

551.  
COR  
02



# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ANALISIS DE MORFOESTRUCTURAS EN IMAGENES RADAR,  
FOTOS AEREAS, RED DE DRENAJE Y MODELOS NUMERICOS  
PARA LA OBSERVACIÓN DE DEFORMACIONES DE UNA MARGEN  
ACTIVA: EJEMPLO DE MANTA.”**

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERO EN GEOLOGIA**

Presentada por:

**Jorge Alberto CORONEL QUEVEDO**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2001**



D-31536

# AGRADECIMIENTO

El desarrollo del presente trabajo no hubiera llegado a su término sin el aval de dos importantes instituciones a las cuales agradezco por su apoyo, siendo estas la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la ESPOL y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia.

Al Dr. Jean François Dumont por la oportunidad, apoyo y paciencia. Por su amistad y enseñanzas. De igual forma al Ing. Edison Navarrete por su confianza desde los inicios de mi carrera.

A mis amigos M. Kevin Pedoja por su ayuda y conocimientos sobre la zona de trabajo, así como al Ing. César Witt, gran amigo y geólogo.

Agradezco a mis padres por haberme dado el regalo mas grande, luego de la vida misma: la educación.

A todos mis compañeros y profesores.



**A LA VIRGEN MARIA**

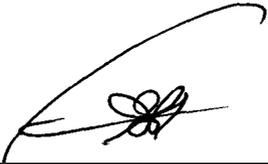
**A DON BOSCO**

**A MIS PADRES**

**A MIS HERMANOS**

**A MIS AMIGOS**

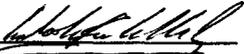
# TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Edison Navarrete Cuesta  
DECANO DE LA FICT



Dr. Jean François Dumont  
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Calle  
VOCAL



Dr. Paul Carrón Mero  
VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas, y doctrinas expuestas en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**".

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jorge Alberto Coronel Quevedo', is written over a solid horizontal line.

Jorge Alberto CORONEL QUEVEDO

# INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.3 METODOLOGIA.....	13
<b>II. GEOGRAFIA.....</b>	<b>15</b>
2.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	15
2.2 CLIMA.....	16
2.3 VEGETACION y FAUNA .....	16
<b>III. GEOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
3.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL.....	19
3.2 GEOLOGIA LOCAL.....	22
3.2.1 GEOMORFOLOGIA.....	22
3.2.2 ESTRATIGRAFIA .....	23
<b>IV. USO DEL RADAR EN GEOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
4.1 FUNDAMENTOS DEL SISTEMA RADAR.....	29
4.1.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN .....	30
4.1.2 TECNICAS DE INTERPRETACIÓN.....	31
4.1.3 CARACTERISTICAS DE LA REFLEXION DE ONDAS RADAR .....	34
4.2 GENERALIDADES DEL SATELITEERS-1.....	37
4.3 MORFOLOGIA RADAR.....	40
4.3.1 DESCRIPCION MORFOLÓGICA de la IMAGEN 4221_3627.....	41
4.4 ESTRUCTURAS RADAR.....	45

4.5 INTERPRETACION DE LA IMAGEN EN EL AREA DE ESTUDIO.....	48
4.5.1 TRATAMIENTO VISUAL DE LA IMAGEN RADAR.....	48
4.5.2 TRATAMIENTO DIGITAL DE LA IMAGEN RADAR.....	50
4.5.3 RESULTADOS.....	58
<b>V. INTERPRETACION DE LA RED DE DRENAJE EN LA PENINSULA DE MANTA.....</b>	<b>61</b>
5.1 VARIACIONES CON RESPECTO A LAS TERRAZAS MARINAS.....	64
5.2 CONTROL DE LA RED DEBIDO A ESTRUCTURAS.....	71
5.3 ASIMETRIA DE CUENCAS.....	74
<b>VI. FOTOGEOLOGIA.....</b>	<b>76</b>
6.1 FOTOMOSAICO DIGITAL .....	76
6.2 INTERPRETACION DE LAS FOTOS .....	78
<b>VII. MODELOS NUMERICOS DE TERRENO y ANÁLISIS MORFOLÓGICO .....</b>	<b>80</b>
7.1 FUNDAMENTOS DE LOS MNT's.....	80
7.2 EJEMPLOS Y ANALISIS DE MNT EN EL AREA DE ESTUDIO.....	82
<b>VIII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>VX. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>92</b>



## INDICE DE FIGURAS

Fig 2-1 Ubicación del área de estudio.....	15
Fig 3-1 Contexto geodinámico y tectónico de la margen del Ecuador y Norte de Perú .....	19
Fig 3-2 Principales estructuras de la zona de antearco ecuatoriana.....	20
Fig 3-3 Esquema geomorfológico del área de estudio.....	23
Fig 4-1 Espectro Electromagnético.....	29
Fig 4-2 Principio de operación de los sistemas RADAR.....	30
Fig 4-3 Nomenclatura en la geometría Radar .....	34
Fig 4-4 Extracto de una imagen RADAR mostrando las cuatro formas de terreno más comunes.....	44
Fig 4-5 Interpretación geomorfológica a partir de la imagen RADAR.....	45
Fig 4-6 Comparación entre RADAR y fotos aéreas.....	46
Fig 4-8 Lineamientos observados en la escena RADAR completa.....	50
Fig 4-9 Histogramas de la imagen antes y después del filtro usado .....	52
Fig 4-10 Las tres fases del tratamiento digital.....	53
Fig 4-11 Aplicación de filtro Edge Enhancement en la imagen de la zona de estudio.....	57
Fig 4-12 Interpretación de la imagen Radar en el área de estudio.....	59
Fig 4-13 Ubicación de lineamientos en la imagen con filtro Edge Enhancement.....	60
Fig 5-1 Red de drenaje del área de estudio.....	62
Fig 5-2 Límites de los tablazos de la península de Manta.....	64
Fig 5-3 Tablazo El Aromo y su red de drenaje.....	66
Fig 5-4 Tablazos El Aromo y Pacocha y su red de drenaje.....	67
Fig 5-5 Tablazo Barbascales y Montecristi y su red de drenaje.....	68
Fig 5-6 Tablazo Montecristi y San Mateo .....	70
Fig 5-7 Tablazos inferiores.....	71
Fig 5-8 Lineamientos en el área de estudio debido a control estructural.....	73
Fig 5-9 Anomalías de cuencas asimétricas en el área de estudio.....	75
Fig 6-1 Foto aérea escaneada sin georeferenciar .....	76

Fig 6-2 Foto aérea escaneada georeferenciada.....	77
Fig 6-3 Distribución de los lineamientos de la fotointerpretación en el área de estudio.....	79
Fig 7-1 Modelos de elevación digital. Tipos de presentación.....	81
Fig 7-2 MNT de toda la península vista en perspectiva.....	82
Fig 7-3 Dos vistas panorámicas del MNT de la zona de Cabo San Lorenzo.....	83
Fig 7-4 Vista con perspectiva horizontal. de la zona de Cabo San Lorenzo.....	83
Fig 7-5 Vistas panorámicas de los MNT de la zona de El Aromo.....	84
Fig 7-6 Vista en planta de MNT de El Aromo.....	85
Fig 7-7 MNT de la falla Montecristi.....	85
Fig 7-8 Vistas en perspectiva del MNT de la falla Montecristi.....	86
Fig 7-9 Vistas del MNT de la zona sur del área de estudio.....	87
Fig 8-1 Comparación de lineamientos identificados.....	91

## RESUMEN

Desde hace varios años, el uso de los sistemas RADAR, aerotransportado y luego en satélite, han tenido gran demanda en la geología por su demostrada ayuda en los estudios regionales estructurales y morfológicos; es conocida su ventaja sobre los sensores ópticos del rango del visible e infrarrojo en las áreas de importante cobertura de nubes; por otro lado, están los Modelos Numéricos de Terreno, (MNT), la forma en que estos Últimos pueden ayudar a los estudios geológicos es otro de los temas que se abordan en las siguientes páginas.

La red hidrográfica de una zona puede servir como testigo de la historia geológica de la misma. A través de ella se pueden detectar rasgos morfoestructurales que de otra manera permanecerían ocultos. Se trabajan algunas formas de análisis en un área con drenajes recientes y que se perfilan como excelentes indicadores de las etapas de levantamiento de la Península de Manta.

Se trata de encontrar y caracterizar anomalías del terreno, ya sean estas de origen estructural o morfológico, y es ya conocida la importancia de la costa de Manabí, la zona de Manta en especial, en el ámbito tectónico; se conjugan dos situaciones interesantes: el levantamiento cuaternario de la península en sí y la falla neotectónica de Montecristi, esto abre un campo para el estudio y aplicación de la tecnología SIG y sensores remotos; el enfoque de la tesis es aclarar la característica de las estructuras neotectónicas que aparecen en este sector de la costa ecuatoriana.

# CAPITULO 1. INTRODUCCION

## 1.1 ANTECEDENTES

La Península de Manta fue la zona elegida para este estudio por su importancia en el ámbito tectónico y morfológico: dos estructuras mayores se encuentran, la península misma caracterizada por un levantamiento cuaternario con la presencia de terrazas marinas (Tablazos) que llegan hasta **los** 360 metros de altura (Pedoja, tesis en prep.), siendo los más altos de la costa ecuatoriana acompañados por la falla neotectónica de Montecristi, y el pasillo estructural NNE-SSO que bordea la península al este. Las estructuras que se mencionan son posiblemente, fruto de **los** movimientos corticales por su proximidad a la fosa y a la cordillera submarina de Carnegie (Gutcher, 1999)

Alvarado (1998) tomó como base las imágenes de Radar para el estudio de la neotectónica del bloque costero, tratando de correlacionar estos datos con la variación de **los** campos de contracción y deformación y la **cuantificación** de las deformaciones activas. Interpretó estructuras regionales para deducir direcciones y caracterizar las variaciones de **los** estados de contracción. **El** enfoque del trabajo es netamente tectónico y de escala regional, no dando mucho énfasis a la interpretación morfológica de las imágenes de radar. La zona de Manta en particular no se trata con detalle.

Pedoja por su parte, está estudiando las terrazas marinas del Ecuador y norte del Perú, con especial atención a la zona de Manta por su presencias a alturas

importantes. Identificó siete niveles de terrazas basándose en trabajo de campo, fotointerpretación y ayuda de modelos numéricos para separar las terrazas por su pendiente y altura; método muy práctico si se posee la topografía en digital detallada y un buen algoritmo de interpolación que en la actualidad todos los programas SIG lo traen incluido.

Ningún autor ha trabajado con detalle con las imágenes **RADAR**, especialmente comparando alineaciones radar **con** el aspecto real en foto o en el campo. Esto se aplica en particular a la red de drenaje de la zona. Este trabajo se constituiría en un complemento de los trabajos en la zona de Manta que desea aportar al entendimiento de la historia tectónica de la costa del Ecuador.

## 1.2 OBJETIVOS

Al presentar el siguiente trabajo se trazaron metas en los campos técnico y científico:

### TECNICOS

- Utilizar la teledetección activa (radar) como base para estudios geológicos de morfoestructuras a escala regional y a mismo tiempo trazar comparaciones de diferentes métodos para conocer los alcances y limitaciones del **RADAR**.
- Mostrar las capacidades de ayuda de los Sistemas de Información Geográficos y dentro de estos a los Modelos Numéricos de Terreno como herramienta de análisis, presentando las utilidades que brinda a la Geología.

## CIENTÍFICOS

- Aportar ideas al sistema tectónico de la región de la Península de Manta, donde el aspecto geodinámico tiene un papel protagónico en la formación de la zona.
- Precisar el estilo de las megaestructuras asociadas: la falla Montecristi y la Cordillera Costanera.
- Presentar una visión diferente al estudio de las terrazas, enfocando su firma en teledetección y sus relaciones con la morfología y estructuras locales.
- Observar los cambios en la red fluvial y utilizar **los** conceptos básicos de morfología de ríos para formular hipótesis sobre la historia del levantamiento de la Península de Manta.

### 1.3 METODOLOGIA GENERAL DE TRABAJO

#### I. Recolección de la Información

Además de recopilar los trabajos escritos sobre el área, se trabajó junto a científicos de IRD, quienes estudian la costa ecuatoriana; fue gracias a ellos que se accedió a las imágenes radar y fotos aéreas.

La información vectorial (digitalización) se la generó en el laboratorio de Teledetección Espacial y SIG de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la ESPOL.



## II. Control de la Información

En este paso se registraron **los** datos a un formato homogéneo, tomando en cuenta la calidad. Se incluye aquí la georeferenciación, creación de mosaicos, digitalización de fotos, etc.

### 111. Análisis de **los** Documentos.

Comprende el análisis de las imágenes radar, la interpretación estereográfica de las fotos aéreas, las observaciones de la red de drenaje y modelos numéricos. Se incluye además la utilización de diversos software para el tratamiento digital y la elaboración de mapas preliminares y modelos numéricos de terreno y, en general, el armado del rompecabezas que implican **los** diversos niveles de información propios de un **SIG**.

## IV. Comprobación de Campo

**Los** estudios de las estructuras *in situ* están limitados por el acceso y por la erosión y meteorización que ha modelado el paisaje, ocultando parte de estas estructuras. **El** trabajo consistió en diversas visitas al área de estudio, para tratar de reconocer las morfoestructuras y fallas, en el caso de existir, medirlas y tomar sus datos para el análisis posterior. La observación del terreno es otra clave ya que la zona contiene cambios paisajísticos drásticos que son de ayuda para inferir estructuras.

## CAPITULO 2. GEOGRAFIA

### 2.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Península de Manta se encuentra ubicada en la provincia de Manabí de la zona costera central del Ecuador, comprende un área de alrededor de 3500 Km<sup>2</sup>. de extensión que forma un rectángulo de coordenadas Universal Transversa Mercator zona 17S:

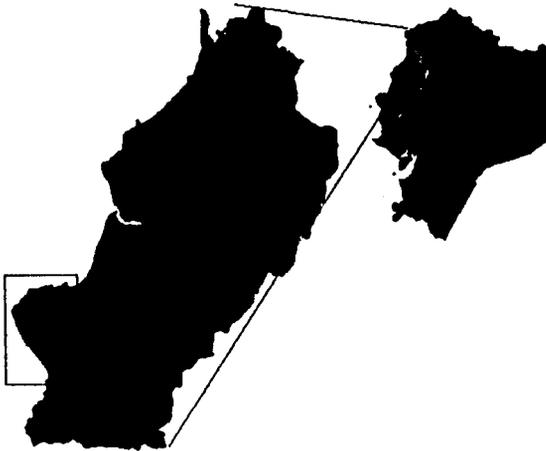


Fig. 2-1 Ubicación del área de estudio.

Norte	9905350
Sur	9836880
Este	544800
Oeste	507870

Limita al Norte por el O. Pacífico y los cerros de Crucita, al Sur por el O. Pacifico y Pto. Cayo, al Este por la cordillera costanera y al Oeste por el O. Pacifico.



## 2.2 CLIMA

El clima que caracteriza a la región es tropical sabana " **AW** (Winckell, 1997), el cual se distingue por presentar veranos secos e inviernos cortos y húmedos en los meses de febrero, marzo y abril. Datos medidos de pluviometría, indican que **los** meses lluviosos que acumulan los totales anuales (aprox. 1000 mm) son de Enero hasta Mayo.

En **los** meses de invierno, **los** promedios mensuales de lluvia varían entre **660** y **85** mm; con 10 a 15 días de lluvia, notándose una ausencia total de lluvia en el verano. **El** porcentaje mensual de humedad relativa varía entre el 75 y **82** %. Las máximas absolutas de temperatura del aire van de **24** a **26 °C** en invierno, y las mínimas de 13 a 18 °C en verano.

**Los** valores de la velocidad del viento para la ciudad de Manta varían entre 0 m/s hasta 11m/s registrada durante el mes de Septiembre, su valor más frecuente varia entre **4** y **5** m/s . En general , la serie de vientos presenta una tendencia ascendente desde Julio hasta Noviembre, mes en el que comienza a descender hasta **los** valores mínimos en marzo y abril. La dirección predominante es de 280° azimut.

## 2.3 VEGETACION Y FAUNA

De manera general, la flora del área se ubica dentro de matorral desértico a monte espinoso premontano, pudiéndose subdividir en tres'grupos:

- ***Xerofilia Humboldtiana***: Ocupa el área afectada por la corriente de Humboldt, cuyos sectores corresponden de preferencia a la Península de Santa Elena, las costas de El Oro y parte de las de Manabí. Esta formación vegetal la forman plantas que soportan largas sequías y que recuerdan las formaciones desérticas, como lo indica su nombre (xerasia, sequedad; filos, amigo). Las especies características son muyuyu (*Cordia lutea*), cascol, palo santo, cardo y espinos, entre otros.
- ***Formaciones deciduas* o *bosques caducifolios***: están localizadas en el interior oriental de las sabanas y las forman árboles y arbustos que durante gran parte del año y principalmente durante el período de sequía permanecen sin hojas.

Entre las especies características: el ceibo, guayacán, guachapeli, laurel, etc., muchos de estos árboles proporcionan excelente maderas de construcción.

- ***Selva submacrotérmica higrofitá***: esta amplia faja comprendida entre los 200 y 800 m., constituye una de las áreas de mayor valor económico de la región litoral, ya por su riqueza forestal, ya por la excelencia de sus terrenos para la agricultura, una vez descuajada la selva.

Las sabanas y los bosques caducifolios son igualmente áreas magníficas para la agricultura, siempre que se resuelva el problema de la irrigación.



La fauna del sector está representada por cuadrúpedos, reptiles, aves e insectos propios del trópico. Son las especies trepadoras y voladoras las más numerosas. Entre los carnívoros, el jaguar o tigre americano (*Felis onca*), que es propio de áreas calientes de la zona tropical, abunda en sitios selváticos; parientes cercanos son los tigrillos (*Felis pardalis*), que con los zorros constituyen el azote de los gallineros.

Entre los desdentados merecen mención los perezosos, los armadillos y los osos hormigueros. Roedores típicos del bosque tropical son la guanta, la guatusa y las ardillas.

En las sabanas hay numerosos venados que, debido a la intensa cacería, comienzan a extinguirse.

Entre las aves, las palmipedas o nadadoras propias de las aguas marinas, como el alcatraz, el piquero, la fragata, los pelícanos, etc., constituyen especies abundantes.

## CAPITULO 3. GEOLOGÍA

### 3.1. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La Fisiografía y Geología ecuatoriana se encuentra íntimamente relacionada con el sistema de subducción que afecta sin interrupción el margen occidental de Sudamérica desde Colombia hasta Chile. Consecuentemente, existen en el país tres principales regiones morfológicas: la costa o región de ante arco (la más extensa de Sud América), la sierra o arco volcánico y el oriente o región de tras arco, la cual se une a la Amazonia.

