TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE IMAGENES DE RADAR (SAR) Y SU APLICACIÓN EN GEOFÍSICA

Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Geofísico por el Br. Regalado Sosa Jimmy José

Caracas, julio de 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE IMAGENES DE RADAR (SAR) Y SU APLICACIÓN EN GEOFÍSICA

Tutor Académico: Msc. Franklin Ruiz
Tutor Industrial: Dr. Joao Moreira

Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Geofísico por el Br. Regalado Sosa Jimmy José

Caracas, Julio de 2004

REGALADO S. JIMMY J.

EVALUACIÓN DE IMAGENES DE RADAR (SAR) Y SU APLICACIÓN EN GEOFÍSICA

Tutor Académico: Prof. Franklin Ruiz. Tutor Industrial: Dr. Joao Moreira. Evaluación de imágenes de radar (SAR) y su aplicación en geofísica. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2004. 248 páginas.

Palabras claves: Sensores Remotos – Radar (SAR) – Reflectividad – Resistividad - Geofísica

La tecnología de los sensores remotos ha tenido gran impacto, como herramienta para la obtención de información en varias áreas profesionales. Esta tecnología permite la extracción de atributos espaciales sobre la superficie terrestre, ofreciendo así, una muy buena representación del relieve, desde el punto de vista geomorfológico, en un tiempo razonable y a relativo bajo costo.

La carencia de información generada y publicada en el país nos indujo a proponernos el llevar a cabo esta investigación, con una doble finalidad, la primera evaluar el potencial de dichas imágenes en estudios geofísicos; y la segunda hacer una contribución metodológica para la utilización de esta tecnología.

El radar de apertura sintética (SAR), realiza sus mediciones en dos frecuencias, denominadas Banda P y Banda X. Las imágenes generadas por la banda P muestran cambios en la vegetación a pequeña escala especialmente en zonas de sabana. Las imágenes generadas por la banda X muestran un modelo digital del terreno, que permite distinguir variaciones de altura, muy útil al tener imágenes multitemporales de una misma zona, para realizar estudios de subsidencia.

La interacción de la onda electromagnética del radar y el terreno permite reconocer los minerales representativos de la superficie. El brillo de la superficie muestra la reflectividad, asociada a la presencia de elementos metálicos, ya que la respuesta del radar depende de la constante dieléctrica del reflector y de su superficie.

Se observó en el área de estudio, que las variaciones en el brillo de la imagen estaban asociados a anomalías magnéticas y a variaciones en los valores de resistividad de la misma, constituida por una asociación litológica de cinturones de rocas verdes, de origen ultramáficos con evidencias de esquistos, cuarcitas ferruginosas, caracterizadas por ser rocas muy compactas debido al alto metamorfismo y de alta resistividad. Aunque el método no es resolutivo permite identificar variaciones superficiales, especialmente en zonas de difícil acceso por la vegetación y el ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de forjarme como profesional para poder servir a mi patria.

A Orbisat de Amazonia S.A. y a todos sus integrantes por haberme dado la oportunidad de desarrollar este trabajo.

A Joao Roberto Moreira Neto, por haber aceptado ser el Tutor Industrial de este Trabajo Especial de Grado, por su orientación y aportes de significante importancia para el desarrollo del mismo.

Al Profesor Franklin Ruiz, Tutor Académico de este proyecto, por su ayuda y apoyo en el desarrollo de esta nueva área en la Escuela de Geología Minas y Geofísica.

A mi Madre, a quien le debo lo que soy hoy.

A mi Esposa por apoyarme en los momentos difíciles.

A mis compañeros de estudios y amigos en mi carrera universitaria Jhanes Barreto y Juan Francisco Piret (misico).

Sobre todo un enorme agradecimiento a Jehová Dios que me brindó salud, fuerzas y entusiasmo para poder lograr mi gran meta.

Gracias.

ÍNDICE

Página

Introducción 1

CAPITULO I: El Problema

1.1 Planteamiento del Problema 4

1.2 Objetivos 4

1.2.1 Objetivos Específicos 5

1.3 Justificación 5

1.4 Zona de Estudio 6

CAPITULO II: Geología

2.1 Geología General 11

2.2 Geología Regional 12

2.3 Geología Local área Bochinchito 14

2.4 Geología Local área El Manteco 15

CAPITULO III: Fundamento Teórico

3.1 Sensores Remotos 16

3.1.1 Tipos de Sensores Remotos 18

3.2 Radiación Electromagnética 21

3.2.1 Respuesta Electromagnética 21

3.2.2 Firma Espectral 23

3.2.3 Propiedades Espectrales de los materiales 25

3.2.3.1 Tipos de Reflectancia 28

3.2.3.2 Parámetros Físicos 29

Página

3.3 El Radar 37

3.3.1 Funcionamientos y Componentes del Radar 38

3.3.1.1 Alimentación 40

3.3.1.2 Señales de Control 40

3.3.1.3 Transmisor de Bandas P y X 45

3.3.2 Adquisición de los Datos 47

3.3.2.1 Descripción de los Equipos Utilizados 48

3.3.2.1.1 Avión 48

3.3.2.1.2 Radar 49

3.3.2.1.3 Estación de Referencia 51

3.3.2.1.4 Programa de Control de Calidad 52

3.3.2.1.4.1 TRANS 1 53

3.3.2.1.4.2 TRANS 2 55

3.3.2.1.4.3 TRANS 3 56

3.3.2.1.5 Modos de Medición del Terreno 58

3.3.2.1.6 Especificaciones y Exactitud 58

3.4 Georefenciación 60

3.4.1 Geocodificación del Elipsoide Suavizado 61

3.4.2 Geocodificación de un Geoide Suavizado 63

3.4.3 Geocodificación de mapas topográficos 63

3.4.4 Mosaicado 68

3.5 Calibración Radiométrica de la Imagen 70

3.5.1 Correcciones Radiométricas 72

3.5.2 Algoritmos de Calibración 76

3.5.3 Calibración Polarimetríca del Radar 76

3.6 Interpretación de Imágenes Digitales 77

3.6.1.1 Interpretación Visual 77

3.6.1.2 Interpretación Digital 78

Página

3.6.2 Técnicas de Interpretación de las Imágenes Digitales 78

3.6.2.1 Técnica de Contraste Visual 79

3.6.2.2 Técnica de Contraste No Lineal 80

3.6.2.3 Filtros Especiales 82

3.6.2.4 Método de Realce Espacial 84

3.6.3 Transformaciones de Imágenes Digitales 85

3.6.4 Clasificación de Imágenes Digitales 88

3.6.5 Patrones de Respuestas Espectrales 89

CAPITULO IV: Metodología

4.1 Introducción 92

4.2 Procesamiento de los datos 93

4.2.1 INFO 93

4.2.2 STC 95

4.2.3 STATE 95

4.2.4 Interferogramas 96

4.2.4 Coherencia 97

4.2.5 Procesamiento de la Banda X y P 101

4.2.6 Corner 104

4.2.7 Geodificación de la Banda X 109

4.2.8 Corrección de la Rampa de GEO X 110

4.2.9 Geodificación de la Banda P 113

4.2.10 Mosaicado 115

4.2.11 Interferometría de la Banda P 116

CAPITULO V Interpretación

5.1 Estudio de Interferometría y modelo de altura de El Manteco 122

5.2 Estudio textural de El Manteco 134

5.3 Estudio Geofísico de El Manteco 143

5.4Interpretación Geofísica en el Área de Bochinche 165

5.5 Interpretación Geofísica en el área de Bochinchito 173
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 183
LIMITACIONES 188
APÉNDICE A 189
APÉNDICE B 218
APÉNDICE C 228
APÉNDICE D 242
APÉNDICE E 251
APÉNDICE F 259
APÉNDICE G 264
BIBLIOGRAFÍA 268

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Página

1. Ubicación del área de Bochinche 6
2. Ubicación geográfica del área de Bochinche 7
3. Ubicación relativa nacional de El Manteco 8
4. Ubicación regional de El Manteco 9
5. Ubicación geográfica de El Manteco 9
6. Detalle de los yacimientos de hierro en la zona de El Manteco 10
7. Provincias litotectónicas del Escudo de Guayana 11
8. Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana 12
9. Tabla de correlación del Escudo del Guayana 13
10. Mapa Geológico del área Bochinche 14
11. Mapa Geológico del área El Manteco 16
12. Imagen del espectro electromagnético 18
13. Firmas espectrales típicas de distintas cubierta 27
14. Reflectividad de la señal de radar 31
15. Efectos de la distribución de píxeles y su variación en la imagen 32
16. Valores de la velocidad en medios de diferentes resistividades en función de la frecuencia 34
17. Valores de penetración para diferentes resistividades, en función de la frecuencia 35
18. Computadora de control del radar 41
19. Control de vuelo del radar 42
20. Unidad de Medida Inercial (IMU) 43
21. Programas de control de vuelo del avión 44
22. Diagrama del sensor 45
23. Unidades de almacenamiento 46
24. Aeronave 48
25. Radar 48

26. Disposición geométrica de la iluminación 49
27. Antena de banda X 50
28. Antena de banda P 50
29. GPS en Tierra 51
30. Reflector 51
31. GPS del avión 52
32. Ejemplo de Transc1 53
33. Ejemplo de Transc2 55
34. Ejemplo de Transc3 56
35. Rectificación de una línea de vuelo 62
36.Ubicación de puntos geográficos en la imagen SAR 66
37. Bandeamiento en la imagen por Radiométria 74
38. Ruido en la señal que produce una distorsión vertical 75
39. Contenido del archivo INFO 94
40. Lista de archivos STC según el modo de vuelo 95
41. Interferogramas de los tres canales de la línea de vuelo 96
42. Información de la línea de vuelo para calcular la coherencia 97
43. Ubicación de la línea de vuelo en la base de datos 98
44. Grafico de coherencia de la línea de vuelo 99
45.Grafico corregido de coherencia de la línea de vuelo 100
46. Grafico de coherencia sin punto de inflexión de la línea de vuelo 100
47. Grafico de coherencia corregido de la línea de vuelo 101
48. Imagen de una PROPART 102
49. Error de fase de un PROGROUP 103
50. Imagen SAR de un PROCGROUP 103
51. Coherencia de un PROCGROUP 104
52. Imagen Geocodificada de un PROCGROUP 104
53. Orientación de las líneas de vuelo y líneas de control 105
54. Ubicación de un punto de control en la imagen SAR 106

55. Ubicación de varios puntos de control en una línea de vuelo 107
56. Distribución estadística de varios puntos de control en una línea de vuelo 107
57. Comparación entre las coordenadas del avión, GPS en Tierra, y la ubicación teórica de un objeto en Tierra 108
58. Estadísticas de puntos de control 108
59. Desviación entre la altura de la línea de control y la línea de vuelo 110
60. Perfil de la línea de vuelo 110
61. Ajuste del perfil de la línea de vuelo 111
62. Primer ajuste de la línea de vuelo 112
63. Ajuste final de la línea de vuelo 112
64. Percepción del DSM (Banda P) y el DTM (Banda X) 113
65. Diferencia del DSM (Banda P) y el DTM (Banda X) 114
66. Imágenes generadas al terminar el Mosaicado de la banda X 115
67. Polarizacion phh de la banda P-interferometrica 118
68. Polarizacion phv de la banda P-interferometrica 119
69. Polarizacion pvv de la banda P-interferometrica 119
70. Mapa de la Banda P interferometrica 121
71. Modelo de terreno digital 122
72. Imagen Landsat ETM de El Manteco, 4 de septiembre de 2002 123
73. Detalle de la imagen Landsat 124
74. Interpretación Interferométrica del mapa 7638-II (11-2002) 125
75. Interpretación Interferométrica del mapa 7638-II (04-2003) 126
76. Nivel de agua del mapa 7638-II (11-2002) 127
77. Nivel de agua del mapa 7638-II (04- 2003) 128
78. Clasificación de biomasa del mapa 7638-II (11-2002) 129
79. Clasificación de biomasa del mapa 7638-II (04-2003) 130
80. Diferencia entre la banda X del mapa 7638-II 131
81. Diferencia de las imágenes de la banda P del mapa 7638-II 132
82. Filtro RGB de la Banda P Interferometríca del mapa 7638-II 133

83. Detalle del pixelado de la imagen 134
84. Realce textural del mapa 7638-II 136
85. Entropía del Mapa 7638-II 137
86. Variancia del mapa 7638-II 138
87. Rango de los valores de la banda P del mapa 7638-II 139
88. Promedio de valores de la banda P del mapa 7638-II 140
89. Modelo de topografía del mapa 7638-II 141
90. Variación del patrón de iluminación del mapa 7638-II 141
91. Imagen SAR del mapa 7638-II sin modular 143
92.Histograma de las medidas sin modular 143
93. Imagen SAR del mapa 7638-II modulada 144
94. Histograma de las medidas modulado 144
95. Coherencia del mapa 7638-II 145
96. DSM del mapa 7638-II 146
97. DTM del mapa 7638-II 147
98. Diferencia entre el DTM y el DSM 148
99. Intensidad y distribución de los datos en el mapa 7638-II 149
100.Ubicación del punto de mayor Respuesta Espectral en el mapa 7638-II 150
101. Aproximación a la zona de detalle Manteco 7638-II 150
102. Zoom de los puntos de interés. 151
103. Zoom de la diferencia del DTM y el DSM 151
104. Respuesta Espectral de la zona de estudio 152
105. Clasificación No Supervisada del mapa 7638-II 155
106. Cociente de la banda X entre la banda P del mapa 7638-II 156
107. Zoom de la zona de interés. 156
108. Cociente de la banda P entre la Banda X del mapa 7638-II 157
109. Zoom de la zona de interés 157
110. Filtro HSV aplicado al mapa 7638-II 158
111. Respuesta en la región de interés con el filtro HSV 159

112. Decorrelación de valores del mapa 7638-II 159
113. Respuesta en la región de interés aplicando Decorrelación 160
114. Estiramiento fotográfico del mapa 7638-II 160
115. Respuesta en la región de interés con estiramiento fotográfico 161
116. Parámetros de color sintético del mapa 7638-II 161
117. Respuesta en la región de interés 162
118. Filtro HLS del mapa 7638-II 162
119. Respuesta en la región de interés 163
120. Matriz del filtro 163
121. Convolución de los datos con el filtro pasa bajo 164
122. Respuesta en la región de interés al aplicar el filtro de los datos. 164
123. Ubicación de los levantamiento Geofísico en el área de Bochinche 165
124. Mapa aeromagnético del área de Bochinche. 166
125. Mapa de reducción al polo en el área de Bochinche 167
126. Mapa de magnetización en tierra derivado de los datos aeromagnéticos 168
127.Ubicación geográfica de los puntos del levantamiento. 169
128. Ubicación del levantamiento aeromagnético en la imagen de radar. 170
129. Área de Estudio y Zoom de la zona de interés. 171
130. Análisis espectral de las zonas brillantes en Bochinche 172
131. Ubicación de los levantamiento Geofísico en el área de Bochinchito 173
132. Mapa de geología superficial del área Bochinchito 174
133. Diagrama del levantamiento 175
134. Interpretación magnética de Bochinchito 176
135. Interpretación eléctrica de Bochinchito 177
136. Clasificación de la resistividad en la zona de estudio 178
137. Región del área de estudio Bochinchito 179
138. Detalle de la zona de estudio 180
139. Interpretación de la imagen de radar 181

INTRODUCCION

La tecnología de los sensores remotos ha tenido un gran impacto como herramienta para la obtención de información en varias áreas profesionales. Esta tecnología permite la extracción de atributos espaciales sobre la superficie terrestre, ofreciendo así, por ejemplo, una muy buena representación del relieve, desde el punto de vista geomorfológico, en un tiempo razonable y a relativo bajo costo. Sin embargo, la utilización de estos sensores activos tanto en la cartografía como en otras ramas del conocimiento, sigue siendo objeto de experimentaciones, generando nueva información de interés. Gracias a su capacidad de captura de energía en las regiones del espectro electromagnético no conociéndose realmente su aplicabilidad, sus ventajas y sus desventajas.

En este trabajo se aborda la utilización de imágenes de radar aerotransportado desde la óptica de sus posibilidades de aplicaciones en el campo de la geofísica, estudiando así la adquisición y procesamiento de los datos, además de sus posibles aplicaciones a través de la interpretación de las imágenes.

Es de notar que el radar aerotransportado, sigue siendo objeto de experimentaciones en las distintas áreas, para determinar que tipo de información se puede obtener con esta técnica.

Esta carencia relativa de información generada y publicada en el país nos indujo a proponernos el llevar a cabo esta investigación, con una doble finalidad, la primera evaluar el potencial de dichas imágenes para este tipo de aplicaciones; y la segunda hacer una contribución metodológica para la utilización de este tipo de tecnología en el campo de la geofísica.

Una de las innovaciones tecnológicas que actualmente permiten la adquisición de gran cantidad de datos en corto tiempo la constituyen los sensores remotos. El radar de apertura sintética (SAR) es uno de los sensores más modernos y por lo tanto, de los que se tiene menor conocimiento en cuanto al potencial que puede representar para distintas aplicaciones.

El radar de apertura sintética es una técnica moderna que utiliza múltiples imágenes correspondientes a una misma área con la que se puede determinar la topografía y heterogeneidades en la superficie, a partir de la medición de la reflectancia, emisión y/o absorción de las ondas del radar. Como herramienta en la prospección geofísica tiene un potencial en estudios de subsidencia, interferometría diferencial, estudios de las alteraciones que se producen en superficie del terreno debido a minerales que se encuentran en el subsuelo y análisis geomorfológico entre otras. Este trabajo pretende investigar los datos del radar, dado el potencial que esta técnica pudiera tener como método geofísico. Se cuenta con imágenes de radar de apertura sintética al sur de Venezuela, pertenecientes al proyecto CARTOSUR II, zona de interés por las riquezas minerales que se encuentran en esta zona.

Para evaluar las imágenes del radar de apertura sintética (SAR), se consideraran las siguientes etapas:

- Procesamiento de imágenes de radar (SAR).
- Análisis de imágenes de radar (SAR).
- Interpretar desde el punto de vista geofísico las imágenes del radar (SAR)

En este trabajo se estudiaran datos del radar que cuenta con dos bandas de frecuencia X y la P, que generan una imagen para cada banda, la banda X corresponde a un modelo digital del terreno y la banda P corresponde a las heterogeneidades de terreno. Además también se puede usar la combinación de ambas imágenes, lo que nos permite estudiar la

interferometría de estas imágenes. Este último caso es muy importante ya que no se han realizado muchos estudios combinando estas bandas. Generalmente el procedimiento es procesar ambas bandas por separado, por lo que es muy importante intensificar los estudios de bandas combinadas, con la finalidad de tratar de obtener información adicional sobre la superficie de estudio.

Este estudio está organizado de la siguiente manera: En el primer capitulo se hace el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de este trabajo, así como la localización del área de estudio. El capitulo II reseña la geología regional y local de la zona de estudio. En él capitulo III presenta el fundamento teórico de sensores remotos en especial el radar (SAR), procesamiento, corrección e interpretación de los datos del radar. El capitulo IV muestra la metodología de procesamiento de los datos del radar. En él capitulo V se presentan tres estudios particulares realizados a las imágenes de radar y su interpretación con relación a la información geológica y geofísica de la zona de estudio. Por último, él capitulo de Conclusiones se concentra en los resultado del trabajo, su evaluación critica como herramienta de prospección geofísica, en función de su calidad desde el punto de vista académico y profesional. También se recoge las Recomendaciones y las Limitaciones que aporta este trabajo de investigación.

CAPITULO I
EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El uso de radares de apertura sintética es una técnica reciente que genera imágenes de un área, que permite conocer la topografía y cambios en la superficie. Como herramienta en la prospección geofísica tiene un potencial en aplicaciones como estudio de subsidencia, estudio de las alteraciones que se producen en superficie del terreno debido a minerales que se encuentran en el subsuelo y análisis geomorfológico entre otras. Considerando las riquezas minerales que se encuentran en el sur de Venezuela y que esta zona se encuentra cubierta por abundante vegetación, en de difícil acceso, no se ha podido realizar estudios en detalle. Estos factores incrementan los costos operacionales de mapeo y caracterización de la zona. La realización de un estudio con radar en esta zona, y su procesamiento en nuestro país permite una mayor compresión de esta información para su interpretación. Por ello este trabajo se concentra en la metodología de procesamiento, e interpretación de este tipo de imágenes para estudio posteriores. Dado el potencial que puede tener esta técnica y al contar con imágenes de radar al sur de Venezuela, pertenecientes al proyecto CARTOSUR II, se busca integrar e interpretar estas imágenes desde el punto de vista geofísico con los datos disponibles de la zona, siendo un precedente para estudios posteriores en detalle.

1.2 Objetivos

Procesamiento, evaluación e interpretación de imágenes del radar de apertura sintética (SAR), para determinar su aplicabilidad en estudios geofísicos.

1.2.1 Objetivos específicos

- **a.** Conocer los fundamentos teóricos – prácticos de sensores remotos
- **b.** Procesamiento de las señales de radar (SAR).
- **c.** Análisis de las señales de radar (SAR).
- **d.** Interpretar desde el punto de vista geofísico las imágenes del radar (SAR)

1.3 Justificación

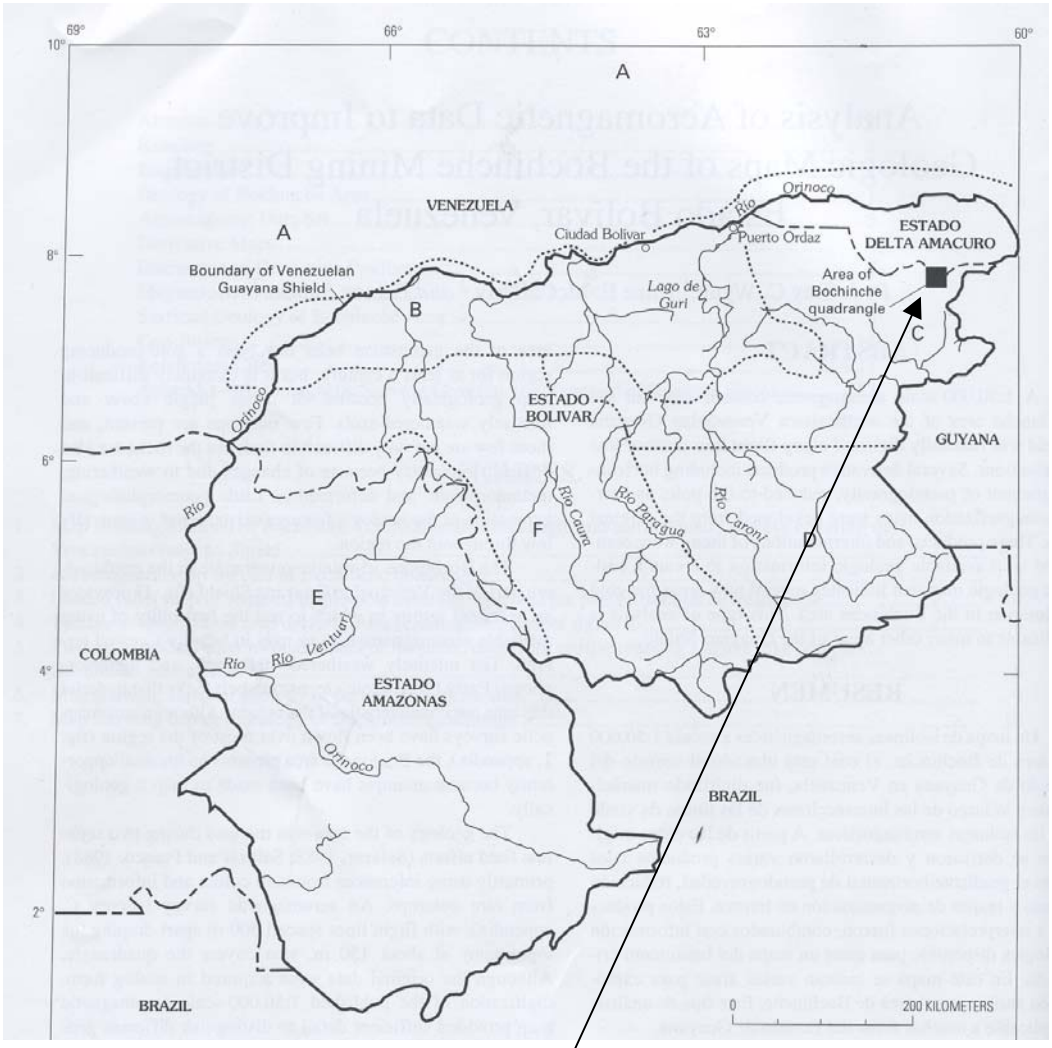
En las últimas décadas se han hechos esfuerzos para la identificación de características superficiales por medio de sensores remotos, los cuales tienen la ventaja de abarcar grandes extensiones y recoger una gran cantidad de datos concernientes a la zona de estudio en poco tiempo. Se han realizado estudios con radares dirigidos a tener imágenes digitales del terreno.

Para este trabajo se quiere estudiar imágenes de radar de apertura sintética, el cual cuenta con dos bandas X y P, es decir, 2 frecuencias diferentes que generan dos imágenes, un modelo digital del terreno (banda X) y una de la superficie del terreno (banda P). Combinando el estudio de ambas bandas se quiere obtener mayor información de la zona, con el fin de identificar áreas que puedan ser estudiadas en detalles para ser explotadas comercialmente.

Lo más interesante de este estudio es explotar el valor agregado de estas imágenes que cubren un área de 266.616 Km^2 al sur del país, que cubre la extensión territorial de los Estados Amazonas y Bolívar. Zona prácticamente inexplorada, carentes de vías de comunicación terrestre. Gran parte se encuentra cubierta por una densa selva tropical de bosques húmedos, cruzada por ríos caudalosos. Factores que incrementarían los costos operacionales de mapeo y caracterización de la zona.

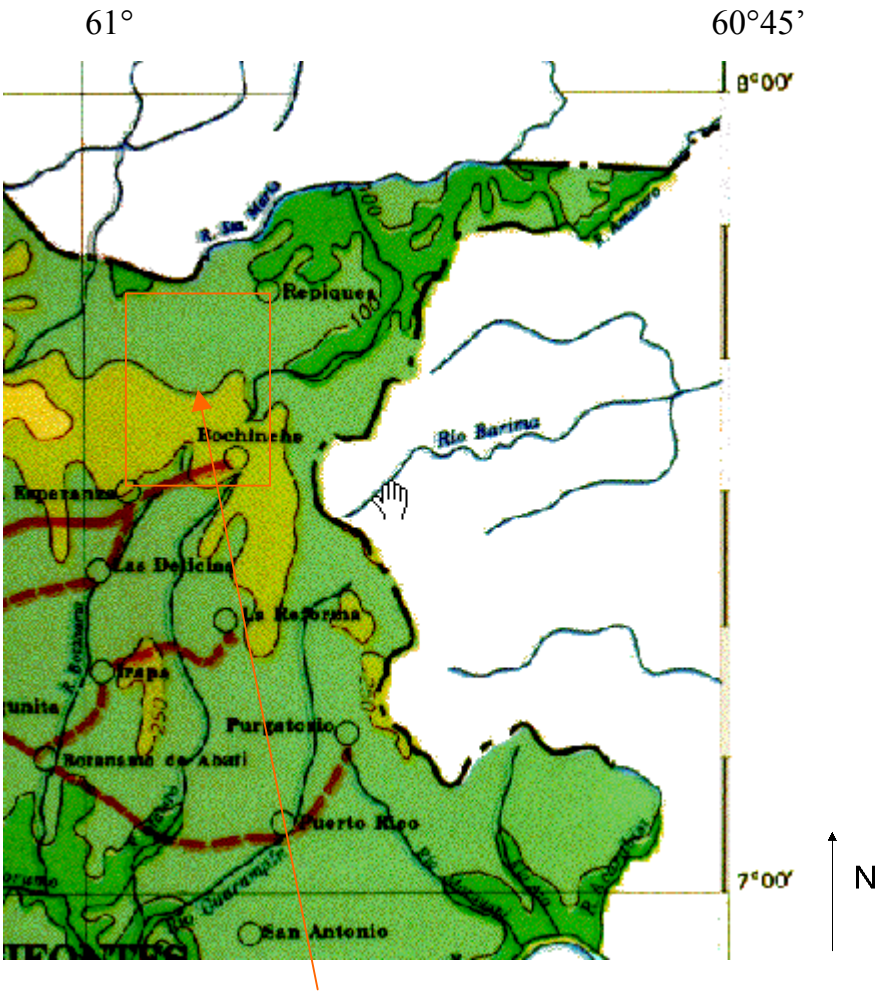
1.4 **Zona de estudio**

El área de estudio fue definida al noreste de Venezuela, identificada en la carta numero 8038-VI, según Cartografía Nacional. La escogencia de esta área obedece a en esta zona se han realizado estudios geofísicos con datos magnéticos y eléctricos. A partir de estos se validará las imágenes de radar como herramienta en el área de geofísica. A continuación las figuras 1y 2 especifican su ubicación.



Zona de estudio

Figura 1. Ubicación del área de Bochinche (tomado del U.S. Geological Survey Bulletin 2124, 1995)



Zona de estudio de topografía plana y abundante vegetación

Figura 2.Ubicación geográfica del área de Bochinche (tomado del Atlas Geográfico de Venezuela, 2000)

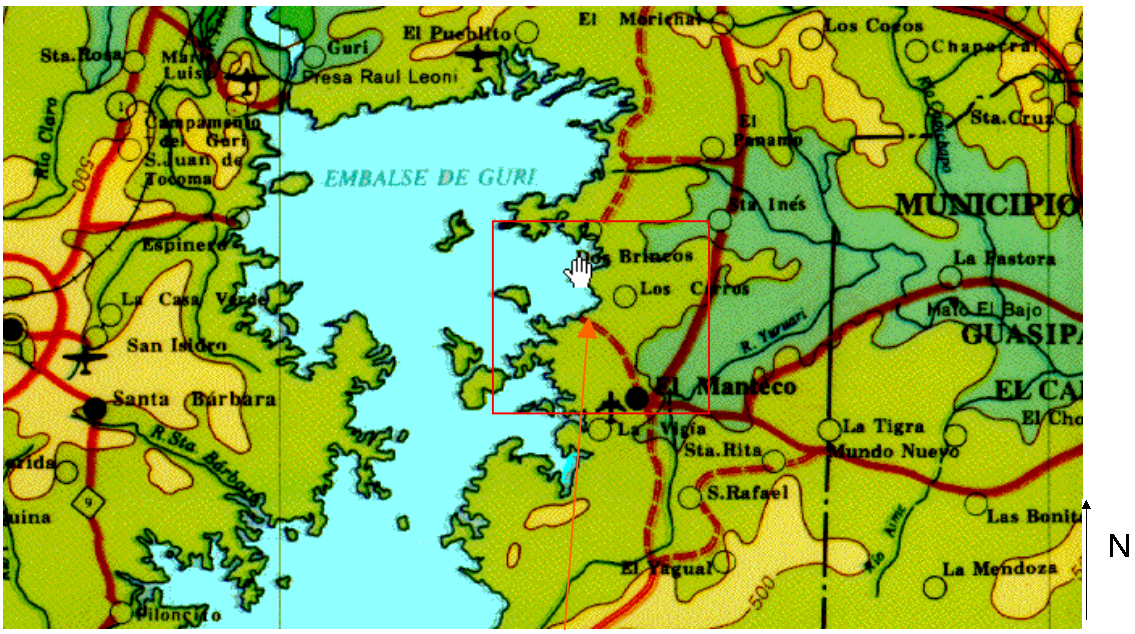
El área de estudio está a 65 Km al este de la población de Tumeremo, y a 14 Km del caserío Bochinche. Las coordenadas geográficas de la zona de estudio (figura. 1) son latitud 7°32”02’ N a 7°28”35’ N y long 60°57”10’ O a 60°54”45’ O

También se considera otra zona para el estudio de imágenes multitemporales y estudios de biomasa, está identificada en la carta numero 7638-II, según Cartografía Nacional.

Zona de estudio

Figura 3. Ubicación relativa nacional de El Manteco (tomado del Atlas Geográfico de Venezuela, 2000)

Figura 4. Ubicación regional de El Manteco (tomado del Atlas Geográfico de Venezuela, 2000)



Zona de estudio de topografía plana y abundante vegetación

Figura 5.Ubicación geográfica de El Manteco (tomado del Atlas Geográfico de Venezuela, 2000)

Esta zona esta se encuentra situada al oeste de la denominada Área Gurí, que contiene un grupo de 14 yacimientos de mineral de hierro, con reservas de hierro estimadas de 36.000 a 3.500.000 toneladas en una área de 600 km^2. Según compilación de la información del mineral de hierro en Venezuela que el Ministerio de Energía y Minas realizó por medio de la División Técnica de la dirección de Minas y de la División de información de la Dirección de Geología, para el año 1977, como lo muestra la figura 6

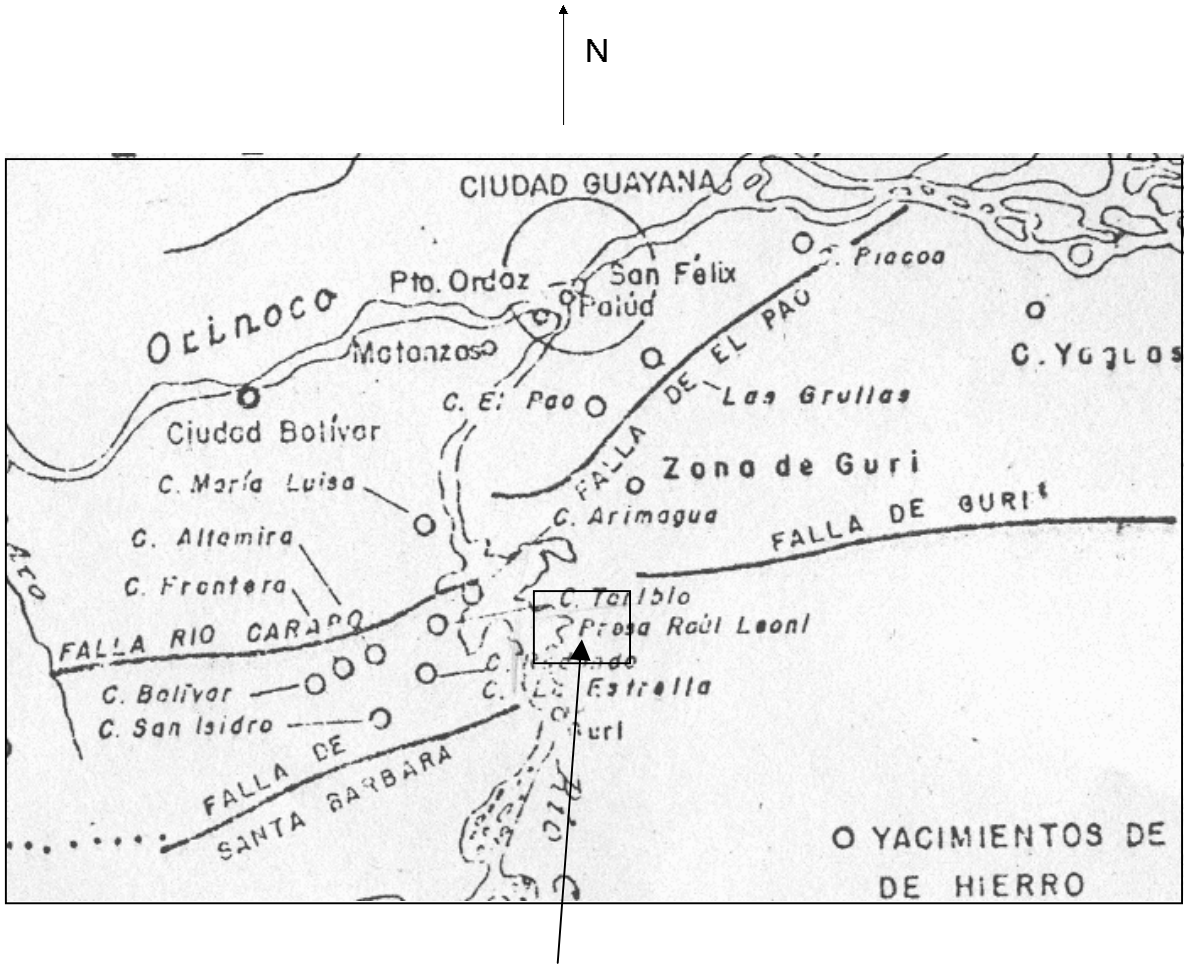


Figura 6. Detalle de los yacimientos de hierro en la zona de El Manteco (Tomado del informe geológico minero de Área Gurí, Ascanio 1977).

CAPITULO II
GEOLOGÍA

2.1 Geología General

El Escudo de Guayana se encuentran al sur de Rió Orinoco y ocupa aproximadamente el 50% de la superficie de Venezuela con rocas muy antiguas y jóvenes que muestran evidencias de la evolución geotectónica de la zona. Se compone de las provincias geológicas de Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima.

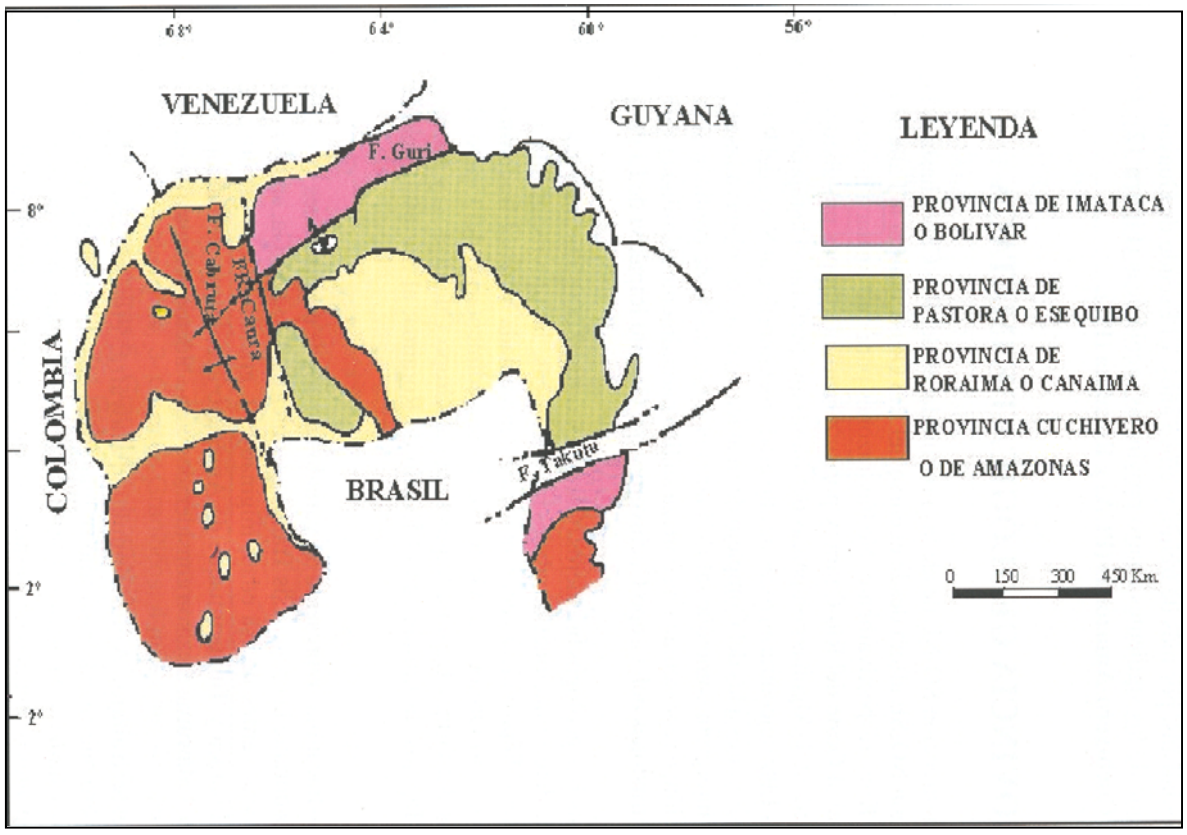


Figura 7. Provincias litotectónicas del Escudo de Guayana
(tomado de Mendoza y otros, 1977)

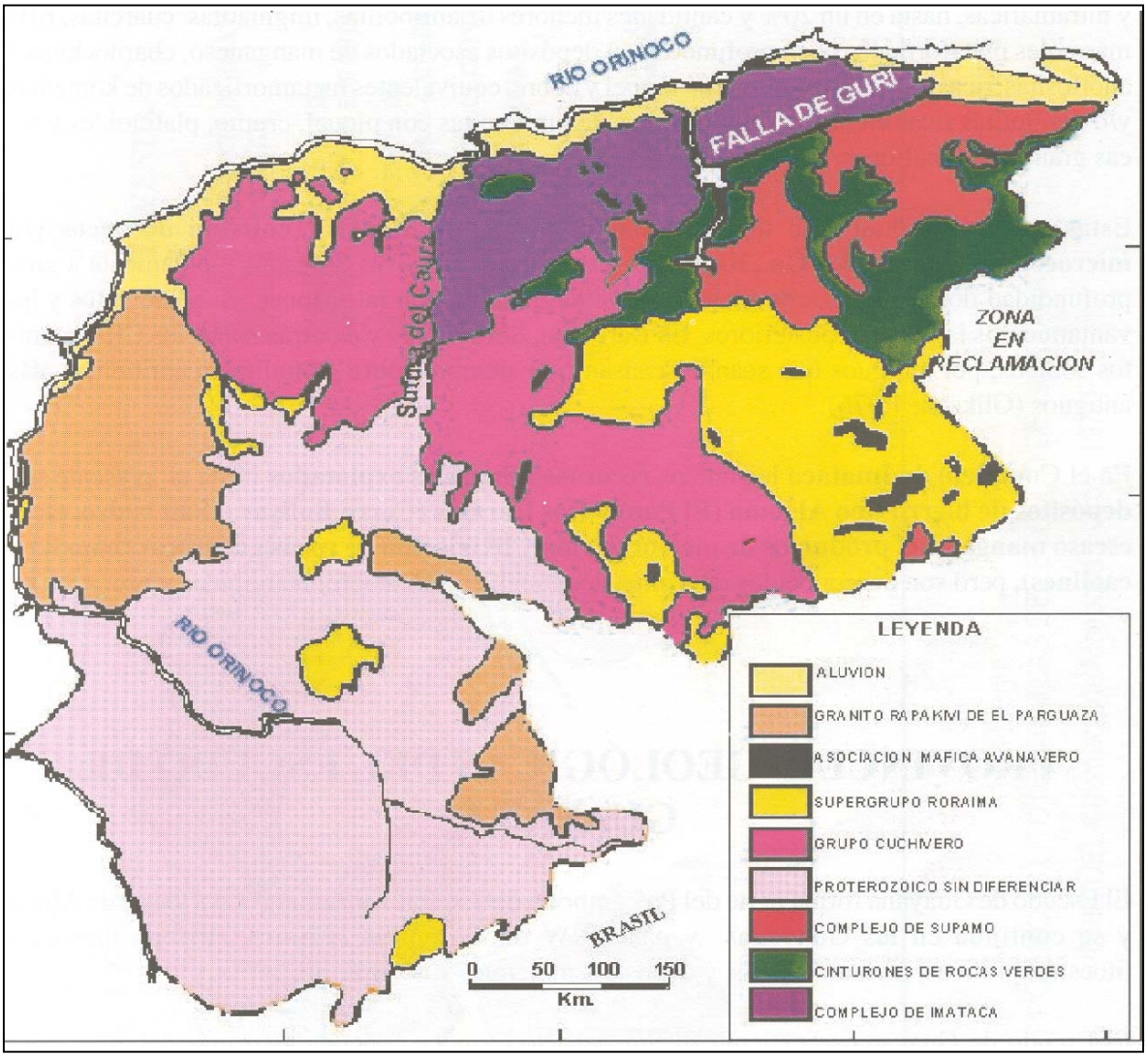


Figura 8. Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana
(tomado de Sidder y Mendoza, 1995)

2.2 Geología regional.

El Escudo de Guayana se originó durante movimientos tectónicos en el Precámbrico. La columna estratigráfica del Escudo de Guayana comienza con el granito gnéisico del Arqueano (Precámbrico Inferior) cubierto discordantemente por

metasedimentos de la Era Algonkiana (Precámbrico Superior). Las rocas Precámbricas más antiguas son metamórficas, de alto grado, parcialmente magmáticas, representadas por paragneises, esquistos anfibólicos y anfibolitasintrusionadas por granodioritas y rocas magmáticas básicas completamente deformadas.

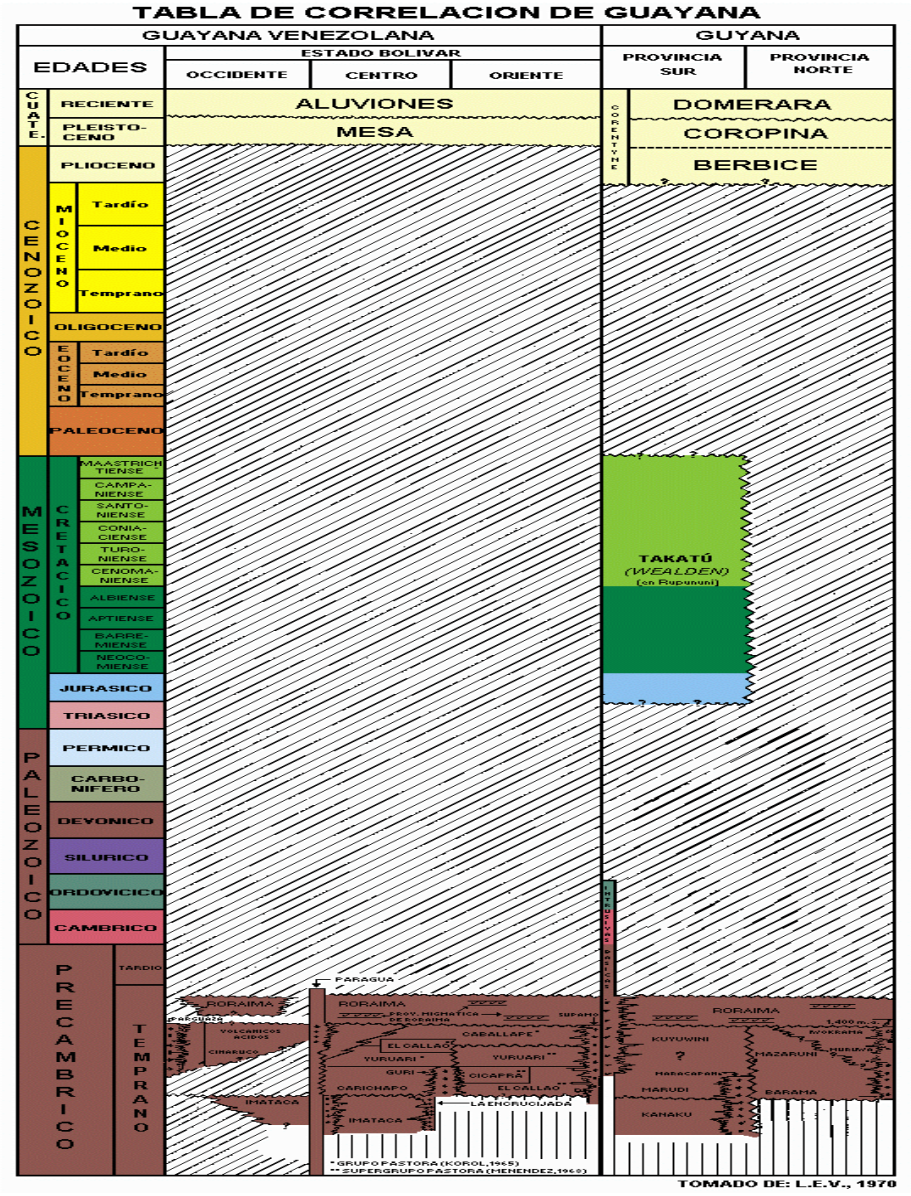


Figura 9. Tabla de correlación del Escudo del Guayana (tomado del Léxico Estratigráfico en línea [20/07/04[)

2.3 Geología Local área Bochinche.

La zona de Bochinchito es parte de la provincia geológica de Pastora (Menéndez, 1972), donde afloran las rocas del Grupo Caripacho (más antigua) y la formación Yuruari (más joven), pertenecientes al Supergrupo Pastora como lo muestra la figura 6.

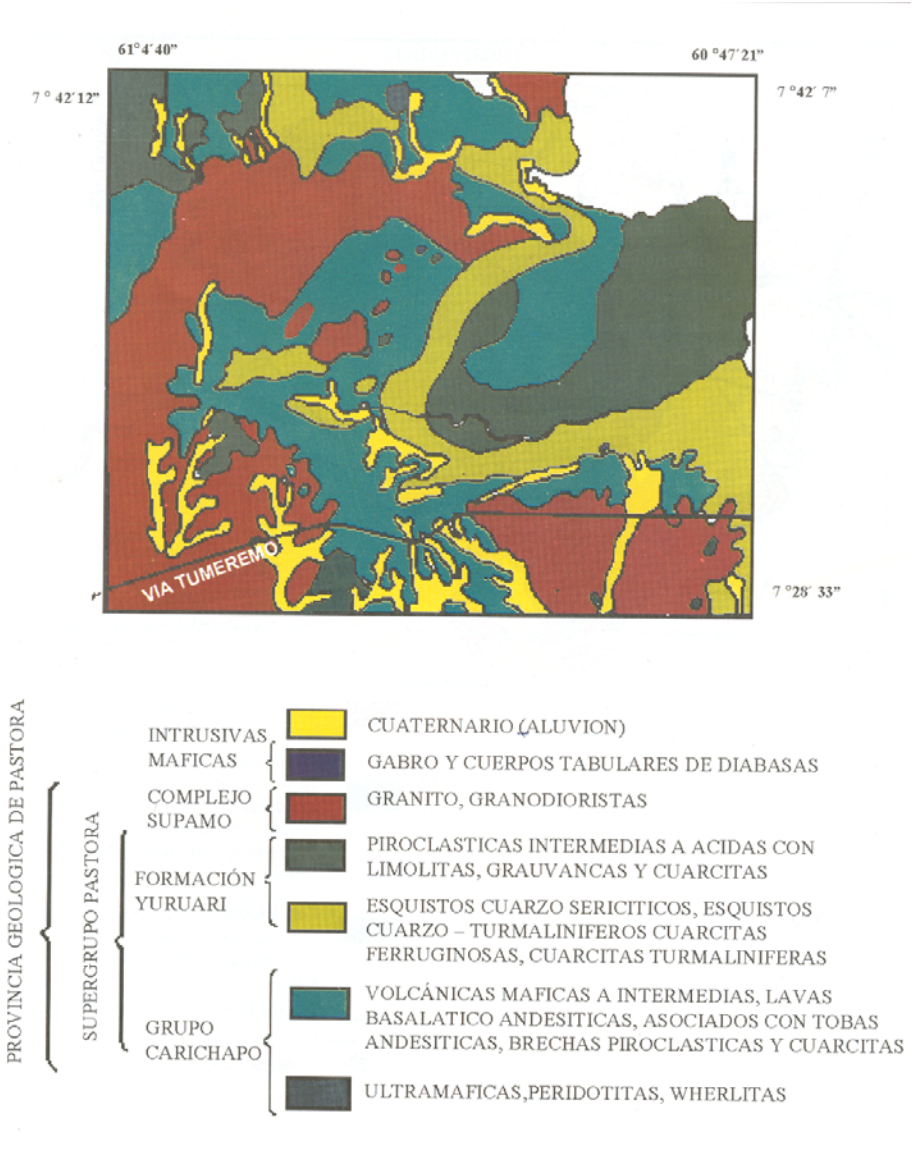


Figura 10. Mapa Geológico del área Bochinche. (Tomado de Salazar y Franco, 1998)

Se encuentran cuerpos graníticos del Complejo Supamo que intrusiona al Supergrupo Pastora. Salazar (1988) observó que afloraban tres unidades:

1. Unidad de lavas máficas e intermedias del Grupo Caripacho sin diferenciar.
2. Asociación de rocas piroclásticas de composición intermedia de la formación Yuruani.
3. Rocas Graníticas del complejo Supamo.

Además existen otros cuerpos intrusivos tabulares, zonas aluvionales de composición félsica y gran cantidad de vetas asociadas. La tendencia estructural regional es noreste con lineamiento y fallas en este sentido.

La Formación Carichapo es una unidad compuesta esencialmente de anfibolita de grano fino derivada de rocas volcánicas básicas, con mineralogía de la facie del esquisto verde, de menor grado metamórfico. La región El Manteco - Gurí, se encuentra constituida esencialmente de anfibolitas. La Formación Yuruari se compone de filitas y esquistos.

2.4 Geología Local área El Manteco

Perteneciente al Grupo Pastora, se extiende desde la falla de Gurí hasta la proximidades del Parque Nacional Canaima está formada por cinturones de rocas verdes (CRV), delgados, tectonizados, compuesto por el grupo Carichapo, originados por una pluma de calor del manto superior en una placa oceánica, formando un arco de isla oceánicas primitivas con pocos sedimentos asociados, constituido principalmente basalto magnesiano.

