



**Universidad de Pinar del Río**

**Facultad de Geología y Mecánica**

**Dpto. de Geología**

## **Trabajo de diploma.**

**Título: Características estructurales del límite entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda en el sector San Juan de Sagua – Rancho Canelo.**

**(Tesis en opción al título de Ingeniero)**

**13/05/2011**

**Autores: Carlos Manuel Valdivia Tabares.**

**Jorge Luis de la Cruz Martín Alfaro.**

**Tutores: Dr. Carlos Enrique Cofiño Arada.**

**Msc. Carlos Sosa Meizoso.**

**Pinar del Río, año 2011**

## **PENSAMIENTO**

Solo quien se supera a sí mismo, conoce el placer de vencer un reto.

“Autores”

## **PÁGINA DE ACEPTACIÓN**

[Inserte aquí la notificación de aprobación de la universidad]

---

Presidente del Tribunal

---

Secretario

---

Vocal

**Ciudad y fecha:**

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaramos que somos autores de este Trabajo de Diploma y que autorizamos a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: \_\_\_\_\_



Carlos Manuel Valdivia Tabares.

Jorge Luis de la Cruz Martín Alfaro.

Carlos Manuel Valdivia Tabares y Jorge Luis de la Cruz Martín Alfaro autorizan 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>

Carlos Manuel Valdivia Tabares y Jorge Luis de la Cruz Martín Alfaro autorizan 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: "[Inserte URL del repositorio]"

Carlos Manuel Valdivia Tabares y Jorge Luis de la Cruz Martín Alfaro autorizan 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 tesinas disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestros tutores Dr. Carlos Enrique Cofiño Arada y Msc. Carlos Sosa Meizoso por las horas dedicadas a este trabajo y su incondicional apoyo en todo momento. Además agradecer especialmente a Leopoldo y Rosa por su gran ayuda durante el trabajo de campo, a los profesores del Departamento de Geología por prepararnos y contribuir a hacernos mejores personas y a todos los que de una forma u otra han puesto su grano de arena en este trabajo.

Yo, Carlos Manuel Valdivia Tabares quisiera agradecer antes que todo a mi madre Carmen Reina Tabares Ortega por toda una vida de cariño y enseñanzas, a mi padre Joaquín Ángel Valdivia Varona por alentarme siempre a estudiar y muy especialmente a mi otro padre José Guevara Bonachea por quererme como un hijo y formarme como todo un hombre. A mi abuelo Antonio Tabares Delgado por ser un ejemplo a seguir en todo momento y ser motivo de mi orgullo, a mi futura esposa Diana Carolina Rodríguez Muñoz por estar siempre a mi lado y enseñarme que el amor existe, a mi tía Teresa Tabares Ortega y mi prima Heidy Segundo Tabares por ser tan especiales.

Yo, Jorge Luis de la Cruz Martín Alfaro agradezco todo el apoyo de toda mi familia durante estos cinco años de estudio en la universidad y en general durante toda mi vida en mi formación como persona (no menciono nombres porque todos han contribuido de una forma u otra). También a mis amigos por su apoyo y preocupación. A las demás personas que forman parte de mi círculo social y se preocupaban por mis estudios.

## **DEDICATORIA**

Yo, Carlos Manuel Valdivia Tabares dedico este trabajo a mi abuela Julia Ortega Delgado, que aunque ya no esté, se que se sentiría orgullosa, a mis padres, abuelo, a mi hermanito Luis Ángel Valdivia Rodríguez y a mi novia Diana Carolina Rodríguez Muñoz.

Yo, Jorge Luis de la Cruz Martín Alfaro dedico este trabajo y mi posterior título, especial e igualmente a mi familia, muy especial a mis padres Jorge Eduardo y Ana Luisa, mis abuelos Gregorio, Olimpia, Angel Manuel y Elena (EPD pero que siempre la tengo presente), mi tía Tania, mi hermana. “Muy, muy, muy especial a Ana Luisa que es principalmente para quien comencé y termino mis estudios en la universidad y a la que van dedicados todos mis logros en mi vida profesional”.

## **RESUMEN**

Este trabajo fue realizado con el objetivo de esclarecer la naturaleza del contacto tectónico entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda. Es el resultado de la interpretación de datos obtenidos a partir de la ejecución de trabajos estructurales en dos sectores San Juan de Sagua y Rancho Canelo.

La investigación parte de una revisión exhaustiva de la literatura científica del área en cuestión, la interpretación de imágenes satelitales, mapa de sombras del relieve, red hidrográfica, así como fotointerpretación de una porción del área de estudio, con el fin de determinar estructuras lineales presentes en el relieve y macroestructuras geológicas; para lograr a partir de escalas regionales llegar a locales; aspecto que permitió la orientación precisa de los perfiles proyectados.

La identificación de indicadores cinemáticos, atestiguan desplazamientos sinestrales a lo largo del límite estudiado, los datos obtenidos fueron representados en estereogramas, determinándose varias direcciones del máximo stress compresivo, la observación de estructuras superpuestas demuestra su rotación horaria, desde direcciones Noroeste - Sureste hacia el Suroeste - Noreste, así como el rumbo y buzamiento preferencial de la zona de fallas transcurrentes sinistras en cada uno de los sectores trabajados y en toda el área.

Por último se comprueba la relación espacial existente entre las manifestaciones de hidrocarburos en superficie y pozos perforados, con la zona de la franja transcurrente que pone en contacto a ambas subzonas, pudiendo ser el resultado del ascenso de estos a través de esta estructura, brindando condiciones favorables para su acumulación en posibles trampas estructurales presentes en niveles superiores del corte.

### **PALABRAS CLAVES:**

Fallas transcurrentes, Modelo de Riedel, levógiros.

## **SUMMARY**

This work was carried out with the main objective of identifying the nature of the tectonic contact between the Subfields Sierra del Rosario and Bahía Honda. It is the result of the interpretation of data obtained from the execution of structural works in two sectors San Juan de Sagua and Rancho Canelo.

The investigation begins with the revisión of different scientific literatures of the study area, The interpretation of satellite images, shaded relief map, drainage, as well as an interpretation of air picture of a portion of the study area, with the aim of determining present linear structures in the relief and geological macro structures; withdrawing from a regional to a local scale, the aspect that allowed the orientation of the projected cross sections.

The identification of indicative kinematics, attests to the sinistrals displacements along the studied limits. The obtained data was represented in a stereonet, which determined in several directions the maximum compressive stress, the observation of overlaying structures that demonstrate a clockwise rotation from Northwest - Southeast direction towards the Southwest - Northeast, as well as the direction and preferential dip of the area of sinistral strike – slips faults zone in each of the working sectors and in the whole area.

Lastly, it was proven an existent relationship among the manifestation of hydrocarbons in surface and drilled wells, with the fringe strike – slips faults that put in contact both subfields, that could be a result of the ascence of these, through this structure, offering favorable conditions for their accumulation in possible structural present traps in high or top levels of the stratigraphic section.

### **KEY WORDS:**

Strike – slips faults, Riedel's Model, left-turns.



## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

<b><u>INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>1.1- Ubicación geográfica del área de estudio.....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>1.2- Características Físico-Geográficas.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>1.2.1- Relieve y particularidades geomorfológicas.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>1.2.2- Condiciones climáticas.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>1.2.3- Vegetación.....</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b><u>1.2.4- Red hidrográfica.....</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b><u>1.3- Historias de los trabajos realizados en el área.....</u></b>	<b><u>8</u></b>
<b><u>1.4- Geología regional y del área de estudio.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>1.4.1- Estratigrafía.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>1.4.2- Tectónica.....</u></b>	<b><u>15</u></b>
<b><u>1.4.3- Magmatismo.....</u></b>	<b><u>19</u></b>
<b><u>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS.....</u></b>	<b><u>20</u></b>
<b><u>2.1- Metodología de la investigación.....</u></b>	<b><u>20</u></b>
<b><u>2.1.1- Etapa 1: Revisión de información precedente y trabajo con imágenes y mapas.....</u></b>	<b><u>21</u></b>
<b><u>2.1.2- Etapa 2: Etapa de obtención de datos reales.....</u></b>	<b><u>23</u></b>

<b><u>2.1.3- Etapa 3: Procesamiento de la información e interpretación de los resultados.....</u></b>	<b><u>24</u></b>
<b><u>2.2- Breve definición del Modelo de Riedel.....</u></b>	<b><u>24</u></b>
<b><u>2.3- Interpretación de Imágenes Landsat, Mapas de sombras del relieve y Fotos aéreas.....</u></b>	<b><u>28</u></b>
<b><u>2.3.1- Interpretación de la Imagen satelital.....</u></b>	<b><u>28</u></b>
<b><u>2.3.2- Interpretación del Mapa de sombras del relieve.....</u></b>	<b><u>29</u></b>
<b><u>2.3.3- Interpretación de Fotografía aérea.....</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b><u>2.4- Descripción geólogo-estructural del área de trabajo.....</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b><u>2.4.1- Perfiles y puntos aislados realizados en el sector San Juan de Sagua...32</u></b>	
<b><u>2.4.1.1- Perfil Geólogo-Estructural 1. Río San Marcos.....</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b><u>2.4.1.2- Perfil Geólogo-Estructural 2. Arroyo El Destino. ....</u></b>	<b><u>44</u></b>
<b><u>2.4.1.3- Perfil Geólogo-Estructural 3. Río Las Vueltas.....</u></b>	<b><u>46</u></b>
<b><u>2.4.1.4- Punto aislado 1.....</u></b>	<b><u>48</u></b>
<b><u>2.4.1.5- Punto aislado 1A.....</u></b>	<b><u>49</u></b>
<b><u>2.4.1.6- Punto aislado 2.....</u></b>	<b><u>50</u></b>
<b><u>2.4.2- Perfiles y puntos aislados realizados en el sector Rancho Canelo.....</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>2.4.2.1- Perfil Geólogo-Estructural 4. Carretera de Rancho Canelo. ....</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>2.4.2.2- Perfil Geólogo-Estructural 5. Río del Medio.....</u></b>	<b><u>54</u></b>
<b><u>2.4.2.3- Perfil Geólogo-Estructural 6. Camino de Rancho Canelo a Sumidero.....</u></b>	<b><u>55</u></b>
<b><u>2.4.2.4- Punto aislado 3.....</u></b>	<b><u>56</u></b>
<b><u>2.4.2.5- Punto aislado 4.....</u></b>	<b><u>57</u></b>
<b><u>2.4.2.6- Punto aislado 5.....</u></b>	<b><u>58</u></b>
<b><u>2.4.2.7- Punto aislado 6.....</u></b>	<b><u>59</u></b>

<b><u>CÁPITULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</u></b>	<b><u>60</u></b>
<b><u>3.1- Evolución del sistema tectónico en el sector San Juan de Sagua.....</u></b>	<b><u>60</u></b>
<b><u>3.2- Evolución del sistema tectónico en el sector Rancho Canelo.....</u></b>	<b><u>65</u></b>
<b><u>3.3- Evolución general del sistema tectónico.....</u></b>	<b><u>68</u></b>
<b><u>3.4- Relación de la estructura transcurrente con la presencia de hidrocarburos.....</u></b>	<b><u>71</u></b>
<b><u>CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>78</u></b>
<b><u>RECOMENDACIONES.....</u></b>	<b><u>79</u></b>
<b><u>BIBLIOGRAFÍA.....</u></b>	<b><u>80</u></b>

## INTRODUCCIÓN

La geología del occidente cubano ha sido objeto de estudio de diversas investigaciones con el objetivo de esclarecer los distintos procesos deformacionales que tuvieron lugar a lo largo de los eventos de formación de la misma. Particularmente en la Sierra del Rosario se han realizado una serie de trabajos encaminados al estudio de la estratigrafía y tectónica que han servido como precedentes a este trabajo. La perspectividad del Noreste de Pinar del Río se incrementa al quedar demostrado que todo el banco carbonatado (constituido por rocas de las subzonas El Rosario y Los Órganos), subyace las rocas de la subzona Bahía Honda. (Cofiño Arada, 2002).

En la actualidad, con la creciente demanda de hidrocarburos, el aumento de los precios en el mercado mundial y el sucesivo agotamiento de los recursos en explotación, así como la necesidad de sustituir importaciones, constituyen un incentivo para la búsqueda y explotación de nuevos yacimientos gaso-petrolíferos en nuestro país. Teniendo en cuenta las potencialidades de las rocas del corte (Tithoniano Superior al Cretácico Superior Cenomaniano) que incluye a las formaciones Artemisa, Polier, Santa Teresa y Carmita, consideradas como generadoras de petróleo (Cofiño Arada, 2002) y la posible presencia de trampas estructurales, la Sierra del Rosario posee un gran atractivo, además, teniendo en cuenta las manifestaciones de asphaltita (petróleo biodegradado y oxidado) que se observan en la subzona Bahía Honda, así como las distintas manifestaciones y fluencia de hidrocarburos en pozos perforados en el Rosario, constituyen un índice directo de búsqueda de petróleo en profundidad. En este trabajo se intentará descifrar la naturaleza del contacto tectónico en la articulación entre la porción más septentrional de la Subzona Sierra del Rosario y Bahía Honda, en el cual se encuentra representados los nappes Quiñones, Guajaibón y la faja Manacas en contacto con rocas del Cinturón Ofiolítico Septentrional (COS) y los Terrenos de Arco Volcánico Cretácico (TAVK).

En caso de demostrarse la existencia de desplazamientos transcurrentes a lo largo del contacto, funcionando como una gran falla o sistemas de fallas de deslizamiento por el rumbo, estas podrían actuar como vías de ascenso de hidrocarburos para su posible acumulación en trampas estructurales.

## **DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN:**

### **Problema.**

La incertidumbre existente en la naturaleza del contacto tectónico entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, en el Noreste de la provincia de Pinar del Río.

### **Hipótesis.**

Si el mapeo de micro y macroestructuras geológicas y su análisis permitieran precisar una naturaleza transcurrente del contacto tectónico entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, servirían estos elementos como criterios sólidos para suponer que la misma podría haber funcionado como una vía de ascenso de hidrocarburos para su acumulación en posibles trampas estructurales en el área.

### **Objeto de estudio.**

Estructuras geológicas existentes en el límite Oeste entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda.

### **Objetivo.**

Determinar la naturaleza del contacto tectónico entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda de forma que permita establecer criterios estructurales de favorabilidad para la presencia de hidrocarburos.

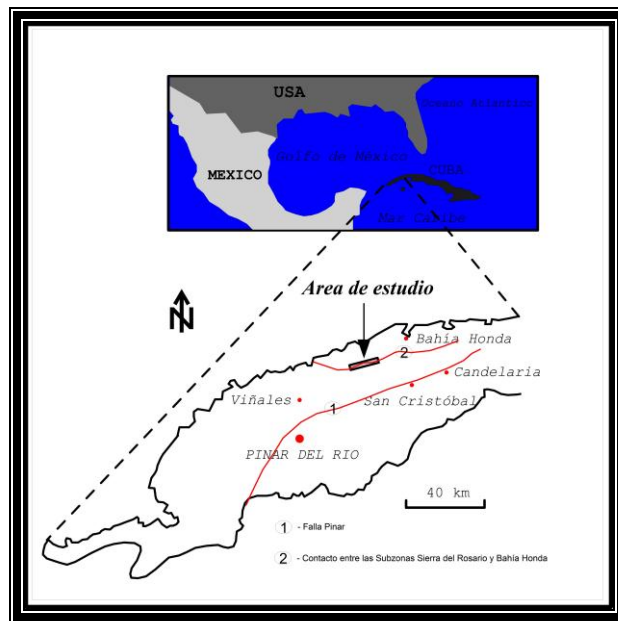
# CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

## 1.1- Ubicación geográfica del área de estudio.

La Sierra del Rosario constituye la porción más oriental de la Cordillera de Guaniguanico, ocupando gran parte del Noreste de Pinar del Río y una pequeña área de la provincia Artemisa; encontrándose imbricada al Norte con la subzona Bahía Honda (**Figura No 1**). El estudio fue realizado en la porción Nororiental de la Sierra del Rosario, en los límites con la subzona Bahía Honda, en los alrededores de los poblados San Juan de Sagua y Rancho Canelo cercanos a los extremos oriental y occidental del mogote Pan de Guajaibón respectivamente. Comprendiendo parte de los municipios La Palma y Bahía Honda; provincias Pinar del Río y Artemisa, ocupando las planchetas San Juan de Sagua y Pan de Guajaibón.

Coordenadas límites: X Mínima: 252 000, Y Mínima: 328 000.

X Máxima: 265 000, Y Máxima: 334 000.



**Figura No 1:** El área de estudio coincide con el Oeste del límite entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, entre el asentamiento Rancho Canelo y los alrededores del poblado San Juan de Sagua.

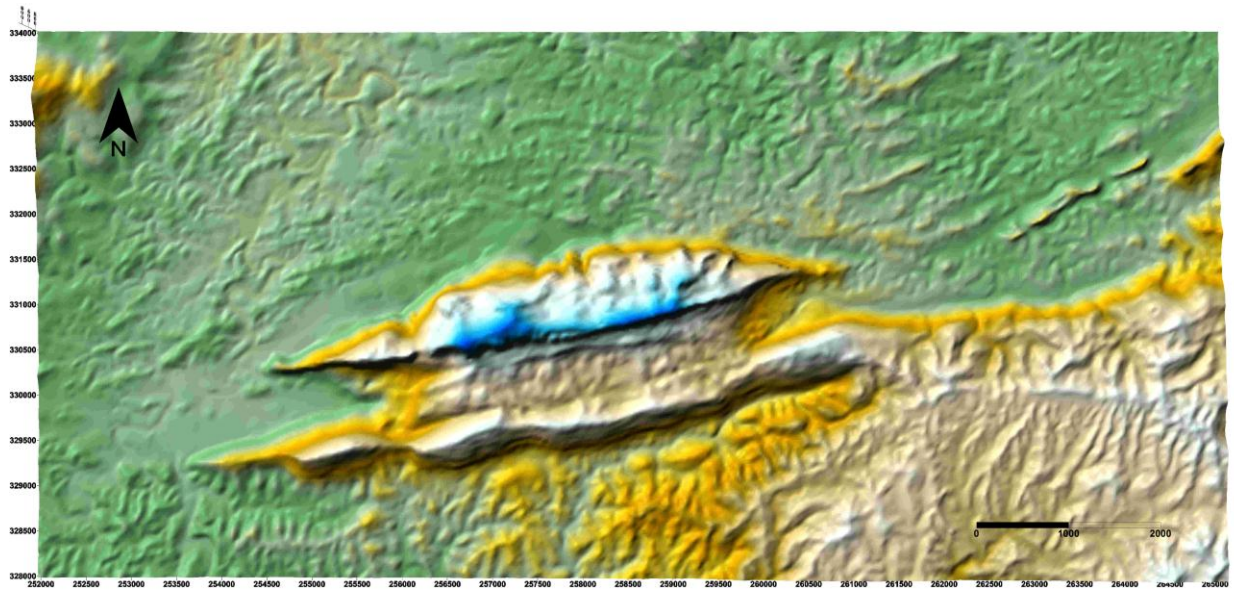
Debido a lo intrincado del lugar el acceso es limitado, a través de la carretera de montaña de San Cristóbal a La Palma, la cual se encuentra en mal estado sobre todo la porción que atraviesa la Sierra del Rosario, siguiendo el desvío del circuito Norte hacia el asiento de Cacarajícara - Rancho Canelo se llega al Norte del área en cuestión, puesto que no existe comunicación entre ambas carreteras (**Figura No 3**).

## **1.2- Características Físico-Geográficas.**

### **1.2.1- Relieve y particularidades geomorfológicas.**

Aparecen de Sur a Norte grupos de elevaciones que van desde alturas grandes a submontañas con cimas más o menos aplanadas que forman cadenas de elevaciones casi paralelas con grandes depresiones longitudinales, distinguiéndose pendientes de 35° a 50°, seguidas de un escalón geomorfológico bien marcado a lo largo de la estructura geológica regional, prosiguiendo, alturas pequeñas y medias, siendo distintiva la elevación de todo el bloque Rosario respecto a la subzona Bahía Honda más al Norte, donde predomina un relieve relativamente llano y pequeñas colinas; al Oeste de la misma se destaca la presencia de la gran Meseta de Cajalbana. Al Norte de dicho desnivel se encuentra la mayor elevación de la Cordillera de Guaniguanico con 700.1 m (Pan de Guajaibón), el cual posee una estructura mogótica distintiva en esta zona (**Figura No 2**).





**Figura No 2: Modelo Digital del Terreno en 3D del área en la cual se llevaron a cabo las investigaciones que constan en esta memoria. Es notable la diferencia de alturas entre la porción Noroccidental (subzona Bahía Honda) y la Suroriental (subzona Sierra del Rosario), con desarrollo de un gran escalón geomorfológico. Sobresale el mogote Pan de Guajabón al centro de la imagen.**

### **1.2.2- Condiciones climáticas.**

El clima, al igual que toda Cuba, presenta condiciones tropicales húmedas y distribución estacional de las lluvias. Esta zona presenta un clima tropical lluvioso todo el año. La temperatura media anual oscila entre 26 - 28 °C. Para los meses de invierno la temperatura oscila entre 20 - 22 °C, en caso de la entrada de una masa de aire frío ártica o polar continental, esta puede oscilar entre 1 - 10°C, destacándose esta zona entre las más frías del país. Para los meses de verano la temperatura del aire puede alcanzar valores de hasta 36 °C. Las precipitaciones medias anuales oscilan entre 1600 y 1900 mm, con dos períodos bien definidos, el lluvioso (Mayo - Octubre) con el 80% del total anual y el seco (Noviembre - Abril) con el 20%. La duración media del período lluvioso es de 140 – 180 días y la humedad relativa del aire como promedio es 85%.

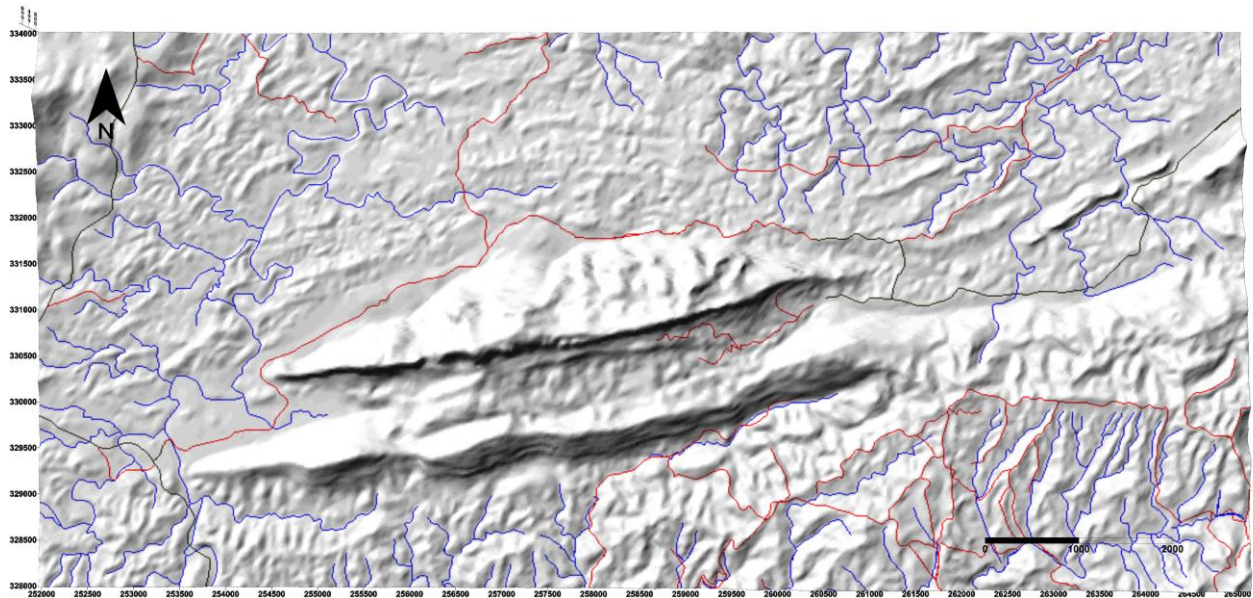
### **1.2.3- Vegetación.**

Los suelos y la vegetación se pueden simplificar estableciendo una relación de distribución con el relieve y las características litológicas de las distintas secuencias que se desarrollan en la región.

En esta zona, se incluye el Área Protegida de Mil Cumbres, donde se desarrolla una vegetación natural de bosques tropicales necrófilos submontañosos, siempre verde y otra zona con vegetación de matorrales y comunidades herbáceas secundarias. Esta vegetación está asociada a suelos húmicos calcimórficos. El grado de aflorabilidad en la región es pobre, existiendo los mejores exponentes en las zonas montañosas, cortes de carreteras y caminos y en los taludes erosionados de los cauces fluviales.

### **1.2.4- Red hidrográfica.**

La red hidrográfica sigue un patrón dendrítico, bastante densa, pues presenta gran cantidad de afluentes, arroyos y cañadas, que van a parar a los ríos principales, los valles generados por estas corrientes son estrechos y profundos al Sur y más abiertos al Norte. Los ríos que fluyen por la sierra lo hacen de Sur a Norte. Son corrientes pequeñas en cuanto a caudal, destacándose los ríos San Marcos, Río del Medio, Las Vueltas y Camarones, no sobrepasando en ningún caso los 25 km (**Figura No 3**). En época de seca los ríos mayores reducen su cauce, mientras que los más pequeños en ocasiones llegan a secarse.



**Figura No 3:** Se representan encima del Modelo Digital del Terreno 3D, las carreteras (negro) y caminos (rojo) que posibilitan el acceso al lugar, además de los ríos (azul) que van desde orden 1 hasta 4. Resalta la ausencia de cauces superficiales al centro y Este de la imagen, en las cuales se desarrollan procesos cársicos. Se destaca una red de drenaje dendrítica que fluye al Norte de la zona cársica principalmente de Sur a Norte y al Sur de la misma, de Norte a Sur.

### **1.3- Historias de los trabajos realizados en el área.**

Antes del triunfo de la Revolución se dieron los primeros pasos con respecto al desarrollo de la Geología comenzándose a realizar trabajos e investigaciones por geólogos de otros países.