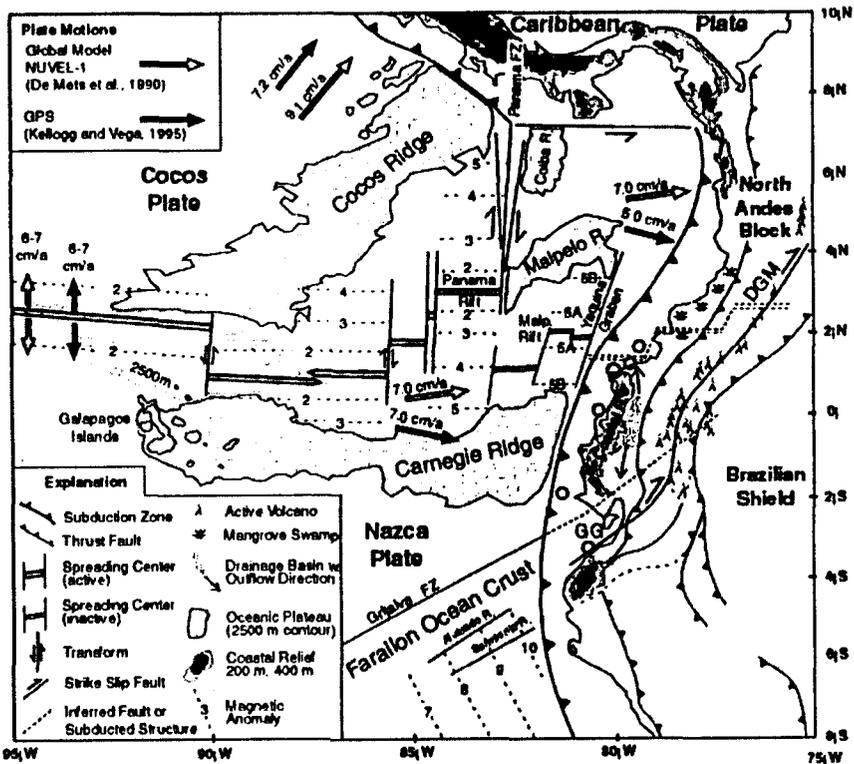


Fig 3-1 Contexto Geodinámico y Tectónico de la margen del Ecuador y Norte de Perú, según Gutscher et al. (1999)

A la latitud de la margen ecuatoriana (2°N a 3°S) la placa Nazca se subducta bajo la Placa Sudamericana a lo largo de una zona de fosa convexa hacia el Oeste y de profundidad media de 3000 a 3500 m, la geometría de esta

subducción es oblicua lo que provoca la expulsión del bloque norandino hacia el norte a lo largo de un sistema transversal (la falla Guayaquil-Dolores) que es el que acomoda el carácter oblicuo de la subducción. Esta oblicuidad no es constante a lo largo de la fosa, posee un valor de 30° en el tramo Guayaquil – Esmeraldas y alcanza los 50° para el sector comprendido entre Esmeraldas y Buenaventura (Ego, 1995, Alvarado, 1998). La velocidad de convergencia entre estas placas es del orden de 80 mm/a con una dirección media N080 (Daly, 1989), trabajos más recientes han obtenido datos en concordancia con estos valores.

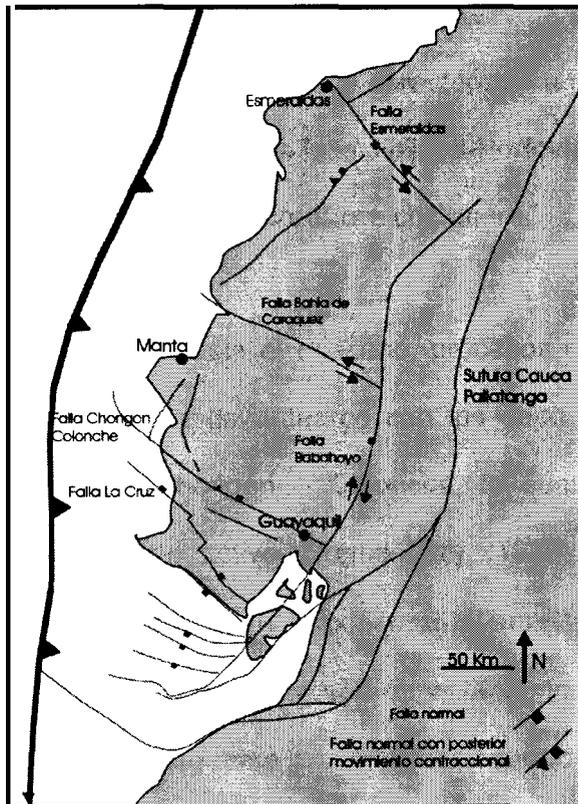


FIG. 3-2 Principales estructuras de la zona de antearco ecuatoriana. Según Daly (1989)

El ridge Carnegie se subduce conjuntamente con la Placa Nazca entre 0° y 2° S que provoca una elevación de la zona de fosa de alrededor de 1500 m, el efecto de la subducción de este ridge dentro de la zona continental está

UNIVERSIDAD  
 DE GUAYAQUIL  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CIVIL

relacionado con los depósitos marinos levantados (tablazos) los cuales llegan a tener alturas que bordean los 360 m. (Dumont, 1996). La edad del inicio de la subducción del ridge sería de 8 Ma (Gustcher, 1999), en función de la relación levantamiento subsidencia presente entre la zona Sur-occidental colombiana y la zona costera del Ecuador. Aun así la edad de este evento y su efecto dentro de la zona costera no ha sido muy bien caracterizado hasta ahora.

Durante el Eoceno inferior, importantes fallamientos inversos afectan al basamento, estas fallas actúan probablemente por el resto del Eoceno medio, estructuras complejas en forma de flor que caracterizan a grandes juegos de fallas transversales como el caso de la falla Jipijapa-Portoviejo, la cual sería la responsable del levantamiento de la cordillera costanera.

A través del Mioceno medio hasta el Plioceno, procesos de levantamiento y subsidencia afectaron la zona de antearco con los depocentros principales separados por la cadena Chongón - Colonche, la cual en este período presentaba un levantamiento activo. Según Daly (1989), este período de levantamiento fue acompañado por un proceso de inversión tectónica de todas las cuencas de antearco y se relacionó con un incremento en la velocidad de convergencia, esta inversión termina en el Mioceno tardío - Plioceno con la total formación de la Cordillera Chongón - Colonche.

El último proceso de deformación de la zona de antearco es el levantamiento vertical de la zona costera donde sedimentos cuaternarios están siendo levantados hasta alturas que superan los 360m.

En lo que respecta a los depósitos del cuaternario, es importante citar los antes denominados "Tablazos", llamados así en analogía a las terrazas marinas del norte de la costa peruana, que se presentan a lo largo de casi toda la costa ecuatoriana. Para Pedoja (comunicación oral) se debe hacer una distinción entre estas terrazas y la Fm. Tablazo, tratándose esta última de depósitos marinos más alejados del pie de acantilado. En la región de Manabí estas terrazas alcanzarían una elevación de hasta 360m. (Pedoja, en prep.).

## **3.2. GEOLOGIA LOCAL**

### **3.2.1. GEOMORFOLOGIA**

Según Winckel (1997), la zona de estudio ocupa una posición geográficamente excéntrica, su límite oriental corresponde a la terminación occidental de los cerros de Portoviejo, Montecristi y del tramo sur de la cordillera costanera. Pese a la proximidad del océano se trata de un área topográficamente bien diferenciada cuya principal característica es la disimetría: con excepción de las regiones de Manta y Jaramijó en donde las altitudes no sobrepasan los 50 m, toda la zona localizada al oeste de la carretera Manta-Montecristi presenta un relieve bastante accidentado y una elevación rápida de las altitudes hasta 300-320 m a lo largo de una línea este-

oeste que pasa por el cabo San Lorenzo y el Aromo, pueblo detrás del cual está ubicado el punto culminante a 365 m. Desde allí se extiende un amplio plano inclinado, con un modelado suave y monótono, únicamente entallado por pequeños valles que bajan con pendientes suaves y regulares hasta Puerto Cayo al borde del mar, al Sur. La figura 3-3 muestra un esquema generalizado de la morfología.

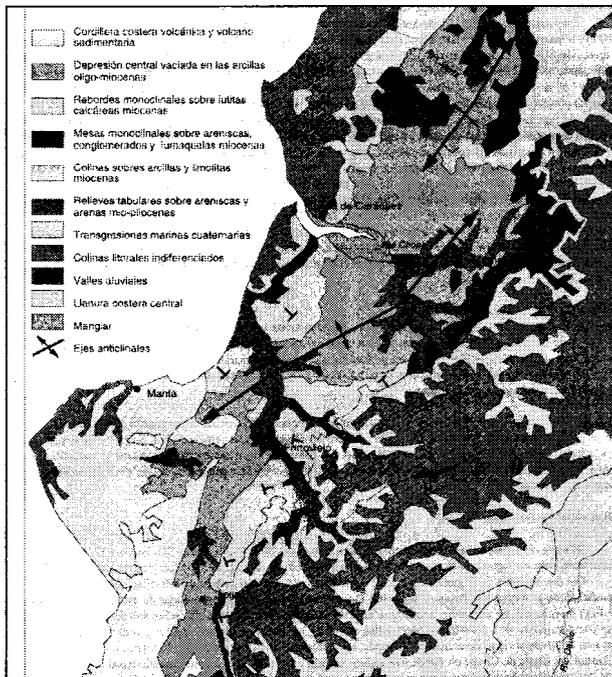


Fig. 3-3 Esquema morfológico según Winckell (1997)

### 3.2.2. ESTRATIGRAFIA

Los párrafos siguientes corresponden a una recopilación de información basada en las las cartas geológicas 1/100000, del área de estudio.

**Kv Complejo ígneo o volcánico.- Cretáceo medio a superior.** De acuerdo a los autores anteriores las rocas básicas del substratum han sido agrupadas

bajo la apelación de Formación Piñon (Marks, IEPC 1965). Pero el estudio petrográfico, cartográfico y las dataciones absolutas obligan a diferenciar dos familias de rocas por consideraciones cronológicas y estratigráficas. Únicamente un estudio detallado permitiría el cartografiar los dos tipos:

1 ) Piñon sensu stricto: rocas básicas o sea diabasas y doleritas, formando el volcanismo principal sobre el cual **transgrede** la formación Cayo en la Cordillera Chongón-Colonche (Caliza Calentura de base, **datada** del Cenomanense- Turonense ). La edad absoluta medida sobre una muestra tomada en Sequita ( Instituto de Ciencias Geológicas de Londres para el Proyecto Minero de NN. UU. ) se encuentra entre 100 y 110 millones de años, o sea Cenomanense.

2 ) Volcanismo tardío : coladas y diques de basaltos ( **pillow lavas** ) diabasas con cuarzo, contenido localmente ( La Pila ) intercalaciones decimétricas de arcillas verdes silicificadas **datadas** del Maestrchtense-Danense. La edad absoluta media sobre unas muestras oscila entre 80 y 50 millones de años o sea Cretáceo superior hasta Eoceno Inferior. **El** contacto de la formación Cerro sobre el volcánico es frecuentemente alterado, o el Volcánico contiene bloques englobados de Cerro, confirmado una actividad volcánica durante el Eoceno.

**Fm. Cayo.-** Cretáceo superior. En el lugar tipo ( Puerto Cayo) y en los cerros cercanos de Membrillal, a la formación Cayo le falta el Miembro Calentura y las facies de los cherts de Guayaquil. La formación esta representada por una

alternancia de areniscas y grauvacas medias a gruesas, en bancos métricos con grano-clasificación vertical, abundantes elementos de rocas volcánicas básicas con matriz arcillosas, y arcillas grises o verdes silificadas. Estos dos componentes pueden alternar en bancos o constituir secuencias de veinte a cincuenta metros. En el Cabo San Lorenzo se puede observar una colada intercalada de 100m. de espesor, formada de basalto con olivino. La parte detrítica de la formación proviene de la destrucción del complejo ígneo basal o de las coladas sincrónicas de la sedimentación de la Cayo. El espesor máximo de la formación, en la zona, es de 500 a 750 m. Una asociación de micro fauna del Maestrichtense ha sido encontrada con **Rzehakinas epigona**, **Gyroidina Crassa**, etc . En La Pila , las arcillas verdes silificadas de las facies Cayo, intercaladas en las rocas básicas del complejo ígneo tardío, han liberado una fauna de Danense.

**San Mateo. Eoceno medio a superior.** El nombre deriva de los estudios en los acantilados cerca del pueblo de San Mateo al oeste de Manta. La litología está constituida, en la parte inferior, por una sucesión de conglomerados y areniscas finas a gruesas mal clasificadas, con vetas de lignito; los conglomerados desaparecen hacia el NE en la zona del cerro de Hojas. La facie corresponde a una zona de agua poco profunda o zona de estuario. La zona superior aparece bajo una facie de areniscas medias, poco cementadas, en bancos decimétricos alternando con arcillas **siltosas** con radiolarios, pasando a una facie similar a la de la base de Tosagua. El aumento del porcentaje de los guijarros del E al W sugiere la presencia de una tierra

emergida al W. Es muy difícil apreciar por medio de las facies litológicas el límite entre San Mateo y Tosagua.

**Miembros Dos bocas (Oligoceno Superior- Mioceno Inferior )**. El Miembro DosBocas yace en discordancia sobre la Formación San Mateo . Los geólogos de IEPC lo definieron, en 1947, como formación Tosagua. Consiste de lulitas macizas y estratificadas en bancos centimétricos a decimétricos de color café chocolate, con intercalaciones de limolita y arena. Presenta abundante cantidad de yeso en forma de vetas y es común la presencia de lentes dolomíticos. Su potencia alcanza a 1.012 m. en el pozo Santa Ana No 1.

Gracias a estudios micropaleontológicos se ha llegado a determinar una edad oligocénica superior-miocénica inferior ( zonas N2- N8 de Blow & Banner 1966) con una indicación de la base del Mioceno Medio ( zona N9). En el ya mencionado Pozo Santa Ana NO. 1 se encontraron moluscos raros.

**Miembro Villingota ( Mioceno Inferior)**. Definido en parte como la " Formación Charapotó"; (véase Formación Onzole) por los geólogos de IEPC ( 1947). Se encuentra yaciendo sobre el Miembro Dos Bocas en forma progresiva y se presenta con lulitas tobaceas de color gris, blanco y café en capas delgadas, tipo tabletas, con algunas intercalaciones de areniscas amarillas. Las lulitas son frecuentemente fosfatadas. Presenta escamas de peces ( de Suborden Characoidei ). Su potencia alcanza a 411 m. en el Pozo Santa Ana NO. 1.



Existen dudas sobre la edad de este Miembro. Estudios provisionales del British Museum (Natural History) asignaron una edad miocénica inferior (zonas N8 o N9 ) a muestras del tope del Miembro, a unos 10 Km al Este-Sureste de Bahía (Hoja de Chone) y 9 Km. al Noreste de Portoviejo (682 887) . Mills de la Anglo Ecuadorian Oilfields Ltd., creyó que la edad de una muestra tomada en la zona de Rocafuerte (Hoja de Chone) corresponde a la parte superior del Mioceno Medio (zona N 12).

**Canoa. Plioceno medio a superior.** La formación ha sido definida en la punta del mismo nombre, donde aflora claramente en los acantilados marinos, en discordancia sobre la Tosagua. Desaparece al norte bajo la discordancia débil del Tablazo. La formación Canoa forma un monoclinial basculado hacia el SSE o **SSW**. El espesor total aflorante desde la punta Canoa hasta San José, es aproximadamente 100 m. Litológicamente la formación comprende, en la base una sección limo-arcillosa de unos 30 m., localmente muy fosilífera con arcillas **siltosas** gris verdes flojas. Los **Pelecípodos** y **Gasterópodos** son abundantes. La sección superior es esencialmente arenosa con espesor de 50 a 80 m. de arenas amarillas no consolidadas, localmente un poco arcillosas, con zonas cementadas de formas variables apareciendo en relieve: **Pecten ventricosus** y **Ostrea megodón**. Un nivel blanco característico de 50 cm. de diatomeas ha sido observado en río de Manta intercalado en areniscas amarillas con **Pecten ventricosus**. El ambiente de deposición aparece como epinerítico.

**Tablazo. Pleistoceno.** El nombre es tomado de las terrazas marinas del NW peruano. Numerosos autores han estudiado la formación entre los que destacan Sheppard y Hoffstetter; Senn ha sido el primero en aplicar la expresión tablazo del Perú al Ecuador. Descansa sobre cualquier formación anterior y ha sido afectado por la tectónica de fallas cuaternarias. Litológicamente aparece como una sucesión de niveles duros y compactos, microconglomerados a brechas con cemento calcáreo hasta calizas detríticas conchíferas.

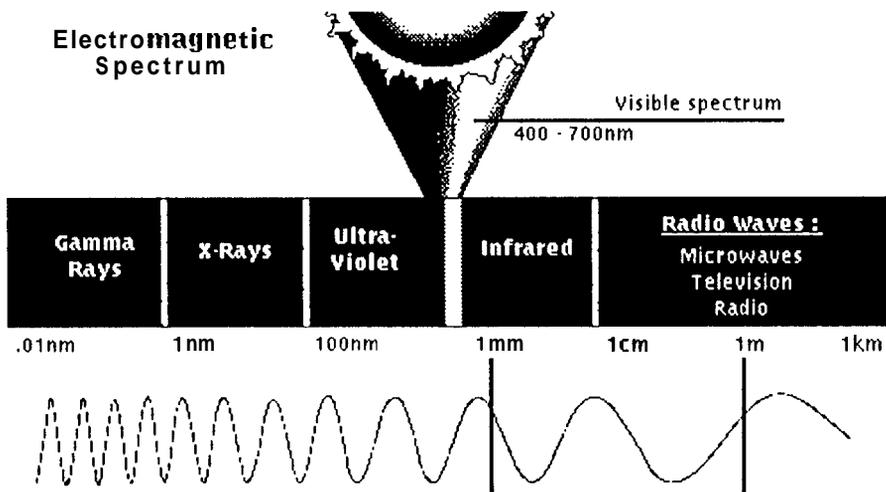
**Aa. Aluviones antiguos. Cuaternario.** Los aluviones antiguos corresponden a una zona de glaciares que se extiende al pie de los relieves de San Mateo. Forman una terraza de 10 m. encima de los cauces de los ríos, con pendiente suave desde los relieves al Este (altura 120 m.) hasta el Oeste a la orilla del mar (altura 10 m.). La litología comprende una alternancia de limos arenosos amarillentos y de conglomerados formados de rodados sueltos de origen diverso, con matriz arcillosa. El espesor promedio es de 15 m. A pesar de que no hay argumentos determinantes, los aluviones antiguos han sido considerados como más recientes que la formación Tablazo.

**Am. Aluviones modernos. Cuaternario.** La composición varía considerablemente según la zona de alimentación: arcillas removidas de Tosagua, con guijarros de Charapotó; grava y brechas sueltas en la zona donde afloran las formaciones Piñón y San Mateo, arenas arcillosas en la parte occidental donde aflora la formación Canoa.

## CAPITULO 4. USO DEL RADAR EN GEOLOGÍA

### 4.1. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA RADAR

**RADAR** es un acrónimo para **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging. Los radares operan dentro de la porción de las microondas del espectro electromagnético, más allá del visible y de la región del infrarrojo térmico. Su longitud de onda se ubica entre 1 mm y 1 metro.



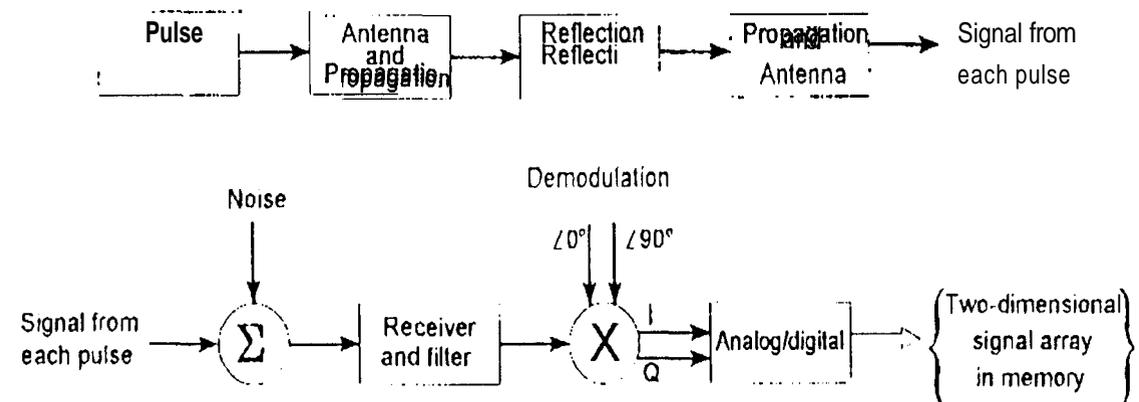
El hecho de operar en la región de las microondas implica una mejora en la penetración de la señal, especialmente de la atmósfera.