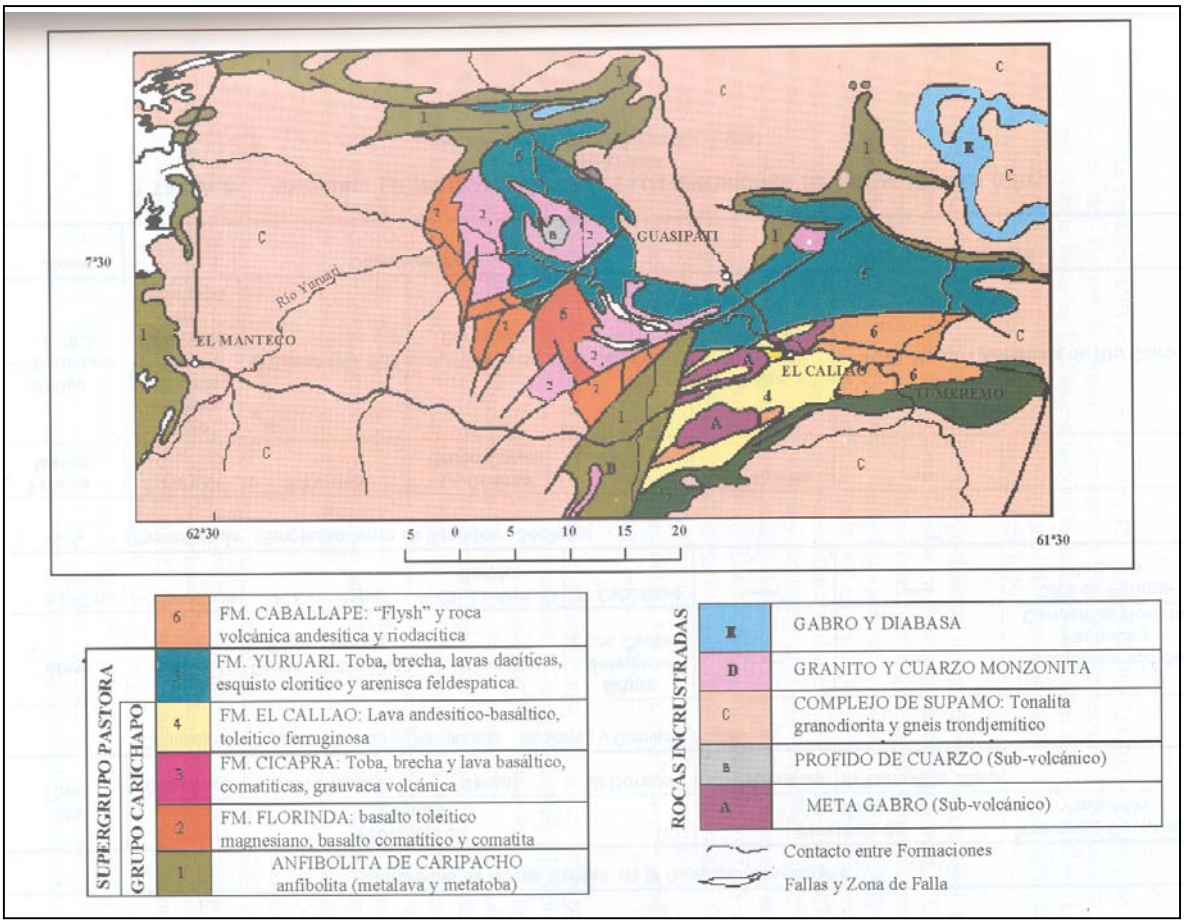


Figura 11. Mapa Geológico del área El Manteco

(tomado de Menéndez, 1972)

CAPITULO III
FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1 Sensores Remotos

Un sensor es cualquier instrumento que detecte un flujo energético de forma tal que pueda ser aprovechado para su estudio. Un **sensor remoto** es un instrumento que detecta energía, la convierte en una señal y la presenta en una forma que sea útil para obtener información, mediante el registro de la interacción entre la materia y la radiación electromagnética. Esta energía registrada proviene de los objetos de la superficie de la Tierra, los cuales en función de sus propiedades físico - químicas y de la longitud de la onda que reciben, emiten una respuesta particular luego de estar expuestos a la energía electromagnética. La energía electromagnética es el medio por el cual la información es transmitida desde un objetivo a un sensor.

El funcionamiento del sensor consiste en una fuente energética que emite un haz de energía, el cual llega al objeto observado y en función de sus propiedades físico-químicas, refleja parte del haz. Este reflejo es captado por el sensor, el cual discrimina los distintos niveles de energía reflejada, siendo codificada, almacenada para procesarla y obtener el producto final.

El flujo energético de radiación electromagnética se compone de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí que se desplazan en el espacio a la velocidad de la luz. Esta radiación ha sido clasificada en un modelo continuo denominado **espectro electromagnético** según su longitud de onda y su frecuencia.

Este ha sido dividido en varias regiones, las cuales permiten conocer el tipo de información que el sensor esta en capacidad de registrar. Las regiones más utilizadas son:

- Espectro visible (0,4 a 0,7 μm): es la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano. Coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Donde se distinguen tres bandas elementales: Azul (0,4 a 0,5 μm), Verde (0,5 a 0,6 μm), Rojo (0,6 a 0,7 μm).
- Infrarrojo próximo o cercano (0,7 a 1,3 μm) llamado infrarrojo fotográfico, ya que puede ser captado por películas dotadas de filtros especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad de discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- Infrarrojo medio (1,3 a 1,8 μm) se entremezcla los procesos de reflexión de la luz solar y emisión de la superficie.
- Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm) que incluye la porción emisiva del espectro terrestre .
- Microondas (> 1mm) este tipo de energía se comporta transparente a la cubierta por nubes, y es la longitud de onda que trabaja el radar

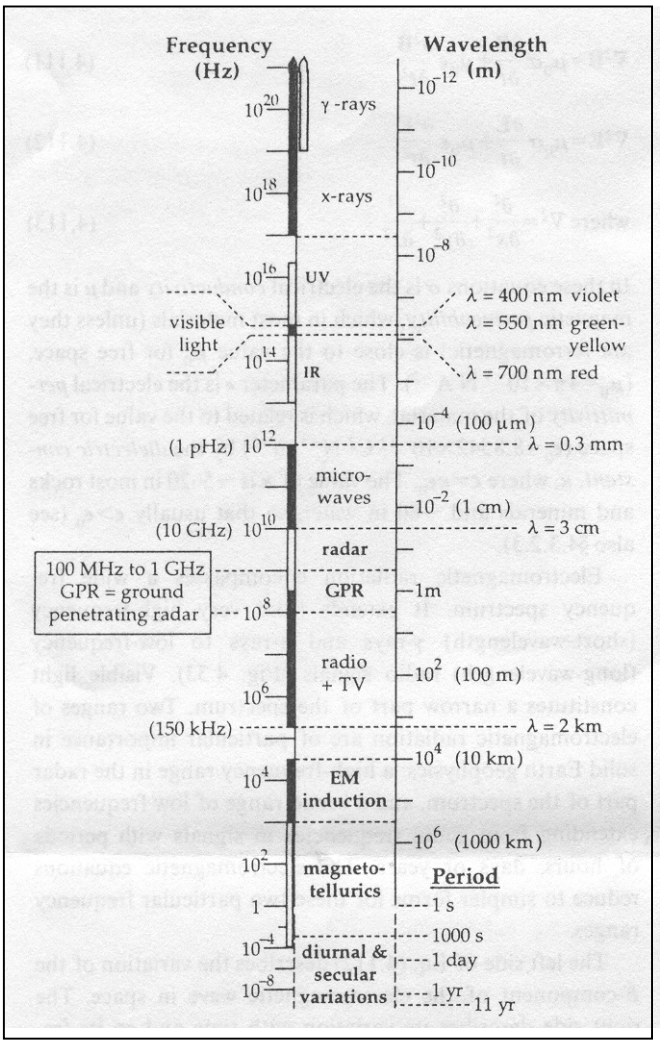


Figura 12. Imagen del espectro electromagnético (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

La radiación captada por el sensor se descompone en las diferente regiones espectrales y se transforma posteriormente en intensidades de voltaje, con lo que se obtiene un arreglo de elementos diferenciados y definidos, una información numérica discreta cuya expresión grafica es una imagen.

3.1.1- Tipo de Sensores Remotos

Los sensores remotos se clasifican en dos tipos:

- Sensores activos

Los sensores activos son capaces de emitir su propio haz energético y recoger su reflexión luego de su contacto con la superficie, en este sentido al emitir su propio haz energético, logran una señal de retorno más fuerte, lo que permite una mayor resolución espacial. Estas características reportan algunas ventajas frente a los sensores pasivos, como su capacidad de penetración, en cobertura de nubes e incluso vegetación y la independencia de las condiciones de iluminación natural para su funcionamiento.

- Sensores pasivos

Los sensores pasivos trabajan con la energía emitida por una fuente externa (sol) y registran la energía reflejada por la superficie; estos sensores son comúnmente llamados Multiespectrales, ya que son capaces de captar energía de varias regiones del espectro electromagnético.

Los sensores pasivos detectan la energía radiante desde la superficie, siendo su característica fundamental su baja resolución espacial como consecuencia de su retorno energético muy débil.

Además otro problema es la modificación atmosférica de la radiación electromagnética entrante y saliente incluye dispersión, refracción y absorción. Esos

tres procesos modifican físicamente la dirección y penetración de la radiación electromagnética, en el momento que pasa a través de la atmósfera. En el que se tomaran en cuenta los siguientes aspectos:

DISPERSIÓN: Es el redireccionamiento de la energía electromagnética por partículas suspendidas en la atmósfera o moléculas grandes de gases atmosféricos. Este redireccionamiento de la luz puede ser en cualquier dirección. Existen tres tipos básicos de dispersión:

- Dispersión de Rayleigh: Se da en la atmósfera superior. Algunas veces es llamada dispersión clara de la atmósfera. Consiste en la dispersión por los gases atmosféricos. Depende de la longitud de onda. La dispersión aumenta a medida que la longitud de onda llega a ser más corta.

- Dispersión de Mie: Es una dispersión en la parte inferior de la atmósfera. Es causada por el polvo, la contaminación y las gotas de agua. Los efectos dependen de la longitud de onda y afecta a la radiación electromagnética sobre todo en la porción del visible.

- Dispersión no selectiva: Sucede también en la atmósfera inferior. Las partículas son mucho más grandes como efecto de la niebla y no depende de la longitud de la onda.

La dispersión de la radiación electromagnética en la atmósfera hace que se vean sombras, pues se graba el brillo de la atmósfera junto con el objetivo, disminuyendo el detalle espacial.

La atmósfera se comporta como un filtro a distintas longitudes de onda, de tal forma que en algunas bandas del espectro se elimina prácticamente cualquier posibilidad de observación remota.

3.2 Radiación Electromagnética

Las ondas electromagnéticas son irradiadas, desde alguna fuente. Cuando la energía encuentra un objeto, incluso si éste es muy pequeño, como una molécula de aire, una de tres reacciones ocurre:

- La radiación será reflejada fuera del objeto.
- La radiación será absorbida por el objeto.
- La radiación será transmitida a través del objeto.

La cantidad total de radiación que golpea un objeto es llamada radiación incidente y es igual a:

Radiación Incidente = Radiación reflectada + Radiación absorbida + Radiación transmitida

La teledetección involucra en buena parte con la radiación reflejada. Ésta es la radiación que perciben nuestros ojos. Las proporciones contabilizadas para cada proceso dependen de la naturaleza de la superficie, de la longitud de onda, de la energía y del ángulo de iluminación.

3.2.1 Respuesta Electromagnética

Cada tipo de cubierta terrestre ofrece una respuesta particular en cada una de la regiones del espectro electromagnético que es captada por el sensor. La energía radiante es registrada y almacenada en forma de un numero digital o nivel digital, cuya expresión grafica es una serie de niveles de color gris, que varían del 0 hasta el 255.

Esta información consta entonces de dos componente: una componente espacial, referido a la localización de los objetos en un plano de coordenadas (X,Y) y una componente radioeléctrica constituido por la reflexión energética de dicho objeto.

Una imagen proveniente de un sensor remoto puede ser considerada como una área bidimensional compuesta por píxeles dispuestos en filas y columnas, cada uno de ellos representa un valor de energía radiante de la superficie terrestre. De la combinación de ambas componentes se obtiene un arreglo de los elementos terrestres en filas y columnas denominadas píxeles o unidades mínimas de información, los cuales denotan un atributo de los objetos mediante su valor radiométrico que finalmente se representa en escalas de grises.

Se entiende por resoluciones como la capacidad del sensor de captar información detallada, y es una de las características variables mas importantes de la imágenes, en términos de la información que presentan y su utilidad para fines específicos. Por esta razón deben ser consideradas cuatro tipos de resoluciones para la resolución de la imagen, dependientes del tipo de sensor, según la aplicación a desarrollar. Seguidamente se describen cada una de las resoluciones:

1.- Resolución espacial: se refiere a la mínima unidad de superficie que puede ser captada por el sensor. Esta resolución se expresa por la distancia en metros cubierta

por cada píxel en la imagen; por ejemplo, una resolución de 20 m entre píxel quiere decir que la unidad mínima de información captada corresponde a un recuadro de 20 * 20 m, es decir 400 m2. Es muy importante al considerar en términos de la escala de trabajo por el proyecto a desarrollar.

2.- Resolución espectral: es la amplitud del espectro (regiones espectrales) que puede captar el sensor, y se expresa por el numero de bandas que registra el mismo; por ejemplo, es mayor la resolución espectral de un sensor de 7 bandas que uno de cuatro. La importancia de esta resolución radica en el mayor poder de discriminación de los distintos atributos terrestres a medida que se cubre una porción mas amplia del espectro.

3.- Resolución radiométrica: es el valor de la energía radiante de la superficie terrestre para cada píxel que es capaz de captar el sensor, y viene expresado por el numero de niveles de gris (o niveles digitales) por píxeles. Esta resolución es sumamente útil para la realización de análisis cuantitativo de las imágenes; una imagen de 16 bits tiene mayor resolución radiométrica que una imagen de 8 bits.

4.- Resolución temporal: es la frecuencia de cobertura que proporciona la imagen, se refiere al periodo del sensor para la adquisición de imágenes, que depende de sus características de adquisición, y ha sido establecida de acuerdo a los fines perseguidos por este.

3.2.2 Firma Espectral

La información que presenta las imágenes de radar, esta en función de la región espectral captada y de la respuesta radiométrica de los objetos. Es la expresión de un objeto sobre una imagen que nos permite reconocerlo. En función de esto se lograra un conocimiento a cerca de estas respuestas, se han realizado mediciones de

laboratorio para determinar aquellas regiones en la que la respuesta es mayor para cada elemento. Los resultados de estas mediciones experimentales han sido llamados **Firmas Espectrales Teóricas**, y constituyen una importante información de partida para la selección de las bandas espectrales, y por consiguiente del sensor, en las cuales se destaca el elemento o elementos del radar a analizar (Chuvieco, 1992)

Es de hacer notar que, a pesar de contar con valores teóricos, hay varios factores que alteran la respuesta de la cubierta terrestre, como el ángulo bajo el cual la superficie recibe y refleja energía o ángulo de observación, que depende de la altura y características del sensor, razón por los cuales requiere un tratamiento de la información orientado a la corrección de estos parámetros.

Las firmas espectrales guardan relación con el comportamiento de la superficie terrestre como reflectora de energía. De acuerdo a esto, la superficie observada puede comportarse como un reflector especular, reflector difuso o angular, según sea su menor o mayor rugosidad

Esta diferencia se nota directamente sobre los niveles digitales obtenidos; un reflector especular produce niveles digitales muy bajos (agua en calma) mientras que un reflector muy difuso produce niveles digitales medios y altos (masa vegetal)

De acuerdo a esto, puede establecerse que la respuesta espectral obtenida por el sensor depende generalmente del ángulo de iluminación del sol, ángulo de observación y de la rugosidad del terreno en términos de su comportamiento reflector; así una misma cubierta puede presentar valores distintos en función de sus características.

Todos los elementos en la naturaleza tienen una firma espectral. Si nosotros detectamos esta firma espectral, podemos separar los elementos. En la percepción remota es necesario caracterizar los objetivos de la superficie, basados en perfiles espectrales que disminuyen el error en la identificación.

Como se mencionó anteriormente, cualquier material dada la cantidad de radiación que es reflejada (absorbida ó transmitida) variará con la longitud de onda. Esta importante propiedad de la materia permite que diferentes sustancias ó clases puedan ser identificadas y separadas por su firma espectral (curvas espectrales).

Debido a esto, en algunas longitudes de onda las areniscas pueden reflejar más luz que la vegetación verde, pero en otras absorbe más luz que la vegetación. Existen algunos métodos para medir esas diferencias de reflectancia relativa, como función de la longitud de onda y la radiación retornada. Todos los elementos tienen propiedades de reflexión y absorción en distintas bandas del espectro electromagnético. Estos elementos también emiten ondas de acuerdo con una proporción característica de la longitud de onda.

3.2.3 Propiedades Espectrales de los Materiales.

El objeto de esta sección es caracterizar espectralmente las distintas cubiertas de interés medio ambiental. Para ello, resulta obligado comentar los procesos más importantes que permiten explicar ese comportamiento, así como los factores que intervienen en su variación Esta base permitirá abordar una interpretación más rigurosa de la imagen finalmente obtenida por el sensor.

La cantidad de energía que contiene un flujo radiante es inversamente proporcional a su longitud de onda. Esta relación entre flujo de energía y longitud de onda, puede establecerse con mayor rigor gracias a la Ley de Planck

$$Q = h (c / \lambda)$$

Donde h es la constante de Planck ($6{,}6 * 10^{-34}$ Joule seg), c es la velocidad de la luz ($3 * 10^{8}$ m/seg) y λ expresa la longitud de onda.

Esta señala que cualquier objeto por encima del cero absoluto (-273 °C) radia energía, y que ésta se incrementa con la temperatura. A la vez, a mayor temperatura, ese cuerpo radiará con más intensidad en longitudes de onda más cortas. Esto es muy interesante para conocer el comportamiento espectral de un objeto.

Normalmente un objeto absorbe y emite toda la energía que recibe. También se habla de reflectores perfectos, cuando no absorben nada de la energía incidente, sino que reflejan por completo. Asimismo, se denominan cuerpos grises a aquellos objetos que absorben y emiten de forma constante en distintas longitudes de onda. Cuando la emisividad varía con la longitud de onda, se habla de radiadores selectivos, que son los más frecuentes en la naturaleza.

En definitiva, la suma de la reflectividad, absortividad y transmisividad ha de ser igual a uno. La relación entre las tres magnitudes no es constante con la longitud de onda. La proporción del flujo incidente que es reflejado, absorbido y transmitido depende de las características de la superficie que se observa. Por cuanto esa proporción varía en distintas bandas del espectro, conociendo el comportamiento de dicha cubierta en diversas longitudes de onda, puesto que sólo cuando existan divergencias espectrales entre dos superficies podrán éstas separarse adecuadamente.

En el caso del espectro visible, ese comportamiento es similar a los objetos a distintas longitudes de onda manifiestan lo que llamamos color, por ejemplo un

objeto es azul si refleja intensamente la energía en esa banda del espectro y poco del resto.

Se han obtenido unas curvas de reflectividad espectral para las principales cubiertas terrestres. Como puede observarse, algunas tienden a presentar una respuesta uniforme en distintas longitudes de onda, mientras otras ofrecen un comportamiento mucho más selectivo. La nieve presenta una reflectividad alta y constante, pues refleja la mayor parte de la energía incidente a distintas longitudes de onda. Por el contrario, el agua absorbe la mayor parte de la energía que recibe, tanto más según nos situamos en longitudes de onda mayores. Por su parte, la vegetación presenta un comportamiento muy cromático, con bajos valores de reflectividad en el espectro visible.

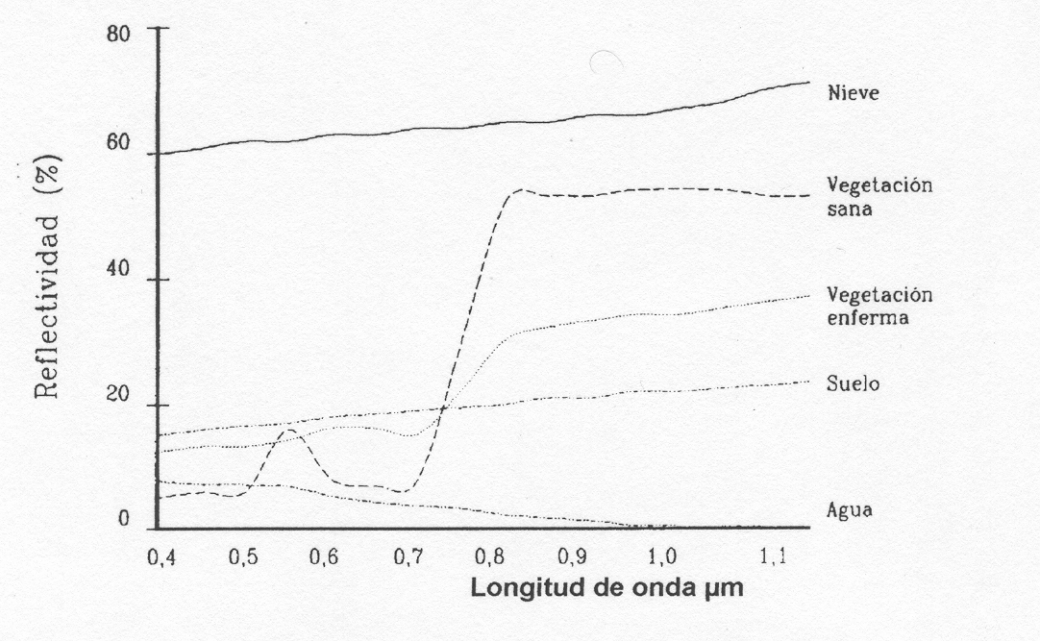


Figura 13. Firmas espectrales típicas de distintas cubierta (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

Como se mencionó anteriormente, la reflectividad de un tipo de cubierta es una medida relativa, que pone en relación su reflectancia. Una alta reflectividad (cercana a 1) indica que un objeto absorbe y radia una alta proporción de la energía incidente, mientras una baja reflectividad se refiere a un objeto que absorbe y radia pequeña proporción de la energía incidente. El contenido de humedad modifica notablemente estos valores. Así en suelos arenosos, se han medido incremento de la reflectividad al aumentar el contenido de humedad.

Esto implica que dos objetos situados a la misma temperatura pueden presentar reflectividades distintas. De esta forma, parece evidente la necesidad de corregir los valores adquiridos por el sensor en esta banda con el factor de reflectividad. Éste puede estimarse siempre y cuando la cubierta detectada sea homogénea.

En caso de un área con cubiertas muy distintas, cada una de ellas con su propia reflectividad. Habría de hacerse una corrección en función de las coberturas presentes en esa zona, conociendo la reflectividad propia de cada una de ellas.

3.2.3.1 Tipos de Reflectancia

Hay dos tipos de reflectancia, dependiendo del tamaño de las irregularidades de la superficie y en relación con la longitud de onda incidente.

Reflectancia especular: Es la reflexión de las superficies lisas, en relación con la longitud de onda incidente. Las partículas de la superficie son pequeñas en relación con la longitud de onda incidente. La luz es reflejada en una dirección única. El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Es llamada también reflexión de espejo.

Reflectancia difusa: La superficie es rugosa en relación con la longitud de onda incidente. También es llamada reflectancia isotrópica. La energía es reflejada en todas las direcciones.

Muchas superficies naturales actúan como reflectores difusos y su brillo reflexivo es el mismo cuando se observa desde cualquier ángulo.

3.2.3.2 Parámetros físicos

Además de la reflectividad, el comportamiento térmico de un objeto está relacionado con otros parámetros físicos. Los más importantes son: capacidad térmica, conductividad, difusividad, inercia térmica e índices de calentamiento.

La capacidad térmica (C) indica la capacidad de la cubierta para almacenar calor. La capacidad térmica por unidad de masa se denomina calor específico (c). Las masas de agua poseen la mayor capacidad térmica, por lo que pueden almacenar más calor que la vegetación o los suelos.

La conductividad térmica (k), mide el ritmo al que se transmite el calor en esa cubierta. Las áreas urbanas son buenas conductoras de calor, mientras la vegetación o suelos resisten más esta transferencia.

La difusividad térmica (K) es una medida del cambio de temperatura que se produce en el interior de la cubierta. En general, las superficies secas difunden los cambios de temperatura hacia abajo a una velocidad menor que las superficies húmedas.

Por último, la inercia térmica (P) hace referencia a la resistencia de un material a cambiar de temperatura. Este parámetro está directamente relacionado con la

conductividad (K), el calor específico (c) y la densidad del material (D), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = (D c K)^{1/2}$$

Los suelos secos y arenosos representan baja inercia térmica. En contraste, los suelos húmedos y arcillosos son mucho más resistentes al cambio por ello tienen mayor inercia térmica y presentaran temperaturas superiores a los suelos secos.

Respecto a los suelos, el factor más destacado es su contenido de humedad. A mayor humedad, el suelo presentará una mayor inercia térmica, puesto que aumenta su calor específico y conductividad.

Otros parámetros a considerar serían la densidad, diversos estudios de laboratorio han mostrado como el cuarzo presenta una densidad y calor específico similar a la arcilla, pero ofrece valores de conductividad mucho más elevados. Los suelos con alto contenido de materia orgánica ofrecen los valores más bajos de conductividad, por lo se distinguen más nítidamente.

Por lo tanto la información acerca de los objetos puede ser obtenida a partir de la reflectancia espectral. No obstante el radar es excepcional, por que él no usa energía solar, sino la energía del sensor. No debe olvidarse que se omite la absorción y la dispersión por lo que varían los resultados respecto a las curvas espectrales teóricas que varían con respecto a los resultados experimentales.

Se intenta basarse justamente en la reflectancia espectral de los objetos para poderlos caracterizar, como por el ejemplo de los metales que son buenos reflectores y presentan un patrón que los hace distintos a todas las señales que se pueden

obtener con el radar. Esto se debe a que reflectividad del radar depende de la constante dieléctrica del reflector y de su superficie.

Cuando la superficie es suave, la reflexión es especular y la pequeña energía es retornada, para el caso de una superficie rugosa es dispersada dependiendo de la frecuencia del radar y la longitud de onda.

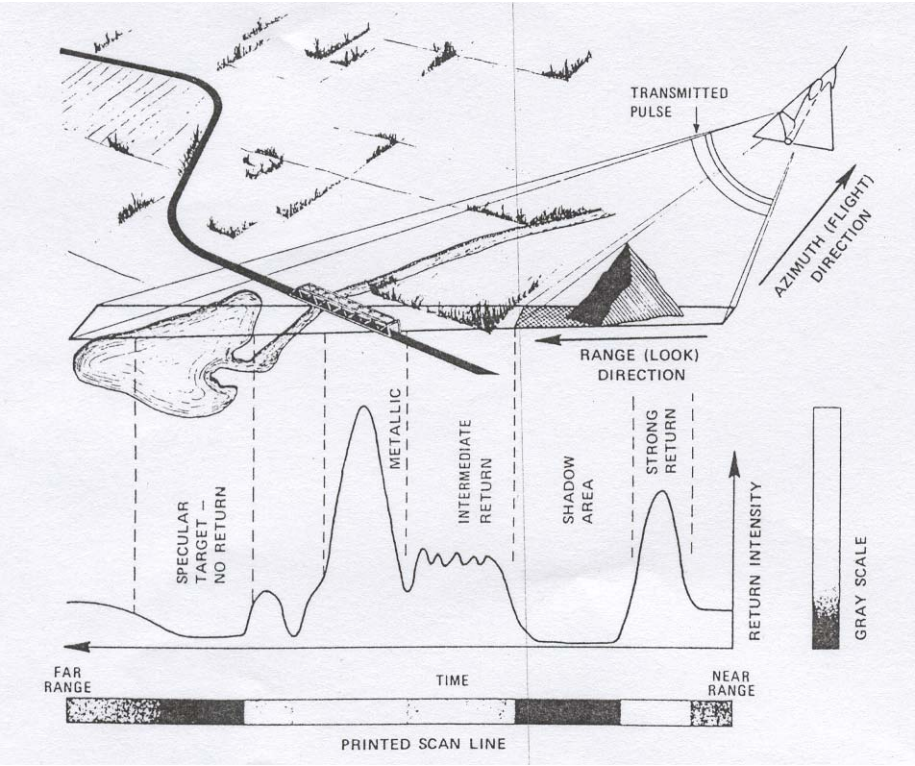


Figura 14. Reflectividad de la señal de radar
(Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

La antena del radar esta usualmente polarizada y las reflexiones usualmente no cambian de polarización para la señal transmitida y la recibida tienen la misma polarización, lo que ayuda a evitar grabar señales de otras fuentes.

Las imágenes digitales son hechas con los elementos de la señal del radar (llamada píxeles) que constituyen un mallado rectangular donde cada elemento de la malla esta asociado a la amplitud y el espectro de la banda.

Estas son procesadas para conseguir errores del grabado, corregir las distorsiones geométricas, se combinan las imágenes, se cambia el contraste (escala de grises) para facilitar el estudio del relieve, crear nuevas imágenes al combinar varias de ellas, clasificar los píxeles de acuerdo a sus características.

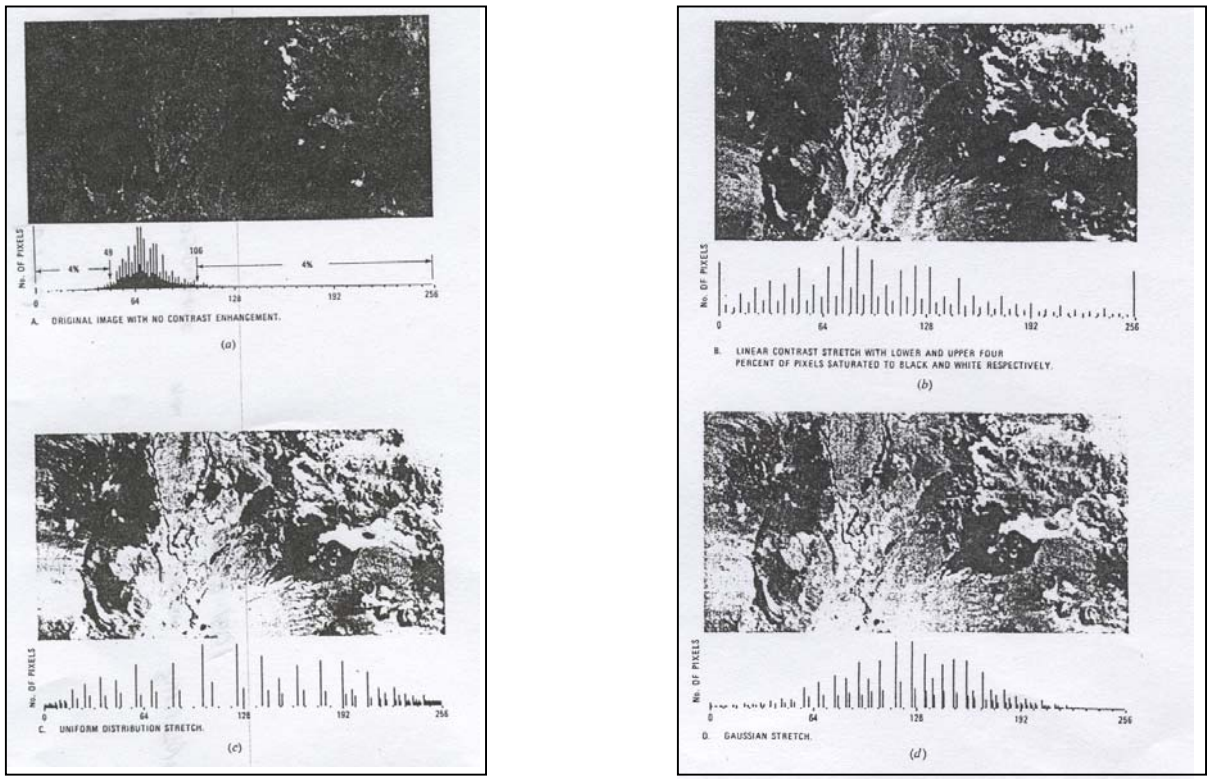


Figura 15. Efectos de la distribución de píxeles y su variación en la imagen (Tomada del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

Es usual graficar el histograma de valores y ver la distribución normal de los datos. Por lo que se pueden establecer diferentes rangos, cuando los datos son registrados por diferente bandas espectrales la computadora puede clasificar de acuerdo a las diferentes características. El promedio de los valores de la imagen puede ser diferente variando rango de valores de los píxeles y al aplicar filtros en bandas especificas se puede reconocer ciertos minerales. Teniendo en cuenta que las concentraciones minerales algunas veces pueden producir alteraciones en la superficies, así como afectar el tipo de vegetación, lo cual puede ser una evidencia en superficie que se puede utilizar para una interpretación del subsuelo.

La atenuación de las ondas electromagnéticas en su propagación depende de la frecuencia lo cual es muy importante en prospección. Con relación a esto se considerara el caso en que la onda penetra verticalmente en un terreno no homogéneo de resistividad ρ, tomando el modelo de onda plana en que la intensidad de la fuente varié sinuisodalmente con el tiempo y que su situación sea lo suficientemente lejana de la zona donde se realizan las mediciones para que las ondas puedan considerarse planas. Estas representan un fenómeno ondulatorio, de frecuencia angular ω y cuya amplitud decrece exponencialmente con la distancia. Además que al propagarse en medios conductores sufren dispersión y su velocidad decrece con el aumento de la conductividad.

Para fijar la idea es conveniente considerar los siguientes casos: Para el agua marina, con $\rho = 0.2$ ohm-m y frecuencia de 1 Hz, la velocidad de las ondas magnéticas es de 1.4 Km/s, pero para una frecuencia de 1 MHz. alcanza 1.414 Km/s. En arcillas de $\rho = 10$ ohm-m los valores respectivos son de 10 Km/s y 10^4 Km/s. Para rocas mas resistiva, con $\rho = 100$ ohm-m la velocidad es de 31.6 Km/s y 3.16×10^4 Km. Lo que muestra que la propagación de las ondas electromagnéticas a través de rocas se hace

mayor cuanto mas resistivas sean y mas elevada sea la frecuencia aplicada, como se expresa el siguiente grafico:

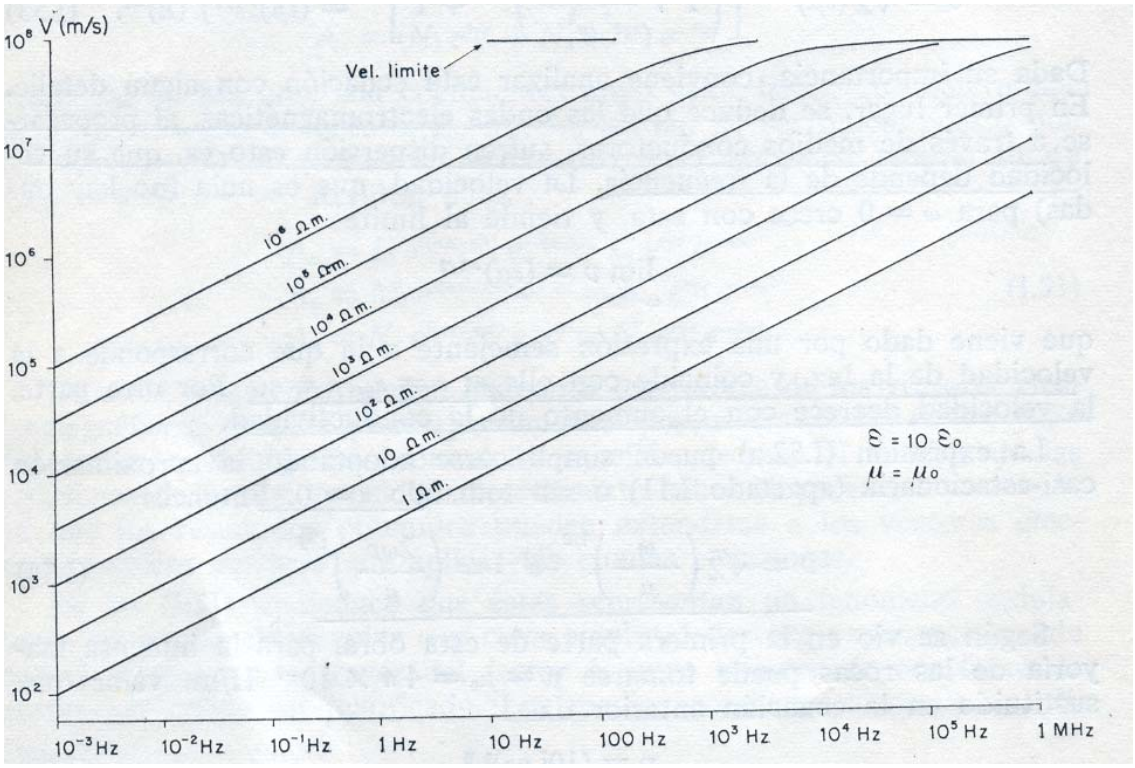


Figura 16. Valores de la velocidad en medios de diferentes resistividades en función de la frecuencia. Se observa la presencia de velocidad limite (Tomado de Orellana, 1982)

El efecto superficial o "skin" se produce al penetrar una onda electromagnética en un medio, donde la densidad de corriente disminuye con la profundidad cuanto mayor sea la frecuencia y menor la resistividad del medio. Como la disminución de la amplitud es gradual y depende de las propiedades del medio, se puede expresar de la siguiente manera:

$$\delta = 503.3\ (\rho / \nu)^{1/2}$$

Siendo esta una aproximación casi-estacionaria muestra claramente al realizar un estudio con un sensor que tenga una frecuencia fija la variación de la penetración esta dada por la resistividad del material que sé este prospectando.

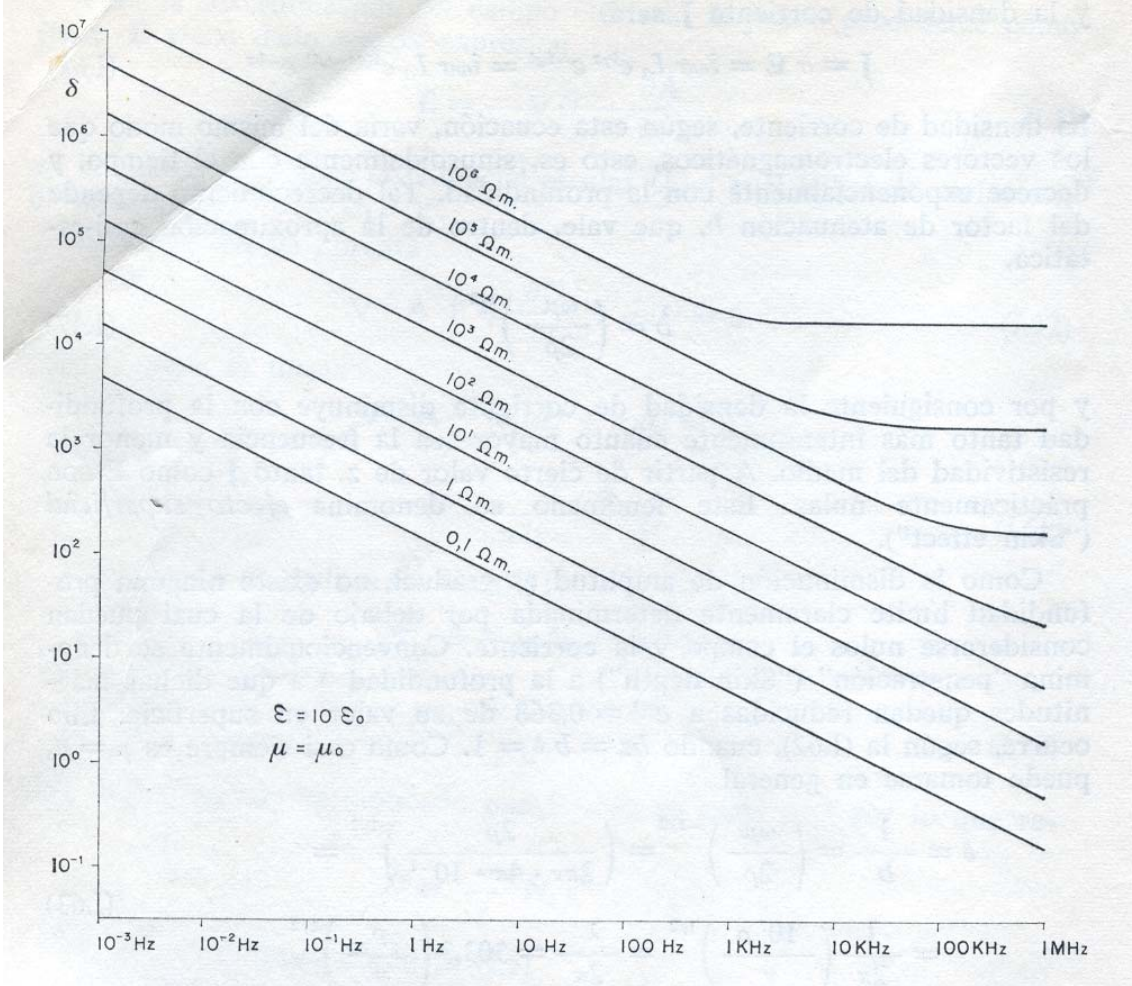


Figura 17. Valores de penetración para diferentes resistividades, en función de la frecuencia. (Tomado de Orellana, 1982)

Vemos como la penetración disminuye con la frecuencia y la resistividad, aunque para el caso de frecuencia fija este depende de la resistividad tanto mas aumente la resistividad aumentara la penetración.

A continuación se muestras cuales pueden ser estas frecuencias, la porción del espectro correspondiente a las microondas es relativamente más amplia que la región del espectro visible y del infrarrojo, por lo cual se han establecidos varias bandas de esta región, las cuales se presentan a continuación:

Cuadro bandas espectrales en la región del microondas

Banda K: Ondas cortas usadas en los primeros sistemas de radar, poco comunes hoy día.

Banda X: Ampliamente usadas en sistemas aerotransportados para reconocimiento militar y mapeo del terreno.

Banda C: Una de las más comunes en los sistemas aerotransportados.

Banda S: Usada por el satélite ruso ALMAZ.

Banda L: Usada en los satélites SEASAT (USA) y el JERS-1 (Japón) y en los sistemas aerotransportados de la NASA.

Banda P: Ondas largas, usadas en los sistemas aerotransportados de la investigación de la NASA.

3.3 El Radar

La palabra RADAR es un acrónimo de "**RA**DIO **D**ETECTION **A**ND **R**ANGING" (Radio Detección y Telemetría) y fue desarrollado durante la II Guerra Mundial para la navegación y localización de objetivos, ampliándose sus husos hasta el presente.

El radar es un sistema electrónico que permite detectar objetos fuera del alcance de la vista y determinar la distancia a que se encuentran proyectando sobre ellos ondas de radio. Utiliza un transmisor de radio de alta frecuencia que emite un haz de radiación electromagnética, con una radiación de longitud de onda comprendida entre algunos centímetros y cerca de 1 m. Los objetos que se hallan en la trayectoria del haz reflejan las ondas de nuevo hacia el transmisor. El radar se fundamenta en las leyes de la reflexión de las ondas de radio, implícitas en las ecuaciones que controlan el comportamiento de las ondas electromagnéticas, planteadas por el físico británico James Clerk Maxwell.

Los equipos de radar están compuestos por una antena receptora y transmisora. A diferencia de la radiodifusión, en la que el transmisor emite ondas de radio que son captadas por el receptor, los transmisores y receptores de radar suelen hallarse juntos. El transmisor emite un haz de ondas electromagnéticas a través de una antena, que concentra las ondas en un haz coherente apuntando en la dirección deseada. Cuando las ondas chocan con un objeto que se halla en la trayectoria del haz, algunas se reflejan y forman una señal de eco. La antena capta la energía contenida en dicha señal y la envía al receptor. Mediante un proceso de amplificación y tratamiento informático, el receptor del radar genera una señal en el dispositivo de visualización.

El funcionamiento del radar implica que el transmisor emita una gran cantidad de energía para recibir, detectar y cuantificar una mínima fracción de toda la energía

devuelta en forma de eco. Una forma de solucionar el problema de detectar este eco ínfimo en presencia de la enorme señal emitida es el sistema de impulsos. Durante un lapso de 0,1 a 5 microsegundos se emite un impulso de energía; a continuación, el transmisor permanece en silencio durante un espacio de centésimas o milésimas de microsegundo. Durante la fase de impulso, o emisión, el receptor queda aislado de la antena por medio de un conmutador TR (transmisor-receptor); durante el periodo entre impulsos, esta desconexión se efectúa con un conmutador ATR (anti-TR).

El radar de onda continua emite una señal continua, en vez de impulsos. Si el receptor del radar está diseñado de forma que rechace aquellos ecos que poseen la misma frecuencia que el transmisor y sólo amplifica los de frecuencia distinta.

La mayoría de los radares modernos convierten la señal analógica recibida a una secuencia de números por medio de un convertidor analógico digital. Un ordenador de alta velocidad se encarga de procesar esta secuencia y extraer la información relativa al objetivo. También se eliminan los objetos irrelevantes mediante un filtro indicador de objetivo móvil (MTI). A continuación se fracciona la señal en componentes discretos de frecuencia por medio de un Transformada Rápida de Fourier (FFT).

3.3.1 Funcionamiento y Componentes Del Radar

En primer lugar, debe establecerse una diferencia fundamental en cuanto a la observación remota en la región del espectro electromagnético a las microondas, la cual puede ser pasiva o activa, dependiendo del tipo de sensor. Los sensores pasivos detectan la energía de retorno de la superficie en la región de las microondas; la cantidad de energía de este tipo de condiciones naturales es muy pequeña, lo cual se traduce en una señal de retorno muy débil que determina una baja resolución

espacial, por lo general en Km. Por otra parte, los sensores activos, al ser capaces de emitir su propio haz de microondas, aseguran la emisión y el consecuente retorno de una mayor cantidad de energía, obteniéndose una ganancia significativa de resolución espacial.

Esta ultima característica marca la diferencia con respecto a los sensores pasivos, y se constituye en una ventaja frente a estos. En primer lugar, el hecho de emitir su propio haz energético le da al radar una total independencia de las condiciones de iluminación, pudiendo realizar las tomas de día o de noche. En segundo lugar, la energía de la región de las microondas tiene la capacidad de penetrar la cobertura de nubes; por tanto el radar no depende de las condiciones atmosféricas para capturar imágenes de la superficie terrestre.

Debe destacarse, además, que la forma de operación del radar es diferente a la de los sensores pasivos, por lo que la imagen de radar es diferente a la de cualquier sensor óptico en términos de su apariencia y propiedades. El radar esta conformado por un transmisor, un receptor, una antena, un dispositivo electrónico llamado Duplexer y un sistema electrónico de procesamiento y almacenamiento de datos.

El transmisor genera una sucesión de impulsos cortos de energía en forma de microondas a intervalos regulares de tiempo, los cuales son dirigidos a un foco a través de una antena; el foco ilumina de manera oblicua la superficie del terreno. El haz energético llega a la superficie y rebota, siendo captada una porción de esta energía reflejada o retrodispersada por la antena. El dispositivo mide el intervalo de tiempo entre la emisión del haz y su recepción en forma de energía retrodispersada, con lo cual puede determinar su distancia al radar y, por consiguiente, su ubicación.

Otro aspecto lo constituye la polarización de la radiación, la polarización se refiere a la orientación del campo eléctrico de la energía electromagnética que puede ser

horizontal o vertical. Por los general los sistemas de radar están en capacidad de emitir y recibir energía con polarización vertical u horizontal según sea la polarización en la emisión y recepción, se tiene polarizaciones iguales (la energía emitida y la recibida tiene la misma orientación, por ejemplo horizontal – horizontal HH) y polarizaciones cruzadas (la energía emitida y la recibida tiene la misma diferente orientación, por ejemplo horizontal – vertical HV). La importancia de este parámetro radica en la respuesta a obtener de la superficie: la energía radiante interaccionara de manera diferente con una misma cubierta según sea su polarización. De esto se concluye que las imágenes de radar captadas con diferentes polarizaciones pueden ser diferentes entre si y por consiguiente, complementarias en términos de la información que contienen.

En esta parte se trata de explicar el funcionamiento del sensor del radar :

3.3.1.1 Alimentación

Este equipo se alimenta por el sistema de energía del avión y genera 28 Voltios para alimentar las demás unidades del sistema. También está interconectado con una batería con realimentación para evitar que una posible caída de energía interrumpa el funcionamiento del Radar. Esta unidad también es responsable de la distribución de las señales de control.

3.3.1.2 Señales de control

Las señales de control son responsables de la configuración de las unidades del sistema y constituyen básicamente las señales de:

- Reloj – 10 MHz.

- PRF (Frecuencia de Repetición de Pulso) – Sincroniza las unidades del Radar; es el "tiempo cero" de transmisión de las señales, o sea, inicia todo el funcionamiento del sistema.
- CAN (Red de Área de Control) – Barra de distribución que envía comandos a los microcontroladores de cada unidad.

Computadora de Control y Pantalla del Piloto Se puede decir que esta computadora de control es el "cerebro" del sistema. En él se genera la PRF y la barra de distribución CAN dirigidas al Distribuidor de Energía y de las Señales de Control. Esta unidad almacena no sólo los datos brutos obtenidos por el Radar sino también los parámetros del plan de vuelo.

Figura 18. Computadora de control del radar (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

Planeamiento del vuelo El planeamiento del vuelo se escribe de antemano en tierra, para ser leído por la computadora de control durante el vuelo. El planeamiento del vuelo, calcula las coordenadas y la trayectoria de las líneas de vuelo para el cartografiado del área definida de antemano.

Control de vuelo El control de vuelo recibe las coordenadas y la orientación de la aeronave por medio de la unidad del sistema de navegación y calcula el desvío de la aeronave respecto a la línea planeada. La diferencia, la orientación para corrección y otros datos auxiliares necesarios al piloto aparecen en la pantalla del monitor. Así, el monitor para el piloto orienta el vuelo de acuerdo a las líneas planeadas.

Figura 19. Control de vuelo del radar (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

Control del Radar Es un software que se comunica con todas las unidades del sistema. Este control lee continuamente la condición del control de vuelo, de manera de posibilitar la inserción de comandos que actuarán en las funciones de cada parte del Radar

Esta unidad suministra los datos de posición y orientación del vuelo a la computadora de control; por eso es acoplada a ella un Sistema de Navegación Inercial (INS) formado por GPS, Omnistar y una Unidad de Medida Inercial (IMU). El GPS suministra las coordenadas de orientación con precisión de 5 a 10 metros, mientras el Omnistar corrige los datos en tiempo real con precisión de hasta 1 metro. El IMU es un sensor que mide los ángulos de balanceo (inclinación horizontal), cabeceo (inclinación longitudinal) y rumbo real de la aeronave. Hay también un GPS en tierra, para el procesamiento posterior de los datos del Radar; eso significa una corrección aun mayor, con precisión de 5 cm.

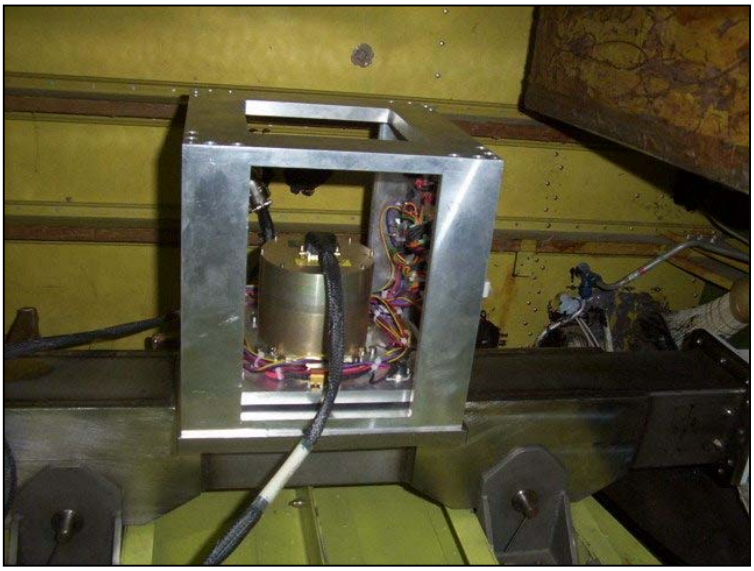


Figura 20. Unidad de Medida Inercial (IMU) (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

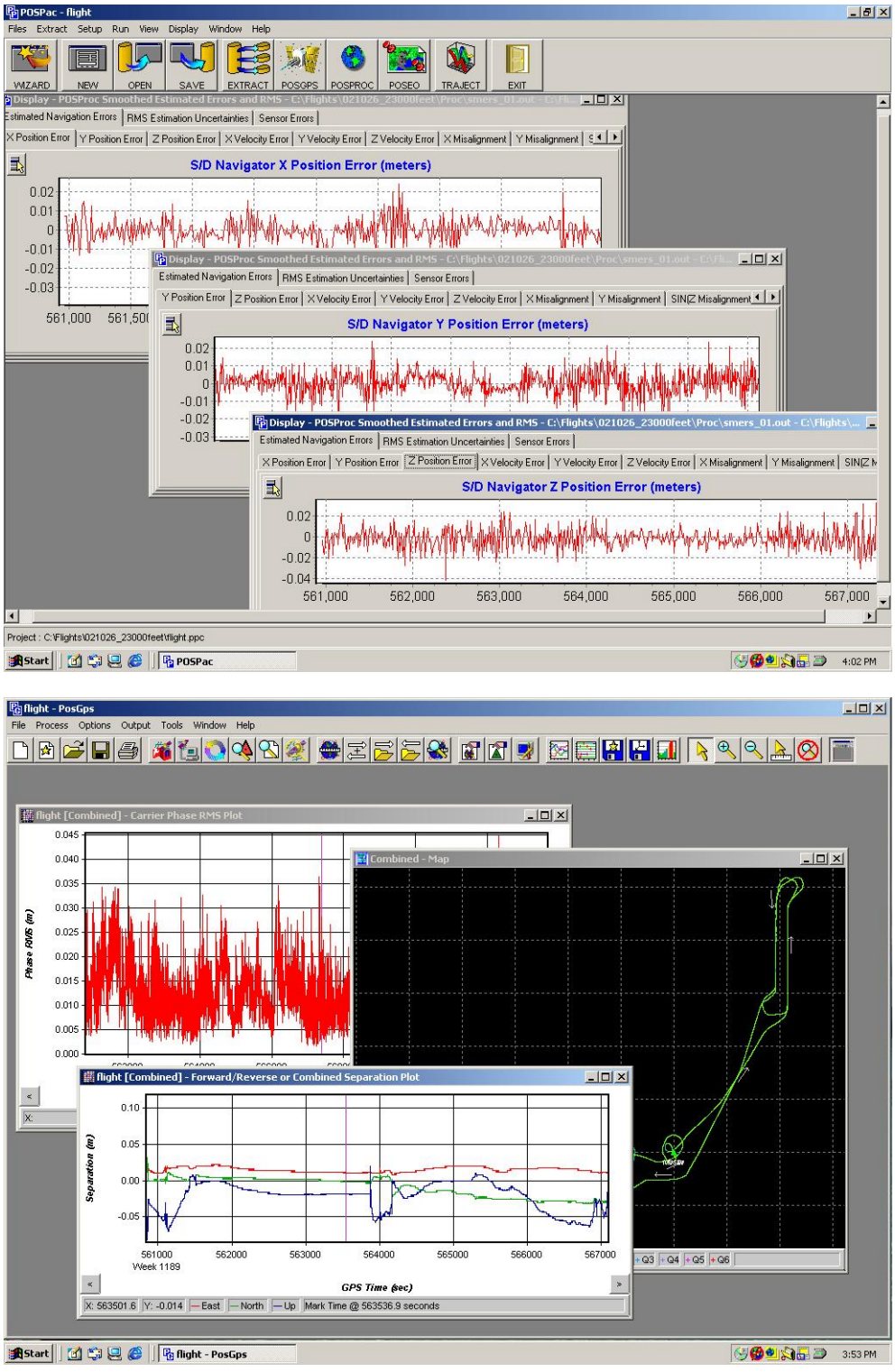


Figura 21. Programas de control de vuelo del avión (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

3.3.1.3 Transmisor de banda P y X

En la unidad Transmisora de la Banda X están acopladas 3 antenas del tipo corneta y en la unidad Transmisora de la Banda P está acoplada una antena de periodicidad logarítmica que trabaja en las polarizaciones vertical y horizontal. Cada unidad transmisora se compone de una válvula TWT (Tubo de Ondas Progresivas) cuya función es amplificar la señal de transmisión HPA (Amplificador de Alta Potencia) y de un LNA (Amplificador de Bajo Ruido) cuya función es disminuir el ruido de la señal reflejada. El pulso de la Banda X se transmite solamente por la antena 1, mientras las reflexiones se reciben por las 3 antenas. Las antenas 2 y 3 también están acopladas con un LNA cada una interconectadas directamente en la Unidad del Receptor y Convertidor.