El trabajo de Vermunt (1937) se dedicó al estudio geológico de la Sierra del Rosario y Los Órganos y la Depresión Los Palacios, exponiendo su idea sobre la tectónica de sobrecorrimientos (Tomado de Cofiño Arada, 2002).

En el informe "Geología de Pinar del Río" de Truitt y Bronnimann (1956), el interés era la descripción y separación de las formaciones San Cayetano, Jagua, Viñales, Artemisa y otras. Teniendo en cuenta el análisis estructurofacial de la región, determinaron cuatro cinturones faciales con sus cortes característicos: Órganos, Rosario, Cacarajícara y Bahía Honda (Tomado de Cofiño Arada, 2002).

Después del triunfo de la Revolución, en el año 1964, Furrázola Bermúdez hace referencia por primera vez a la Falla Consolación del Norte, presente en el límite entre Sierra del Rosario y Bahía Honda (Tomado de García Delgado, et al., 2003).

Entre los años 1970 y 1975, se hizo por primera vez el levantamiento de toda la provincia por un grupo de investigadores de la Academia de Ciencias de Polonia, bajo la dirección de A. Pszczlowski a escala 1:250 000 y como resultado de estos trabajos, se confeccionó el mapa geológico de la provincia a igual escala, esquema tectónico y columnas estratigráficas. Este trabajo constituye, una obra de obligatoria consulta para trabajos presentes y futuros (Tomado de Cofiño Arada, 2002).

A. Maximov en el año 1979 realiza un levantamiento geólogo-geofísico a escala 1:50 000 de la subzona Bahía Honda, incluyendo el Norte de la Sierra del Rosario. En el mismo se realiza una descripción detallada de la Falla Consolación del Norte desde una perspectiva fijista. Entre los aspectos invariantes desde ambas teorías (fijista y movilista) se encuentran la verticalidad y abrupto buzamiento preferencialmente al Norte de la zona de fallas, la amplia zona de esquistosidad y milonitización, así como su separación en dos sistemas en las zonas de Cajálbana y Sierra Azul.

Martínez en el año 1988 expresa que el carácter esencialmente sinistral de esta falla parece estar avalado por una intensa cataclasis y un gran desmembramiento de los horizontes litológicos con la manifestación de numerosas discordancias acimutales a lo largo de la misma (Tomado de García Delgado, et al., 2003).

En el año 1995 J.L Cobiella Reguera realiza una evaluación preliminar resaltando el potencial gasopetrolífero de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico a partir de la información geológica de superficie.

En el año 2000 J.L Cobiella Reguera realiza un trabajo en el cual lleva a cabo un estudio para el esclarecimiento de la estratigrafía y tectónica de La Sierra del Rosario.

Cofiño Arada en el año 2002 realiza un estudio de micoestructuras en las secuencias del Jurásico superior – Cretácico en la Sierra del Rosario y su relación con la

potencialidad de hidrocarburos en su parte oriental, en el cual expone que la existencia de varios indicadores cinemáticos en el contacto entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, permiten argumentar la existencia de desplazamientos sinestrales entre las mismas.

En el año 2003, especialistas del CEINPET y el IGP realizaron un informe para la generalización y actualización geológica en las provincias de Pinar del Río a escala 1:100 000 en el cual proponen al límite entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda como un contacto transcurrente siniestro, además plantean la posibilidad de que la cuña tectónica de la Formación Guajaibón haya sido emplazada por transpresión o transcurrencia sinistral a lo largo de la Falla Consolación del Norte durante la colisión del Eoceno Inferior.

Como se puede observar el área ha sido muy estudiada, sin embargo trabajos para el estudio estructural detallado de la zona de articulación entre las subzonas Bahía Honda y Sierra del Rosario no han sido llevados a cabo, por tanto, esta investigación puede aportar nuevos criterios a la luz de la utilización de técnicas nunca antes empleadas en esta área.

#### **1.4- Geología regional y del área de estudio.**

##### **1.4.1- Estratigrafía.**

El corte estratigráfico abarca diferentes ciclos sedimentarios, ocurridos desde su inicio en el Jurásico Superior hasta el Eoceno, aunque en el área estudiada aparecen solamente a partir del Cretácico Inferior Berriasiano. La composición litológica, facies y ambientes de deposición de estos sedimentos indican cierta similitud con la Unidad Tectono-Estratigráfica (UTE) Placetas de Cuba Central (López Rivera, et al., 1996, en Cofiño Arada, 2002).

En el área de trabajo coinciden espacialmente dos cortes estratigráficos muy similares dentro del Nappe Quiñones, los cuales divergen en la presencia de la Formación Carmita en el primero y de la Formación Pinalilla en el segundo, ambas sobreyaciendo concordantemente a la Formación Santa Teresa, tal vez como

resultado de sus deposiciones en posiciones diferentes en la cuenca, motivo por el cual los autores han decidido separarlos en dos columnas estratigráficas. La Formación Guajaibón, perteneciente al Nappe del mismo nombre debido a que está compuesto solo por esta (Cobiella Reguera, et al., 2000), ha sido separada de ambas columnas, puesto que sus relaciones con las unidades que lo rodean son siempre tectónicas.

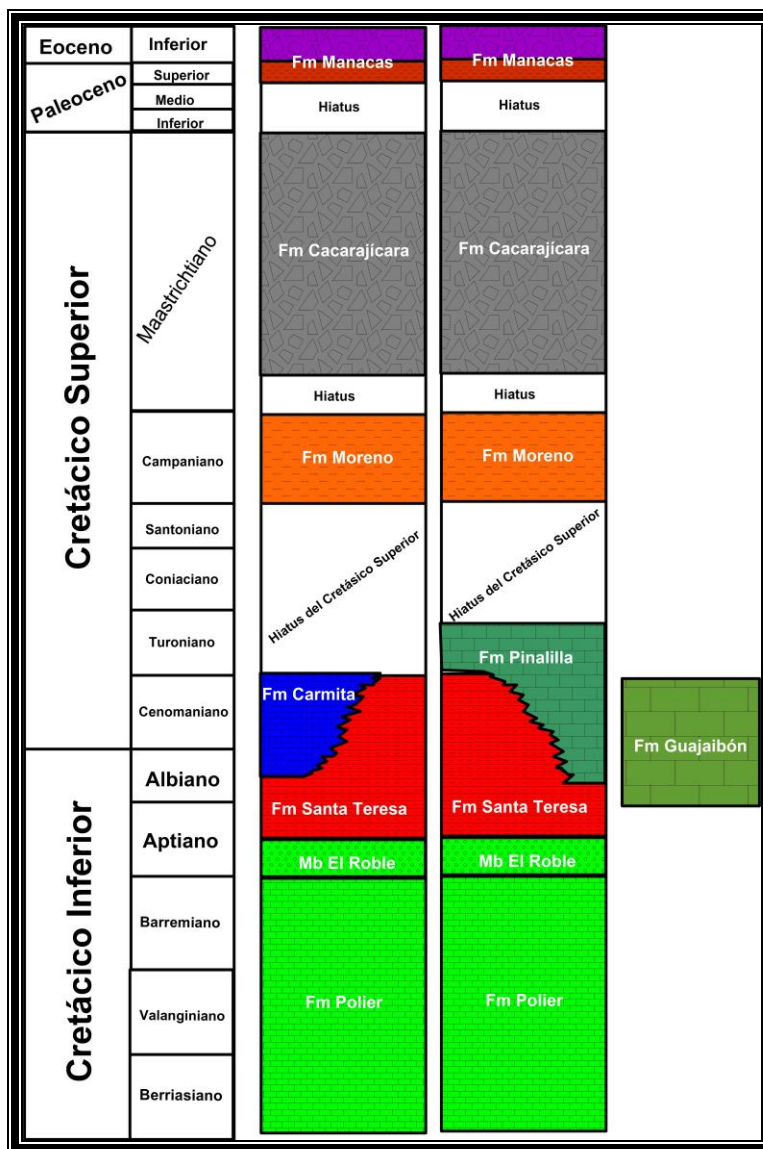


Figura No 4: Columnas estratigráficas que representa secuencias al Norte de la Subzona Sierra del Rosario, realizadas con información obtenida del léxico estratigráfico y la interpretación de los autores.



La relación de unidades litoestratigráficas presentada a continuación fue tomada del Léxico Estratigráfico de Cuba del año 1994.

**Formación Polier** (Pszczolkowski, en Pszczolkowski, et al., 1975). Está compuesta por calizas micríticas de color gris pardo, estratificadas e intercaladas por areniscas cuarzosas y polimícticas, limolitas, lutitas y lentes de pedernales. Las areniscas presentan tonalidades gris claro - amarillo blancuzco, son de grano fino a grueso y con frecuencia contienen cemento calcáreo. La fuente de suministro debió estar formada por rocas intrusivas y metamorfitas, ésto se corrobora con la presencia de cuarzo, turmalina, biotita, zircón entre otros, la porción calcárea quizás fue arrancada por procesos erosivos del interior de la cuenca (Cobiella Reguera, 1990). Consta de un miembro llamado El Roble (Pszczolkowski, en Pszczolkowski, et al., 1975). Está compuesto por areniscas cuarzosas estratificadas con intercalaciones de limolitas y lutitas. El espesor de la Formación Polier no excede los 700 m y su edad es Cretácico Inferior Berriasiano parte alta hasta el Aptiano. Se deposita en un ambiente pelágico con influencia importante de las corrientes de turbidez.

**Formación Santa Teresa** (Wassall, en Wassall y Pardo, 1952, en Franco Álvarez, et al., 1993). La Formación Santa Teresa constituye una de las formaciones más extendidas geográficamente del paleomargen continental en el territorio cubano. Esta unidad ha sido descrita en detalle en la región septentrional de Cuba Central (UTE Placetas). Está constituida litológicamente por silicitas cuarzo - calcedónicas y radioláricas, en capas finas de diversos colores e intercalaciones de argilitas, finas capas de calizas micríticas y margas de colores variados. El espesor de esta formación es variable pero nunca sobrepasa los 60 m. Su edad es Cretácico Inferior Aptiano - Cretácico Superior Cenomaniano y se depositó en una cuenca de aguas marinas profundas.

**Formación Guajaibón** (Herrera, 1961). Calizas en capas gruesas o masivas, de grano fino a medio, de colores oscuros grises a casi negras. Presenta una variable composición microfacial propia de un ambiente de banco carbonatado. Al centro del corte se presentan horizontes de bauxitas gris y rojo - parduzca oolitofragmentaria,

posiblemente derivadas de la meteorización y erosión de rocas basálticas (Ponce, et al., 1985; Cobiella Reguera, 2008). Su edad es Cretácico Inferior Albiano – Cretácico Superior Cenomaniano, sus límites son tectónicos y su espesor máximo es de 500 m.

**Formación Carmita** (Truitt, en Truitt y Pardo, 1953a, en Franco Álvarez, et al., 1993). Está representada por calizas micríticas, silicitas y argilitas, como componente subordinado pueden aparecer brechas finas. El espesor oscila entre los primeros metros y 40 m. La edad asignada es Albiano - Cenomaniano. Se depositó en un ambiente de aguas marinas profundas, y probablemente, al menos en parte sobre el talud insular.

**Formación Pinalilla** (Pszczółkowski, en Pszczółkowski, et al., 1975.). Se caracteriza por calizas masivas o en gruesos estratos, de color gris a gris verdoso. Localmente pueden aparecer finas intercalaciones de limolitas y argilitas. Su edad es Cretácico Inferior (Albiano)- Cretácico Superior (Turoniano). Se depositó en condiciones de mar profundo y oscila entre 100 y 170 m de espesor. Esta unidad fue descrita inicialmente como un miembro de la Fm. Sierra Azul, la cual fue invalidada por el Léxico Estratigráfico de Cuba. Los depósitos de la Fm. Sierra Azul que no correspondían al antiguo Mbro. Pinalilla, han sido incluidos dentro de las formaciones Moreno y Santa Teresa del Gr. Buenavista.

**Formación Moreno** (Pszczółkowski, 1976). Pertenece a la unidad principal Grupo Buenavista. Aparecen argilitas, calcilutitas, calcarenitas, calizas arcillosas, calizas detríticas, calizas micríticas, areniscas polimícticas y grauváquicas de edad Cretácico Superior (Santoniano- Campaniano). Se depositó en un ambiente marino relativamente profundo y su espesor puede alcanzar hasta 117 m.

**Formación Cacarajícara** (Hatten, 1957a, en Franco Álvarez, et al., 1993). En el área una sección bien completa de estas rocas está bien representada. La conforman calcarenitas, brechas, gravelitas, calizas micríticas y arcillosas en su parte alta. Posee una edad Cretácico Superior (Maestrichtiano Superior). Se depositó en una



zona marina, de profundidad media, con la influencia de corrientes de turbidez. Su espesor oscila entre 100 y 450 m.

**Formación Manacas** (Hatten, 1957). Esta unidad desde el punto de vista litológico está subdividida en dos secciones: La parte inferior miembro Pica Pica, representada por un corte poco perturbado compuesto por areniscas y limolitas polimícticas, calizas, margas y raras intercalaciones de pedernal. Las areniscas y limolitas presentan una estratificación fina y generalmente son de color carmelita verdoso. La parte superior olistostroma Vieja está formada por un corte caótico con bloques que varían en composición y tamaño, aglutinados en una matriz areno-arcillosa. Los bloques pueden ser de areniscas vulcanomícticas, calizas de varios tipos, serpentinitas, diabasas, gabros, tobas, pedernales, brechas con abundantes clastos calcáreos y silíceos. El espesor de esta secuencia es variable desde algunos metros hasta 200 m. Para esta unidad se ha reportado una edad desde el Paleoceno Superior hasta el Eoceno Inferior parte baja (Bralower e Iturralde-Vinent, 1997).

Esta unidad está vinculada a los principales cabalgamientos en Sierra del Rosario y forma parte del tope de todos los mantos que se observan en superficie y en el subsuelo. La Formación Manacas es un ejemplo típico de depósitos sinorogénicos en el cual se refleja el avance de los mantos tectónicos sobre la cuenca en que se sedimentaba la Formación Manacas, la porción rítmica se acumuló cuando los mantos estaban a distancia considerable y los olistolitos se depositaron cerca del frente y cabalgados después de su sedimentación. En los mantos participan rocas del Paleomargen pasivo, ofiolitas, vulcanitas derivadas del Arco Volcánico Cretácico. Como puede observarse, la fuente de aporte fue muy variada. En el área Martín Mesa la parte superior de la Formación Manacas se considera un manto de melange que se relaciona con los cabalgamientos del sur del arco volcánico y la asociación ofiolítica (Terreno Zaza). El melange pudiera corresponder a la misma edad Eoceno Inferior tardío o Eoceno Inferior temprano. La parte inferior de la Formación Manacas tiene características de sello por sus características arcillosas.

#### **1.4.2- Tectónica.**

El archipiélago cubano se encuentra emplazado sobre el borde Sur de la Placa Norteamericana, en el cual convergen elementos de diferentes orígenes del basamento Precenozoico, como son el Paleomargen pasivo de América del Norte (PMAN), el Terreno de Arcos Volcánicos del Cretácicos (TAVK), el Cinturón Ofiolítico Septentrional (COS) y los Terrenos Metamórficos Meridionales (TMM) recubiertos en gran parte por sedimentos más jóvenes (Eoceno Medio - Cuaternario), que conforman una geología muy compleja.

En la Cordillera de Guaniguanico se encuentran las secuencias representativas del Margen Continental pasivo Jurásico - Cretácico del Continente Norteamericano (Cinturón Plegado y Cabalgado), el cual se ha subdividido en dos grandes subzonas, Los Órganos y El Rosario, incluyendo La Esperanza en esta última (Martínez González, 1999, en Cofiño Arada, 2002).

A todo lo largo de su borde meridional la subzona Sierra del Rosario está separada de la subzona Los Palacios por la Falla Pinar. En la región septentrional, las secuencias del Rosario están sobrecorridas por ofiolitas y cortes del Arco Volcánico Cretácico extinto, sobre los que yacen los depósitos sinorogénicos. Este conjunto petrotectónico fue denominado como subzona Bahía Honda (Pszczolkowski, 1982, en Cofiño Arada, 2002) y en la actualidad, por presentar una paleogeografía ajena con respecto a las relaciones estratigráficas y paleogeográficas de las regiones que la rodean, ha sido denominada Zona Zaza (Cofiño Arada, 2002).

El sector que nos ocupa se vincula con la subzona Sierra del Rosario, donde se pueden destacar dos sectores con características diferentes (Pszczolkowski, 1994, en Cofiño Arada, 2002).

- 1- Rosario Sur con un corte Jurásico Superior-Cretácico Inferior eminentemente carbonatado.
  - 2- Rosario Norte con un corte Cretácico Inferior-Cretácico Superior más terrígeno.
- La presencia en La Sierra del Rosario de unidades litoestratigráficas muy bien estratificadas, tal es el caso de las formaciones Polier, Santa Teresa, Carmita y el

Miembro Sumidero de la Formación Artemisa, unido a la presencia en algunos de estos cortes de intercalaciones arcillosas a provocado que a lo largo de toda la sierra tuvieran un mayor desarrollo los sistemas cabalgados respecto a otras unidades de la Cordillera de Guaniguanico, mostrando una elevada complejidad tectónica.

Los nappes de El Rosario pueden agruparse de Sur a Norte en nappe Peñas Blancas, La Caridad, Las Terrazas, Quiñones y Guajaibón (Pszczolkowski, 1994b, en Cobiella Reguera, et al., 2000). Dicho autor considera los nappes de El Rosario como sus elementos estructurales más notables y destaca el buzamiento general de estos hacia el Norte.

No se observan pliegues o éstos son mucho mayores en aquellas unidades en que sus capas presentan grandes espesores, tal es el caso de la Formación Cacarajícara, que presenta una yacencia monoclinial deformada y fallada en los (nappes Sierra Chiquita) de Pszczolkowski, (1978), en Cofiño Arada, (2002). Todo lo contrario se aprecia en las secuencias de las formaciones Polier y Santa Teresa (con estratificación laminada), que se presentan formando estructuras combinadas de pliegues y fallas de diferentes escalas, que influyen en gran medida en la distribución que presentan estas unidades en su parte oriental (Cofiño Arada, 2002).

En la Sierra del Rosario la presencia de fallas es un elemento muy importante y común, la mayoría de ellas han sido originadas durante el desplazamiento de todas las secuencias desde el Sur, apareciendo desde niveles microscópicos hasta sobrecorrimientos que pueden seguirse por el rumbo decenas de kilómetros (Cobiella Reguera, et al., 2000). Lentes de serpentinitas tectónicamente emplazados y brechas tectónicas se asocian con planos de sobrecorrimientos en toda el área. Otro elemento valioso en la tectónica lo constituye la presencia de varios tipos de melanges (Cobiella Reguera, 1998), originados por el movimiento de las masas hacia el Norte.

Los datos de la exploración petrolera, debido a la densidad de las perforaciones en el área, permiten distinguir el comportamiento y la posición de los distintos mantos en el subsuelo (López Rivera, et al., 1999, en Cofiño Arada, 2002).

Sin dudas un aspecto distintivo en la Sierra del Rosario lo es la presencia en su porción septentrional de secuencias de aguas someras pertenecientes a una plataforma carbonatada de edad Albiano – Cenomaniano (Formación Guajaibón), la cual presenta contactos tectónicos con las unidades que la rodean. La existencia de estas rocas contrasta con las del resto de Sierra del Rosario, siendo posible explicar su origen, según la hipótesis expresada por López, et al. (1996), en Cofiño Arada, (2002), que considera un origen similar para la misma, que los Knolls Pinar del Río y Jordan en las partes de aguas profundas del Sureste del Golfo de México, hipótesis con la cual coinciden los autores de este trabajo.

Un aspecto importante lo constituyen los límites meridionales y septentrionales de Sierra del Rosario. Su límite meridional ha funcionado como un sistema de fallas transcurrentes con desplazamientos siniestros que la ponen en contacto con la Depresión de los Palacios, mientras su límite septentrional está representado por un frente de sobrecorrimientos que la pone en contacto con la subzona Bahía Honda (que la sobrecorre); en dicho límite se han detectado indicadores cinemáticos que atestiguan además un desplazamiento sinistral de estas secuencias en un momento posterior a los cabalgamientos, originados a causa de la rotación horaria del stress principal y transformaciones en el régimen deformacional hacia el Eoceno Inferior parte alta (Cáceres, 1997, 1998, en Cofiño Arada, 2002). Los autores de este trabajo opinan que al parecer el sobrecorrimiento que colocó a la subzona Bahía Honda en una posición más septentrional respecto a la subzona Sierra del Rosario no ocurrió directamente por encima de las secuencias que hoy afloran en la misma, sino sobre otras que se encuentran desplazadas hacia el Este a consecuencia de los procesos transcurrentes siniestros desarrollados en el contacto entre ambas y que pudieran estar relacionadas con la ventana tectónica Martín Mesa.

En el caso de la zona de Falla Pinar se ha podido demostrar su evolución en el tiempo, a partir de la determinación de varias estructuras extendidas por todo su rumbo, desde un sistema transcurrente en sus inicios hasta funcionar como un sistema normal al final de su desarrollo (Cofiño Arada y Cáceres Govea, 2002), lo que atestigua los espesores de sedimentos interceptados en el pozo Candelaria 1 al

Sur de la zona de falla, pudiéndose pensar en desplazamientos verticales de más de 4 km (Cofiño Arada, 2002).

La estructura que hoy señala el escalón geomorfológico (Falla Pinar), es el elemento más septentrional de un sistema de fallas y se desvía hacia el Noreste del eje principal del sistema, al Este del elemento transversal que limita la subzona Sierra del Rosario (Fernández de Lara, et al., 2002, en Cofiño Arada, 2002).

Hacia el Este el sistema va perdiendo magnitud en su desplazamiento vertical debido al abandono de la dirección principal de los elementos más septentrionales llegando a atenuarse totalmente su reflejo producto del aumento de los espesores de cobertura ocurridos en el escalón transversal que limita al este el bloque Martín Mesa (Cofiño Arada, 2002).

De forma general, el sistema tectónico Pinar en la actualidad tiene un buzamiento subvertical hacia el Sur ( $70^{\circ}$  -  $80^{\circ}$ ) y se extiende en profundidad en el orden de 10 km, llegando a cortar la corteza continental (Fernández de Lara, et al., 2002, en Cofiño Arada, 2002).

Es muy característico encontrar restos de hidrocarburos en los planos de fallas, tanto inversas como normales, y además asociados con los sistemas de agrietamiento que se desarrollan en toda el área. La presencia de restos de hidrocarburos en los sistemas de grietas originadas durante la rotación horaria de los esfuerzos en la región, da elementos para sugerir que la migración ocurrió a finales de los movimientos que provocaron los cabalgamientos (Cofiño Arada, 2002) y posterior a estos que posibilitarían su acumulación en trampas estructurales, teniéndose al yacimiento Martín Mesa, presente al Este de la Sierra del Rosario como evidencia de esta posibilidad.



## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS.

### 2.1- Metodología de la investigación.

La metodología seguida en este trabajo consta de tres etapas, las cuales fueron concebidas para el desarrollo objetivo de la investigación (**Figura No 6**).

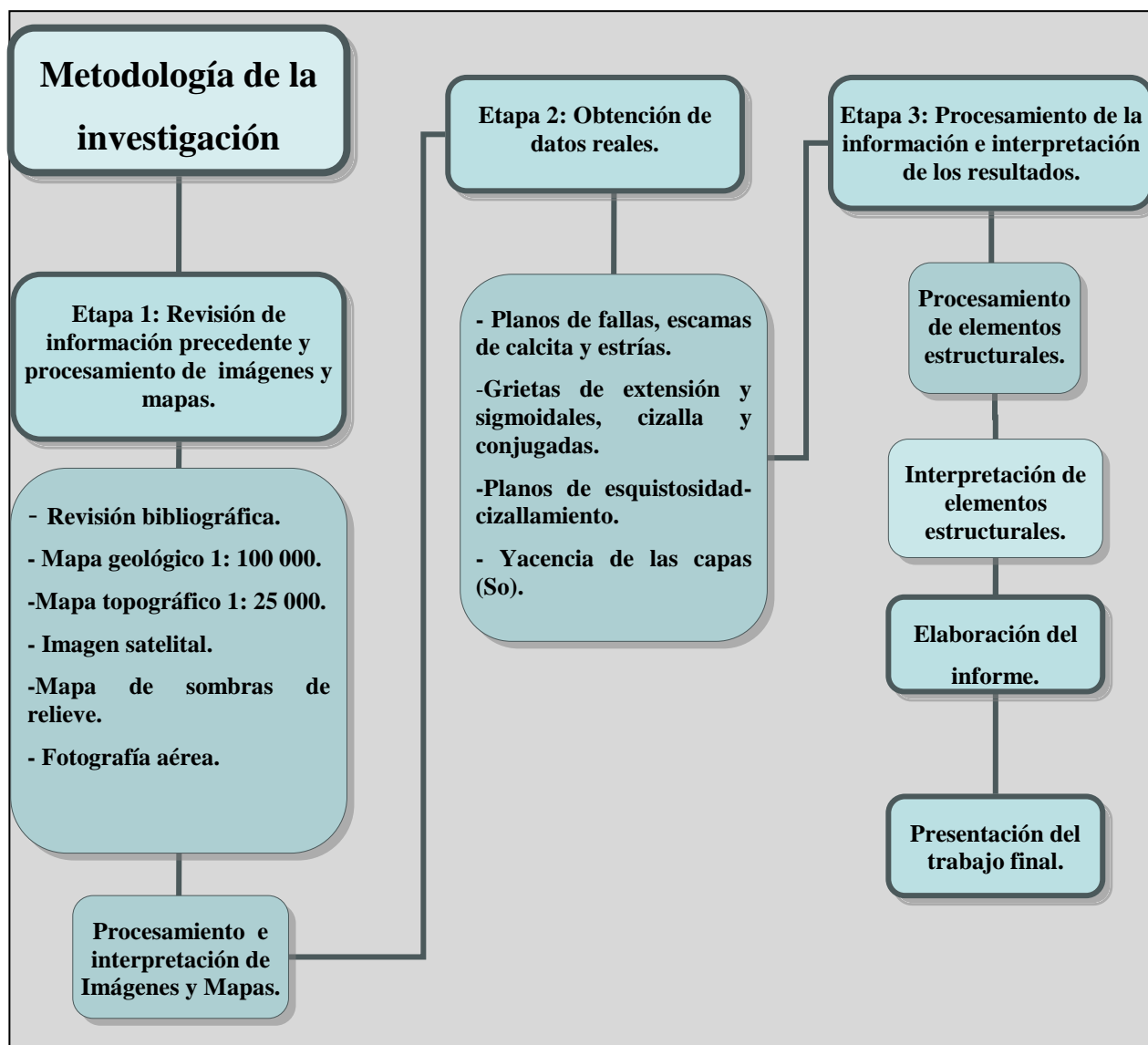


Figura No 6: Diagrama de flujo donde se muestra el orden metodológico con que se llevó a cabo esta investigación.

