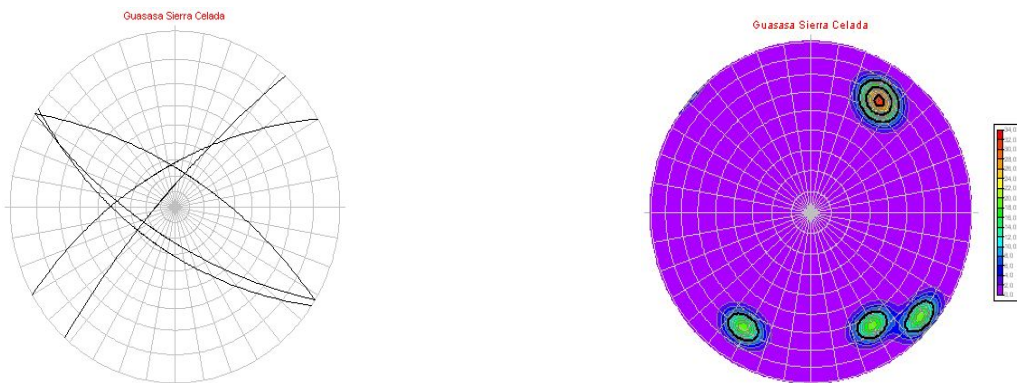
El diagrama que realizado a partir de las mediciones de grietas de cizalla hechas dentro de la Formación Manacas, define una dirección del el eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  SW-NE a SSW-NNE. (**Figs.21**) y una dirección principal del agrietamiento hacia el SW, NNE y SE.



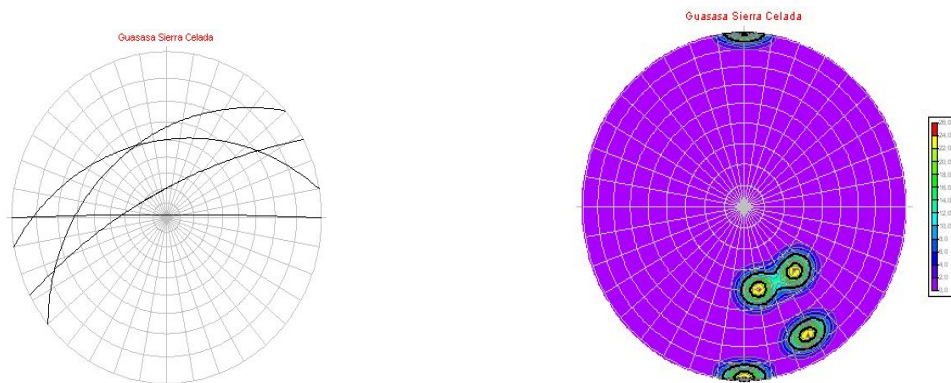
**Fig.21.** . Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas de cizalla. Polja los Cañadones.

#### IV.1.3.5. Escama tectónica Sierra Celadas. Formación Guasasa

Para las secuencias de la Formación Guasasa en Sierra Celadas, el eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  tiene una dirección NW-SE, coincidiendo con la dirección del máximo esfuerzo de los arrastres tectónicos en el área. Existe una segunda orientación SW-NE, que muestra un cambio en la dirección del Máximo estrés compresivo, pudiendo vincularse a movimientos de reacomodo de las estructuras, o a movimientos tectónicos mucho más jóvenes. (**Figs.22 y 23**). En este caso las direcciones principales del agrietamiento son al SW, NE y NW.



**Fig.22.** . Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas de cizalla. Escama Tectónica Sierra Celada.



**Fig.23.** . Farsillas de Wulff y de Schmidt. Grietas de híbridas. Escama Tectónica Sierra Celadas.

Pudiendo concluir que para el área estudiada, y coincidiendo con lo expresado por Gordon, Cáceres y Díaz (Gordon, et al, 1997; Cáceres, 1998, en Díaz, 1999) existen evidencias de dos direcciones principales del eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  Noroeste-Sureste y Noreste-Suroeste, que han dado lugar a sistemas de estructuras disyuntivas, unas con orientación Noroeste-Sureste aproximadamente paralelas a los sobrecorrimientos y que coinciden con la dirección general del arrastre tectónico de la Sierra de Los Órganos, y otras con dirección Noreste-Suroeste que pueden tener un origen sinorogénico por rotaciones locales en el avance diferencial de los mantos durante su emplazamiento, o ser estructuras posteriores a los cabalgamientos, originadas a consecuencia de la rotación horaria del máximo estrés compresivo, para estas últimas se ha establecido una edad de Eoceno Inferior parte alta (Gordon, M.B et al, 1997; Cáceres, D., 1998, en Díaz 1999).