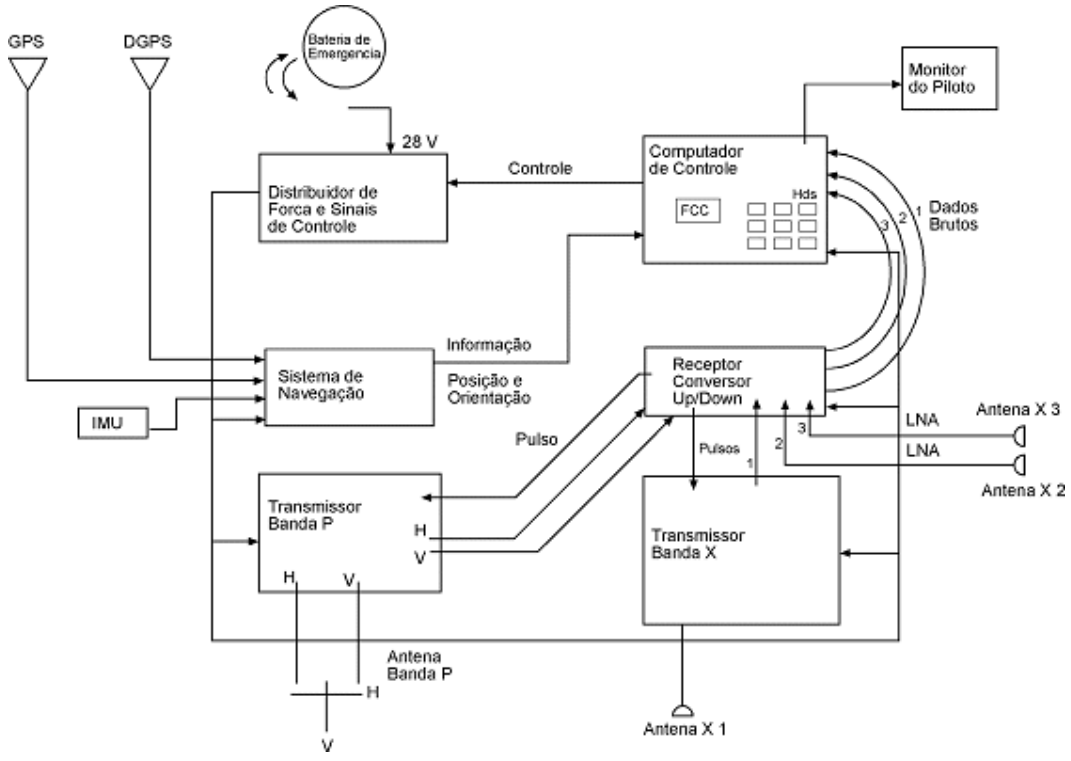


Figura 22. Diagrama del sensor (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

En esta unidad se genera el patrón de frecuencia de todo el sistema, o sea, las frecuencias de referencia del sistema con el clock de 10 MHz, el cual a su vez genera la PRF (Frecuencia de Repetición de Pulso) en la FCC (control de vuelo). Además de eso, genera un pulso llamado chirp cuya reflexión desde el suelo o desde una superficie es el dato bruto del Radar. La frecuencia original del chirp varía entre 100 y 200 MHz.

El convertidor "Up" tiene la función de convertir el chirp, según el comando de la FCC, a la Banda X o a la Banda P, a fin de ser transmitido a sus respectivas unidades, mientras el convertidor "Down" tiene la función de recibir el chirp desde las unidades de las Bandas X y P, y convertirlo a la Banda Base, que varía de cero a 100 MHz. Una vez convertido por el conversor Down, los datos se envían a la FCC, donde se almacenan en discos duros.

Figura 23. Unidades de almacenamiento (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

El sistema de trascripción genera un formato de datos para la entrada del procesamiento SAR. Estos datos incluyen los datos brutos, los datos del segmento de vuelo y los datos de la estación GPS en tierra. Los datos de entrada desde la trascripción se componen de:

- Datos de las unidades de disco duro del Radar: directorios de datos brutos, de copias de seguridad y de los parámetros del Radar para cada ruta.

- Datos del procesamiento GPS / INS: datos de posición y rotación desde un determinado punto del rayo de la antena. El resultado de la trascripción es un par de conjuntos de discos duros con un mismo contenido pero con funciones diferentes. Un conjunto se debe utilizar en el procesamiento y el otro como copia de seguridad.

3.3.2 Adquisición de los Datos

Las imágenes a utilizar en este trabajo de investigación se obtuvieron a partir de un sistema de radar de apertura sintética (SAR) aerotransportado. El sistema utilizado es el OrbiSAR-1, desarrollado por la firma Orbisat S.A.

Para obtener una imagen de alta calidad es esencial un control estricto de la trayectoria del avión. Por ello, el Sistema de Control de Vuelo recibe todos los datos procedentes de la antena GPS del avión, las correcciones procedentes de la antena del avión y el planificador de vuelo que contiene la trayectoria deseada. De esta forma, el piloto dispone de la información de navegación necesaria para ceñirse a la trayectoria planificada.

Tras el aterrizaje del avión, los discos utilizado son trasladados para ser conectados a una computadora de trascripción, para respaldar la gran cantidad de datos que para una idea, una línea de vuelo de un 1 Km. corresponden unos 0,5 Gigabyte. Estos discos duros contienen toda la información de radar necesaria para su procesamiento, la generación de las orto imágenes y los modelos digitales de terreno.

3.3.2.1 Descripción de los equipos utilizados

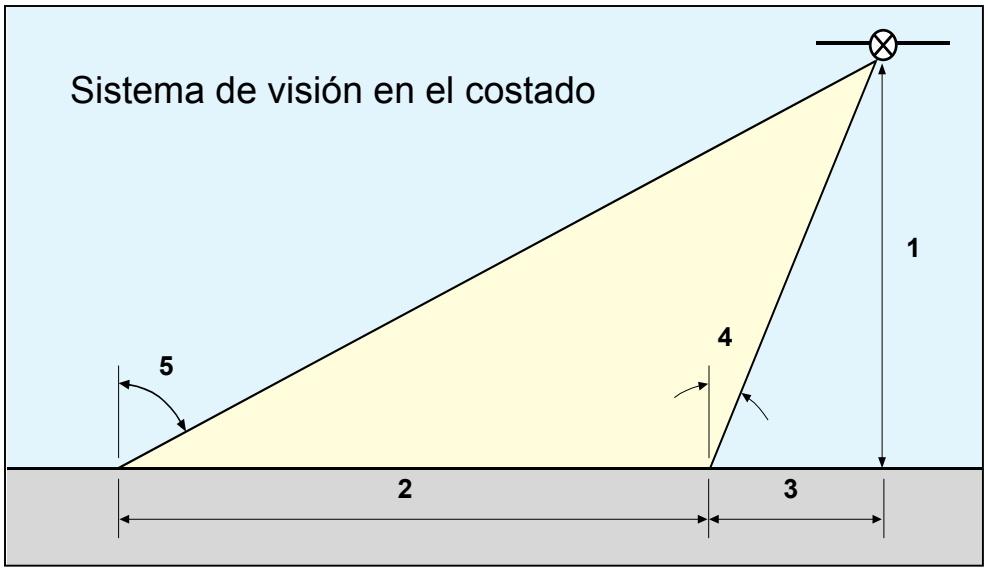
3.3.2.1.1 Avión

Se utilizo una aeronave Rockwell Turbo Commander 690 B

Figura 24. Aeronave

Figura 25. Radar

(Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)



1. **Altura del vuelo: 8500 m.**
2. **Ancho de la franja: 14 Km.**
3. **Inicio de la franja: 3,9 Km.**
4. **Ángulo de incidencia inicial: 25°**
5. **Ángulo de incidencia final: 65°**

Figura 26. Disposición geométrica de la iluminación (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

3.3.2.1.2 Radar

El equipo de radar (Figura 25) esta instalado en el avión. Este sistema trabaja en el rango que va de 9.35 a 9.75 GigaHertz y posee un ancho de banda de 100 MegaHertz. Estas características permiten obtener, utilizando todo el ancho de las bandas y en modo multipulso, una resolución máxima de 1.5 m en alcance inclinado (aproximadamente 2.5 m en alcance en tierra).

El sistema adquiere tres imágenes complejas de forma simultánea, utilizando tres antenas montadas en banda X y una imagen compleja con una antena montada en banda P en el avión. Con este sistema no solo se obtienen las imágenes de amplitud

sino también las diferencias de fase, relacionados con el Modelo de Elevación del Terreno.

Figura 27. Antenas de banda X

Figura 28. Antena de banda P

(Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

El sistema de navegación suministra los datos de posición y orientación del vuelo a la computadora de control; por eso se acopla a ella un Sistema de Navegación Inercial.

El control de vuelo recibe las coordenadas y la orientación de la aeronave por medio de la unidad de Sistema de Navegación y calcula el desvío de la aeronave respecto a la línea planeada. La diferencia, la orientación para corrección y otros datos auxiliares necesarios al piloto aparecen en la pantalla del monitor, de manera, que el monitor de piloto orienta el vuelo de acuerdo a las líneas planeadas.

3.3.2.1.3 Estaciones de referencia

Se emplean dos equipos GPS para la estación de referencia en tierra, para el procesamiento posterior de la posición del avión; lo que se traduce en una corrección aun mayor, con precisión de 5 cm.

En puntos determinados en tierra se instalan reflectores (conos reflectores) son de aluminio en forma de triángulo con dos lados de aproximadamente 1,40 m y un lado mayor de 2,00 m, sus superficies lisas reflejan fuertemente las señales del radar, las cuales aparecen en las imágenes como puntos brillantes para puntos de control y soporte para el radar en la georeferenciación y control cartográfico.

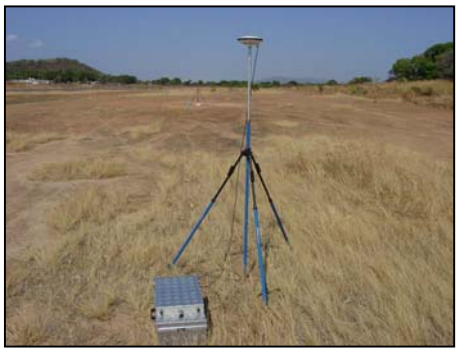


Figura 29. GPS en Tierra

Figura 30. Reflector

(Tomado del manual de procesamiento Orbisat S.A., 2000)

Figura 31. GPS del avión

(Tomado del manual de procesamiento Orbisat S.A., 2000)

3.3.2.1.4 Programas de Control de Calidad

Para el análisis de control de calidad, se emplean tres programas diferentes, que permiten decidir si una línea de vuelo podrá ser utilizada en el procesamiento. Estos programas utilizan como insumo los datos grabados en el disco resultante del proceso de grabación de cada vuelo.

- Transc. 1: Muestra la señal cruda.
- Transc. 2: Muestra la amplitud, Fase y Coherencia de una pequeña parte de la ruta.
- Transc. 3: Muestra calidad del vuelo.

3.3.2.1.4.1 Transc 1

El primer programa comprueba diferentes variables relacionadas con el sensor del radar.

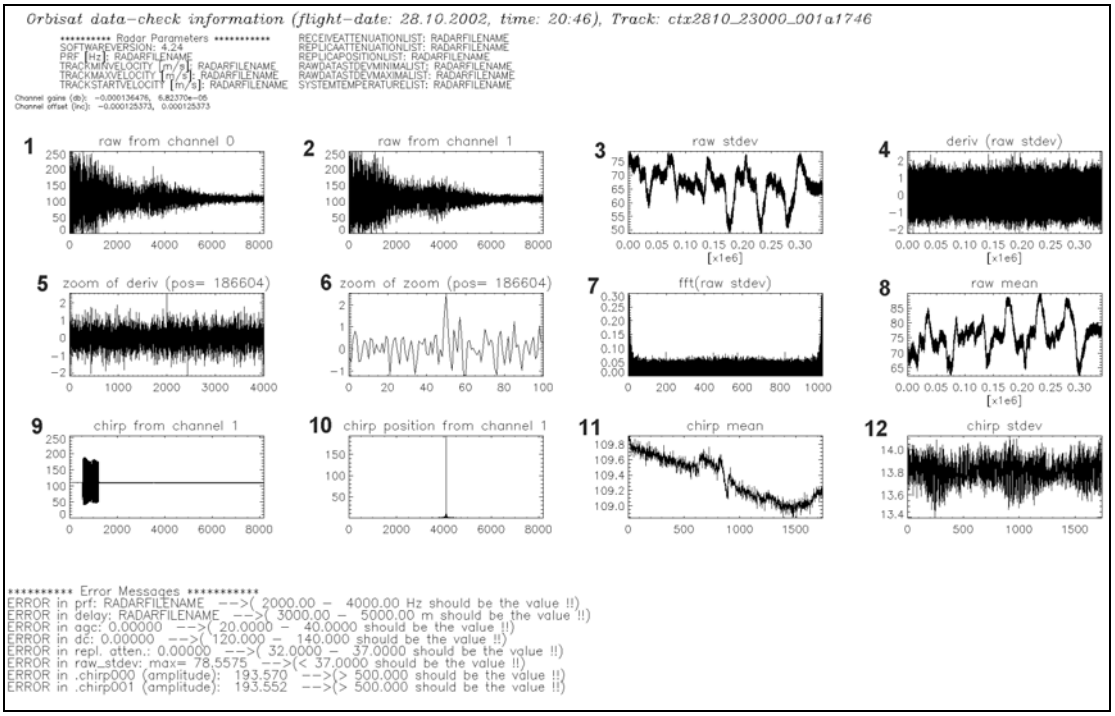


Figura 32. Ejemplo de Transc1

(Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

La Figura 32 muestra un ejemplo de Transc1, el cual contiene la siguiente información:

1. Data cruda del canal: Sé grafica la data cruda de una línea para determinar si el ajuste del radar es el apropiado, esto es, si cuando la señal es baja debe estar cerca a

128 y cuando la señal es fuerte debe estar en el rango entre 0 y 255. Este canal es el primero de los tres canales de la banda X.

2. Data cruda del canal 1. Contempla los mismos requerimientos que el canal 0. Este es el segundo canal de los tres canales de la banda X.

3. Desviación estándar cruda: Se gráfica la desviación estándar de cada línea y todos los canales. Una señal débil está por debajo de 10 y una señal muy fuerte estará sobre 80, lo cual significa que la señal esta saturada. En la grafica, se puede observar que no hay pulsos perdidos, ya que todos los pulsos están sobre el valor de 50.

4. Derivada de la desviación estándar cruda: es útil para encontrar pulsos perdidos y otras perturbaciones. Si no hay perturbaciones, los valores de la derivada están entre -3 y 3. Si la perturbación ocurre, se verán picos con valores alrededor de 50.

5. Zoom de la derivada: Con el Zoom de la derivada se detecta y se grafica el pico más largo con una mejor resolución. El caso que se observa en la figura el pico despreciable

6. Zoom de Zoom: Con el Zoom de Zoom es posible detectar si un pico es natural o es una perturbación. En el caso de la figura, el pico es natural.

7. Transformada Rápida de Fourier (TRF) de la desviación estándar cruda: Detecta los armónicos en la desviación estándar cruda. Los armónicos son signo de una oscilación descontrolada en un sistema de radar. En el caso de la figura no se detecta oscilaciones.

8. Media cruda: Se grafica el valor medio de cada línea de la data cruda. El valor medio no debe tener picos y debe ser aproximadamente constante.

9. Pulso del canal 1: El pulso es la señal del radar transmitida. La gráfica de la figura muestra el pulso más pequeño.

10. Posición del pulso del canal 1: La posición del pulso se muestra como la correlación entre un pulso transmitido y una replica. El resultado de la correlación es una función sinusoidal.

11. Media del pulso: Se grafica el valor medio de un pulso. La señal no debe tener picos.

12. Desviación estándar del pulso. Se grafica la desviación estándar del pulso. La señal no debe tener picos.

3.3.2.1.4.2 Transc 2

Este programa realiza la reconstrucción de la imagen SAR en una pequeña área, y permite visualizar el resultado de dicha reconstrucción utilizando cuatro variables :

1: La intensidad de un imagen SAR procesada sin corrección radiométrica

2: Los valores de fase originales con 2π ambigüedades

3: Los valores de fase desenrollada sin 2π ambigüedades

4: La coherencia

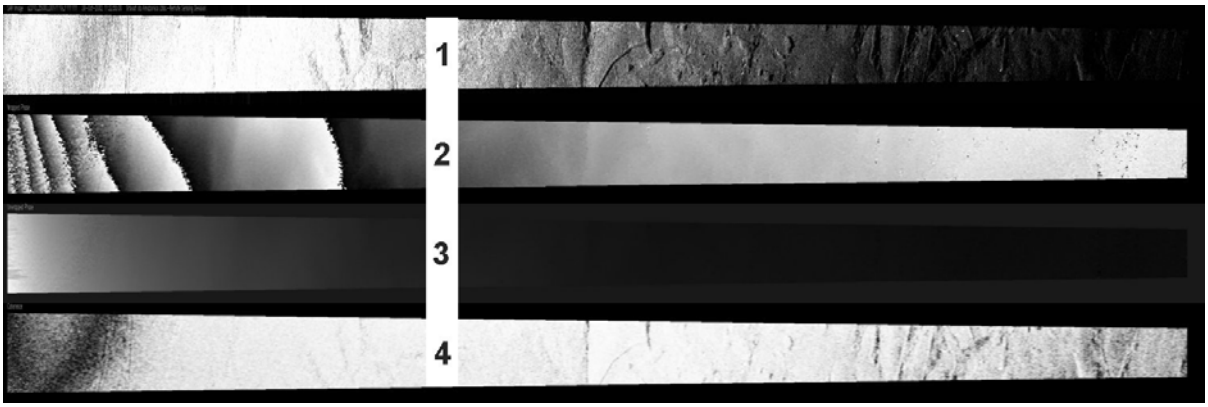


Figura 33. Ejemplo de Transc2
(Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

La imagen de coherencia se usa para determinar la rapidez con la que disminuye dicha variable en la dirección largo alcance. No debería alcanzar valores por debajo de 0,6 o 0,5 antes del último tercio de la imagen, En ese caso la ambigüedad será demasiado fuerte para ser corregida mediante el nivel de corte de 0,75 y la línea de vuelo pasará a ser candidata a ser volada de nuevo. Esta interpretación es muy sensible a características de la superficie, especialmente sombras.

3.3.2.1.4.3 Transc 3

El Transc3 analiza la posición y la inclinación del aeroplano durante el vuelo de las líneas.

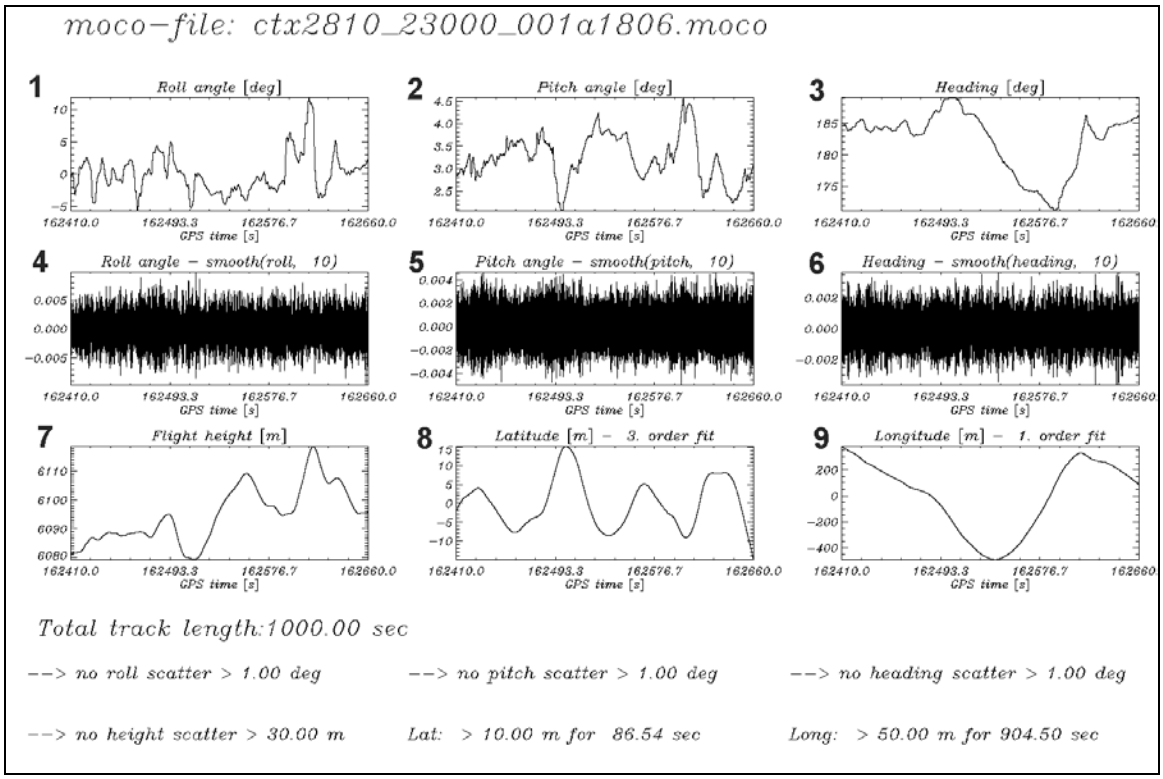


Figura 34. Ejemplo de Transc3
(Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

1. Angulo de balanceo (grados): Muestra el ángulo de balanceo del aeroplano durante el vuelo de la línea. Las variaciones del ángulo de balanceo entre +/- 10º son aceptables.

2. Angulo de cabeceo (grados): Muestra el ángulo de cabeceo del aeroplano durante el vuelo de la línea. Las variaciones del ángulo de cabeceo entre +/- 2º son aceptable.

3.Angulo de rumbo (grados): Muestra el ángulo de rumbo del aeroplano durante el vuelo de la línea. Las variaciones entre +/- 10º son aceptables.

4. Derivada del ángulo de balanceo: Muestra picos con variaciones rápidas del ángulo de balanceo.

5. Derivada del ángulo de cabeceo: Muestra picos con variaciones rápidas del ángulo de cabeceo.

6. Derivada del ángulo de rumbo: Muestra picos con variaciones rápidas del ángulo de rumbo.

7. Altura de vuelo: Muestra la altura durante el vuelo de la línea. No debe variar más que 50 metros durante el vuelo.

8. Variación de la latitud. Muestra la desviación de la latitud respecto al plan de vuelo durante la grabación de la línea de vuelo. No debe variar más de 10 metros durante el vuelo de la línea.

9: Variación de la longitud. Muestra la desviación de la longitud respecto al plan de vuelo durante la grabación de la línea. No debe variar más de 10 metros durante el vuelo de la línea.

3.3.2.1.5 Modos de Medición del Terreno

X-InSAR y **P-Pol-InSAR**:

- InSAR de paso único con Banda-X y 3 antenas
- InSAR de doble paso con Banda-P y polarizaciones VV / VH / HV / HH
- Adquirido para dos recorridos de Modo 1 con 100 m de línea de referencia

X-InSAR y **P-Pol**:

- InSAR de paso único con Banda-X y 3 antenas
- Banda-P con polarización VV /VH / HV / HH (imagen)
- Adquirido para un recorrido

3.3.2.1.6 Especificaciones y Exactitud

Los requerimientos de esta fase provienen de la definición global de los productos de entrega. Estas definiciones globales son: Imágenes SAR-Orto con 5 m de resolución y 10 m de precisión de altura para el modelo digital del terreno. A partir de estas especificaciones, se derivan los siguientes requerimientos:

Parámetro	Banda X	Banda P
Frecuencia del Portador [Ghz]	0,55	9,415
Longitud de onda [cm]	69	3.1
Anchura de Banda [Mhz]	45	45
Polarización	HH	HH / HV / VH/ VV
Pico de Potencia [kW]	2,5	1,5
Potencia Media [W]	150	100
PRF (frec. Repetición pulso) [Hz]	4000	4000
Angulo de incidencia [grados]	45	45

⊙Modos de adquisición	guía transversal 1 pase InSAR	guía transversal 2 pases InSAR
⊙Resolución Radiométrica [dB]	1,8	1,2
⊙Resolución de rango [m]	3,3	3,3
⊙Resolución azimut [m]	1,0	2,5
⊙Looks	7,0	3,0
⊙Anchura de camino [Km.]	14	14
⊙Línea base normal [m]	0,3	135
⊙Resolución horizontal [m]	5,0	5,0
⊙Precisión vertical [m]	10,0 (1 sigma)	

- **Modelo Digital del Terreno (derivado de Banda-P y Banda-X)**
  - exactitud en altura: 5 cm (1s)
  - exactitud planimétrica: 15 cm (1s)
- **Ortoimagen (Banda-X)**
  - resolución: 5 m x 5 m, 7 observaciones
  - exactitud planimétrica: 15 m (1s)
  - estabilidad radiométrica: 2 dB

3.4 Georeferenciación

El procedimiento operacional para geocodificar mapas topográficos es esencialmente el mismo los tres pasos son:

- El paso de pre procesamiento es registrar el DEM para la imagen SAR.

- El procedimiento de la corrección a través de la línea de vuelo, es modificado por el desplazamiento del objetivo.

- El organigrama operacional del procedimiento de geocodificación.

La entrada de datos consiste en los parámetros del radar y los parámetros del procesador correlador que son derivados del pre procesamiento

El paso de pre procesamiento para registrar la imagen SAR para el DEM puede ser realizado por el operador en cada punto de lazo, para determinar el error translacional entre los dos puntos de medida. Para cada área y allí se comparan en la malla, la localización de los píxeles y las coordenadas geodésicas que son generadas. Desde el DEM, la elevación del mapa para la misma área es seleccionada, rotada dentro de la imagen SAR a lo largo de la línea de vuelo y a través de la línea de vuelo del sistema de coordenadas, e iluminada desde la geometría de la imagen.

Estas imágenes simuladas SAR son derivadas del DEM, son correlacionadas con la imagen actual, deja el marco para determinar la imagen para DEM de salida. Esta salida es usada para actualizar la localización los píxeles en el mapa que es registrado para el DEM. Si geocodificamos a lo largo de la línea de vuelo, se estira la imagen, el registro entre el DEM y la imagen puede ser usado para reconstruir las líneas de vuelo.

Se asume que la imagen de entrada consiste una mirada simple de valores complejos, donde es natural el pixelado y el espaciado natural del radar del sistema.

La posición oblicua del ángulo residual es rectificado la imagen y es referenciado en un sistema ortogonal de coordenadas y es la clave de la medida de la fidelidad geométrica.

3.4.1 Geocodificación del elipsoide suavizado

Es el proceso de remuestreo de la imagen para cada mallado fijo de la tierra como el sistema UTM o mapa polar estereográfico. La clave de los elementos para la rutina de producción de los productos geocodificado en el uso de los datos del radar, los parámetros de la plataforma derivados del muestreo de los coeficientes. La técnica descrita es basada o usando el modelo de imágenes de distorsiones geométricas SAR, que el operador puede llevar al momento del vuelo. La rutina de geocodificación es basada en algoritmos de localización de píxeles absolutos. El proceso de geocodificación consiste en dos pasos:

- Rectificación geométrica para el mallado del mapa

El paso inicial en este proceso de rectificación es para generar el mapa de localización para cada imagen de píxeles usando algoritmos de localización. Donde se asume un geoide suavizado y algún promedio de elevación de la altitud desde el marco de las imágenes. Siguiendo la generación de este mapa de localización y las imágenes de los píxeles pueden ser muestreadas dentro alguna proyección cartográfica deseada por mecanización de las ecuaciones apropiadas para el mallado cartográfico deseado. La relación entre las imágenes complejas de píxeles, Efecto

Doppler y el mapa de proyección puede ser expresado en términos de la transformación de coordenadas.

- Rotación Geométrica

La rectificación geométrica de la imagen en una malla es definida por (x´,y´). Para transformar la imagen dentro del formato de geocodificación la rotación de la imagen es requerida. Para proyecciones de mapas como (UTM) estas rotaciones alinean la imagen de píxeles con el norte del mallado. Esta rotación de ángulos es determinada por la inclinación del plano orbital y la latitud del centro, lo mismo se puede hacer para geometrías esféricas que requieren sistemas de ecuaciones y conversiones matriciales. Se puede hacer simultáneamente la rectificación y la rotación en dos muestreos para rectificar la imagen y los dos pasos requeridos para rotar la rectificación de la imagen dentro del formato de geocodificación puede ser comparado dentro de tres rectificaciones 1D para cada una de las coordenadas. El paso 2 del proceso de rectificación y el paso 1 del proceso de rotación son combinado dentro del segundo paso de estos tres pasos del proceso

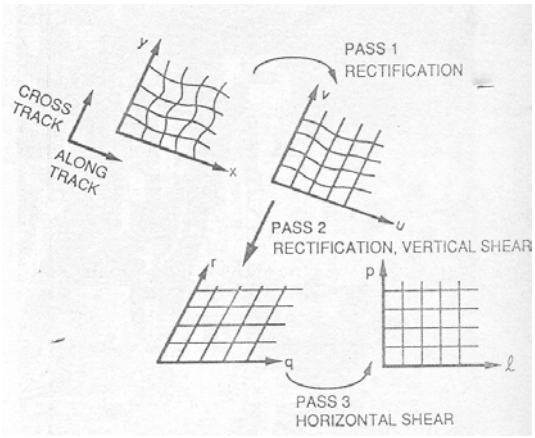


Figura 35. Rectificación de una línea de vuelo
(Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

3.4.2 Geocodificación para un geoide suavizado

Para geocodificar la salida del correlador dentro de los estándares de proyección de mapas se realizan tres procesos de remuestreo:

1) Corrección geométrica del azimuth y sobre muestreo.
2) Correcciones geométricas del rango y proyección oblicua.
3) Rotación de la imagen de acuerdo a la proyección.

3.4.3 Geocodificación de mapas topográficos

Para geocodificar la imagen para una alta resolución del DEM, se calcula las correcciones de cada píxel de salida, dados por la elevación de los objetivos de cada punto. Los algoritmos de muestreo son parecidos a la parte anterior además de la corrección de acortamiento, asumiendo un cuadrado uniforma de píxeles de la salida del mallado.

Descrito previamente, en adición para el rango lejano no lineal y distorsión oblicua del azimuth, efectos del radar, sombra que puede presentarse desde la desviación de la altitud relativa del objetivo para suavizar el geoide. Para corregir geométricamente estas distorsiones y fuentes independientes de información es requerida desde el segundo ángulo de la imagen (interferometría de radar) o desde la superficie de mapas topográficos.

Una posible técnica para rectificación de terreno inducidas por distorsión usando DEM, esta técnica usa el DEM para generar una imagen de radar simulada por iluminación de mapa desde la geometría de la proyección de la imagen de radar. La geometría de la proyección de la imagen de radares registrada por la imagen actual

de radar usando un mallado fino. Las localizaciones absolutas de estos lazos de puntos son usados para estimar los coeficientes polinomiales de la funciones de desenrollado que espacialmente transforma las coordenadas de imagen de radar por coordenadas simuladas de radar. Siguiendo este proceso de coregistro de la imagen de radar, es reemplazada dentro del formato rectificado usando las distorsiones conocidas en la imagen simulada. La clave de esta técnica es que al comenzar la adquisición de los puntos de lazos y la generación de la imágenes simuladas por medio del operador y procesos costosos de computadoras. La limitación adicional de este procedimiento es que la exactitud de este procedimiento del rectificar la imagen es directamente en función de la densidad de los puntos de lazos. Este proceso es generalmente usado con imágenes pequeñas o bloques donde hay pocos puntos de lazos y son requeridos para una buena exactitud del registro.

Al utilizar las características de la geometría de la imagen del radar para el modelo de terreno inducido por distorsiones geométricas y funcionamiento del muestreo en los factores de corrección predichos. Los pequeños puntos de lazos son usado solo para remover las translaciones residuales y los errores rotacionales entre las localizaciones geodésicas predichas de la imagen de píxeles y la actual localización del mapa topográfico, estos sistemas no son requeridos con GPS.

La salida del mapa de proyección de espacio simple es seleccionada para la geocodificación de los productos de imagen. Para cada elemento de salida del mallado, el cual es latitud y longitud. La elevación es determinada relativamente para alguna referencia del geoide desde el DEM. La elevación de cada salida de la malla de localización es calculada en función de la interpolación bidimensional del DEM. Una alternativa puede ser muestreada el DEM dentro de la proyección de la salida (UTM) que es requerida anteriormente para Geocodificar, crear el DEM con los datos dados por la región.

Dado los valores de elevación del objetivo en la salida del mallado, el próximo paso es para generar la latitud, versus longitud (i,j) números de píxeles del mapa desde el rango lejano SAR de la imagen, usando algoritmos de localización. Para los elementos dados del mallado de salida, la localización fraccional de píxeles en la imagen SAR es determinada por las coordenadas bidimensionales de transformación de la imagen de salida para el mallado de entrada. Esta transformación provee la localización del objetivo en la imagen original asumiendo un geoide suavizado. El numero de píxeles solo identifica el tiempo y el rango. Este tiempo es usado para calcular la posición del sensor en el aire. Para simplificar el sistema de coordenadas es rotacional con el eje x de longitud cero (meridiano de greenwich), el eje z del mallado es el norte, y el eje y completa el sistema.

El próximo paso es para convertir la longitud y latitud geodésica del objetivo dentro de un sistema de coordenadas rectangular. Dada el elipsoide de referencia, la posición del objetivo puede ser representado en términos de las coordenadas geográficas.

Hay que tener en cuenta la frecuencia, la velocidad de propagación de la onda, el desplazamiento del objetivo el rango lejano, el efecto Doppler. El valor radiométrico de la imagen SAR, es determinado por la interpolación bidimensional. Este valor es insertado dentro del mallado de salida en la localización.

La geometría de observación de las imágenes SAR es diferente a la de los sistemas ópticos, y esta diferencia obedece básicamente a la forma de realización de las tomas, de manera lateral.

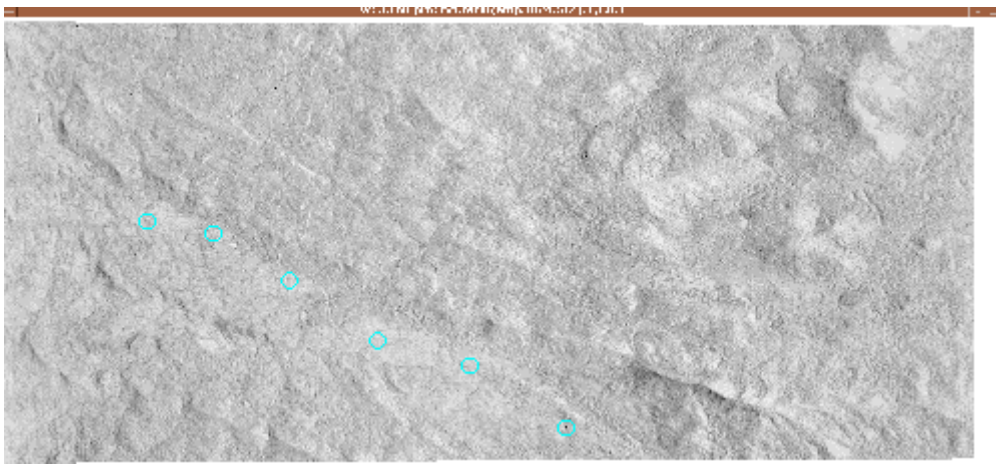


Figura 36.Ubicación de puntos geográficos en la imagen SAR

Los parámetros que determinan la geometría de formación de las imágenes, que están directamente relacionadas con la forma lateral de captura de datos, se presentan a continuación:

Altitud: es la altura del sensor con respecto a la superficie observada

Sentido de vuelo: es la trayectoria seguida por el sensor que, en el caso del radar, equivales a los términos de posición ascendente o descendente; estas posiciones denotan la trayectoria del sensor a su paso por el ecuador, de Sur a Norte (posición ascendente) o de Norte a Sur (posición descendente)

Alcance inclinado: es la distancia existente entre el sensor y el objeto observado

Alcance terrestre es la proyección del alcance inclinado sobre el terreno

Angulo de incidencia: el ángulo formado por el haz del radar y la superficie terrestre

Alcance cercano distancia desde el borde mas cercano de la franja de barrido a la vertical del lugar justo bajo el sensor

Alcance lejano: distancia desde el borde mas lejano de la franja de barrido a la vertical del lugar justo bajo el sensor

Estos parámetros determinan la presencia de distorsiones geométricas en las imágenes resultantes. Estas distorsiones geométricas, o efecto de distorsión, son inherentes a la forma lateral de adquisición de los datos, y están determinadas por los parámetros mencionado anteriormente. Las imágenes SAR presenta cuatro tipos de distorsiones geométricas que se detallan:

1.- Desplazamiento topográfico, las características topográficas (una montaña) se presentan con un desplazamiento con respecto a su posición verdadera en superficie; este desplazamiento depende del ángulo de incidencia, y es menos mientras mayor sea dicho ángulo.

2.- Compresión de pendientes esta deformación es análoga a la anterior, refiriéndose básicamente a la disminución aparente o compresión de laderas iluminadas de manera directa en primer plano, con respecto a las laderas opuestas.

3.- Inversión de relieve en este tipo de deformaciones, la energía reflejada de la parte superior de un objeto se recibe antes de la señal de retorno de su parte basal, esto resulta, en la imagen, en un efecto visual en el que se percibe la base del objeto como superior a su parte más alta.

4.- Sombra del radar las sombras se producen en zonas no iluminadas por el radar, ocurriendo esto cuando el ángulo de inclinación en el relieve (medido con respecto a la vertical del lugar) es mayor que el ángulo de incidencia.

3.4.4 Mosaicado

La generación de mapas de larga escala usando imágenes SAR requiere la capacidad para componer múltiples imágenes dentro de un mallado común. Estos mosaicos pueden ser cortando dentro de los estándares de los cuadrantes de los mapas y guardados de una base de datos de acuerdo a estructura del mallado. Una posible convención para seleccionar estos cuadrantes es el sistema de mapas de cuadrantes de Estudios geológicos de Estados Unidos, por ejemplo en este sistema la escala 250.000:1 de mapas tiene un cuadrante en el orden de 100 a 150 Km. en un lado.

Dado que la imagen proviene de varios sensores que han sido geocodificados para los estándares de la base de datos, la generación de una escala larga de mosaicos es un proceso relativamente simple. Esto es análogo a construir un rompecabezas dentro de una plantilla, donde en nuestro caso la plantilla es el mapa mallado. El análogo es pobre en el sentido que las imágenes geocodificadas no son ajustables entre ellas de primera vista. Allí el solape y los saltos entre los marcos adyacentes necesita la convención y la fusión entre los datos. Específicamente en la porción de los datos son desechado por los saltos y el relleno cuando se generan las imágenes mosaicadas.

En general si las distorsiones geométricas sistemáticas son propiamente corregidas en la generación de las imágenes geocodificadas estos residuos al azar de errores residuales son registrado en el marco de cada mapa. Por ello es necesario correlacionar la imágenes de los marco adyacentes (asumiendo que hay suficiente solape entre las regiones) para determinar este error residual registrado. Esta correlación es ejecutada sobre un numero pequeños de empalmes a lo largo de la región de solape en el promedio de registro que es usado para corregir. La nueva imagen para ajustar en la malla, reemplazando la data existente en las regiones de solape.

Para ajustar los empalmes, el proceso de cambio de paso es necesario. Este procedimiento consiste en derivar el promedio de la imagen en una área pequeña sobre el puente de los datos del histograma de datos. El proceso de promedio es aplicable en esta región del borde para ajustar el promedio usando una función de rampa lineal. Obviamente si el largo de la región de frontera es seleccionado en una región transicional esta será suavizada. Sin embargo esta corrección empírica aplicada a la imagen de datos en las regiones de bordes puede degradar la calibración. Dadas dos imágenes adyacentes adquiridas con dos ángulos de incidencias, en los datos el solape puede tener diferentes intensidades. El proceso del cambio de paso para mezclar en medio de las uniones, puede degradar la exactitud de la calibración, para generar una imagen estética. En principio el efecto del suavizado puede ser considerado por los factores de calibración de la escala. Sin embargo es prácticamente complejo la subsistencia de la línea de vuelo de estos parámetros de corrección. Este proceso solo puede ser ejecutado cuando se generan los foto productos para su interpretación visual.

3.5 Corrección Radiométrica de la Imagen

Las imágenes SAR han sido usadas para una variedad de aplicaciones (cartografía, mapeo geológico - estructural), para un análisis cualitativo de los productos de la imagen donde suficientemente podemos extraer información. Pero para poder extraer información contenida en la imagen SAR, el análisis cuantitativo requiere un análisis de las características de retrodispersión del objetivo.

Idealmente, todos productos que son generados por el correlacionador SAR son absolutamente calibrados tal que la intensidad de la imagen pixelada es directamente expresada en términos de la medida del factor de retrodispersión de la superficie. Esto requiere que la señal del procesador pueda adaptar la compensación espacial y temporal dependiente de las variaciones de las características del sistema de transferencia del radar. Este procedimiento referido como calibración radiométrica o compensación, estabiliza las bases comunes para todas las imágenes de píxeles, que viene dado por la intensidad de valores de los píxeles que representa el único valor de retrodispersión de la señal de poder, independiente de la señal de los datos.

Para una absoluta calibración, el factor de escala constante es requerido para compensar todo el sistema de ganancia, inclusive estimar el ruido, para determinar las contribuciones relativas al ruido termal en la señal grabada. La calibración absoluta es esencial para comparar de los datos del multisensor y para validar la medida de las características de la señal retrodispersada usando los modelos de dispersión.

Aquí vamos a introducir los términos básicos de calibración, en los parámetros de desempeño de la calibración de imágenes, para estas bases es necesario discutir varios procedimientos de sistemas de calibración requeridos para producir las medidas necesarias para las correcciones radiométricas. Ya sé a descrito el sistema

de radar interno, el externo, señales determinísticas dentro de los datos del radar de la función de transferencia sistema de radar. Por ultimo para la medida de estas señales de calibraciones y corrección de los datos de imágenes como los productos de salida que son calibrado.

En ninguna ciencia científica o ingenieril, es común la terminología usada para la discusión del desenvolvimiento del sistema de radar. Sin embargo en describir la exactitud radiométrica absoluta y la precisión relativa del sistema SAR él numero de términos usados son absolutamente libre. Sin embargo ellos son representativos de los parámetros comúnmente usado para caracterizar la fidelidad del sistema SAR.

Cuando especificamos los errores radiométricos, ellos no son dados en términos del sistema, algunas calibraciones de las medidas son referenciadas al subsistema del sensor y los partes individuales que componen el sensor.

Se define la calibración radiométrica como el proceso de caracterización de la ejecución de sistema SAR, en términos de medir la amplitud y fase de la retrodispersión de la señal. Este proceso de calibración generalmente consiste en inyectar una señal conocida dentro de los datos en varios puntos y medir la respuesta de la señal después o antes de pasar por el procesador de la señal. Se distingue la calibración desde el sistema en el sentido que la calibración funciona como parte de la operación normal del sistema.

El proceso de calibración puede ser dividido en dos categorías:

- La calibración interna es el proceso de caracterización del funcionamiento del sistema de radar usando la calibración de las señales inyectadas dentro del radar y dentro de los dispositivos.

- La calibración externa este proceso es caracterizada por el funcionamiento del sistema usando la calibración de las señales originales desde la dispersión, y los objetivos en tierra.

Los objetivos son puntos en tierra que el radar conoce sus características dispersivas y son fácilmente distinguibles.

Los procesos de calibración son distinguidos en la verificación comparada de medidas de 2 o más sensores independientes con características similares. La consistencia entre los sensores independientes de las medidas de un mismo objetivo bajo las mismas condiciones pueden ser usadas para verificar el funcionamiento de la calibración en cada instrumento. La validación de los instrumentos refiere la comparación de los parámetros geofísicos, y es derivada de algunos modelos de dispersión para conocer los valores de los parámetros geofísicos para determinar desde tierra las medidas verdaderas. La validación de los procesos asume lo valido de los modelos y útil para derivar parámetros geofísicos. De otra mano, los errores de medida del instrumento no pueden ser separado desde el modelo de incertidumbre.

3.5.1 Correcciones Radiométricas

Se refiere a la remoción o disminución de las distorsiones en el grado de energía electromagnética registrada. Una variedad de agentes puede causar distorsión en los valores registrados por cada celda en la imagen. Algunas de las distorsiones más comunes para las cuales existen procedimientos de corrección son:

1. Valores elevados uniformemente: debido a la neblina atmosférica, la cual dispersa las longitudes de onda corta (particularmente las longitudes del azul).

2. Bandeamiento debido a los detectores que se encuentren sin calibración.

3. Ruido al azar: Debido al desempeño no sistemático e impredecible del sensor o de la transmisión de datos.

Los efectos de cambio en el tiempo, para estudiar los patrones de reflectancia en diferentes tiempos o a través de mosaicos de imágenes, para calibrar los valores de radiancía, y los niveles de reflectancia absolutas de los objetos medidos por diferentes sensores correspondan entre imágenes separadas.

Calibración de la radiancía: Los valores de los píxeles en imágenes comerciales representan la radiancía de la superficie en forma de números digitales (DN), los cuales son calibrados para ajustarlos en un cierto rango de valores. La conversión del DN a una radiancía absoluta es un procedimiento necesario para comparar imágenes tomadas por diferentes sensores. Cada sensor tiene sus parámetros de calibración usados para grabar los valores DN. El mismo valor DN de dos imágenes tomadas por diferentes sensores puede representar dos valores de radiancía diferentes.

Los ruidos en las imágenes suceden debido a interferencias mecánicas en el sistema que conduce a errores de transmisión. El ruido puede desmejorar la señal registrada o virtualmente eliminar toda la información radiométrica. El ruido puede ser sistemático como el mal funcionamiento periódico de un detector, el cual resulta en el bandeamiento de la imagen.

El bandeamiento de las imágenes es producto de un ruido sistemático que resulta de la variación en la respuesta de los detectores individuales usados por una banda

particular. Ocurre cuando un detector se desajusta y produce lecturas que son más altas o más bajas que las de los otros detectores para la misma banda.

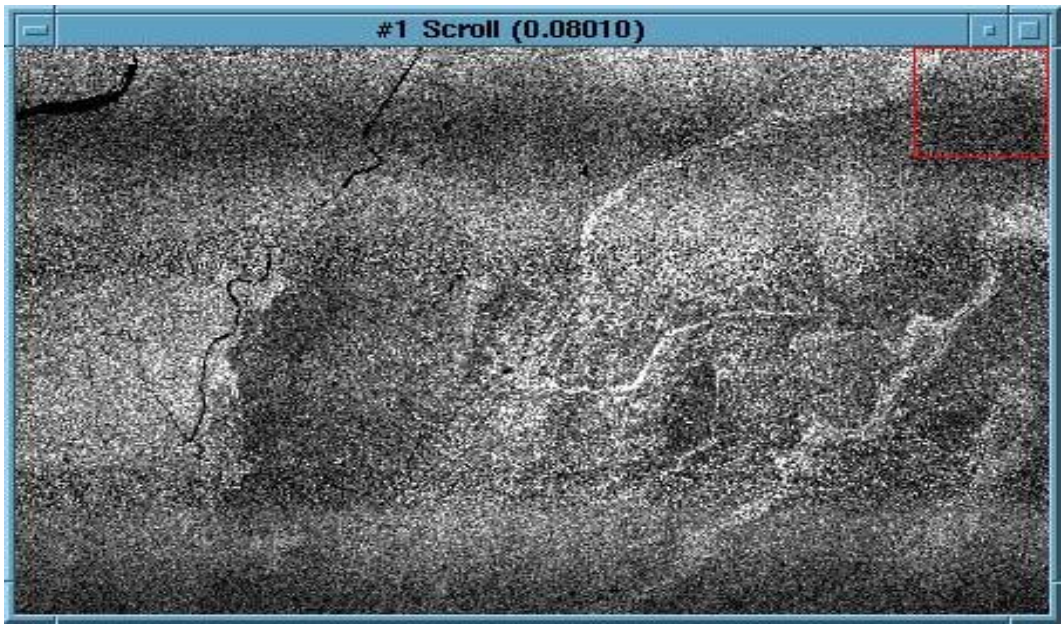


Figura 37. Bandeamiento en la imagen por Radiométria

La corrección de este efecto puede consistir en el cálculo de los ND de la fila que no muestra valores, bien sea empleando los ND de la línea anterior o posterior o con el promedio de estas dos líneas.

El ruido a veces produce valores que son anormalmente altos o bajos en relación con los píxeles vecinos. Haciendo la suposición de que los valores de la reflectancia de los píxeles con ruido muestran cambios abruptos de un píxel a otro, es posible usar operaciones con filtros para remplazar esos valores, con otros generados de la interpretación de sus vecinos. Los filtros más comunes que se aplican en estos casos son los de mediana. Entonces los píxeles con ruido, son reemplazados por el valor de la mediana seleccionada de los píxeles vecinos de la ventana específica.

Este proceso es efectivo para la remoción de píxeles con ruido, pero puede ocasionar pérdida de detalle y descalibración de los valores en los bordes. Lo cual es más fuerte en imágenes de radar, debido a la cantidad de ruido que puede ocurrir.

Las características más comunes de las correcciones topográficas de imágenes SAR son la saturación radiométrica. Esta se presenta desde el incremento en la área de dispersión efectiva de la resolución de la celda desde el radar.

La rutina de corrección topográfica usada para producir estas imágenes crea el efectos de manchado e incrementar la intensidad de la imagen total. Una representación correcta de la intensidad de dispersión puede ser normalizada por cada píxel por la actual resolución del área de la celda, puede depender del solape que es derivado desde el DEM.