La investigación comienza con una etapa inicial dedicada a la revisión detallada de informes, artículos y otros documentos de interés referidos en el capítulo anterior, lo que ha sido posible gracias al acceso a informes en la empresa Geominera de Pinar del Río, Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), además de la información cedida por parte de los profesores del Departamento de Geología de la Universidad de Pinar del Río, lo cual ha servido para obtener una visión general de la geología de las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, así como la articulación entre las mismas. En esta etapa también se incluyó el análisis desde un punto de vista estructural, basado en la interpretación de la geomorfología del terreno de una imagen satelital, mapa de sombras del relieve y fotografías aéreas del área de trabajo, lo que permitió identificar posibles estructuras disyuntivas, facilitando la proyección de perfiles en la zona.

En la segunda etapa, se procedió a la realización de los trabajos de campo; las descripciones y medición de elementos estructurales a través de perfiles con puntos establecidos en relación a los afloramientos representativos, además fue seleccionado un sistema de puntos aislados distribuidos convenientemente según el interés del estudio a medida que se avanzó en el trabajo de campo.

La tercera etapa fue dedicada al procesamiento e interpretación de los datos reales obtenidos durante el trabajo de campo y la elaboración de la memoria escrita.

### **2.1.1- Etapa 1: Revisión de información precedente y trabajo con imágenes y mapas.**

Luego de una revisión exhaustiva de la literatura científica, artículos e informes del área, se trabajó en la interpretación de una imagen landsat que incluye todo el límite entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, que permitió obtener una idea regional de la estructura por toda su extensión, mediante el trazado de las linealidades estructurales presentes. La imagen satelital empleada es un compósito de color en tonalidades de verde, obtenido mediante la combinación de las bandas 3, 2 y 1, con una resolución espacial de 30 x 30 m de tamaño de pixel, utilizando el



Sistema de Información Geográfico (SIG) Ilwis 3.7, se emplea esta combinación, pues ella resalta muy bien los rasgos estructurales.

Posteriormente se procedió a la interpretación de un mapa de sombras del relieve en tonalidades de gris, del área seleccionada para el estudio. Fue escogido para realizar la interpretación este tipo específico de mapa, ya que en él se resaltan las zonas erosionadas (cañadas) y deprimidas que podrían constituir planos de debilidad tectónica afectados por procesos erosivos. Para la elaboración de dicho mapa se procesó en el software Surfer 8 la red de coordenadas X, Y, Z (Grid) de la zona; empleándose como parámetros el método de Diferencia Central para evitar distorsión de la imagen y como método de tonalidad el de Reflexión de Lambert; aplicando 2 como factor de escala vertical, para resaltar las elevaciones en los sectores mas llanos. Se decidió disponer un acimut de incidencia de la luz sobre el relieve de  $67.5^{\circ}$  para contribuir a resaltar las estructuras subparalelas y subperpendiculares a esta dirección. Sin embargo en el área estudiada se encuentran presentes algunos valles en los cuales el procedimiento anterior no brindaría grandes resultados, por lo que se procedió a la digitalización de la red hidrográfica por medio del software Autocad Map 2004, para la determinación de tramos rectos de ríos como criterio de presencia de posibles dislocaciones. Luego fue superpuesta la red hidrográfica sobre el mapa de sombras del relieve, procediéndose a resaltar las estructuras lineales observadas e interpretándolas por su orientación según el Modelo de Riedel.

Con el apoyo de técnicas de fotointerpretación como la presencia de escalones geomorfológicos y contactos, fue estudiada una fotografía aérea en la cual se incluye el mogote Pan de Guajaibón y sus alrededores, para la determinación de estructuras lineales de carácter local.

Como se puede apreciar, en la metodología, los autores parten en su trabajo de una escala regional, hasta llegar al régimen local, para evitar el desarrollo localista de la investigación, ya que las condiciones geológicas y estructurales imperantes en el área, pudieran extenderse a otros sectores del contacto estudiado.

### **2.1.2- Etapa 2: Etapa de obtención de datos reales.**

Para la localización en el terreno de las estructuras observadas en las imágenes analizadas y debido a que el objeto de estudio no es más que una estructura lineal definida por el contacto entre ambas subzonas fue dividido el trabajo estructural en dos sectores separados a una distancia de 9 Km a lo largo de la misma. El primero limitado a los alrededores de la localidad San Juan de Sagua, con una extensión territorial de 8 Km<sup>2</sup>, en el cual fueron proyectados tres perfiles. El primero a lo largo del río San Marcos, el segundo por el arroyo El Destino y el tercero por el río Las Vueltas aprovechando la mayor aflorabilidad que ofrecen estos cauces, siguiendo direcciones aproximadas de Sur a Norte perpendiculares a la estructura estudiada. En dicha localidad también fueron descritos puntos aislados aprovechando la buena aflorabilidad en el lugar.

En el segundo sector de estudio conocido como Rancho Canelo con una extensión territorial aproximada de 10 Km<sup>2</sup>, fueron proyectados perfiles como el de la Carretera de Rancho Canelo, Río del Medio y Camino de Rancho Canelo a Sumidero, así como puntos aislados distribuidos convenientemente. Fue imposible el trazado de más perfiles debido a la poca aflorabilidad por la abundancia de suelo y derrumbes provenientes de la erosión y disolución del Pan de Guajaibón y Sierra Chiquita.

En ambos sectores se describen gran cantidad de indicadores cinemáticos entre los cuales se destacan aquellos que evidencian un medio frágil, tales como sistemas de grietas de extensión y cizalla, cristales de intercrecimiento dentro de las grietas abiertas, planos de fallas con presencia de estriaciones y escamas de calcita, indicando su evolución en el tiempo; otros elementos característicos de un ambiente más dúctil como grietas sigmoidales en escalón y planos de esquistosidad-cizallamiento también fueron mapeados.

Para la ubicación de todos los datos reales obtenidos fue elaborado en el software Surfer 8 un mapa de puntos correspondiente a ambos sectores de estudio, superpuesto encima del mapa de contornos del relieve, al cual se le incluyó la red hidrográfica de la zona.

### **2.1.3- Etapa 3: Procesamiento de la información e interpretación de los resultados.**

Para una correcta interpretación de los datos obtenidos se decidió agrupar las mediciones que se encuentran dentro del Modelo de Riedel sinestral en cuanto a patrones de cercanía a las zonas de fallas principales.

El procesamiento se realizó con el apoyo del software Rockwork 2004, para la representación de las mediciones de cada punto de observación en las falsillas de Wulff, luego, a partir de este proceso se comenzó la interpretación de los resultados, clasificando las discontinuidades según su posición espacial dentro de un Modelo de Riedel sinestral, así como fue determinada la posición y variación del máximo stress compresivo en el tiempo. Además se llevó a cabo el análisis de fotografías de estructuras tomadas en el campo según el mismo modelo, determinando su cinemática compleja y evolución en el tiempo.

Tras obtener con el análisis realizado, las direcciones principales de las zonas de fallas detectadas, se procedió al trazado de las mismas a partir de la ubicación del mapa de datos reales encima del Modelo Digital del Terreno en 3D.

También se elaboró un mapa para establecer una relación del contacto entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda con manifestaciones de hidrocarburos en superficie y pozos perforados en las cercanías del mismo.

### **2.2- Breve definición del Modelo de Riedel.**

Las estructuras continuas y discontinuas relacionadas con fallas de desplazamiento por el rumbo guardan relaciones angulares y direcciones locales de acortamiento y estiramiento definidas por su posición respecto al campo de esfuerzos responsable de ellas (Rossello, 2001).

En particular, las estructuras discontinuas pueden describirse según los Modelos de Riedel que describen juegos con posiciones y cinemáticas inicialmente definidas a partir de modelos físico de tortas de arcillas dispuestas sobre bloques rígidos de un

basamento representativo que expresan un movimiento relativo horizontal, análogos a los sistemas transcurrentes (Cloos, 1928; Riedel, 1929, en Rossello, 2001).

De ese modo se reconocen Juegos Riedel o sintéticos, también reconocidos como  $R$  o  $R_1$ , que se disponen con ángulos siempre inferiores a  $45^\circ$  con respecto a la zona de cizallamiento que los genera, aunque habitualmente se disponen entre  $12^\circ$  y  $16^\circ$ . Juegos Anti-Riedel o antitéticos, reconocidos como  $R'$ ,  $R^*$  o  $R_2$ , que se disponen con ángulos siempre mayores a  $45^\circ$  respecto a la zona de cizallamiento principal que los genera, aunque generalmente se sitúan en torno a los  $78^\circ$ . Si se conjugan ambos Juegos, Riedel y Anti-Riedel, en un sistema conjugado con simetría ortorrómbica (Ramsay, 1977; Choukroune et al, 1987, en Rossello, 2001) siempre definirán en la bisectriz aguda la posición del esfuerzo principal máximo ( $\sigma_1$ ), por ende responsable de su formación y de la zona transcurrente que los contiene (Rossello, 2001) (**Figura No 7**).

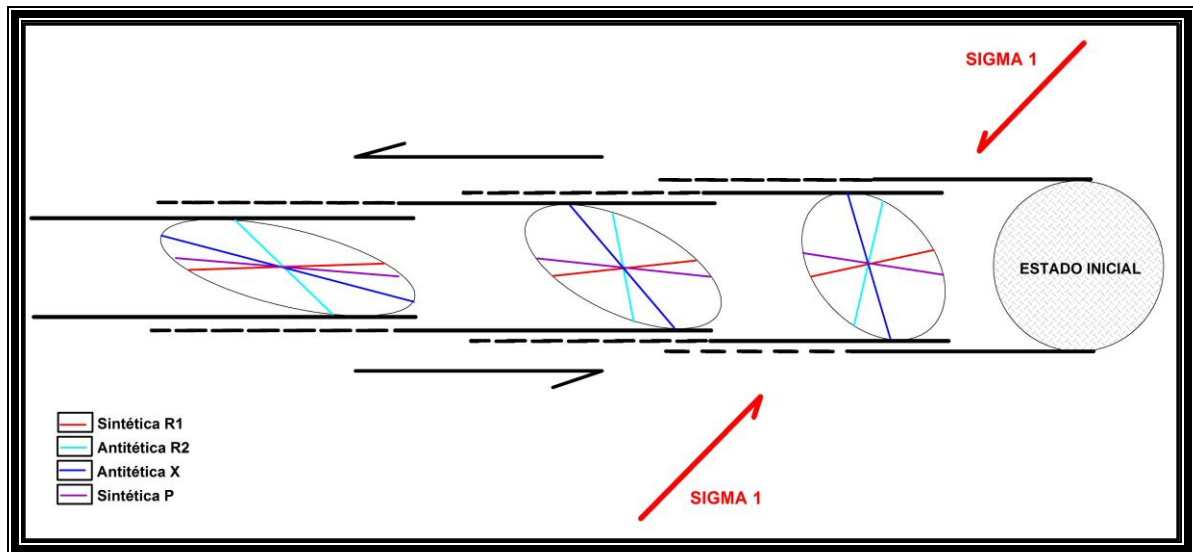
En sistemas transcurrentes más evolucionados o maduros, en los cuales ya se hayan generado Juegos Riedel primarios ( $R_1$ ) suele reconocerse con desarrollo subordinado otro juego de discontinuidades con cinemática sintética respecto a la faja transcurrente principal que los contiene, con relaciones angulares semejantes a los Juegos Riedel primarios, aunque con signo opuesto, denominadas Juegos P (Rossello, 2001) (**Figura No 7**).

De la misma manera pueden presentarse otras estructuras discontinuas subordinadas en sistemas transcurrentes bien desarrollados y de comportamiento frágil como Juegos X, complementarios de los Juegos Anti-Riedel y por lo tanto antitéticos en el límite superior del cuadrante distensivo y Juegos Y que expresan a escala subordinada la posición y cinemática de la faja mayor que genera y contiene todas las estructuras discontinuas de segundo orden (Rossello, 2001) (**Figura No 7**).

Naylor et al. (1986), en Rossello, (2001) describen la evaluación de los cizallamientos de Riedel  $R_1$  y  $R_2$  desarrollados como planos de deslizamiento de Coulomb con un esfuerzo principal máximo dispuesto a  $45^\circ$  con respecto a la discontinuidad principal. En un estadio más avanzado, los esfuerzos tienden a

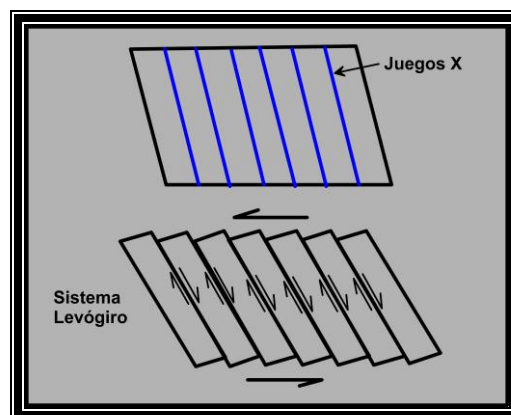


principal realizan una rotación horaria, tendiendo todas las estructuras a paralelizarse con la estructura controladora cizallante (**Figura No 8**).



**Figura No 8:** Evolución de estructuras disyuntivas presentes en una faja transcurrente sinistral con el campo de esfuerzo principal ubicado a 45° respecto al Norte.

El mecanismo seguido en el giro antihorario por estas estructuras es explicado a través de un sistema de levógiros o rotación de dominó en ejes verticales, los cuales son el resultado de bloques rotacionales en ejes verticales, que sufren desplazamientos dextrales entre ellos al encontrarse limitados por fallas transcurrentes de cinemática opuesta (Rossello, 2001) (**Figura No 9**).

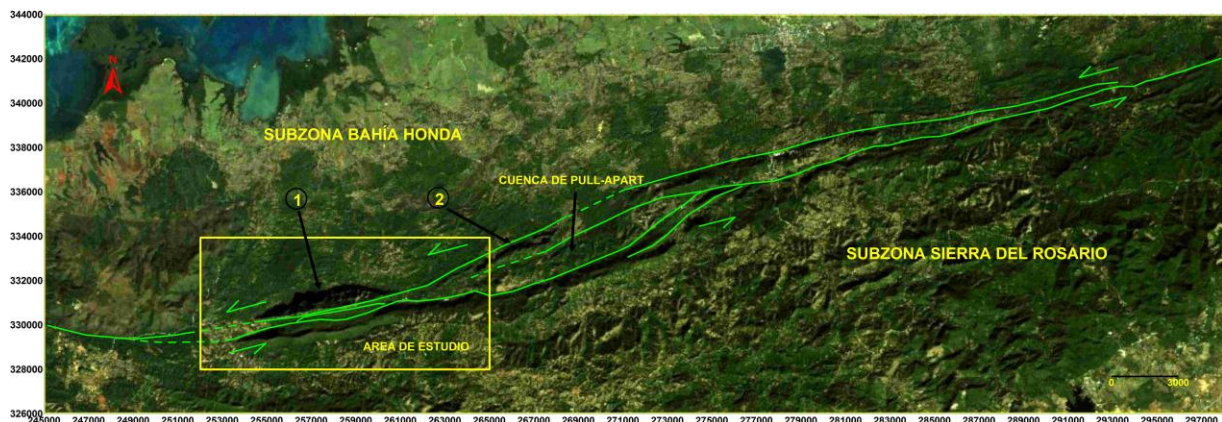


**Figura No 9:** Representación de un sistema de levógiro en Juegos X del Modelo de Riedel sinistral.

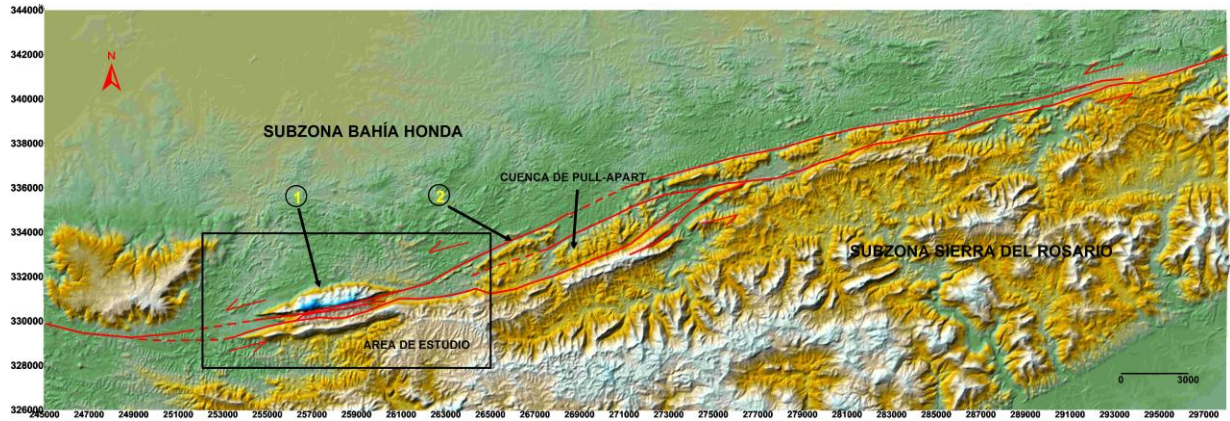
## 2.3- Interpretación de Imágenes Landsat, Mapas de sombras del relieve y fotos aéreas.

### 2.3.1- Interpretación de la imagen satelital:

La interpretación de la Imagen satelital arrojó como resultados un grupo de estructuras alineadas presentes en el relieve con dirección Oeste-Suroeste – Este-Noreste presentes en el contacto entre ambas subzonas (**Figura No 10**). El carácter rectilíneo que siguen estas estructuras hace que sean interpretadas como posibles discontinuidades con buzamiento vertical o subvertical de tipo fallas profundas de desplazamiento por el rumbo. Al Este del área se observa una zona hundida, limitada en su sección transversal por dos escalones geomorfológicos, la cual se extiende a lo largo del contacto por aproximadamente 15 km, que puede ser interpretada como una posible cuenca de Pull-Apart, generada por procesos transtensivos, provocados por pandeos o resaltos a lo largo de la estructura transcurrente. Según la dirección y la posición espacial de dicha cuenca, pueden suponerse desplazamientos sinestrales a lo largo de la faja limitada por las linealidades observadas. Al parecer los mogotes Pan de Guajaibón y la Sierra Azul, pertenecientes a la Formación Guajaibón, ubicados en ambos lados de uno de los posibles planos experimentan un desplazamiento transcurrente sinistral a lo largo del mismo (**Figura No 10**).





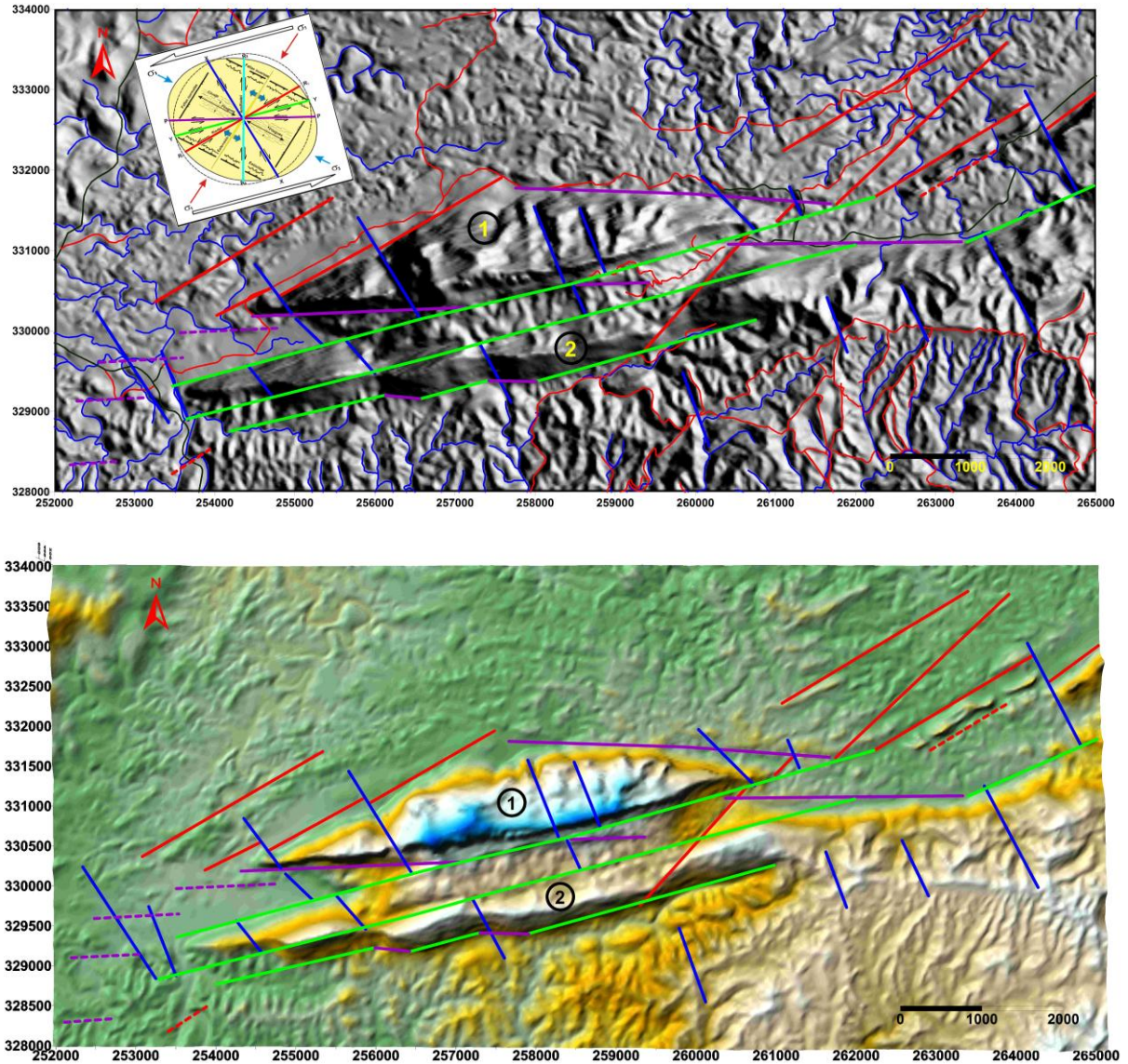


**Figura No 10: (Arriba)** Se representan sobre la imagen satelital en color verde las estructuras lineales con dirección Oeste-Suroeste – Este-Noreste que se distinguen en la Imagen Landsat. Señalada con una flecha se destaca una zona depresionada, interpretada como una Cuenca de Pull-Apart, limitada por escalones geomorfológicos al Norte y Sur de la misma. Los mogotes Pan de Guajabón y Sierra Azul aparecen representados por números 1 y 2 respectivamente. Encerrada en un cuadro al suroeste, se encuentra el área de estudio. Al Norte del contacto se encuentra la subzona Bahía Honda y al Sur Sierra del Rosario. (Abajo) Representación de las linealidades (rojo) en el Modelo Digital del Terreno en 3D.

### 2.3.2- Interpretación del mapa de sombras del relieve:

En el mapa de sombras del relieve se efectuó un análisis mediante el cual afloraron estructuras lineales trazadas a lo largo de zonas de sombras y tramos rectos de ríos las cuales fueron asociadas según su dirección y posición espacial a estructuras presentes dentro de un Modelo de Riedel sinestral ( $R_1$ , P, X y Y) (**Figura No 11**) como macroestructuras de yacencia vertical o subvertical dentro de la faja de desplazamiento principal. Se destacó la forma romboedal que presentan los contornos del mogote Pan de Guajabón, limitados por estas estructuras de carácter lineal. En la imagen resalta una zona depresionada entre el mogote Pan de Guajabón y la Sierra Chiquita en los bordes de la cual fueron detectadas linealidades enmarcadas en el mapa como estructuras de tipo Y. También se manifiesta un escalonamiento en la misma Sierra Chiquita interpretado como el resultado de la convergencia espacial entre estructuras P, X y Y (**Figura No 11**).





**Figura No 11: Mapa de Sombras del relieve confeccionado en el software Surfer 8. (Arriba) Se observan las linealidades interpretadas sobre el mapa, los colores representan diferentes tipos de estructuras principales, primarias y secundarias del Modelo de Riedel sinistral según su dirección. En rojo se presentan las estructuras interpretadas como primarias sintéticas  $R_1$ , en violeta y azul las fracturas interpretadas como secundarias sintéticas y antitéticas P y X respectivamente, Al color verde se asocian las lineaciones que siguen la dirección de la faja principal cizallante que en el Modelo de Riedel son denominadas como Y. En líneas discontinuas son representados los tramos rectos de ríos. El mogote Pan de Guajabón y la Sierra Chiquita se representan con 1 y 2 en ese orden. (Abajo) Representación de las linealidades en el Modelo Digital del Terreno en 3D**

### 2.3.3- Interpretación de fotografía aérea:

En el análisis de la foto aérea resaltó la textura rugosa, típica de ambientes donde se desarrollan fenómenos cársicos de superficie. Se determinaron estructuras lineales de yacencia abrupta dentro del mogote Pan de Guajaibón, las cuales siguen direcciones Oeste-Suroeste - Este-Noreste paralelas a la pared Sur del mogote, a su vez se distingue una serie de dolinas colapsadas al Norte de la pared y alineadas en dicha dirección, al parecer como resultado de procesos cársicos al percolar el agua al interior de estas fracturas (**Figura No 12**).