Las imágenes radar no se ven afectadas por la cubierta de nubes o neblina, como sucede en el caso de los sensores Ópticos, y operan de manera independiente de las condiciones climáticas. Las nubes de lluvia tienen un efecto sólo en los radares que operan con  $\lambda < 2\text{cm}$ ; los efectos de la lluvia

son inconsecuentes en  $\lambda > 4\text{cm}$ . Otra diferencia con los sensores Ópticos es que los radares captan una longitud de onda específica o frecuencia (Ej. 23 cm), en vez de un rango (Ej.  $0.4 - 0.5 \mu$ ). Como una comparación adicional, la parte visible del espectro electromagnético incluye las regiones espectrales del azul, verde, rojo; de manera similar, la región de las microondas activas incluyen canales X, C, L y K ,entre otras, que hacen referencia a segmentos específicos.

El radar es un sensor activo, que transmite una señal de energía electromagnética que barre el terreno y registra la respuesta que regresa desde el objetivo. Como un sensor activo, el radar es independiente del Sol y puede operar durante el día y la noche, es decir, puede coleccionar datos las 24 horas del día.

#### 4.1.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS RADAR



**Radar**

Fig 4-2 Principio de operación de los sistemas RADAR

- 1) El ciclo comienza en el generador que produce una señal eléctrica o de ondas electromagnéticas, la cual es enviada en forma de impulsos de varios Kilovatios de potencia de 0.01 a 0.1 segundos de operación.
- 2) La unidad de control de tiempo establece la duración exacta del impulso y la señal es transmitida, a través de la antena la cual controla la polarización y dirección de emisión. La antena generalmente es parabólica para producir un haz en forma de abanico.
- 3) El barrido del terreno en dirección perpendicular a la línea de vuelo, puede hacerse por giro mecánico de la antena o electrónicamente.
- 4) La radiación atraviesa la atmósfera, se refleja en el terreno y vuelve hacia la antena donde es recibida. El tiempo que demora la onda desde que parte de la antena y regresa a ella **es** función de la distancia del radar al objeto.
- 5) El sistema de control (emisión /recepción) tiene como principal objetivo separar en el tiempo la señal emitida de la señal recibida, dando lugar a que llegue la señal de los puntos más distantes.
- 6) La señal recibida es amplificada y registrada para producir luego una imagen visual.

#### 4.1.2. TECNICAS DE INTERPRETACIÓN

Para realizar interpretaciones con datos de **RADAR** existen varias ayudas que pueden ser de gran utilidad, cuando haya que tomar decisiones, entre estas están:

##### A) TONO

Las variaciones en el tono de la imagen provienen de los cambios del terreno en las secciones de barrido. Cada respuesta recibida es convertida en una

señal eléctrica y grabada como un matiz de gris en un filme fotográfico o convertido a un pixel digital con un valor numérico asociado con un grado de brillantez. No obstante las variaciones de pendiente, humedad y rugosidad de la superficie son los principales responsables de las tonalidades de gris en una imagen. (Trevett, 1986)

## **B)TEXTURA**

El término textura se refiere al grado de rugosidad u homogeneidad de un área en la imagen y su relación con la rugosidad real de la superficie. La textura es una caracterización cualitativa e imprecisa de un rasgo que usa vocablos como grueso, medio, fino; granulado, suave o rugoso. La textura de una imagen variará como una función del sistema longitud de onda, resolución y ángulo incidente, así como de la composición y arreglo de los rasgos del medio.

Existen tres componentes de la textura en imágenes radar: **micro, meso y macro**. La macro textura es la más frecuentemente asociada con la topografía. La organización de la macro textura es un elemento crucial en la interpretación geológica y geomorfológica de imágenes. La macro textura de imágenes permiten la identificación de áreas dentro de límites de homogeneidad.

### **C) FORMA y TAMAÑO**

Las formas de algunos rasgos naturales y artificiales pueden ser distinguidas en imágenes y son importantes en su identificación. En general, las formas en radas no son características individuales sino regionales.

Los atributos del tamaño de grandes terrenos individuales distinguidos en radar, pueden ser medidos en algunos rangos de presentaciones de suelo.

### **E) SOMBRA**

La sombra en una imagen de radar es un área en la cual no hay señal de retorno, de tal forma que no hay información sobre esa área. Las sombras proveen información de los motivos causantes de la misma. La forma de la sombra puede ayudar en la identificación del elemento de terreno o en la diferenciación entre sombra y cuerpo de agua..

### **F) PATRONES**

El espaciamiento repetitivo de unidades androtópicas o propiedades del terreno generan un patrón el cual puede ser asociado con la identificación de rasgos naturales o artificiales. En radar, el cambio de patrones puede ser reconocido como una corriente morfológica, la cual podría ser usada para definir regiones fisiográficas.

### **G) ILUMINACIÓN**

Se denomina iluminación a la dirección con la cual se emite la señal desde la plataforma del satélite o avión.

La dirección de iluminación es discriminatoria en el reconocimiento de morfología, estructuras y litología. Los rasgos que se encuentren casi paralelos al "look direction" ( $< 20^\circ$ ) serán suprimidos, en cambio los que se hallen cerca de la perpendicular serán resaltados. Esta falencia puede ser compensada con la adquisición de otra imagen Radar con dirección de mira diferente de la misma plataforma o de cualquier otra, sea esta RadarSat, ERS-2, Etc. En este caso de estudio no se pudo obtener una segunda imagen. La dirección de iluminación se refiere generalmente, a la medida desde el norte geográfico en sentido horario.

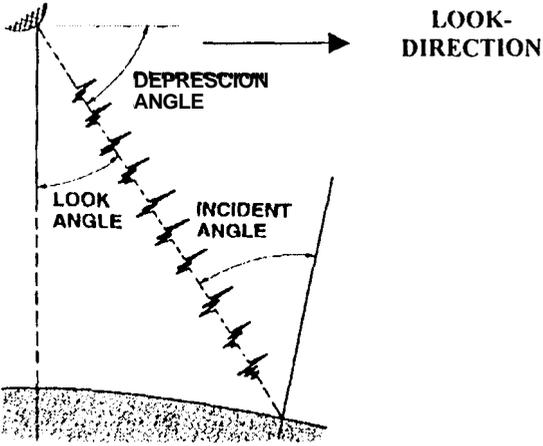


Fig 4-3 Nomenclatura en la geometria de imágenes radar.

**4.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA REFLEXIÓN DE ONDAS RADAR**

El Radar emite una señal hacia el terreno y este la refleja, pero la antena sólo recibe aquellas radiaciones reflejadas en la misma dirección de incidencia. Como el Radar está en movimiento se tiene que:

- a.- la sección instantánea de terreno que produce la reflexión es variable .
- b.- se produce un pequeña cambio en la frecuencia de la señal.

Debido a las dos causas anteriores, las variaciones de la señal son muy rápidas, por lo cual en lugar de analizar cada patrón de retorno individualmente, se pueden también superponer varios de estos patrones, analizando lo que podría llamarse la sumatoria o promedio de señales.

Los cuatros factores más importantes que determinan la intensidad y dirección de las ondas reflejadas de Radar son:

### **1. LONGITUD DE ONDA**

Para longitud de onda de 1 mm casi todas las plantas se comportan como cuerpos de gran rugosidad.

Las hojas constituyen una excepción pues por tener un espesor inferior a la longitud de onda, la reflexión no tiene una dirección predominante.

Para longitudes de onda mayores (1m) las hojas casi no producen reflexión.

### **2. CONTENIDO DE HUMEDAD**

El contenido de humedad de una planta es importante en la determinación de la reflexión, aunque existe un grado de saturación por encima del cual la humedad no ejerce influencia.

### **3. ANGULO DE INCIDENCIA**

La mayoría de los radares que producen imágenes, emiten la señal oblicuamente. La inclinación de la superficie reflejante y el ángulo de incidencia de la radiación, determinan la dirección e intensidad de la señal reflejada.

El agua, por ejemplo, cuando está en calma se comporta, como un espejo perfecto, desviando las radiaciones bajo un ángulo igual al ángulo de incidencia, produciendo una imagen completamente negra por ausencia de radiaciones.

#### **4. POLARIZACION**

El diseño de la antena determina la polarización de la señal emitida.

En los ensayos realizados, no se ha encontrado gran diferencia entre los resultados obtenidos con polarización sencilla (HH ó VV) y polarización cruzada (HV o VH).

Sólo se ha observado que para ciertos tipos de vegetación y en superficiales muy rugosas, la polarización cruzada produce una señal de retorno más potente.

Las características de la energía recibida dependen de las propiedades de la energía emitida y de los siguientes parámetros del objeto:

##### **A) CONDUCTIVIDAD Y PROPIEDADES DIELECTRICAS**

El agua y muchas plantas con alto contenido de humedad son muy buenos reflectores debido al alto valor de su constante dieléctrica.

##### **B) RUGOSIDAD DEL OBJETO EN RELACION A LA LONGITUD DE ONDA**

Determina la dirección de reflexión y la intensidad de la radiación reflejada.

##### **C) RESONANCIA FISICA**

La presencia en la superficie reflejante de elementos con resonancia alta, puede determinar que objetos aparentemente pequeños reflejen una señal muy fuerte.

### **C) PENDIENTE**

La pendiente podría ser considerada como un factor determinante de la rugosidad. También determina la intensidad y dirección de la energía reflejada.

### **D) DISPERSIÓN**

La dispersión producida por el terreno depende de las propiedades del mismo y de los parámetros del Radar, especialmente la longitud de onda y el ángulo de observación.

## **4.2. GENERALIDADES DEL SATELITE ERS –1**

**El European Remote Sensing Satelite (ERS – 1)** es el satélite de observación terrestre más complejo jamás fabricado en Europa por la **Agencia Espacial Europea (ESA)**. El satélite fue lanzado el 17 de Julio de 1991 a la 1h46 GMT. Su masa total es de 2157.4 Kg, distribuidos en 882.2 Kg de carga útil y 1257.2 de la plataforma.

<b>ORBITA:</b>	Polar heliosíncrona
<b>ALTITUD:</b>	–785 Km.
<b>INCLINACION:</b>	98.5"
<b>RESOLUCION TEMPORAL:</b>	35 días promedio
<b>RESOLUCION ESPACIAL:</b>	12.5 metros

<b>TAMAÑO DE ESCENA:</b>	100 x 100 Km.
<b>POTENCIA MAXIMA:</b>	2600 W
<b>VOLTAJE DEL SUMINISTRO:</b>	23 a 37 V
<b>BANDA DE OPERACIÓN:</b>	C (5.3 cm.)
<b>ÁNGULO INCIDENTE:</b>	23°
<b>MIRAS:</b>	6
<b>POLARIZACION:</b>	VV
<b>FRECUENCIA:</b>	5.25 Ghz
<b>TAMAÑO DE ANTENA:</b>	10 x 1 metros
<b>TASA DE TRANSFERENCIA:</b>	105Mb/seg
<b>TIEMPO DE OPER./ORB:</b>	10min

Su carga Útil se compone esencialmente de dos radares especializados y de un detector infrarrojo.



## **INSTRUMENTOS ACTIVOS**

El **instrumento de microondas activo (AMI)**, el más grande de todos los sistemas a bordo, produce unas imágenes radar extremadamente detalladas del suelo; cada imagen está constituida de 8000 x 8000 pixeles de 16 bits cada uno. El valor de cada pixel representa el coeficiente de retrodifusión de una célula de la superficie terrestre de 12.5 x 12.5 metros (resolución espacial). El AMI combina las funciones de un Radar de Abertura Sintética (SAR) y un Wind Scatometer (WNS): mide campos del viento y espectros de la onda encima del océano abierto y, registra todo el tiempo imágenes con perfecta resolución sobre el océano, hielo polar, zonas costeras y tierra.

El segundo instrumento del ERS, **el radar altimétrico**, mide con una precisión de algunos centímetros las variaciones de la altitud del satélite relacionadas al

nivel del mar y los glaciares. El análisis de la forma de las señales del eco suministra la información suplementaria sobre la altura de las olas.

## **INSTRUMENTOS PASIVOS**

El tercer instrumento, el **radiómetro de barrido a lo largo de la traza (ATSR)** construye las imágenes detalladas de las estructuras térmicas de mares y océanos a partir de la medida de la temperatura de superficie con una precisión de 0.5 °C; esta precisión es obtenida gracias a una técnica particular de medida siguiendo dos ángulos de vista. Son cuatro canales radiométricos infrarrojos que proporcionan medidas precisas de temperaturas de la superficie del mar y de las nubes.

Entre otros equipos están: Microwave Sounder (MS), Precise Range and Range-rate Equipment (PRARE), Laser Retroreflector (LR).

Los datos generados por la misión ERS – 1 contribuyen a:

- ◆ Mejorar el entendimiento de las interacciones océano-atmósfera.
- ◆ Adelantos en el conocimiento de la circulación del océano y mecanismos transferibles de energía.
- + Estimaciones mejoradas del equilibrio de masa del Artico y las laminas de hielo del Antártico.
- ◆ Supervisión mejorada de procesos costeros.
- ◆ Supervisión mejorada de la contaminación.
- + El descubrimiento mejorado y dirección de las alteraciones en el uso de la tierra.

Se han derivado otros beneficios mayores de los datos del ERS - 1, incluyendo: pronósticos mejorados del estado del clima y el mar, un mayor conocimiento de la estructura del piso oceánico que es útil para la exploración petrolera y minera; medidas detalladas de los movimientos de la Tierra, seguida de movimientos sísmicos, mediciones de las capas de hielo, etc.

### 4.3. MORFOLOGIA RADAR

En el análisis de las imágenes **RADAR** y otros tipos de sensores remotos, la identificación de las formas y la interpretación de los procesos incluye el uso de la forma y tendencia planimétrica, locación y situación topográfica, textura y escalas múltiples y algunas medidas de las características del terreno como pendiente y relieve. Es preferible que los interpretes tengan cierto grado de conocimiento y experiencia en este tipo de tarea.

En los estudios regionales, los geomorfólogos interesados en la demarcación de unidades en una escala amplia deben apreciar las potenciales aplicaciones de los sistemas radar. Una imagen grande, a ciertos niveles de **contraste** y detalle, y con salida bi-dimensional, que tiene la apariencia de un mapa pseudo-tri-dimensional (**3-D**), provee una fuente de información que puede ayudar a distinguir diferencias **areales**.

La interpretación de las características geomorfológicas en radar está basado en el tono, textura y tendencia topográfica, posición topográfica, presentación pseudo 3-D de la forma y contexto geomorfológico regional (Lewis, 1979). Otros factores de ayuda son la rugosidad de la superficie, contenido de agua, características texturales y contenido geológico. Luego de que la región ha

sido analizada en términos de 1) características individuales, 2) apariencia compuesta y 3) presencia o ausencia de caracteres; los límites pueden ser ajustados, si es necesario, y las diferentes regiones descritas y nombradas.

El estudio cualitativo de las formas se hace principalmente del shadowing radar y de la textura de la imagen, las cuales junto con los rasgos del terreno, son los responsables de la apariencia pseudo 3-D de la imagen.

Por otro lado, los estudios cuantitativos para pendiente y relieve pueden ser derivados usando las distorsiones inherentes del radar (foreshortening, layover y shadowing), paralelaje radar (stereo) e interferometría radar.

En reportes con imágenes SLAR, Schwarz y Mower (1968) y MacDonald y Lewis (1969) vislumbraron una gran correlación entre cartas morfológicas publicadas y las trazadas del radar. En la mayoría de los casos la concordancia areal es muy alta (>90%). El nivel de confianza más alto se alcanzó con la delimitación de planicies, seguido por las montañas, mientras el que mayor grado de dificultad alcanzó fueron los límites entre cerros bajos y altos.

#### **4.3.1. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA de la IMAGEN 4221–3627**

Para esta primera aproximación geomorfológica no se ha utilizado mapas topográficos ni los planos geomorfológicos existentes. La interpretación es puramente cualitativa.

En la separación de áreas se utilizaron varios criterios, entre ellos: tono, rugosidad, textura topográfica, contraste, etc.

De forma general, la imagen presenta varios grados de rugosidad y textura,

pudiendo observarse zonas con mayor densidad de elevaciones que otras. Como guía, se adoptó una clasificación morfológica para ambientes tropicales que se ha utilizado en trabajos previos de la misma característica con RADAR ( Shwarz y Mower, 1968; Mac Donald y Lewis, 1969), la cual consiste en:

- A: Montañas
- B: Colinas Altas
- C: Colinas Bajas
- D: Planicies

### **MONTAÑAS ( Fig 4-4 A)**

Ocupan gran parte de la imagen, representando a la cordillera costera y zonas aledañas, muestran una singular rugosidad que las distinguen. La tendencia de esta cadena es cercana a los N20E, encontrándose cortada en algunos lugares por la acción de la erosión de los ríos y estuarios como el Portoviejo y Chone respectivamente.

Llama la atención la posición del cerro de Montecristi y otra elevación más pequeña hacia el sur, ambos se hallan separados de los grandes grupos.

Se observan sitios en los cuales la acción de la erosión ha tenido diferentes resultados, dejando por un lado profundas quebradas socavadas a través de los años y otras en que los agentes climáticos no han tenido mucha incidencia.

En algunos casos sobrepasan los 700 metros, decrecen de forma gradual hacia el oeste y de manera más brusca hacia el este.

### **COLINAS ALTAS ( Fig 4-4 B)**

Ocupan el segundo lugar en la distribución de la imagen, corresponden a la continuidad lateral de la cordillera costera. Su textura característica se

distingue por cerros más unidos entre sí con quebradas poco profundas y contornos suavizados.

Se debe prestar atención al pasillo que se halla en la parte central sur de la imagen, donde se encuentra asentada la ciudad de Jipijapa, es una zona baja en comparación con sus alrededores con límites bien definidos tanto al este como al oeste.

En la punta de Manta, hacia San Lorenzo, se aprecia la influencia del drenaje en combinación con la litología logrando una textura singular; los ríos erosionan tratando de alcanzar el nivel base ya que el área se encuentra levantada formando terrazas marinas.

### **COLINAS BAJAS ( Fig 4-4 C)**

Los terceros en extensión, son rasgos muy homogéneos que a primera vista parecieran planicies. Hacia el sur este se presentan colinas bajas en donde la acción fluvial ha tenido mucha importancia.; hacia el occidente, en la península de Manta, tanto al norte como al sur se aprecia la misma característica, aunque parecería tener un relieve más bajo. Aquí se aprecian rastros de los drenajes existentes, los cuales, no han socavado muy profundo en su historia o se encuentran recién en formación.

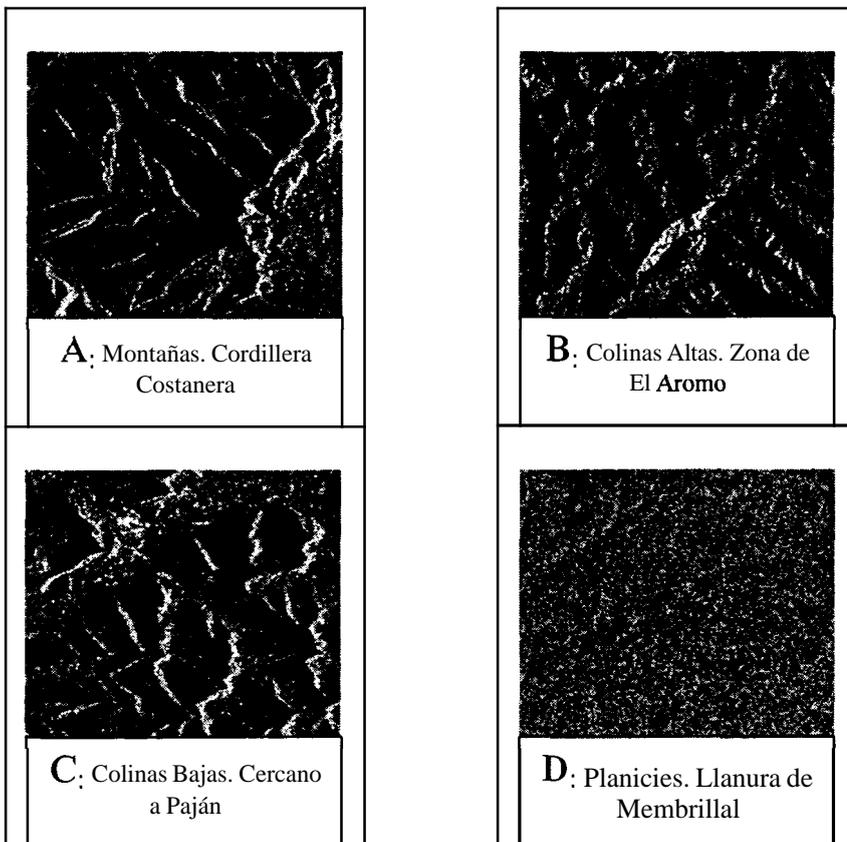
### **PLANICIES ( Fig 4-4 D)**

Son áreas planas donde no existen grandes diferencias de relieve. Se distinguen claramente dos áreas de planicies aluviales, una al norte en el río Chone y otra de mayor extensión en la parte central, la del río Portoviejo. En la separación de áreas de planicie se logra el mayor grado de confiabilidad en la

imagen, debido sobre todo al contraste entre cerros y planicie, sólo cuando las elevaciones son de baja altura se tiene una pobre aproximación.