Entre las estructuras de menor orden predominan las grietas híbridas y vetas de calcita, siendo frecuentes las vetas sigmoidales y en escalón que, por su orientación temporal, evidencian la existencia de varias fases deformacionales en la historia tectónica del macizo.

#### **IV.2. Características geomorfológicas en el área del perfil El Moncada - Sierra Celadas**

El carso es el resultado del proceso de carsificación, es decir, de la disolución de una roca fisurada debido a la circulación del agua. Este proceso, establecido en todas las rocas solubles, depende de la acción de diversos factores morfológicos, hidrológicos y



termodinámicos (litología, estructura geológica, porosidad-fisuración, circulación de las aguas, niveles de CO<sub>2</sub> disuelto en las aguas, y otros).

Para el área de investigación, el modelado cársico superficial ha dado lugar a numerosas formas del relieve que se han diferenciado en macroformas exocársicas (mogotes, poljas y dolinas) y microformas exocársicas: representadas por las formas de los lapiaz. Mientras que el carso subterráneo está representado por pequeñas solapas, grutas, cuevas y ponores o sumideros y por carso interestratos.

**Carso ruiforme:** o en ruinas. Es el resultado de la disolución diferencial en calizas muy estratificadas, en el área representadas por los miembros estratificados de la Formación Guasasa, originando formas muy peculiares del relieve como la presencia de alturas muy poco elevadas, con paredones que pueden ser localmente bastante inclinados, donde predominan las pendientes relativamente suaves y extensos campos de lapiaz con numerosas diaclasas y pequeñas dolinas de disolución y desplome. En algunas áreas existen extensos afloramientos de bloques en forma caótica, mezclados con sedimentos terrígenos. (Luís, 2001) (**Foto.4**)



**Foto 4.** Carso ruiforme en calizas estratificadas de la Formación Guasasa de la Sierra del Medio.

**Dolinas:** (Díaz, 1999) En Cuba se conocen como hoyos de montaña o de terreno. Las dolinas aparecen siempre como un elemento de las abras cársicas y en la intersección de dos o más fallas o grandes fracturas. La sección predominante es la elíptica, con el eje mayor de la dolina coincidiendo con la dirección del clivaje de la estructura tectónica que la contiene. La mayoría de estas macroformas son de disolución y desplome, ejemplos Hoyo Grande, Hoyo del Bobo. (**Foto.5**)



**Foto 5** .Hoyo Grande.  
Fondo de dolina, colmatado  
de sedimentos.

**Poljas:** (Díaz, 1999) En la zona aparecen solo poljas marginales o de contacto, formadas en el límite entre dos secuencias de diferente composición litológica. La erosión por competencia, permite el ensanchamiento de la depresión central, donde transcurre la actividad hídrica, ya sea fluvial o lagunar. En la zona son identificables las poljas marginales del Arroyo Santo Tomás y de Los Cañadones, ambas abiertas entre dos escamas tectónicas, erodándose las secuencias terrígenas de la Formación Manacas, quedando al descubierto los olistolitos de otras formaciones. (**Foto.6**)



**Foto.6.** Polja marginal o  
de contacto del Arroyo  
Santo Tomás desde la  
Sierra de Quemado. En  
segundo plano la Sierra  
del Medio y más alejada  
la Sierra Derrumbada.

**Lapiaz:** (Díaz, 1999) Del vocablo **lápiz** que significa piedra, es la forma del modelado cársico superficial más desarrollado, extendido e instalado sobre todas las rocas carbonatadas de la zona, donde predominan los campos de lapiaces desarrollados en forma de carso desnudos, principalmente en la zona donde afloran las rocas de la Formación Guasasa.