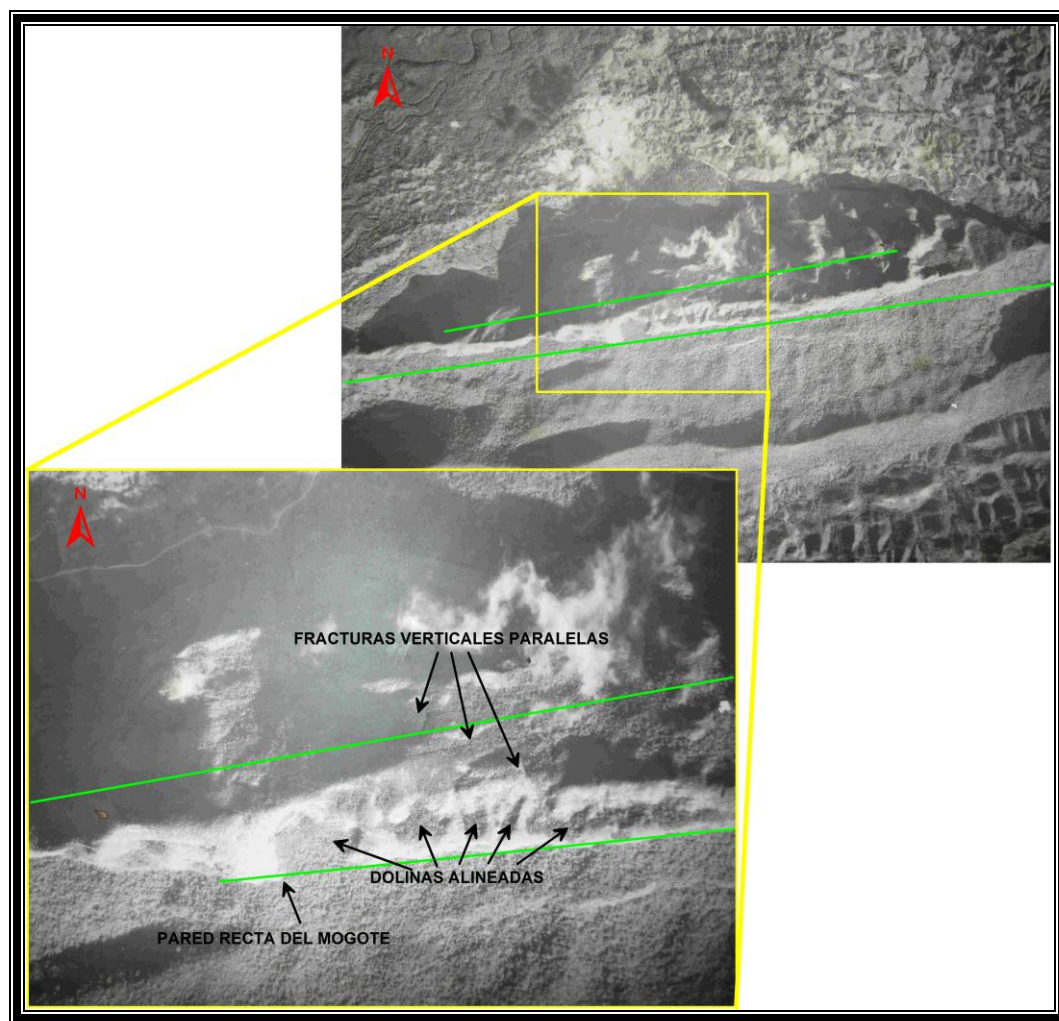
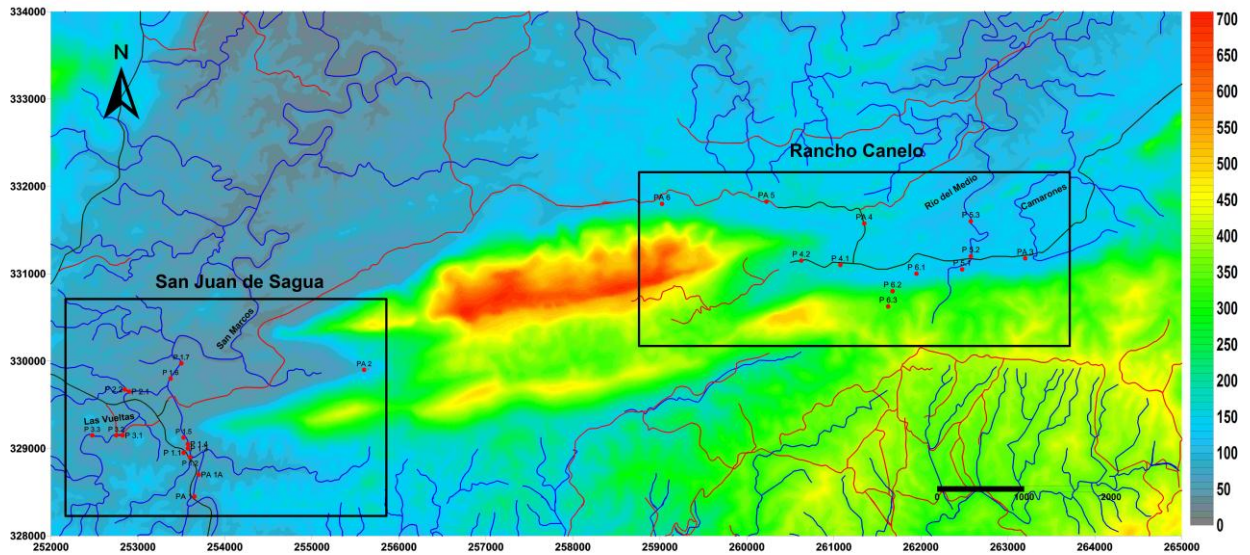


Figura No 12: Foto aérea con una sección ampliada del mogote Pan de Guajaibón. Se muestran fracturas verticales paralelas a la pared Sur del mogote en color verde, así como dolinas alineadas en la misma dirección.



## 2.4- Descripción geólogo - estructural del área de trabajo.

El área de trabajo se enmarca en dos sectores, San Juan de Sagua y Rancho Canelo (**Figura No 13**).



**Figura No 13:** Mapa de datos reales, agrupados en los sectores San Juan de Sagua (Oeste) y Rancho Canelo (Este). Elaborado en el software Surfer 8 donde aparecen la red hidrográfica y los contornos del relieve.

### 2.4.1- Perfiles y puntos aislados realizados en el sector San Juan de Sagua.

#### 2.4.1.1- Perfil Geólogo-Estructural 1. Río San Marcos.

El perfil comienza en un talud localizado al Sur de la carretera de montaña San Cristóbal – La Palma a unos 50 m después del puente antes de llegar al poblado de San Juan de Sagua.

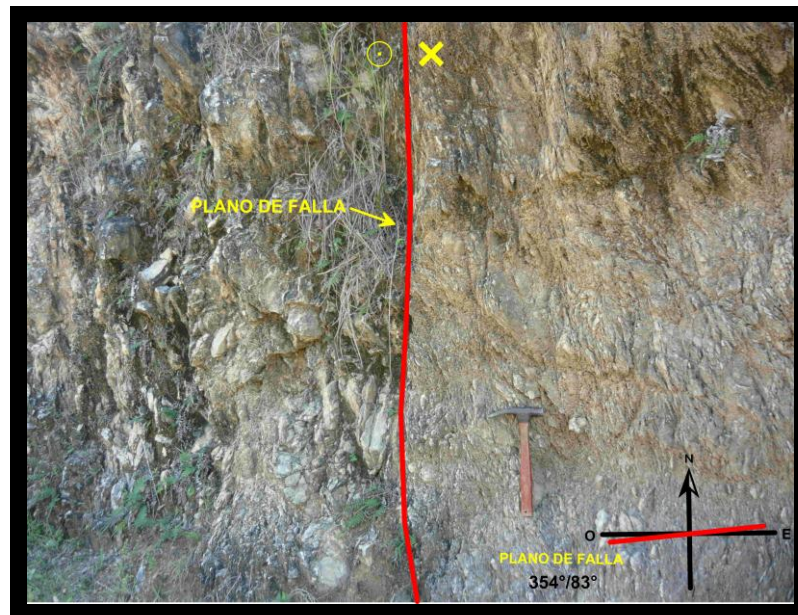
**Punto 1.1.** Coordenadas: X: 253 525; Y: 328 950. Rumbo del afloramiento: 025°. En el afloramiento se distinguen calizas gris oscuro, estratificadas con espesores de hasta 20 cm, intercaladas con areniscas de color gris, grano medio con espesores similares. (Formación Polier). Yacencia predominante de las capas  $S_0$  025°/69°.

A lo largo del rumbo del afloramiento se distinguen tres zonas, con diferente grado de tectonismo, las cuales van de Sur a Norte aproximadamente a lo largo del

escarpe; de mayor a menor grado de afectación y separadas por planos de desplazamiento con direcciones próximas al Este - Oeste, con yacencia vertical.

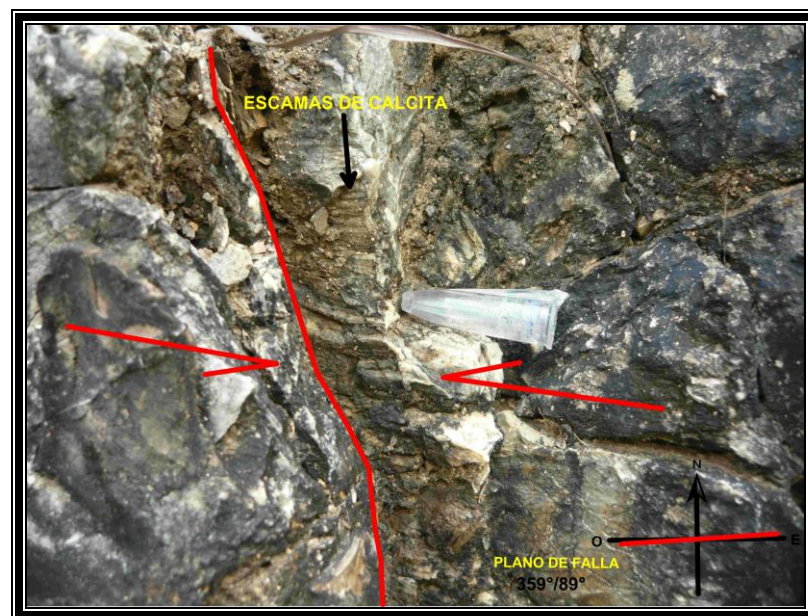
**Zona 1 (Sur):** Largo 4,5 m. Se observan estructuras con textura esquistosa milonitizada con bloques rígidos de caliza y arenisca en su interior. Ocurre además el desarrollo de escamas y estrías presentes en los planos verticales mostrando desplazamientos sinestrales. También estos planos funcionan como planos C controladores de planos S, los cuales corroboran estos desplazamientos.

Separando las zonas 1 y 2 se distingue uno de dichos planos (**Foto No 1**) con acimut  $354^{\circ}/83^{\circ}$  y un ángulo de estrías respecto a un plano horizontal de  $6^{\circ}$  hacia el Este (vector de deslizamiento lineal o slip linear), transicionando a movimientos subverticales normales posteriores con inclinación de las estrías  $77^{\circ}$  también hacia el Este.



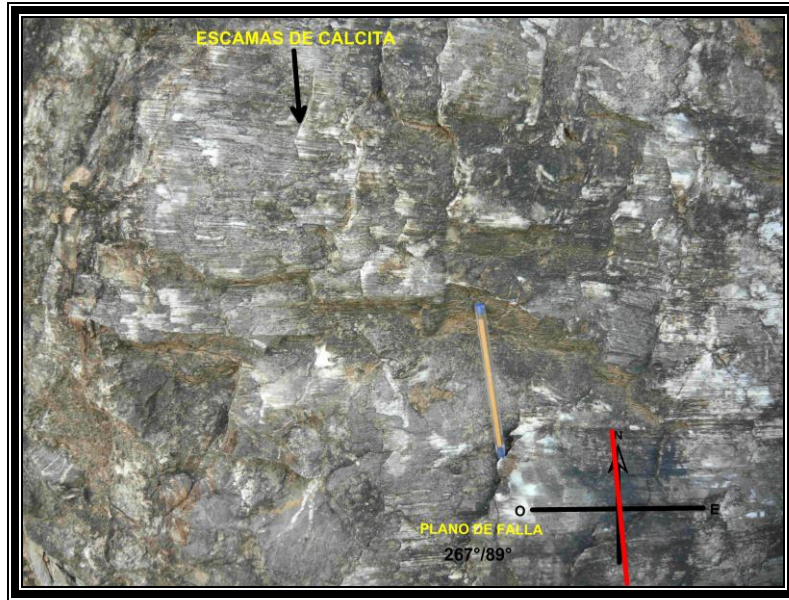
**Foto No 1:** Muestra el contacto entre las Zonas 1 y 2 en un talud, dicho contacto aparece como un plano vertical con dirección próxima al Este - Oeste y desplazamiento sinistral comprobado a partir de la presencia en el mismo de estrías y escamas de calcita, al centro de la fotografía, nótese el alto grado de tectonismo y milonitización a la Zona 1 (derecha del plano) en toda la cual pueden observarse planos de esquistosidad - cizallamiento (S - C) y pequeños pliegues de charnelas muy agudas en todas direcciones (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río San Marcos.

**Zona 2:** Largo 3,5 m. El grado de tectonismo disminuye, pueden distinguirse capas de calizas muy foleadas intercaladas con areniscas agrietadas. El plano de separación entre las zonas 2 y 3 es una falla transcurrente siniestra con acimut  $359^{\circ}/89^{\circ}$  (**Foto No 2**). En el mismo se distinguen escamas y estrías que evidencian dicho desplazamiento. Este plano intercepta una falla de acimut  $267^{\circ}/89^{\circ}$  con desplazamiento diestro la cual se observa muy bien ya que su dirección coincide con la del talud y exponiendo escamas de calcita que muestran movimientos dextrales muy bien desarrolladas con ángulo de  $20^{\circ}$  hacia el Sur respecto a un plano horizontal (**Foto No 3**), siendo una posible dislocación generada a partir de avances diferenciales dentro de un mismo manto cabalgado hacia el norte.



**Foto No 2:** Plano de falla con yacencia vertical con dirección cercana al Este - Oeste y desplazamiento sinistral bien representado a través de escamas de calcita y estriaciones. Zona 2 (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río San Marcos.





**Foto No 3:** Muestra escamas de calcita con desplazamiento dextral en un plano con rumbo próximo al Sur - Norte (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río San Marcos.

**Zona 3:** Largo 6 m. Se observa mucho menos afectada, pudiéndose distinguir incluso los estratos. Se distinguen varias direcciones de fractura que van desde pequeñas fallas (inversas) cuyos planos buzcan  $300^{\circ}/50^{\circ}$  en los cuales se destacan estrías con  $16^{\circ}$  hacia el Suroeste con respecto a un plano horizontal, esta es cortada por fallas transcurrentes siniestras  $352^{\circ}/81^{\circ}$  (**Foto No 4**) y  $190^{\circ}/87^{\circ}$  y ángulo de movimiento respecto al plano de  $12^{\circ}$  y  $29^{\circ}$  hacia el Este respectivamente, observándose en la segunda una transición en la dirección del escamamiento de  $29^{\circ}$  (transcurrente) a  $50^{\circ}$  (normal) (**Foto No 5**).

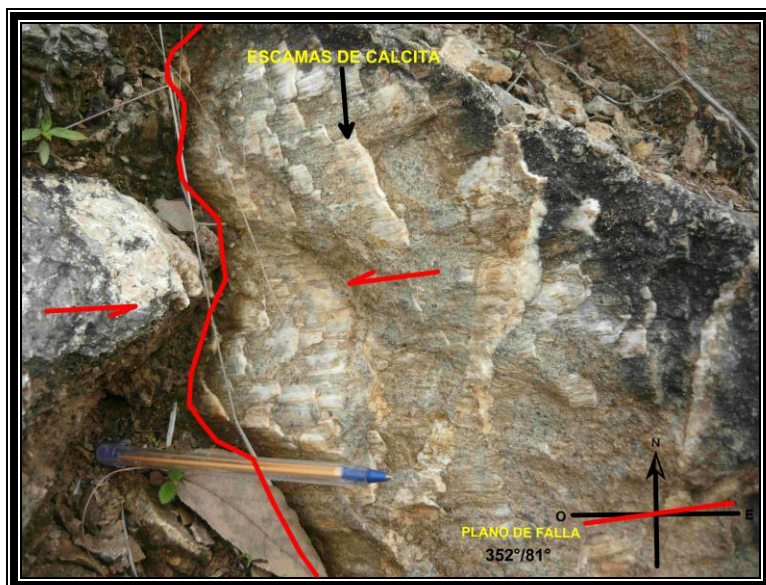


Foto No 4: Muestra un plano de falla vertical con dirección entre el Este-Noreste – Oeste-Suroeste y Este - Oeste la presencia de escamas de calcita como evidencia de los desplazamientos sinestrales sufridos por el mismo en la Zona 3 (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río San Marcos.

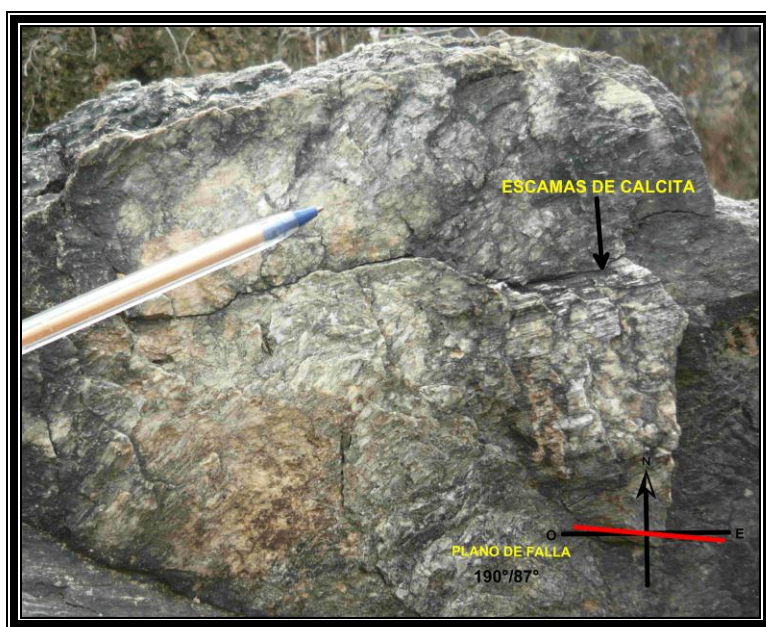


Foto No 5: Plano de Falla. Escamas de calcita generadas por desplazamientos normales con cierta componente horizontal, superpuestas sobre otras generadas a partir de desplazamientos transcurrentes sinestrales con componente vertical (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río San Marcos.

Fueron detectadas estrías y escamas que indican desplazamiento diestro en varios planos  $242^{\circ}/78^{\circ}$ ;  $220^{\circ}/64^{\circ}$ ;  $244^{\circ}/81^{\circ}$ , los cuales afectan a otro sistema de fallas también dextral  $287^{\circ}/81^{\circ}$ ,  $287^{\circ}/68^{\circ}$ . Estas podrían ser el resultado de evolución de sistemas X y R<sub>2</sub> respectivamente. Estos se encuentran siempre cortados por los planos sinestrales principales con direcciones cercanas al Este - Oeste.

Al Suroeste del talud a unos 10 m encontramos una pequeña elevación de 2 m de altura donde se observan calizas negras con abundante presencia de bitumen intercaladas con areniscas (Formación Polier), al parecer coincide con la Zona 1 debido al alto grado de tectonismo. Se encuentran presentes indicadores cinemáticos que evidencian deformaciones dúctiles como estructuras de esquistosidad-cizallamiento (planos S y C) ajustados a un desplazamiento siniestro (**Fotos No 6, 7 y 8**) con buzamientos  $358^{\circ}/84^{\circ}$ ;  $343^{\circ}/86^{\circ}$ ;  $009^{\circ}/85^{\circ}$  respectivamente en planos C, así como microfallas  $360^{\circ}/80^{\circ}$ ;  $002^{\circ}/72^{\circ}$  sinestrales. Recorriendo el lugar hacia el Suroeste unos 40 m encontramos estructuras similares (**Tabla 1**).

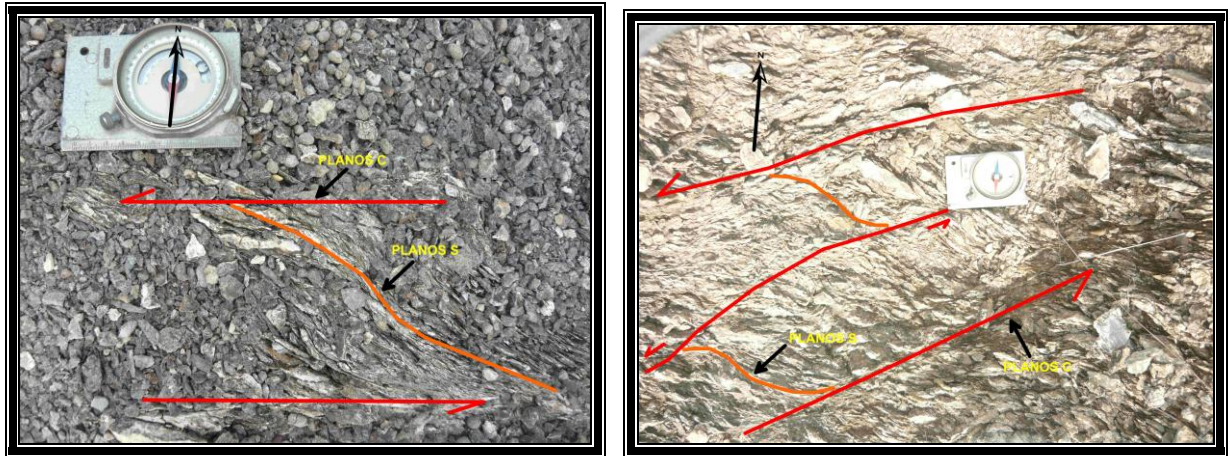
**Tabla 1:** Datos de mediciones de planos C de estructuras de esquistosidad - cizallamiento en el punto1 del perfil 1.

---

$355^{\circ}/90^{\circ}$	$357^{\circ}/89^{\circ}$	$022^{\circ}/85^{\circ}$	$014^{\circ}/88^{\circ}$	$013^{\circ}/83^{\circ}$	$008^{\circ}/90^{\circ}$	$002^{\circ}/90^{\circ}$	$025^{\circ}/81^{\circ}$	$003^{\circ}/81^{\circ}$
$027^{\circ}/84^{\circ}$	$015^{\circ}/87^{\circ}$	$010^{\circ}/89^{\circ}$	$028^{\circ}/80^{\circ}$	$012^{\circ}/85^{\circ}$	$018^{\circ}/83^{\circ}$	$360^{\circ}/90^{\circ}$	$001^{\circ}/88^{\circ}$	

---





Fotos No 6 y 7: Vista en planta donde se pueden distinguir planos de esquistosidad - cizallamiento (S-C) sinestrales con direcciones entre Oeste-Suroeste – Este-Noreste y Este - Oeste (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río San Marcos.

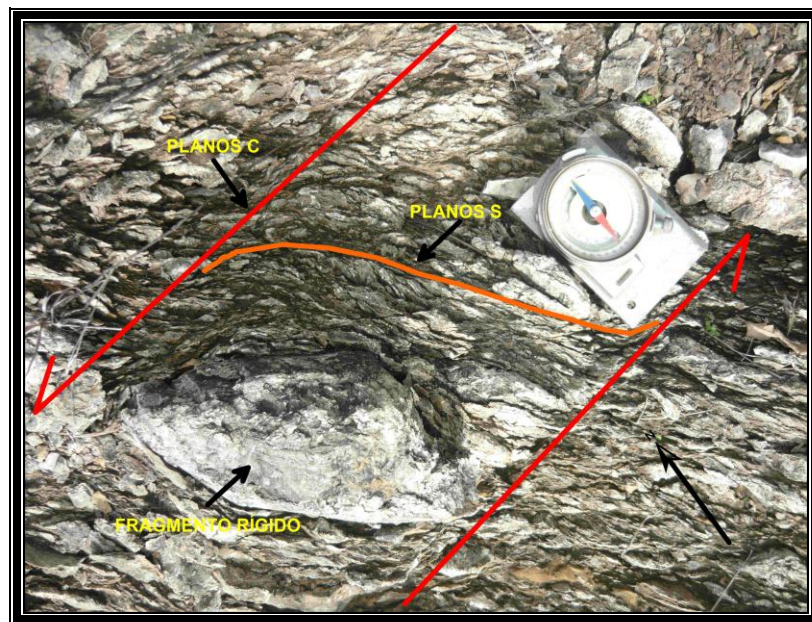


Foto No 8: Vista superior en la cual se observan planos de esquistosidad - cizallamiento sinestrales con direcciones próximas al Este - Oeste, dentro del cual se encuentra un fragmento rígido rotado de un estrato de arenisca (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río San Marcos.

En este recorrido transversal a la zona afectada fue mapeado otro plano de falla sinistral  $025^{\circ}/82^{\circ}$  y ángulo de las estrías respecto a un plano horizontal  $21^{\circ}$  hacia el Este.

**Punto 1.2.** Caminando hacia el Este 75 m. Coordenadas X: 253 600; Y: 328 900. En un pequeño corte erosionado en la ladera Oeste del Río San Marcos se observan intercalaciones de calizas de color gris con areniscas cuarzosas de grano medio, ambas con espesores entre 5 y 15 cm (Formación Polier).

Se observan microfallas constituyendo planos de tipo C de estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinistral  $010^{\circ}/74^{\circ}$ ;  $003^{\circ}/87^{\circ}$  y  $005^{\circ}/83^{\circ}$ . Además de detectarse desplazamientos dextrales a través de estructuras muy similares:  $078^{\circ}/76^{\circ}$ .