Cabe anotar que existen zonas a más de 300 metros de altura que forman planicies producto del levantamiento cuaternario de las terrazas marinas (tablazos) (Pedoja, en prep.) La localidad de El Aromo es un buen ejemplo de lo anterior escrito.

La figura 4-5 muestra el resultado de la clasificación realizada en la zona de estudio.



**Fig 4-4** Extractos de la imagen Radar 6221\_3627 mostrando las cuatro formas de terreno más comunes: Montañas (A), Colinas Altas (B), Colinas Bajas (C), Planicies (D).

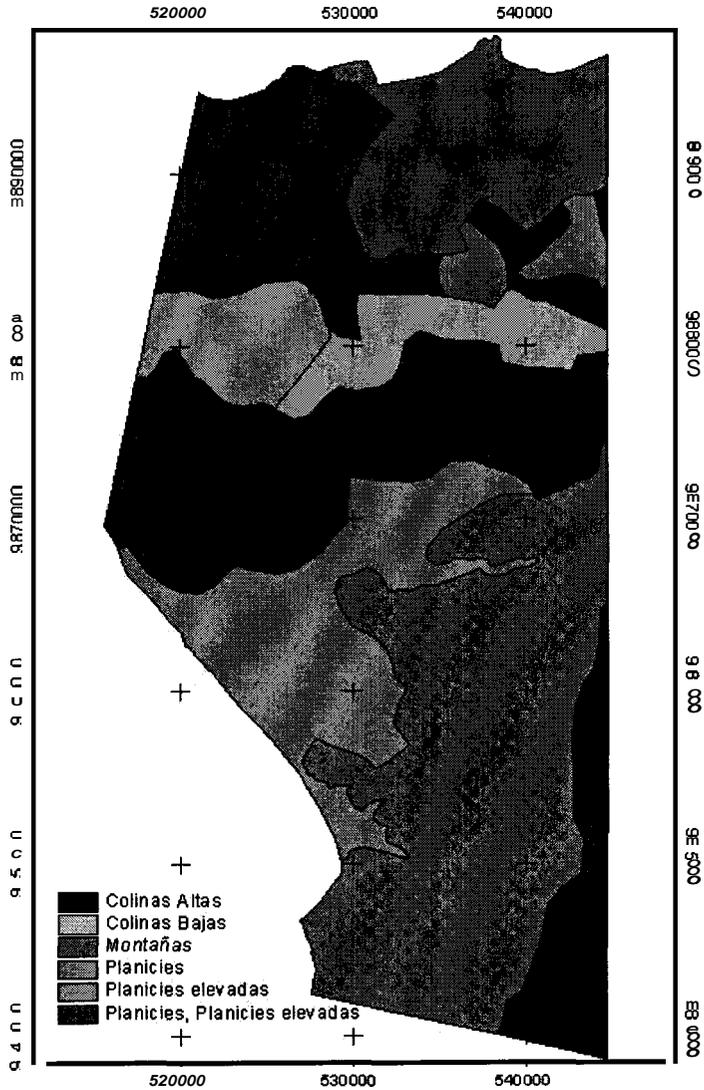


Fig 4-5 Interpretación geomorfológica a partir de la imagen Radar.

#### 4.4. ESTRUCTURAS RADAR

En el rango de la longitud de onda usada en las imágenes Radar, la intensidad del eco de la superficie del terreno esta fuertemente controlada por cambios de la pendiente a escala decamétrica o por diferencias de la rugosidad a escala centimétrica. Las características topográficas y texturales de los terrenos rocosos aparecen, comúnmente, más prominentes en imágenes

radar que en imágenes obtenidas en longitudes de onda corta. En la figura 4-6 se aprecia el cerro Montecristi e incluye esta diferencia; la imagen superior (Radar) resalta más los rasgos que la imagen inferior (foto aérea).



**Fig 4-6 Comparación de la misma zona geográfica (cerro Montecristi) entre un extracto de: imagen radar y la foto aérea respectivamente. Nótese el cierto grado de corrimiento debido a la señal (No olvidar que el radar es, básicamente un eco de la superficie) Zona del cerro Montecristi.**

La intensidad del eco es también afectada por las propiedades dieléctricas de **los** materiales, esto permite hacer una discriminación de rocas y sedimentos que contrastan fuertemente en el contenido de humedad o en la composición mineralógica.

**Es** por esto y otras razones que las imágenes radar han sido ampliamente usadas en estudios de geología estructural (con topografía controlada estructuralmente) y en diferenciación de terrenos volcánicos y depósitos sedimentarios; inclusive en terrenos áridos, la capacidad de penetración de la energía del radar en el subsuelo (pocos decímetros) ha revelado la existencia de antiguos sistemas de drenaje.

En experiencias obtenidas con trabajos anteriores (Proyecto RAMP en Panamá, RADAMBRASIL en Brasil, por ejemplo) se utilizaron varias imágenes de un mismo sitio captadas desde puntos diferentes, es decir de dos o más ángulos de mira. La interpretación geológica de las imágenes proveyó una gran cantidad de información desconocida sobre la morfología, estructuras y litología.

**El** uso de la dirección de toma señala una extrema direccionalidad: los rasgos cercanos a la normal de la dirección de mira llegan a ser fuertemente resaltados ; aquellos dentro de 20° de la paralela son selectivamente suprimidos. Esto puede compensarse con la utilización de una imagen con un “*look-direction*” significativamente diferente (figura 4-3). Asimismo, imágenes con bajos ángulos de mira dan un mejor resalte topográfico en áreas de poco relieve, pero este mismo ángulo utilizado en zonas de topografía rugosa da como resultado una excesiva distorsión geométrica del terreno.

Entre las ventajas que da el sistema están:



- Permite la detección de caracteres lineales sin relieve, tectónicos en origen, en áreas donde los niveles y pendientes son casi nulos.
- Con imágenes radar aerotransportadas y de satélite de terrenos forestados, se puede interpretar una información detallada sobre la litología y estructura de la roca. Las sombras y brillos mejoran las estructuras lineales; si se tienen resoluciones espaciales de 10, 15, 30 metros, los árboles no aparecen con una resolución individual, esto mejora la expresión topográfica de estructuras con dimensiones que pasan de las centenas de metros. La resolución espacial actúa como un "filtro" que elimina el "ruido" producido por la vegetación.
- La información litológica es expresada en forma de la textura del terreno.

## 4.5. INTERPRETACION DE LA IMAGEN EN EL AREA DE ESTUDIO

### 4.5.1 TRATAMIENTO VISUAL DE LA IMAGEN RADAR

Se trabajó en tres etapas con la escena impresa y digital 4221\_3627

**Como primer paso** utilizando acetatos transparentes se procedió a observar en ella los posibles lineamientos que pudieran tener relación con eventos tectónicos, se marcaron lineamientos sin hacer distinción de su origen tectónico, morfológico, fluvial, por distorsión de la imagen y antrópico inclusive.

**En** segunda instancia, se depuró el trabajo inicial con el respaldo de mapas, así se excluyeron las vías, cultivos, etc.

**Para la tercera parte** se trabajó en el ordenador, dada la facilidad que ofrecen los software de manipulación de imágenes se pueden hacer ampliaciones hasta la mostrar la escala deseada en pantalla, así es como se fueron constatando la existencia y veracidad de los lineamientos trazados sobre el acetato, sobre fragmentos de la imagen o a escala máxima de 1/100000 (a escalas mayores no se aprecian rasgos regionales y se produce distorsión en la imagen). La figura **4-8**, muestra la escena completa con los lineamientos trazados, la imagen se haya georeferenciada con coordenadas UTM sector **17** sur. La punta de Cabo San Lorenzo no aparece ya que es parte de otra imagen, la cual no se pudo obtener.

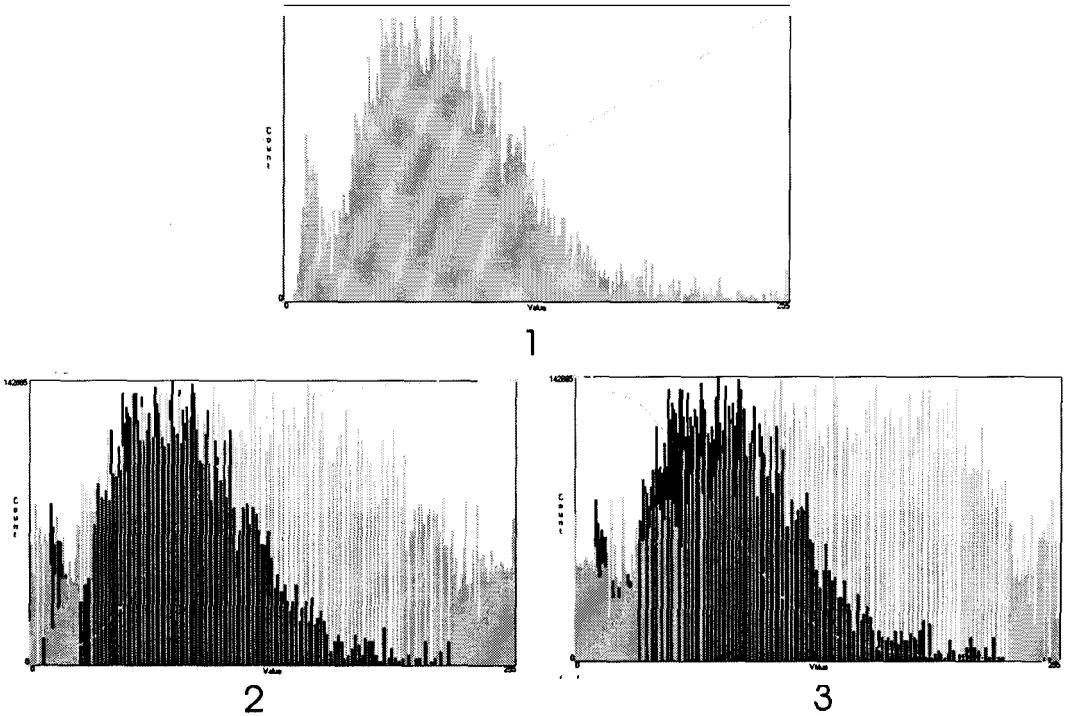
La visualización y el reconocimiento de las estructuras con este tipo de herramientas se realiza de manera muy subjetiva: existen formas y estructuras que se ven claramente bajo algunas condiciones (luminosidad, ángulo de análisis, experiencia del interprete, etc.) pero que desaparecen cuando estas varían.

La interpretación de la zona de estudio, más a detalle, permite apreciar de mejor manera las estructuras que hay en el área.

no recibió información de esa área, si se suma todos los sitios en que esto ocurre se tiene que queda oculta gran cantidad de información de las estructuras de la superficie. Esto puede ser "corregido" en cierto grado mediante la manipulación digital de la imagen, logrando así, otra perspectiva y una mayor visión de análisis.

**El** tratamiento que se realizó se halla dentro del proceso de mejoramiento de la imagen (**los** autores mencionan **4** tipos de tratamiento: restauración, mejoramiento, clasificación y transformación) lo cual consiste en modificar la imagen de manera que se adapte más a la capacidad de la visión humana.

Todas las imágenes digitales de los sensores remotos están formadas por matrices de píxeles, cada uno de ellos posee un valor determinado llamado Nivel Digital (ND), el cual representa de forma numérica la cantidad de energía (reflectancia) que recibió de una parte del terreno sobre el cual se captó la toma. Es posible observar la distribución de estos valores mediante un histograma de frecuencias (Fig 4-9, 1), y así analizar el carácter de la curva, es decir si posee distribución normal o asimétrica. Muchas veces estos valores no se hallan distribuidos de manera regular en toda la escena por su naturaleza misma; es posible forzar que estos ND se redistribuyan en la imagen para obtener mejor contraste, a este proceso se le conoce como STRETCH o estiramiento.



**Fig 4-9 Se muestran los cambios en la forma del histograma de la imagen: 1) Histograma original (asimétrico). 2) Luego de la equalización. 3) Luego de la inversión del STRECH. El tono celeste corresponde al actual y e negro al original.**

Se aplicó un estiramiento del contraste con equalización de histograma automático para modular los valores digitales de la imagen (Fig. 4-9, 2) y luego se aplicó la opción de inversión de valores, es decir, el programa a cada valor de otorga **su recíproco en brillo, sin cambiar su ND** (Fig. 4-9, 3) logrando de esta manera que las zonas oscuras de la imagen aparezcan con tonos claros y viceversa. En la figura 4-10 se muestran los resultados del tratamiento digital siendo A un extracto inalterado de la imagen 4221\_3627, B un estiramiento con equalización de histograma y C una inversión de contraste de la imagen B.

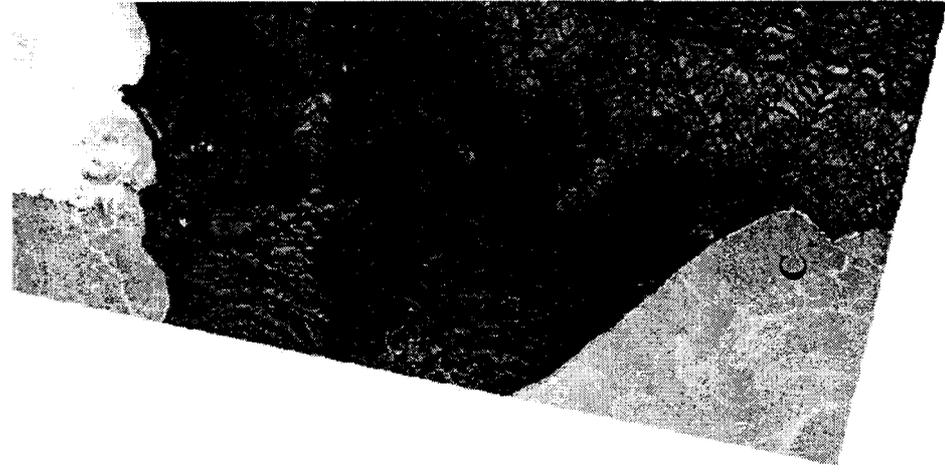
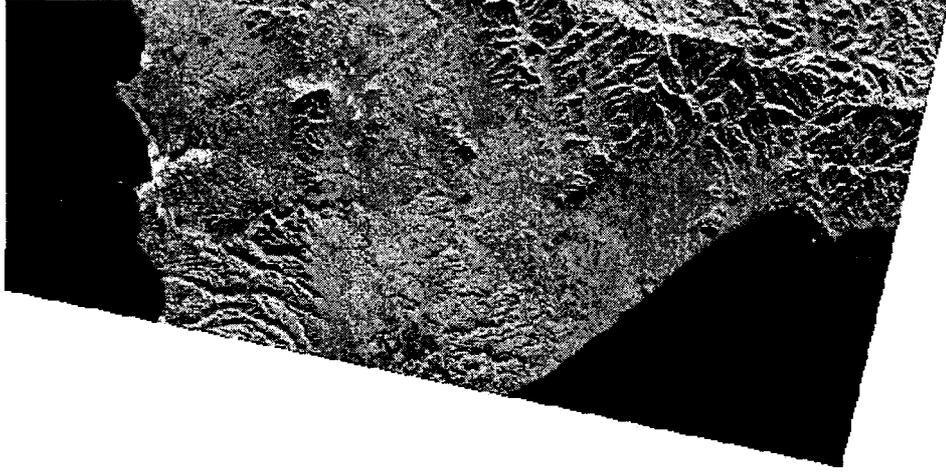
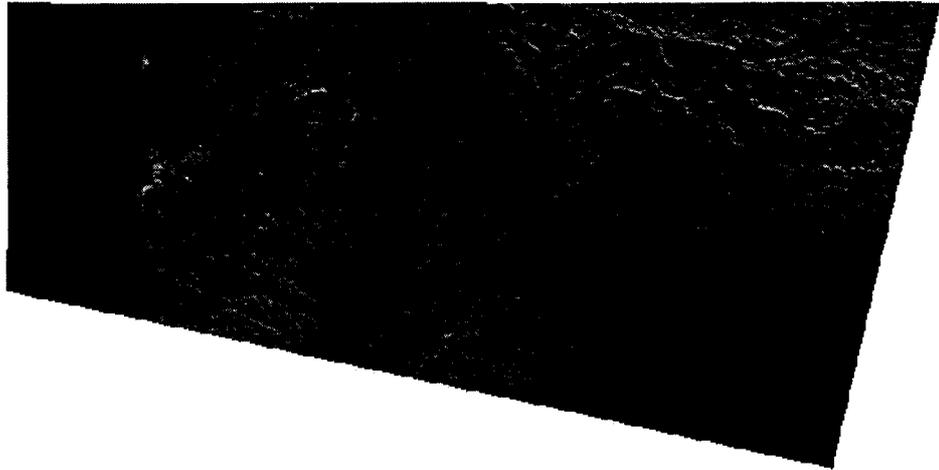


Fig 4-10 Lesões das faces do tecido conjuntivo normal. B: Esquema do ponto de observação de. C: Imagem invertida.

Se aplicó además un módulo del software IMAGINE de Erdas para imágenes Radar, llamado Edge Enhancement (Mejoramiento de Bordes) con el cual, todo lo que representa líneas es resaltado. Son filtros de paso alto que operan en cada píxel en relación a sus vecinos, entre las opciones que trae **se** encuentran: **Robinson 3 nivel, Mutilnivel, Gradiente de Prewitt, Kirsch**, etc. El filtro elegido fue el de Robinson de 3er nivel, con tamaño de filtro 3x3 cuyo kernel es:

1	1	1
0	0	0
1	1	1

El resultado se muestra en la figura 4-10. El filtro da el efecto de “aplanar” la topografía de tal forma que se resaltan los rasgos lineales.

Al aplicar estos filtros se tiene la opción de resaltar un gradiente de dirección específico: **N**, **NE**, **E**, **SE**, **S**, **SW**, **W**, **NW** y no direccional. En la figura 4-11 A se resalta el gradiente norte y en la figura 4-11 B el gradiente oeste.

Este tipo de filtros son aplicados en varias áreas en las cuales las definiciones lineales son importantes. En geología el mapeo de estructuras se facilita y el análisis visual de fallas toma una mejor dimensión.

El filtro puede ser utilizado sobre cualquier tipo de imagen, no solo imágenes de radar.

Existen otros métodos que van más allá en el análisis de imágenes, como por ejemplo el uso de morfología matemática, que mediante procesos numéricos arrojan resultados. Mering & Parrot (1994) desarrollaron el Connected Center Filter  $\beta_c$  ( Filtro de Centros Conectados  $\beta_c$  ), el cual reduce los ruidos mientras conserva la conectividad de los lineamientos en una imagen con contraste invertido. En una imagen tratada, las líneas brillantes continuas son interpretadas como fallas recientes y luego extraídas por la media del umbral superior de los tonos de gris.