En cuanto a las formas de detalle del lapiaz se han estudiado en la zona los siguientes tipos morfológicos:

**Acanaladuras:** [*Rillenkarren* (según SWEETING, 1973 en GARAY, 1990 en Díaz 1999)]. Es la forma más frecuente en los lapiaces de la zona. Aparecen instaladas sobre cualquier roca carbonatada. Las acanaladuras son surcos paralelos separados por agudas crestas que se desarrollan a favor de las pendientes normales por la acción de las aguas pluviales en su escurrimiento por la superficie rocosa, por lo tanto en este caso la disolución de la caliza será lineal según la pendiente. (**Foto. 7**)



**Foto.7.** Acanaladuras en rocas de la Fm Guasasa. Escama Tectónica Sierra del Medio.

**Lapiaz estructural o de fisuras:** [*Kluftkarren* (SWEETING, 1973 en GARAY, 1990, Díaz 1999)]. Esta forma es el resultado de la disolución cársica a favor de las redes de grietas y de los espacios interestratos dando lugar a hendiduras alveolares alargadas según la dirección de la estructura que las soporta. (**Foto. 8**)





**Foto.8.** Lapiaz estructural o de fisuras. Obsérvese el total control tectónico del proceso de disolución cársica. Escama Tectónica Sierra del Medio.

**Perforaciones cilindroideas:** [*Karrenrohren* (SWEETING, 1972 en GARAY, 1990 en Díaz 1999)]. Microformas del modelado cársico superficial muy características y frecuentes. Son pequeños pozos abiertos en la roca con sección circular o elíptica que alcanzan en la zona dimensiones promedio de 4.05cm de profundidad, 4.72cm de diámetro mayor y 3.74cm del diámetro menor, predominando la forma elíptica. Generalmente son más anchas que profundas, aunque la relación diámetro medio-profundidad está muy próxima a la unidad (1,0).

La génesis de estas microformas en esta región se ajusta más a la Teoría de Ullastre (1970 en GARAY, 1986) que plantea un origen físico-químico a partir de pequeñas depresiones preexistentes en la superficie rocosa con un fuerte condicionamiento estructural. El principal agente disolutivo es el agua de las precipitaciones cargada de CO<sub>2</sub> atmosférico y enriquecida con el CO<sub>2</sub> de los ácidos orgánicos. La renovación hídrica se puede producir por desbordamiento o por infiltración del agua a través de las grietas y micro grietas que controlan su desarrollo. La presencia de materia orgánica en su interior contribuye a aumentar la acción disolutiva sobre la caliza. (**Fotos 9**)

**Pozas de corrosión:** [*Kamenitzas, solution basin* (SWEETING, 1972 en GARAY, 1990 en Díaz 1999)]. Son depresiones cerradas en la mayoría de los casos, de fondo aplanado, generalmente rellenas de arcilla residual y materia orgánica, de paredes verticales o con

pendientes invertidas muy rugosas. Solo se observaron kamenitzas con sección elíptica.  
(Foto.10)



**Foto.9** Perforaciones cilindroideas, se puede observar la alineación de las mismas. Escama Tectónica Sierra del Medio.

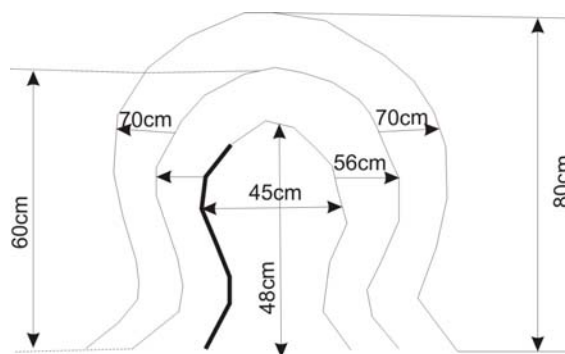


**Foto.10.** Pozas de corrosión, con restos de materia orgánica. Se aprecian cavidades capturadas Escama Tectónica Sierra del Medio.

**Grutas:** (Díaz 1999) Término que se refiere a cavidades subterráneas de poco desarrollo lineal, generalmente en las primeras decenas de metros. En la zona algunas aparecen como extensión en profundidad de las pequeñas solapas que se abren en la Formación Guasasa. (Fig.24 Y Foto.11)