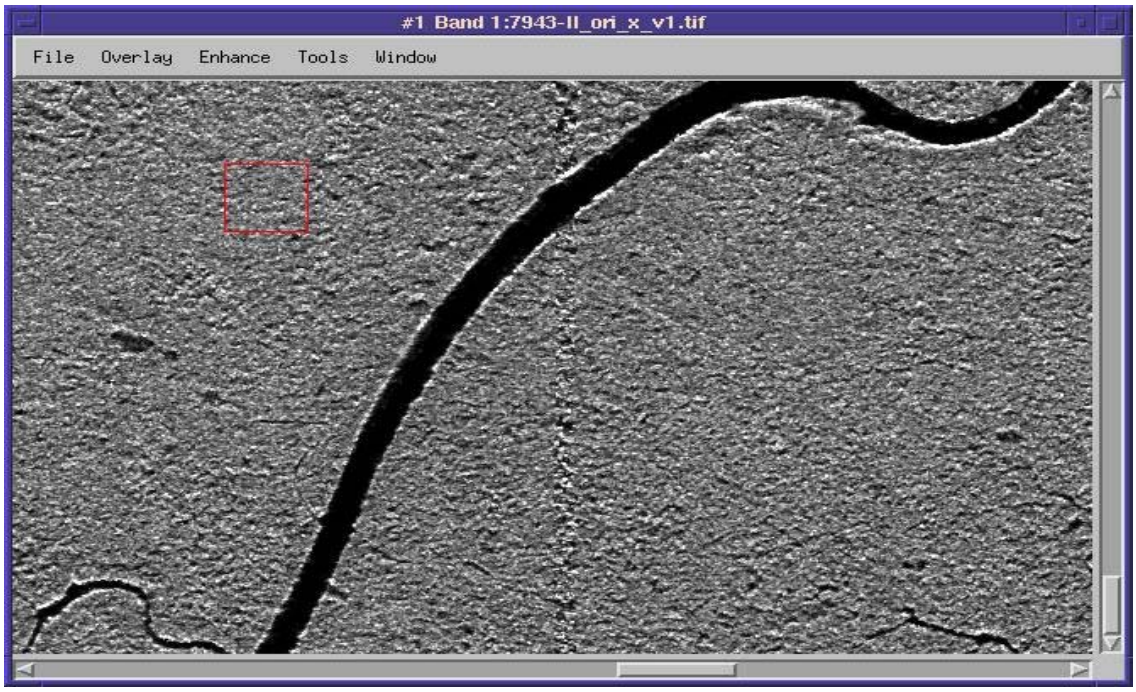


Figura 38. Ruido en la señal que produce una distorsión vertical

3.5.2 Algoritmos de Calibración

Alguno detalles de los problemas operacionales que se producen en las imágenes SAR calibradas radiométricamente, son debidas a la ecuación del radar que incluye las ganancias del procesador, requiriendo que las correcciones sean reversibles. Este proceso de inversión puede ser necesario para que los factores de corrección sean actualizados en algún tiempo después del procesamiento inicial. Luego es necesario un algoritmo flexible para que las correcciones puedan ser corregidas y detectadas en las imágenes complejas SAR. Adicionalmente el quitar el ruido no puede ser aplicado a la corrección de los datos causados por los errores locales y estas estimaciones puede resultar las estimaciones negativas de intensidad.

3.5.3 Calibración Polarimetríca del Radar

La calibración polarimetríca del radar es capaz de adquirir 4 canales simultáneos asumiendo las polarizaciones lineales, horizontales y verticales, las medidas polarimetrícas SAR. Estas técnicas son validas al mostrar el promedio de las medidas y él numero de ejemplos independiente para reducir la intensidad de la señal de ruido. De los parámetros que sirven para la posición espacial y su determinación.

El diseño del procesador para la calibración y corrección de los datos, depende del ajuste de los dispositivos internos con los puntos de control externos. El sistema genera factores de corrección que son pasados por el correlador para aplicarlo a los datos. La ecuación del radar incluye las ganancias y perdidas del procesador además de los efectos de las implementaciones del procesador. Los procedimientos de calibración dependen del sistema de polarización SAR.

3.6 Interpretación de Imágenes Digitales

La interpretación consiste en la extracción de información de las imágenes de radar y determinar atributos. Esta interpretación esta en función de los objetivos perseguidos en cada trabajo y/o investigación, y puede ser de dos tipos: visual y digital.

3.6.1.1 Interpretación visual

La interpretación visual consiste en la identificación de objetivos en una imagen mediante la observación, y puede ser realizada sobre una imagen impresa o en formato digital sobre una imagen desplegada en el monitor de un computador. Para la realización de este tipo de interpretación se utilizan una cantidad de criterios, comúnmente usados también en interpretación de fotografías aéreas. Los elementos de interpretación visual son el tono, forma, tamaño, patrón, textura, sombra y asociación.

El tono se refiere al brillo relativo que presentan los objetos de la superficie terrestre en una imagen, y suele ser el primer elemento de diferenciación entre objetos. La forma se determina por la configuración general del objeto o por su estructura. El tamaño, dependiente de la escala, es una característica relativa del objeto, a ser evaluada además en función del contexto en que se encuentra. El patrón se distingue por el arreglo o configuración espacial de los objetos distinguibles en la imagen. La textura se diferencia por la frecuencia de variaciones tonales en las distintas zonas de la imagen, áreas de relativamente baja variación tonal (texturas suaves), áreas donde la variación tonal es muy alta (texturas rugosa), así como la diferenciación de otros atributos como la forma, el tamaño e incluso la altura relativa. Por ultimo la asociación se refiere a la interrelación entre un objeto determinado y otros objeto próximos a este.

En general, la interpretación visual requiere de procesos previos de corrección y ajuste de la imagen a ser interpretada, en función de obtener una buena calidad que permita al interprete la identificación de los objetos.

3.6.1.2 Interpretación digital

La interpretación digital se refiere a la ejecución de una serie de algoritmos computarizados de reconocimiento de tonos sobre la imagen en formato digital. De manera análoga a la interpretación visual, son requeridos procesos previos de corrección y realce de la imagen, para posteriormente proceder la interpretación automatizada como su clasificación.

3.6.2 Técnicas de Interpretación de las Imágenes Digitales

La aplicación de algoritmos que realcen características de imágenes adquiridas con sensores remotos, para su interpretación con el fin de realizar el análisis visual y aplicar técnicas digitales, para realizar la identificación en superficie.

Las técnicas de realce hacen más fácil el análisis e interpretación, que permiten detectar los cambios que una imagen reflejan, ya que un sensor puede registrar la cantidad de energía que refleja un material en cierta longitud de onda, mientras otros materiales registran otra cantidad de energía en la misma longitud. El rango de valores radiométricos presentes en una imagen se refiere a este contraste. El realce del contraste es un proceso que hace a los elementos de la imagen sobresalir lo que incluye el cambio del rango de valores de una imagen, con el fin de incrementar su contraste.

Las técnicas lineales y no-lineales son dos métodos para incrementar el contraste de una imagen. Los procesos de ajuste del contraste tienden a adaptar la resolución radiométrica de la imagen en el que se visualizan los datos o niveles visuales.

3.6.2.1 Técnica de Contraste lineal

Extiende los valores digitales originales de los datos dentro de una nueva distribución. El realce del contraste lineal hace las variaciones sutiles más obvias, dentro de los datos, con lo cual la imagen aparecerá más nítida y contrastada; la distribución del histograma será más equilibrada y los valores intermedios serán repartidos en toda la escala de posibles tonos.

El proceso consiste en generar una tabla de colores en la que el Nivel Digital min. y el Nivel Digital máx. de la imagen, tengan asociados a los niveles visuales de 0 a 255, respectivamente, distribuyendo linealmente los valores intermedios. Este tipo de contraste se aplica mejor a las imágenes que cuentan con histogramas de distribución Gaussiana o cercana a la Gaussiana, donde todos los valores radiométricos caen dentro del rango del histograma.

Hay tres métodos de contraste lineal:

- Estiramiento lineal mínimo - máximo

Al usar este estiramiento del contraste lineal, el mínimo y el máximo valor de los datos originales, se asignan a un rango específico de valores que utilizan todos los tonos de grises disponibles.

- Estiramiento del contraste lineal por porcentaje.

Es similar al anterior, excepto que este método usa unos valores mínimos y máximos especificados después de liberar o acumular en los extremos del histograma, un cierto porcentaje de píxeles. Una desviación estándar puede ser usada también para seleccionar los extremos del histograma que se acumularán.

- Estiramiento del Contraste Lineal por piezas significativas

Cuando la distribución de un histograma en una imagen es bimodal o trimodal, se pueden estirar ciertos valores del histograma para el realce de áreas seleccionadas. Este método de realce del contraste se llama estiramiento lineal por piezas significativas. Una serie de estiramientos pequeños de mínimo-máximo son realizados a un único histograma. Aquí se requiere que el analista conozca bien la forma del histograma y la interprete de la mejor manera, en relación con los rasgos del mundo real.

3.6.2.2 Técnica de contraste no-lineal

El contraste no-lineal a menudo involucra igualaciones del histograma a través del uso de un algoritmo. Tiene implícita la variación de las frecuencias de los Niveles Digitales dentro de la imagen, es decir, los Niveles Digitales originales adoptan nuevos valores Niveles Visuales de salida, también varía la frecuencia de píxeles para este nuevo valor. Utilizando las siguientes técnicas:

- Igualación del histograma.

La igualación del histograma es una de las formas más útiles de realce de contraste no-lineal. Cuando el histograma de una imagen se iguala, todos los valores de píxel

de la imagen se redistribuyen. Hay aproximadamente un número igual de píxeles en cada uno de los tonos de gris especificados por el usuario.

El contraste se aumenta en el rango más poblado de valores digitales del histograma. A su vez se reduce automáticamente en las partes oscuras de la imagen asociadas con los extremos del histograma distribuido normalmente. La igualación del histograma también puede separar píxeles dentro de distintos grupos, si hay pocos valores de salida sobre un rango amplio.

La igualación del histograma proporciona a menudo una imagen con un contraste que ninguna otra técnica de realce puede propiciar, esta al mismo tiempo oculta mucha información requerida. Dicha técnica agrupa píxeles que son muy oscuros o muy luminosos en muy poco niveles de grises.

- Despliegue a Color de una imagen

El despliegue a color de los datos de percepción remota es de importancia para una interpretación visual efectiva. Existen dos métodos del despliegue de color:

1. Composición a Color:

Una imagen a color puede ser generada componiendo las bandas seleccionadas con el uso de tres colores primarios. Imágenes de diferente color pueden ser obtenidas dependiendo de la selección de las bandas y de la asignación de los tres colores primarios a cada una de ellas.

Cuando tres colores primarios: azul, verde y rojo, casi los mismos colores de la escala natural pueden ser reproducidos y esta se denomina una composición a color

natural. Empleando una composición a color es más fácil diferenciar estas coberturas, pues el color es de una gran ayuda visual.

2. Composición a color digital.

En el caso de los datos digitales, tres valores correspondientes al rojo, verde y azul se combinarán de diversas formas para producir un nuevo color. Cada combinación de píxeles de las bandas es representado en la combinación con un valor diferente. A su vez cada una de esas combinaciones tiene diferentes patrones de respuesta espectral, por lo tanto correspondería a un diferente tipo de cobertura.

3.6.2.3 Filtros espaciales

El realce espectral consiste en cambiar la representación de la escala de grises de los píxeles, con el fin de producir una imagen con más contraste para la interpretación. Este aplica la misma transformación espectral a todos los píxeles con una escala de gris dada en una imagen. El realce espacial es el procesamiento matemático de los datos de los píxeles de una imagen para dar énfasis a relaciones espaciales.

Muchos elementos naturales y hechos por el hombre presentan en las imágenes frecuencia espacial alta como: fallas geológicas, bordes de lagos, caminos, aeropuertos .

El realce espacial involucra el aprovechamiento de información de frecuencia baja o alta dentro de una imagen. Los algoritmos que realzan las frecuencias bajas en la imagen emplean un filtro (normalmente llamado pasa bajo), el cual da énfasis a las frecuencias bajas, mientras quita énfasis a los componentes de frecuencias altas. El realce de información de frecuencia alta dentro de una imagen se llama realce de

bordes. Este da énfasis a los bordes en la imagen reteniendo la calidad global de ésta.

- Filtros de paso bajo

Tienen por objetivo suavizar los contrastes espaciales presentes en la imagen, se trata de asemejar Niveles Digitales de cada píxel al de los píxeles vecinos, reduciendo la variabilidad especial de la escena. En términos visuales, esto supone que la imagen filtrada ofrece perfiles menos nítidos.

Este tipo de filtraje se utiliza para restaurar los errores aleatorios que pueden presentarse en los Niveles Digitales de la imagen, fruto de un defecto en la adquisición o recepción de los datos. Así mismo, se ha empleado para reducir la variabilidad espacial de algunas categorías, como paso previo a la clasificación. En este caso, se pretende atenuar el ruido, producido en las zonas altamente heterogéneas en relación con la resolución espacial del sensor. El caso más claro, y el más estudiado, es el que se produce en las zonas urbanas, en donde se mezclan distintos tipos de cubierta en un reducido espacio. Para disminuir esta variabilidad espacial, se han propuesto diversos filtros de paso bajo, que tienden a homogenizar los Niveles Digitales de esas zonas.

En los últimos años se ha aplicado con bastante rendimiento otro tipo de filtraje, basado sobre la mediana en lugar de la media. El filtro mediano, se basa en sustituir el Nivel Digital del píxel central por la mediana de los correspondientes a los píxeles vecinos. Su interés se corresponde con el propio de la mediana como medida de centralidad es menos sensible a los valores extremos y entraña una mejor modificación de los datos que la media aritmética de ahí que se haya recomendado su empleo dentro de las técnicas de análisis exploratorio de datos. En el contexto del

tratamiento digital de imágenes, se ha empleado para eliminar valores anómalos aislados, fruto de ruidos aleatorios en la adquisición de los datos.

Preserva mejor los contornos que el filtro promedio, pero demanda un mayor volumen de cálculo, lo que dificulta su aplicación, cuando los recursos informáticos son escasos. Se ha aplicado con éxito para reducir el moteado brillante de las imágenes de radar.

- Filtros paso alto

Este tipo de filtros pretende aislar los componentes de alta frecuencia en una imagen. En términos especiales, esto supone remarcar digitalmente los contrastes espaciales entre píxeles vecinos, enfatizando los rasgos lineales presentes en la imagen, como carreteras, parcelas o accidentes geológicos. En definitiva, se intenta reforzar los contornos entre áreas homogéneas, evidenciando cualquier discontinuidad.

Varios métodos pueden seguir este objetivo. El más sencillo pasa por restar de la imagen original la obtenida por un filtro de paso bajo. La razón es bastante obvia; si lo que se pretende es aislar los componentes de alta frecuencia (alta variabilidad), basta restar de la imagen original aquellos correspondientes a la baja frecuencia, con lo que sólo quedarían los requeridos, que se añadirían a la imagen original.

Hay tres propósitos principales de las técnicas de realce espacial utilizando filtros:

- Mejorar la interpretabilidad de los datos de la imagen.
- Ayudar en la extracción automática de rasgos.
- Quitar y reducir la degradación del sensor.

3.6.2.4 Métodos de realce espacial

Los dos métodos normalmente usados en realce espacial son:

- Convolución.

Involucra el paso de una ventana móvil (matriz de coeficientes) encima de una imagen, creando otra nueva donde cada píxel en esta nueva imagen, es una función de los valores de los píxeles originales dentro de la ventana móvil, siendo los coeficientes de dicha ventana los especificados por el usuario.

La técnica permite aislar (suavizar o realzar) componentes de interés, lo cual hace que se modifiquen los Niveles Digitales originales.

Un operador convolución, puede ser considerado como una matriz de coeficientes que serán multiplicados por cada valor del píxel de la imagen para derivar unos nuevos valores de píxel con un realce resultante para la imagen. Esta matriz puede ser de cualquier tamaño en píxeles y no tiene que ser necesariamente cuadrada.

- Teoría de transformación de Fourier

Trabaja en el dominio de las frecuencias y esta técnica permite aislar (suavizar o realzar) componentes de interés, lo cual hace que se modifiquen los Niveles Digitales originales.

3.6.3 Transformaciones de Imágenes Digitales

Son aquellas operaciones dirigidas a crear bandas artificiales, a partir de combinaciones entre las originales, con objeto de mejorar la discriminación de

algunos aspectos temáticos dentro de la imagen. Dicho brevemente, son transformaciones dirigidas hacia la clasificación temática, ya sea ésta visual o digital. Obviamente, tales operaciones no proporcionan una nueva información que no estuviera ya incluida en los datos originales. Permiten, no obstante, mejorar la disposición de los datos, de forma que sean más evidentes determinados fenómenos de interés.

La mayor parte de las transformaciones hasta ahora empleadas en teledetección son lineales. En otras palabras, esas nuevas bandas se crean por combinación lineal de las originales: sumas ponderadas, multiplicaciones o divisiones, son las más habituales.

Las operaciones entre bandas proporcionan información adicional a la que existe. Habitualmente emplean las bandas menos correlacionadas, con el fin de que el aporte de estas técnicas de procesamiento sea más significativo. Para representar el rango de la función de una forma lineal y para codificar los valores del cociente en un formato estándar.

- Adición

La operación de suma se lleva a cabo entre los píxeles de dos imágenes. Esta suma promediada, se emplea para obtener una nueva imagen con menor influencia del ruido, pues el promedio disminuye los valores altos.

- Sustracción

Se usa para resaltar cambios de regiones entre dos imágenes de la misma área. Para normalizar el resultado se puede adicionársele a la diferencia 255 y dividir entre 2. De esta forma lo que no cambia va a mantenerse gris medio.

- Cociente

Como su nombre lo indica, un cociente implica efectuar una división, píxel a píxel, entre los Niveles Digitales almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Su empleo se justifica en dos situaciones: Para mejorar la discriminación entre suelos y vegetación, y para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas.

El empleo de los cocientes para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de estas cubiertas. La firma espectral característica de la vegetación muestra un claro contraste entre las bandas visibles Mientras en la región visible, los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben. Por esta razón, la vegetación sana ofrece baja reflectividad. Este tipo de estudios sólo parecen viables en áreas de vegetación escasa, con objeto de obviar el efecto pantalla de la cubierta vegetal. Para el radar SAR esta no es una limitante ya que la banda X, puede penetrar la cubierta vegetal

La reducción en la reflectividad que presenta una zona en sombra es proporcional en distintas bandas, por lo que un cociente tenderá a resaltar el contraste espectral frente al contraste de iluminación, más claro en las bandas originales. Para el caso de datos SAR dependiendo de la banda en que se este trabajando, se pueden realizar estas operaciones, para nuestro caso disponemos de dos banda X y P, teniendo esta ultima tres polarizaciones que permite realizar nuevas combinaciones.

El estudio de las diferencias de datos a partir de variables originales, con el fin de extraer datos que no presenten redundancia y que al mismo tiempo muestren las diferencias, una vez se analicen conjuntamente todas las variables de análisis.

Los estudios multitemporales que intervienen en el estudio para la clasificación, de los componentes resultantes que se combinan para derivar mapas de cambio, donde se identifiquen coberturas con dinámica temporal. De igual forma esta técnica es empleada para el monitoreo de vegetación, a partir de la generación de imágenes de índices de vegetación, donde pueden diferenciarse las respuestas espectrales de la vegetación y del suelo.

3.6.4 Clasificación de Imágenes Digitales

La clasificación es el proceso de desarrollar mapas interpretados a partir de las imágenes de sensores remotos y es quizás el aspecto más importante del procesamiento de imágenes, supone la fase culminante del tratamiento de imágenes.

Existen dos aproximaciones básicas para el proceso de clasificación: clasificación supervisada y no supervisada. Con la clasificación supervisada es una descripción estadística de la manera en la cual las coberturas deberían aparecer en la imagen y después un procedimiento denominado clasificador, es usado para evaluar la probabilidad de que cada píxel pertenezca a una de esas clases.

Con la clasificación no supervisada es utilizado un tipo especial de clasificador para descubrir los patrones de reflectancia comúnmente ocurridos y patrones distintos de reflectancia en la imagen.

En ambos casos el proceso de clasificación puede ser visto como aquel que agrupa los píxeles con características similares. En el caso de la clasificación supervisada los conjuntos son escogidos antes de que el proceso se inicie. Esta clasificación es por ello un proceso de toma de decisiones basado en la información disponible. Con la clasificación no supervisada, por eso el proceso se considera de segmentación de clases más similares y los agrupas tomando sus propias decisiones.

3.6.5 Patrones de Respuestas Espectrales

Como ya se conoce, cada material en la naturaleza tiene su propia interacción con la energía electromagnética. Esta interacción varía de una longitud de onda a otra dando lo que se conoce como un patrón de respuesta espectral.

La base de la clasificación es encontrar algunas áreas del espectro electromagnético los patrones de respuesta que es característico de un material. Sin embargo ya se sabe que en la naturaleza la determinación de firmas distintas es muy complicado debido a:

- Los tipos de vegetación a través de las estaciones pueden variar las firmas.

- El cambio en la iluminación (topografía o estación) y variaciones en la humedad.

- La mayoría de coberturas del suelo son mezclas de rasgos que son captados como un solo píxel.

- Cuando un sensor capta los datos no se puede asegurar que el rango del espectro que usa, será aquel en el que podrá diferenciarse algún material específico.

Debido a estos problemas planteados, existe una tendencia en clasificaciones supervisadas con ejemplos específicos sobre la imagen. Llamados sitios de muestreos o entrenamiento que sirve para clasificar las demás zonas.

Parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por información adicional, permite al intérprete delimitar sobre la imagen unas áreas de entrenamiento que se consideran representativas. Tales áreas sirven para entrenar al computador en el reconocimiento de las diferentes categorías. A partir de ellas el computador calcula los valores radiométricos que definen cada una de las clases, para luego asignar el resto de los píxeles de la imagen a una de esas categorías en función de esos valores.

Respecto a la distribución, conviene tener en cuenta las propias características de la imagen, como su densidad, contenido de humedad, tipo de suelo, tonos, etc. En este sentido se afirma que la variabilidad de la cubierta es directamente proporcional a la resolución del sensor. Cuanto mayor sea el detalle espacial registrado en la imagen, mayor será su sensibilidad para detectar las variaciones internas de una categoría, antes ocultas bajo un píxel de mayor tamaño.

Para la clasificación no supervisada está dirigida a definir las clases espectrales presentes en la imagen. No implica ningún muestreo previo del área de estudio. Este método se asume que los valores radiométricos de los píxeles forman una serie de agrupaciones o conglomerados. Estos grupos corresponderían a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo que definen diversas clases temáticas.

El proceso se lleva acabo en tres etapas:

1. Selección de las variables que intervienen en el análisis.
2. Selección de un criterio para medir la similitud o distancias entre casos.
3. Selección de un criterio para agrupar los casos similares.

En nuestro contexto las variables son las bandas espectrales usadas en la clasificación, bien sean originales o fruto de una transformación. Los píxeles que

componen la imagen, son definidos por tantos valores radiométricos como bandas intervienen en el análisis. Se trata de encontrar los grupos de píxeles con valores radiométricos similares, para luego equipararlos con alguna de las clases de información de la imagen.

Los píxeles localizados de acuerdo con su valor radiométrico en cada banda, son separados y la delimitación de cada grupo espectral se inicia señalando dos criterios: uno que mida la similitud entre píxeles y otro que marque las condiciones del proceso de agrupamiento.

Se pueden realizar gráficos de la respuestas espectrales, el más elemental es un diagrama de firmas donde en la abcisa se colocan las bandas que intervienen en el análisis y en la ordenada los valores medios de píxeles para cada categoría. Este gráfico es muy útil para proporcionar una primera valoración de las tendencias espectrales de cada categoría. Las líneas paralelas y próximas indican una sobre posición entre categorías, mientras las intersecciones entre líneas manifiestan las bandas donde es más probable separar las categorías que representan.

Un histograma de frecuencias de los valores radiométricos que componen las diferentes categorías. Esto se realizará para todas las categorías al mismo tiempo asumiendo que los valores radiométricos de cada categoría se distribuyen normalmente.

La interpretación que se puede dar a este gráfico es que entre mayor sea el solape entre categorías, mayor será la confusión al discriminarlas. Esto nos puede estar dando un error previsible en la posterior clasificación.

CAPITULO IV
METODOLOGIA

4.1 Introducción

A continuación se describe la secuencia procedimientos que llevarían la obtención del producto final de la investigación, en función de los objetivos establecidos. Metodología muy importante para aquellos que quieran realizar estudio de detalle con datos de radar. Se identificaron un total de 4 etapas para la ejecución del proyecto, cada una de ellas con sus actividades especificas.

1. Adiestramiento en la utilización de las herramientas de informáticas para el procesamiento de las imágenes de Radar.
2. Adiestramiento en el procesamiento de las imágenes de Radar
3. Corrección de errores, distorsiones geométricas, combinación de imágenes, variación del contraste para facilitar el estudio del relieve.
4. El estudio de las diferentes respuestas de las imágenes digitales son hechas con los elementos de la imagen del radar (llamados píxeles) que constituyen un mallado rectangular donde cada elemento de la malla esta asociado a la amplitud y el espectro de la banda. Al graficar el histograma de valores y la distribución normal de los datos, se pueden establecer diferentes rangos, cuando los datos registrados por las diferentes bandas espectrales se puede clasificar de acuerdo a las diferentes características. El promedio de los valores de la imagen puede ser diferente variando rango de valores de los píxeles y al aplicar filtros en bandas específicas se puede reconocer ciertos minerales. Teniendo en cuenta que las concentraciones minerales pueden producir alteraciones en la superficie, así como afectar el tipo de vegetación, lo cual puede ser una evidencia en superficie que se puede utilizar para una interpretación del subsuelo. Con sensores remotos también se pueden

reconocer la topografía, lineamiento y estructuras geológicas, asociaciones minerales y litológicas, secuencia estratigráfica. Similitudes y diferencias entre la reflectancia en bandas, diferencia de brillo, clasificación estadísticas, para poder realizar interpretaciones basadas en los cambios que se puedan presentar en las imágenes. Con el espectro de la fuente, se puede clasificar y analizar la respuesta espectral, por medio de perfiles interactivos y gráficos espectrales

4.2 Procesamiento de los Datos.

Para iniciar el procesamiento de los datos del radar es necesario realizar la corrección de los archivos originales obtenidos en el campo, los archivos. INFO, STC, STATE donde están contenidos los parámetros utilizados por el radar de la línea de vuelo. A continuación se describen cada una de ellos:

4.2.1 INFO

Este procedimiento implica la revisión y corrección del archivo.info, el cual nos da los parámetros utilizados por el radar durante el vuelo son los siguientes:

- LINE : muestra él numero de la línea de vuelo.
- RADARMODE : muestra el modo de vuelo (a, b, c) el cual debe ser igual al que se muestra en LINE.
- CHANNELINDEXSEQUENCE: indica él numero de canales de acuerdo al modo de vuelo, Modo a y b: 4 canales y Modo c: 2 canales
- TRACKSIZE : indica el tamaño en Gigabites de la línea de vuelo
- TRUEHEADINGMEAN : indica la dirección (en longitud) de la línea de vuelo. Este valor debe estar acorde con los parámetros inicial y final de longitud, los cuales son: startreclong , endrelong.

A continuación se calculan los valores de los siguientes parámetros:

- Numero de líneas
- GPSTIMEFIRSTLINE,
- GPSTIMELASTLINE,
- PRFDELAYSEQUENCE.

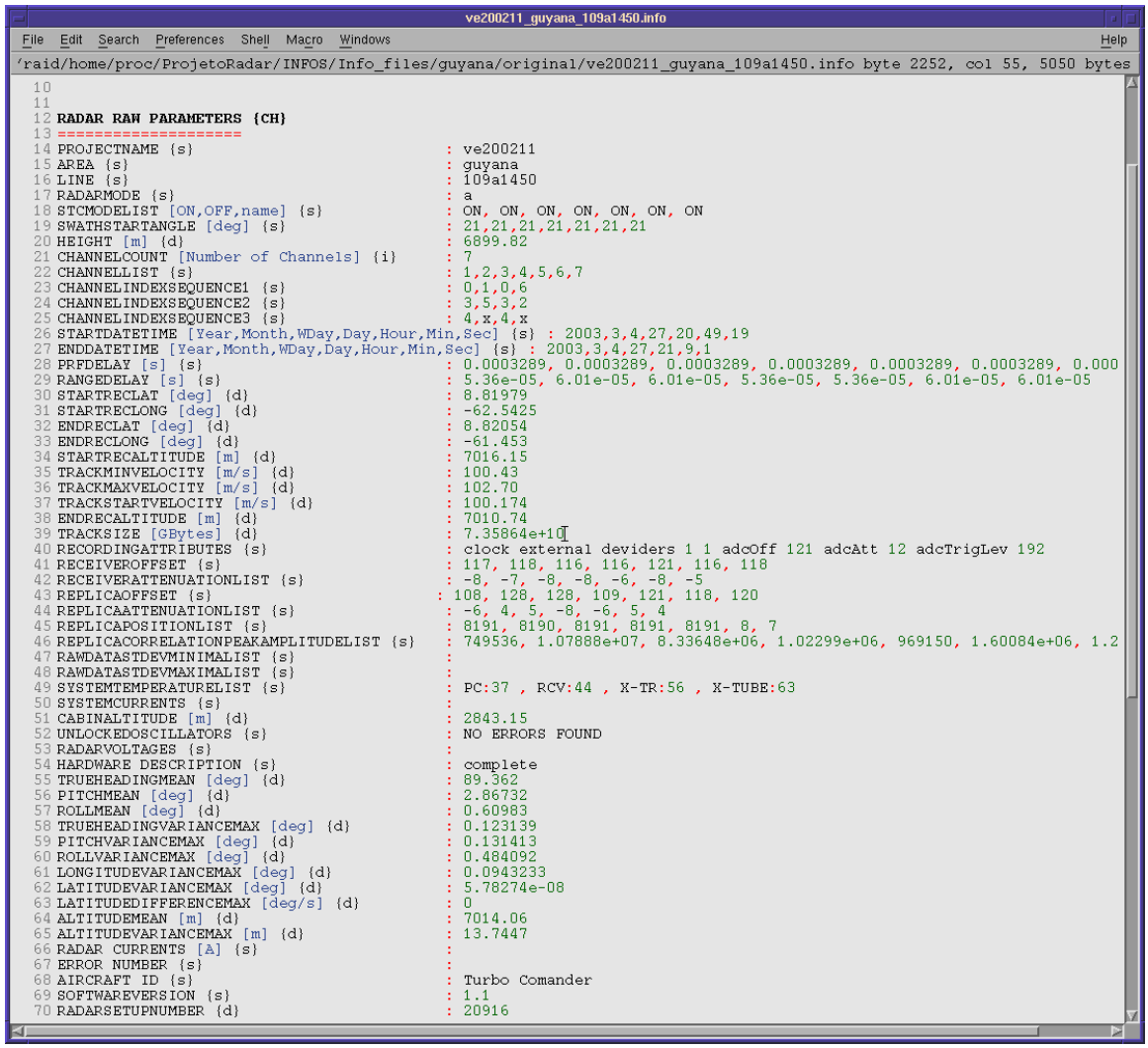


Figura 39. Contenido del archivo .Info

4.2.2 STC

Este procedimiento consiste en copiar archivos ". STC" que son necesarios para hacer una corrección de amplitud en el procesamiento de la línea de vuelo, según el modo del radar

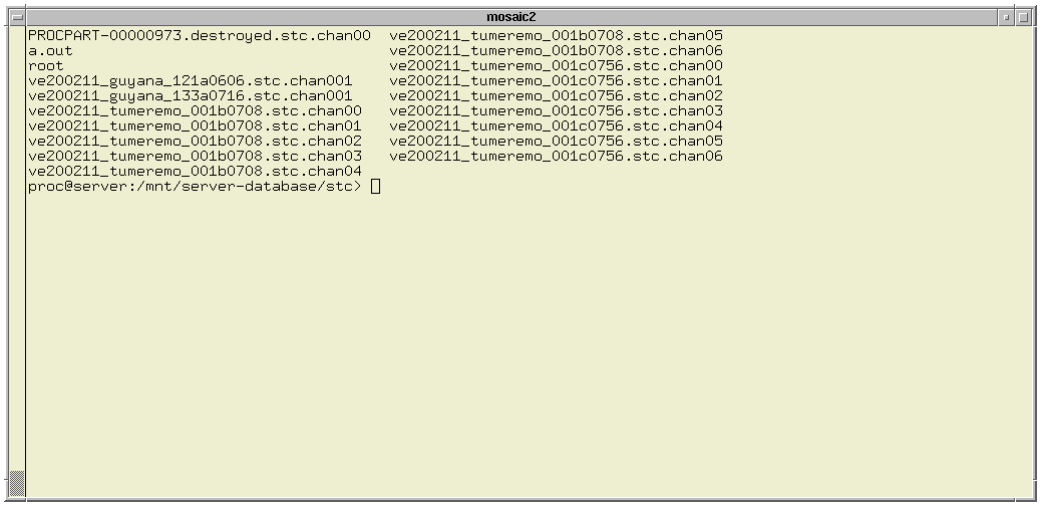


Figura 40. Lista de archivos STC según el modo de vuelo

4.2.3 STATE

Para realizar la decomprensión de los datos de formato binario a formato digital se ejecuta un programa state V_10 y este generara archivos los ".state", de la línea de vuelo. Se generan tres archivos ".state.chan00X" según el modo de vuelo a partir de los datos crudos de los archivos ". chanXXX" correspondientes

4.2.4 Interferogramas

Al tener los archivos.state de la línea de vuelo y los datos crudos Chan00X, se ejecuta el Correct11, que permite visualizar los tres archivos correspondientes a cada canal. En cada imagen de dichos interferogramas se muestra la coherencia, si presenta algún desplazamiento se debe corregir al sumarse o restarse a los archivos él numero de píxeles que están desplazados.

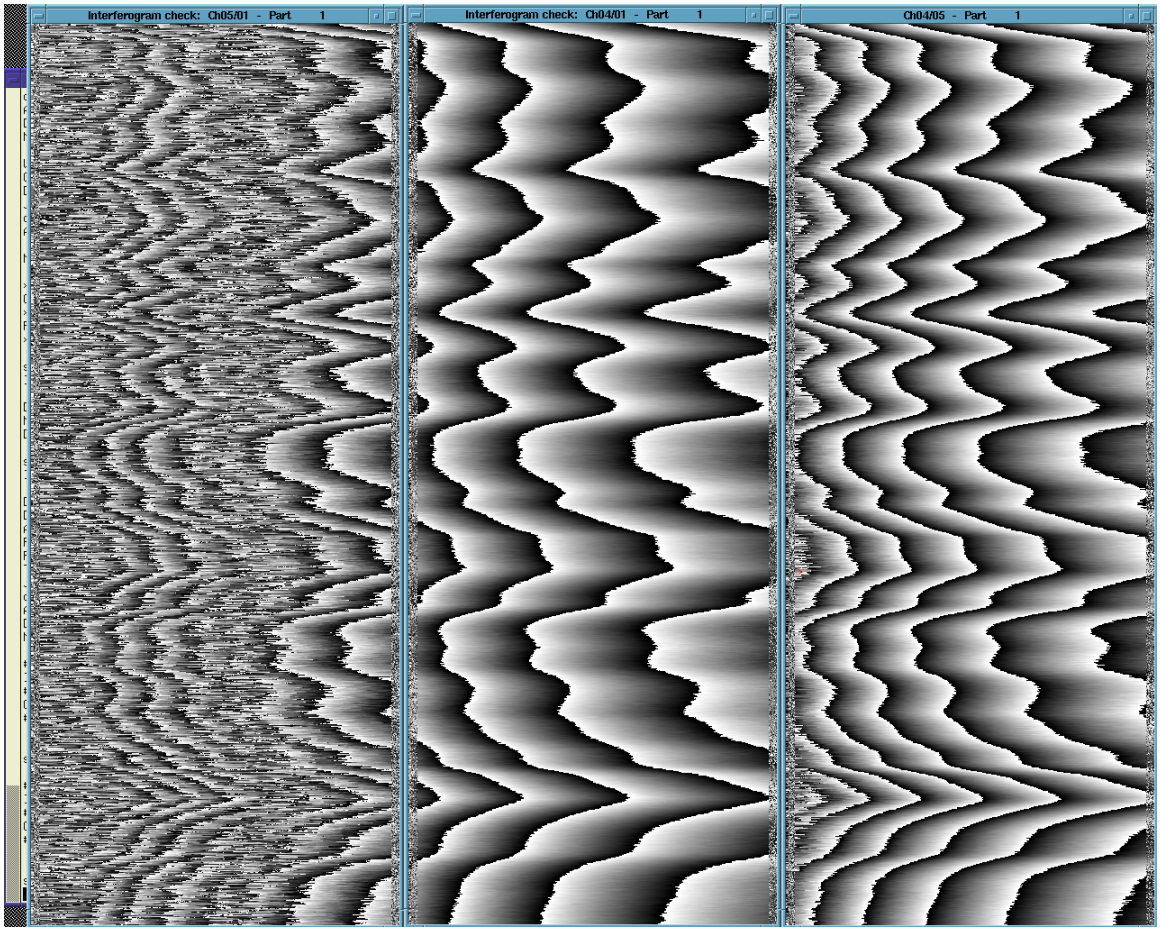


Figura 41. Interferogramas de los tres canales de la línea de vuelo

4.2.4 Coherencia

Finalmente se generan los archivos ". states" correspondiente a la banda P en el directorio de la línea de vuelo, ejecutando el programa makep_v10.pro. Estos archivos ".states" de la banda P se generan instantáneamente.

Una vez que los interferogramas de ambas bandas, se encuentran sin desplazamientos, se genera la coherencia en la base de datos, entre los tres canales de la banda X, se muestra una pantalla con la información de la línea de vuelo. Se selecciona el parámetro del archivo correspondiente al huso que se encuentra la línea de vuelo. Luego se cambian los siguientes parámetros solape: 2048, numero de partes 4096. Esto genera un PROCGROUP con una PROCPART. Una vez que el PROCGROUP junto a la PROCPART termine de ser procesada, se procede a verificar la coherencia.

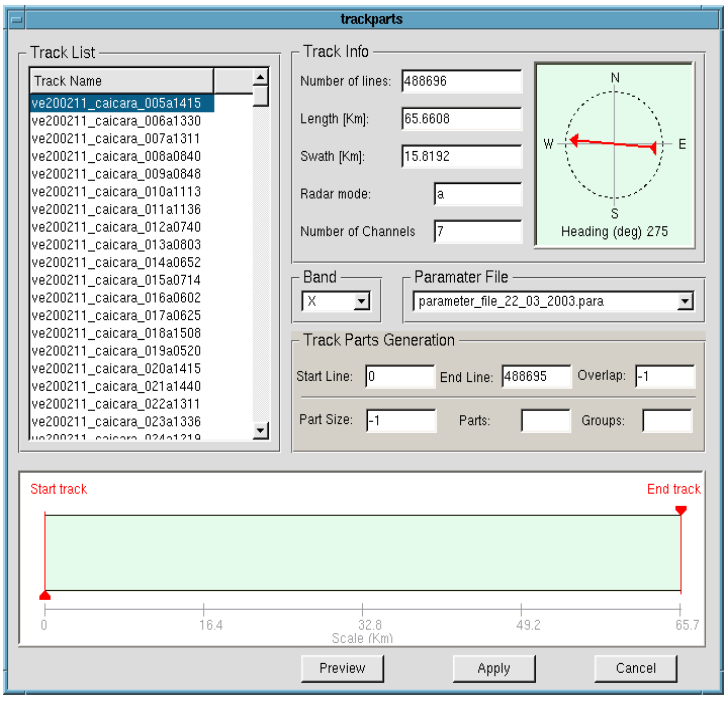


Figura 42. Información de la línea de vuelo para calcular la coherencia

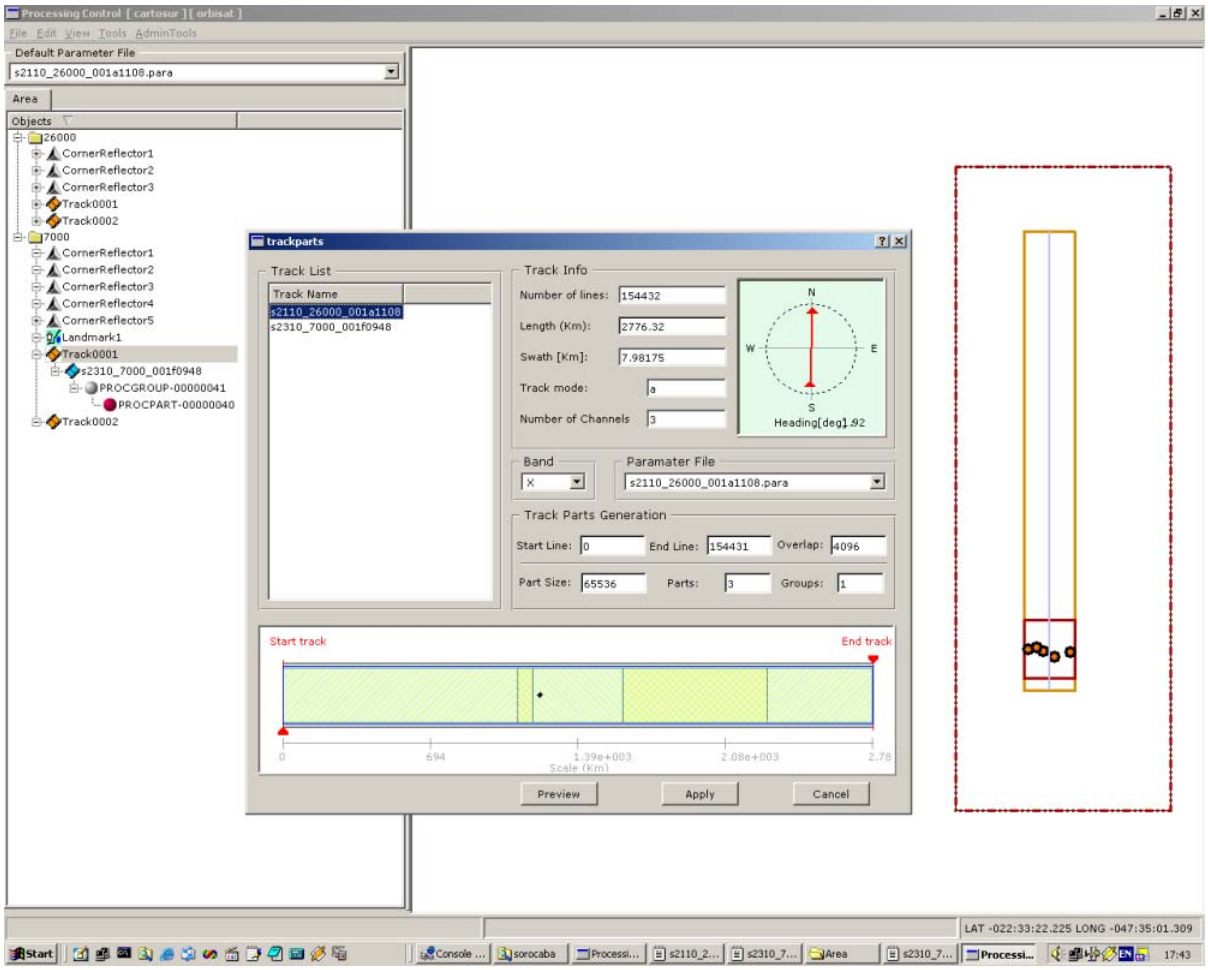


Figura 43. Ubicación de la línea de vuelo en la base de datos

Se modifica en la pantalla verde con dos flechas rojas, primero la flecha izquierda se coloca en el centro de la pantalla y la flecha derecha se alinea automáticamente al llenar la información de la línea de vuelo**.** Cabe destacar que si se trata de un corner, la flecha izquierda se coloca en el medio donde estén los corner reflectores, ya que estos son la referencia.

En este paso se visualizan los archivos que generan la coherencia de la imagen, con la extensión.bestcoh#_jpg, donde el numeral señala él numero del Interferograma por ejemplo:

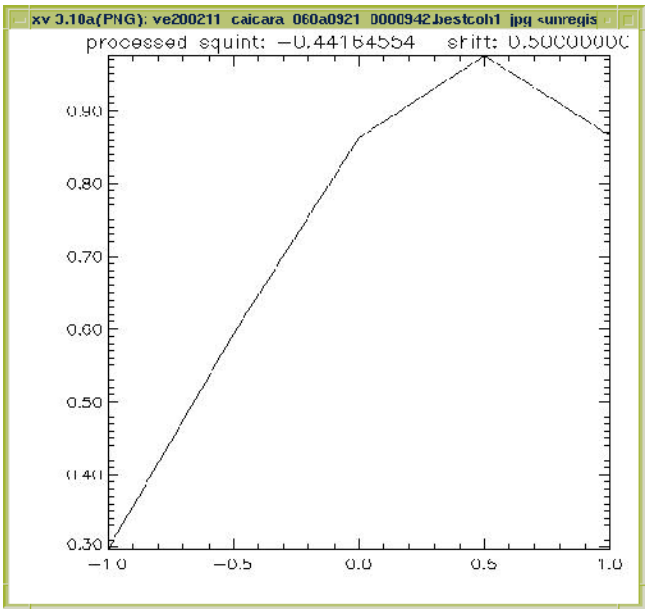


Figura 44. Grafico de coherencia de la línea de vuelo

Se debe verificar el valor máximo, que en este caso esta ubicado en 0.5; también debemos ver que la grafica alcance un máximo y luego comience a descender, porque si sucede que se vea el punto de la curva cortando con el eje y en realidad no sé esta viendo el punto de inflexión que es el salto y por consiguiente no podemos determinar si en realidad es un máximo o el comportamiento sigue siendo ascendente. Esto se hace igualmente con los interferogramas 2 y 3.

Después de ubicar los valores de los saltos, entramos en el directorio de la línea de vuelo y se hace un respaldo de los archivos.chan00*, para evitar borrar o modificar los archivos originales.

En el caso que haya que modificar el archivo por los desplazamientos se le suma o resta dependiendo de la combinación de saltos de los interferogramas respectivamente, podemos saber cuanto debemos sumar o restar al archivo.state de este canal. Este ciclo debe repetirse para los demás canales.

Después de haber corregido el archivo, abrimos el archivo para verificar la corrección y vemos que ahora todas las graficas están centradas en 1:

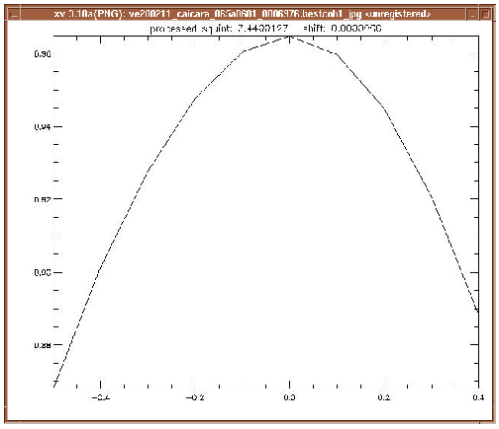


Figura 45. Grafico corregido de coherencia de la línea de vuelo

En el caso que los gráficos de bestcoherence no tienen punto de inflexión (no llega a alcanzar el máximo o no se observa). Se comienza a reprocesar a la procpart y se ejecuta el programa **bestcoherence_orig** y de esta manera:

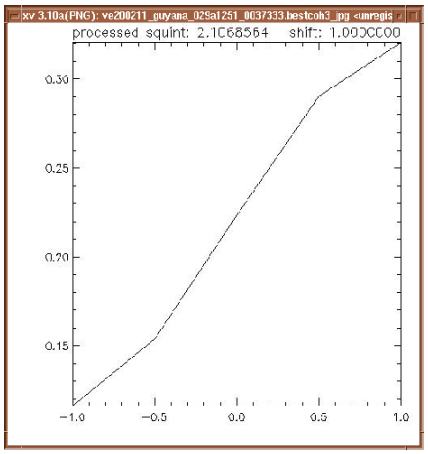


Figura 46. Grafico de coherencia sin punto de inflexión de la línea de vuelo

Al finalizar el programa, se generan los archivos bestcoherence.jpg pero con el rango más amplio y se ve el punto de inflexión del Interferograma, por consiguiente se tienen los tres interferogramas y dependiendo de los resultados, se corrigen los states.

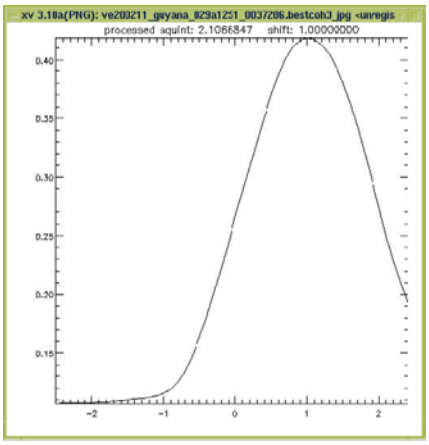


Figura 47. Grafico de coherencia corregido de la línea de vuelo

Una vez corregido los interferogramas y la coherencia, se procede a iniciar el Procesamiento para las bandas X y P respectivamente. Esta etapa consiste en generar las partes que conforman la banda X y la banda P.

4.2.5 Procesamiento de la Banda X y P

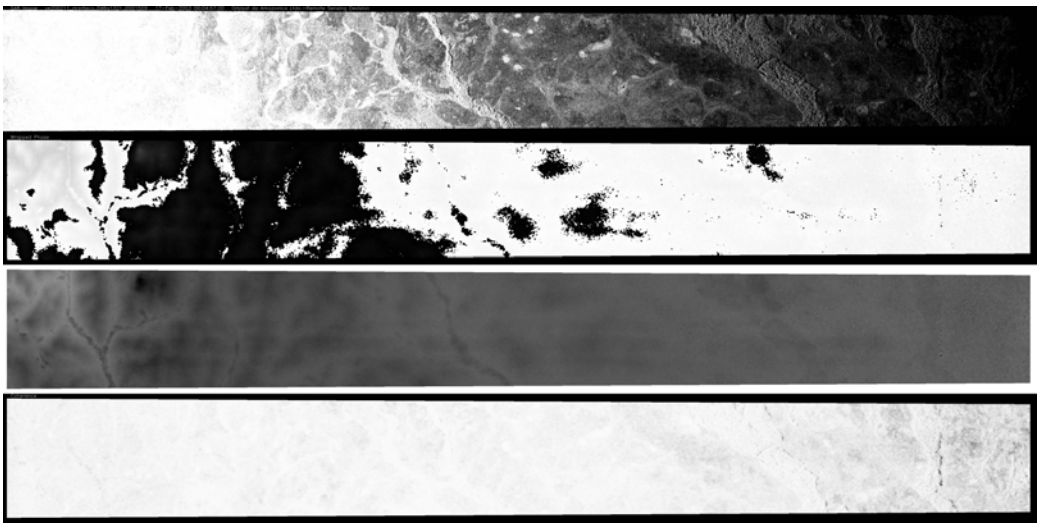
Una vez generados los ".states" de banda X y P, corregida la coherencia, se inicia en la base de datos el procesamiento de los PROGROUP de ambas bandas. Esta etapa dura de 3 a 5 días aproximadamente dependiendo de los problemas que presenten las PROCPARTS durante el procesamiento y la capacidad de la torre de procesamiento Una vez finalizado el procesamiento de la Banda X y se agrupen cada una de las partes nos permite observar las diferencias de fases en la topografía.

Una vez finalizado el procesamiento del Grupo X se generan archivos cuya extensión es ".upha_flat" que nos permite observar las diferencias de fases en la topografía a lo largo de la línea de vuelo. Cuando las diferencias de fases cambian bruscamente en determinados zonas se dice que hay errores de unwrapping., es decir, al descomprimir los archivos.

Los errores de unwrapping se pueden corregir utilizando un programa llamado P300.pro que permite estudiar las zonas con posibles problemas y corregirlas tomando como referencia la imagen SAR o de amplitud (".amp"), dependiendo del Interferograma que se utilice.

Una vez corregido el procesamiento de la banda X, se procede a Geocodificar la línea de vuelo. Esto implica transformar los valores de fases a valores de altura y georeferenciarla con respecto a las líneas de control, también se debe considerar el UTM correspondiente.

Teniendo una imagen del terreno procedente de la banda X, ya georeferenciada se procede a generar la imagen de banda P. A partir de esto de combinan las imágenes procedentes de varias líneas de vuelo y así poder generar un mapa de la zona.



1.Imagen SAR de una PROCPART procesada
2.Fase Comprimida
3.Fase Descomprimida
4.Coherencia

Figura 48. Imagen de una PROPART

Al tener la imagen de fase del PROGROUP, se deben corregir los posibles errores de fase que al geocodificarla se van a convertir en cambios abruptos de alturas, que no tienen sentido con la realidad, como se puede visualizar el contraste de color indica un posible error de fase en la banda X.