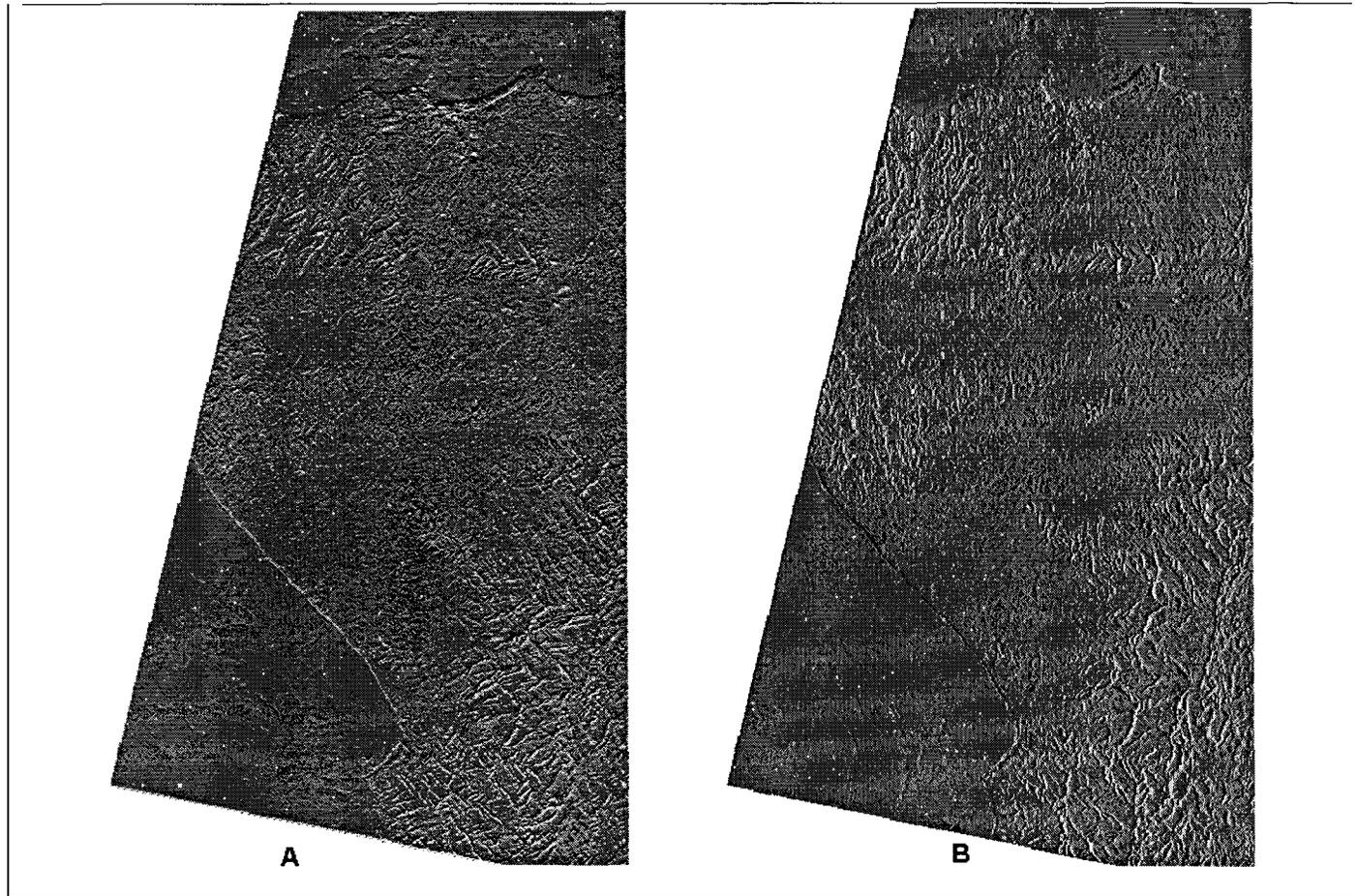


Fig. 4-11 Imagen radar de la zona de estudio con filtro de mejoramiento de bordes. (A) mejorando el gradiente con dirección norte (B) mejorando el gradiente con dirección oeste.

### 4.5.3. RESULTADOS

Tanto el análisis visual como el tratamiento digital sirven para distinguir lineamientos de fallas y/o tendencias de estructuras junto con las variaciones morfológicas (texturas).

Entre **los** lineamientos mayores se distinguen el de Cabo San Lorenzo-El Aromo-Montecristi (CAM) y el de la cordillera costanera, perpendiculares uno con otro. La traza de falla de la falla Montecristi parecería encontrarse a lo largo de la diferencia en textura en la zona de **El** Aromo, cuando en realidad se encuentra un poco más al sur y entrecortada, esto no se muestra en la imagen radar ni en la fotos aéreas pero si en la red hidrográfica como se verá más adelante.

En la **figura 4-12 y 4-13** se pueden ver de mejor forma **los** lineamientos. Existen dos zonas en las cuales la densidad es mayor: la primera en la parte superior izquierda en la zona de **El** Aromo – San Mateo con dirección predominante NNE, en muchos casos **los** ríos han seguido la trayectoria; y la segunda en la parte inferior en el área de Membrillal – Pto. Cayo donde se aprecian 3 familias de fallas con direcciones que predominan NW, NE y otras casi NNE que corresponden a la cordillera costanera.



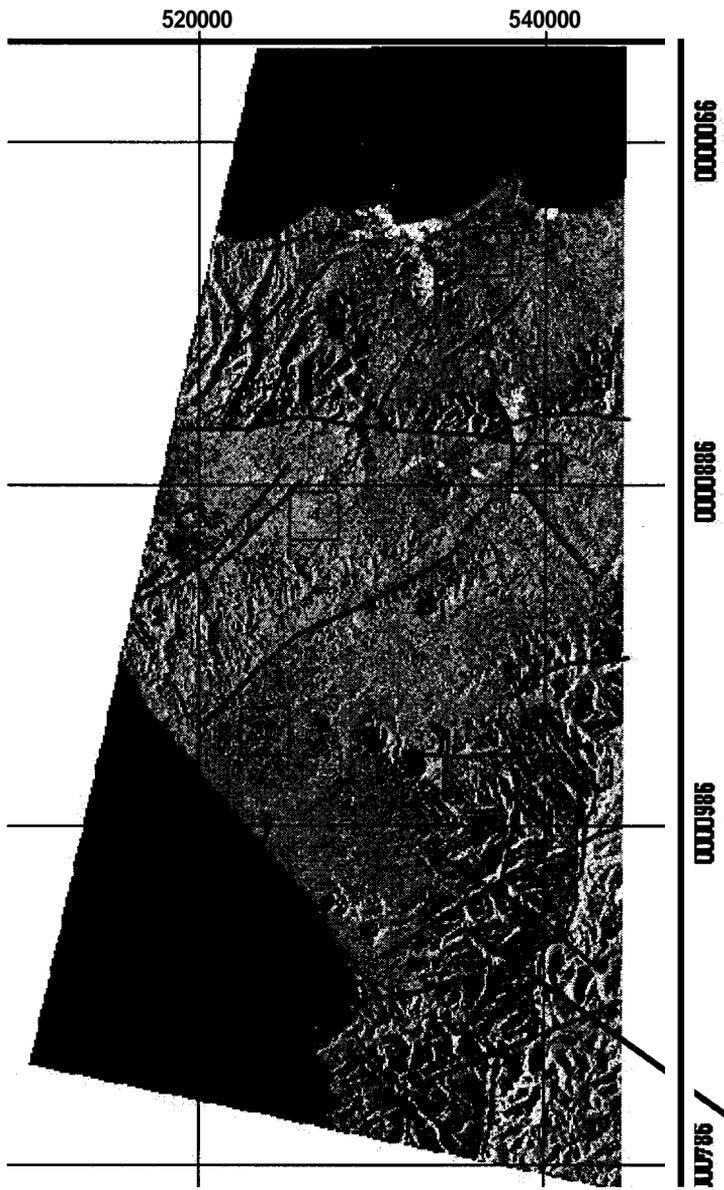


Fig. 4-12 Interpretación de la imagen Radar en el área de estudio.

Otra estructura interesante es la que comienza cerca de Río de Caña (1) y avanza hasta Montecristi (2), a partir de aquí: o hace una curva hacia el oeste y llega hasta Manta (3); o se ha desplazado aproximadamente **1.5 Km al oeste** por acción de la falla Montecristi y sigue en dirección NE . Una forma similar se muestra más al oeste (4).

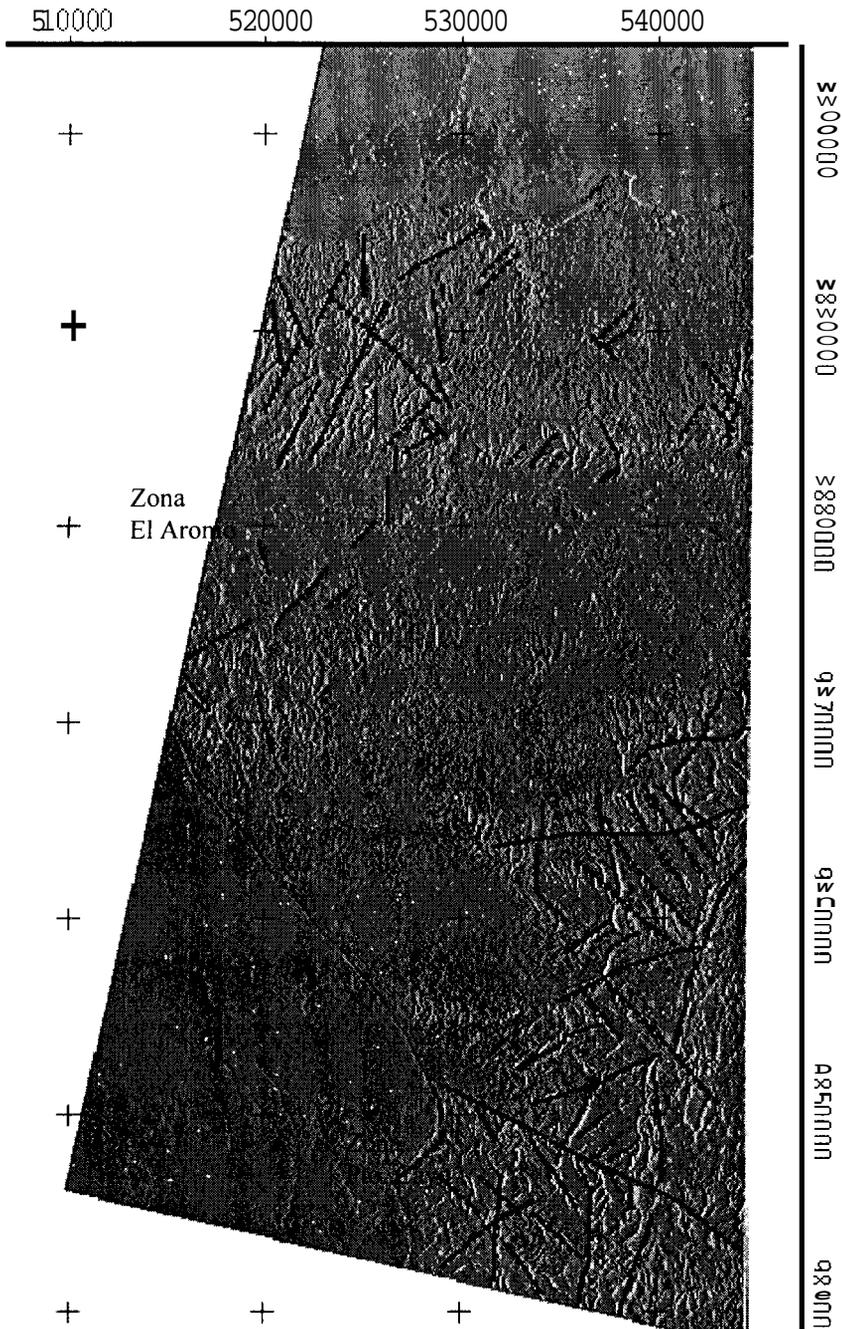


Fig. 4-13 bineamientos sobre la imagen radar con filtro de mejoramiento de bordes.

La Cordillera Costanera es cortada en varios puntos por fallas NW mas recientes.

## CAPITULO 5. INTERPRETACION DE LA RED DE DRENAJE EN LA PENINSULA DE MANTA

La zona de la península de Manta es de especial interés para el estudio de morfoestructuras. **Es** aquí donde se hallan las terrazas marinas de mayor altura en el país (360m) (Pedoja, en preparación). **El** análisis regional de la red de drenaje se hizo a partir de las cartas 1:25000 y 1:50000 del IGM del área de estudio, lo que permite verlas a varias escalas para diferenciar anomalías locales o regionales.

Los tablazos se encuentran sobreyaciendo casi la península entera; las dataciones preliminares indican que estos depósitos se formaron durante **el** cuaternario. Por lo tanto se pretende estudiar un sistema de drenaje juvenil que se ha desarrollado durante el Pleistoceno probablemente **los** Últimos 700000 años (Pedoja, comunicación oral).

Para esta parte del trabajo se ha considerado solamente **los** drenajes que aparecen en **los** mapas topográficos; **los** cauces menores no han sido tomados en cuenta.

La figura 5-1 muestra la red de drenaje a estudiar. La zona de San Lorenzo – **El** Aromo y Montecristi – Jaramijó corresponden a cartas 1/50000, debido a esto se aprecia una diferencia en detalle.

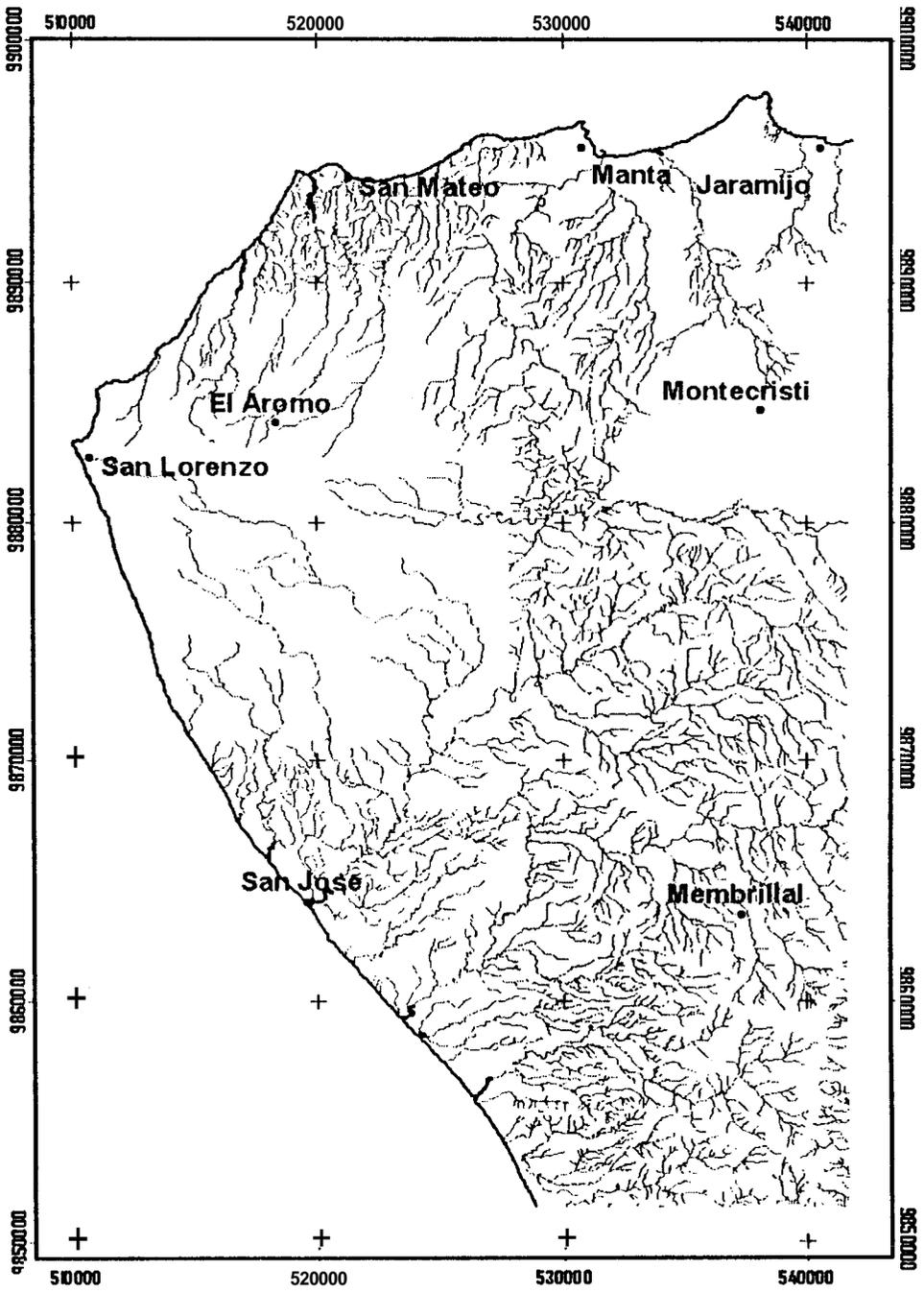


Fig 5-1 Red de drenaje del área de estudio

En las interpretaciones se trata de resaltar las anomalías de drenaje tomando en cuenta ciertos criterios tales como:

- Modificaciones locales en el patrón de drenaje: radial, centripeto o centrífugo, anular o paralelo cuando se supone que debería ser dendrítico (Howard 1967, Maurin, 1977, Defontaines & Chorowicz, 1991);
- Modificaciones locales del modelo del canal tales como rectilíneos, curvilíneos o meandros compresionados.
- Ángulo de confluencia: **los** ríos usualmente convergen en 60° como media, pero ángulos tan abiertos como 120° están asociados con meandros, indicando una zona de depresión en la planicie aluvial;
- Divergencia de corrientes, lo cual indica zonas inestables;
- Alineamiento de curvas de alto ángulo, confluencias, fuentes y tributarios;
- Direcciones de flujo en inversas u oblicuas a la línea de costa.

Siguiendo estas directrices serán distinguidas numerosas anomalías a diferentes escalas de trabajo.

Se plantea un modelo de base en el cual la península emerge durante **los** últimos 700000 años luego de la entrada de **la** cordillera submarina de Carnegie, comenzando en el área de **El** Aromo como una isla a 10 o 15 Km. de la antigua línea de costa. Debido al proceso de levantamiento se va descubriendo sucesivamente nuevas y extensas áreas de plataforma (terrazas marinas levantadas o tablazos), lo cual conlleva a la instalación de un sistema de drenaje propio; hasta encontrarse con el continente y la generación del drenaje actual

A este fenómeno se le debe añadir lo que ocurre con las épocas de glaciación: bajo nivel del mar implica socavación de quebradas y erosión regresiva para establecer un nivel de equilibrio.

### 5.1. VARIACIONES CON RESPECTO A LAS TERRAZAS MARINAS

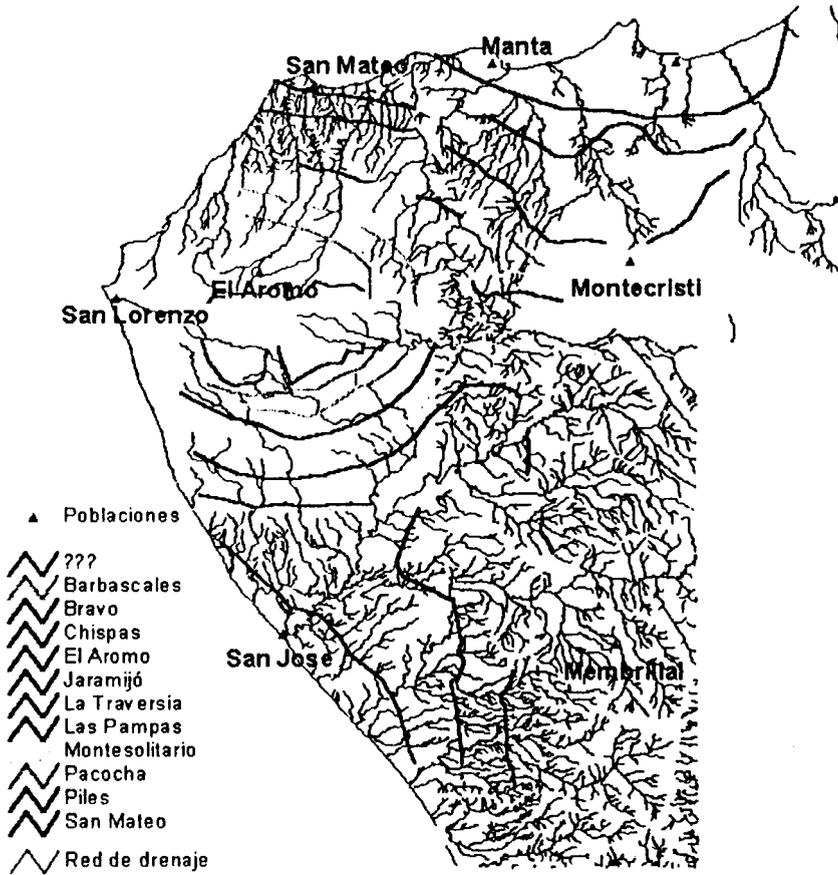


Fig 5-2 Límites de los tablazos de la península de Manta. Segun Pedoja (en preparación)

Son varios los niveles de terrazas marinas descritos para la zona, Pedoja (en preparación) menciona 5 niveles seguros, pero posiblemente se cuentan hasta 7 niveles de tablazos. Figura 5-2.