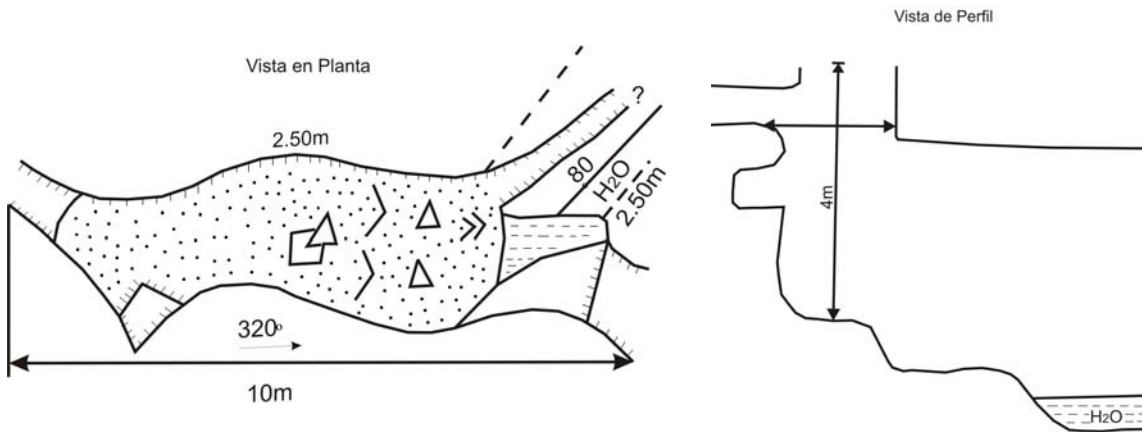
**Foto 11.** Pequeña gruta abierta en calizas de la Formación Guasasa. Escama Tectónica Sierra del Medio.



**Fig.24.** Esquema de la gruta. Obsérvense sus pequeñas dimensiones (desarrollo lineal 2,5 m). Escama Tectónica Sierra del Medio.



**Sumideros:** (Díaz, 1999) Geoformas de gran importancia para el desarrollo endocársico del macizo al constituir puntos de absorción de las aguas pluviales o fluviales. Se localizan en el fondo de las dolinas y otras formas negativas del relieve cársico. (**Fig.25 y 26**)



**Fig. 25.** Esquema de sumidero activo, situado en el fondo de una dolina Escama Tectónica Sierra del Medio.

**Solapas:** (Díaz, 1999) Su origen se debe a procesos fluviales, por minado lateral; vadosos, freáticos o una conjugación de estos, observándose en estas otras fases de desarrollo por procesos gliptoclásticos. En el área las solapas están asociadas a las paredes de las dolinas de disolución y desplome, como en el caso de Hoyo Grande.

**Carso interestratos:** variedad de carso originada por la disolución de las aguas infiltradas en un macizo calcáreo con estratificación bien definida. En este caso, los procesos disolutivos ocurren a nivel de las juntas entre estratos, coincidiendo con la dirección general de la yacencia de los mismos, haciéndose más factibles mientras más compleja sea la estructura del macizo (litológica, estratigráfica y tectónicamente). (**Foto.12**)



**Foto 12.** Carso interestratos en las calizas estratificadas de la Fm Guasasa. Sierra del Medio.

### **IV.3. Vinculación de las estructuras geológicas con las formas del relieve cársico en el área del perfil El Moncada - Sierra Celadas**

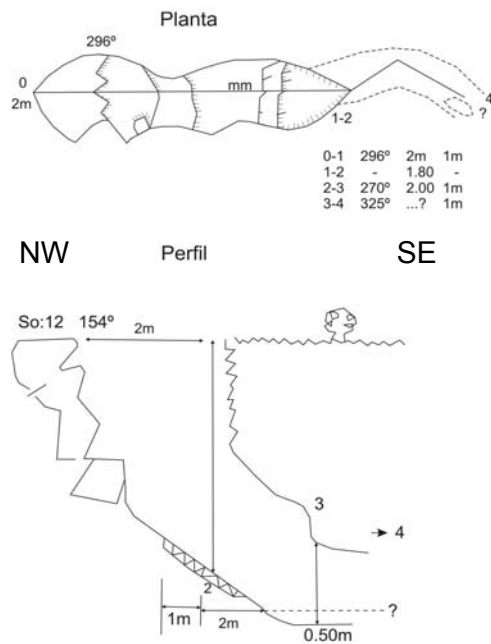
Los factores que influyen en el desarrollo de un sistema cársico pueden agruparse en: Climáticos (cantidad y régimen de las precipitaciones, temperatura); relieve (altitud y situación de los niveles de base, presencia del nivel del mar); Vegetación; Tiempo de evolución; Características litológicas (mineralogía, textura, espesor y composición de los estratos, permeabilidad); Estratigrafía, tectónica, hidrología (fracturación y tipos de deformaciones, orientación de los estratos, disposición y tipo de acuíferos). (Fernández et al, 1995).