**Punto 1.3.** Después de caminar 100 m Coordenadas X: 253 575; Y: 329 000. Calizas estratificadas de color gris a gris oscuro con granos finos con espesores de 5 a 15 cm, con algunos lentes de pedernal de color negro con pequeñas intercalaciones argiláceas, (Formación Polier). El corte avanza a pedernales de color verdoso estratificados de hasta 15 cm de espesor e intercalados con argilitas de 1 a 3 cm (Formación Santa Teresa). A continuación se encuentran calizas de color gris oscuro con espesores de hasta 15 cm intercaladas con pedernales de color negro cuyos espesores no exceden los 10 cm (Formación Carmita). A 5 m se observan brechas calcáreas con clastos de pedernal de 5 a 30 cm de longitud (Formación Cacarajícara).  $S_0$   $001^{\circ}/86^{\circ}$  y  $008^{\circ}/76^{\circ}$ . Longitud del afloramiento 30 m.

En el afloramiento ocurre la convergencia de varias microfallas transcurrentes sinistralas con direcciones que varían desde el Noreste-Suroeste a Este-Noreste - Oeste-Suroeste, las cuales se observan desplazados por sistemas dextrales con dirección Noroeste-Sureste, cortando ambas algunas grietas de cizalla con direcciones Noroeste-Sureste y Norte-Sur. La mayoría de las grietas con direcciones Noreste -Suroeste a Este - Oeste poseen pequeños desplazamientos sinistralas

**Tabla 2:** Datos de mediciones de grietas de cizalla en el punto 3 del perfil 1.

---

245°/80°	332°/88°	140°/85°	125°/82°	037°/88°	325°/78°	132°/83°	123°/83°	090°/80°
068°/70°	230°/86°	265°/66°	320°/68°	161°/80°	146°/71°	161°/79°	298°/79°	142°/81°
144°/66°	161°/81°	150°/81°	354°/74°	334°/84°	270°/78°	074°/60°	073°/75°	095°/73°
040°/83°	355°/87°	169°/89°	341°/73°	333°/69°	332°/77°	348°/75°	323°/76°	333°/75°
026°/73°	057°/82°	069°/80°	154°/73°	330°/80°	056°/80°	059°/85°	282°/73°	085°/73°
080°/88°	070°/87°	235°/80°	036°/81°	332°/82°	230°/84°	260°/84°	218°/82°	228°/75°
295°/62°	250°/70°	074°/80°	082°/81°	225°/82°	090°/69°	345°/67°		

---

**Tabla 3:** Datos de mediciones de microfallas diestras en el punto 3 del perfil 1.

---

033°/88°	043°/67°	075°/85°	237°/88°	222°/71°	043°/84°	090°/75°	278°/67°	235°/69°
279°/79°								

---

**Tabla 4:** Datos de mediciones de microfallas siniestras el punto 3 del perfil 1.

---

149°/75°	148°/79°	315°/75°	345°/76°	165°/80°	150°/80°	152°/86°	310°/80°	344°/84°
012°/84°	355°/77°	112°/75°						

---

**Punto 1.4.** Caminando durante 50 m. Coordenadas: X: 253 575; Y: 329 050. Continúan observándose las secuencias de la Formación Cacarajícara, disminuyendo la gradación granulométrica hasta clastos inferiores hasta los 2 cm. S<sub>0</sub> 007°/80°.

En este punto se pueden observar grietas de extensión sigmoidales y en escalón 069°/75°; 065°/68°; 061°/78° y 078°/78°, dirección del escalonamiento con desplazamiento sinistral 011° (**Foto No 9**), dirección de cristales dentro de las grietas 055°, otras vetas escalonadas 256°/61°; 254°/72°; 254°/75° con dirección de

escalonamiento  $022^\circ$ , estas son desplazadas por fracturas con pequeños desplazamientos sinestrales:  $123^\circ/45^\circ$  y  $135^\circ/52^\circ$  (**Foto No 10**), como evidencia del giro horario del máximo stress compresivo. Otras direcciones de escalonamiento:  $020^\circ$ ,  $008^\circ$ ,  $023^\circ$  y  $025^\circ$ .

**Tabla 5:** Datos de mediciones de grietas de cizalla punto 4 del perfil 1.

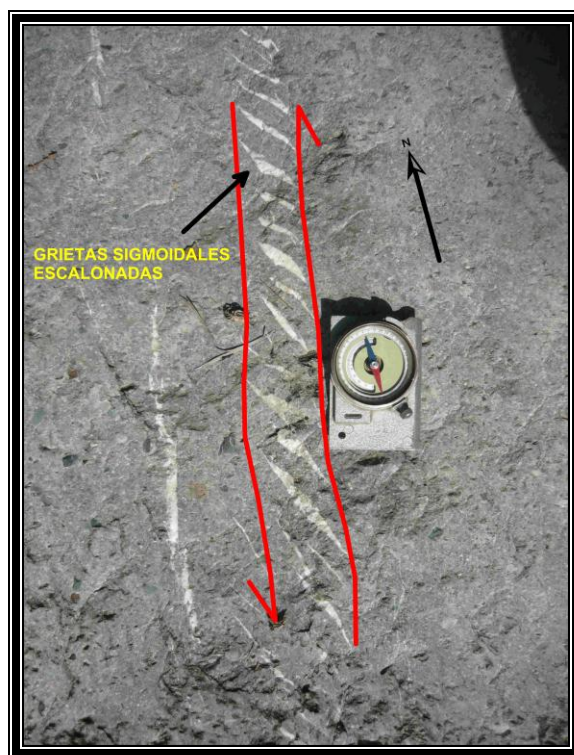
---

$105^\circ/79^\circ$	$276^\circ/81^\circ$	$277^\circ/75^\circ$	$020^\circ/69^\circ$	$018^\circ/80^\circ$	$296^\circ/85^\circ$	$115^\circ/78^\circ$	$025^\circ/77^\circ$	$300^\circ/50^\circ$
$155^\circ/63^\circ$	$290^\circ/70^\circ$	$270^\circ/68^\circ$	$280^\circ/83^\circ$	$070^\circ/74^\circ$	$276^\circ/63^\circ$			

---

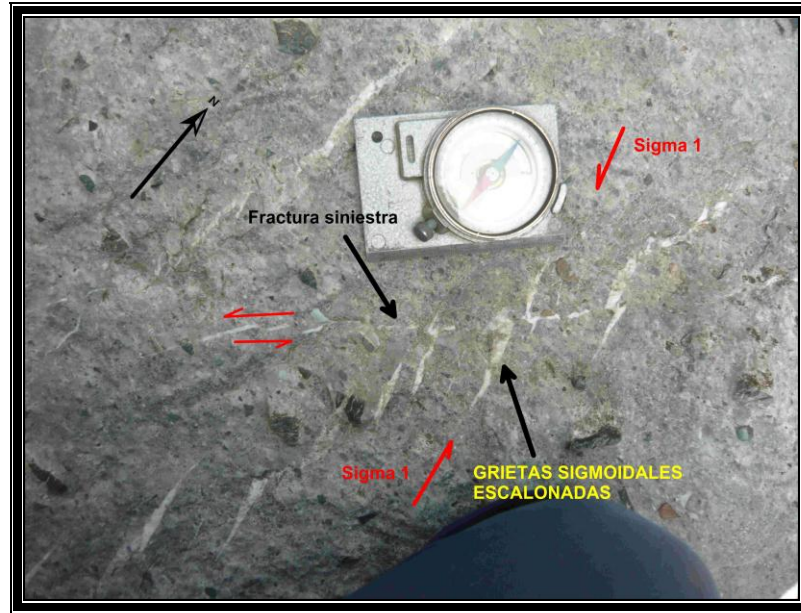
Grietas de extensión:  $096^\circ/81^\circ$ ;  $219^\circ/76^\circ$ ;  $265^\circ/62^\circ$ ;  $097^\circ/68^\circ$ ;  $268^\circ/78^\circ$  y  $095^\circ/79^\circ$ .

Se observa una estructura de esquistosidad - cizallamiento sinistral  $315^\circ/75^\circ$ ; una microfalla con desplazamiento sinistral con  $280^\circ/77^\circ$  y otra dextral con  $080^\circ/76^\circ$ .



**Foto No 9:** Grietas de extensión sigmoidales en escalón con dirección Noroeste en los límites de las cuales se genera un sistema transcurrente siniestro con rumbo próximo al Norte - Sur (Formación Cacarajícara). Punto 4 del perfil Río San Marcos.





**Foto No 10:** Grietas de extensión sigmoidales escalonadas, desplazadas por una pequeña fractura sinistral en rocas de la Formación Cacarajícara. Punto 4 del perfil Río San Marcos.

**Punto 1.5.** Prosiguiendo la marcha a 100 m del punto anterior. Coordenadas X: 253 525; Y: 329 125. A lo largo del río se encuentran calcarenitas de grano grueso y color gris claro, masivas (Formación Cacarajícara).

Grietas de cizalla medidas  $116^{\circ}/77^{\circ}$ ;  $095^{\circ}/82^{\circ}$  y  $240^{\circ}/66^{\circ}$ .

**Tabla 6:** Datos de mediciones de grietas de extensión en el punto 5 del perfil 1.

244°/83°	240°/76°	239°/71°	239°/66°	112°/41°	094°/30°	130°/45°	253°/65°	311°/67°
325°/63°	303°/64°	096°/68°	240°/66°	250°/74°	264°/81°	309°/61°		

Rumbo de planos C de estructuras esquistosidad - cizallamiento sinistral  $322^{\circ}/85^{\circ}$ ,  $309^{\circ}/89^{\circ}$ ;  $311^{\circ}/88^{\circ}$ ;  $318^{\circ}/86^{\circ}$ ;  $330^{\circ}/85^{\circ}$  y  $325^{\circ}/87^{\circ}$ .

Microfalla inversa:  $089^{\circ}/34^{\circ}$  con rumbo del movimiento  $236^{\circ}$ .

Falla transcurrente diestra con componente vertical  $096^{\circ}/64^{\circ}$ , con dirección del movimiento  $200^{\circ}$  y un ángulo de las escamas respecto a un plano horizontal  $28^{\circ}$  hacia el Norte.

**Punto 1.6.** Río abajo, 275 metros después. Coordenadas: X: 253 375; Y: 329 800. Llegamos a la unión entre los ríos Sagua y Las Vueltas y 100 m después, también río abajo afloran brechas calcáreas con clastos de pedernal de 1 a 5 cm de color negro. Entre las brechas se encuentran estratos de calizas intercaladas con estratos de pedernal negro de yacencia  $325^{\circ}/60^{\circ}$  (Formación Cacarajícara).

Se observan desplazamientos transcurrentes sinestrales en planos de fallas, determinados por escamas de calcita  $341^{\circ}/78^{\circ}$ ;  $003^{\circ}/86^{\circ}$  y  $192^{\circ}/82^{\circ}$ .

**Tabla 7:** Datos de mediciones de grietas de cizalla en el punto 6 del perfil 1.

---

$195^{\circ}/85^{\circ}$	$120^{\circ}/50^{\circ}$	$080^{\circ}/70^{\circ}$	$215^{\circ}/68^{\circ}$	$280^{\circ}/66^{\circ}$	$227^{\circ}/35^{\circ}$	$005^{\circ}/73^{\circ}$	$050^{\circ}/53^{\circ}$	$348^{\circ}/83^{\circ}$
$165^{\circ}/70^{\circ}$	$207^{\circ}/43^{\circ}$	$007^{\circ}/86^{\circ}$	$035^{\circ}/80^{\circ}$	$145^{\circ}/30^{\circ}$	$077^{\circ}/82^{\circ}$	$223^{\circ}/72^{\circ}$	$045^{\circ}/73^{\circ}$	$210^{\circ}/89^{\circ}$

---

**Punto 1.7.** Siguiendo por el río a 225 m en un meandro pronunciado. Coordenadas: X: 253 500; Y: 329 975. Encontramos calizas de color gris, masivas muy agrietadas (Formación Guajaibón).

**Tabla 8:** Datos de mediciones de grietas de cizalla en el punto 6 del perfil 1.

---

$301^{\circ}/62^{\circ}$	$018^{\circ}/77^{\circ}$	$055^{\circ}/58^{\circ}$	$340^{\circ}/68^{\circ}$	$231^{\circ}/60^{\circ}$	$009^{\circ}/56^{\circ}$	$009^{\circ}/59^{\circ}$	$020^{\circ}/84^{\circ}$	$212^{\circ}/79^{\circ}$
$032^{\circ}/69^{\circ}$	$145^{\circ}/48^{\circ}$	$125^{\circ}/45^{\circ}$	$182^{\circ}/75^{\circ}$	$167^{\circ}/84^{\circ}$	$165^{\circ}/50^{\circ}$	$153^{\circ}/73^{\circ}$	$160^{\circ}/71^{\circ}$	$127^{\circ}/82^{\circ}$
$193^{\circ}/71^{\circ}$	$170^{\circ}/62^{\circ}$	$131^{\circ}/86^{\circ}$	$102^{\circ}/76^{\circ}$	$360^{\circ}/83^{\circ}$	$269^{\circ}/75^{\circ}$	$257^{\circ}/63^{\circ}$	$245^{\circ}/62^{\circ}$	$029^{\circ}/57^{\circ}$
$167^{\circ}/74^{\circ}$	$221^{\circ}/81^{\circ}$	$306^{\circ}/68^{\circ}$	$185^{\circ}/83^{\circ}$	$057^{\circ}/56^{\circ}$	$109^{\circ}/77^{\circ}$	$111^{\circ}/77^{\circ}$	$205^{\circ}/71^{\circ}$	$046^{\circ}/89^{\circ}$
$332^{\circ}/70^{\circ}$	$197^{\circ}/82^{\circ}$	$021^{\circ}/88^{\circ}$	$023^{\circ}/58^{\circ}$					

---

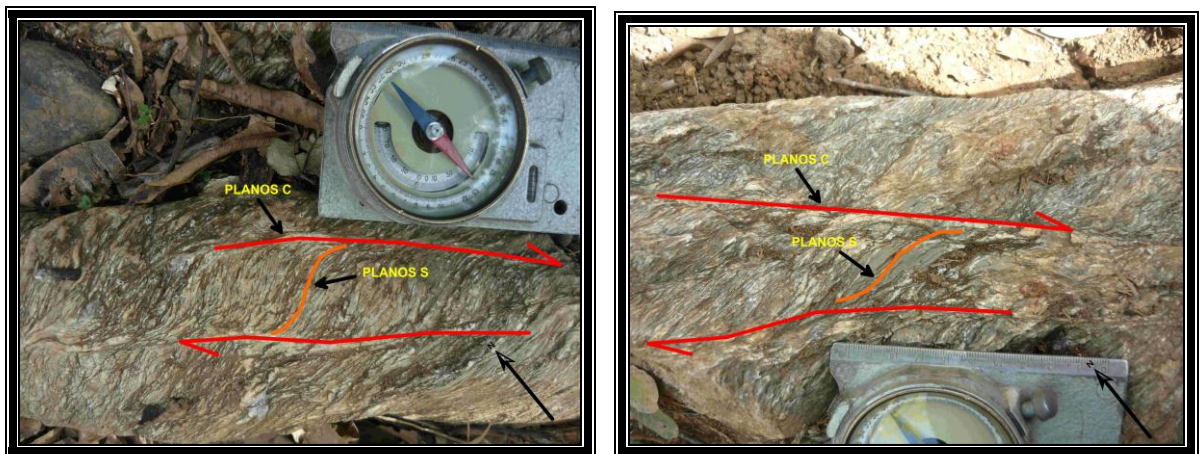
#### 2.4.1.2- Perfil Geólogo-Estructural 2. Arroyo El Destino.

**Punto 2.1.** Comienza 25 m al Este del entronque entre el arroyo El Destino y el río Las Vueltas. Coordenadas: X: 252 900; Y: 329 650. Se observan calcarenitas de color gris a gris oscuro, masivas (Formación Cacarajícara)

Dimensiones: En ambas laderas del río 10 m de largo y 10 m de ancho.

Se identifican grietas de extensión con dirección Norte-Sur cortadas por estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales con direcciones Este-Noreste – Oeste-Suroeste y grietas de extensión con direcciones próximas al Este - Oeste.

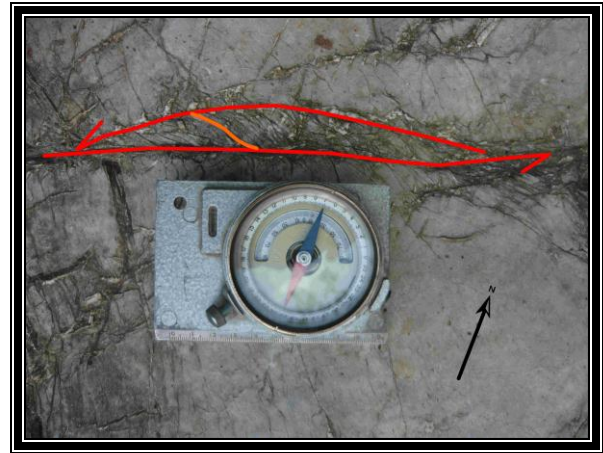
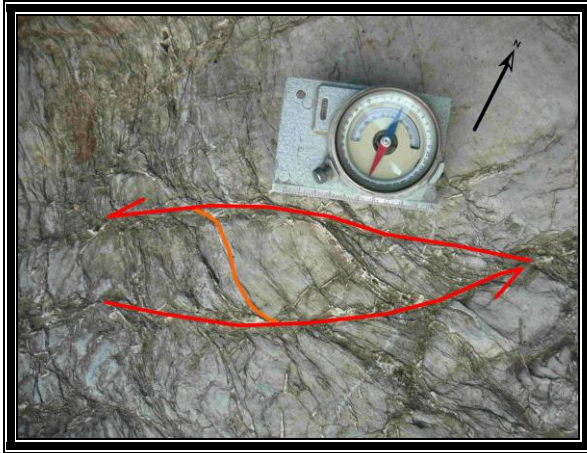
Fueron identificados planos de esquistosidad cizallamiento dextrales con direcciones Noroeste - Sureste (**Fotos No 11 y 12**), siendo estos los más significativos en el afloramiento, observándose una falla transcurrente diestra en dicha dirección, la cual posee una magnitud considerable con un ancho de la zona de tectonismo fuerte de 1.5 a 2 m, pudiéndose seguir por su rumbo en ambas laderas del río, Se pudiera tratar de una estructura de Riedel de tipo X asociada a los sistemas transcurrentes siniestros principales.



**Fotos No 11 y 12:** Vista superior de estructuras de esquistosidad - cizallamiento dextrales con direcciones próximas al Sureste - Noroeste presentes en un plano de falla con dicha dirección y desplazamiento en calcarenitas masivas de la Formación Cacarajícara. Punto 1 del perfil Arroyo El Destino.

Datos de mediciones de planos C de esquistosidad - cizallamiento dextrales  $044^{\circ}/88^{\circ}$ ;  $038^{\circ}/89^{\circ}$ ;  $048^{\circ}/80^{\circ}$ ;  $032^{\circ}/90^{\circ}$ ;  $030^{\circ}/89^{\circ}$ ;  $037^{\circ}/87^{\circ}$ ;  $029^{\circ}/88^{\circ}$ ;  $042^{\circ}/83^{\circ}$ ;  $034^{\circ}/86^{\circ}$  y  $050^{\circ}/79^{\circ}$ .

Se identificaron además planos C de esquistosidad - cizallamiento sinestrales  $332^{\circ}/83^{\circ}$ ;  $350^{\circ}/87^{\circ}$ ;  $351^{\circ}/88^{\circ}$ ;  $326^{\circ}/80^{\circ}$ ;  $325^{\circ}/82^{\circ}$ ;  $353^{\circ}/85^{\circ}$ ;  $345^{\circ}/84^{\circ}$ . (**Fotos No 13 y 14**).



**Fotos No 13 y 14:** Vista en planta de estructuras de esquistosidad - cizallamiento con desplazamiento sinistral con rumbos cercanos al Este-Noreste – Oeste-Suroeste, las cuales toman formas romboidales como consecuencia de la convergencia de diferentes tipos de fracturas de Riedel  $R_1$ , P y Y en el espacio (Formación Cacarajícara). Punto 1 del perfil Arroyo El Destino.

**Punto 2.2.** Siguiendo arroyo arriba por el Destino 65 m después. Coordenadas: X: 252 850; Y: 329 675. Se observan calcarenitas de color gris a gris oscuro de aspecto masivo (Formación Cacarajícara). Dimensiones del afloramiento: ancho 5 m y largo 10 m.

Se distinguen un gran número de grietas de extensión con direcciones Norte - Sur  $271^{\circ}/80^{\circ}$ ;  $282^{\circ}/88^{\circ}$ ;  $282^{\circ}/87^{\circ}$ ;  $290^{\circ}/78^{\circ}$  y  $271^{\circ}/71^{\circ}$ . Otro sistema de vetas  $019^{\circ}/47^{\circ}$ ;  $200^{\circ}/82^{\circ}$ ;  $200^{\circ}/57^{\circ}$ ;  $210^{\circ}/50^{\circ}$ ,  $215^{\circ}/53^{\circ}$  y  $207^{\circ}/63^{\circ}$ .

Estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales:  $344^{\circ}/88^{\circ}$ ;  $330^{\circ}/85^{\circ}$  y  $333^{\circ}/84^{\circ}$ .



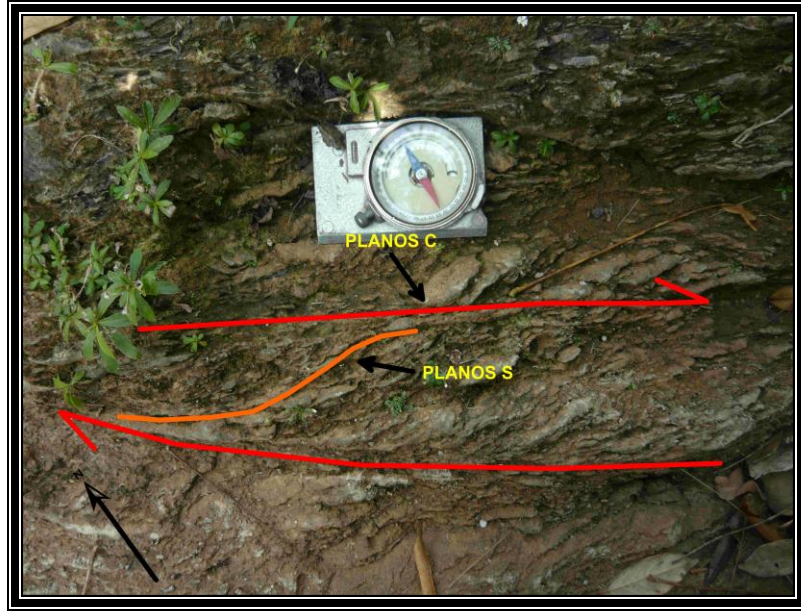
Estructuras de esquistosidad - cizallamiento dextrales:  $048^{\circ}/82^{\circ}$ ;  $052^{\circ}/84^{\circ}$  y  $050^{\circ}/84^{\circ}$ .

Se determinaron además pequeños fallamientos sinestrales  $320^{\circ}/82^{\circ}$  y  $327^{\circ}/83^{\circ}$ , los cuales son desplazados por fallas diestras  $047^{\circ}/82^{\circ}$ , al parecer los primeros pertenecientes a las primeras fases de cizallamiento transcurrente (estructuras  $R_1$ ) y los segundos formando parte de Juegos X.

#### **2.4.1.3- Perfil Geólogo-Estructural 3. Río Las Vueltas.**

**Punto 3.1.** Comienza en el entronque del camino que bordea el estadio de pelota y el río Las Vueltas. Coordenadas: X: 252 825; Y: 329 150. Se observan calizas estratificadas de 5 a 10 cm muy foleadas y tectonizadas intercaladas con areniscas de color gris y grano medio, ambas presentando textura esquistosa (Formación Polier). Dimensiones: Talud al Este del río, largo 5 m y altura 1,5 m.

Presencia de microfallas sinestrales  $011^{\circ}/75^{\circ}$ ;  $360^{\circ}/89^{\circ}$ ;  $015^{\circ}/71^{\circ}$ ;  $018^{\circ}/80^{\circ}$  y  $007^{\circ}/83^{\circ}$ , las cuales convergen con microfallas dextrales  $006^{\circ}/85^{\circ}$ ;  $025^{\circ}/66^{\circ}$ ;  $042^{\circ}/80^{\circ}$ ;  $040^{\circ}/82^{\circ}$  y  $030^{\circ}/89^{\circ}$ , predominantes en el afloramiento. Estructura de esquistosidad - cizallamiento dextral rumbo  $032^{\circ}/75^{\circ}$  (**Foto No 15**). Esta sucesión de desplazamientos pudo ser generada a través de sistemas de levógiros de las estructuras dextrales, dentro de un sistema de fallas transcurrentes siniestras con desplazamientos considerables entre las mismas paralelizándose estos giros dextrales a la estructura principal.



**Foto No 15:** Vista en planta de una estructura de esquistosidad - cizallamiento dextral con dirección Este-Sureste – Oeste-Noroeste (Formación Polier). Punto 1 del perfil Río Las Vueltas.