Es de suponer que para cada nivel existan variaciones en pendiente, extensión de la llanura, Etc. Se procedió a comparar **los** datos generados a partir de las observaciones de mapas y trabajo de campo con la red. Cada pie de acantilado **representa un paleo nivel cero del mar**, es decir, muestran un antiguo perfil costero.

Las observaciones se anotan con respecto a variaciones notables de entre las terrazas.

### - **Tablazo El Aromo (Figura 5-3)**

Representa la primera etapa en la formación de la península. Presenta una planicie elevada bien desarrollada a partir de **los** 300 metros. Es evidente la ausencia de una red desarrollada por tratarse del "tope" y ser aquí donde nacen algunos de **los** principales componentes de la red de ríos regional; al ser la pendiente general suave la corriente no acumula mucha energía erosiva. Es **interesante notar que los pocos ríos que existen escurren hacia el SE con dirección N110°, es decir que se alejan de la costa en vez de acercarse, a pesar de la corta distancia al mar.**

Lo anterior escrito indica que existe control estructural en la disposición de los ríos que siguen la dirección de la traza marcada por la presencia de la falla Montecristi ( 1 ); se observa un rasgo que, por su forma y por la historia geológica de la zona, debió tratarse de una entrante de mar ( 2 ); otro rasgo que merece especial atención es la presencia de drenajes que corren a lo largo del límite del tablazo ( **3** ) lo cual se interpreta como antiguas barras de

arena que fueron quedando a medida que el mar retrocedía. Rasgos similares se observan en terrazas inferiores.

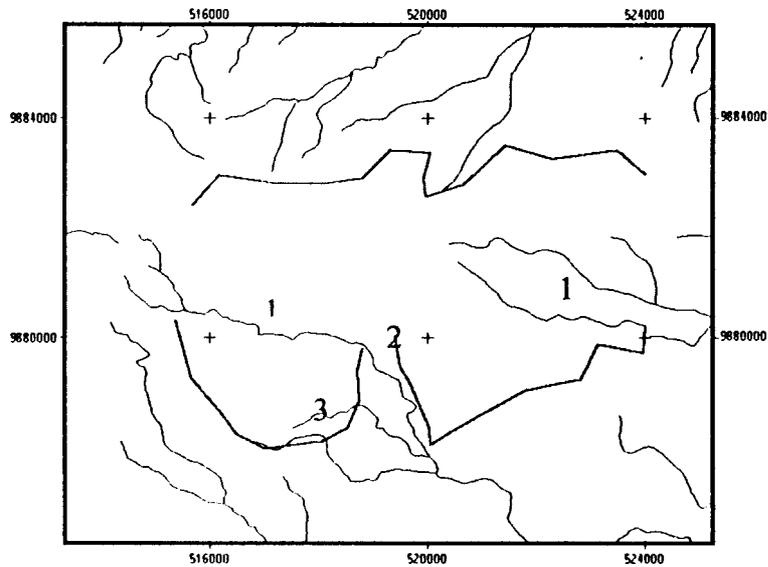


Fig 5-3 Límite del tablazo el Aromo (línea verde) y su red de drenaje.

**- Tablazo El Aromo - tablazo Pacocha (Figura 5-4)**

Como se puede ver, aumenta el número de ríos en esta terraza. **Se** forma una divisoria de aguas, ya que ahora **los** flujos se dispersan para dos direcciones principales: **NE y ESE**. A este punto aún no se encuentran drenajes que se dirijan directamente al mar estando a próximos **5 Km.** sino que se dirigen hacia tierra adentro indicando la pendiente contraria al mar, aunque en el momento de su formación, talvez su ruta iba directamente al océano.

**Es** importante anotar la presencia de la falla Montecristi que recorre una línea entre Cabo San Lorenzo, **El Aromo** y Montecristi. Los ríos aquí comienzan a tener un modelo radial pero alejándose de la costa actual. En esta etapa la red

llega de forma ortogonal a l línea de costa antigua ( 1 ). Se distinguen lineamientos importantes ( 2 )

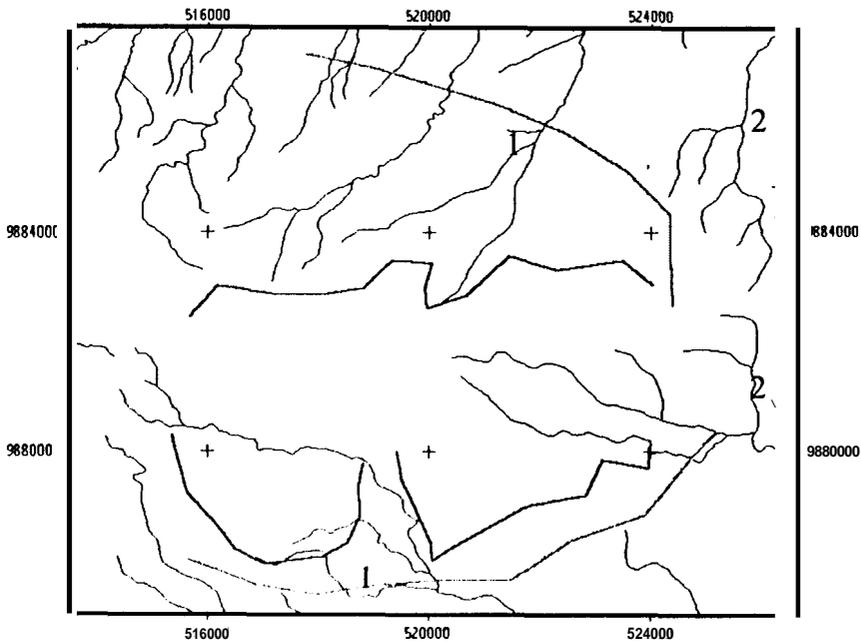


Fig 5 4 Límites de tablazos El Aromo (en verde) y Pacoche (en naranja) y su red de drenaje.

#### - Tablazos Pacoche - Barbascales - Montecristi (Figura 5-5)

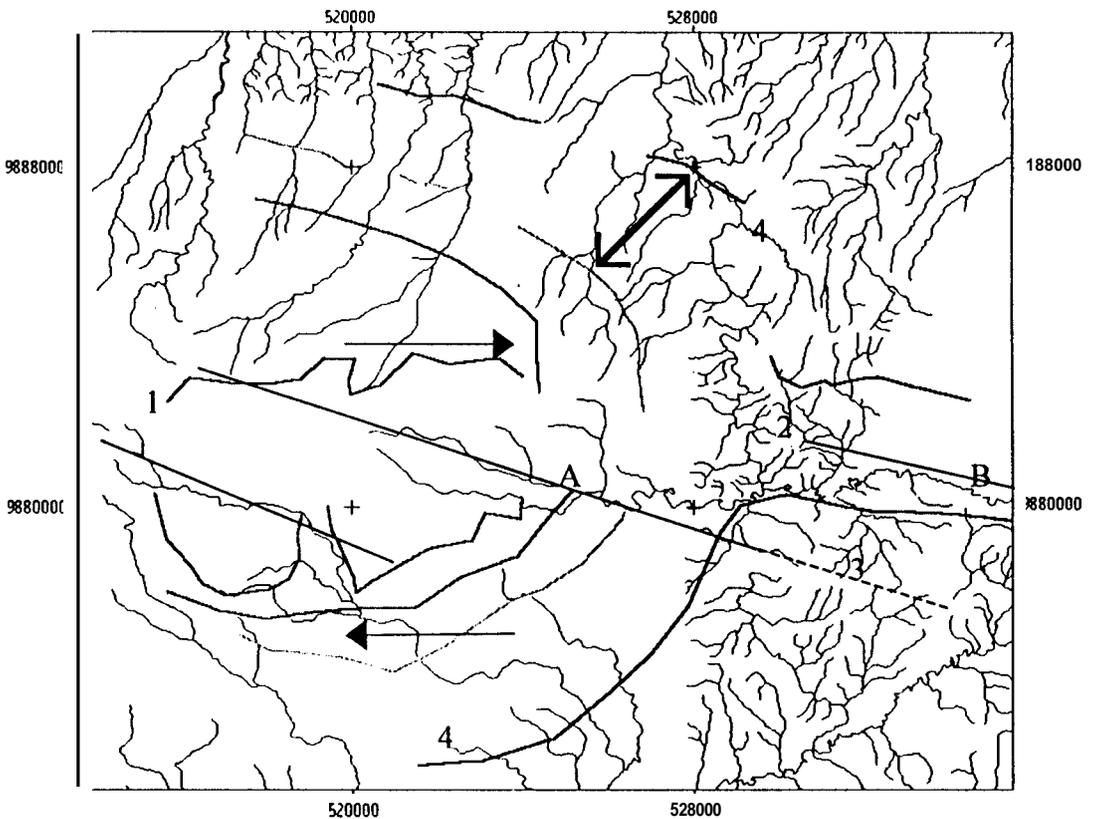
A partir de aquí se nota claramente un patrón de drenaje mayormente radial en las vertientes principales alrededor de la isla, a excepción de la parte Occidental. Esto es otra evidencia de que la zona de El Aromo, al ser la más elevada en la actualidad, fue la que primero emergió, se observa una asimetría hacia el Este ( 1 ) ya que los ríos no drenan en esa dirección.

Hacia el centro ( 2 ) se observa a menor escala un ordenamiento más dendrítico, las dos vertientes se encuentran en una pequeña planicie, una viene desde el oeste ( A ) y la otra desde el este ( B ), ambas controladas por la falla Montecristi, para formar lo que después será el río Manta, durante la

formación de el tablazo Montecristi ésta zona dejó de ser una isla y se enlazó al continente (Pedoja, comunicación oral); sin embargo este paso no constituye el interfluvio natural, ubicándose este más hacia el sur del eje de la isla - península ( 3 ), lo cual implicaría la influencia de la falla Montecristi (línea entrecortada).

Las líneas en negro muestran la forma en que la falla afecta a la península de manera regional, las flechas indican el sentido del movimiento.

Aquí también se aprecian drenajes que corren paralelo al límite del tablazo Montecristi (4 ).



**Fig 5-5** Tablazo Barbascuales (rosado) y Montecristi (café). Nótese hacia el centro un patrón dendrítico (2) en lo que sería el paso entre El Aromo y el continente. Las Hneas muestran el comportamiento de la falla Montecristi.

Luego de la aparición de este paso natural, la península queda dividida en dos sistemas de terrazas, norte y sur; debido a esto los tablazos toman nombres diferentes para la misma altura. Se analizan las variaciones de la zona norte.

#### **- Tablazos Montecristi – La Traversia - San Mateo (Figura 5-6)**

Se encuentra dentro del sistema Norte e incluye el tablazo La Traversia. En la parte noreste ( zona A ) la mayoría de los ríos de ambos niveles poseen la tendencia de fluir hacia el NE ( $N40^\circ$  aprox.) con un patrón paralelo a subparalelo, esto puede darse por dos motivos: pendiente regional mayor a 2.5% (Phillips y Schumm, 1987) o un fuerte control estructural debido a fallas asociadas a la falla Montecristi.

Se señala un área cerca de San Mateo ( zona B ), en la cual se observa una divergencia en la dirección, cambiando el conjunto hacia el NNW.

En la zona central ( C ), parece haber una disminución de drenajes, lo cual se suma a la existencia de un fuerte lineamiento SW-NE que parte desde El Aromo y llega hasta Manta ( línea entrecortada).

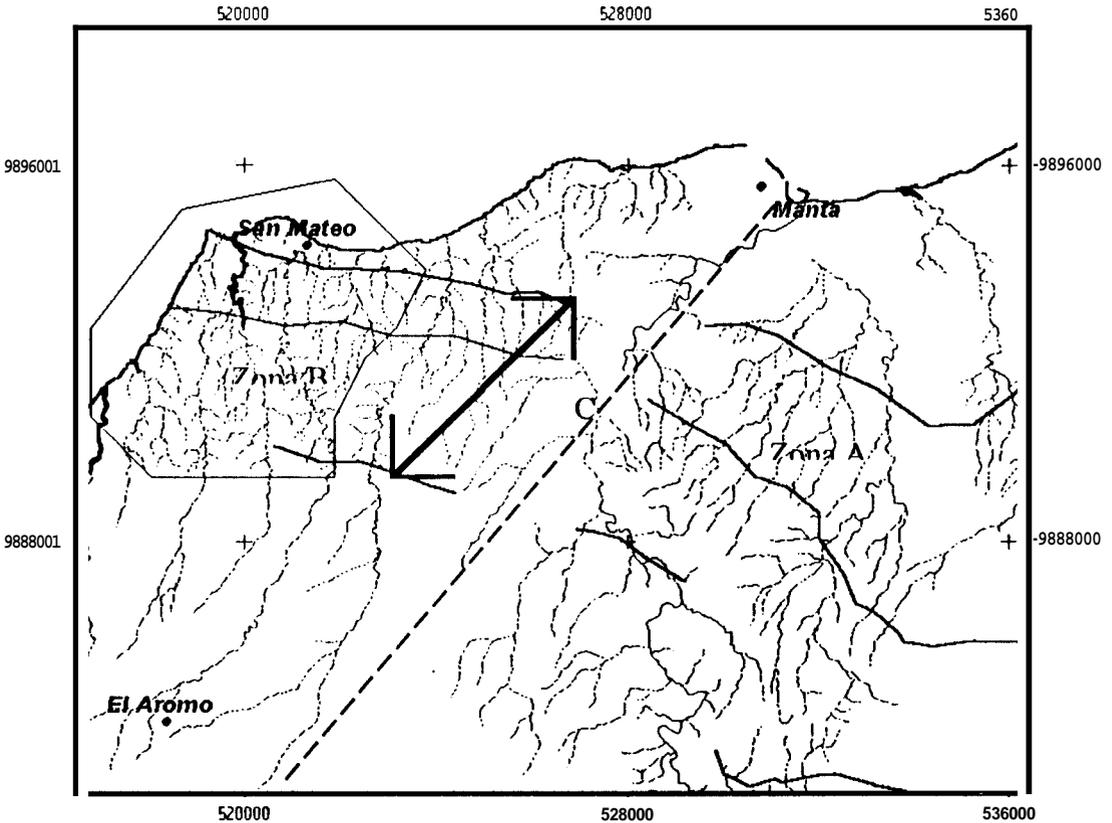


Fig 5-6 Zona entre el tablazo Montecristi (en café) y San Mateo (azul). Se encierra el área con dirección y patrón diferente al regional.

#### - Tablazos San Mateo – Jaramijó - perfil costanero (Figura 5-7)

Se constituye por una zona de planicie y cerros bajos con pocos ríos formados por los tributarios de los niveles más altos. Los ríos entran a este nivel con dirección NNE pero al llegar al mar desembocan con rumbo NW; es decir que la pendiente cambia de rumbo al llegar a la costa, pero se mantienen los ríos ortogonales a la costa y al límite de la terraza.

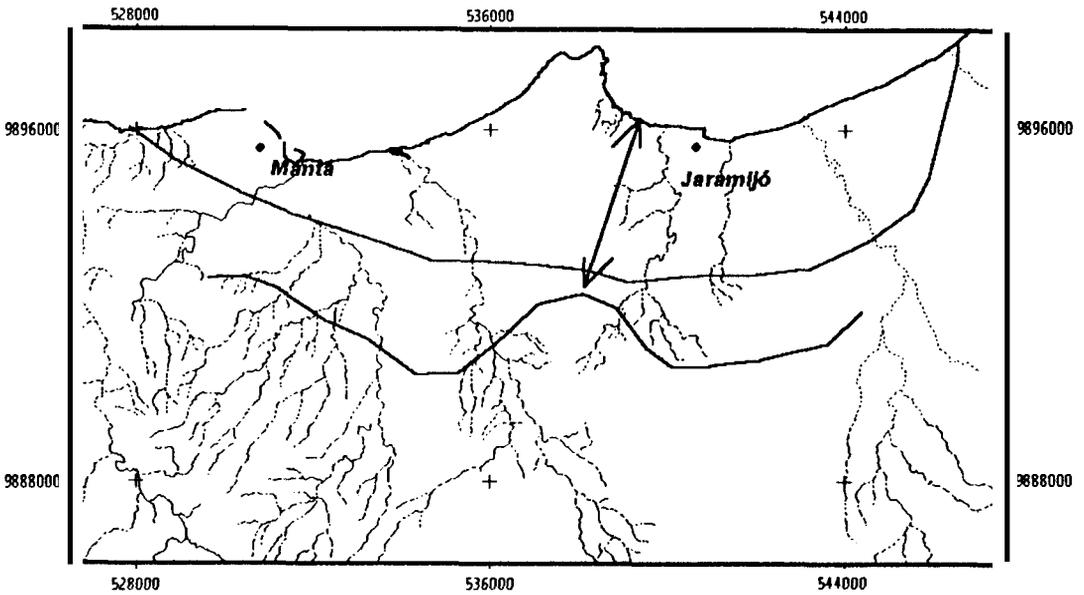


Fig 5-7 Niveles de terrazas inferiores. Son pocos los drenajes que llegan al mar y estos lo hacen con rumbos generalmente NW.

## 5.2. CONTROL DE LA RED DEBIDO A LINEAMIENTOS

Analizando de forma general a la red fluvial, se puede notar las relaciones con los lineamientos. En la figura 5-8 se aprecian algunas de las anomalías.

Se puede dividir la zona en Norte y Sur, separadas por lo que sería la traza de la falla Montecristi ( 1 ) en el centro y por la forma de su traza se denota un carácter dextral.

De lo observado se distinguen dos grupos de estructuras:

1. La primera al Norte (zona A: San Mateo-Aromal-Montecristi) con dirección preferencial NNE y unas pocas (por lo menos a esta escala) NNO.
2. La segunda al Sur (zona B: Punta San José-Mernbrillal-Jipijapa) con direcciones variadas pero las más grandes se dirigen hacia el NNO.

**Es** importante recordar que la observación del hábito de la hidrografía es de gran ayuda cuando se tienen zonas planas y extensas, en las cuales los saltos de falla u otros vestigios de actividad tectónica pueden quedar ocultos por la erosión. En ejemplo se demuestra al comparar la imagen radar con el red de drenaje, la falla Montecristi no se logra distinguir.

Los lineamientos esbozados coinciden en gran parte con los mapas geológicos 1/100000 de la zona.