Para el caso de estudio, las Sierras del Medio y Celadas, están constituidas por calizas de estratificación media a fina, complicadas con movimientos de arrastre tectónico, que provocaron la fracturación y complejización de la estructura, desarrollándose un tipo de carso diferente al que aparece en las áreas del cinturón de mogotes compuestas por calizas masivas.

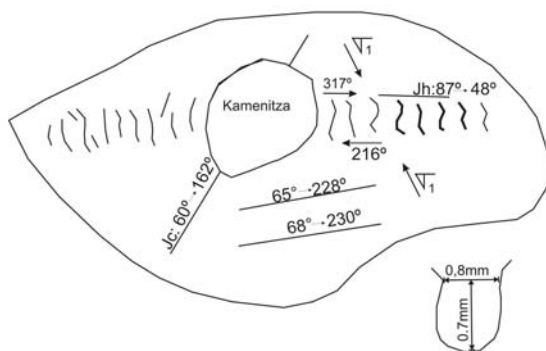
Debido a las particularidades de estos macizos calcáreos, en ellos se ha desarrollado un carso ruiforme a partir de procesos internos y externos. Los internos, que incluyen la disolución de las rocas, la erosión y los desplomes de cavernas y otros conductos. Mientras que los externos afectan la superficie exterior del macizo, y comprenden la erosión, la corrosión, los derrumbes y deslizamientos (Iturralde-Vinent, 2009). Todos ellos provocan la disección del relieve, otorgándole su característica forma de ruinas.

Se pudo comprobar que las formas cársicas presentes, estaban condicionadas por la existencia de uno o más planos de agrietamiento, siendo las zonas de intercepción de planos de grietas, por tanto las de mayor debilidad, los lugares donde existían mayores volúmenes de cavidades cársicas (cantidad, extensión, grosor), a lo que se suma la disolución de la roca en el piso y techo de los estratos (carso interestratos), resultando un déficit de masa, que provoca la caída por movimientos gravitacionales de bloques y clastos, fraccionados casi siempre a partir de las zonas de agrietamiento preexistentes, ensanchadas por los mismos procesos de disolución y corrosión. **(Foto 12)**

Para los accidentes cársicos subterráneos (grutas, sumideros), es evidente el control ejercido por la tectónica, pues en todos los casos observados, existían planos de grietas que concordaban con los ejes de desarrollo de las galerías, como se muestra en la **(Fig.26 y foto 13)**



**Fig.26 y Foto.13.** Sumideros en el Punto 8. Las líneas sobre la foto indican las familias de grietas que controlan el desarrollo de la cavidad. Nótese que la zona de entrada coinciden varios planos de grietas, lo que la convierte en el punto más débil de la estructura. Escama Tectónica Sierra del Medio.



**Fig.27 y Foto.14.** Esquema donde aparece una poza de corrosión o Kamenitza, en la zona de unión de los planos de varias familias de grietas tanto compresivas como distensivas. Escama Tectónica Sierra del Medio.

En el caso de las perforaciones cilindroideas y las pozas de corrosión, siempre aparece como en el ejemplo, la combinación de dos o más familias de grietas, lo que provoca zonas debilitadas tectónicamente, donde la acción agresiva de las aguas corroe la superficie de la roca en las zonas con mayor área de exposición a la corrosión.



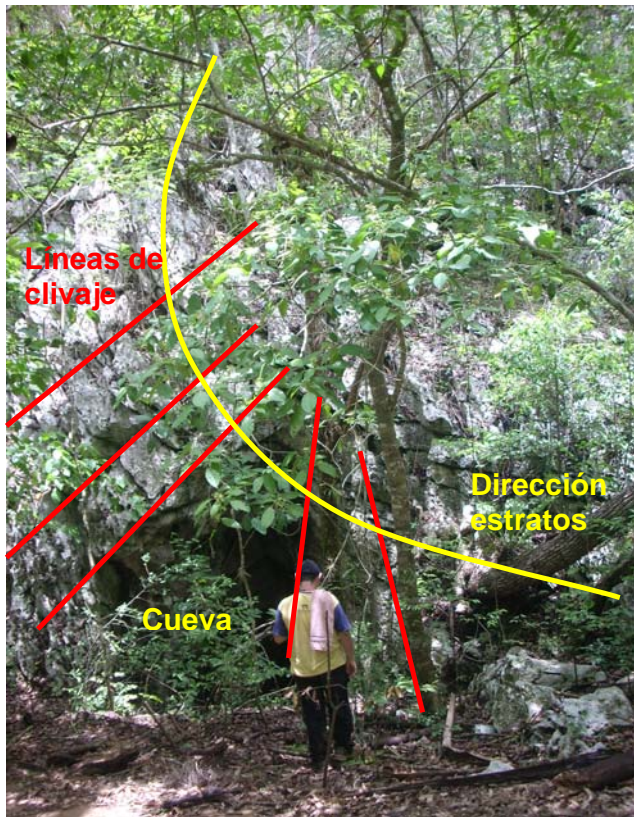
**Foto.15.** “La pata de Sabino”. Sistema de perforaciones cilindroideas capturadas, controladas estructuralmente por grietas, en la Sierra del Medio