**Nota:** Se destaca la abundante presencia de bitumen en los planos de fractura.

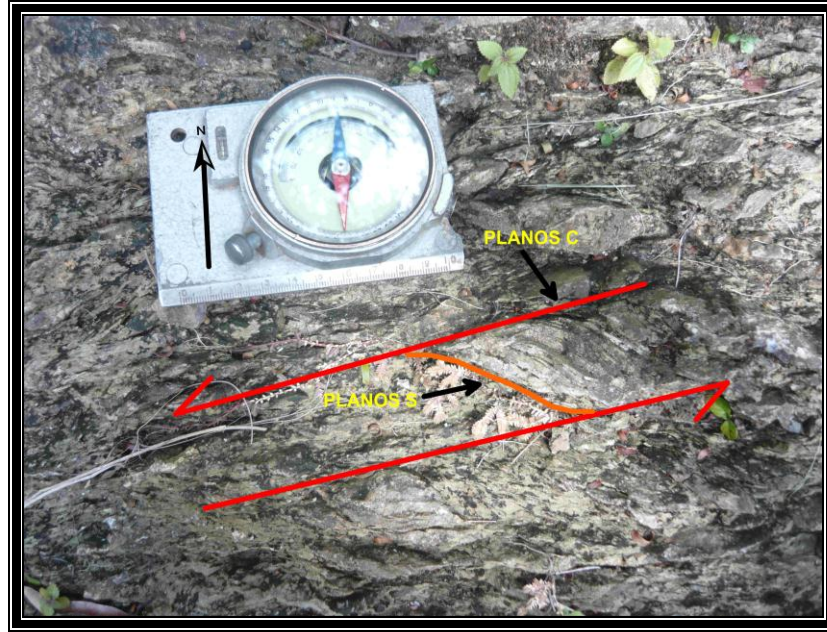
**Punto 3.2.** Río arriba unos 50 m. Coordenadas: X: 252 750; Y: 329 150. Se encuentran estratos de calizas de color gris oscuro intercaladas con areniscas de grano medio, con  $S_0$   $005^\circ/78^\circ$  (Formación Polier).

La tectónica es muy similar al anterior, siendo mejor observadas las estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales determinándose que estas afectan a las dextrales.

Estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales (planos C)  $351^\circ/82^\circ$ ;  $360^\circ/81^\circ$ ;  $345^\circ/82^\circ$ ;  $355^\circ/75^\circ$  y  $353^\circ/78^\circ$  (**Foto No 16**).

Estructuras de esquistosidad - cizallamiento dextrales (planos C)  $028^\circ/78^\circ$ ;  $028^\circ/75^\circ$ ;  $030^\circ/80^\circ$ ,  $025^\circ/81^\circ$ ,  $043^\circ/74^\circ$  y  $013^\circ/76^\circ$ .

Resalta en ambos puntos la inclinación hacia el Norte de los planos cizallantes con ángulos entre  $70^\circ$  y  $80^\circ$ .



**Foto No 16:** Vista superior de planos de esquistosidad - cizallamiento sinistral con dirección Este-Noreste – Oeste-Suroeste (Formación Polier). Punto 2 del perfil Río Las Vueltas.

**Punto 3.3.** 375 m después. Coordenadas: X: 252 475; Y: 329 150. Se observan calizas oscuras, estratificadas y laminadas intercaladas con areniscas de grano medio y color gris (Formación Polier)  $S_0$  020/72. Tectónica muy similar en los puntos anteriores en cuanto a la textura esquistosa que presentan estas rocas.

Estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales (planos C)  $358^\circ/80^\circ$ ,  $334^\circ/83^\circ$  y  $357^\circ/87^\circ$ .

Estructuras de esquistosidad - cizallamiento dextrales (planos C)  $013^\circ/75^\circ$  y  $022^\circ/83^\circ$ .

**Nota:** Abundante bitumen en los planos de fractura.

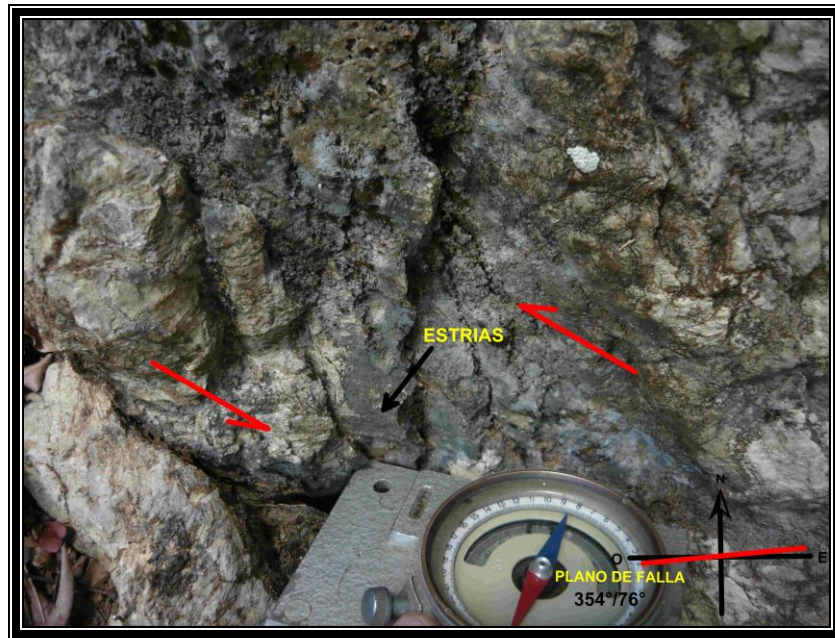
#### **2.4.1.4- Punto aislado 1.**

Ubicado entre los puentes gemelos por la carretera de montaña San Cristóbal - San Juan de Sagua. Coordenadas: X: 253 650; Y: 328 450.

Se aprecian calizas estratificadas de color gris intercaladas con areniscas de grano medio (Formación Polier). Brechas calcáreas con clastos pequeños de pedernales

llegando a calcarenitas (Formación Cacarajícara). El afloramiento es una elevación ubicada al Este del río San Marcos con partes descubiertas en su ladera occidental donde afloran dichas formaciones.

Se observan planos S - C sinestrales  $357^{\circ}/80^{\circ}$ ;  $004^{\circ}/83^{\circ}$  y  $010^{\circ}/84^{\circ}$ , espejos de fallas inversas con  $359^{\circ}/30^{\circ}$ ;  $213^{\circ}/52^{\circ}$  y  $218^{\circ}/58^{\circ}$  y rumbo de estrías  $26^{\circ}$ ;  $191^{\circ}$  y  $190^{\circ}$  respectivamente, microfallas sinestrales con  $355^{\circ}/89^{\circ}$ ;  $357^{\circ}/86^{\circ}$  y  $013^{\circ}/85^{\circ}$ , microfalla diestra de  $223^{\circ}/82^{\circ}$ , falla inversa con componente horizontal  $237^{\circ}/65^{\circ}$  con ángulo de estrías respecto a un plano horizontal de  $63^{\circ}$  hacia el Este, falla siniestra de  $354^{\circ}/76^{\circ}$  con ángulo de estrías respecto al plano de  $10^{\circ}$  hacia el Oeste (**Foto No 17**).



**Foto No 17:** Vista lateral de un espejo de falla transcurrente siniestra con dirección próxima al Este - Oeste presente en calcarenitas, determinado a través de las estrías presentes en el plano (Formación Cacarajícara). Punto aislado 1.

#### **2.4.1.5- Punto aislado 1A.**

Al Norte del Punto Aislado 1, siguiendo río abajo 250 m. Coordenadas: X: 253 700; Y: 328 700.



En el afloramiento se observan brechas calcáreas masivas con clastos de dos a tres milímetros y ocasionalmente mayores (Formación Cacarajícara).

La importancia de este punto reside en que fue encontrado petróleo oxidado dentro de las grietas que afectan estas rocas (**Fotos 18 y 19**)



**Fotos 18 y 19: Muestras en las que se observa petróleo solidificado u oxidado en el interior de fracturas (Formación Cacarajícara). Punto aislado 1A.**

#### **2.4.1.6- Punto aislado 2.**

Ubicado en el nacimiento del manantial del arroyo Canilla que abastece la Hidroeléctrica de San Juan de Sagua, a 250 m al Este de la misma, siguiendo la conductora de agua. Coordenadas: X: 255 600; Y: 329 900.

El afloramiento es un escarpe de 6 m de largo y 5 m de alto en la base de la elevación. Se encuentran calcarenitas de color gris a gris oscuro, de aspecto masivo (Formación Cacarajícara).

El talud se encuentra muy tectonizado coincidiendo con un plano de falla normal de buzamiento muy abrupto hacia el Norte-Noroeste  $340^{\circ}/87^{\circ}$ , evidenciado por la presencia de escamas de calcita con un ángulo de desplazamiento respecto al plano de  $65^{\circ}$  hacia el Este (**Foto No 20**). Debido al carácter distensivo y la posición vertical

de la deformación gran parte de los planos se encuentran rellanos de materia vegetal, por lo que se hace muy difícil la determinación de elementos cinemáticos.



**Foto No 20:** Escamas de calcita que evidencian un desplazamiento vertical normal del plano de falla vertical, el cual va de Oeste-Suroeste a Este-Noreste (Formación Cacarajícara). Punto aislado 2.

## **2.4.2- Perfiles y puntos aislados realizados en el sector Rancho Canelo.**

### **2.4.2.1- Perfil Geólogo-Estructural 4. Carretera de Rancho Canelo.**

A través de la carretera-terraplén que va desde la unidad militar (abandonada) de Rancho Canelo hacia el Oeste entre Sierra Chiquita y el Pan de Guajaibón.

**Punto 4.1.** Caminando 150 m después del entronque de la unidad militar. Coordenadas: X: 261 075; Y: 331 100. Bajando por la cuneta 10 m al Sur de la carretera se encuentra un afloramiento de calizas de color gris y grano muy fino de aspecto masivo (Formación Guajaibón).

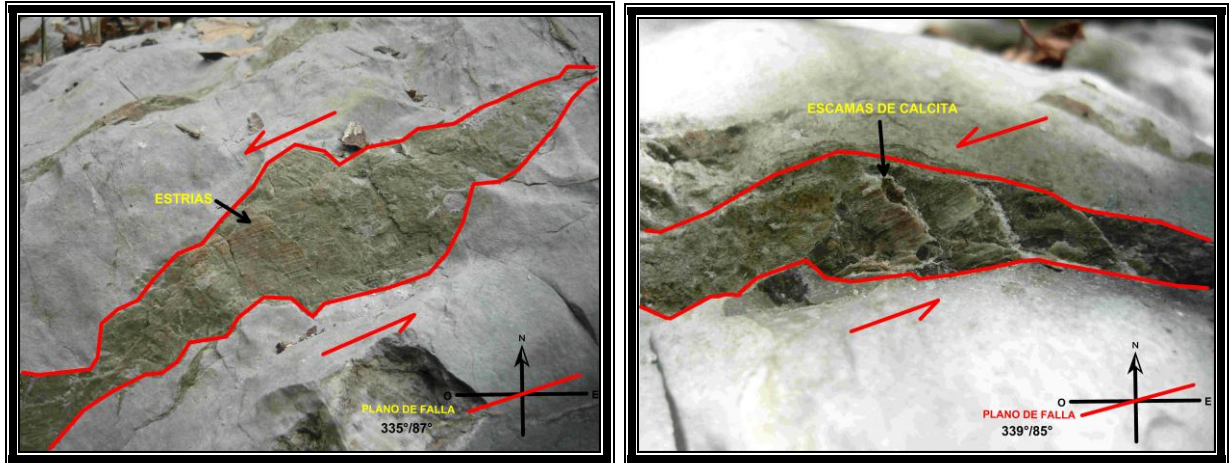
Se observan planos verticales y subverticales con desplazamiento sinistral determinado a través de escamas y estrías de calcita con inclinaciones entre 15° y 30° hacia el Sur-Suroeste respecto a un plano horizontal, los cuales resaltan en el afloramiento (**Fotos No 21 y 22**)

**Tabla 9:** Datos de mediciones de planos sinestrales en el punto 1 del perfil 4.

---

333°/74°	330°/80°	180°/52°	183°/70°	316°/81°	156°/51°	161°/65°	143°/80°	335°/87°
329°/83°	154°/78°	149°/71°	160°/85°	339°/85°	330°/84°	157°/80°	178°/84°	175°/58°
159°/82°	165°/66°	186°/87°	159°/82°					

---



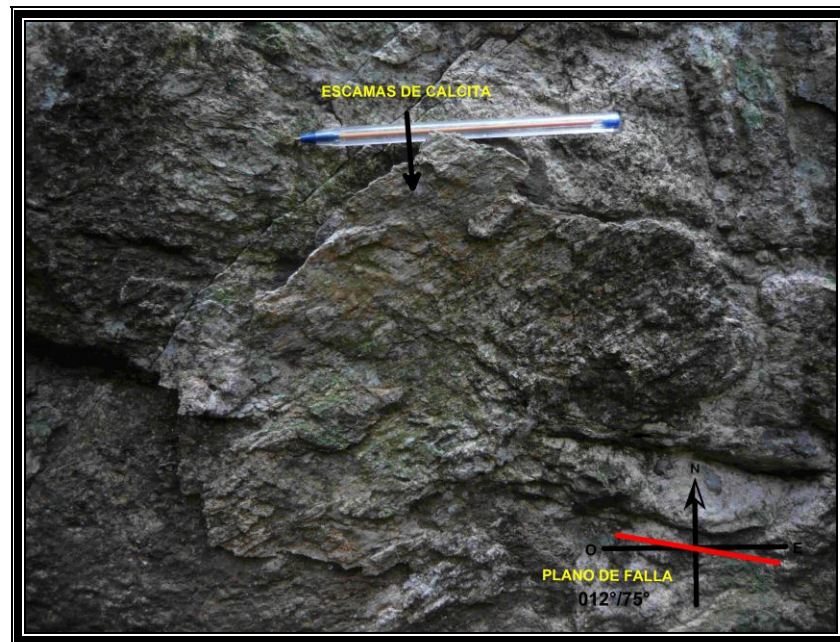
**Fotos No 21 y 22:** Vista lateral de planos semiverticales con desplazamiento sinistral en calizas masivas. Como se observa el movimiento se reconoce por presencia de estrías y escamas de calcita con dirección preferencial hacia el Este-Noreste – Oeste-Suroeste (Formación Guajaibón). Punto 1 del perfil Carretera de Rancho Canelo.

En estos planos de desplazamiento se observan ciertos pandeos manteniendo los buzamientos semiverticales hacia un lado o al otro. La respuesta reológica frágil, desarrollando planos de fallas subparalelas, es el resultado del tipo de roca involucrada en la deformación.

**Punto 4.2.** Siguiendo la carretera 475 m después. Coordenadas: X: 260 625; Y: 331 150. Encontramos un eskarpe a la derecha de la carretera en el cual se observan calizas de color gris y grano muy fino de aspecto masivo (Formación Guajaibón).

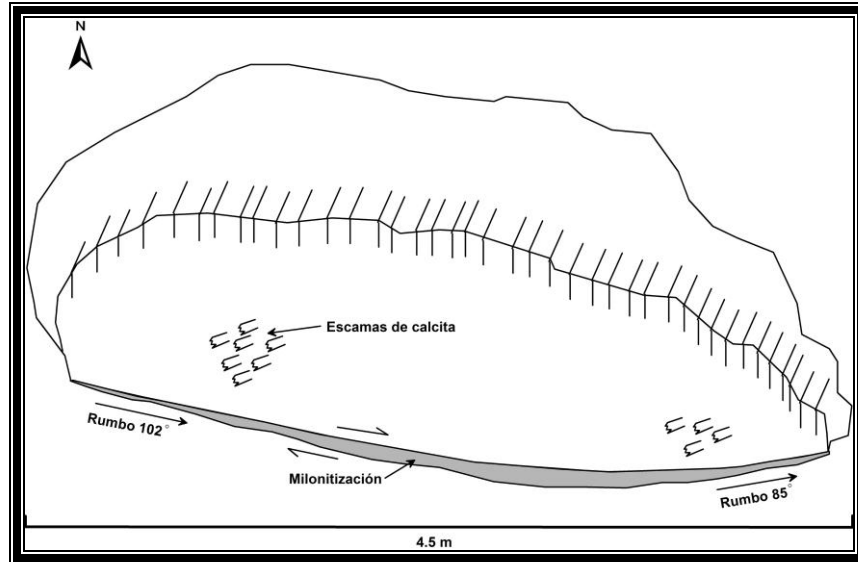
Se distinguen escamas de calcita y estrías en un plano de falla 012°/75° con desplazamiento dextral y cierta componente vertical inversa (**Foto No 23**), distinguiéndose varios ángulos de estriación (ángulo predominante 24° hacia el

Oeste y otro de  $7^\circ$  hacia el Este). Este plano sufre un pandeo o curva orientándose desde un rumbo de  $102^\circ$  hacia los  $85^\circ$ , en el cual se pueden identificar también elementos dextrales como estriaciones y escamas de calcita. Hacia la base de todo el plano se presenta una zona de milonitización que evidencia dicho desplazamiento (**Figura No 14**). La orientación y características de esta estructura, así como el pandeo que presenta, hace pensar que podría tratarse de un plano de tipo X del Modelo de Riedel rotado a través de levógiros entre dos bloques que son limitados a ambos lados por fallas transcurrentes sinestrales, tendiendo a paralelizarse con las mismas.



**Foto No 23:** Vista lateral del plano de una falla diestra con componente vertical en calizas masivas, con dirección del movimiento Oeste-Noroeste – Este-Sureste, según lo indican las estriás y escamas de calcita que se manifiestan en el plano (Formación Guajaibón). Punto 2 del perfil Carretera de Rancho Canelo.





**Figura No 14:** Esquema del plano de falla transcurrente dextral con cierta componente inversa (Formación Guajaibón). Punto 2 del perfil Carretera de Rancho Canelo.

#### 2.4.2.2- Perfil Geólogo-Estructural 5. Río del Medio.

**Punto 5.1.** El perfil comienza en un punto ubicado a 150 m al Sur, río arriba del puente de Río del Medio. Coordenadas: X: 262 475; Y: 331 050. Se encuentra un afloramiento bien extensivo de calcarenitas de color gris oscuro, de aspecto masivo muy agrietadas (Formación Cacarajícara).

**Tabla 10:** Datos de medición de grietas de cizalla en el punto 1 del perfil 5.

242°/54°	082°/66°	124°/52°	229°/66°	098°/72°	110°/75°	137°/49°	072°/50°	100°/62°
150°/38°	329°/76°	094°/40°	230°/80°	097°/60°	084°/54°	166°/65°	090°/54°	240°/62°
090°/82°	084°/74°	060°/74°	240°/75°	245°/67°	257°/57°	325°/71°	096°/67°	082°/44°
090°/52°								

También fueron medidas grietas de extensión sigmoidales escalonadas: 119°/66°; 125°/67°; 127°/72°; 125°/68°.

Otras grietas de extensión: 034°/52°; 090°/74°; 336°/52°; 167°/57°; 154°/56°; 115°/55°; 360°/50°; 050°/22°.

**Punto 5.2.** Siguiendo rumbo Norte, río abajo 150 m después se llegó al Puente de Río del Medio, a 75 m del puente. Coordenadas: X: 262 575; Y: 331 200. Encontramos calizas mal estratificadas con espesores entre 20 y 30 cm, de color gris y grano medio. Se observan microclastos de 0.2 mm de colores oscuros (Formación Cacarajícara).  $S_0$  320°/65°. En las grietas de extensión es posible apreciar bitumen en sus fracturas.

**Tabla 12:** Datos de medición de grietas de cizalla en el punto 2 del perfil 5.

---

077°/65°	077°/82°	255°/70°	024°/66°	260°/76°	090°/74°	030°/50°	326°/60°	213°/68°
266°/70°	354°/86°	030°/74°	081°/85°	215°/73°	264°/78°	038°/85°		

---

**Punto 5.3.** Río abajo 600 m después. Coordenadas: X: 262 575; Y: 331 600. Encontramos calizas de color gris oscuro, grano fino y fractura concoidea, de aspecto masivo (Formación Guajaibón).  $S_0$  352°/34°.

**Tabla 13:** Datos de medición de grietas de cizalla en el punto 3 del perfil 5.

---

272°/82°	093°/76°	263°/79°	265°/81°	338°/57°	355°/22°	111°/78°	015°/79°	082°/80°
130°/58°	237°/51°	287°/68°	245°/69°	252°/75°	276°/60°	100°/54°	038°/58°	080°/76°
260°/71°	253°/76°	020°/49°	070°/69°					

---

#### 2.4.2.3- Perfil Geólogo-Estructural 6. Camino de Rancho Canelo a Sumidero.

**Punto 6.1.** Coordenadas: X: 261 950; Y: 331 000. Se observan calizas de color gris a gris oscuro, estratos de más de 20 cm con yacencia monoclin. Estas rocas presentan un alto grado de agrietamiento apreciándose grietas de cizalla, de extensión y conjugadas 084°/70° y 280°/72° (Formación Cacarajícara)  $S_0$  002°/65°.

**Tabla No 14:** Datos de mediciones de grietas de cizalla en el punto 1 del perfil 6.

---

191°/40°	252°/61°	152°/68°	75°/84°	80°/78°	204°/68°	242°/74°	156°/28°	150°/54°
----------	----------	----------	---------	---------	----------	----------	----------	----------

---

**Tabla No 15:** Datos de mediciones de grietas de extensión en el punto 1 del perfil 6.

---

298°/62°	96°/72°	302°/51°	289°/83°	88°/65°	95°/69°	90°/75°	85°/66°	84°/65°.
----------	---------	----------	----------	---------	---------	---------	---------	----------

---

**Punto 6.2.** Después a 625 m. Coordenadas: X: 261 675; Y: 330 800. Se observan brechas calcáreas con clastos pequeños de pedernales y otras rocas, afectadas por grietas de cizalla y de extensión; 080°/67°, 280°/54° y 260°/64°. (Formación Cacarajícara). S<sub>0</sub> 340°/76°, 354°/19°.

**Tabla No 16:** Datos de mediciones de grietas de cizalla en el punto 2 del perfil 6.

---

260°/52°	261°/69°	237°/56°	170°/69°	60°/76°	263°/80°	210°/60°	180°/65°	206°/72°
272°/76°	214°/71°	178°/52°	124°/46°					

---

**Punto 6.3.** Después 375 m. Coordenadas: X: 261 625; Y: 330 625. Se observan calcarenitas con estratificación moderada, de color gris, con presencia de grietas de cizalla; 62°/78°, 54°/48°, 30°/64°, 292°/57°, 215°/45° y 342°/40° (en ocasiones con presencia de petróleo oxidado) (Formación Cacarajícara). S<sub>0</sub> 189°/25° y 200°/43°.

#### **2.4.2.4- Punto aislado 3.**

En la carretera que va desde Rancho Canelo hacia el Asiento de Cacarajícara, frente a la despulpadora de café 10 m al Norte. Coordenadas: X: 263 200; Y: 331 175.

Se observan rocas estratificadas de color gris verdoso y ocre debido a su meteorización, las cuales poseen aspecto arcilloso (Formación Moreno).

Resalta el clivaje de lápiz con rumbos próximos a los 90° (Este - Oeste) característicos de la Formación Moreno (**Foto No 24**).

**Tabla 17:** Datos de medición de grietas de cizalla en el punto aislado 3.

---

086°/76°	097°/76°	102°/69°	070°/87°	115°/73°	113°/79°	235°/76°	233°/76°	110°/83°
257°/68°	090°/89°	092°/85°	094°/85°	360°/74°	090°/85°			

---



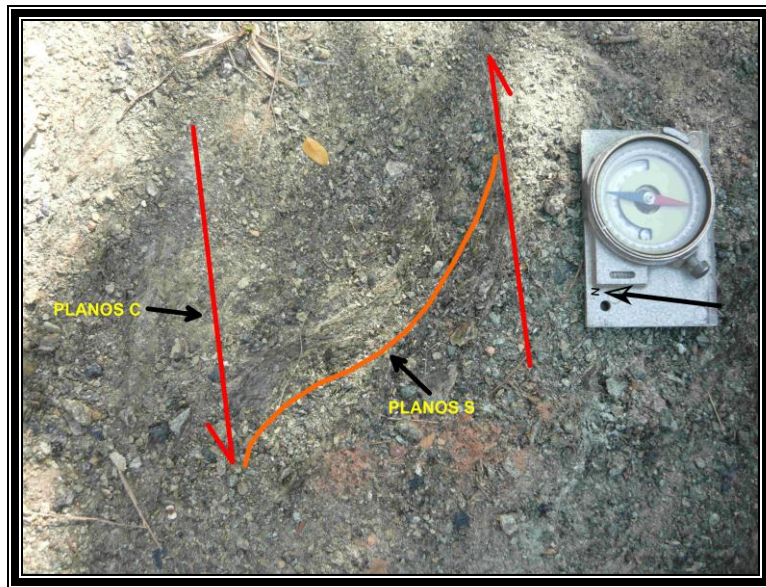
**Foto No 24:** Vista en planta de un afloramiento de rocas arcillosas, se aprecia el clivaje de lápiz con rumbos próximos al Este-Noreste – Oeste-Suroeste (Formación Moreno). Punto aislado 3.

#### 2.4.2.5- Punto aislado 4.

A 500 m al Norte del entronque de la Unidad Militar. Coordenadas: X: 261 350; Y: 331 575.

Se observan serpentinitas de color verde oscuro rodeadas de suelo de color pardo, con dimensiones próximas a 1 m<sup>2</sup> (Formación Manacas).

Se destacan estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales (**Foto No 25**) muy bien representadas en este tipo de rocas, cuyos planos C son: 170°/82°; 155°/81° y 165°/87°.



**Foto No 25:** Vista en planta de un afloramiento de serpentinitas donde se aprecian planos S y C de esquistosidad - cizallamiento en direcciones próximas al Este – Oeste (Formación Manacas).  
Punto aislado 4.

#### **2.4.2.6- Punto aislado 5.**

A 1050 m del entronque entre el camino de Rancho Canelo y el camino de Las Pozas - San Juan de Sagua, en un talud a la derecha del camino. Coordenadas: X: 260 225; Y: 331 825.

Se observan calizas arcillosas estratificadas, de color gris-verdoso oscuro, intercaladas con areniscas de grano fino y color gris, en ocasiones se observan pequeñas intercalaciones argiláceas y silicitas (Formación Manacas) S<sub>0</sub> 006°/70°.

Los indicadores cinemáticos se encuentran visibles en las rocas que afloran en el camino, las cuales se encuentran más frescas, pues las del talud están muy meteorizadas. En las rocas carbonatadas - arcillosas se observa textura esquistosa, pudiéndose determinar planos de esquistosidad - cizallamiento sinestrales, con mediciones de planos C:  $358^{\circ}/67^{\circ}$ ;  $356^{\circ}/85^{\circ}$ ;  $355^{\circ}/65^{\circ}$ ;  $351^{\circ}/84^{\circ}$  y  $352^{\circ}/70^{\circ}$ .