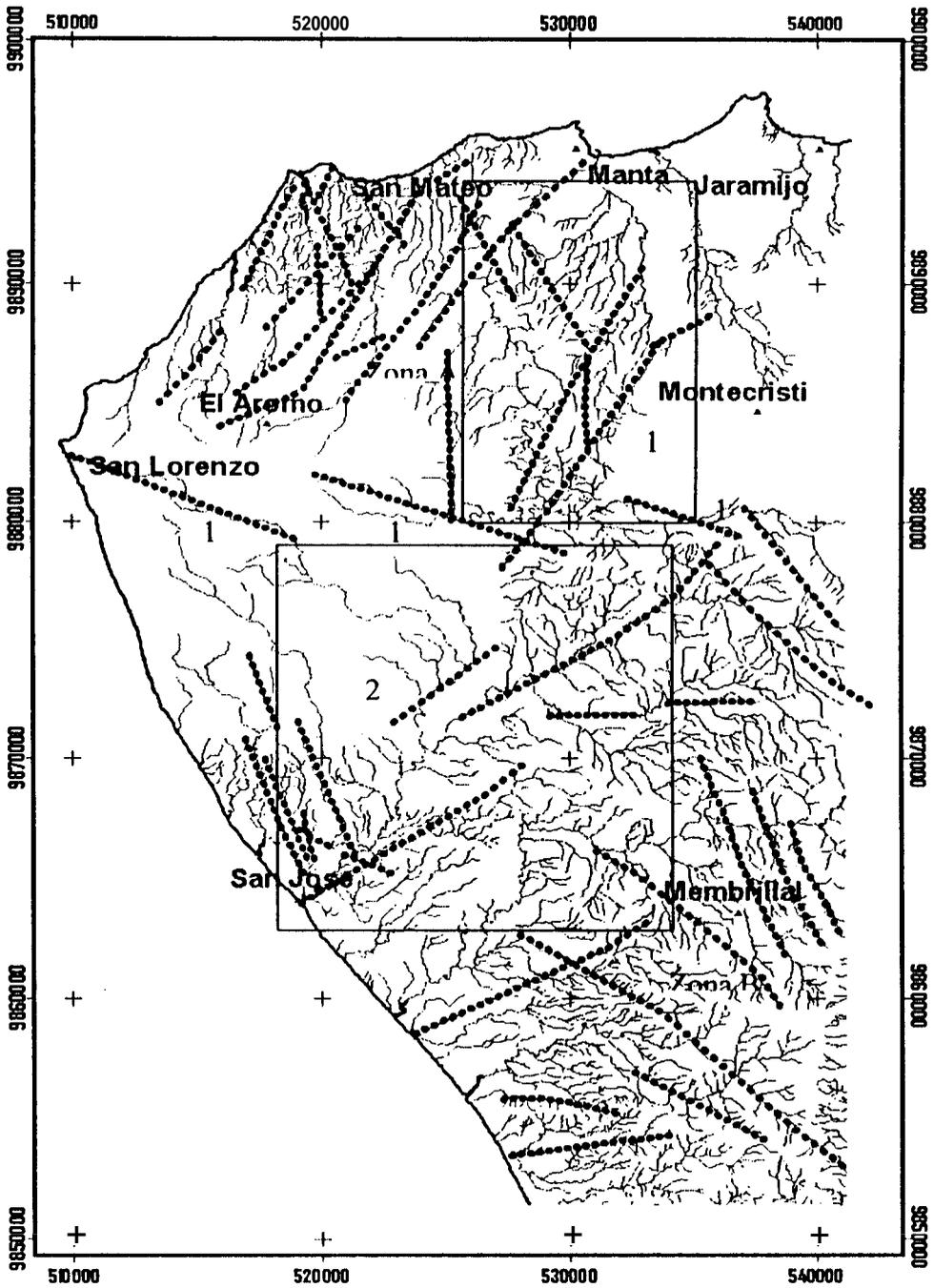


Fig. 5-8 Lineamientos en el área de estudio debido a control estructural. Comparar con figura 5-1.

#### 5.4. ASIMETRÍA DE CUENCAS

Haciendo observaciones sobre las cuencas, cada una por separado, se pueden distinguir características que pasan desapercibidas al ver el conjunto. La asimetría de la cuenca es una señal de deformación que indica levantamiento de un lado u otro, sea este por fallamiento o plegamiento.

La figura 5-9 muestra varios ejemplos de lo descrito anteriormente: a la izquierda dos cuenca en la zona norte, entre Montecristi y Manta; a la derecha, un caso en la parte sur. Los signos positivos (+) indican ascenso y los negativos (-) descenso.

Al comparar los lineamientos esbozados en esta parte del trabajo con los que se aprecian en la figura 5-10, no todos coinciden, lo cual significa que esta es un buen método de mapear estructuras ya que se pueden trazar estructuras desde otra perspectiva.

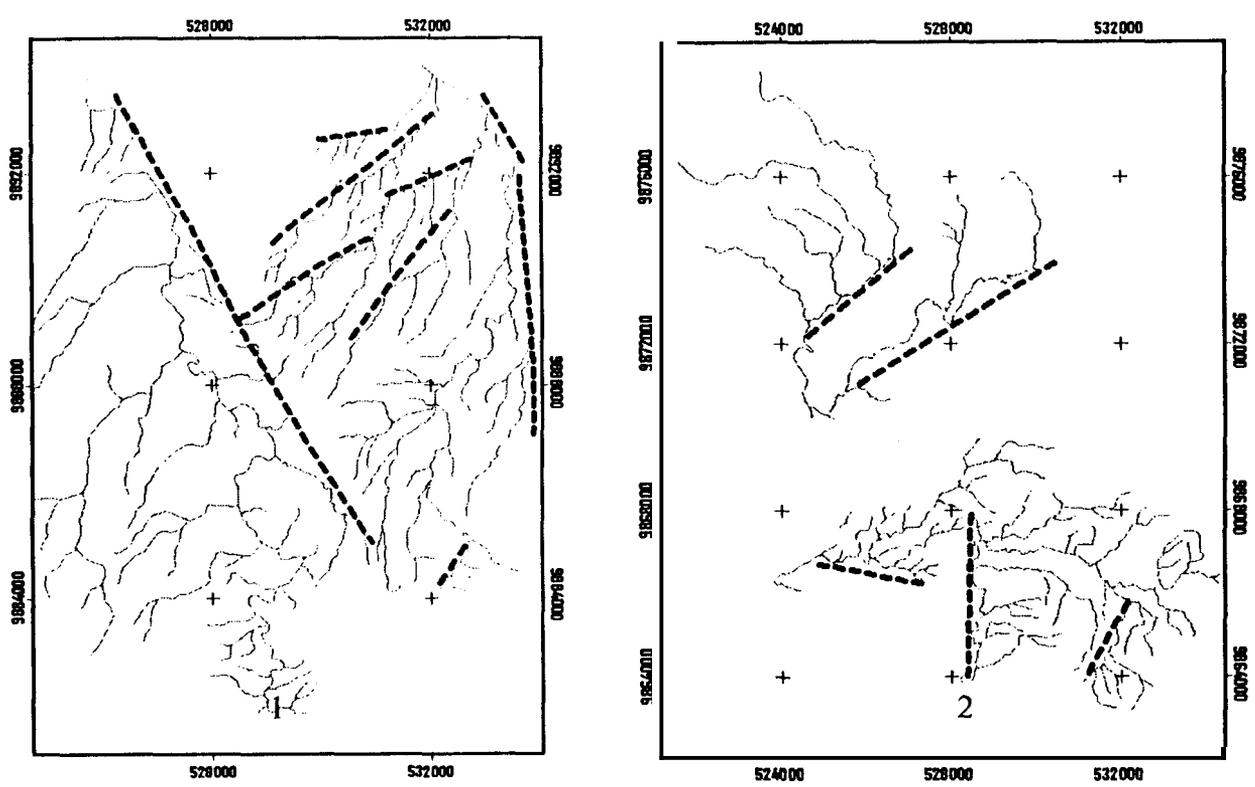


Fig. 5-9 Anomalías de cuencas asimétricas en el área de estudio. La ubicación de las mismas en la figura 5-8.

Existen asimetrías menores pero para el efecto se han descrito las mayores.

En la zona del río San Lorenzo se está produciendo un fenómeno de captura de ríos. Las cartas topográficas no demuestran al intérprete la plenitud del caso: en la carta 1:250000 lo presentan con un solo río, mientras que en cartas a mayor detalle se los aprecia como dos ríos diferentes. La mayor pendiente se produce del lado oeste, por lo tanto el correspondiente río capturaré al otro. El MNT de el Aromo muestran la situación. Cabe anotar que los dos ríos se encausan en la traza de la falla Montecristi, lo cual acentúa el fenómeno.

# CAPITULO 6. FOTOGEOLOGIA

## 6.1. FOTOMOSAICO DIGITAL

La creación de un fotomosaico digital se resume en los siguientes pasos:

**Digitalización de las fotos aéreas IGM:** utilizando un scanner de escritorio se puede transferir las imágenes al computador, del usuario depende la resolución que se le quiera dar. Para el caso fue de 150 ppi. En este paso, la imagen queda registrada con coordenadas arbitrarias x, y para cualquier programa GIS.



Fig. 6-1 Foto aérea digitalizada (scanner) sin georeferenciar

**Georeferenciación de las fotos:** se deben tomar puntos de control con coordenadas conocidas para cada foto, preferiblemente que se ubiquen bien distribuidos en la foto, estos datos pueden ser extraídos de cartas vectorizadas, mapas o puntos GPS; el procesamiento se hizo en el software IDRISI32 GIS con su módulo RESAMPLE el cual nos pide como requisitos de entrada la resolución de cada imagen (10 metros); coordenadas mínimas y máximas y número de filas y columnas. Se georeferenciaron las 33 fotos. Para cada imagen se registran las coordenadas UTM ZONA 17 SUR.



**Fig. 6-2** Foto aérea georeferenciada. Nótese los espacios negros alrededor creados como relleno por el “movimiento” de la imagen al momento del proceso. Los puntos rojos representan los puntos de control.

**Armado del mosaico:** el mismo software da la opción CONCAT que une las imágenes requeridas por medio de sus coordenadas, si las fotos se encuentran georeferenciadas la unión de las 33 fotos en una sola imagen es cuestión de segundos.

## 6.2. INTERPRETACION DE LAS FOTOS

Como parte del material de estudio, fueron analizadas 33 fotos aéreas del IGM formato 23 x 23 cm a escala aproximada 1:60000 las mismas que cubren toda la península de Manta hasta las estribaciones de la cordillera costanera. La fotointerpretación se realizó con un estereoscopio marca GORDON modelo F-71.

En la figura 6-3 se observa el fotomosaico digital sobre el que se digitalizó los lineamientos marcados en los acetatos de la manera convencional; esta identificación de estructuras se basó en los métodos convencionales: diferencias de tono, rugosidad, tamaño de estructuras, patrones, vegetación, Etc.

Cabe recalcar que no se realizó una interpretación fotogeológica de la litología, cosa que está fuera del alcance del presente estudio, sino que trató de vincular cambios en la misma con posibles estructuras presentes.

Muchos de los lineamientos son inferidos por la morfología, en estos casos las fallas son mostradas por ciertas características morfológicas como drenaje, escarpes, alineamientos de vegetación debido a un incremento de humedad a lo largo de la línea de falla.

Se puede subdividir el área en dos zonas de acuerdo a la concentración de lineamientos, coincidiendo con las nombradas en la imagen Radar y en la red

de drenaje: la primera al noroeste entre Cabo San Lorenzo y San Mateo y la segunda la parte este bajando hacia el sur cerca de Membrillar.

La observación de los lineamientos mayores como la falla Montecristi y la cordillera costanera no se distinguen con claridad, asimismo los dos elementos oblicuos no son apreciados a primera vista.



Fig. 6-3 Distribución de lineamientos de la fotointerpretación en el área de estudio.

# CAPITULO 7. MODELOS NUMERICOS DE TERRENO y ANÁLISIS MORFOESTRUCTURAL

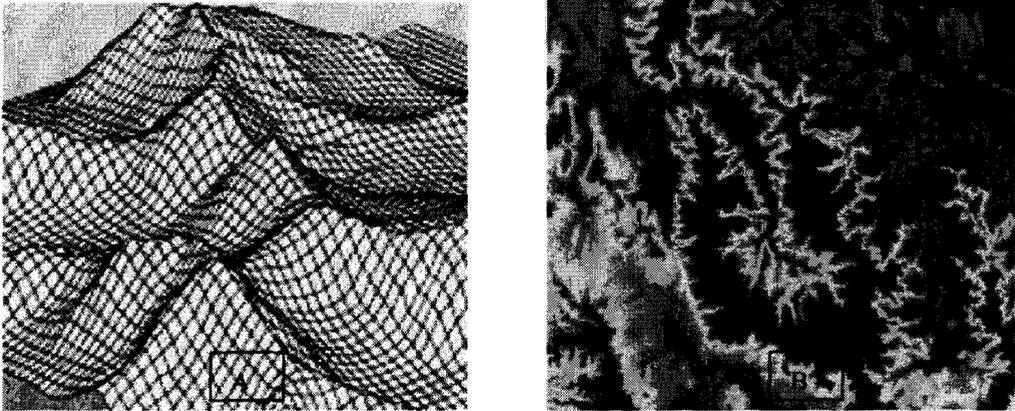
## 7.1. FUNDAMENTOS DE LOS MNT's

Los modelos numéricos de terreno (MNT), modelos digitales del terreno (MDT) o modelos digitales de elevación (MDE) son descripciones objetivas y computarizadas de la superficie terrestre, las mismas ofrecen por lo tanto un potencial para la evaluación cuantitativa y automatizada de los recursos de la tierra.

En otras palabras, un Modelo Digital de Elevación es un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "X" y "Y" a las que se les agrega un valor de "Z" que corresponde a la elevación.

Los valores de elevación pueden ser manipulados digitalmente y desplegados en un monitor como una "malla" (o como un conjunto de "celdas"), a la que se asocian los valores de altura a cada una de las intersecciones de líneas de la "malla". Para este caso, la presentación visual es una vista isométrica.

Para el caso de que a las "celdas" de una cuadrícula "raster" se le asignen los **valores** correspondientes a los intervalos de alturas diferenciados por **gamas**, ya sea de tonos de gris o de colores, la presentación gráfica **puede** ser en **dos** o tres dimensiones.



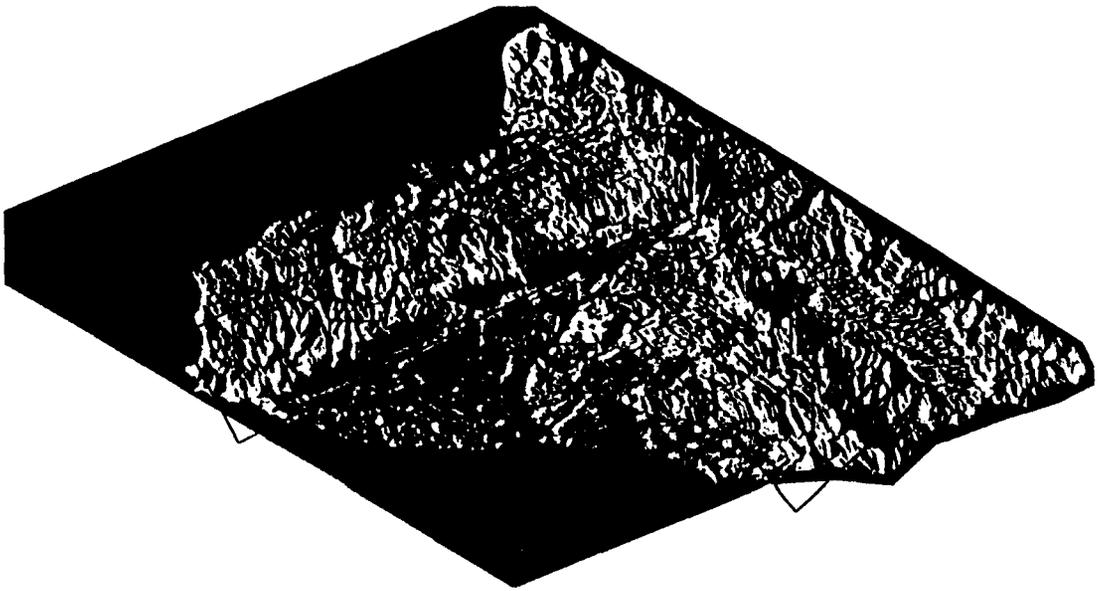
**Fig. 7-1 Modelos de Elevación Digital: a) Representación tipo malla en vista isométrica; b) Representación en 2D por medio de tonos**

La mayoría de los MNT se generan por dos métodos digitales: mediante la conversión de curvas de nivel de mapas topográficos (digitalización o software seguidor de líneas), o bien, por el método fotogramétrico de correlación de imágenes.

Para el caso de MNT derivados de curvas de nivel vectorizadas, la exactitud depende de la escala del mapa fuente y de la precisión de los métodos de compilación así como de los procedimientos empleados para la vectorización de las curvas de nivel. La vectorización con software seguidor de línea para curvas de nivel en formato “raster” obtenidas de positivos fotomecánicos dará mayor exactitud que la digitalización con tableta a partir de mapas impresos en papel.

## 7.2. EJEMPLOS Y ANÁLISIS DE MNT EN EL AREA DE ESTUDIO

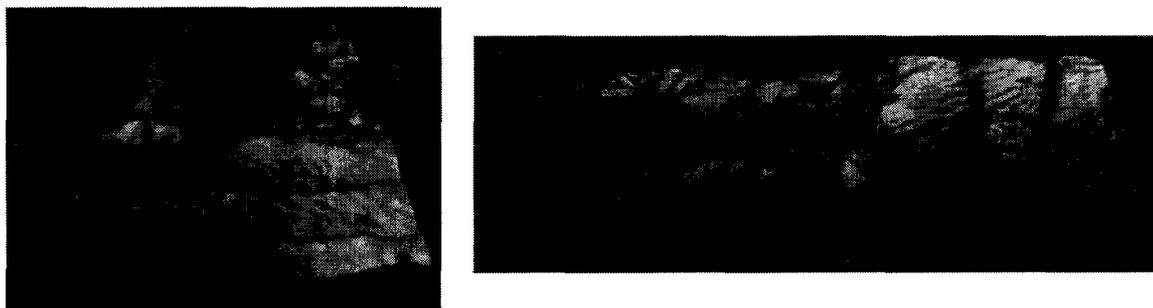
Se trabajó con la topografía en digital de varias cartas IGM, se procedió a elegir zonas que sean de interés en el ámbito morfológico o tectónico, y tener así otro punto de vista en el momento de dar criterios.



**Fig 7-2 MNT de la península en perspectiva. El modelo se elaboró con Savane en Francia por B. Labrouse. Se indica en rojo la ubicación de los MNT a detalle**

La figura 7-2 muestra un modelo numérico en perspectiva de toda la península de Manta (Labrousse, 2000), en el se aprecian (1) la falla Monetecristi, (2) la cordillera costanera, (3) otros tipos de estructuras.

## AREA #1: CABO SAN LORENZO



**Fig 7-3** Dos vistas panorámicas del MNT de la zona de Cabo San Lorenzo, magnificación vertical 50%.

El área de San Lorenzo fue elegida por 2 razones 1) su proximidad al mar y 2) por ser el área de entrada de la falla Montecristi al continente.



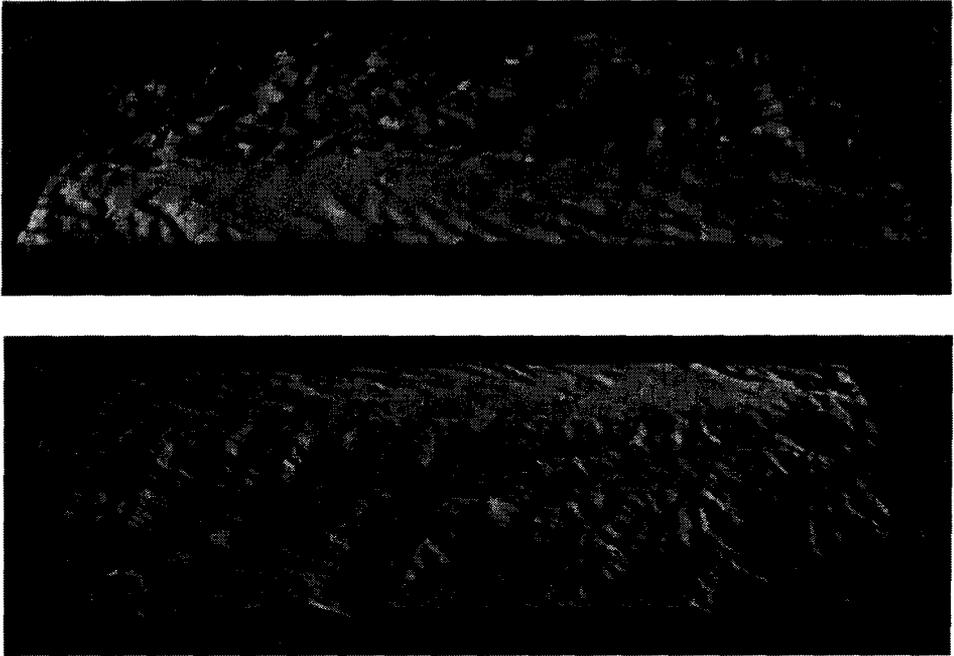
**Fig 7-4** Vista con perspectiva horizontal, , magnificación al 50%

En la figura 7-4 se observan características del terreno, una de las ventajas de los MNT consiste en dar al observador la posición que desee, como por ejemplo la sensación de estar en un bote a cierta distancia de la playa o desde un aeroplano, volando sobre los cerros lo cual representa un ahorro de tiempo y recursos.