**Foto.16.** Carso estructural complejo. Se observa el control del agrietamiento sobre el proceso de disolución.

Un caso interesante de proceso cársico, lo constituye el desarrollo de grutas en pliegues tumbados de calizas estratificadas de la Formación Guasasa. Las grutas se abren muy próximas al núcleo del pliegue, y su desarrollo es controlado por fracturas de clivaje. También condicionados por las fracturas de clivaje se forman las dolinas colapsadas, originadas por procesos corrosivos y sufosivos, es decir por la infiltración de las aguas superficiales y la circulación direccional de las aguas subterráneas y procesos secundarios de desplome y succión.





**Foto.17.** Punto 17. Gruta abierta en pliegue de los estratos de la Fm Guasasa, Sierra del Medio. Su desarrollo lineal lo condicionan las fracturas de clivaje del pliegue tumbado.

En general, la génesis y desarrollo de procesos cársicos tanto epigeos como hipogeos, están fuertemente condicionados a la estructura geológica presente en el área estudiada.

## CONCLUSIONES.

- ✓ En el área de influencia del perfil se determinaron 3 escamas tectónicas, las que se encuentran separadas entre si: Escama Tectónica Alturas de Pizarras del Sur, Polja de Santo Tomás, Escama Tectónica Sierra del Medio, Los Cañadones, Escama Tectónica Sierra Celadas. Su origen fue producto de los movimientos de arrastre tectónico vinculados a la orogenia cubana.
- ✓ Las estructuras plicativas se encuentran estrechamente relacionadas con movimientos de avance de mantos tectónicos, con dirección principal SE – NW. Su origen es producto de los movimientos de arrastre tectónico. Son comunes los pliegues de charnelas amplias, y ocasionales los pliegues apretados tumbados, con planos axiales inclinados, y con vergencias contrarias.
- ✓ Las estructuras disyuntivas presentan una dirección principal  $\sigma_1$  es de NW-SE, entre 310°-320°, correspondiendo a la dirección de los esfuerzos durante los cabalgamientos. Además aparece una orientación NE-SW, evidenciando una rotación del eje de esfuerzos principales  $\sigma_1$  entre 60°-80°. Son abundantes en todas las escamas los distintos tipos de grietas existentes como son grietas de cizalla, grietas híbridas, grietas de extensión, grietas en escalón y clivaje.
- ✓ Se pudo comprobar que las formas cárnicas presentes, estaban condicionadas por la existencia de uno o más planos de agrietamiento, siendo las zonas de intercepción de planos de grietas, por tanto las de mayor debilidad, los lugares donde existían mayores volúmenes de cavidades cárnicas (cantidad, extensión, grosor).

## **RECOMENDACIONES.**

- ✓ Realizar un estudio más detallado de las estructuras plicativas presentes en el tramo del perfil Hoyo Grande los Cañadones, para verificar su génesis y posición en el corte.
- ✓ Proyectar y ejecutar perfiles paralelos a la zona investigada para comprobar el comportamiento regional de las estructuras geológicas y su posible vinculación con la génesis del desarrollo del carso