#### **2.4.2.7- Punto aislado 6.**

A 1500 m del punto anterior. Coordenadas: X: 259 025; Y: 331 800.

Se encuentra un pequeño afloramiento de serpentinas en el camino (Formación Manacas). Se distinguen planos C de estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales:  $163^{\circ}/67^{\circ}$ ;  $170^{\circ}/82^{\circ}$ ;  $168^{\circ}/60^{\circ}$ ,  $345^{\circ}/66^{\circ}$  y  $348^{\circ}/78^{\circ}$ .

### CÁPITULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Como se ha explicado en el capítulo anterior para dar solución al problema de esta investigación fueron realizados los trabajos geólogo-estructurales en dos sectores, San Juan de Sagua y Rancho Canelo.

Debido a que la faja principal de deslizamiento por el rumbo sinistral afecta las secuencias superiores caóticas de la Formación Manacas, se decidió agrupar las mediciones que se encuentran dentro del Modelo de Riedel sinistral en cuanto a patrones de cercanía a la zona de falla principal, pues la presencia de las mismas en una u otra unidad cabalgada no influiría en la interpretación.

#### 3.1- Evolución del sistema tectónico en el sector San Juan de Sagua.

En el análisis estructural de los puntos 4 y 5 del Perfil del Río San Marcos se pudo comprobar mediante vetas sigmoidales escalonadas y sistemas de grietas de cizalla, determinándose en la bisectriz del ángulo agudo entre las mismas la posición del campo de esfuerzo principal, entre los  $330^{\circ}$  y  $340^{\circ}$ , este transiciona siguiendo una rotación horaria hacia direcciones entre los  $30^{\circ}$  y  $40^{\circ}$  (**Figura No 15**).

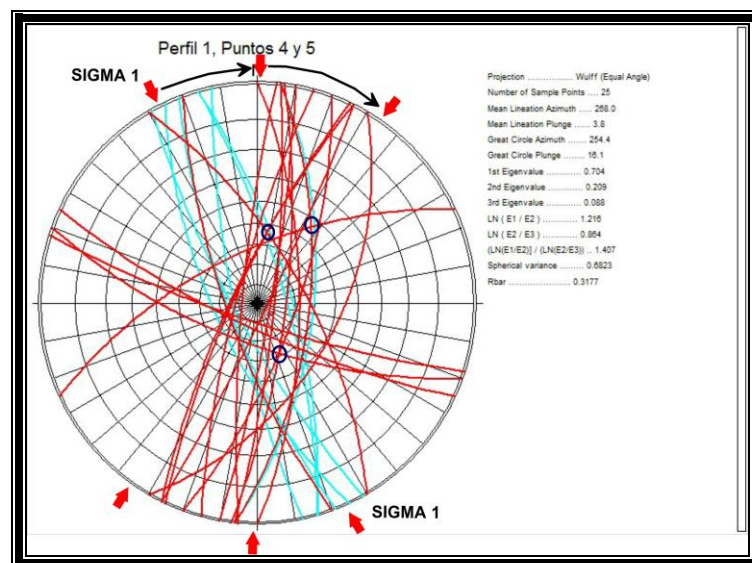


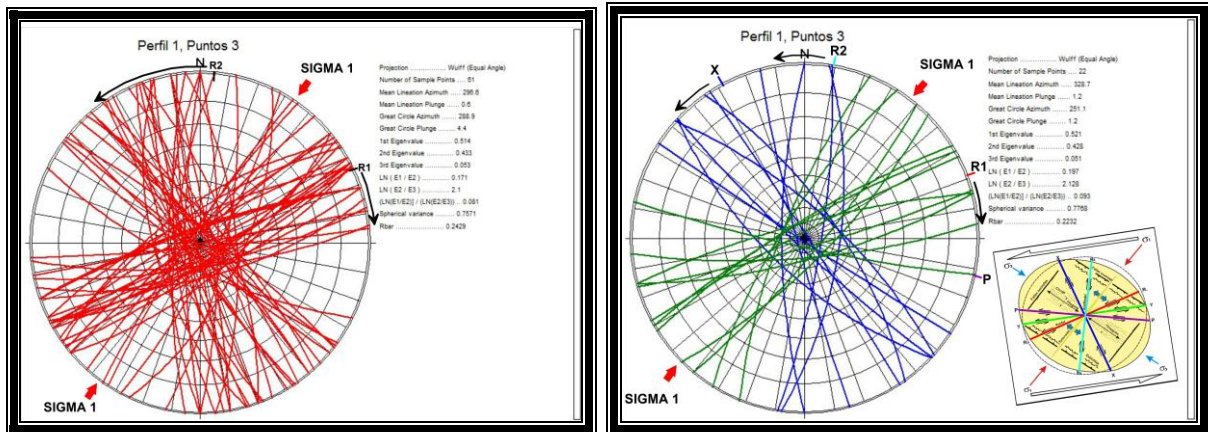
Figura No 15: Estereograma (Falsilla de Wulff) se representan las grietas de cizalla (rojo) y grietas de extensión sigmoidales escalonadas (cian). Se aprecia una rotación horaria del máximo stress compresivo.

En el punto 3 de este perfil fueron procesadas grietas de cizalla, mediante las cuales se pudo precisar una dirección del stress principal entre los  $30^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ , coincidente con la dirección del mismo para el final de la rotación en la representación anterior, sin embargo se distingue una rotación antihoraria a través de levógiros o rotación en ejes verticales en las fracturas antitéticas  $R_2$  y horaria en las sintéticas  $R_1$  como consecuencia del inicio de una estructura regional transcurrente siniestra cercana, pues con la evolución del sistema, mediante un mecanismo cizallante las dislocaciones antitéticas  $R_2$  proceden a rotar en la dirección en que se produce la transurrencia principal, mientras que las sintéticas  $R_1$  debido a la posición que presentan en el sistema, lo hacen de forma contraria tendiendo ambas a paralelizarse con la faja principal en que se generan (**Figura No 16**). Las dislocaciones que poseen direcciones Noroeste - Sureste, bien podrían tratarse de estructuras de tipo X rotadas con el sistema, pero no fueron tomadas como tal por no existir un criterio de desplazamiento de las mismas. Por estas razones se estima que el comienzo de la estructura de deslizamiento por el rumbo como sistema, tuvo sus inicios para una posición del  $\sigma_1$  regional entre los  $30^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ .

Fueron procesadas simultáneamente un grupo de microfallas con pequeños desplazamientos dextrales y sinestrales que se orientan en direcciones correspondientes al Modelo de Riedel aplicado, pudiendo identificarse dislocaciones  $R_1$ ,  $R_2$  y X que sufren rotaciones similares a las experimentadas por los sistemas de grietas de cizalla, además se desarrolla un grupo de pequeñas fallas con dirección Noreste, que podrían ser el resultado de generaciones paulatinas de pequeños sistemas sinestrales por adaptación del medio a nuevas condiciones cizallantes a causa de rotación horaria del stress principal (**Figura No 16**). Fue comprobado en el trabajo de campo que algunas grietas con direcciones Noroeste - Sureste y Norte - Sur son desplazadas por microfallas de carácter sinistral con direcciones Suroeste - Noreste y Oeste-Suroeste – Este-Noreste, lo que evidencia un giro horario en la dirección de máxima compresión desde el Norte-Noroeste hacia el Norte-Nordeste, siendo estas últimas también afectadas por otro grupo de microfallas de cinemática



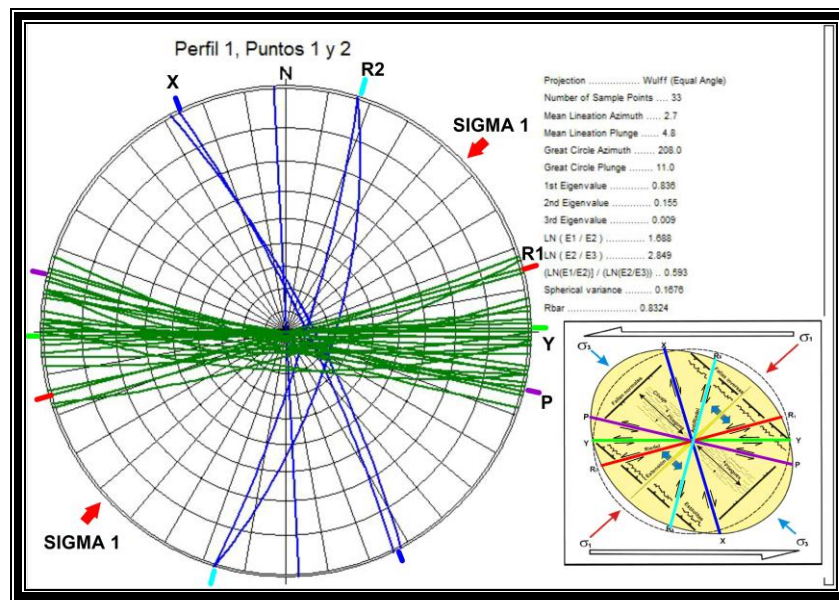
opuesta (dextrales) con direcciones Noroeste - Sureste, como resultado del desarrollo de estructuras de tipo X en evolución del sistema transcurrente.



**Figura No 16: Estereogramas (Falsilla de Wulff) Izquierda; Se representan grietas de cizalla (rojo), mostrándose una rotación horaria y antihoraria para las fracturas de tipo  $R_1$  y  $R_2$  respectivamente y localizándose la dirección del campo de esfuerzos principal entre los  $30^\circ$  y  $40^\circ$ . Derecha; Se representan microfallas dextrales (azul) y sinestrales (verde), interpretadas como  $R_2$ , X rotadas, ocupando posiciones las primeras.**

Se decidió agrupar las mediciones realizadas dentro de la amplia zona milonitizada (zona de falla) correspondientes a los puntos 1 y 2 del perfil Río San Marcos. Las cuales arrojaron como resultado de la interpretación de la Falsilla de Wulff, en la que fueron representados los planos medidos con desplazamiento sinistral y dextral, que la estructura regional en ambos puntos posee dirección próxima al Este - Oeste con grandes desplazamientos sinestrales. En el ajuste de la falsilla al Modelo de Riedel sinistral, se determinó que los planos que se encuentran entre  $70^\circ$  y  $80^\circ$  son considerados como  $R_1$ , los planos que varían entre  $80^\circ$  y  $90^\circ$  de rumbo pertenecen a estructuras de tipo Y y los que se encuentran entre  $100^\circ$  y  $120^\circ$  corresponden a las de tipo P. Las estructuras dextrales con direcciones próximas a los  $335^\circ$  son interpretadas como X, así como las próximas a los  $15^\circ$  se consideran  $R_2$ , no encontrándose rotadas debido a su magnitud, tratándose de planos muy bien desarrollados. Según el procedimiento realizado se calcula una dirección del campo de esfuerzos principales ( $\sigma_1$ ) entre los  $40^\circ$  y  $50^\circ$  de acimut (**Figura No 17**). Un aspecto que resalta es el abrupto buzamiento de todos los planos sinestrales hacia el

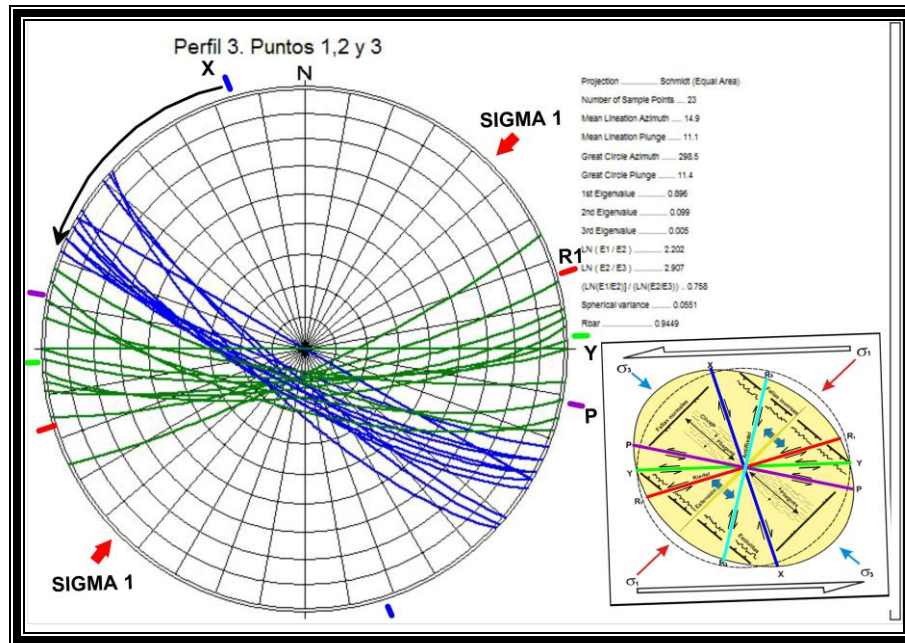
Norte, lo que permite identificarlo como una característica del sistema en este sector. La inclinación que presentan las escamas de calcita detectadas en algunos de estos planos indica un hundimiento hacia el Este con ángulos que varían entre  $12^\circ$  y  $30^\circ$  (**Fotos No 4 y 5**) como evidencia de una componente vertical inversa en la faja transcurrente.



**Figura No 17: Estereograma (Falsilla de Wulff).** Se representan fallas dextrales de tipo X y  $R_2$  (azul), en la dirección Y convergen planos de fallas de gran magnitud y estructuras de esquistosidad -cizallamiento, mientras que los planos representados en las direcciones que corresponden a Juegos  $R_1$  y P son solo estructuras de esquistosidad - cizallamiento sinestrales. Los planos que experimentan desplazamientos siniestros se presentan en color verde.

Las mediciones de los tres puntos pertenecientes al perfil Río las Vueltas fueron procesadas en conjunto por tratarse de una zona de falla al Noroeste de la anterior. Fueron representados en la falsilla de Wulff una serie de planos de esquistosidad - cizallamiento con cinemáticas sinestrales y dextrales. Los planos sinestrales corresponden según sus orientaciones a estructuras  $R_1$ , P y Y, oscilando entre los  $70^\circ$  y  $110^\circ$ . Un aspecto conspicuo de esta zona de falla es la disminución en los ángulos de buzamiento de estas estructuras, favoreciendo el surgimiento de componentes inversas debido a la orientación Este - Oeste de esta zona cizallante.

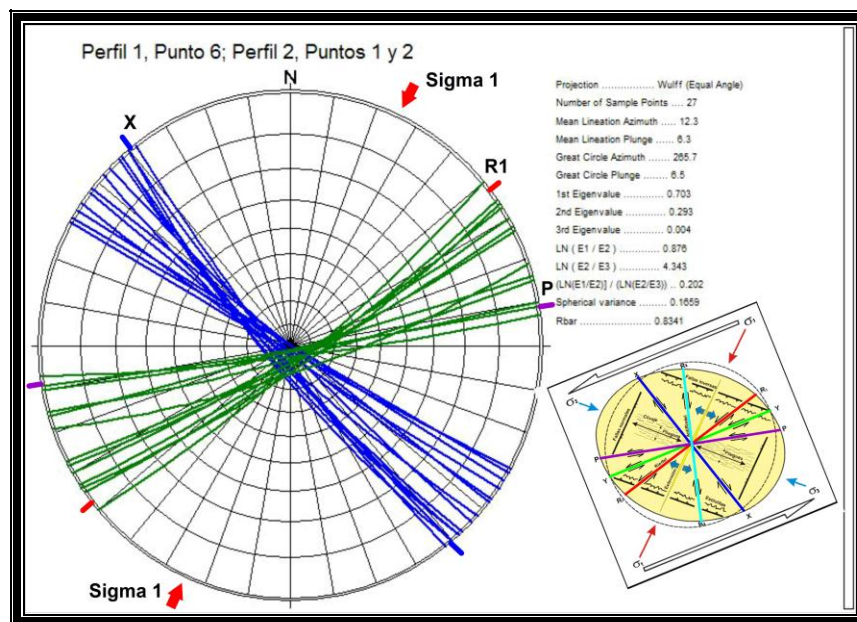
Las estructuras con desplazamientos dextrales detectadas, fueron consideradas como Juegos X rotados de su posición original hacia el Oeste-Noroeste – Este-Sureste a través de levógiros (**Figura No 18**). La proyección de esta zona al Este-Noreste coincide con la ladera Norte de La Sierra Chiquita, donde se encontró en el Punto aislado 2 evidencias de desplazamiento normales posteriores a la transcurencia como fase final en la evolución de este sistema (**Foto No 20**).



**Figura No 18: Estereograma (Falsilla de Wulff). En color verde se representan los planos de esquistosidad - cizallamiento con desplazamiento sinistral y en color azul los dextrales.**

Al Norte de los dos sistemas anteriores se encuentra una zona en la cual fueron detectados indicadores cinemáticos sinestrales y dextrales en planos de esquistosidad - cizallamiento, correspondientes a los puntos 1 y 2 del perfil Arroyo El Destino y el punto 6 del perfil Río San Marcos. En esta conjugación de puntos fueron revelados planos interpretados como de tipo  $R_1$  y P que se encuentran entre los  $50^\circ$  y  $80^\circ$ , además fueron determinados desplazamientos dextrales en planos asociados a Juegos X rotados en un sentido antihorario similar a los anteriores en un rango entre  $300^\circ$  y  $320^\circ$ , según la orientación de las estructuras antes descritas y su

posición en el Modelo de Riedel pudo estimarse una dirección del máximo stress compresivo entre los 20° y 30° (**Figura No 19**). La coincidencia espacial de estos elementos permite inferir la cercanía de una zona de fallas con desplazamiento sinistral y dirección Oeste-Suroeste – Ese-Noreste más al Norte, que no pudo ser comprobada por ausencia de aflorabilidad, pero debería extenderse a lo largo de la ladera Norte del Pan de Guajaibón. El comienzo de este sistema transcurrente con una posición del stress principal prematuro respecto a los sistemas anteriores es el resultado de que las zonas de fallas más septentrionales fueron las primeras en ocurrir, luego a medida que el sistema fue evolucionando y con el giro horario experimentado por los esfuerzos principales, sucedieron escalonadamente otras zonas de fallas más meridionales e inclinadas más hacia el Este - Oeste, al transcurrir la Subzona Sierra de Rosario por el Sur de la Subzona Bahía Honda.

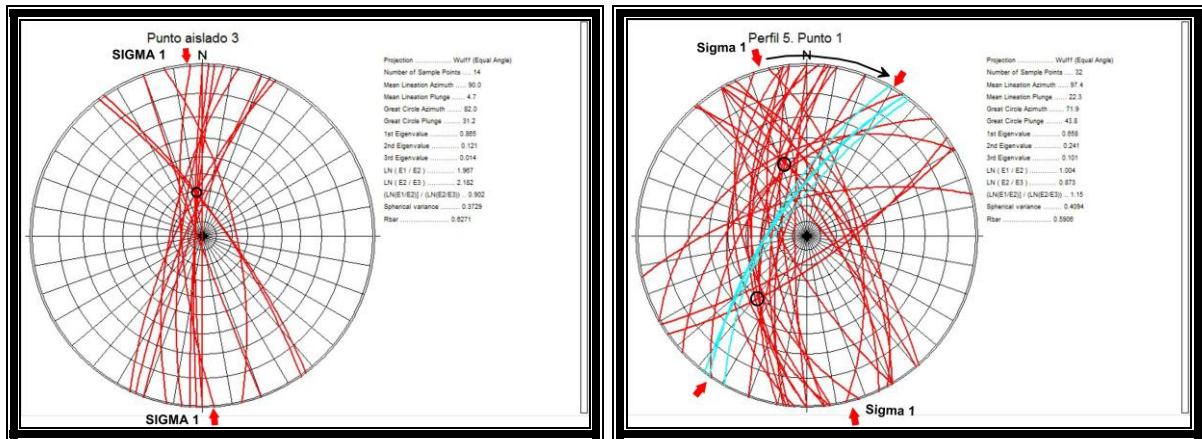


**Figura No 19:** Estereograma (Falsilla de Wulff) En color verde se representan los planos de esquistosidad - cizallamiento con desplazamiento sinistral y en color azul los dextrales.

### 3.2- Evolución del sistema tectónico en el sector Rancho Canelo.



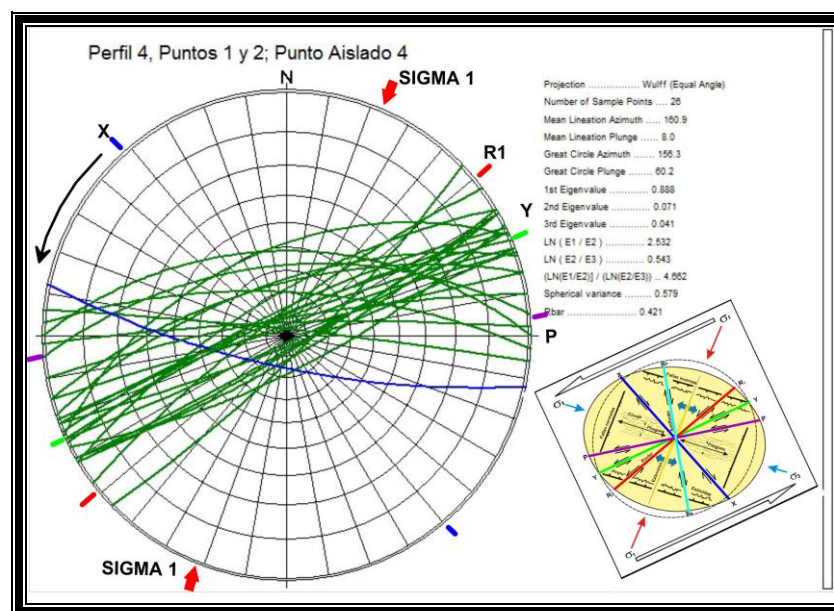
El análisis estructural del Punto aislado 3 y el Punto 1 del perfil Río del Medio arrojó como resultados mediante el procesamiento en la falsilla de Wulff de grietas de cizalla y vetas sigmoidales en escalón, una orientación del campo de esfuerzo principal entre los 340° y 350°, apreciándose una rotación horaria de este hacia los 20° y 30° (**Figura No 20**).



**Figura No 20: Estereogramas (Falsilla de Wulff).** Se aprecia a través de la representación de grietas de cizalla (rojo) y grietas sigmoidales en escalón (cian) la rotación horaria experimentada por los esfuerzos principales.

Con la representación gráfica de los planos medidos en los Puntos 1 y 2 del Perfil Carretera de Rancho Canelo y el Punto aislado 4, fue calculada la posición del máximo stress compresivo a partir de la orientación de las estructuras presentes orientadas dentro del Modelo de Riedel sinestral entre los 20° y 30° al comienzo de los desplazamientos transcurrentes. Se determinó que las estructuras sinestrales  $R_1$  toman direcciones entre 45° y 55°, las pertenecientes a Juegos P entre 80° y 95°, destacándose siempre en estas un buzamiento hacia el Sur. Las correspondientes con dislocaciones de tipo Y entre 60° y 70° (**Figura No 21**) Por lo que se estima que la dirección de las principales estructuras cizallantes con carácter sinestral en este sector presentan direcciones cercanas al Oeste-Suroeste – Este-Noreste, mientras que el plano de falla dextral presente a los 282° se considera una estructura de tipo

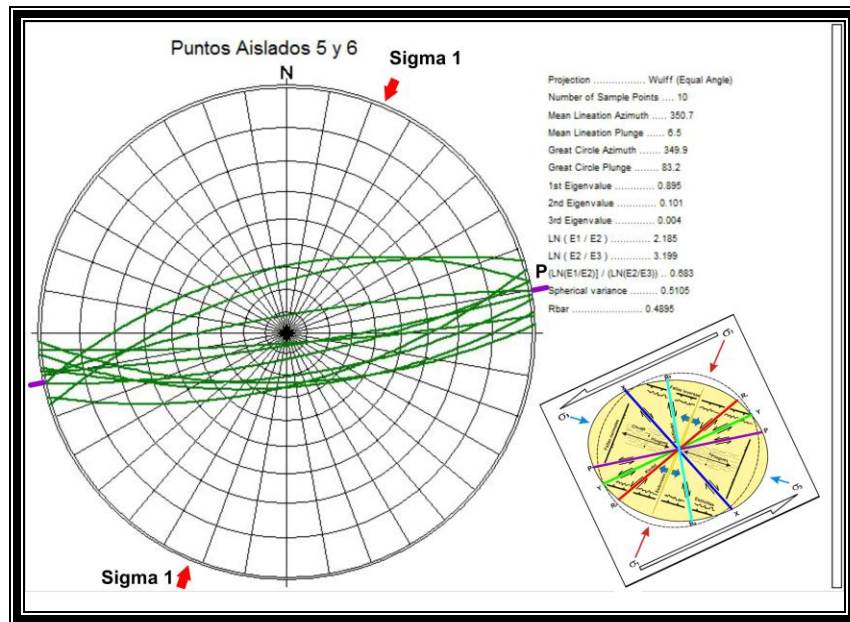
X rotada por medio de levógiros entre dos bloques rotados limitados por estructuras de deslizamiento por el rumbo sinestrales cercanas, los elemento que apoyan la afirmación anterior son el cambio de rumbo experimentado por el plano, como señal de flexión (**Figura No 14**), tendiendo a paralelizarse con la dirección de la zona de fallas siniestras cercana encontrada al sur; además del ángulo de inclinación de las estrías de 24°(**Foto No 23**) hacia el Norte-Noroeste que evidencia una componente vertical inversa, muy similares a las encontradas en la zona de falla sinistral principal con inclinaciones entre 15° y 30° (**Fotos No 21 y 22**) hacia el Sur-Suroeste; por tanto se entiende que si esta presentó cierta componente vertical inversa, los bloques rotados a través de giros izquierdos por su consecuencia también deben desarrollar esas características, en sus respectivas direcciones. Un aspecto destacable de los planos con desplazamiento sinistral es el poseer un buzamiento abrupto al Norte y Sur, lo que evidencia la verticalidad de la faja estudiada en este sector.



**Figura 21: Estereograma (Falsilla de Wulff). Se representan estructuras sinestrales de tipo R<sub>1</sub>, P y Y (verde) y una dextral (azul)**

Según lo determinado anteriormente los planos con desplazamiento sinistral detectados en los Puntos aislados 5 y 6, al Norte del Pan de Guajabón fueron

interpretados como Juegos P dentro de la estructura regional caracterizada con anterioridad (**Figura No 22**).