Los niveles de tablazo pueden ser contados desde la izquierda, si se mira con detenimiento se llegan a contar hasta 6 niveles de terrazas de las 7 que menciona Pedoja (en preparación). Hacia la derecha ocurre algo interesante: de las tres partes más altas la parte media se encuentra cortada y por debajo

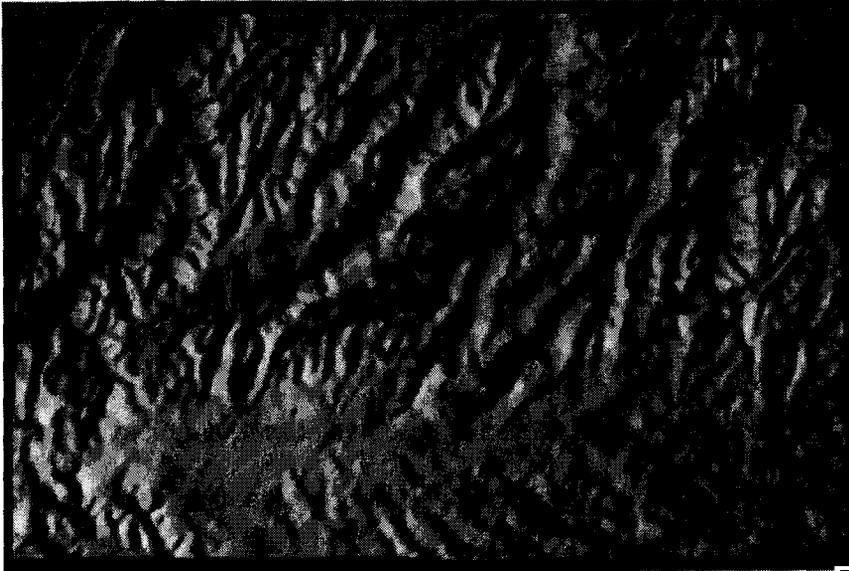
de las otras dos, dando la impresión de un sistema horst-graven. Es en este punto donde empieza la falla Montecristi.

## AREA # 2: EL AROMO



**Fig 7-5 Vistas panorámicas de los MNT de la zona de El Aromo, magnificación vertical 100%.**

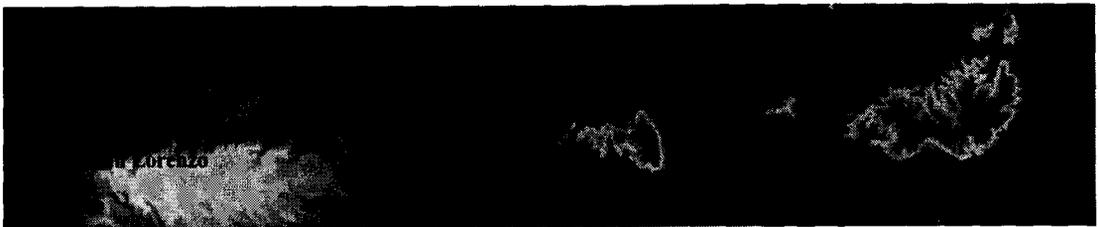
En El Aromo las terrazas marinas cuaternarias alcanzan su máxima altitud llegando hasta más de 360 msnm. De este mismo lugar es donde se origina la red de drenaje de la península. En la figura 7-5 se observan dos vistas del mismo modelo, en ellas se aprecia claramente una variación del paisaje debido a la litología (Fm. San Mateo -conglomerados, areniscas finas y lutitas siltsas- al norte y los tablazos en la cima) y por lo tanto la morfología varía en la forma que se ve: de una meseta casi plana en el Aromo hasta socavamientos producto de la erosión fluvial regresiva desde el norte.



**Fig 7-6 Vista en planta de MNT de El Aromo.**

En la vista en planta del DEM, se aprecia de mejor manera la morfología, la cual está afectada por la erosión. En la esquina inferior izquierda se observa un fenómeno de captura de ríos, esto se previó en las hojas topográficas.

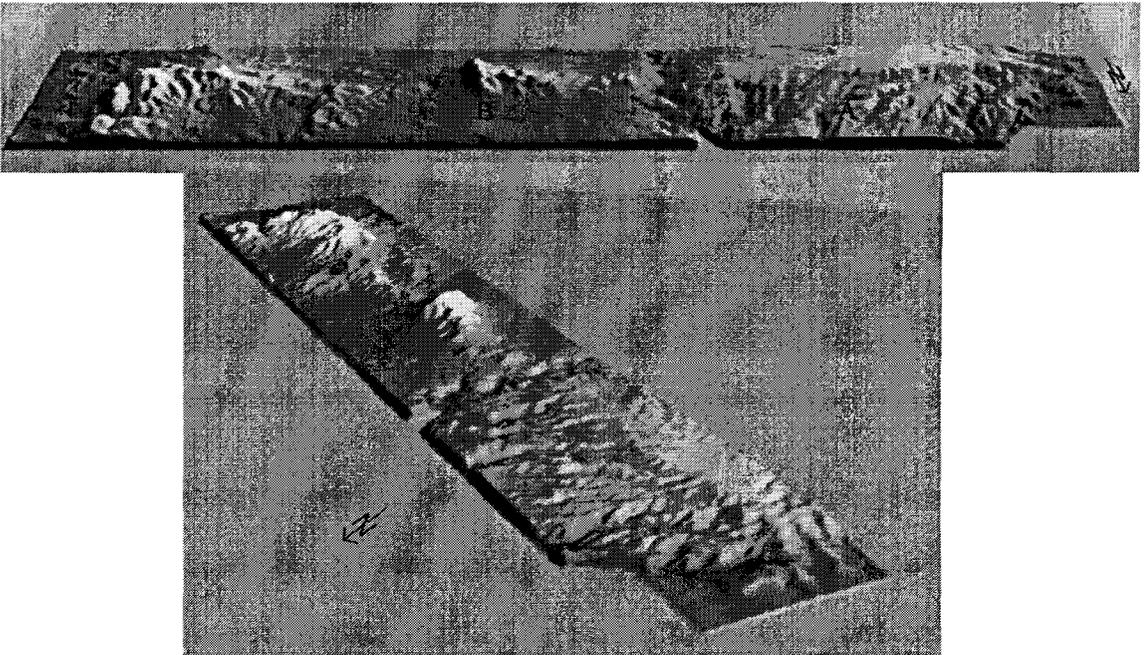
### **AREA #3: CABO SAN LORENZAO – MONTECRISTI – CERRO DE HOJAS**



**Fig 7-7 Vista del MNT de la falla Montecristi. Compilación de 4 hojas topográficas IGM 1/25000**

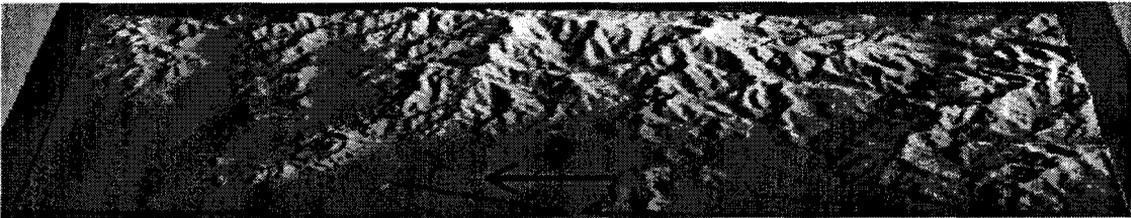
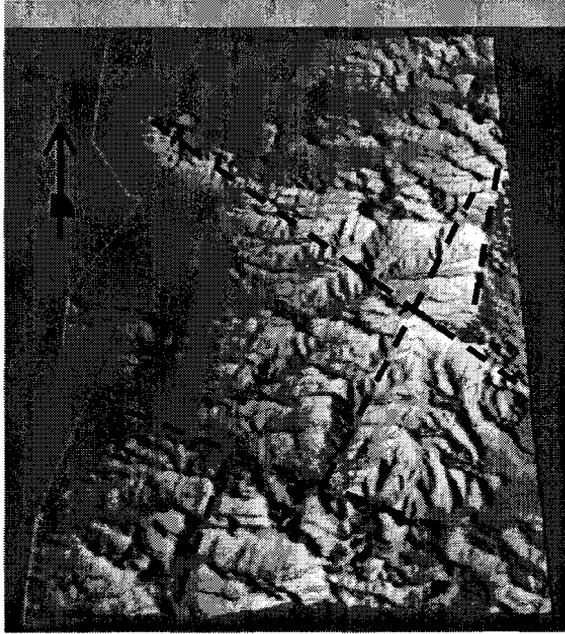
Otra ventaja que dan los software de tratamiento de imágenes y GIS es que permiten formar mosaicos ya sean de fotos o de MNT's una vez que poseen las coordenadas. El gráfico 7-8 presenta una vista general en planta del área

central de la península de Manta; en los mapas geológicos existentes en diversas escalas se describe en esta zona la falla Montecristi. La morfología está dividida en dos partes: una al oeste, con Cabo San Lorenzo y El Aromo que forman planicies elevadas (A) con drenajes que han socavado profundas quebradas con orientación más o menos bien definida; y, la otra al este, con Montecristi formando planicies bajas (B) (primeros niveles de terrazas) con algunas elevaciones puntuales como el cerro Montecristi y los cerros cercanos a Portoviejo. Ambos están separados por una el cauce de un río, pudiendo ser este los vestigios de la traza de una falla.



**Fig 7-8 Vistas en perspectiva del MNT de la falla Montecristi. Nótese la diferencia geomorfológica entre el este y el oeste a partir del cauce.**

#### AREA #4: MEMBRILLAL – PTO CAYO (Zona Sur)



**Fig. 7-9 Vistas del MNT del área 4. Nótese como está afectada por la tectónica.**

Un modelo numérico de terreno realza las características, no sólo morfológicas, sino además estructurales que han afectado a un área. La zona sur del área de estudio (figura 7-9) incluye parte de la cordillera costanera y sus estribaciones occidentales. Consisten en cerros altos que elevaciones. Esta parte se hallan evidencias de deformación por fallamiento, los mismos lineamientos que se han marcado tanto en la imagen Radar como en la red hidrográfica.

Se encuentran lineamientos mayores oblicuos que disectan la cordillera costanera con desplazamiento

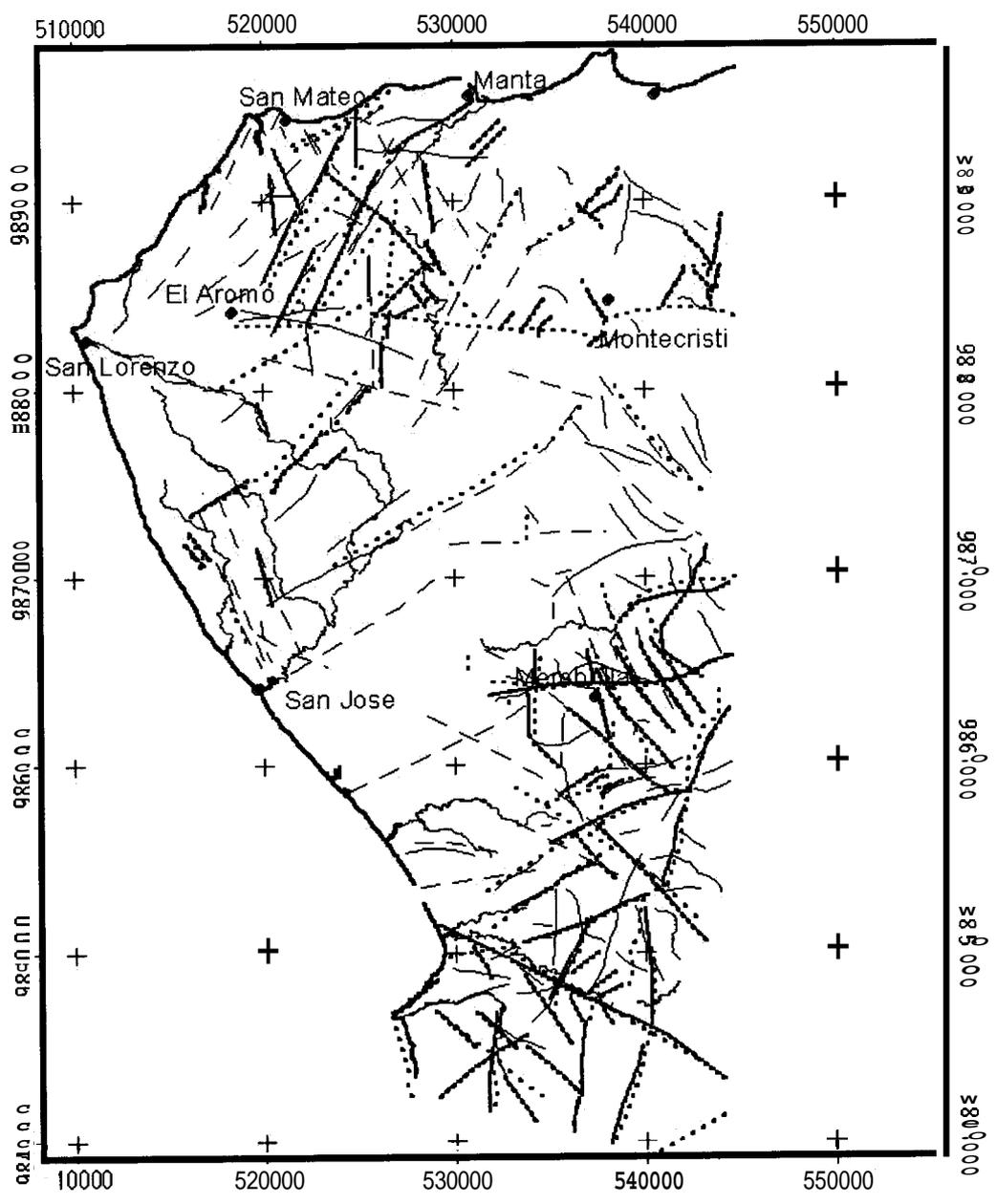
## CAPITULO 8. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

Luego de realizado el estudio a través del cual se analizaron varias fuentes de información para modelar el comportamiento de la Península de Manta se presentan las siguientes conclusiones:

- a) Mediante el análisis de la red de drenaje es posible conocer la historia de la formación de la península de Manta. Existen anomalías en la red por control debido a fallas, influencia de las terrazas marinas, cambios de patrones, captura de ríos, etc; un sin número de detalles producidos en su mayoría por un evento tectónico regional, la entrada de Carnegie y el levantamiento de la península. Los patrones de ríos son variados, pasan de ser ríos Únicos en las altas planicies (El Aromo) cuyo cauce se alinea con fallas presentes, a radiales asimétricos, dendríticos y subparalelos. La falla Montecristi y sus fallas asociadas controlan en gran medida el modelo de la hidrografía.
  
- b) Los avances en el tratamiento digital de imágenes permiten en la actualidad aprovechar al máximo las ventajas de los sensores remotos. El uso de filtros sobre las escenas radar logran resaltar la topografía en terrenos irregulares; en zonas planas, es preferible apoyar las observaciones en otros medios como fotos aéreas o análisis con topografía y modelos de drenajes. El reconocimiento de las estructuras basándose solamente en sensores remotos, presenta, entre otros inconvenientes, la subjetividad con la cual se aprecian las anomalías; en cierto momento se ve claramente y a otro

instante se torna difícil volver a ubicarlo. Sin lugar a dudas, se requiere de experiencia para facilitar la interpretación.

- c) Los Modelos Numéricos permiten formar criterios adicionales para asegurar la existencia de terrazas levantadas, los MNT's muestran una perspectiva diferente que no es posible encontrar desde el campo. Es fundamental obtener una buena topografía en curvas de nivel para elevar el nivel de detalle y la veracidad de la simulación de terreno. El análisis visual de los modelos numéricos de terreno muestran direccionalidad: ciertos rasgos tanto morfológicos como tectónicos son apreciados de mejor manera a una dirección dada, generalmente, por la dirección de la estructura
  
- d) La figura 8-1 muestra los diferentes lineamientos pudiendo observarse las similitudes y diferencias en el detalle con cada una de las formas de interpretación utilizada.



**LEYENDA**

-  Lineamientos del drenaje
-  Lineamientos de imagen Radar original
-  Lineamientos de radar con filtro edge enhancement
-  Foto Interpretación
-  Poblaciones
-  RIDS



**Fig 8-1 Comparación de lineamientos identificados**

## RECOMENDACIONES

Entre las ideas que salen a la luz luego de un trabajo intenso se tienen:

Actualizar el presente trabajo a través de la tesis doctoral de Pedoja (2002), quien trata con más profundidad sobre las edades y características de las terrazas marinas de la costa ecuatoriana y norte de Perú.

La aplicación de filtros y tratamientos sobre imágenes, ya sean estas radar u Ópticas, es de gran utilidad en estudios geológicos como se ha demostrado. Es necesario fomentar y difundir el uso de estas herramientas de la teledetección.

Realizar un análisis a mayor detalle de la red hidrográfica, tanto de la zona de Manta como de otra partes con evidencias de levantamiento costero (**Sta. Elena, Esmeraldas**) permitiría observar rasgos que normalmente permanecen ocultos debido a la erosión.

## BIBLIOGRAFIA

1. Alvarado, A. (1998). "Variación de los Campos de Stress y Deformación y Cuantificación de las Deformaciones Activas del Bloque Costero del Ecuador". DEA de Géodynamique et Physique de la Terre. Universidad Paris XI.
2. Centro Interamericano de Fotointerpretación (1975). Sensores Remotos y Principios de Percepción Remota. C.I.A.F.
3. Daly, M. C. (1989). "Correlations between Nazca/Farallon plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador." Tectonics **8**(4): 769-790.
4. Henderson F.; Lewis A. (1998). Principles & Applications of Imaging Radar. Manual of Remote Sensing. Tercera edición, volumen 2. Wiley.
5. Lonsdale, P. (1978). "Ecuadorian Subduction System." AAPG Bull **62**: 2454-2477.
6. Mapas Geológicos 1/100000. Dirección General de Geología y Minas.
7. Miro, M., H. Ayon, et al. (1976). Morfología y estructura del margen continental del Ecuador. Guayaquil, Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR): 23.
8. Mering C. (1996). "Detection of recent faulting and evaluation of the vertical offsets from numerical analysis of SAR ERS-1 images. The example of the Atacama fault zone in northern Chile". Géodynamique Andine: 199-202.
9. Pedoja K. (2002). Tesis Doctoral en preparación.
10. Rudant, J. P., J. Chorowicz, et al. (1988). "Problemes d'interprétation géomorphologique et géologique et modélisation géométrique d'images radar a partir d'un modele numérique de terrain." C. R. Acad. Sc. Paris **t.306(série II)**: 15-20.
11. Schumm S. (1972). River Morphology. Benchmark Papers in Geology. Downen, Hutchinson and Ross, Inc.
12. Schumm S.; Dumont J. (2000) Active Tectonics and Alluvial Rivers. Cambridge, University Press.
13. Winckell, A. and Zebrowski C. (1997). Los paisajes costeros. Los paisajes naturales del Ecuador, Geografía física del Ecuador, CEDIG. **T.IV,V2**: 208-319.