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ Barrios L, Y Pedraza, E Cruz, H E Méndez, C A Eworo (2008): Libreta de Campo No 1. Brigada 2, Prácticas de Levantamiento Geológico III. Polígono El Moncada (inédito).
- ✓ Biyogo, V y R, García (2008): Factores geológicos que condicionan el surgimiento y desarrollo del Sistema Cársico de la Sierra de Celadas. Tesis de diploma presentada en opción al título de Ingeniero Geólogo. Universidad de Pinar del Río, 2008. Inédito.
- ✓ Cáceres, D. (1997). "Estructura Geológica y Pronóstico Preliminar para metales básicos más Barita en la parte central de las Alturas Pizarrosas del Sur", Tesis doctoral, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río.
- ✓ Cáceres, D. (1998). "Diferentes fases deformacionales en la porción más meridional de la Sierra de los Órganos", Memorias III Congreso de Geología y Minería, TomoI. PP. 89-92. Editorial C.N.D.I.G, La Habana.
- ✓ Cobiella-Reguera, J.L. (1996). "El magmatismo Jurásico (caloviano?-oxfordiano) de Cuba occidental: ambiente de formación e implicaciones regionales", Revista Asociación Geológica Argentina 51 (1): 15-28.
- ✓ Denis, R. (1998). "Algunas consideraciones sobre el Cuaternario de Cuba Occidental", Memorias III Congreso de Geología y Minería, TomoI. PP. 180-182. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- ✓ Díaz, C. (1999). "Geología y geomorfología del carso de la Sierra de San Vicente", Tesis de Maestría, Mención Geología Regional, Universidad de Pinar del Río. 51 pp.
- ✓ Díaz, J. *et al.*, (1986): Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región centro-oriental de Cuba. Ed. Academia de Ciencias. La Habana. 60 pp.
- ✓ Dueñas, J.H, C. E. Linares, S. R. García (2000). "Palinomorfos en las rocas de la formación San Cayetano", Pinar del Río, Cuba.
- ✓ Farfán H; C, Díaz; C. Aldana y M. Valdés (2007): "Dolines in Sierra de Quemado and their relation whit the development of the Gran Caverna de Santo Tomás", Viñales, Cuba. (en prensa). 15pp.
- ✓ Franco Álvarez, G., González García, R., Recio Herrera, A., Furrázola Bermúdez, G., Delgado Damas, R., 1993. Léxico Estratigráfico de Cuba. IGP. Ciudad de la Habana.



- ✓ Golyer, E. L. (1918). "The geology of Cuban petroleum deposits". Amer. Assoc. Petrol. Geol., 2:133-167
- ✓ Gutiérrez, R. (1995): "Condiciones geológicas del desarrollo diferenciado de la carsificación en la Cordillera de Guaniguanico". Cuba Occidental. En: El Karst y los acuíferos cársicos. Universidad de Granada. PP. 11-26.
- ✓ Gutiérrez, R. D., G.M. Rivero (1997). "Minigeografía de Cuba, Ed, Ciencia y Técnica. La Habana. Cuba. 28- 157 pp.
- ✓ Hatten, C. W. (1957). "Geologic report on Sierra de los Órganos", Unpubl. rept, Ministerio de Industrias, La Habana.
- ✓ Herrera, N. M. (1961). "Contribución a la estratigrafía de la provincia de Pinar del Río". *Rev. Soc. Cubana Ing.*, LXI (1-2):2-23.
- ✓ Iturralde-Vinent, M (2009): "Curiosidades de la Geología de Cuba. Geología de Cuba para todos. Editorial Científico-Técnica, La Habana, 2009. 34 – 49 pp.
- ✓ Leal, E. (2005): "Estudio multidisciplinario de una localidad cársica. Sierra de Tumbadero. Viñales". Tesis de Grado. Universidad de Pinar del Río (inédito)
- ✓ Lima Madre Deus B E, L Hernández, Y Sánchez, J Bastos Sacramento (2007): Informe final prácticas de levantamiento geológico III. Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río (inédito).
- ✓ Martínez, D., R. Fernández de Lara (1988). "Informe sobre los trabajos del levantamiento Geológico y Búsqueda a escala 1:50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río", Inv. 3642, O.N.R.M., MINBAS, La Habana.
- ✓ Martínez, D., R. Fernández de Lara, R. Pelea, M. Vásquez, E. Barrios, A. Valido, R. Reinoso, J.C. Chang, O, Fernández, R. Denis, L. Gómez, D. García, S. Gil, P.H Pérez, R. Reyes, M. Valdivia, R. Núñez, R. Pérez y J. Piz (1991). "Informe sobre los resultados del Levantamiento Geológico y Prospección a Escala 1: 50 000 Pinar – Habana", Arch. ONRM.
- ✓ Molerio, L. (2003). "Modelo del desarrollo de cavernas y conductos cársicos", Memorias V Congreso de Geología y Minería, La Habana, 2003.
- ✓ Molerio, L. (2004): "Los Mogotes del Valle de Viñales", Monumento Nacional, Pinar del Río, Cuba. Mapping Interactivo. Diciembre de 2004.
- ✓ Mormill, A., A. Norman, A. Varvarov, V. Shosiriev V, E. Linares, F. Vergara (1980). "Geología y Metalogenía de la provincia de Pinar del Río", 2 tomos (Tema 5707), C.I.D.P., O.N.R.M., Empresa Geológica Pinar del Río, Mimbas.
- ✓ Núñez, A. (1988). "Cuevas y carsos", Ed. Científico-Técnica. La Habana. 431 pp.