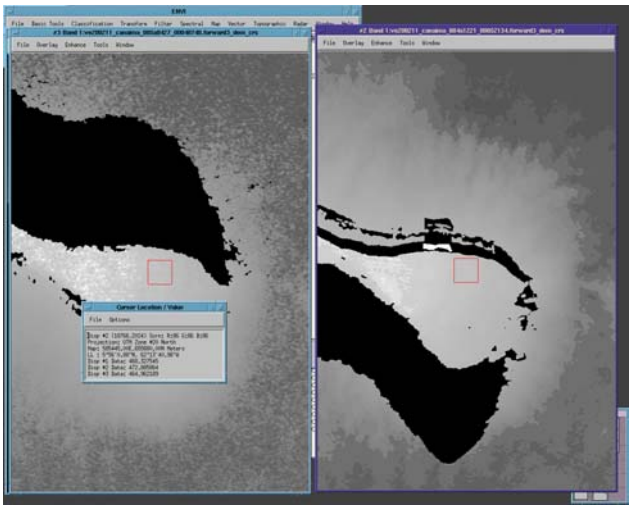


Figura 49. Error de fase de un PROGROUP

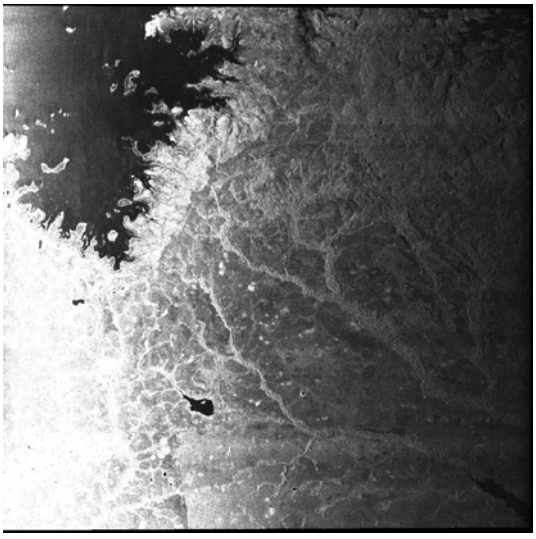


Figura 50. Imagen SAR de un PROCGROUP

Figura 51. Coherencia de un PROCGROUP

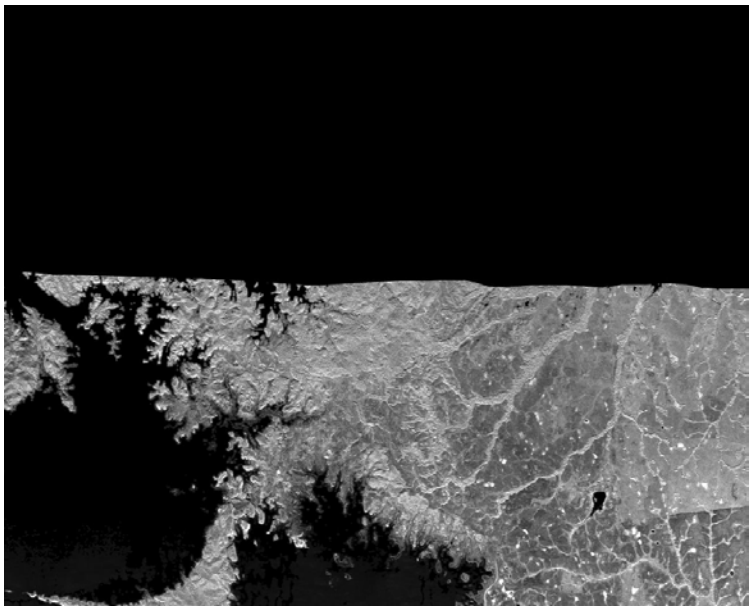


Figura 52. Imagen Geocodificada de un PROCGROUP

4.2.6 CORNER

Esto son las líneas de vuelos de control que se vuelan en sentido N – S en doble paso, para referenciar las líneas en sentido E– O, para lo que se necesita el

establecimiento de puntos de control que se ubican en puntos visibles de la imagen para la ubicación las coordenadas de los puntos de control.

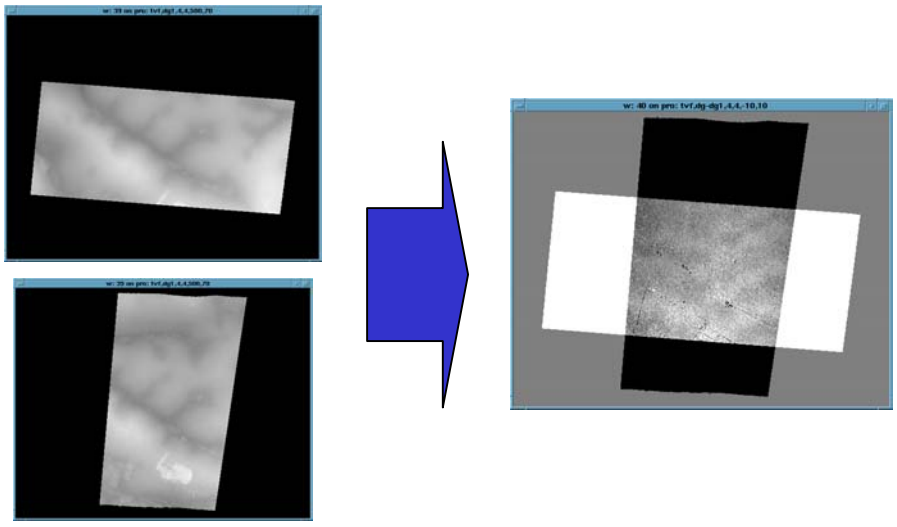


Figura 53. Orientación de las líneas de vuelo y líneas de control

Las coordenadas de los puntos de control sirven para establecer una función que relacione esta coordenada con su ubicación de la imagen, para relacionar los demás punto de la imagen con esta referencia. Por cuanto las funciones se estiman a partir de esa muestra de coordenadas, la calidad de ajuste dependerá de la precisión con que se localicen esos puntos.

Para que el ajuste entre imagen y mapa sea correcto, se requiere atender a tres aspectos en la selección de los puntos de control:

Número: el número idóneo de puntos de control depende del tamaño y la complejidad geométrica de la imagen. En caso de que el contraste topográfico sea importante, convendrá seleccionar un mayor número de puntos, y acudir a polinomios de transformación más complejos. De esta forma a partir de las coordenadas columna y línea de cada píxel, pueden estimarse las coordenadas X, Y de la imagen de salida.

Localización: se recomienda que sean puntos claramente identificables en la imagen y en el mapa, no conviene establecer estos puntos de control en líneas de costa, pues el efecto de la marea puede modificar su localización exacta. Los programas más modernos de corrección geométrica facilitan la localización interactiva de estos puntos de control, con ayuda del digitalizador. Conviene seleccionar sólo aquellos puntos claramente identificables sobre el mapa y la imagen.

Distribución: conviene que los puntos de control se sitúen uniformemente sobre todo el territorio abarcado en la imagen. Esto evitará errores debidos a una ponderación excesiva de alguna área de estudio. Especialmente importante cuando la zona presente contrastes topográficos. Resulta recomendable introducir puntos de control sobre áreas de distinta altitud, e incluso sobre cotas, siempre que éstas resulten identificables en la imagen, para un mejor control de estas variaciones.
En la siguiente imagen vemos la ubicación de estos puntos de control en el terreno:

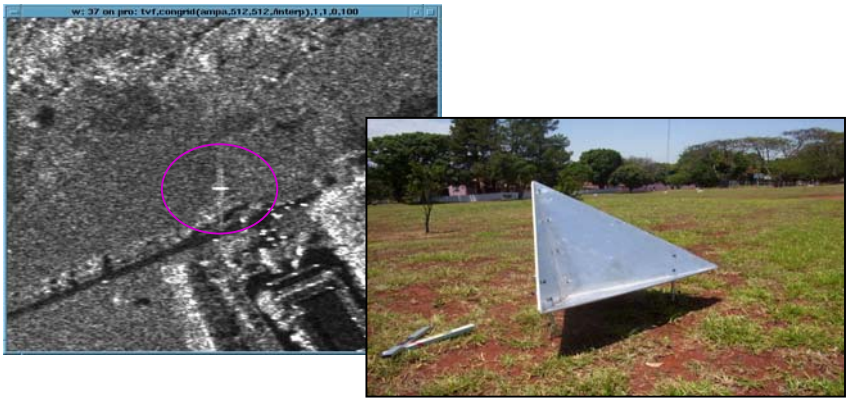


Figura 54. Ubicación de un punto de control en la imagen SAR

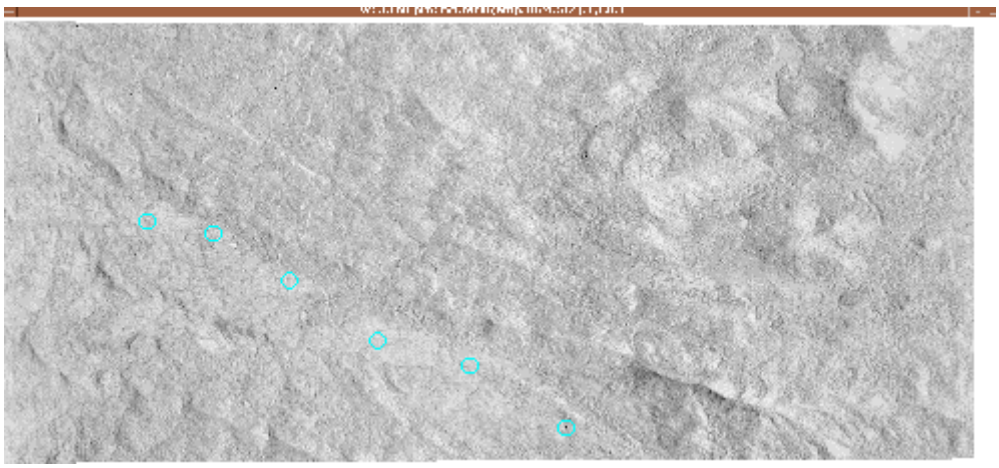


Figura 55. Ubicación de varios puntos de control en una línea de vuelo

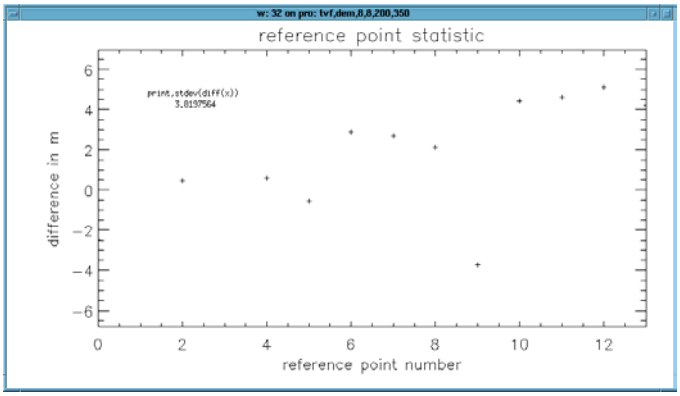


Figura 56. Distribución estadística de varios puntos de control en una línea de vuelo

En la siguiente figura se encuentra la imagen recibida por el radar por el reflector donde la cruz verde simboliza la coordenada dada por el GPS del avión, la cruz roja la coordenada dada por el GPS en tierra y el recuadro es el valor teórico, donde se puede observar la alta precisión de los métodos de georeferenciación

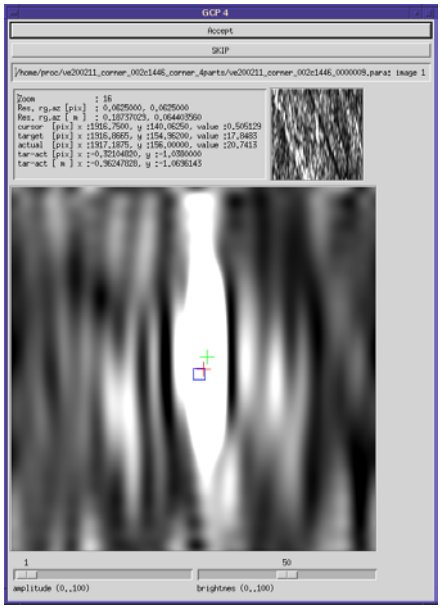


Figura 57. Comparación entre las coordenadas del avión, GPS en tierra, y la ubicación teórica de un objeto en tierra.

La figura siguiente muestra el ajuste que se le hace a las medidas de los corners, para realizar la estadística de ellos tomando en cuenta los mas alineados.

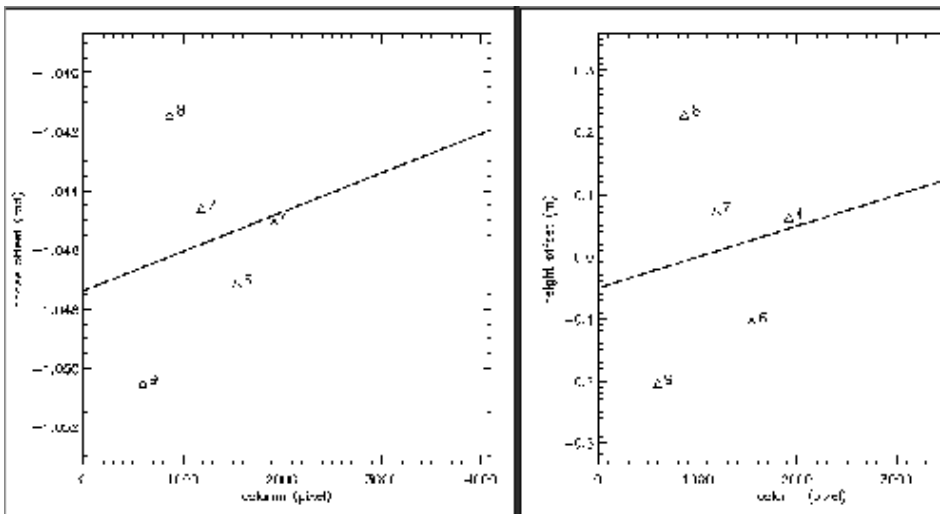


Figura 58. Estadísticas de puntos de control

4.2.7 Geocodificación de la Banda X

Antes de empezar con la geocodificacion de la banda X, los tres archivos *inf3_upha del grupo deben estar completos y correctos. En el caso de que haya errores, se deben determinar que tipo de error es, si es unwrapping o error de mal procesamiento.

a) Mal procesamiento:

Se mide la imagen.inf3_upha (a lo largo) y hasta donde esta el error, se cuenta él numero de PROCPARTS que tiene el PROCGROUP y se determina la PROCPART tiene problemas. Con ayuda del archivo.info de la PROCPART vemos su ubicación y verificamos visualmente la imagen.

Después de haber constatado la PROCPART donde esta el error, reprocesamos y se reagrupa con todas las partes del PROCGROUP.

Si tiene errores de unwrapping, se determina en que PROPART esta el error, se determina la fase absoluta por medio del programa OS-MENU, donde debe mostrar el porcentaje de la fase es menor al 90% se debe reprocesar esta PROPART.

Una vez corregido el archivo ".upha-flat" se procede a Geocodificar la línea de vuelo. Esto implica transformar los valores de fases que tiene el archivo ".Upha-flat" a valores de altura y georeferenciarla.

Verificar si existe el grupo GEO correspondiente a la banda X en la base de datos, si no existe hay que crearlo, para ello se selecciona el PROCGROUP de la banda X, se va al modulo de geocodificación de la banda X. Una vez que el GEO este listo se

verifica su ubicación. Se revisa las coordenadas de acuerdo al UTM (Depende del huso donde este la línea de vuelo).

4.2.8 Corrección de la Rampa del GEO X

Al tener la imagen geocodificada se procede hacer una diferencia entre la imagen geocodificada y el corner para corregir las diferencias de altitud como se ve en el siguiente grafico:

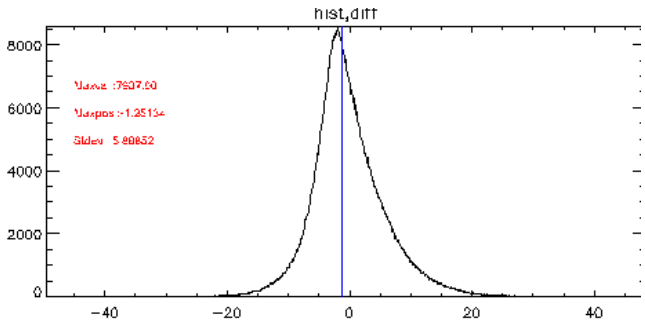


Figura 59. Desviación entre la altura de la línea de control y la línea de vuelo

También se procede a hacer un perfil a lo largo de la línea de vuelo y determinar como es su variación y si tiene alguna inclinación. Como se ve en el siguiente grafico:

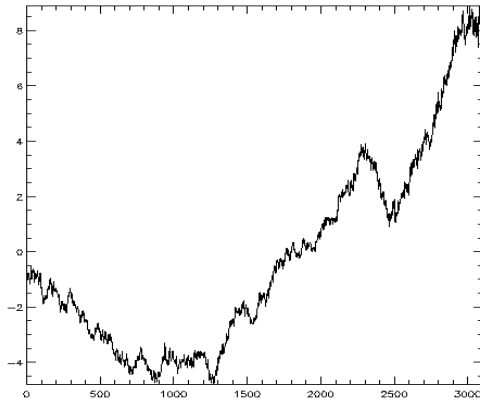


Figura 60. Perfil de la línea de vuelo

Si la grafica tiene una inclinación tanto ascendente como descendente, los valores promedios y de la desviación estándar orientan sobre el ajuste, que se tiene que hacer al valor de la fase absoluta

Aquí se mostrara un perfil cuyos valores inicial y final nos servirán para realizar la corrección, al ejecutar el programa KDEM obtenemos la siguiente grafica.

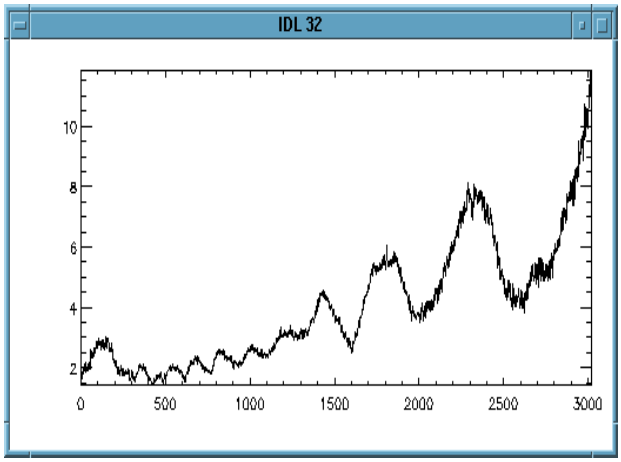


Figura 61. Ajuste del perfil de la línea de vuelo

El programa solicita el valor del punto de corte de la curva con el eje (en el ejemplo eso es 2.), luego pide un valor del punto máximo al final de la curva (en el ejemplo 12.)

Si los datos introducidos están correctos, se espera que el programa termine su ejecución y chequea el perfil de nuevo. Debe realizarse tantas veces como sea necesario hasta que los extremos del perfil estén centrado en cero. Si luego de la primera corrección el perfil no corta en cero, sé grafica el perfil:

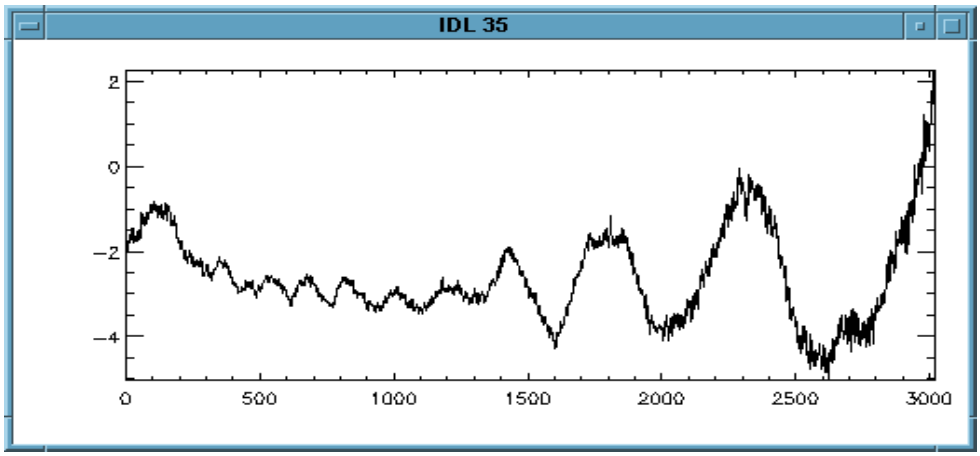


Figura 62. Primer ajuste de la línea de vuelo

Se ejecuta el programa KDEM, el valor del mínimo en este caso es -2, y el máximo es 2 pues como se ve el promedio de la curva esta alrededor de cero, para corregir se debe obtener una curva cuyos extremos estén en cero. Como se muestra a continuación.

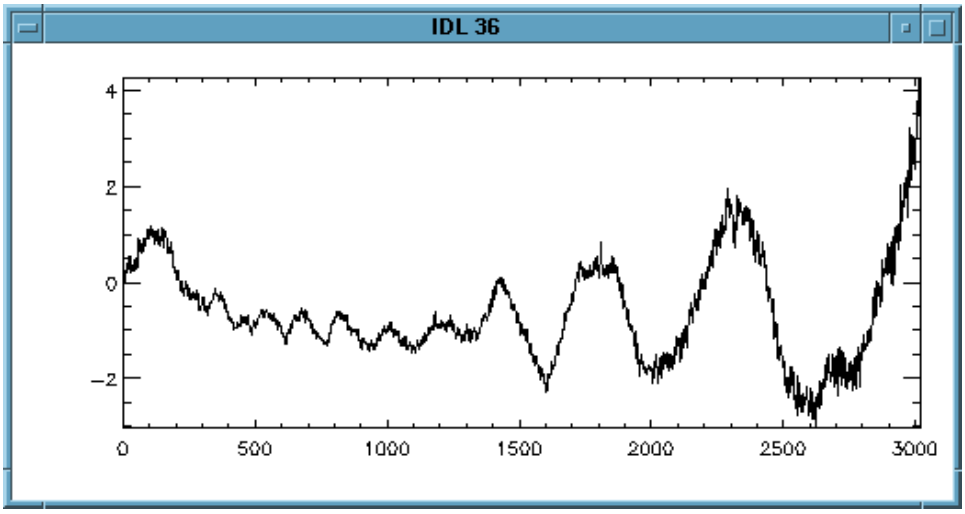


Figura 63. Ajuste final de la línea de vuelo

CAPITULO V
INTERPRETACIÓN

Este capitulo consiste en la interpretación de las imágenes, el cual estará dividido en dos secciones: Una interpretación para la carta 7638-II, que cubre el área denominada el Manteco-Gurí, que cuenta con imágenes multitemporales, Landsat e Interferometría. Otra zona de estudio es el área de Bochinchito ubicada en la carta 8038-IV, que cuenta con estudios geofísicos que ayudara a evaluar la utilización del radar en la geofísica. Estos serán presentados de la siguiente manera:

5.1 Estudio de Interferometría y modelo de altura de El Manteco

Se corrigió geométricamente la imagen (SAR) a partir de la identificación de los puntos comunes de la imagen para obtener un mapa de cobertura digital.

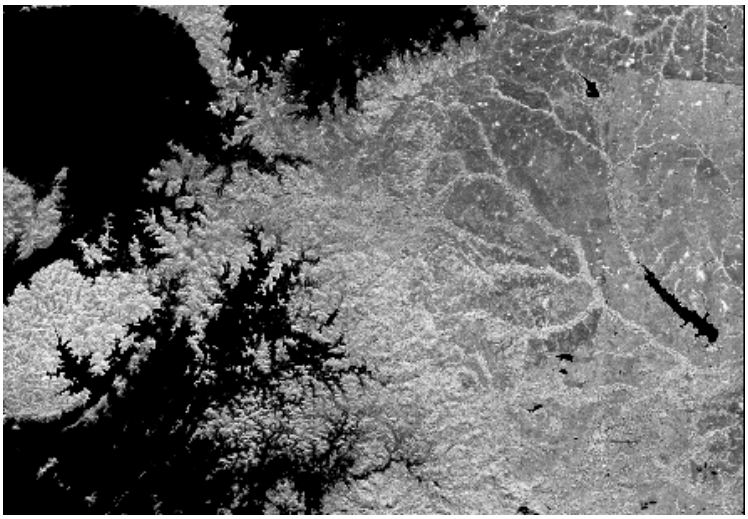


Figura 71. Imagen SAR de El Manteco.

Se obtuvo una imagen Landsat – ETM, aunque suelen sufrir interferencias de nubes, como se ve en las zonas obscuras. Esta sirve de referencia para el análisis de datos del radar.

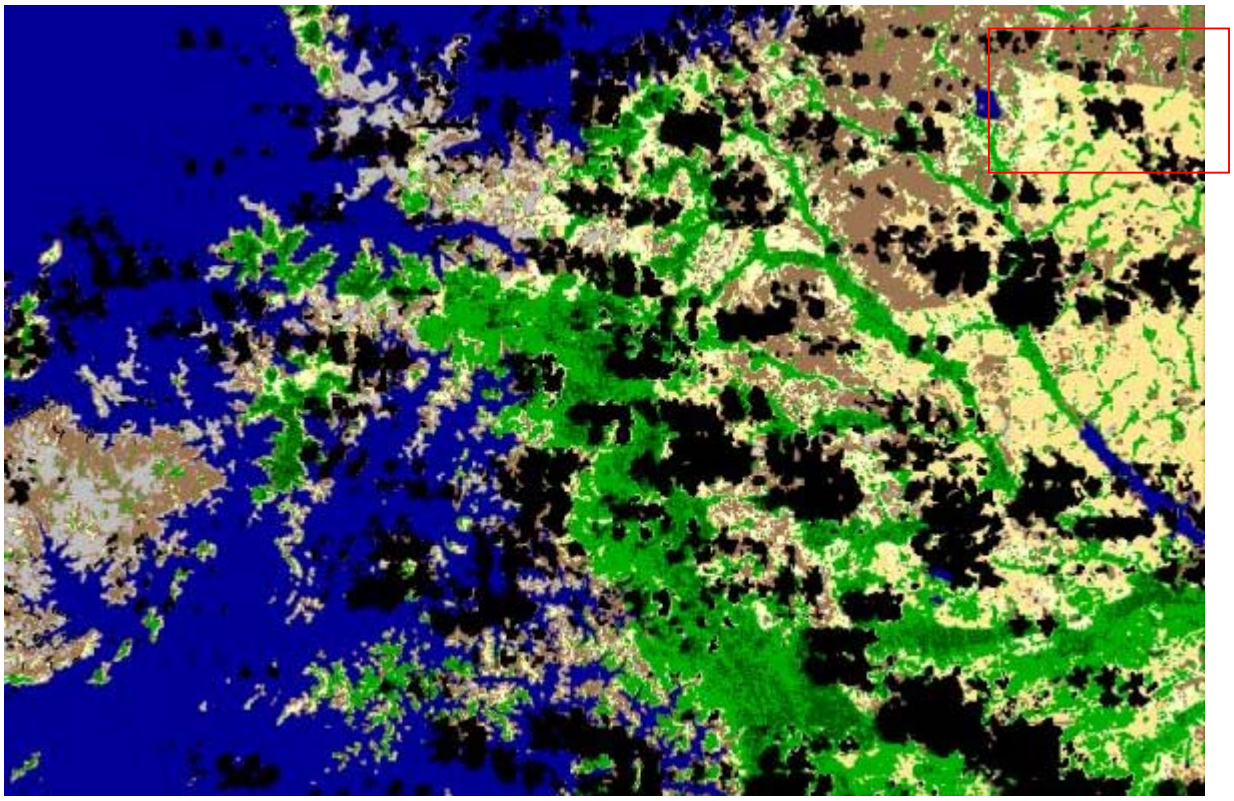


Figura 72. Imagen Landsat ETM de El Manteco, 4 de septiembre de 2002

En grandes rasgo se observa la presencia de agua (color azul); así como zonas de vegetación donde la tonalidad verde oscura representa bosques densos (concentrado en la zona de contacto con el agua) y la mas clara representa vegetación superficial de menor altura. Se marcan algunas regiones marrones evidenciando suelos desnudos o sin cubierta vegetal. Hay también zonas grises no clasificadas. Hay un detalle interesante en el recuadro rojo de ambas imágenes, aunque la imagen es una combinación de grises, se observa una contraste que pareciera un error radiométrico pero vemos como en la imagen Landsat muestra el marcado cambio lateral. Es de notar el detalle de la imagen SAR y su nitidez. Mostrando los cambios de topografía

El detalle de una imagen Landsat, muestra los puntos de control geográficos para su georeferenciación, aunque la escala de la imagen es de 1:25.000, no se aprecian detalles de topografía. Adicionalmente vemos como la nubosidad presenta zonas de sombra y que solo en zonas despejadas se observa los cambios de color que indica cambios de cobertura de la superficie.

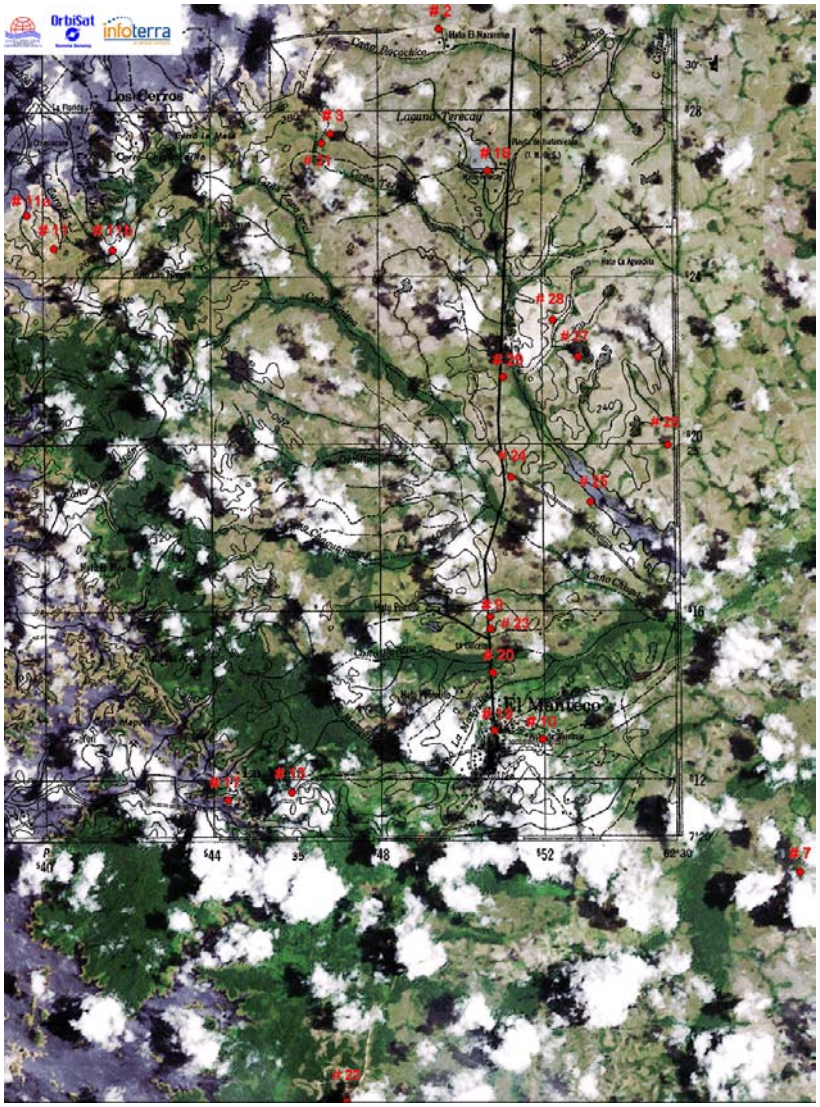


Figura 73. Detalle de la imagen Landsat

En la siguiente imagen de la Banda X y Banda P Interferométrica (phh, phv, pvv) correspondiente a noviembre de 2002, se aplicaron las siguientes técnicas:

Filtrado de adaptativo

- Eliminación de manchas
- Filtrado de manchas para reducir el ruido de imagen
- Segmentación
- Algoritmo simulado de recocido para reducir también y suavizar la imagen dividiéndola en zonas homogéneas (segmentos)
- Clasificación de formación de umbrales simple sólo en caso de usar datos banda X HH
- Clasificación supervisada y no supervisada (método de máxima verosimilitud) para clasificar bandas P y X en las clases de coberturas del terreno
- Identificación de objetos lineales

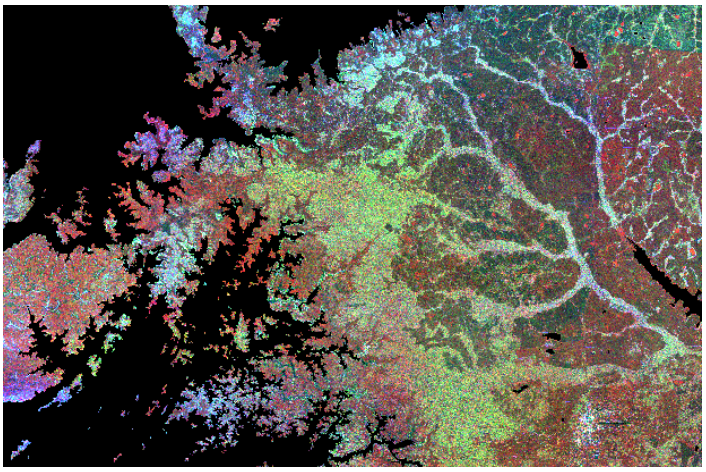


Figura 74. Interpretación interferométrica del mapa 7638-II (11-2002)

Se observa un marcado contraste en la biomasa zonas rojas de vegetación alta, verde vegetación mediana y azul vegetación baja. Canales bien definidos, así como una clasificación de puntos similares distribuidos en el mapa.

En la siguiente imagen de la Banda X y Banda P Interferométrica (phh, phv, pvv) correspondiente a abril de 2003, se aplicaron las siguientes técnicas:

- Creación de todos los datos de amplitud de bandas P y X
- Segmentación del conjunto de datos de amplitud
- Agrupación de segmentos estadísticamente similares mientras se hace uso de la información de píxeles subyacentes de los datos originales
- Selección de zonas de entrenamiento
- La clasificación supervisada de segmentos que el hace uso de la información de píxeles subyacentes de los datos
- Separación de clasificación no supervisada del sitio
- Identificación separada de objetos lineales a través de interpretación de imagen

Combinación de todos los pasos del análisis en el mapa final

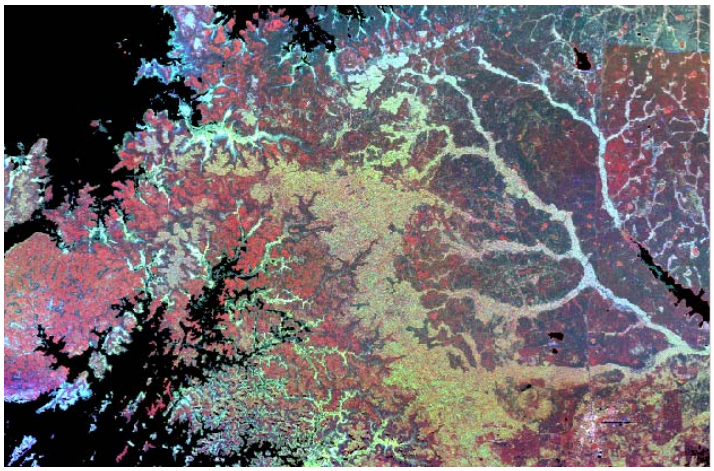


Figura 75. Interpretación interferométrica del mapa 7638-II (04-2003)

Ahora se observa una disminución de la masa vegetal, así como en el cambio del nivel de agua. Estos cambios se cuantifican de la siguiente manera:

Estudio de nivel de aguas

Vuelo 1 (11-2002)

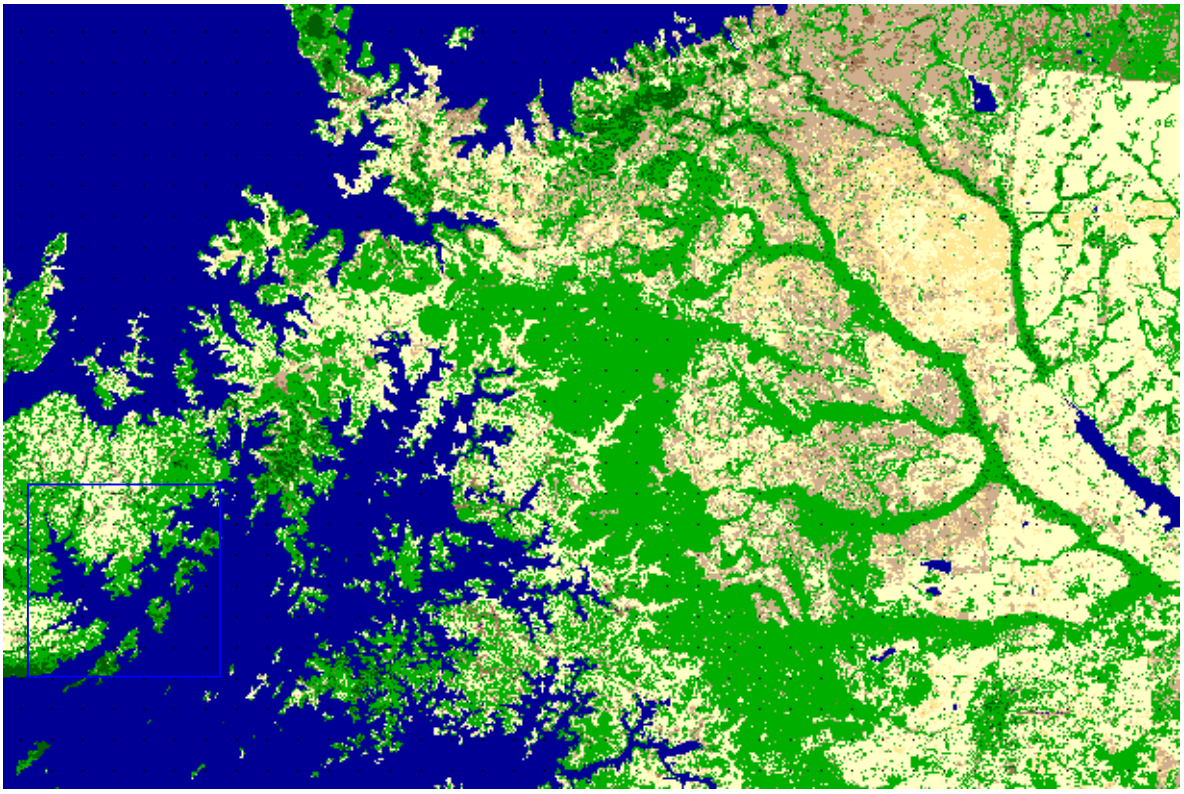


Figura 76. Nivel de agua del mapa 7638-II (11-2002)

Esta imagen SAR clasificada, muestra la época de invierno donde el nivel del embalse del Gurí es mas alto (mayor penetración en tierra, como lo muestra el recuadro azul), así como la vegetación clasificada en dos tipos: alta (verde) y baja (amarilla)

Estudio del nivel de agua Vuelo 2 (04 -2003)

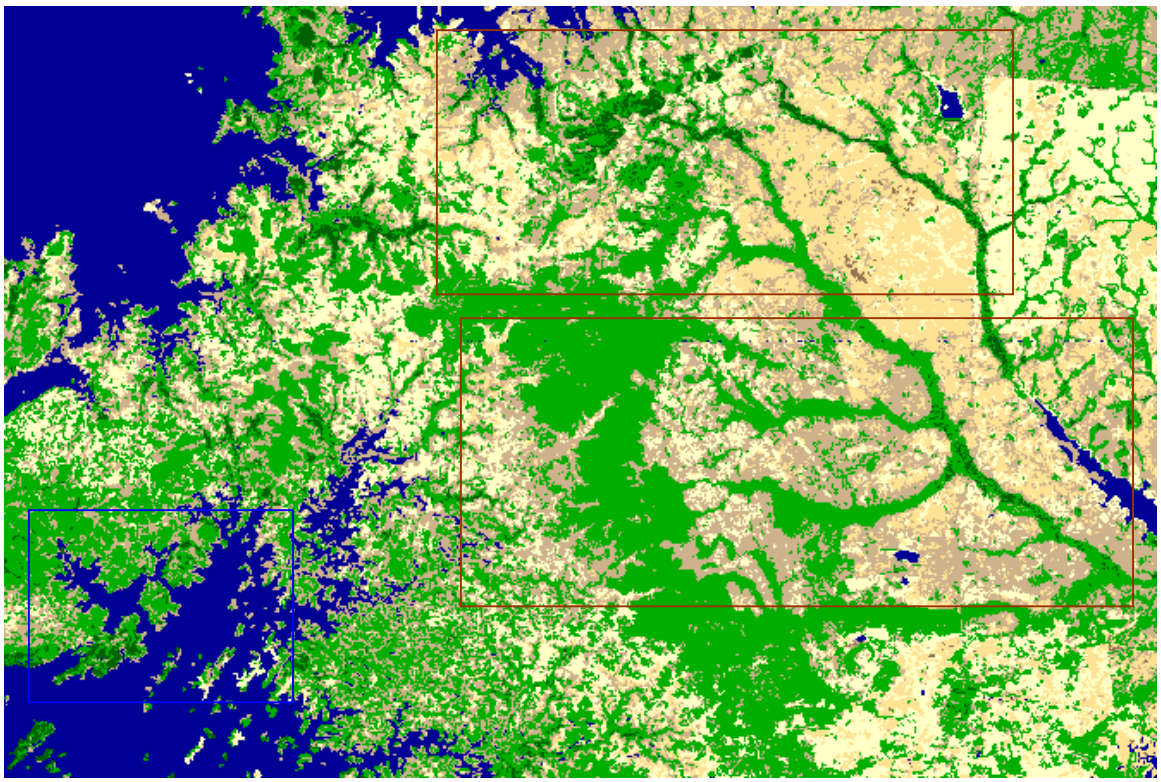


Figura 77. Nivel de agua del mapa 7638-II (04- 2003)

Esta imagen SAR clasificada, muestra la época de verano donde el nivel del embalse del Gurí es mas bajo (menor penetración en tierra, como lo muestra el recuadro azul), así como la disminución de la vegetación alta (verde), baja (amarilla) y aumento de la vegetación de sabana escasa ((marrón y naranja) recuadro marrón). Esta variación se cuantifica con el programa Microstation que arroja los siguientes resultados :

Estudio de Biomasa Vuelo 1 (11-2002)

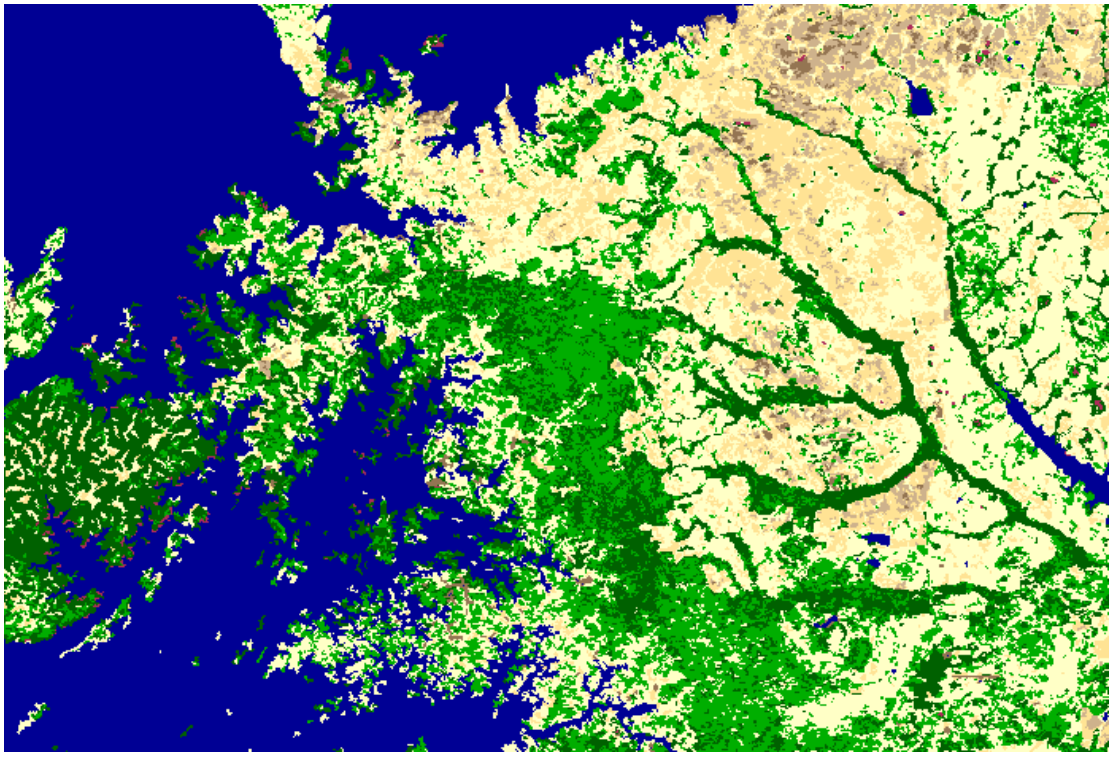


Figura 78. Clasificación de biomasa del mapa 7638-II (11-2002)

Esta imagen SAR clasificada, muestra la época de invierno donde se observa:

- Vegetación alta (verde)
- Vegetación baja (amarilla)
- Vegetación de sabana escasa (zonas claras)
- Estimación de selvas (zonas mas oscuras)

Estudio de biomasa Vuelo 2 (04-2003)

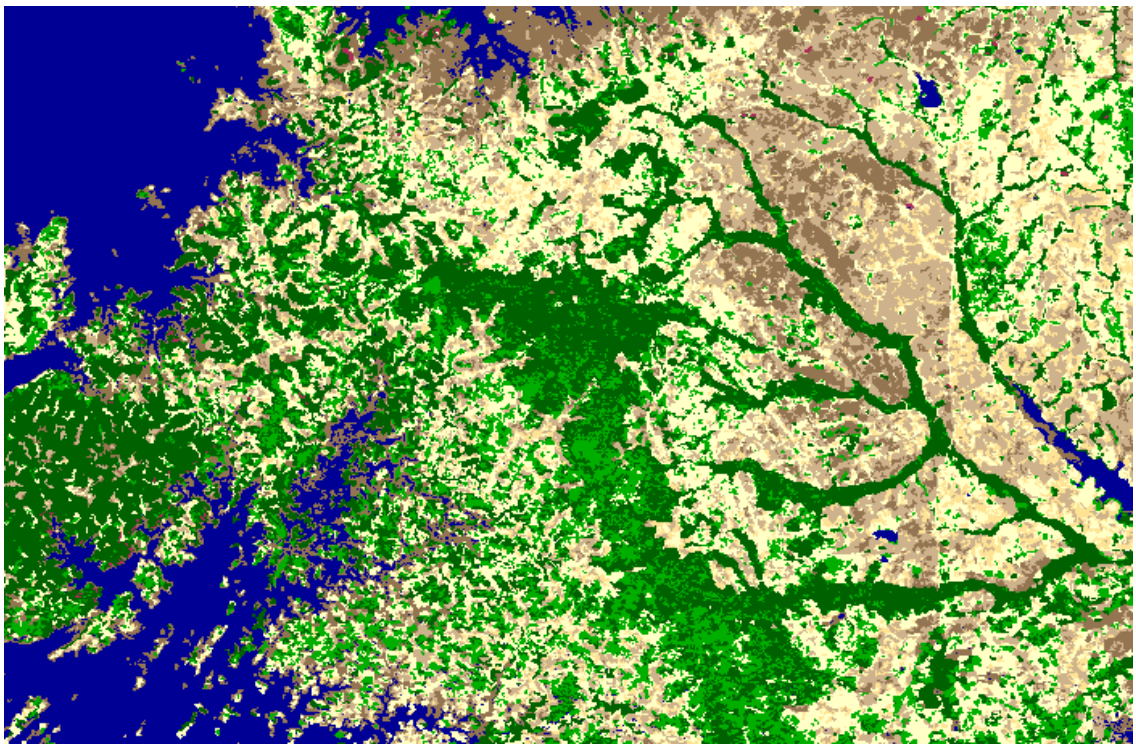


Figura 79. Clasificación de biomasa del mapa 7638-II (04-2003)

Esta imagen SAR clasificada, muestra la época de verano donde se observa:

- Vegetación alta (verde)
- Vegetación baja (amarilla)
- Aumento la vegetación de sabana escasa (marrón)

Esta variación se cuantifica con el programa Microstation que arroja los siguientes resultados :

Clase explotación suelo	Vuelo 1 (%)	Vuelo 2 (%)	Delta (%)
Agua	30,6	19,8	-10,8
Suelo desnudo	1,0	8,5	7,5
Vegetación escasa	3,1	13,1	10,0
Vegetación herbosa I	11,1	8,4	-2,7
Vegetación herbosa I	24,7	18,3	-6,4
Bosque	15,6	13,3	-2,3
Selva	13,2	28,9	15,7

Por medio de la diferencia entre imágenes, resaltamos aquellas zonas donde sucedieron cambios, como se presenta en los dos casos para ambas bandas.

Caso # 1 Diferencia de la banda X

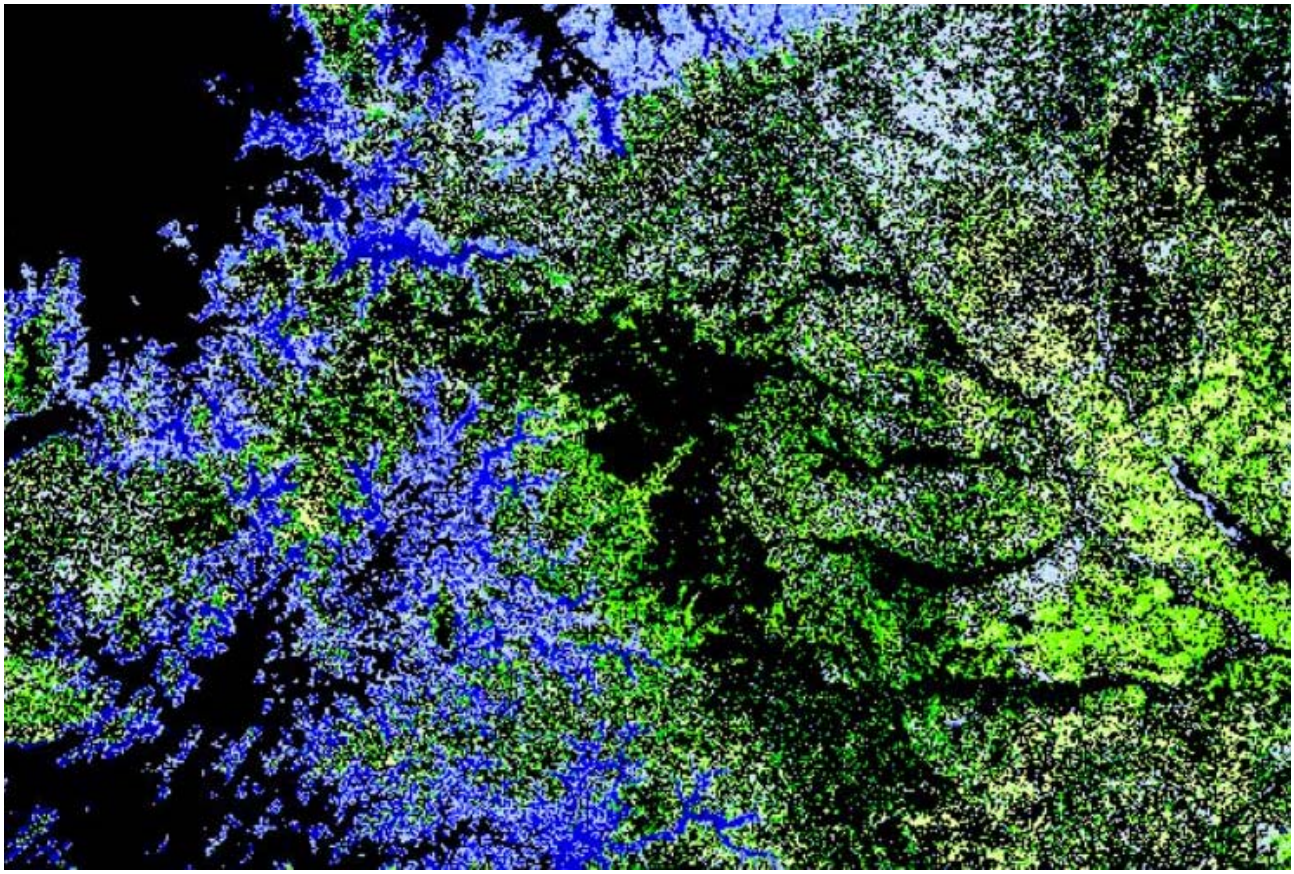


Figura 80. Diferencia entre la banda X del mapa 7638-II

Los colores verdosos indican disminución o desaparición de la vegetación especialmente en las sabanas debido al aumento de la sequía. Los colores azulados indican los cambios en el nivel de agua, que son mas marcados por el detalle que proporciona esta banda para las diferencias entre los modelos de altura.

Caso # 2 Diferencia de la banda P

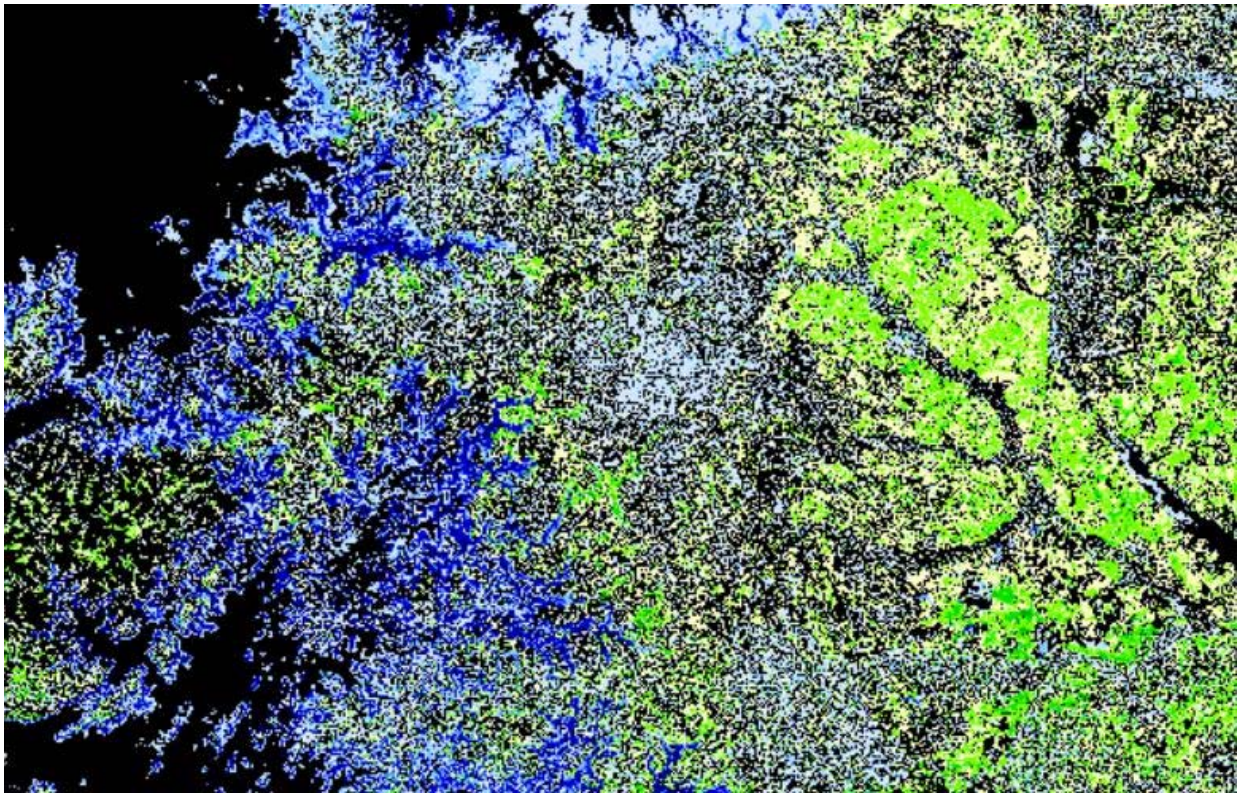


Figura 81. Diferencia de la imágenes de la banda P del mapa 7638-II

La distinción de la clasificación con la banda P, es mucho más sensible a los cambios de pequeña escala especialmente en zonas de sabana. Por lo que se aprecia una variación del color verde más acentuado, cambios mas detallados en el área vegetal. Ello se debe a ligeros cambios superficiales en la copa de los árboles, indicando la disminución en la vegetación. Los colores azulados indican los cambios en el nivel de agua, menos marcados que para el caso de la banda X, ya que la apreciación es menor.