**Figura No 22: Estereograma (Falsilla de Wulff). Se representa planos sinestrales de tipo P.**

### 3.3- Evolución general del sistema tectónico.

En general el sistema tectónico se encuentra muy bien representado en toda el área, sin embargo presenta características particulares para cada uno de los sectores estudiados. En ambos pudo comprobarse una rotación horaria del máximo stress compresivo desde direcciones próximas al Sureste - Noroeste hacia el Suroeste – Noreste donde se generan los principales mantos cabalgados presentes en el área y comienzan los primeros indicios de transcurrencias siniestras.

En el primer sector estudiado se observa una tendencia general de los planos de fallas y de la estructura en general a presentar un buzamiento abrupto hacia el Norte entre los 80° y 85°, mientras que en las de Rancho Canelo, los planos mapeados en la dirección principal de la estructura (Y) presentan preferencia de buzamientos inclinados hacia el Norte y Sur, con lo cual pudiera interpretarse que la extensión en profundidad del sistema para este sector es más vertical.



Al Norte del sector San Juan de Sagua los sistemas transcurrentes poseen una dirección Oeste-Suroeste – Este-Noreste que comienzan a partir de una posición del  $\sigma_1$  entre los 20° y 30° al igual que en el sector Rancho Canelo, sin embargo el giro horario de estos esfuerzos generó una serie de zonas de fallas escalonadas con posiciones más meridionales tendiendo a una dirección más longitudinal (Este - Oeste), teniendo su continuidad en el sector Rancho Canelo donde estas estructuras se encuentran en dirección Oeste-Suroeste – Este-Noreste lo que permite identificar un pando generalizado de la faja de desplazamiento principal entre ambos sectores (**Figura No 23**), coincidiendo en gran medida con las linealidades observadas en el análisis de la Imagen satelital y Mapa de sombras de relieve.

Por tanto al existir tales diferencias de rumbos entre las zonas de falla del Sur del sector San Juan de Sagua y el sector Rancho Canelo, tienden a ocurrir en el primero procesos transpresivos al desplazarse la subzona Sierra del Rosario por el Sur de la subzona Bahía Honda (**Figura No 23**). Esto puede comprobarse al observar la dirección Este - Oeste que posee el límite Sur de la Meseta de Cajálbana (**Figura No 24**), el cual va tomando dirección Oeste-Noroeste hacia su porción occidental donde a consecuencia de transpresiones más acentuadas por esta dirección pudieron haberse desarrollado rampas inclinadas que en conjunto con la baja densidad de estas rocas (serpentinitas) pudieron haber contribuido a su levantamiento.

La zona de falla encontrada en el sector Rancho Canelo al Sur del Mogote Pan de Guajaibón según su dirección se prolonga al Norte de las paredes de Sierra Azul, ambas elevaciones están constituidas por la Formación Guajaibón, que al parecer pudo ser seccionada, trasladando su porción más meridional hacia el Este-Noreste, pudiendo trasladar a la antes mencionada Sierra Azul a su posición actual a través de procesos transcurrentes sinestrales generados por esta zona de falla (**Figura No 23**).

Con los resultados estructurales obtenidos en este trabajo y otros anteriores realizados por Cofiño Arada, (2002) en otras áreas del contacto en cuestión, en los

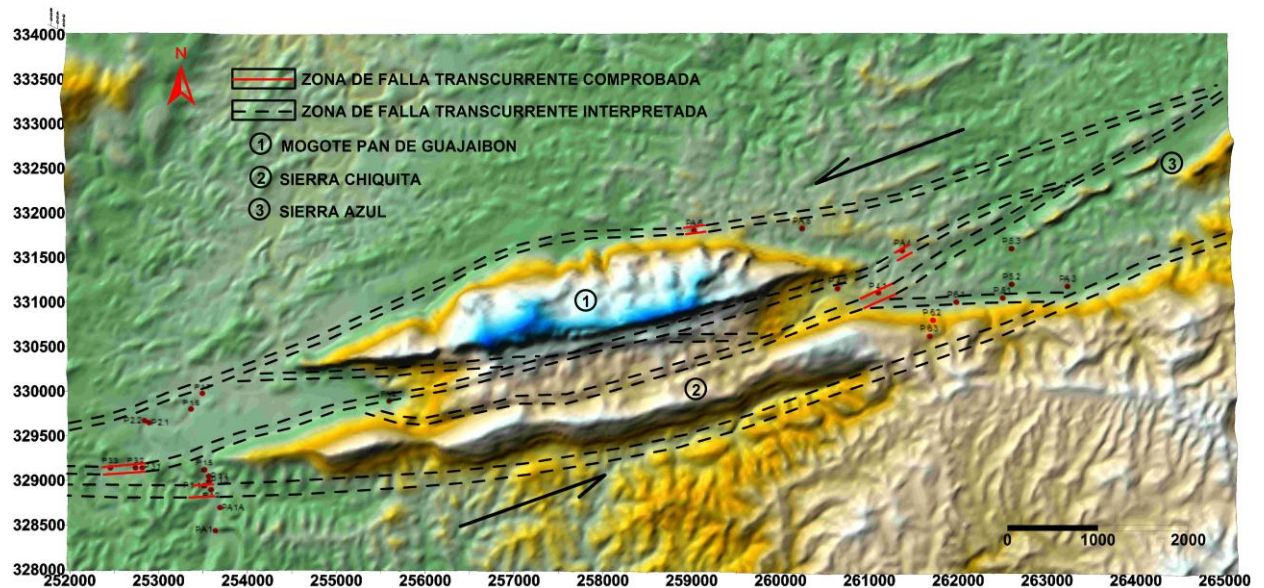
cuales han sido detectados indicadores cinemáticos que confirman desplazamientos transcurrentes siniestros; puede considerarse que la faja que pone en contacto a las secuencias de El Rosario con las de Bahía Honda funcionó como un sistema de fallas de deslizamiento por el rumbo sinistral para el final de los cabalgamientos, subparalela a Falla Pinar.

Ahora, teniendo en cuenta este desplazamiento sinistral es explicable que los cortes presentes en la Sierra del Rosario que se encuentran actualmente al sur de dicho contacto debieron encontrarse más al Oeste antes del comienzo de la transcurrencia y por tanto es probable que las secuencias de la subzona Bahía Honda no las hallan sobrecorrido directamente durante los cabalgamientos, sino que lo hicieran por encima de las secuencias un tanto más occidentales de la misma, que hoy se encuentran más al Este que podrían ser las presentes en el Bloque Martín Mesa, constituyendo un melange donde se encuentran mezclados bloques de los Terrenos de Arco Volcánico Cretácico con las rocas del Paleomargen de América del Norte.

El desarrollo de este sistema tectónico transcurrente posee similitudes con la más sureña Falla Pinar, sin embargo los desplazamientos normales experimentados por este como consecuencia de una distensión de carácter regional en toda la Cordillera de Guaniguanico para el final de los eventos transcurrentes, no parecen presentar tal magnitud a lo largo de toda la zona de falla. En el área estudiada se presenta una alternancia de bloques en forma de cuñas levantados contactando con otros hundidos.

En general pudo comprobarse la relación espacial existente entre las linealidades detectadas durante el análisis de la imagen satelital y el mapa de sombras de relieve y las expresiones en el terreno de estos sistemas de fallas de deslizamiento por el rumbo (**Figura No 23**).

La edad de este sistema de fallas fue estimada como posterior al Eoceno Inferior por afectar las secuencias superiores olistostrómicas de la Formación Manacas, fue imposible determinar un límite superior de edad de funcionamiento de esta estructura, debido a la ausencia en toda el área de rocas más jóvenes.



**Figura No 23:** Mapa obtenido a través de la proyección de las zonas de fallas comprobadas (rojo, continua) siguiendo la dirección de los escalones geomorfológicos y linealidades presentes en el modelo digital del terreno (negro, discontinua), en el cual se observa la diferencia de rumbos de la faja principal de deslizamiento por el rumbo sinistral en ambos sectores.

### **3.4- Relación de la estructura transcurrente con la presencia de hidrocarburos.**

En la literatura existen numerosos casos en los cuales se relacionan estas fallas transcurrentes con la presencia de yacimientos de hidrocarburos, pues estas por presentar carácter vertical y regionalmente desarrollar posibles condiciones distensivas podrían crear un mecanismo de ascenso de hidrocarburos generados en profundidad los cuales migrarían hacia trampas potenciales. En el área, el desarrollo de nappes constituirían estas trampas estructurales debido a la geometría de los mismos en su parte superior o cúpula. Sin embargo para lo antes descrito se debe tener en cuenta la posibilidad de ocurrencia de un sistema petrolero donde existan rocas con altos contenidos de materia orgánica preservada en sus sedimentos (rocas madres), otras que posean una porosidad primaria y/o secundaria

efectiva para albergar los hidrocarburos generados por las primeras (reservorio) y por último la existencia de una cobertura superior o sello regional que impida la fuga hacia la superficie con la correspondiente biodegradación u oxidación de los petróleos generados.

En la Zona Placetas de Cuba Central se encuentran importantes yacimientos de Hidrocarburos generados y acumulados por las secuencias presentes en la misma; debido a la similitud de estos cortes con los encontrados en toda la Sierra del Rosario en cuanto a su estratigrafía, estilo tectónico, posición estructural e historia geológica, resultan obvias las enormes potencialidades del territorio de contener importantes yacimientos de hidrocarburos por simple correlación (Cobiella-Reguera et al. 2000)

En el área afloran ciertas unidades litoestratigráficas, como es el caso de las formaciones Polier y Santa Teresa a las cuales se les realizaron estudios anteriores a este trabajo para determinar su potencial de generación, mostrando los siguientes resultados:

La Formación Polier presenta contenidos altos de materia orgánica (MO), determinados por técnicas soviéticas y los valores máximos de COT alcanzan hasta 6.2%, mientras que los valores medios son de 0.83%. Por análisis de Rock Eval, los valores de COT,  $S_2$  y HI, alcanzan valores de 3.26%, 11.4 mg HC / g de roca y 305 mg HC / g de COT,  $T_{max}$  de 441 ° C y refractancia de la vitrinita ( $R_o$ ) de 0.50 %. Estos datos indican que estas secuencias se encuentran dentro de la ventana de generación. Las rocas de la Formación Polier han tenido entradas de petróleo ligero (36°API) y poco sulfuroso (0.49%) en los pozos Martín Mesa 1 y 7 (López et al., 1998 en Cofiño, 2002).

La Formación Santa Teresa, con contenidos muy elevados de MO, alcanzando por técnicas soviéticas valores máximos de 3.7% y medios de 1.57%, mientras que por Rock Eval, los valores máximos alcanzan 14.9%. Los valores de  $S_2$  y HI llegan a 64.5 mg HC / g de roca y 433 mg HC / g de COT, lo que demuestra su elevado potencial de generación.  $T_{max}$  alcanza 435 °C y la refractancia de la vitrinita ( $R_o$ ) es

de 0.57%. Estos datos indican que estas secuencias se encuentran dentro de la ventana de generación. El alto contenido de MO, así como su espesor, extensión areal y alto potencial generador hace considerarla como una excelente roca madre (López et al., 1998 en Cofiño, 2002).

Por todas estas consideraciones, las rocas del corte (Cretácico Inferior Berriasiano al Cretácico Superior Cenomaniano) que incluye a las formaciones Polier, Santa Teresa y Carmita, son consideradas generadoras de petróleo. La existencia de numerosas manifestaciones en superficie a lo largo de toda la franja que pone en contacto al Rosario con Bahía Honda y en sus cercanías, así como la aparición de hidrocarburos en pozos profundos llevados a cabo en zonas cercanas a este contacto y la proximidad del Yacimiento Martín Mesa, aseveran la afirmación anterior.

Debido al grado de fracturación que poseen estas secuencias a causa de los procesos tectónicos en los que se vieron involucradas también podrían actuar como reservorio, acumulándose los hidrocarburos producidos por las mismas en las partes superiores de las escamas tectónicas. La Formación Cacarajícara podría constituir un mal reservorio de porosidad secundaria por tratarse de secuencias masivas muy potentes encontradas en el manto tectónico Sierra Chiquita, a su vez en los lugares donde estas rocas se encuentran menos agrietadas, por encontrarse en la parte superior de los mantos cabalgados también podrían tener función de un sello de mala calidad, que al oxidarse el petróleo en estas fracturas las sellarían y tenderían a acumularse en las partes inferiores del corte (formaciones Polier, Santa Teresa y Carmita). Sin embargo en toda la Sierra de Rosario no aparecen evidencias de una cobertura sedimentaria con características de sello, solo en el caso de las formaciones Moreno y Manacas, por poseer espesores considerables de rocas eminentemente arcillosas podrían desempeñar este papel, pudiéndose localizar la primera en una posición estructural favorable, encima del corte Berriasiano - Cenomaniano en los mantos de cabalgamiento y la segunda en el techo y frente de estos.

Según los resultados obtenidos en este trabajo, tras demostrarse la transcurrencia sinistral entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, trasladándose la primera desde una posición más occidental es estimable que los cortes mas orientales de la misma se encuentren sobrecorridos por la segunda planteando una posibilidad de que los petróleos generados por estas quedaran entrampados al considerar las características de posible sello por los potentes espesores de las secuencias superiores pertenecientes a los Terrenos de Arco Volcánico Cretácico (TAVK) y Ofiolitas.

Esta estructura de deslizamiento por el rumbo pudo haber desarrollado a través de pandeos y resaltos de falla condiciones transtensivas que facilitarían el ascenso o migración vertical de los hidrocarburos producidos en profundidad por las secuencias antes descritas posibilitando su entrampamiento en las estructuras nappe escamadas que afecta, funcionando las secuencias superiores como las formaciones Moreno, Cacarajícara y Manacas como posibles sellos. Esto puede comprobarse al observar la relación entre manifestaciones en superficie de petróleo biodegradado y asfaltitas, así como la fluencia de hidrocarburos a pozos profundos extraídos del libro digital “Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos en la República de Cuba” (Linares Cala et al., 2011) localizados en zonas cercanas al contacto entre ambas subzonas (**Figura No 24**).

**Pozo Pinar 2:** El emplazamiento del pozo Pinar No 2 se encuentra a 6,5 km al Sureste del poblado San Diego de Núñez. Hoja ICGC: 3584 I (Bahía Honda). Coordenadas Lambert: X: 289700, Y: 338200.

Este sondeo presentó numerosas manifestaciones de hidrocarburos, como la que se observó durante una prueba de formación a los 1692 m, donde se calcularon 21 000 m<sup>3</sup> de gas, con una presión de capa de 151,6 atm.

Otro ensayo efectuado de 1658 a 1622 m tuvo entrada de gas y manifestó trazas de petróleo. También en otras pruebas de formación presentó manifestaciones de petróleo y gas. Algunos núcleos tenían impregnación de petróleo. Otros intervalos con manifestaciones fueron 1752 - 1724 m, 1660 - 1620 m, 1546 - 1520 m. El

carotage gaseoso registró además varias zonas con fluorescencia de petróleo y gas. El corte reconocido por este sondeo expone zonas de melange y mantos de las formaciones Santa Teresa, Carmita y Polier. En definitiva, existen cinco mantos de cabalgamiento superpuestos. Otro dato importante es que en la actualidad el Pinar No. 2 está derramando petróleo por la boca del pozo.

**Cantera Luis Carrasco (Quiñones).** Se ubica a 5 km al Sur del centro del poblado de Bahía Honda, 750 m al Noreste del caserío Quiñones, municipio de Bahía Honda, provincia de Pinar del Río. Hoja ICGC: 3584 I (Bahía Honda). Coordenadas Lambert: X = 278150, Y = 337750.

Se trata de una cantera para materiales de construcción donde se explotan calizas del Cretácico Inferior Albiano-Cretácico Superior Turoniano (Formación Pinalilla) que tienen petróleo biodegradado en sus fracturas.

**Pozo Estructural No. 7 (Los Cayos).** Está situado a 10 km en línea recta al Suroeste de Bahía Honda, 5 km al Suroeste de Quiñones y a 19,2 km de Los Pinos, San Cristóbal. Hoja ICGC: 3584 II (San Cristóbal). Coordenadas Lambert: X: 273750, Y: 334150.

Es un pozo estructural en las orillas del río San Miguel, a 1,2 km del pueblo Los Cayos. Allí existe un tubo de aproximadamente 1 m, del cual brota agua sulfurosa. En el área cercana existen varios pozos estructurales que cortaron rocas con manifestaciones de hidrocarburos. En la zona de Rascone, a unos centenares de metros del PE-7, al Sureste, por el río San Miguel, se han reportado salideros superficiales de petróleo y manifestaciones en pozos someros. El agua sulfurosa se ha usado por los pobladores de la zona como agua medicinal.

**Mina de asfaltita Cacarajícara.** Se localizan a 5 km al Sureste de la iglesia del poblado Las Pozas, al 13 km al Suroeste de Bahía Honda en línea recta; 1,5 km al Noroeste del caserío Asiento de Cacarajícara. Hoja ICGC 3584 IV (La Mulata). Coordenadas Lambert: X: 267650, Y: 335900.



El mineral de la mina Cacarajícara era de excelente calidad, del tipo brillante, clasificándose como brillantina cubana. Comprendía una veta con dirección Norte - Sur que surca secuencias vulcanógenas de la Formación Encrucijada.

**Pozo Las Bateas (río San Marcos).** Está ubicado a unos a 11 km al Noroeste de Sabanilla, muy cerca del río San Marcos, y de la Carretera de Montaña, municipio La Palma, Pinar del Río. Hoja ICGC: 3584 III (Pan de Guajaibón). Coordenadas Lambert: X: 256355, Y: 327781.

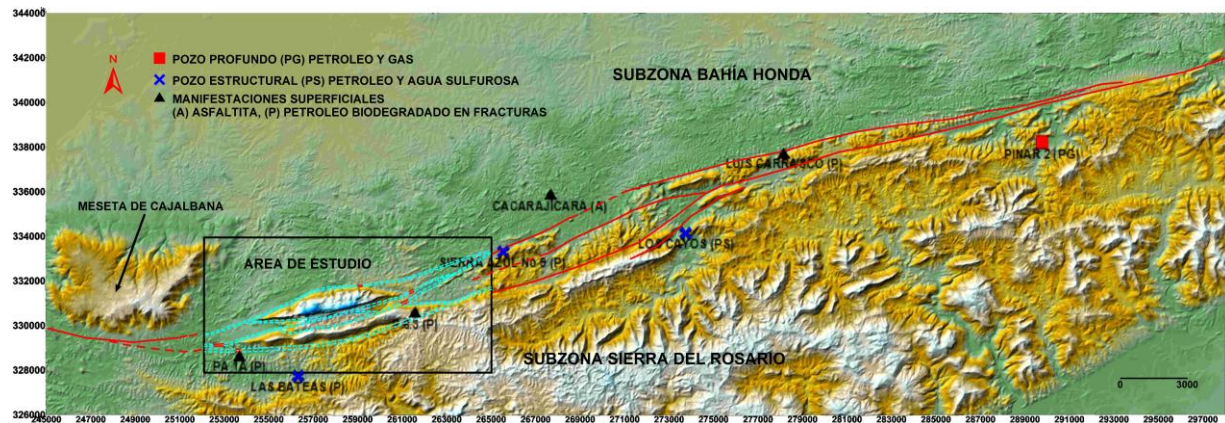
Se trata de un pozo pequeño que siempre tiene en la boca una película de petróleo ligero sobre el agua, también en sus alrededores se reconocen manifestaciones de petróleo.

**Pozo Estructural Sierra Azul No 9:** Se encuentra 15 km al Suroeste de Bahía Honda y 6 km al Sur - Sureste del poblado Las Pozas. Hoja ICGC: 3584 III (Pan de Guajaibón). Coordenadas Lambert: X= 265525 Y= 333320.

El Pozo No 9 de la Sierra Azul alcanzó 140 m de profundidad. De acuerdo a un minucioso estudio estratigráfico y paleontológico de los testigos de perforación cortados, se define el siguiente corte:

0-100 m Calizas de estratificación fina, grises oscuras a veces negras, de granos finos, piritizada, con restos de microfósiles. Las calizas son bituminosas con cavidades rellenas por petróleo líquido. Se ven aisladas intercalaciones de calizas fosilíferas, compuestas casi en su totalidad, por restos de microfósiles. Debajo, cerca de los 100 m de profundidad, hay bauxita gris, piritizada, oolito fragmentaria, compacta, con una brecha carmelita oolítica fragmentaria, compacta, con una brecha submenífera en la base. De 100 - 140 m Se describen, calizas arrecifales fosilíferas, grises claras, con numerosos restos fósiles de foraminíferos. Aunque el corte se extiende desde el Albiano al Cenomaniano, algunas especies son más comunes en este último. La textura pseudoolítica de las rocas, que está relacionadas con fragmentos de algas, moluscos, microfósiles, induce a considerar que el ambiente sedimentario fue bastante somero, de la zona litoral (0 - 50 m) o epinerítica, determinándose todo el corte dentro de la formación Guajaibón.

En el área fueron encontrados en el Punto aislado 1A y el punto 3 del perfil Camino de Rancho Canelo a Sumidero restos de petróleo biodegradado presentes en las fracturas, estos se encuentran representados en la **figura No 24**; además se observó la presencia de bitumen en algunos de los afloramientos mapeados.



**Figura No 24: Modelo Digital del Terreno (3D).** Se representan puntos de interés petrolero a lo largo del contacto donde se aprecia una relación espacial entre estos y las linealidades determinadas a través del análisis de la imagen landsat y para el caso del área de trabajo el resultado de la proyección de zonas de fallas interpretadas a través de los datos obtenidos en este trabajo.

## CONCLUSIONES

Como resultado de esta investigación se derivan las siguientes conclusiones.

1. La interpretación de los datos obtenidos permiten confirmar la existencia de una estructura de deslizamiento por el rumbo sinistral en el límite entre las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda.
2. Los resultados permiten demostrar la rotación horaria del máximo stress compresivo desde direcciones Noroeste - Sureste hacia el Suroeste - Noreste, iniciando para una posición del  $\sigma_1$  entre los 20° y 30°, que son los causantes de los procesos transcurrentes siniestros que provocaron el desarrollo de la faja cizallante principal en el límite de la secuencia de las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda.
3. Las zonas de fallas de deslizamiento por el rumbo sinestrales al Sur del sector San Juan de Sagua presentan direcciones próximas al Este - Oeste y buzamientos abruptos hacia el Norte, mientras que las detectadas en Rancho Canelo poseen direcciones Oeste-Suroeste – Este-Noreste y buzamientos muy inclinados hacia el Norte y Sur, por lo que se estima la verticalidad del sistema para este sector; esta diferencia de rumbos que presenta la faja transcurrente principal en el sector Rancho Canelo y el sector San Juan de Sagua, provocó procesos transpresivos en este último.
4. Es posible correlacionar espacialmente las manifestaciones de hidrocarburo en superficie y pozos perforados con la estructura de desplazamiento por el rumbo que pone en contacto a las subzonas Sierra del Rosario y Bahía Honda, por lo cual pudiera pensarse que esta pudo haber provocado condiciones propicias para el ascenso de hidrocarburos y su posible acumulación en trampas estructurales al Norte y Sur de dicho contacto.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda ampliar los estudios estructurales a otros sectores de dicho contacto con el fin de determinar nuevas evidencias de la existencia y magnitud de desplazamiento de esta estructura.
2. La proyección de sondeos profundos orientados a la búsqueda de nuevos yacimientos de hidrocarburos, en las cercanías de la faja estudiada, preferentemente al Norte de la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cobiella-Reguera, J.L., (1995). "Evaluación preliminar del potencial gasopetrolífero de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico a partir de la información geológica de superficie". Informe inédito. Departamento de Geología, UPR.
- Cobiella-Reguera, J.L., (1998). "Melanges de la Sierra del Rosario, Cuba occidental. Tipos e implicaciones regionales". Revista Minería y Geología. Vol. XV, No. 2: 3-10.
- Cobiella-Reguera, J.L, S. Gil González, A. Hernández Escobar, y N. Díaz Díaz., (2000). "Estratigrafía y tectónica de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico, Cuba Occidental". Revista Minería y Geología. Vol. XVII, No. 1.
- Cofiño Arada, C.E., (2002). "Características microestructurales de las secuencias del Jurásico Superior-Cretácico y su relación con la potencialidad de hidrocarburos en la parte oriental de Sierra del Rosario". Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas. UPR. Pinar del Río.
- Cofiño Arada C.E, y D. Cáceres Govea., (2002). "Utilización de métodos microtectónicos en el desciframiento de la evolución de estructuras tectónicas (Falla Pinar)". Revista Minería y Geología. Vol. XIX, No. 2.
- García Delgado, D.E, S. Gil González, R. Delgado Damas, G. Millán Trujillo, L.L. Peñalver, M. Cabrera Castellanos, R.D. Valle, J.L. Chang, M. Fuentes, C. Días Otero, V. Suarez, A.I. Llanes, R. Pérez Aragón, M. Torres, C. Pérez Pérez, y L. Días de Villalvilla., (2003). "Generalización y actualización geológica de la

provincia Pinar del Río a escala 1: 100 000". Informe proyecto 228, I.G.P, MINBAS, La Habana.

Léxico estratigráfico de Cuba. (1994).

Linares Cala, E, D.E. García Delgado, O. Delgado López, y J.G. López Rivera., (2011). "Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba". Libro Digital. CEINPET, La Habana.

Maximov, A, I. Mediokov, S. Riabenko, B. Krasnov, A. Kataev, L. Hevia, V. Bello, R. Gómez, y G. Park, (1979). "Informe sobre los resultados de los trabajos complejos Geológicos - Geofísicos a escala 1:50 000 en la zona de Bahía Honda". Inv. 2867, O.N.R.M., MINBAS, La Habana.

Rossello, E.A., (2001). "Sistemas tectónicos transcurrentes: una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas". Revista Avances en Microtectónica. Serie D: Publicación Especial N° 5: 19-43.