- ✓ Palma, G (2008): Dependencia entre la génesis y desarrollo del sistema cársico de la Sierra de Quemado y la tectónica del macizo. Tesis de diploma presentada en opción al título de Ingeniero Geólogo. Universidad de Pinar del Río, 2008. Inédito.
- ✓ Palmer, R. H. (1934). "Outline of the geology of Cuba", *Journ. Geol.*, Chicago, U. S. A., 53(1):1-34.
- ✓ Peláez, G. R., N.A. Gonzáles (1994). "Regionalización Hidrogeológica de la provincia Pinar del Río, escala 1: 250 000", I Taller Internacional Sobre la Geología de Cuba, el golfo de México y el Caribe Noroccidental, Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Pinar del Río, Cuba.
- ✓ Piotrowska, K. (1982). "Las estructuras de nappes en la Sierra de los Órganos", Contribución a la geología de la provincia de Pinar del Río, Edit. Cient. Técnica, C. Habana, p.85-156.
- ✓ Pszczolkowski, A. (1987). "Paleogeography and paleotectonic evolution of Cuba and adjoining areas during the Jurassic-Early Cretaceous", *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 57: 127-142.
- ✓ Pszczolkowski, A., K. Piotrowska, R. Myczynski, J. Piotrowski, A. Skupinski, J. Grodzicki, D. Danilenwski, G. Haczewski (1975). "Texto Explicativo al Mapa Geológico a escala 1:250 000 de la provincia de Pinar de Río", Informe inédito I.G.P, A.C.C, Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINBAS.
- ✓ Reyes, D y E, Borrego (2007): "El control tectónico en el desarrollo y configuración de las redes de drenaje del carso en la Sierra de Quemado". Tesis de Diploma. Facultad de Geología y Mecánica. Universidad de Pinar del Río. 60 pp.
- ✓ Rigassi, D. (1963). "Sur la geología de la Sierra de los Órganos", Cuba. *Arch. Sci. Soc., Phys. Hist. Nat. Gêneve*, Gêneve, 16(2):339-350.
- ✓ Rocamora, E. (1998): "La fotointerpretación digital en regiones cársicas: Caso de estudio Sierra del Quemado", Cuba. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. PP. 614-617. Editorial C.N.D.I.G. La Habana
- ✓ Rosa, C. (1999). "Geología y Geomorfología del Carso en la Sierra de Viñales". Tesis de Maestría. Mención Geología Regional. Universidad de Pinar del Río. 51 pp.
- ✓ Shein, V. S., S.S. Ivanov, V.N. Smirnov, Y. Bankarsky, E.M. Kajalev, A.V. Vasiliev, L.A. Evzner, M.M. Bogdanov, S. Paz, L. Orbera, E. García, A. Leal (1975). "Temas del Grupo de las Ciencias", Tema IV, Tectónica, Dpto. Petrol. E. G. G., La Habana. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana.

- ✓ Tada, R., M.A. Iturralde-Vinent, T. Matsui, E. Tajika, T. Oji, K. Goto, Y. Nakano, H. Takayama, S. Yamamoto, R. Rojas-Consuegra, S. Kiyokawa, D. García-Delgado, Díaz-Otero, K Toyoda (2003). "K/T boundary deposits in the proto-Caribbean basin", American Association of Petroleum Geologists Memoir 79, 582e604.
- ✓ Truitt, P., P. J. Bronnimann (1956). "Geologic Memorandum PT-48. Geology of Pinar del Río and Isla de Pinos, Cuba", Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana.
- ✓ Vázquez-Romero, J. E. (2006). "Talleres sobre el desarrollo de la fotonaturaleza en Cuba: flora de Cuba, Sección Fotonaturaleza, Sociedad Cubana de Zoología, La Habana.
- ✓ Vermunt, L. W. J. (1937). Geology of the province of Pinar del Río, Cuba. *Geog. Geol.Mededdel.*, Utrecht, Phys. Geol. Reeks, 13:1-60.