Por ultimo se realiza una combinación de las tres polarizaciones de la banda P (phh, phv, pvv) y se aplico el filtro RGB (Red Green Blue) Rojo, verde, azul, para hacer una clasificación de la clase de biomasa cualitativa asignada. Los colores verdes y amarillos representan elevada biomasa, el rojo representan selvas con mayor concentración de vegetación. Este filtro es muy útil para generar imágenes que represente características propias de la zona de estudio, muy parecidas a las imágenes Landsat, sin tener que aplicar una clasificación de falso color. Además de tener reflejada la topografía como lo vimos en la imagen SAR original, lo que muestra la utilidad de estas imágenes que en un principio solo representaban buen detalle con una escala de grises, pero la interferometría permite visualizar ambos cambios en una sola imagen.

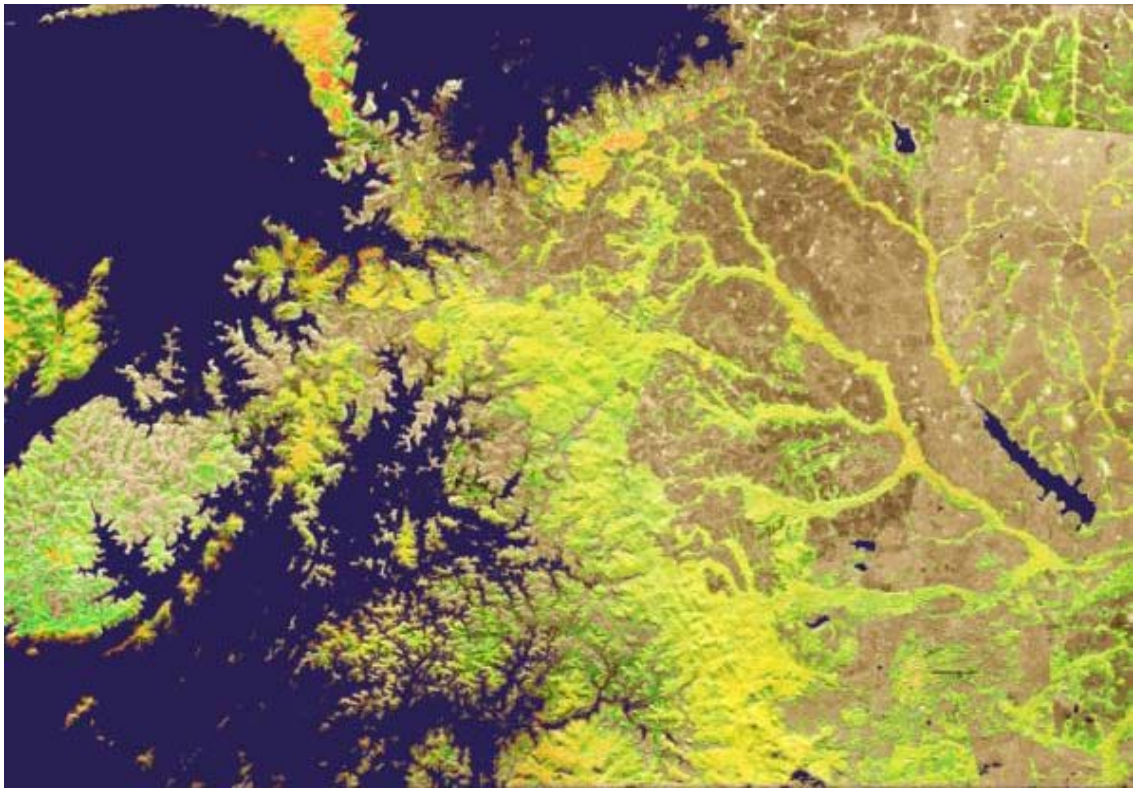


Figura 82. Filtro RGB de la Banda P Interferometríca del mapa 7638-II

5.2 Estudio textural de El Manteco

Algunas imágenes contienen regiones caracterizadas por la variación del brillo mas que la variación de la textura, esta ultima se refiere a la variación espacial del tono de la imagen en función de la escala. Pueden ser definidas diferentes áreas texturales, aunque los niveles de grises pudieran parecer homogéneos, tienen variaciones y estas guardan relación con los tipos de litología o cubierta de la superficie. Los criterios de interpretación son los mismos empleados en la interpretación de fotografías aéreas, tono y textura donde visualmente se pueden establecer relación entre los patrones que se presentan en estas imágenes.

Aunque desde el punto de vista geofísico sabemos que una interpretación visual no basta, es necesario un fundamento matemático que no lleve a discriminar o resaltar variaciones en la superficie. Por ello primero es necesario concebir estas imágenes de radar como grandes matrices de datos en que cada elemento corresponde a un píxel, que tiene un valor asociado al nivel digital de la imagen, como lo muestra la siguiente figura

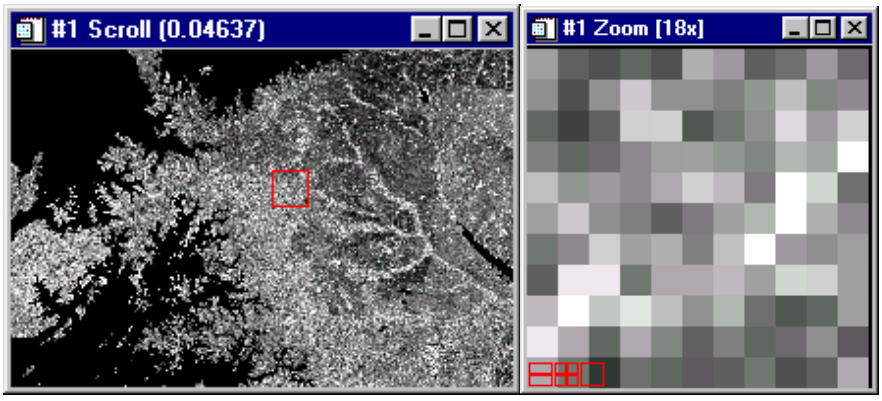


Figura 83. Detalle del pixelado de la imagen

Por ellos se realizaran operaciones matemáticas con estos datos y ver su respuesta al momento de interpretarlos. Aunque no se encontró información en detalle de la zona de estudio que mostrara variaciones litológicas que permitiera correlacionarla con estos cambios texturales y características generales del área de estudio. Se consulto la información estratigráfica de las formaciones geológicas presentes para establecer las características de la zona presente. Para poder examinar los patrones texturales de la misma, ya que guardaban una relación con los tipos litológicos, preparado para su utilización como material de apoyo en la interpretación geofísica.

La zona de estudio esta compuesta por la formación Carichapo compuesta con rocas de alto porcentaje de oligoclasa, andesina y materiales ferromagnesiano debido a la inyección de magma basáltico, con una estructura de plana y fallada debido al cizallamiento, con una orientación noreste.

En áreas los niveles digitales son relativamente uniforme con lo que el resultado de la imagen SAR es un tono gris claro un poco variable. Zonas planas que son difíciles de diferenciar por la relativa homogeneidad tonal. Las planicies aluvionales presentaron tonos mas claros, por estar compuesto de materiales mas finos

El análisis textural de los datos se obtiene a partir de una distribución estadística que sirve para sintetizar alguna característica relevante de la misma. Conociendo los valores de algunos parámetros, aunque se desconozcan los datos de la distribución, se adquiere una idea suficientemente clara de ella.

A continuación se muestran los diferentes análisis texturales que se realizaron a la imagen SAR Banda P.

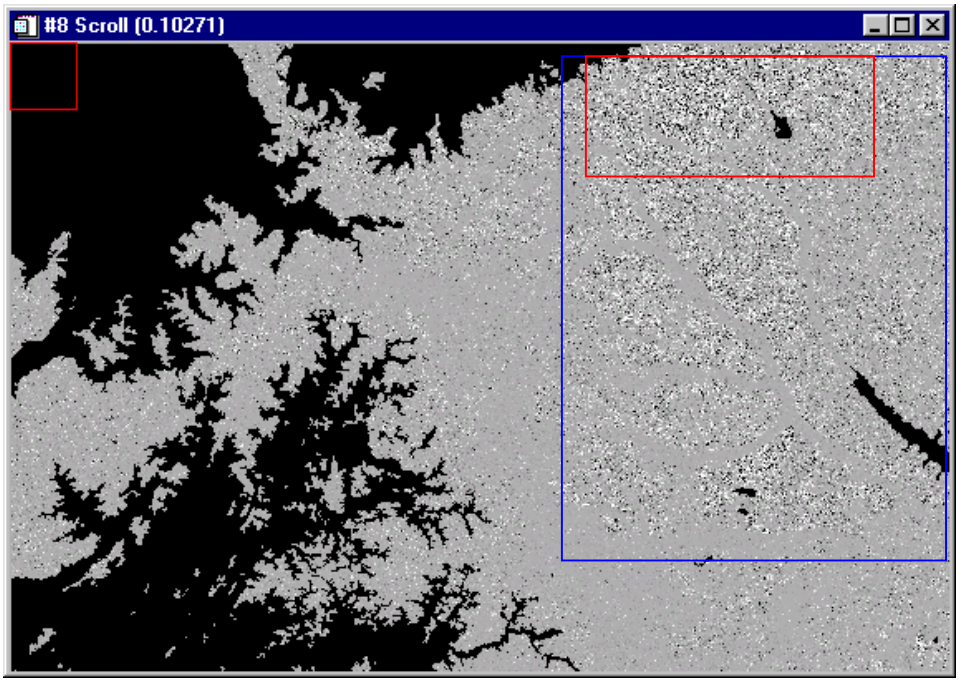


Figura 84. Realce textural del mapa 7638-II

Notamos en el recuadro azul la zona del mapa con mayor variación textural y a su vez en el recuadro rojo un área de mayor variación local. De las interpretaciones realizadas en la sección anterior esta zona es la que presenta menor vegetación y suelos descubiertos. Aunque esta zona es la menos reflectiva y cercana a la orilla del embalse, se considerara para indagar otros cambios en esta misma zona. Es de notar la zona de canales que no muestra variación textural lo que va en concordancia con el tipo de material presente el cual es mayormente fino.

La entropía en los procesos naturales tienen una tendencia hacia un estado de desorganización, o caos, que se produce sin ninguna intervención o control. Un análisis de la entropía de la imagen mostrara el estado de desorganización de la misma y los patrones que se pueden derivar del estudio de los datos.

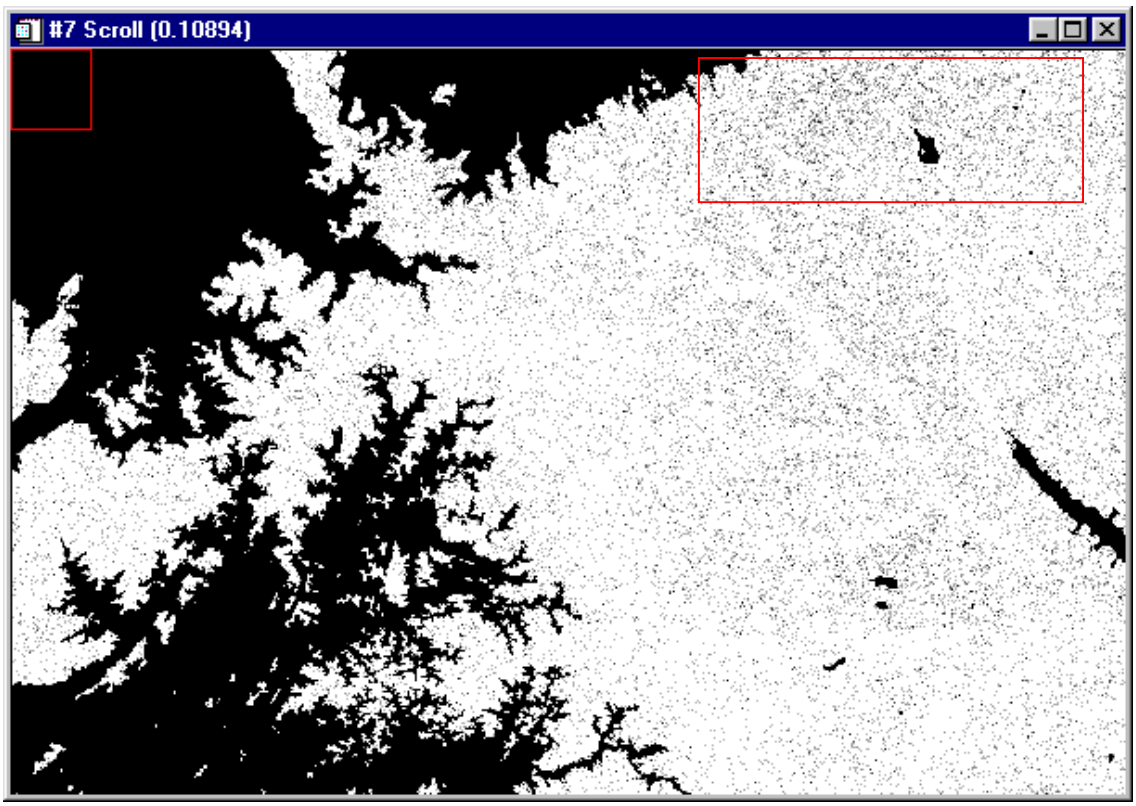


Figura 85. Entropía del Mapa 7638-II

Observamos una distribución uniforme de la variación de la entropía, aunque en las zonas mas claras hay menor entropía, es decir, datos mas organizados por la uniformidad de los mismo, donde claramente se muestran los cursos de los canales aluvionales y puede presentar este patrón por el tipo material aluvional uniforme y escogido. No así en las zonas de mayores puntos donde hay mayor entropía, resaltando la zona que habíamos delimitado anteriormente (cuadro rojo)

La varianza es una medida de dispersión o parámetro estadístico que miden que tan diseminados se encuentran los datos de una distribución. La razón de ser de este parámetro es conseguir que la medida de dispersión se exprese en las mismas unidades que los datos a los que se refiere.

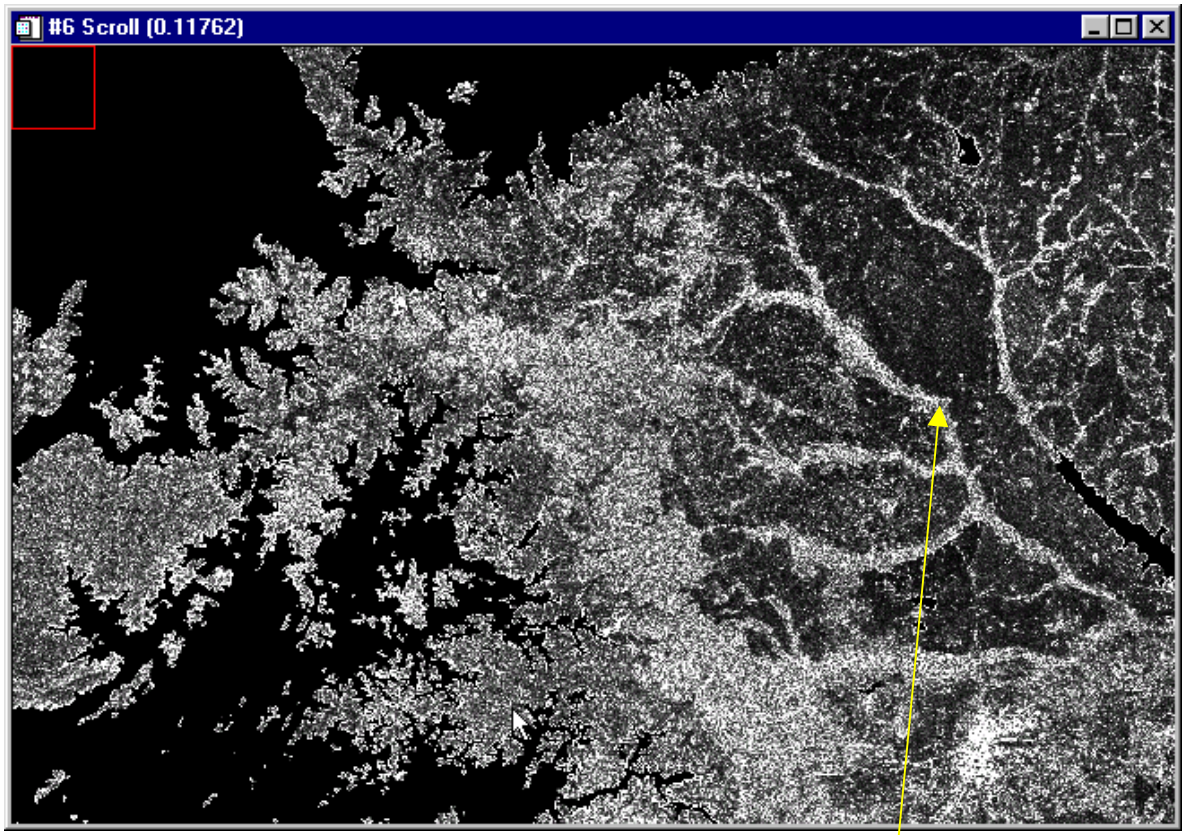


Figura 86. Variancia del mapa 7638-II

La variancia de los valores resalta los detalles ya sea aclarándolos u oscureciéndolos se encuentra muy marcada en los canales aluvionales, lo que muestra que los valores en estas zonas son muy uniformes.

El rango se refiere al conjunto de valores comprendido entre un valor mínimo y un valor máximo determinados y fijados por los datos. La comprobación de rangos es un método importante de validación de los datos introducidos. La clasificación del rango es muy similar a la variancia de los datos, asociando los valores representativos circundantes al valor central.

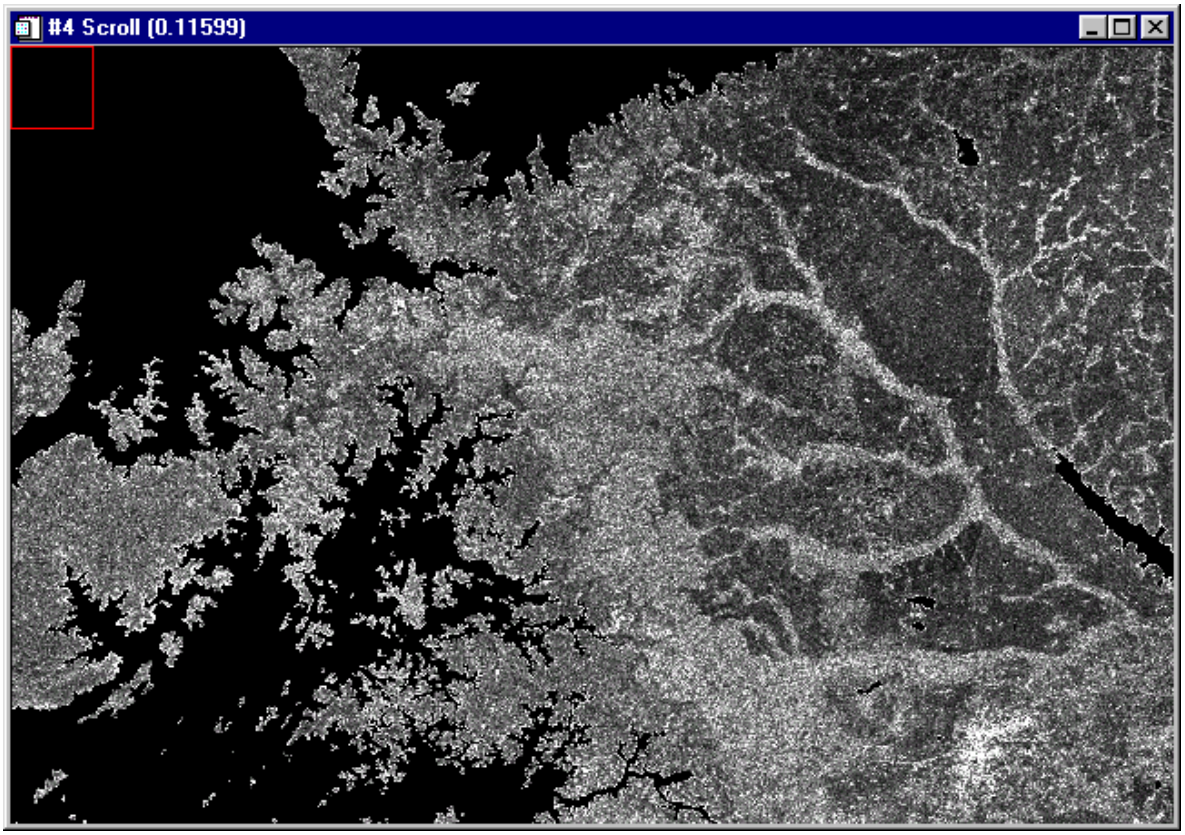


Figura 87. Rango de los valores de la banda P del mapa 7638-II

El rango muy similar al caso anterior de la varianza resalta los detalles ya sea aclarándolos u oscureciéndolos se encuentra muy marcada en los canales aluvionales, lo que muestra que los valores en estas zonas son muy uniformes.

El promedio asigna al valor central del píxel el promedio de los valores vecinos, y en si controla variaciones bruscas y al mostrar la variación de los valores alrededor del promedio

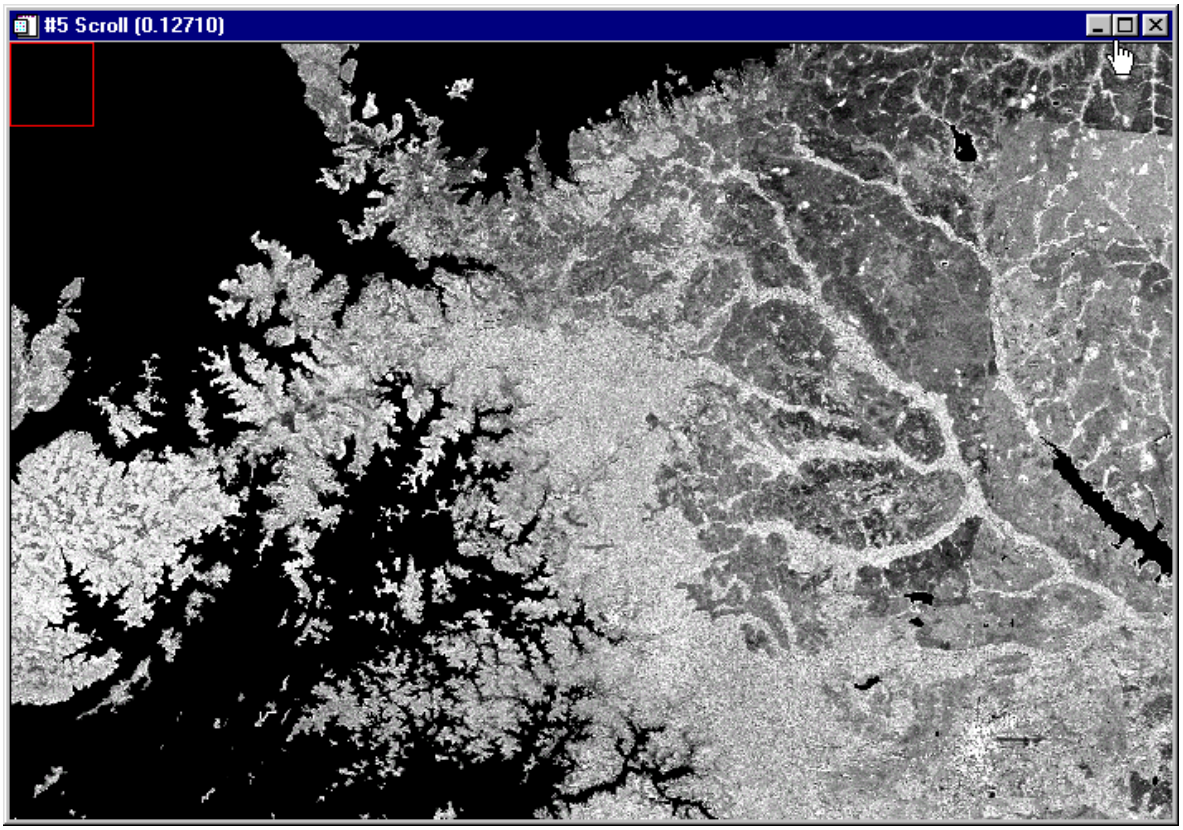


Figura 88. Promedio de valores de la banda P del mapa 7638-II

Este resultado no muestra mayor variación, en comparación con la imagen SAR, pero observamos que aclaro las zonas oscuras.

Aquí se muestran los Modelos de topografía, mostrando el contraste en la orillas del Embalse de Gurí

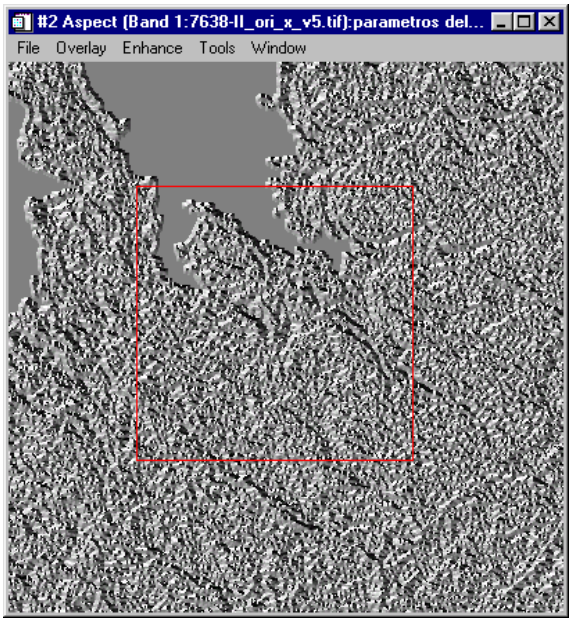


Figura 89. Modelo de topografía del mapa 7638-II

Al realizar la variación del patrón de iluminación se muestra lo plano de la zona al no tener mucho contraste con la imagen anterior.

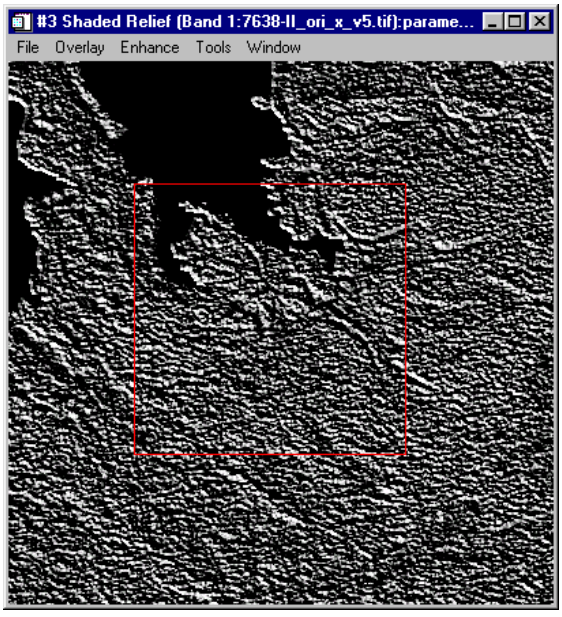


Figura 90. Variación del patrón de iluminación del mapa 7638-II

La zona de estudio es muy plana y la textura es muy suave; este tipo de textura hace difícil la discriminación de unidades. Se observa que la mayor variación de textura en la zona norte. Teniendo en cuenta que las concentraciones minerales algunas veces pueden producir alteraciones en la superficies, así como afectar el tipo de vegetación, aunque para este tipo de investigación se necesitan estudios geoquímicos disponibles de la zona, para poder establecer patrones y no existen patrones preestablecidos que digan que para un tipo de vegetación se tiene un mineral en especifico. Ya que estos se determinan para estudios realizados en la zona con las misma características y se pueden extrapolar para zonas circundantes. Lo cual puede ser una evidencia en superficie que se puede utilizar para una interpretación del subsuelo.

Con sensores remotos también se pueden reconocer la topografía, lineamiento y estructuras geológicas, secuencia estratigráfica. Aunque la zona no tiene una estructuras representativa debido a que es muy plana lo que si se muestra claramente son los canales que desembocan en el embalse de Gurí

5.3 Estudio Geofísico de El Manteco

Para este caso se estudiaran las propiedades de los datos para derivar información geofísica del mismo. Primeramente se considerara la modulación de los datos como lo muestran las siguientes figuras 91 y 93

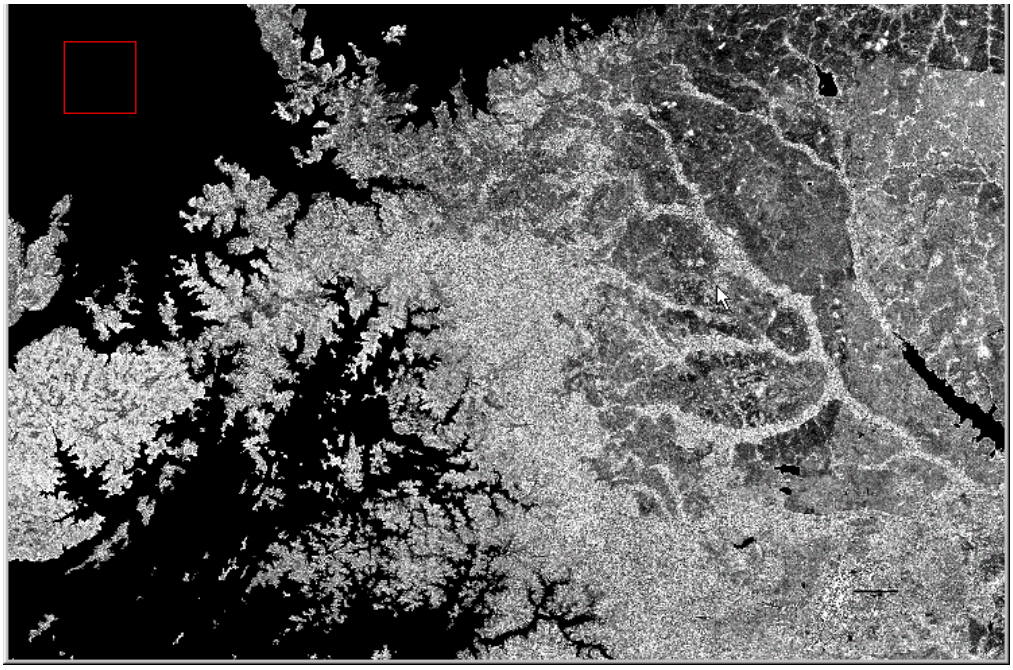


Figura 91. Imagen SAR del mapa 7638-II sin modular

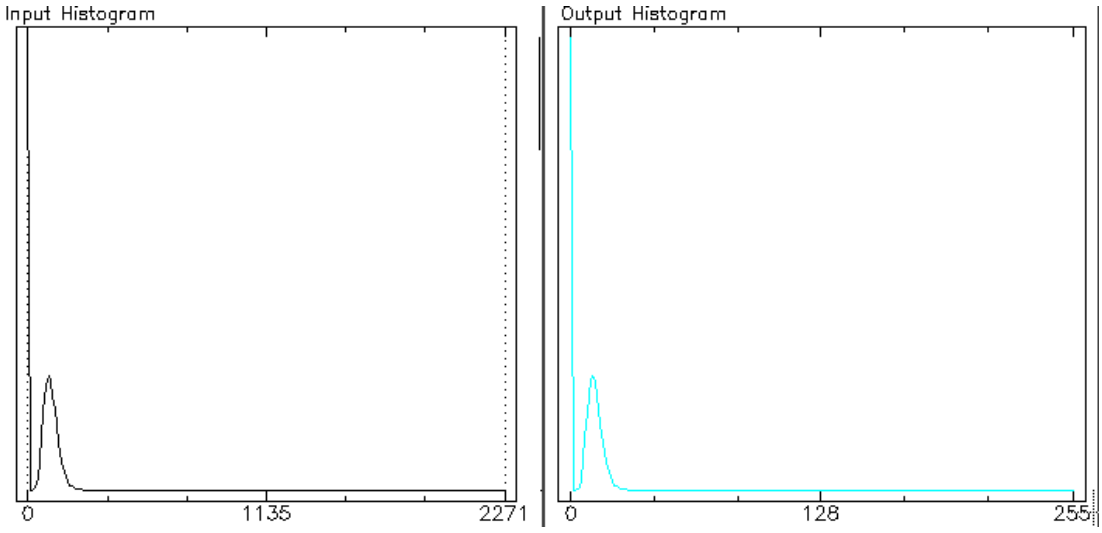


Figura 92.Histograma de las medidas sin modular

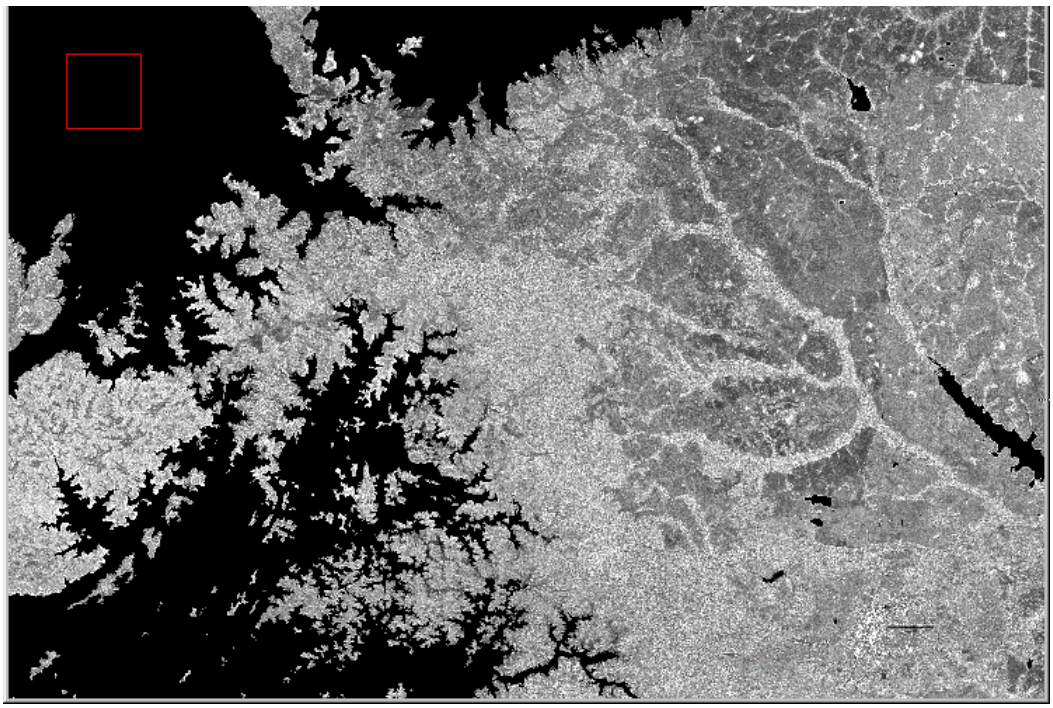


Figura 93. Imagen SAR del mapa 7638-II modulada

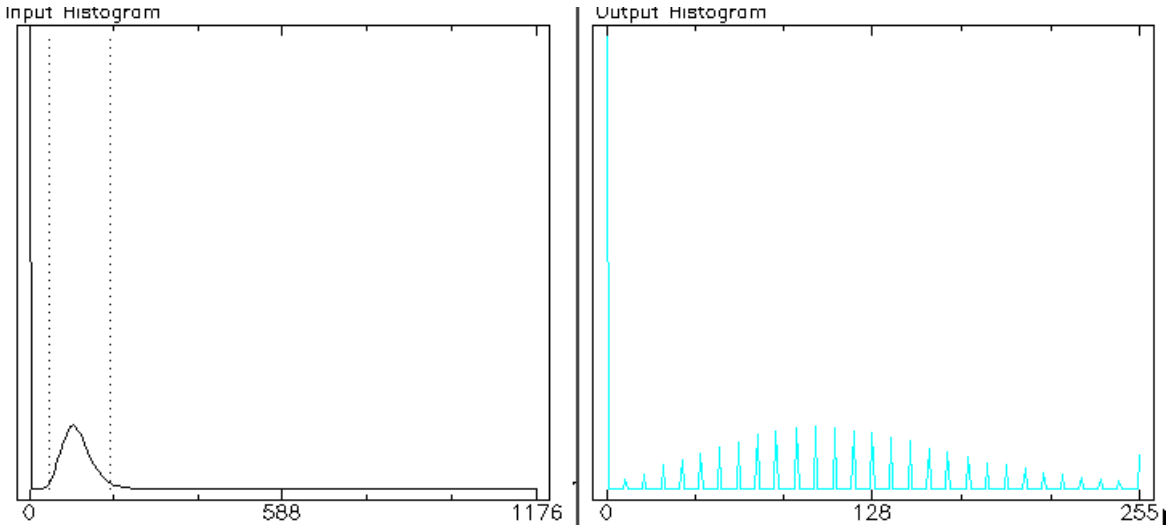


Figura 94. Histograma de las medidas moduladas

La siguiente imagen muestra la coherencia de los datos, la cual muestra una representación de la imagen SAR. Para el caso de errores de procesamiento se pueden observar zonas oscuras o claras que no guardan relación con la imagen original. No así para este caso mostrando que los datos fueron adquiridos sin mucho ruido, la compresión y descompresión de los datos mantuvieron la fase original mostrando una alta coherencia entre la señal emitida del radar y la recibida por el mismo.

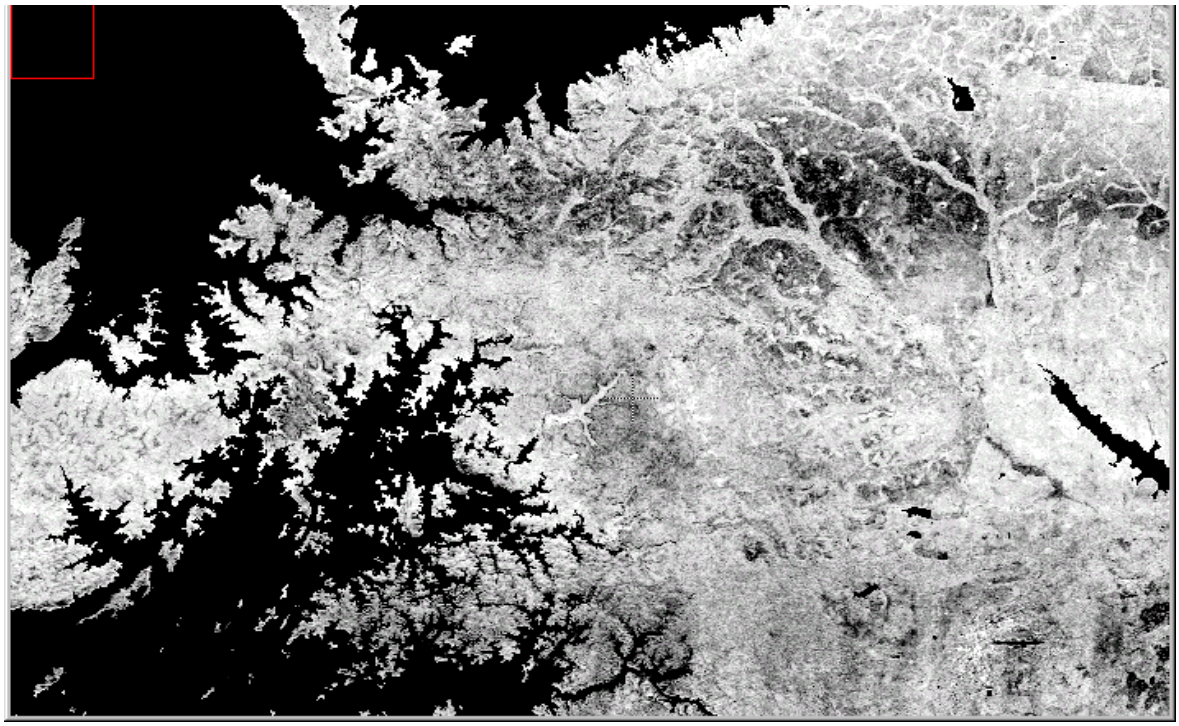


Figura 95. Coherencia del mapa 7638-II

A continuación se observa el modelo superficial del terreno, obtenido de la banda P

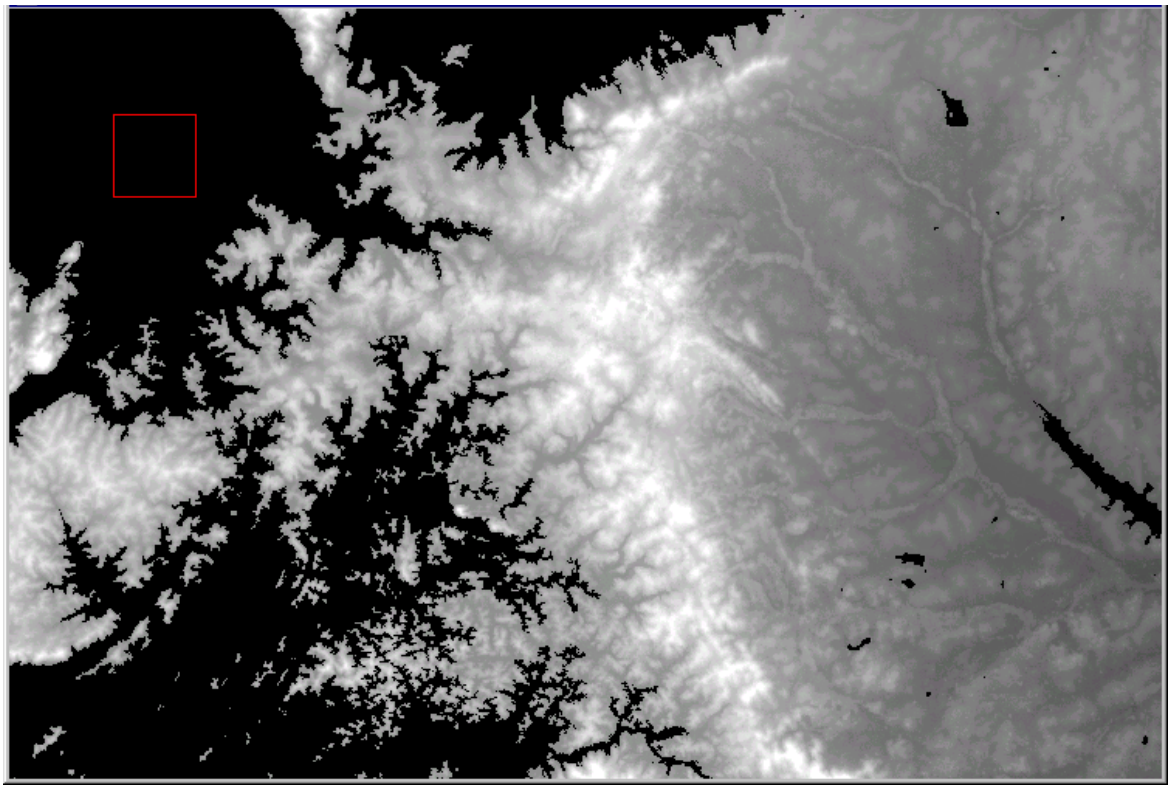


Figura 96. DSM del mapa 7638-II

Modelo Digital del terreno suministrado por la banda X

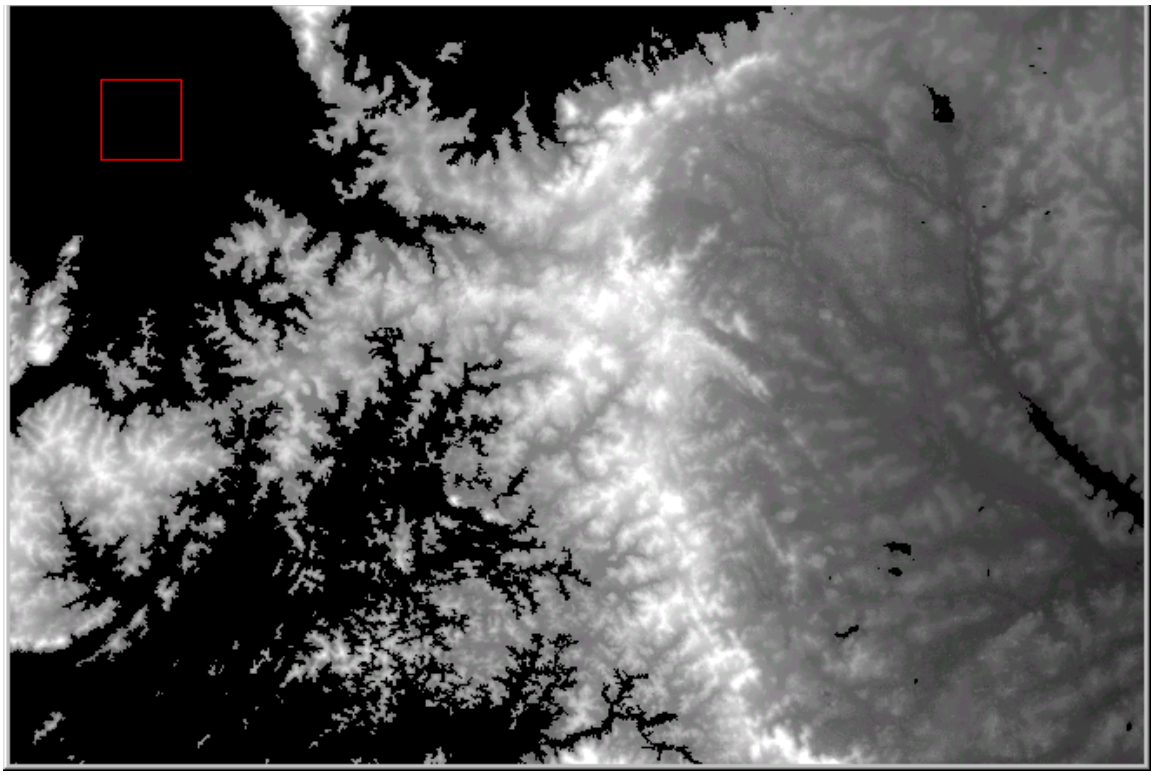


Figura 97. DTM del mapa 7638-II

Con la diferencia entre el DTM y DSM se puede distinguir las zonas con vegetación, de aquellas que exponen el terreno sin ningún tipo de cubierta

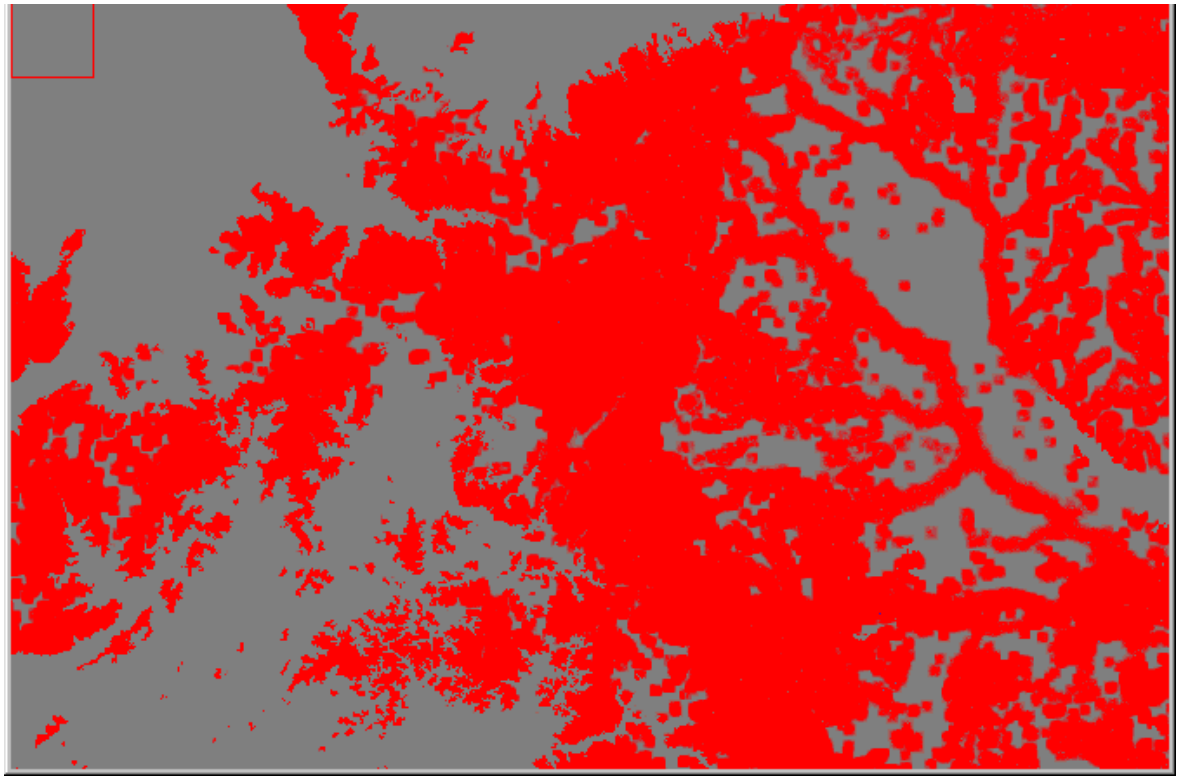


Figura 98. Diferencia entre el DTM y el DSM

Se escogió una zona que mostrara el terreno sin ningún tipo de cubierta para realizar el Análisis Espectral y mostrar la firma espectral de los elementos en superficie. Sirviendo como patrón de reconocimiento visual, aquellos punto de mayor reflectividad que se encuentre en la superficie, por ello se selecciono la zona del recuadro rojo que indicaba una mayor respuesta reflectiva y sin ningún tipo de cubierta.

La siguiente imagen muestra la distribución de los datos en el mapa, según su intensidad.

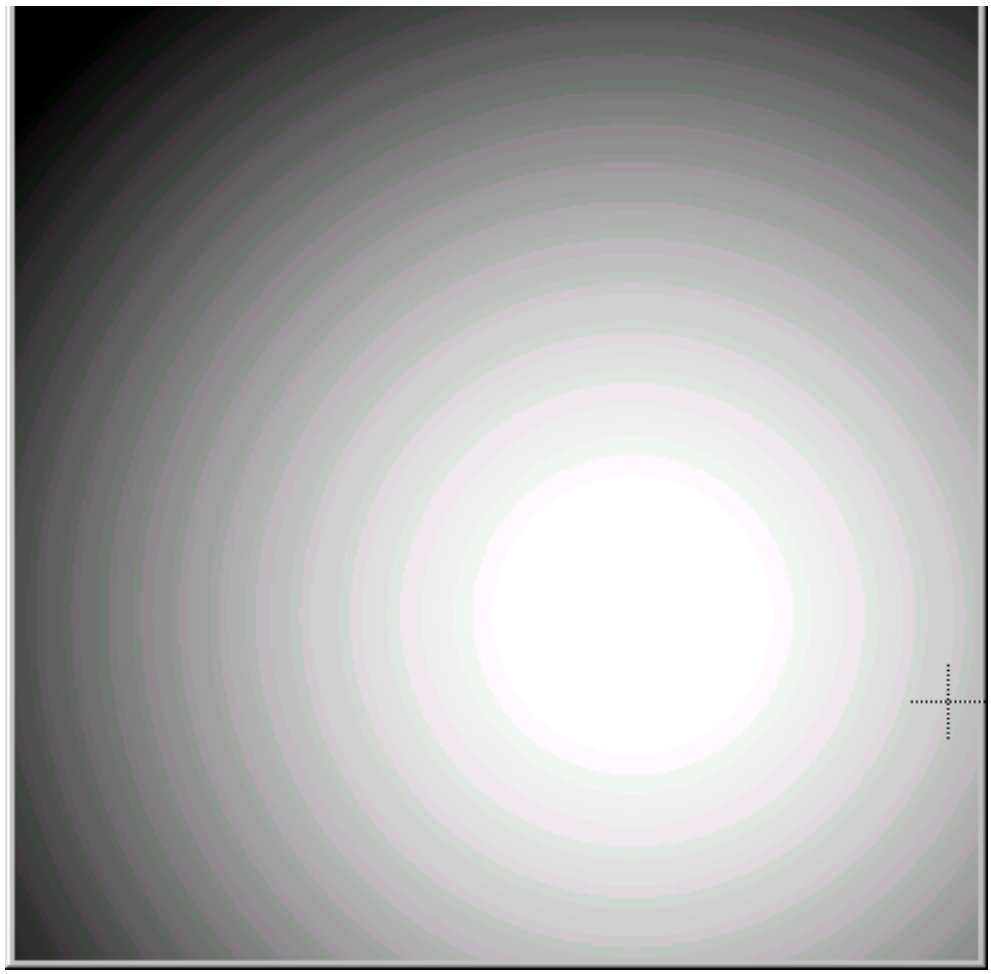


Figura 99. Intensidad y distribución de los datos en el mapa 7638-II

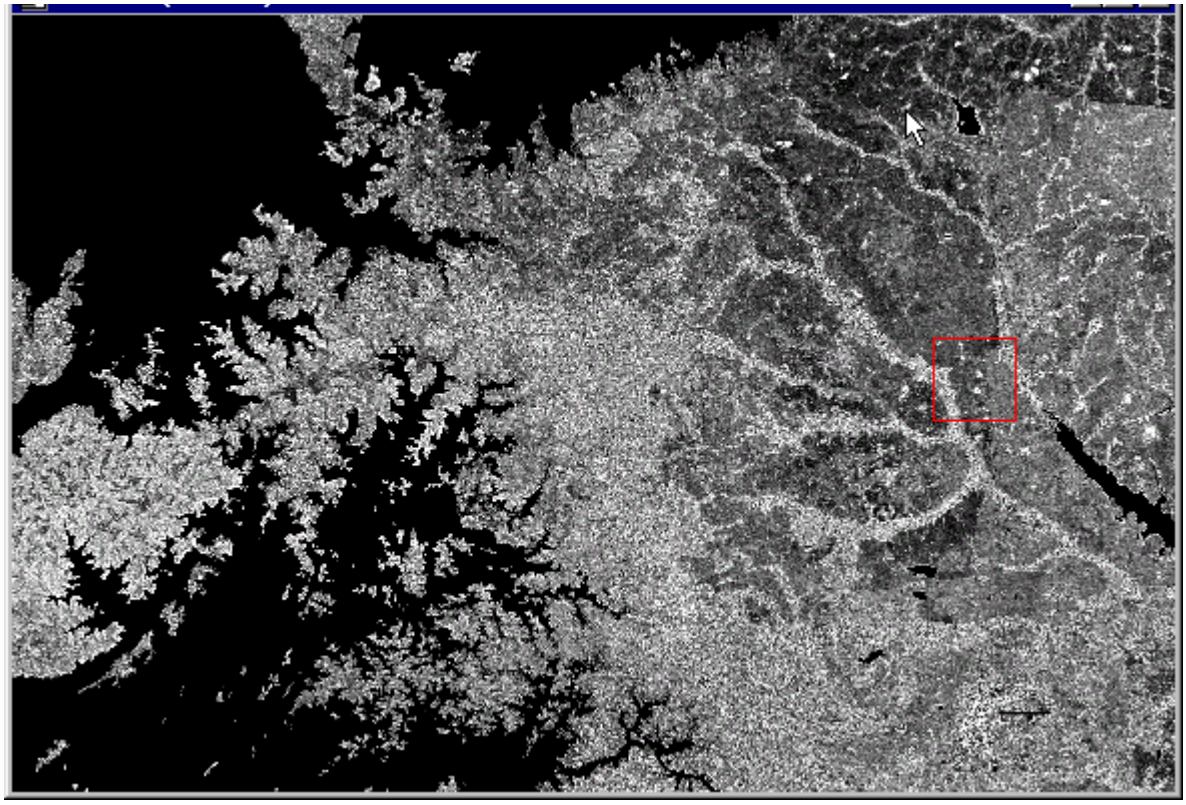


Figura 100.Ubicación del punto de mayor Respuesta Espectral en el mapa 7638-II

Un detalle de la zona, muestra los puntos brillantes, que presenta el nivel digital mas alto de 255 y se distingue claramente de aparentes zonas brillantes como se ve a los lados.

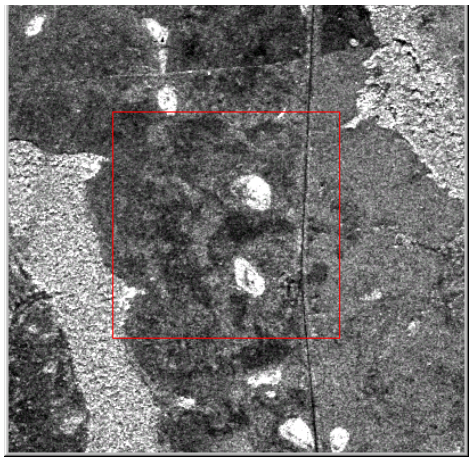


Figura 101. Aproximación a la zona de detalle Manteco 7638-II

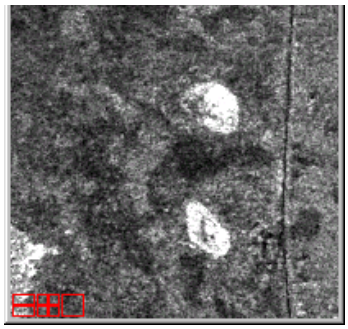


Figura 102. Zoom de los puntos de interés.

Zoom de los puntos de interés que muestran la diferencia del DTM y el DSM, indicando que la zona esta totalmente descubierta

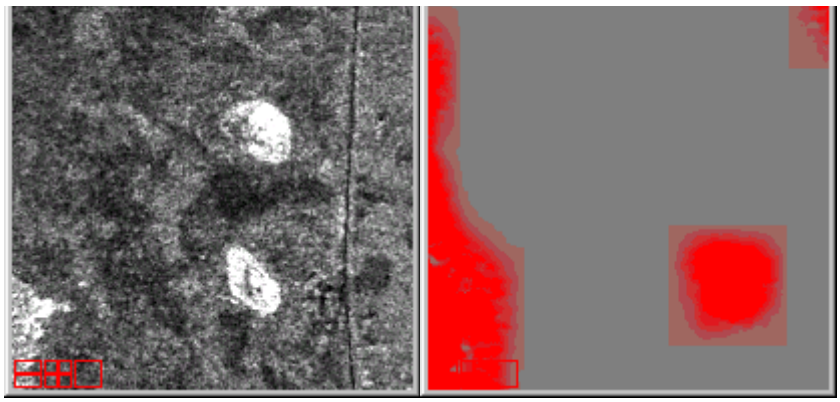


Figura 103. Zoom de la diferencia del DTM y el DSM

La respuesta espectral de la región de interés, muestra un alto contenido de hematita, pirita y magnesita; como se puede apreciar en el siguiente grafico:

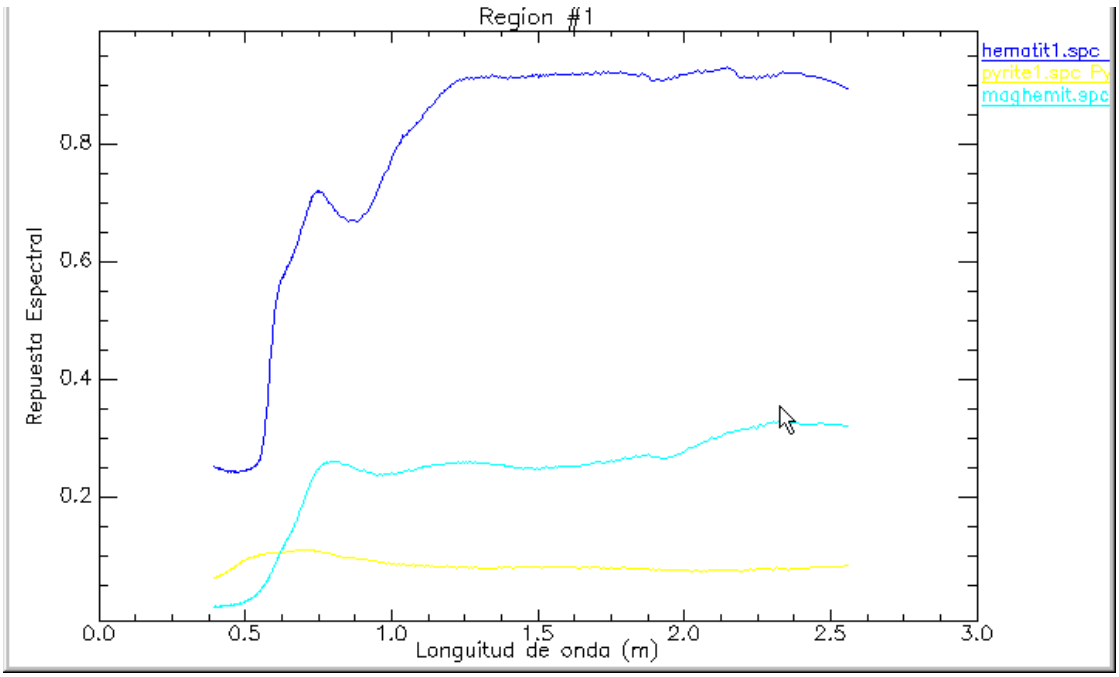


Figura 104. Respuesta Espectral de la zona de estudio

Al observar la respuesta espectral que muestra los elementos representativos, y la alta reflectividad que nos llevo a seleccionar esta zona, indica un comportamiento metálico ya que la reflectividad del radar depende de la constante dieléctrica del reflector y de su superficie.

La atenuación de las ondas electromagnéticas en su propagación depende de la frecuencia lo cual es muy importante en prospección. Con relación a ello se considerara el caso en que la onda penetra verticalmente en un terreno no

homogéneo de resistividad ρ. Lo que muestra que la propagación de las ondas electromagnéticas a través de rocas se hace mayor cuanto mas resistivas sean y mas elevada sea la frecuencia aplicada.

El efecto superficial o "skin" se produce al penetrar una onda electromagnética en un medio, donde la densidad de corriente disminuye con la profundidad cuanto mayor sea la frecuencia y menor la resistividad del medio. Al realizar un estudio con un sensor que tenga una frecuencia fija la variación de la penetración esta dada por la resistividad del material que se este prospectando. Esta depende de la resistividad tanto mas aumente la resistividad aumentara la penetración y por ello la señal se atenúa mostrando zonas oscuras.

Para el caso estudiado deducir la penetración de la onda es un factor que no podemos estimar, ya que en ningún parámetro de retorno del radar muestra esta información y especialmente que este radar no fue concebido para este propósito. Por esto el único indicador que tenemos es reflectividad que nos indica que un cuerpo es mas o menos resistivo, sin conocer este valor nominalmente. Desde el punto de vista físico, tampoco se conoce el método para medir indirectamente la resistividad de un cuerpo sin estar en contacto con él. Por lo que la señal del radar nos orienta en cuanto a la resistividad de la superficie.

En cuanto a las características de la zona de estudio, aunque no se encuentra información en detalle de la misma, en grandes rasgos es una asociación litológica de cinturones de rocas verdes, producidos por alto metamorfismo, representativa del Grupo Caripacho del Supergrupo Pastora. Aunque la mayoría de las rocas son ultramáficas con asociaciones de esquistos, cuarcitas ferruginosas, caracterizadas por ser rocas muy compactas debido al metamorfismo que estuvieron sometidas. La interpretación eléctrica en zonas aledañas a la zona de estudio según Fernández, (1995) indica cuatro clasificaciones:

- Zona de baja resistividad comprendida entre 0 y 4.000 ohm-m asociado a aluviones
- Zona de resistividad media comprendida entre 4.000 y 10.000 ohm-m asociado a rocas máficas e intermedias
- Zona de alta resistividad comprendida entre 10.000 y 15.000 ohm-m asociado a esquistos piroclásticas, cuarcitas, félsicas.
- Zona de muy alta resistividad a mayores a 15.000 ohm-m asociado a cuerpos muy resistivos como diques o vetas félsicas.

Lo que nos indica que la zona no se caracteriza por ser de baja resistividad, sino sus elementos principales muestran un comportamiento altamente resistivo, por lo cual una evidencia de baja resistividad aportada por el radar no compatibilizaría con las características locales. Por ello esta respuesta de baja resistividad y la firma espectral de minerales metálicos presente en la zona de interés indica que no es una respuesta común de la zona. Mostrando una anomalía en el comportamiento que pudiera sugerir la presencia de minerales metálico (como hematita, pirita, magnesita) en superficie. La única manera de constatar esto es la evidencia en campo para comprobar la validez de la respuesta del radar. Como es común al verificar los métodos de prospección.

El promedio de los valores de la imagen puede ser diferente variando rango de los píxeles y al aplicar filtros específicos se puede reconocer ciertos minerales. Teniendo en cuenta que las concentraciones minerales algunas veces pueden producir alteraciones en la superficies, así como afectar el tipo de vegetación, lo cual puede ser una evidencia en superficie que se puede utilizar para la interpretación del subsuelo. Por esto a continuación se presentan una serie de métodos que sirven para clasificar las imágenes y denotar la respuesta en las zonas de interés.

Clasificación No Supervisada, distinguiendo píxeles con igual característica o respuesta, como se observa lo que se había interpretado visualmente como agua lo resalta en rojo, zona de alta vegetación como azul clara, zonas de vegetación intermedia amarilla y zonas de baja vegetación como azul oscuro.

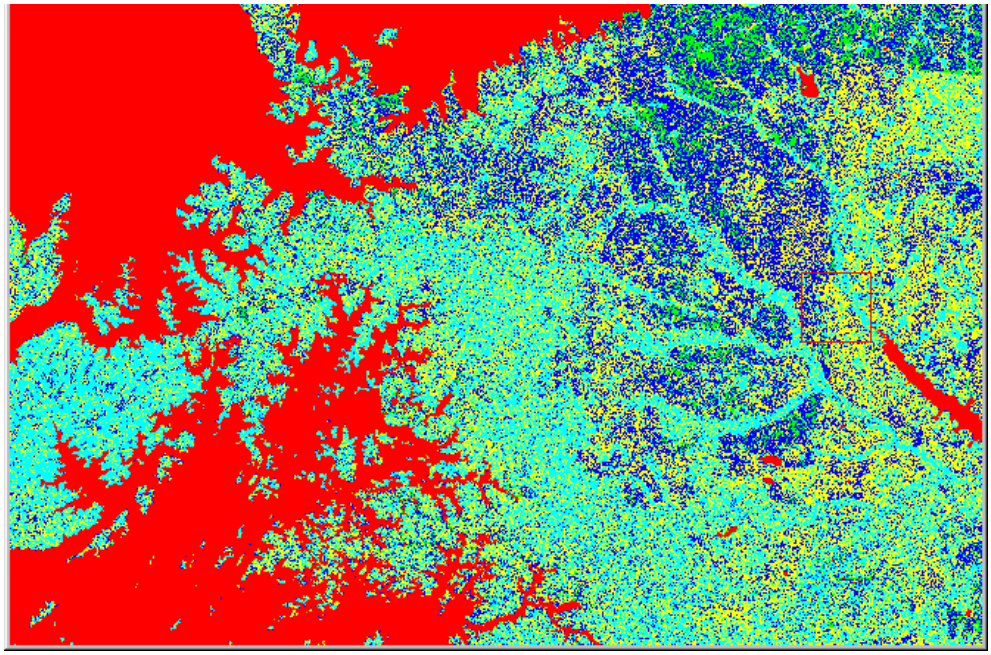


Figura 105. Clasificación No Supervisada del mapa 7638-II

El cociente entre bandas X y la banda P, muestra un modelo digital del terreno texturizado como se ve en la figura 106 a continuación:

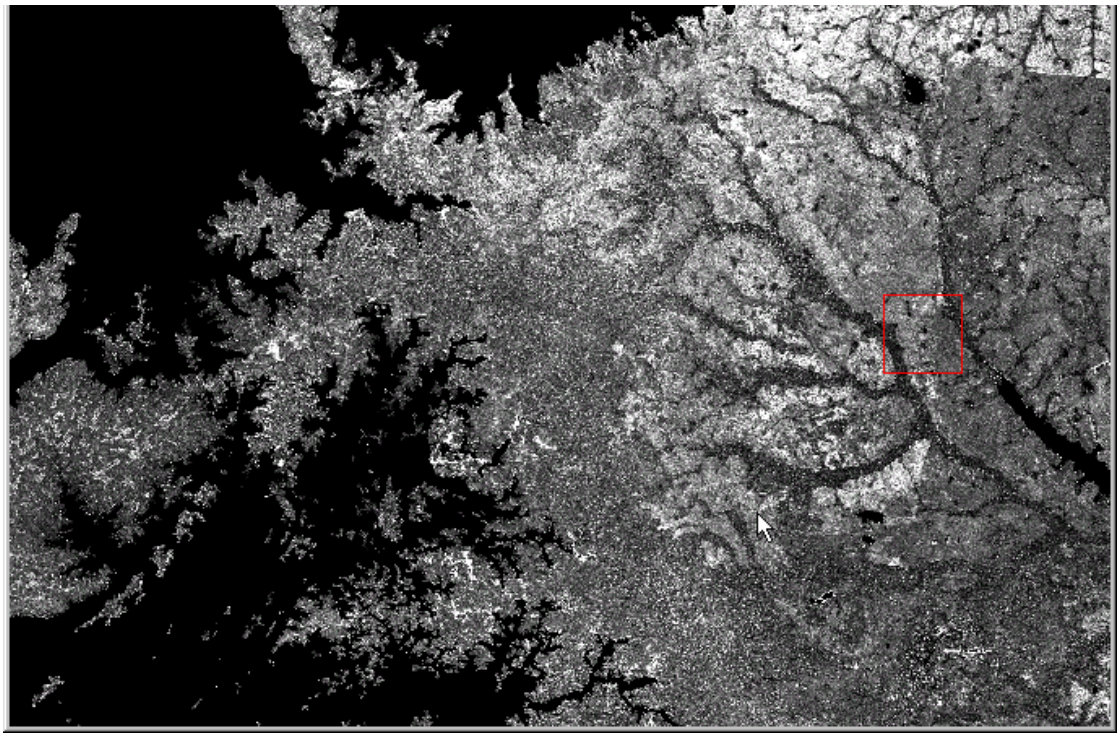


Figura 106. Cociente de la banda X entre la banda P del mapa 7638-II

Zoom de la zona de interés que no resalta ninguna característica

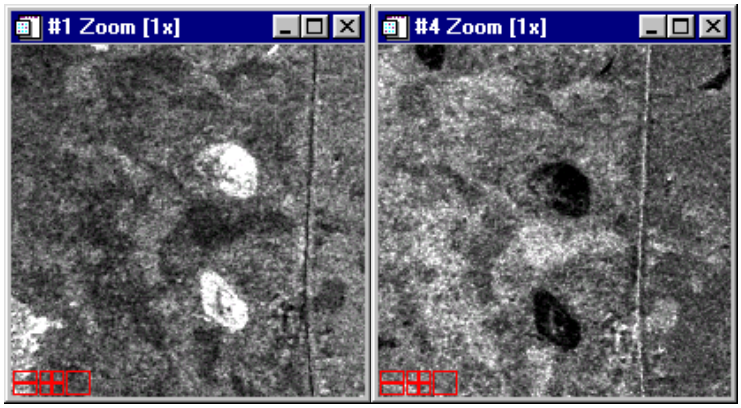


Figura 107. Zoom de la zona de interés.

El cociente entre banda P y la banda X, muestra una imagen texturizada pero con variaciones tonales referidas a la altura del terreno; zonas oscura mas bajas, zonas claras mas altas.

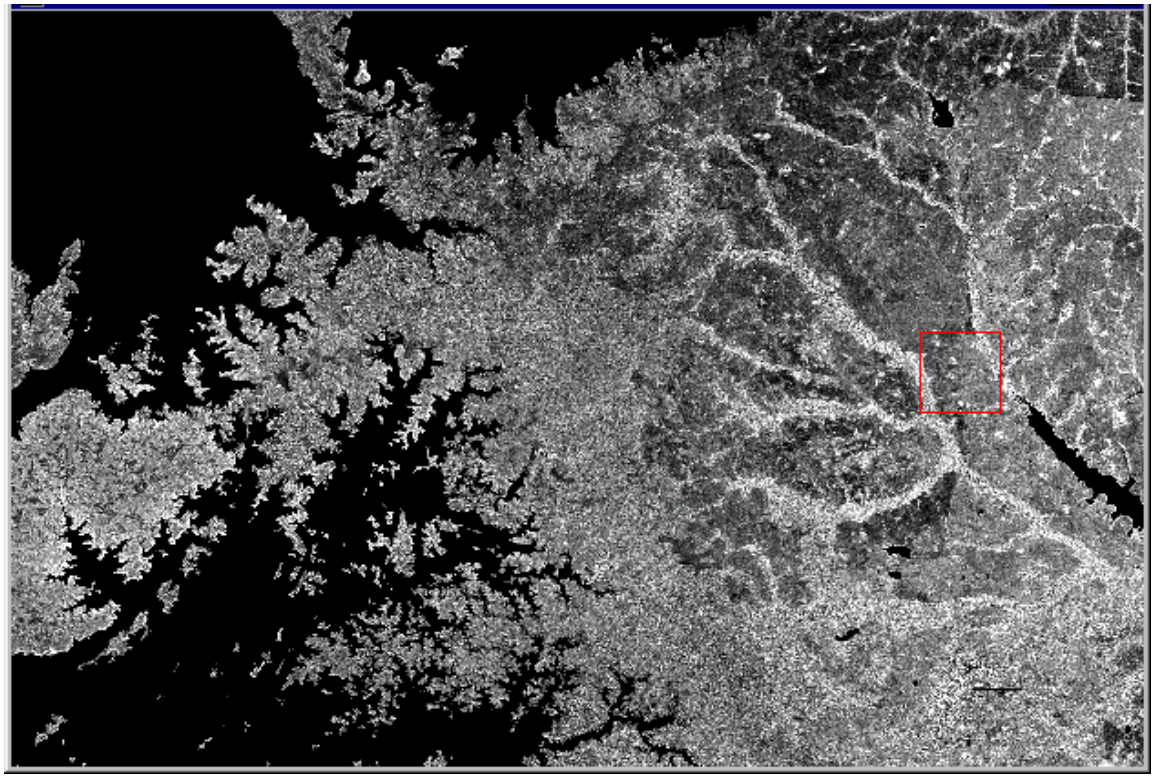


Figura 108. Cociente de la banda P entre la Banda X del mapa 7638-II

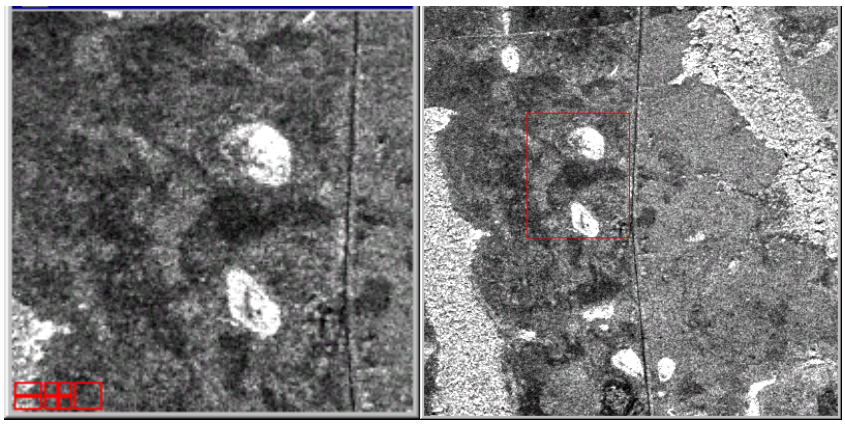


Figura 109. Zoom de la zona de interés

Para este cociente se resalta el brillo de la zona de interés, conservando la apreciación reflectiva del objetivo.

La aplicación de filtros HSV que transforma la escala de grises en una imagen de color sintético, aplicando filtros pasa bajos y filtros pasa altos, para separa zonas de alta y baja frecuencia. La clasificación seria:

- H Filtra la baja frecuencia y la muestra en color rojo
- V Filtra las alta frecuencia y la muestra en color verde
- S Considera la saturación y la expresa en color azul

Esto se usa para una larga escala de características como:

- Clasificación en detalle fino como relieve topográfico
- Dificultad para ver las variaciones de baja frecuencia, ya que la alta frecuencia es apreciada por la topografía.
- La baja frecuencia trae información de la dispersión de la superficie y estas variaciones son usualmente litología o vegetación.

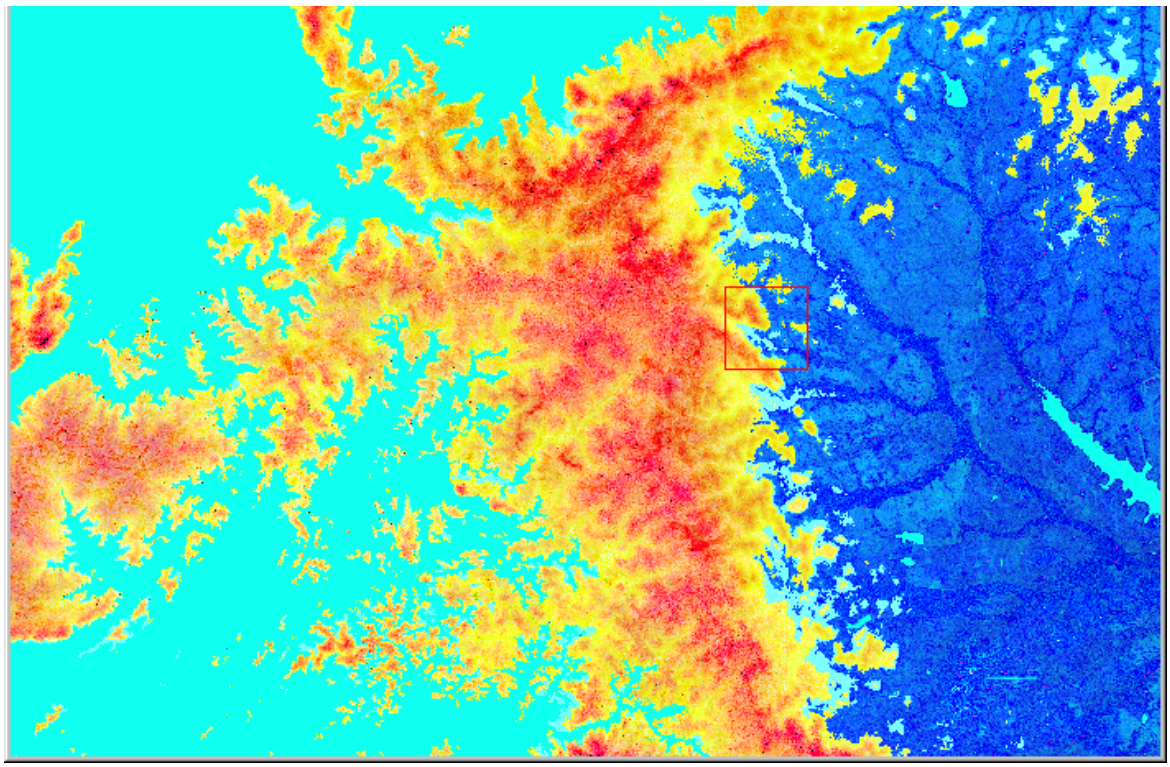


Figura 110. Filtro HSV aplicado al mapa 7638-II

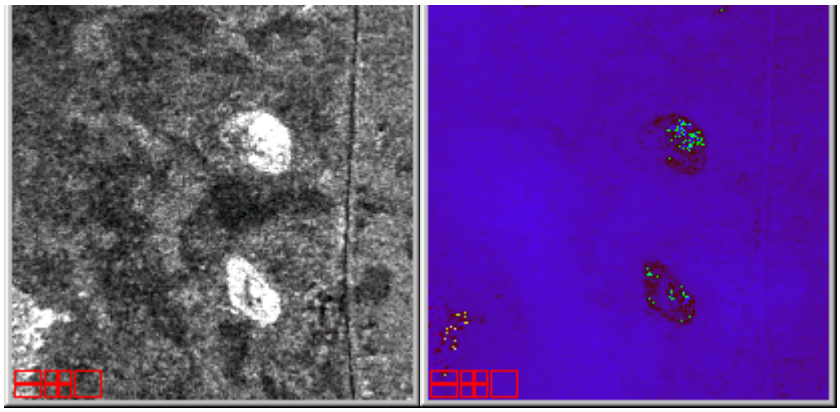


Figura 111. Respuesta en la región de interés con el filtro HSV

La decorrelación remueve la alta correlación que encuentra en los datos y produce una imagen colorida. Los datos altamente correlacionados producen imágenes con colores suaves, mostrando zonas de igual valor creando patrones de similaridad

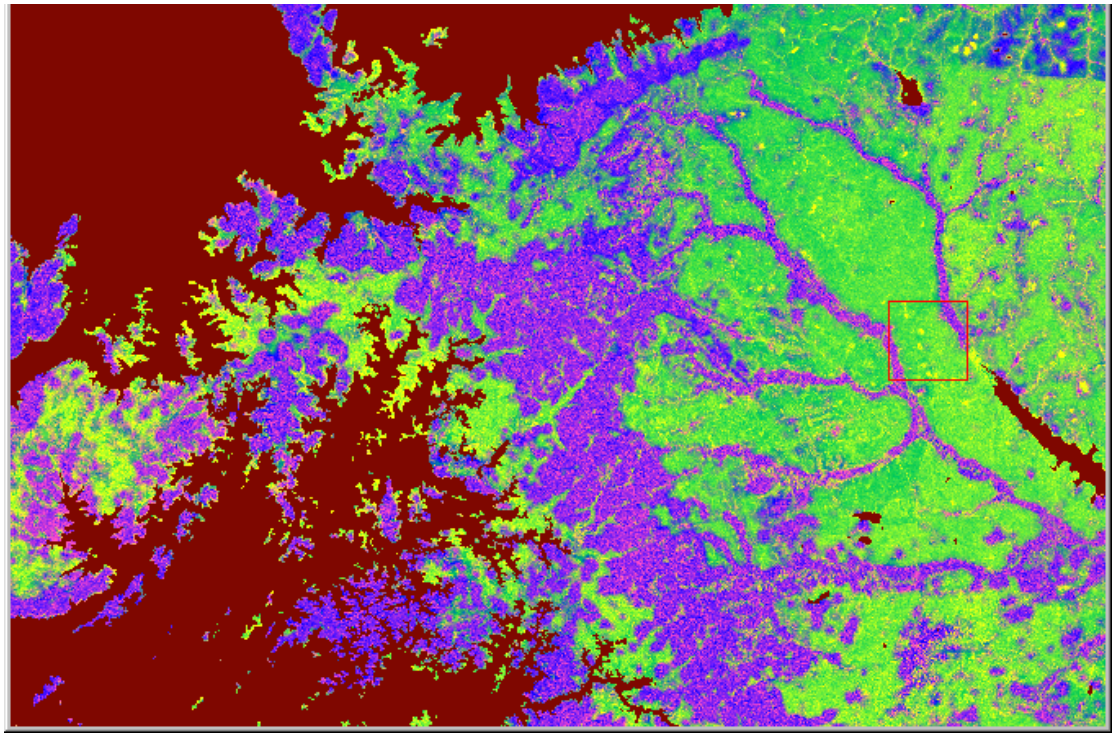


Figura 112. Decorrelación de valores del mapa 7638-II

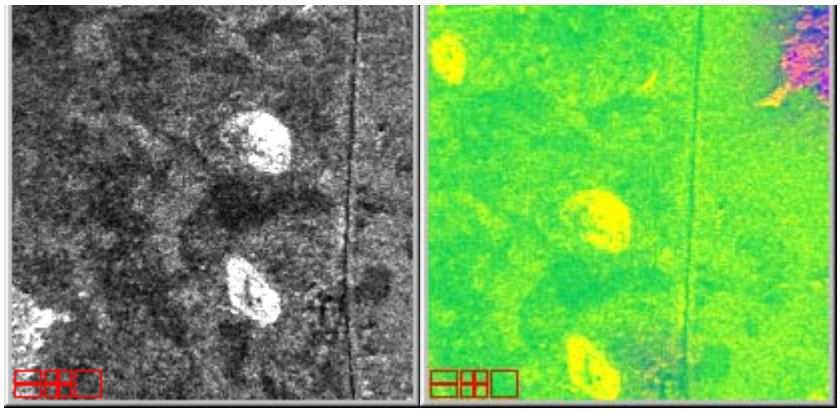


Figura 113. Respuesta en la región de interés aplicando Decorrelación

Estiramiento fotográfico este método realza el color de una imagen verdadera para una imagen mas nítida al ojo humano. Los resultados son fotos mas realistas, haciendo una composición de colores, aplicando filtros adaptativos, observándose que la calidad visual es muy superior. Conservando las propiedades de la imagen al clasificar las zonas en colores que muestran cambios de pendiente.

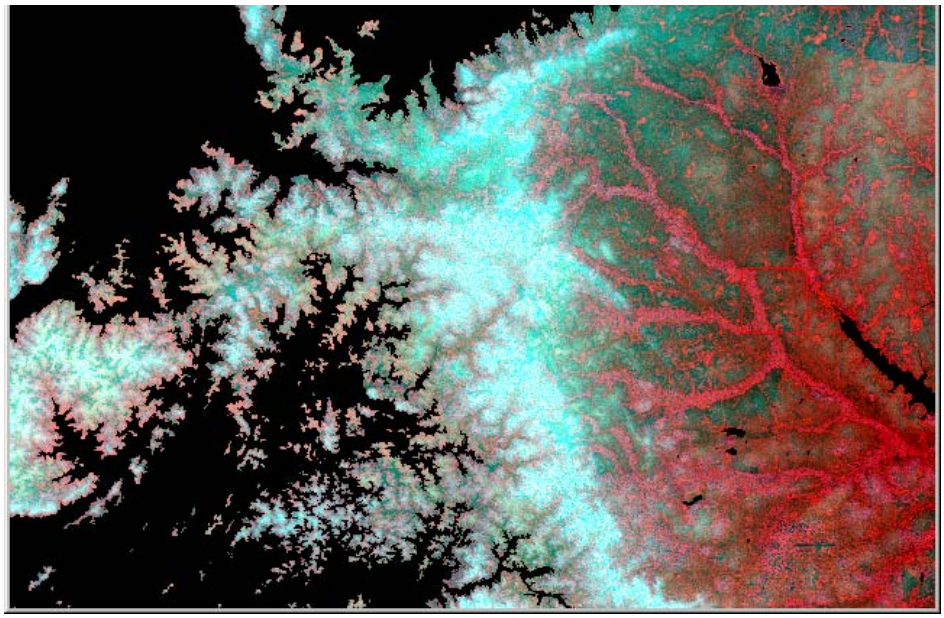


Figura 114. Estiramiento fotográfico del mapa 7638-II

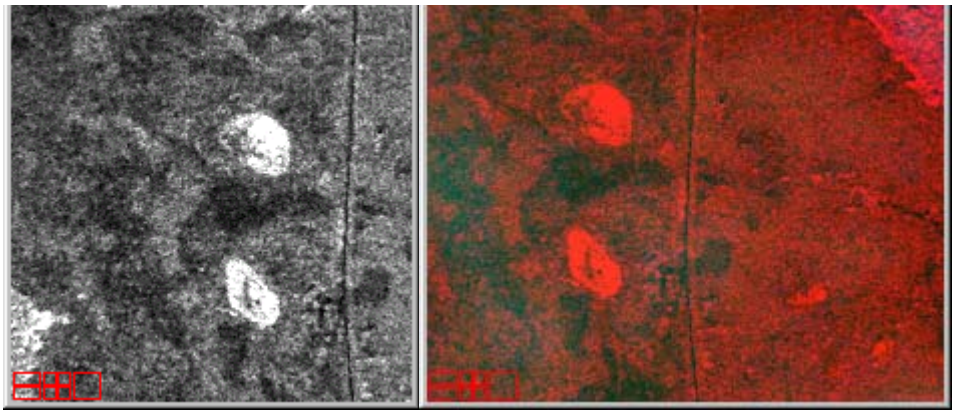


Figura 115. Respuesta en la región de interés con estiramiento fotográfico

El método parámetros de color sintético, busca clasificar pixelado con la mismas características.

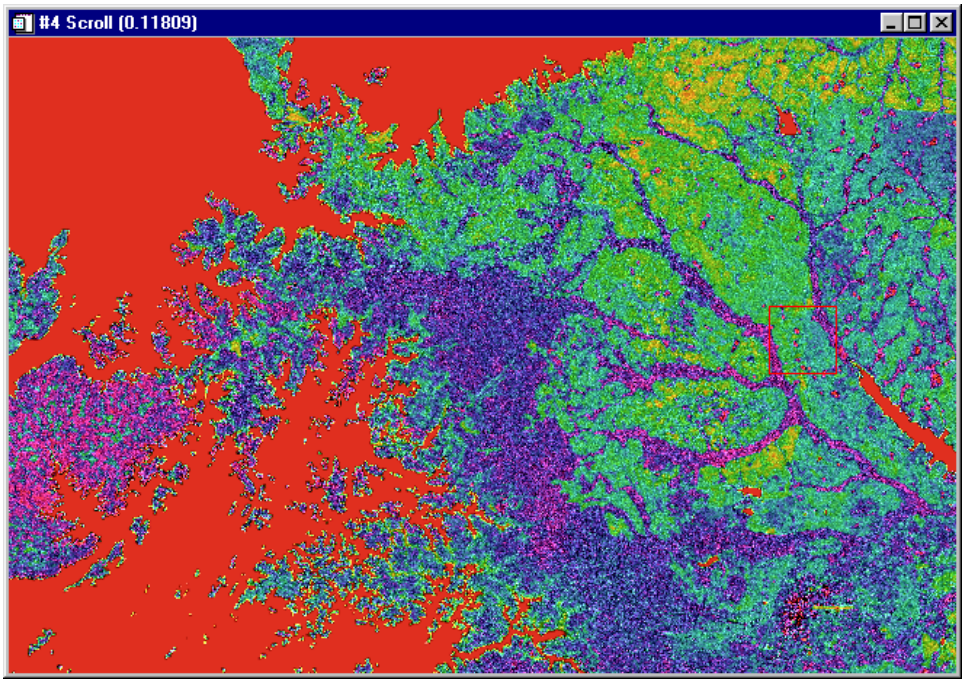


Figura 116. Parámetros de color sintético del mapa 7638-II

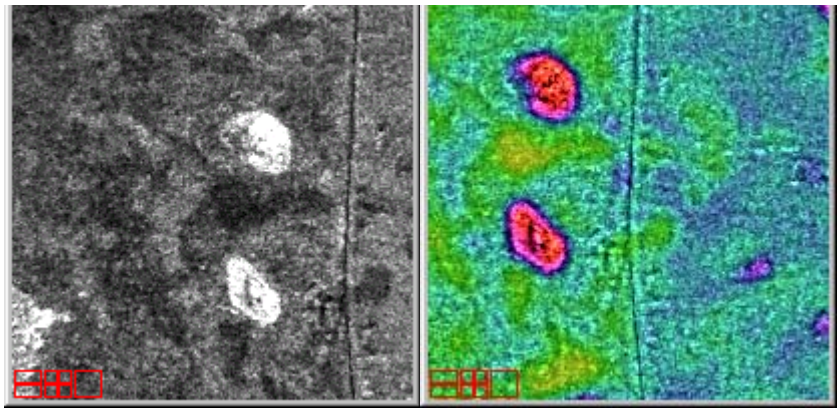


Figura 117. Respuesta en la región de interés

El Filtros HLS busca resaltar tonalidad, ligereza y saturación Las tonalidades producidas están en la gama de 0 a 360 grados (donde está 0 grados el rojo, verde es 120 grados, y el azul es 240 grados). Los valores de entrada deben ser datos en la gama 0 a 255.

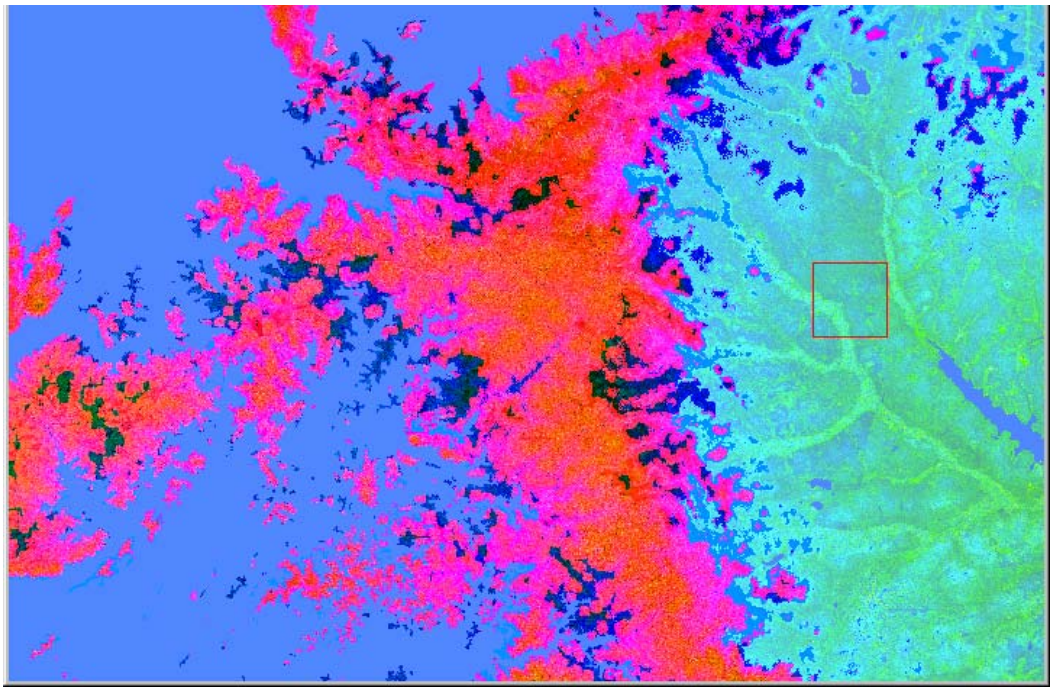


Figura 118. Filtro HLS del mapa 7638-II

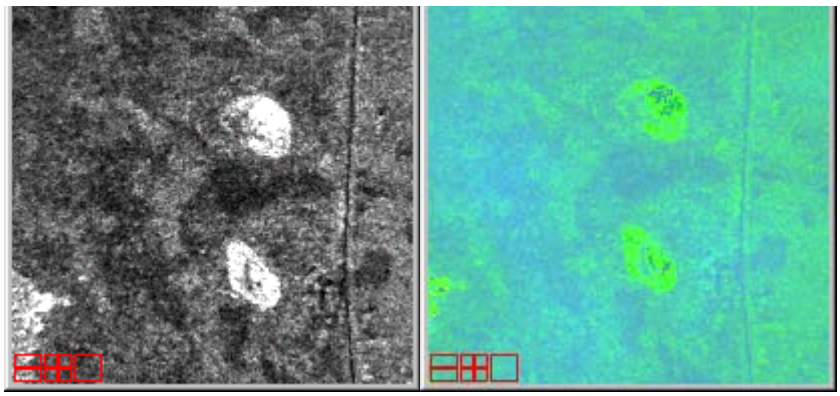


Figura 119. Respuesta en la región de interés

La convolución, este método produce en la imagen un cambio de componente horizontales y verticales de frecuencia. El valor del brillo en la imagen es mostrado en el centro de la imagen transformada, los píxeles desde el centro representan el incremento de las componentes de frecuencia espacial. Se pueden diseñar filtros que remuevan las componentes de frecuencia espaciadle la imagen. Esto produce en la imagen de salida un valor de brillo dado como función de la ponderación del brillo de los píxeles circundantes. Es un método no lineal de procesamiento digital de imágenes que intenta cuantificar estructuras geométricas. Al aplicar la convolución a los datos, con una matriz es equivalente a aplicarle un filtro. Se puede seleccionar el tamaño y los valores de la matriz, produciendo diversos tipos de filtros.

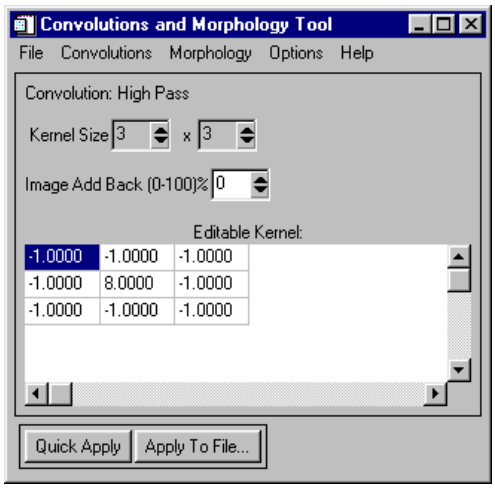


Figura 120. Matriz del filtro

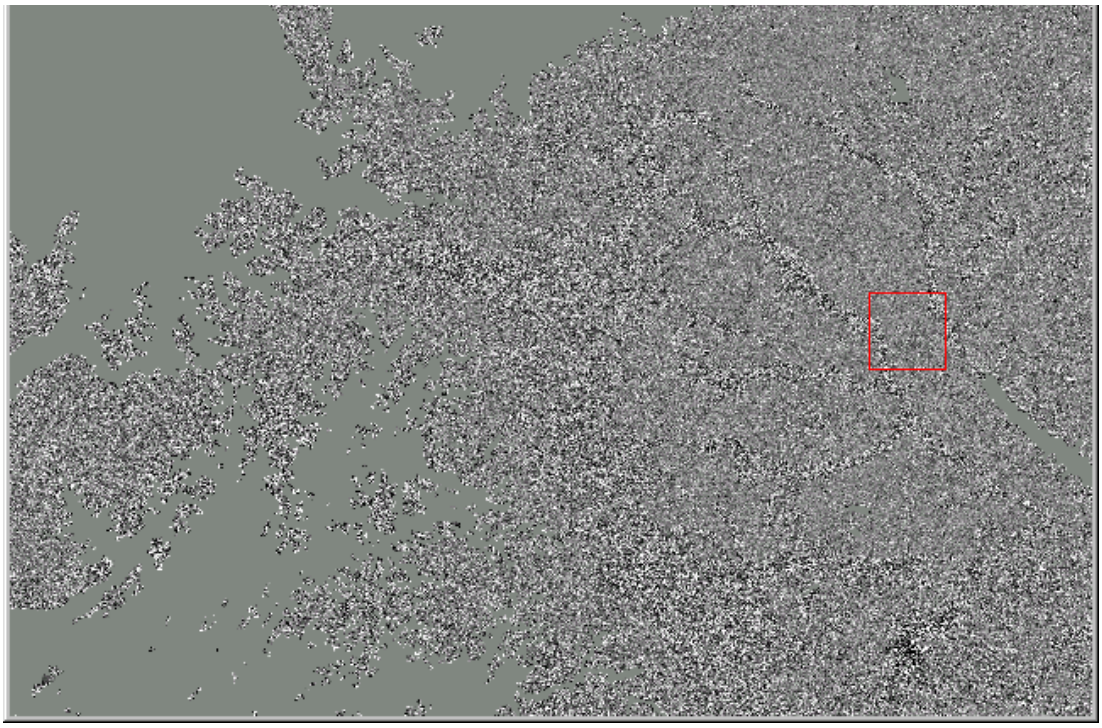


Figura 121. Convolución de los datos con el filtro pasa bajo.

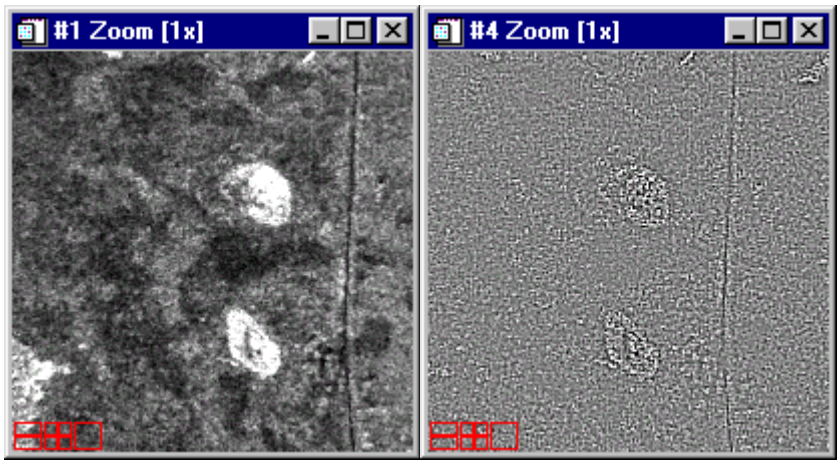
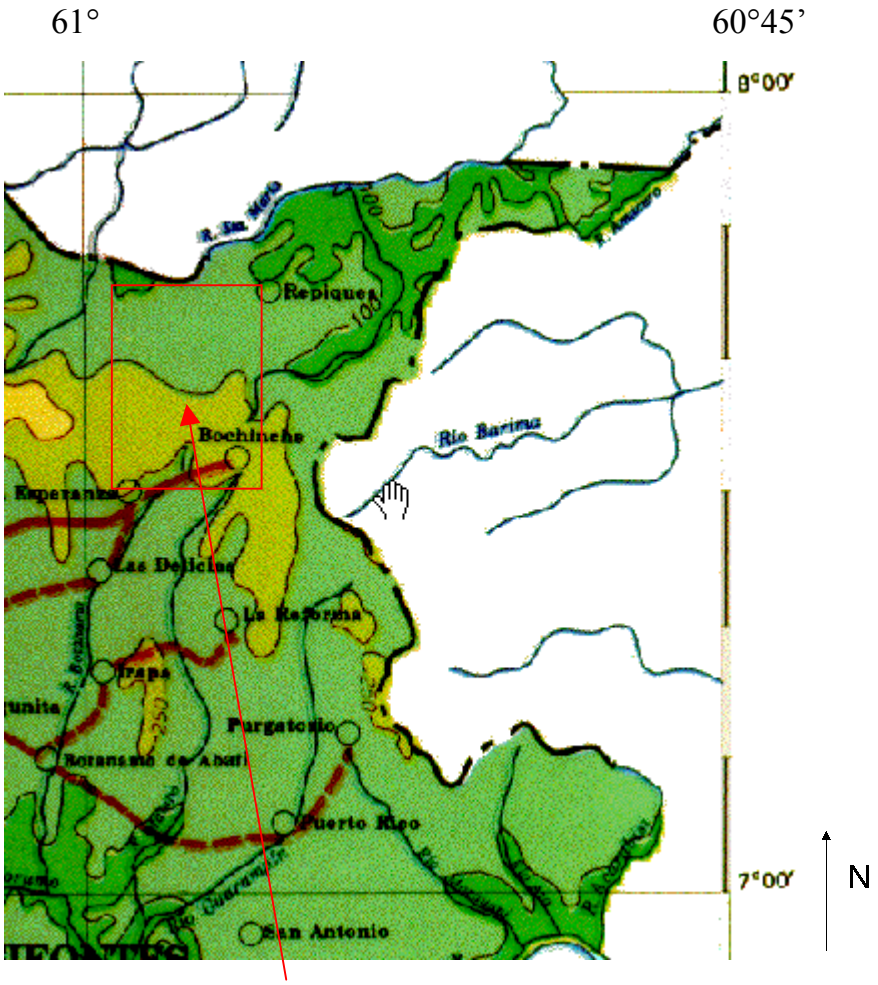


Figura 122. Respuesta en la región de interés al aplicar el filtro de los datos.

El brillo en la imagen es atenuado por la ponderación del brillo de los píxeles circundantes. Aunque en la imagen no se observa estructuras en grandes rasgos el detalle muestra como estas se conservan. Cambiando su expresión de reflectividad al de frecuencia.

5.4 Interpretación Geofísica en el Área de Bochinche

En esta zona se realizaron dos estudios geofísicos, un estudio aeromagnético representado en un mapa de isolíneas magnéticos escala 1:50.000, ubicado entre las coordenadas geográficas 7°30’ – 7°45’ N y 60°45’ – 61°00’ W. Que muestra la tendencia de la zona y se indican áreas para la explotación aurífera. Por las características de la zona es aplicable a otras áreas del Escudo de Guayana, asociado a cinturones de rocas verdes.



Zona de estudio aeromagnético

Figura 123. Ubicación de los levantamiento Geofísico en el área de Bochinche (Tomado del Atlas Geográfico de Venezuela, 2000)

La prospección geofísica realizada en la zona Fernández (1995), evidenció importantes anomalías magnéticas, relacionadas con cuerpo máficos – ultramáficos, poco profundo, también asociados a cinturones de rocas verdes. Esta zona cuenta con poca información geológica debido a las condiciones climáticas y la densa vegetación. El propósito de este estudio en compatibilizar la imagen del radar con los resultados existentes, en la figura XX se muestra la interpretación de los datos magnéticos del área de bochinche.

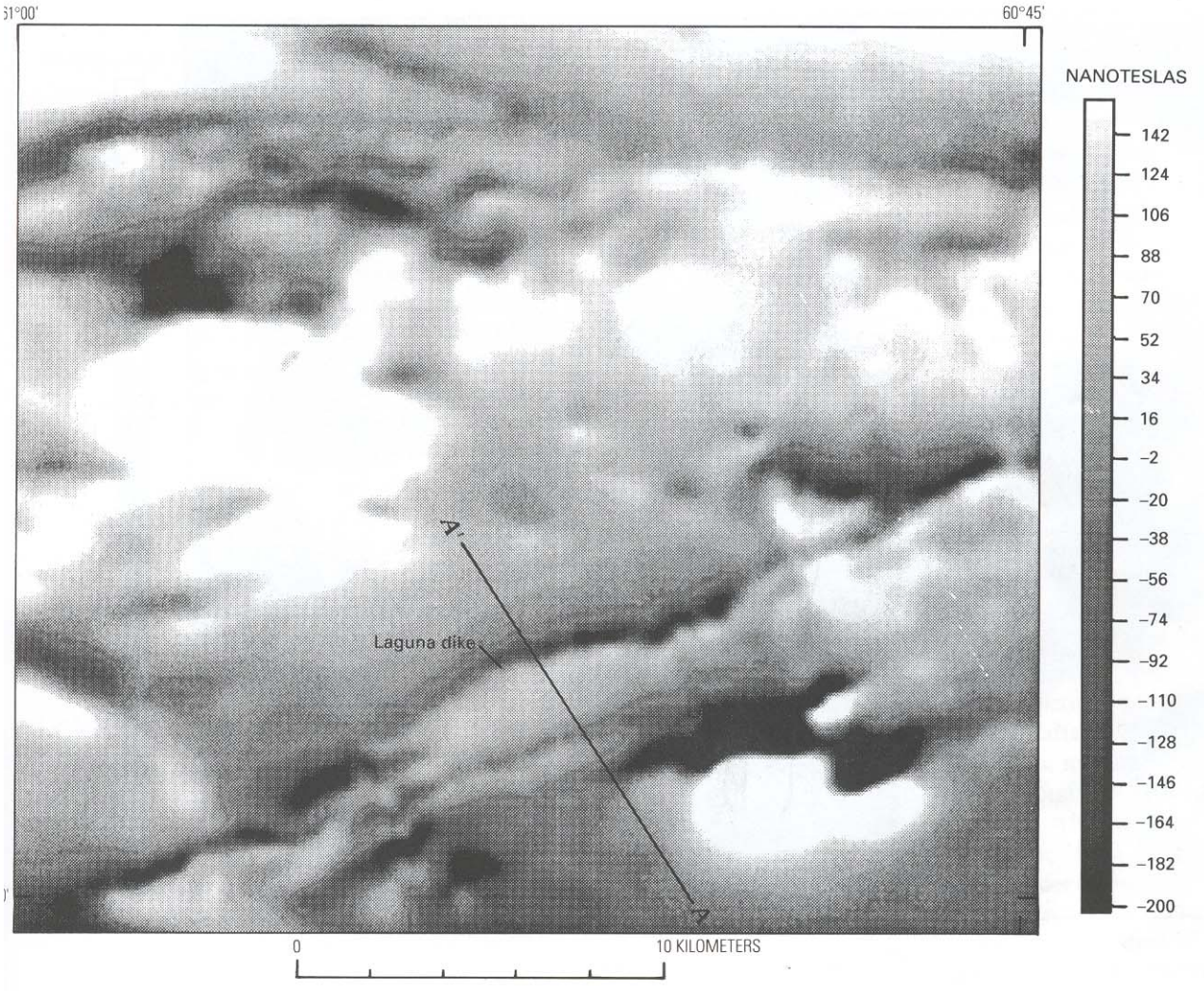


Figura 124. Mapa aeromagnético del área de Bochinche.
(Tomado de U.S. Geological Survey Bulletin, 2124)

Esta respuesta esta asociada al remanente de magnetización de las rocas de la zona, distinguiéndose anomalías magnéticas dipolares, presentándose pares de máximos y mínimos. El mapa de reducción al polo muestra los datos magnéticos en forma equivalente a la incidencia vertical del campo magnético de la tierra, como lo muestra la figura 125

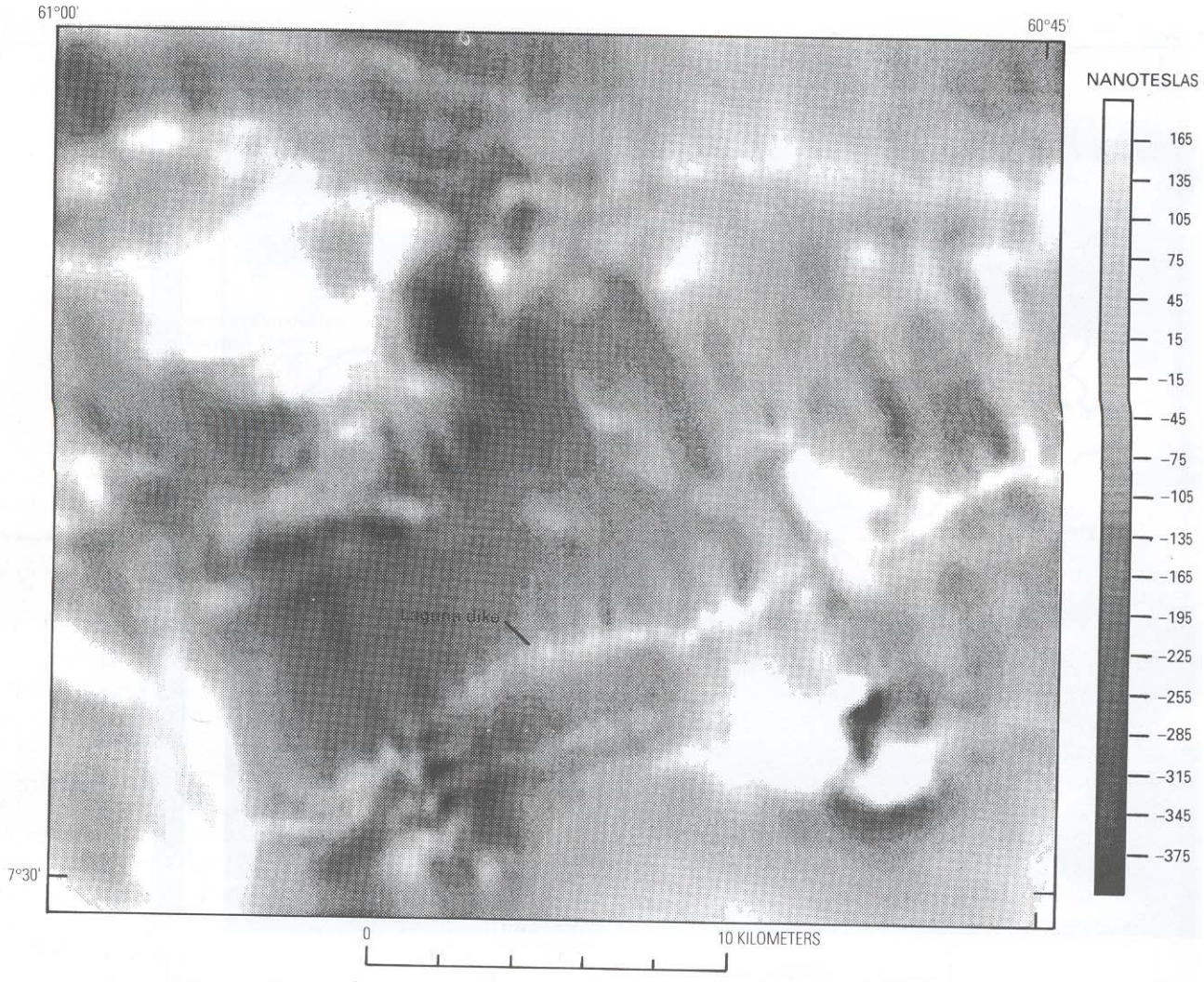


Figura 125. Mapa de reducción al polo en el área de Bochinche
(Tomado de U.S. Geological Survey Bulletin, 2124)

Al realizar una interpretación a color de la imagen que permita distinguir la intensidad de la magnetización en la región de estudio, que permite visualizar características de la superficie como fallas, contactos, cuerpo ígneo. La posición de las anomalías magnéticas depende de la fuente o posición de los cuerpos que la originan.

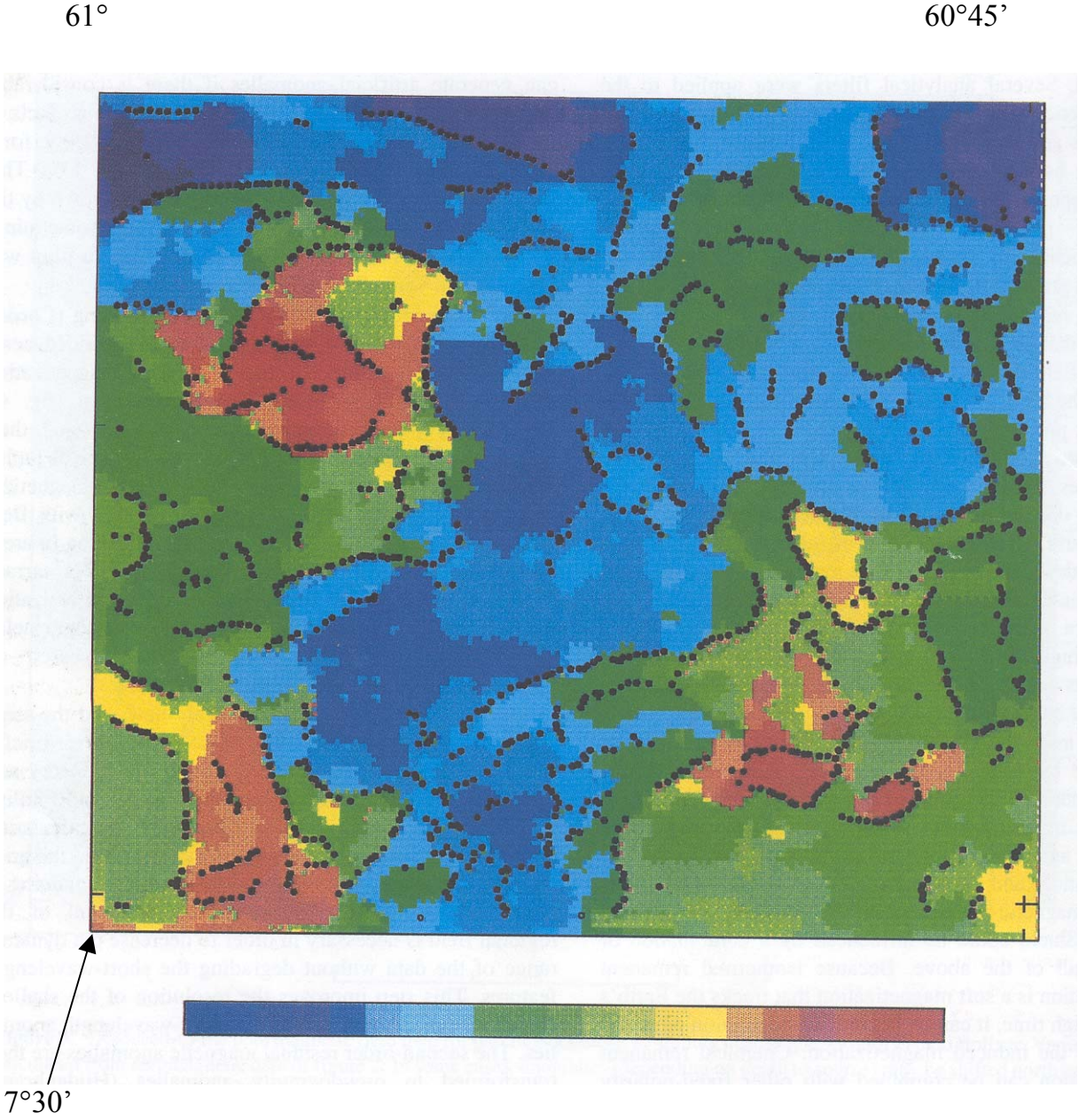


Figura 126. Mapa de magnetización en tierra derivado de los datos aeromagnéticos (Tomado de U.S. Geological Survey Bulletin, 2124)

Para este caso son originadas por rocas ultramáficas, que pueden ser observadas en la superficie en algunos lugares. El contraste de los resultados ser muestra claramente en la figura 126, que muestra el contraste de los colores, siendo mas preciso que la escala de grises. Esta región puede ser dividida en tres zonas: una WSW donde se observan dos máximos, en la zona central resalta un mínimo, coincidente con evidencias de cuarcitas de la formación Yuruari. Al SE notamos un máximo asociado a rocas volcánicas.

Para compara la respuesta de radar primero hay que ubicar geográficamente la zona de estudio, aprovechando que la imagen ya esta georeferenciada, se ubican las coordenadas por medio de la siguiente aplicación del programa ENVI.

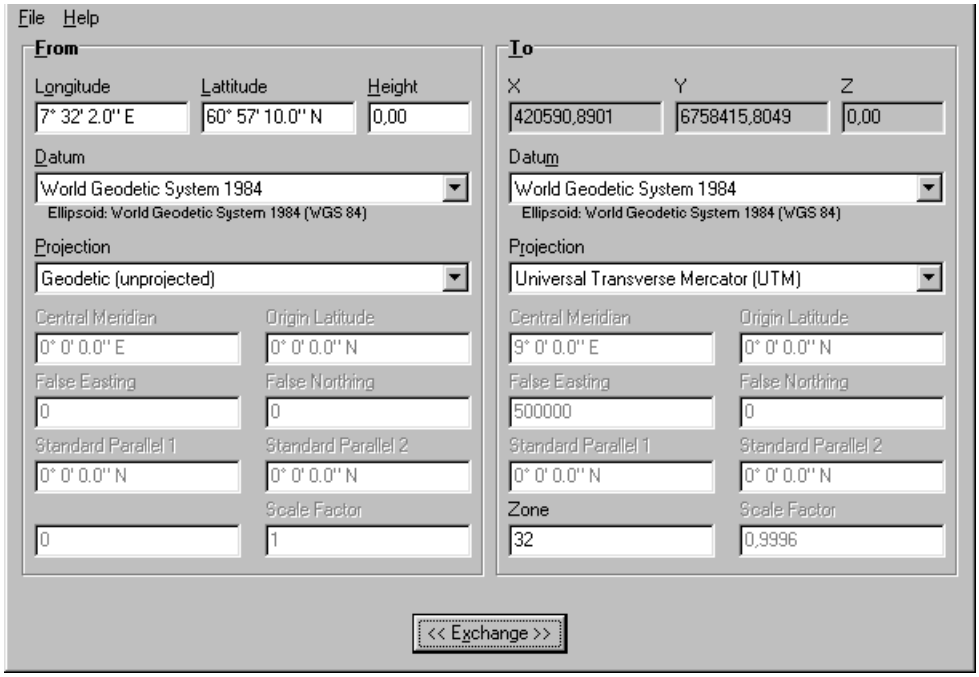


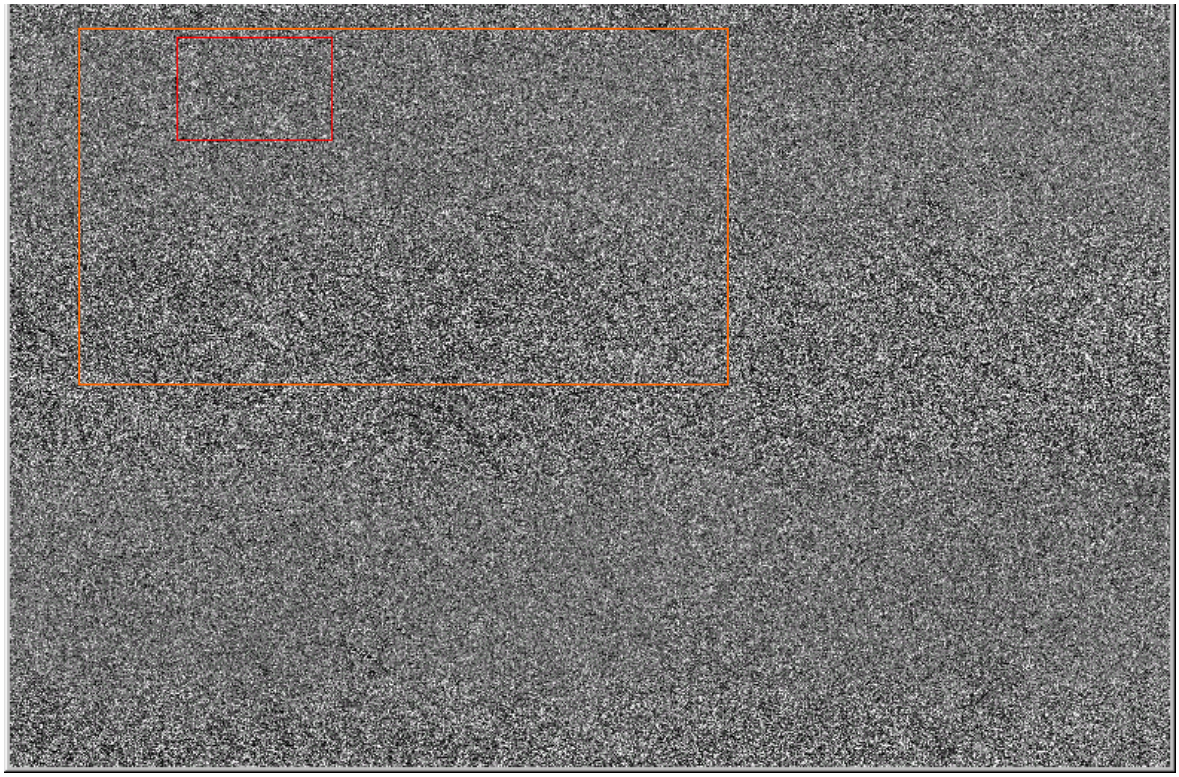
Figura 127.Ubicación geográfica de los puntos del levantamiento.

Las coordenadas corresponden a la ventana 15’

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
7°30’ N	60°45’ W	4178239,1469 N	6735875,6032 W
7°45’ N	61° W	432395,3914 N	6763432,3790 W

Corresponde a mosaico entre el mapa 8039-III, II y 8038-IV, I, delimitado por el cuadro rojo mayor.

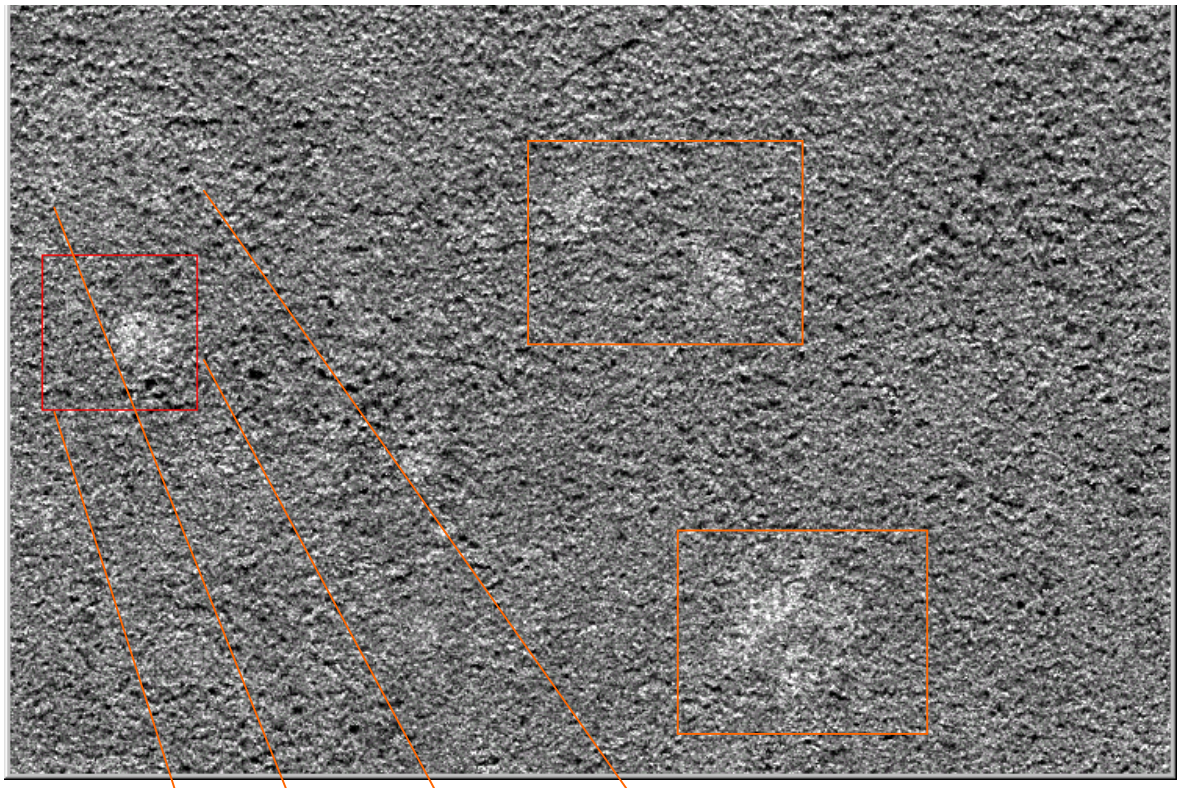
61° 7°45’



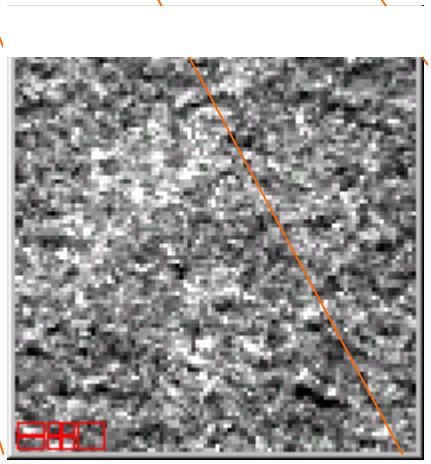
7°30’ 60°45’

Figura 128. Ubicación del levantamiento aeromagnético en la imagen de radar.

61° 7°45’



7°30’ Detalle del levantamiento aeromagnético 60°45’



129. Área de Estudio y Zoom de la zona de interés.

Al observar la respuesta espectral que muestra los elementos representativos, y la alta reflectividad que nos llevo a seleccionar esta zona, ya que la reflectividad del radar depende de la constante dieléctrica del reflector y de su superficie. Notamos como se observa un patrón de zonas brillantes que guardan relación con aquellas anomalías observadas en el estudio aeromagnético. Por lo que sé decidió realizar un análisis espectral para estudiar la evidencia de los minerales presente en esta la zona. Como lo muestra la siguiente figura:

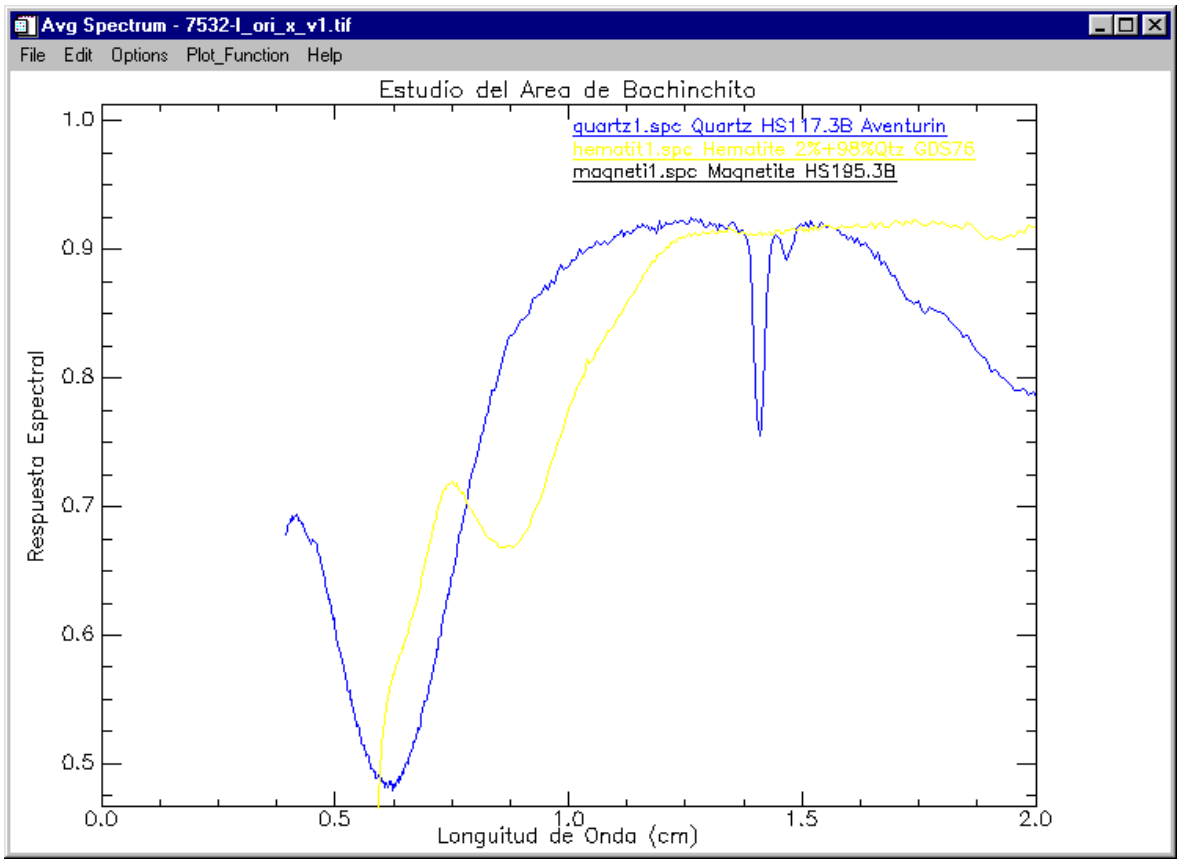


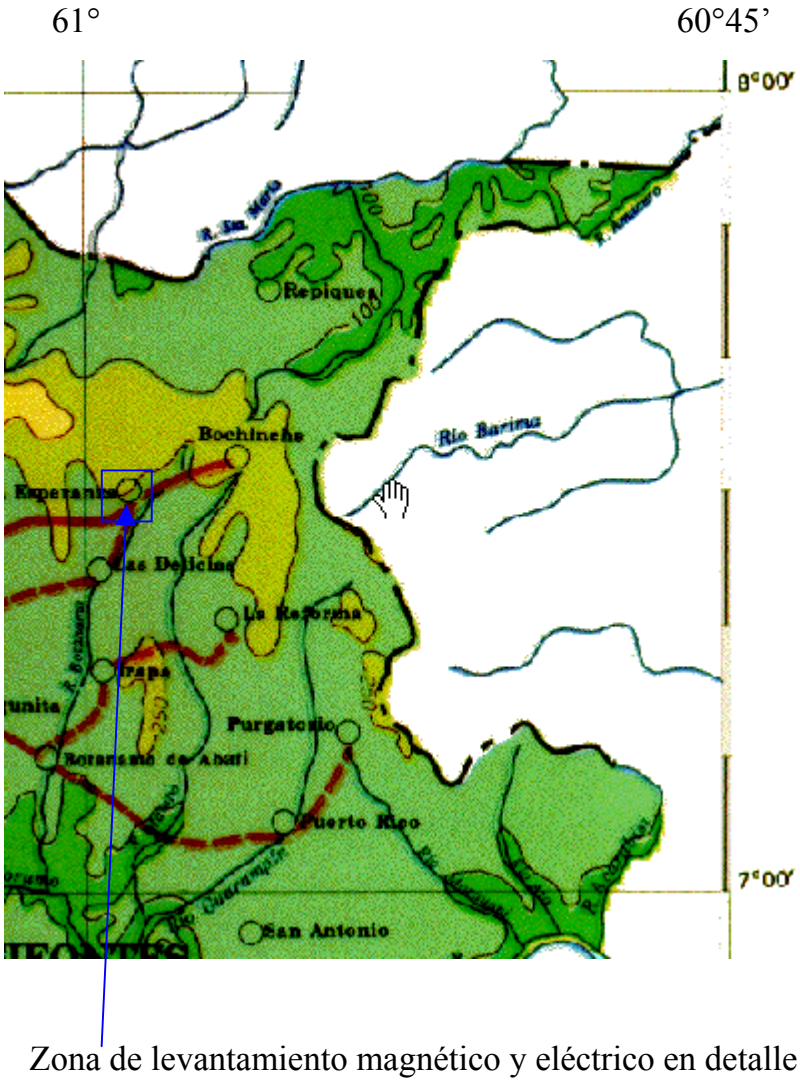
Figura 130. Análisis espectral de las zonas brillantes en Bochinche.

La firma espectral de los minerales presente en esta zona de interés, indica la presencia de Cuarzo y Hematita. Relacionados con la alta reflectividad de la zona y

las anomalías magnéticas, lo que sugiere que la fuente de estas anomalías se manifiesta en la superficie.

5.5 Interpretación Geofísica en el área de Bochinchito

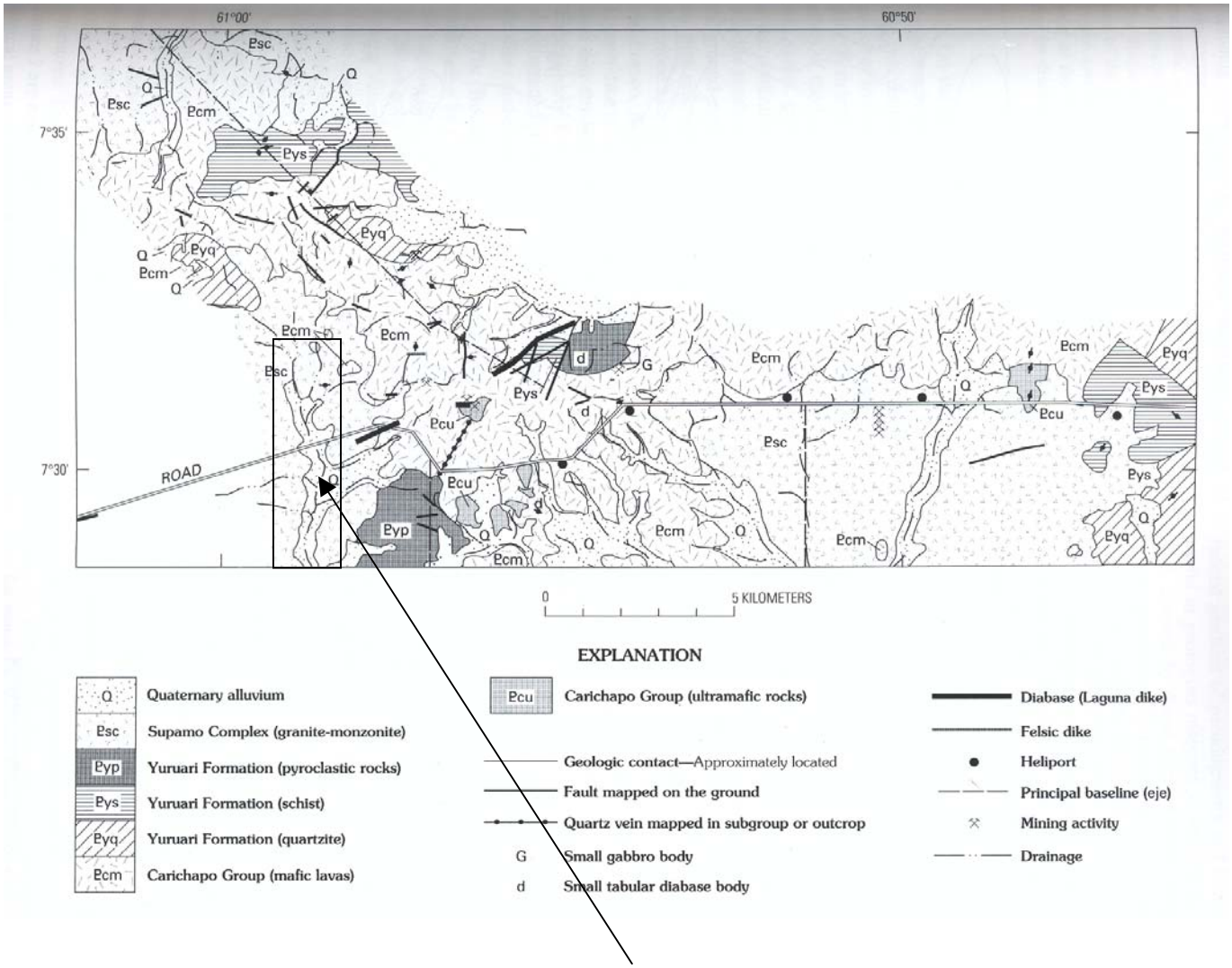
Un estudio realizado en detalle muestra la utilización de métodos geofísicos en superficie. El levantamiento magnético se realizó en un área de 32 Km^2 y el levantamiento eléctrico consistió en la medición de resistividades aparentes con un equipo de polarización inducida este cubrió un área de 14 Km^2.



Zona de levantamiento magnético y eléctrico en detalle

Figura 131. Ubicación de los levantamiento Geofísico en el área de Bochinchito (Tomado de Atlas Geográfico de Venezuela, 2000)

A continuación se muestra un mapa geológico del área de estudio en la figura 132:



Levantamiento

Figura 132. Mapa de geología superficial del área Bochinchito

(Tomado de U.S. Geological Survey Bulletin, 2124)

El diagrama del levantamiento se muestra en la figura 133, nos permite visualizar el detalle del estudio y como en una misma zona se tienen superposición de los métodos geofísicos.

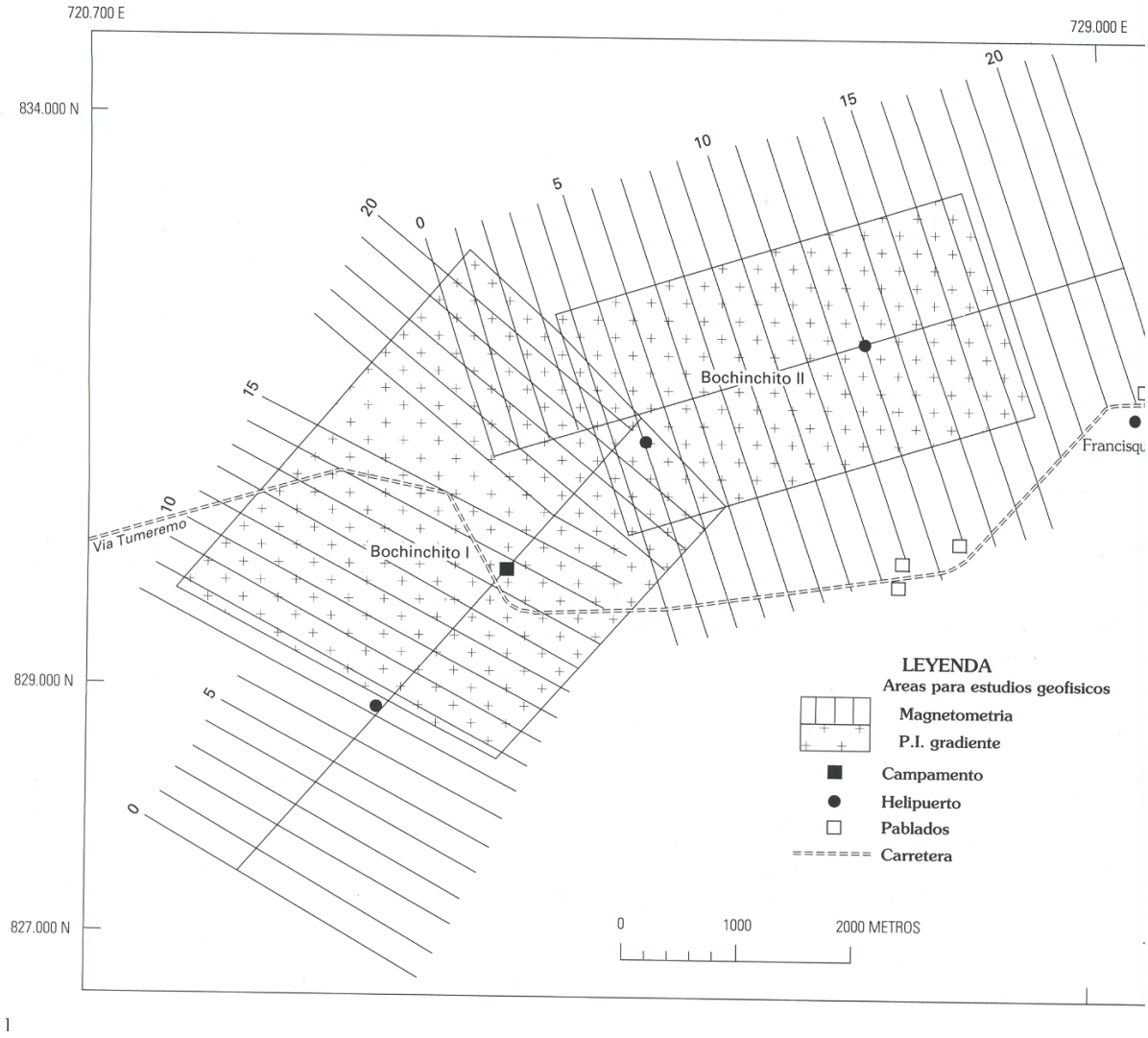


Figura 133. Diagrama del levantamiento

(Tomado de U.S. Geological Survey Bulletin, 2124)

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente mapa, con su interpretación, que muestra las anomalías magnéticas presentes en la zona, así como las características que están asociadas a estas respuestas.

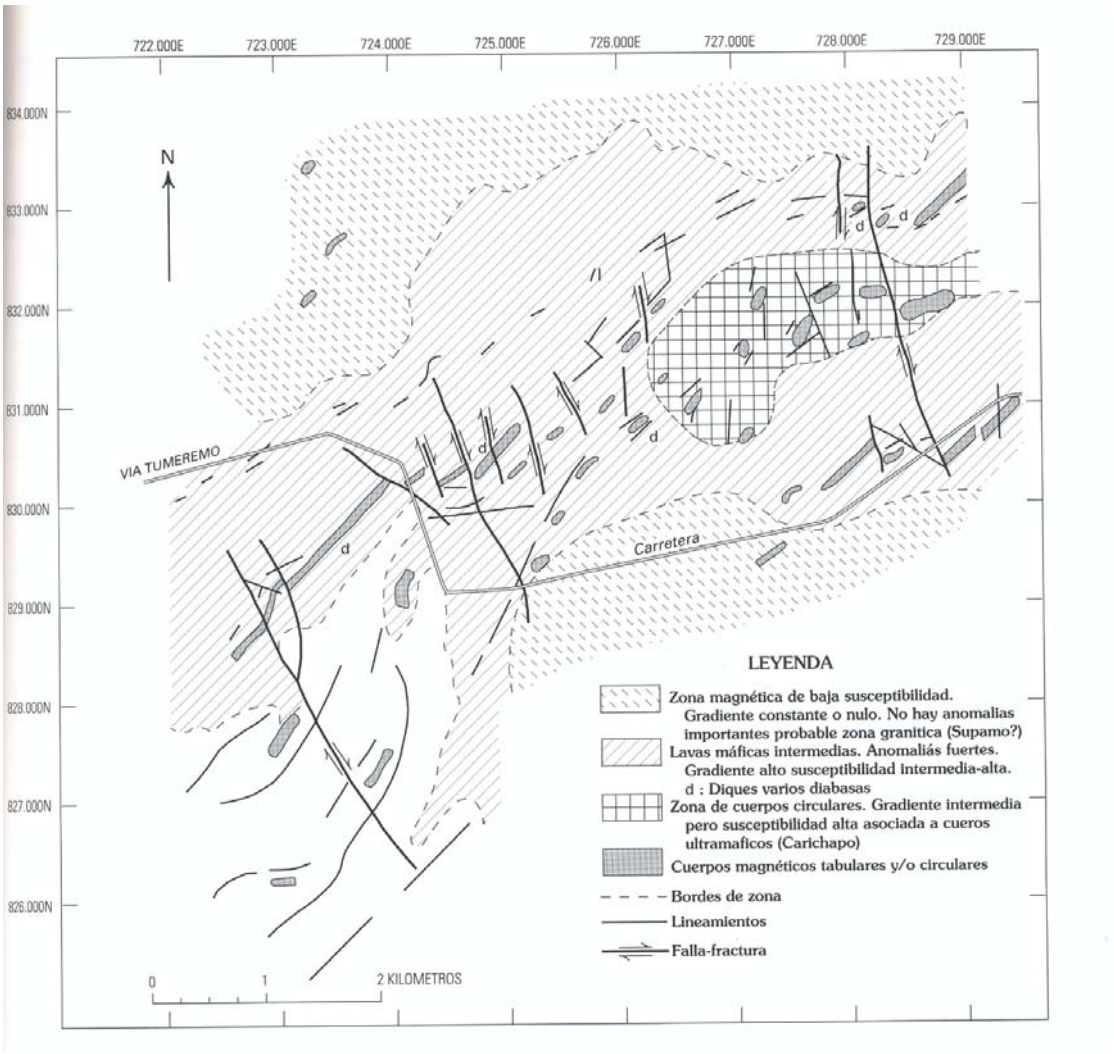


Figura 134. Interpretación magnética de Bochinchito

(Tomado de U.S. Geological Survey Bulletin, 2124)

Esta respuesta permite establecer tendencias estructurales regionales NEE, fallas de tipo sinestral y con rumbo NWW, que determinan cinco zonas magnéticas.

1. Zona de susceptibilidad magnética y gradiente bajo del campo magnético y baja resistividad entre 0 – 2000 ohm-m y 2000- 4000 ohm-m. Zona granítica y con litologías aluvionales.
2. Zonas de alta susceptibilidad magnética y alta resistividad entre 10.000 y 15.000 ohm–m. Presenta anomalías magnéticas fuertes. Ubicado al sur se asocia a rocas ferruminosas con sedimentos cuarcífero, esquistos y félsicos.

3. Alto gradiente del campo magnético y de resistividad intermedia entre 4000-10.000 ohm-m. Esta asociado a lavas máficas de alto contenido de elementos metálicos.
4. Zonas de gradiente intermedio, con cuerpo magnéticos anchos.
5. Zonas con altos valores de resistividad mayores 15.000 ohm-m asociado a rocas félsicas y vetas de cuarzo.

La distribución de estos cuerpos magnéticos alineados en dirección NE, sé encuentran en la zona central, en esta misma dirección en la parte superior derecha se encuentra una anomalía magnética intermedia asociada a cuerpo ultramáficos. Lateralmente va disminuyendo el valor de esta anomalía. La estructura general ser asemeja a un cuerpo sinclinal asimétrico cuyo eje esta en la dirección NE. El siguiente mapa muestra los resultados de la prospección eléctrica en la zona:

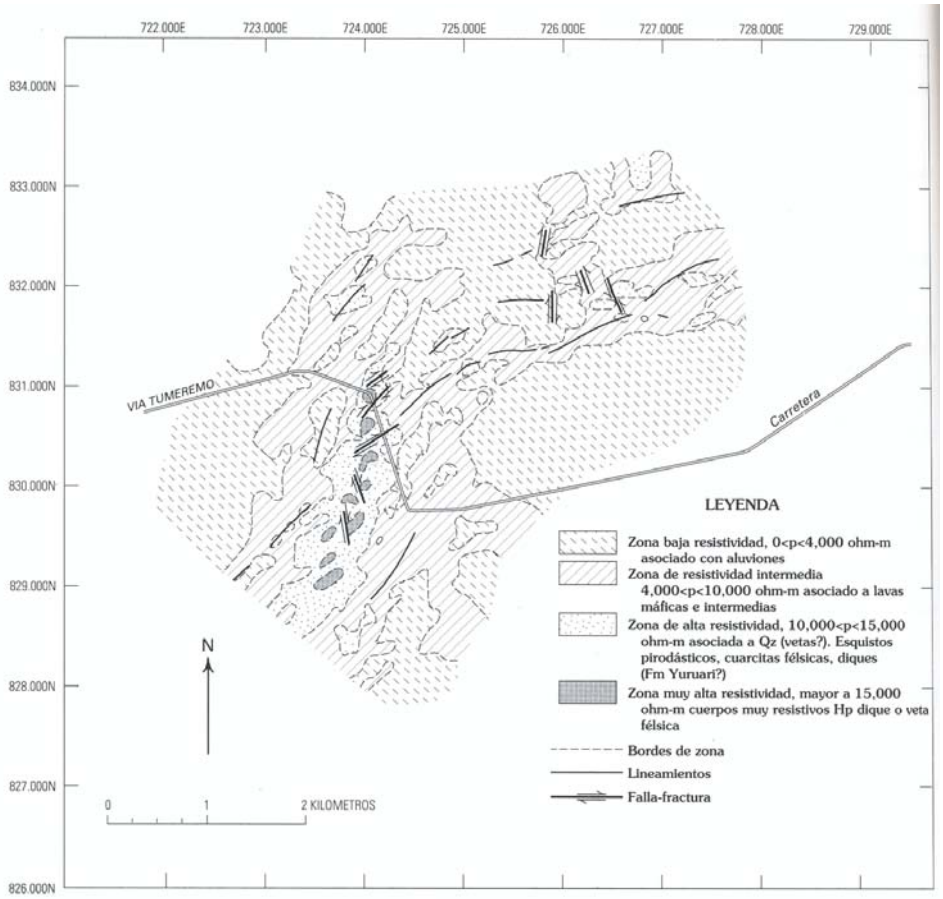


Figura 135. Interpretación eléctrica de Bochinchito

(Tomado de U.S. Geological Survey Bulletin, 2124)

De los datos eléctricos se permitió diferenciar tres unidades:

1. Unidad interior de baja resistividad entre 2.000 – 4000 ohm-m, probablemente aluvional. (en los extremos)
2. Unidad exterior de 5.000 – 7000 ohm-m, asociada a granitos y lavas
3. Unidad de alta resistividad mayor a 15.000 ohm-m. Consiste en diques de diabasa y rocas resistivas tales como cuarcitas y rocas piroclásticas (parte central)

Se desconoce la profundidad de estos cuerpos, pero se asume la superficialidad de estos dado el fuerte contraste de resistividad entre la parte central del perfil y de los extremos. La heterogeneidad de la concentración de los minerales magnéticos. Geometría sinclinal con cuerpo resistivos delgados, poco profundos o aflorando en la zona central. La siguiente figura ilustra la variación de estos cambios.

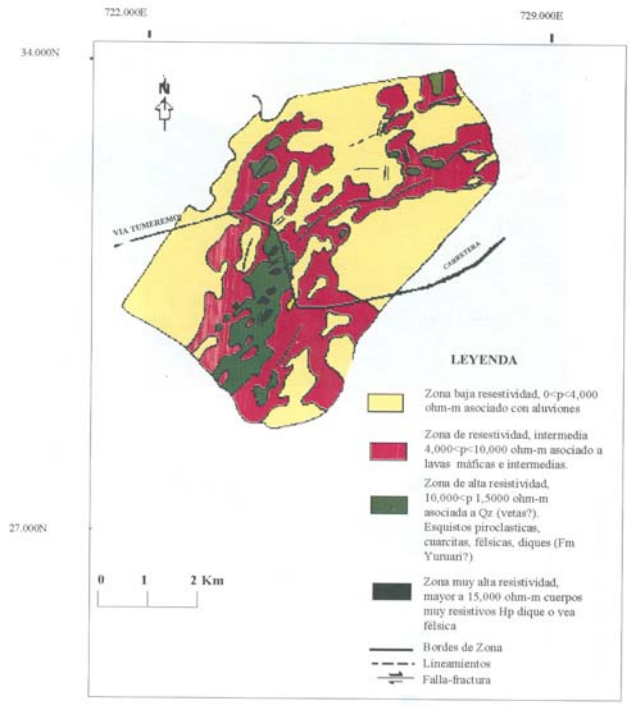
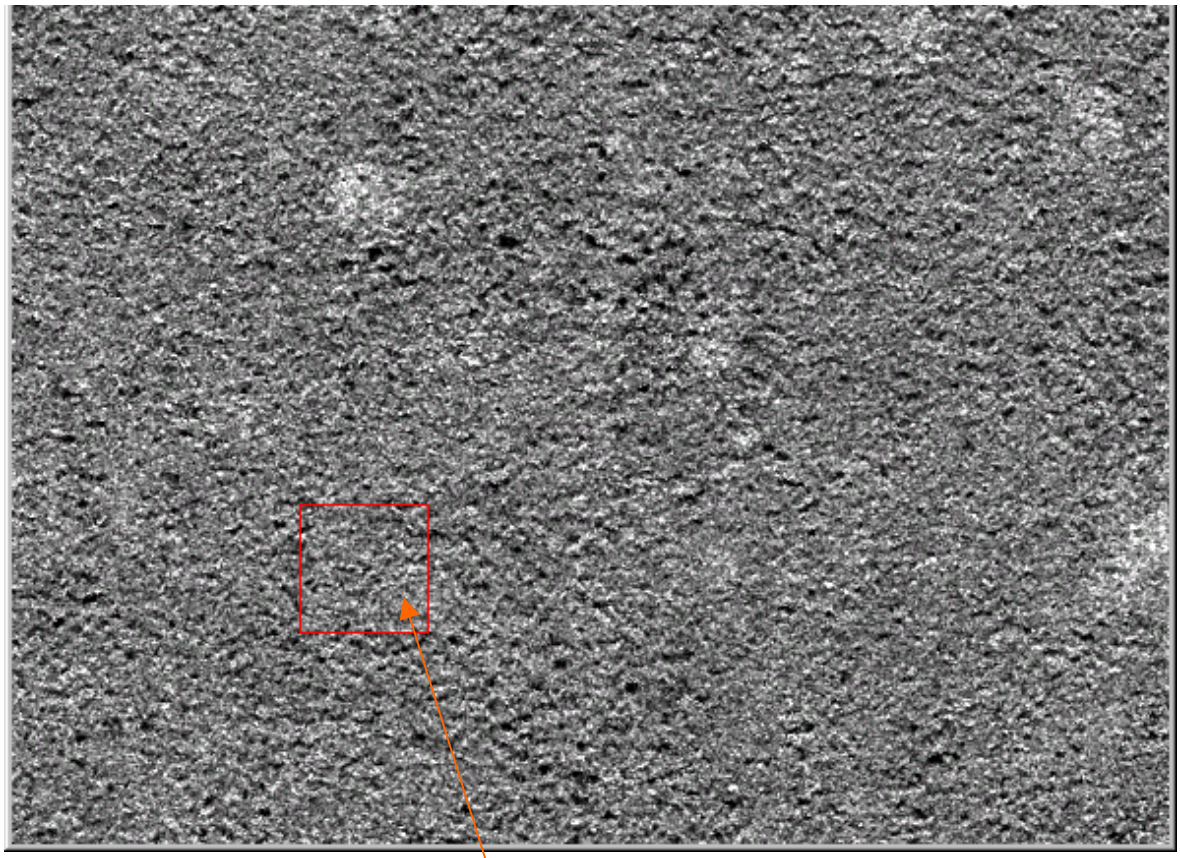


Figura 136. Clasificación de la resistividad en la zona de estudio
(Tomado de Vicente Mendoza S, 2000)

Los resultados muestran una zona central de alta resistividad y como esta va disminuyendo lateralmente. Comportamiento similar al estudio magnético mostrando una estructura sinclinal, donde lo más antiguo se encuentra en la parte central y lo mas reciente en los flancos. Esta variación debido a cuerpos félsicos y ultramáficos de rumbo NE y NEE poco profundo, ubicados en la parte central y de material intermedio (máfico) a aluvional en los extremos. En la siguiente figura se muestra el detalle de la imagen de radar y la ubicación del área de estudio.

61° 7°40’

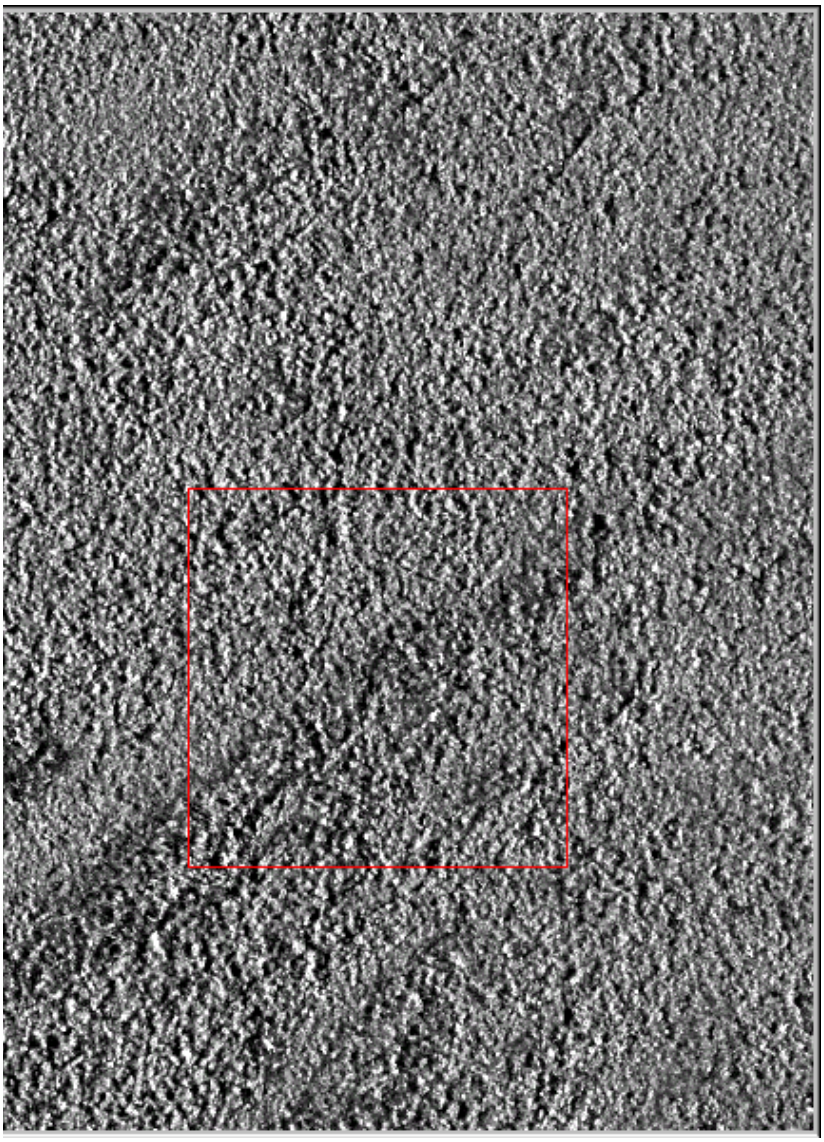


7°36’ 60°45’

Región del levantamiento

Figura 137. Región del área de estudio Bochinchito.

60°57’ 7°32’



7°28’ 60°54’

Figura 138. Detalle de la zona de estudio

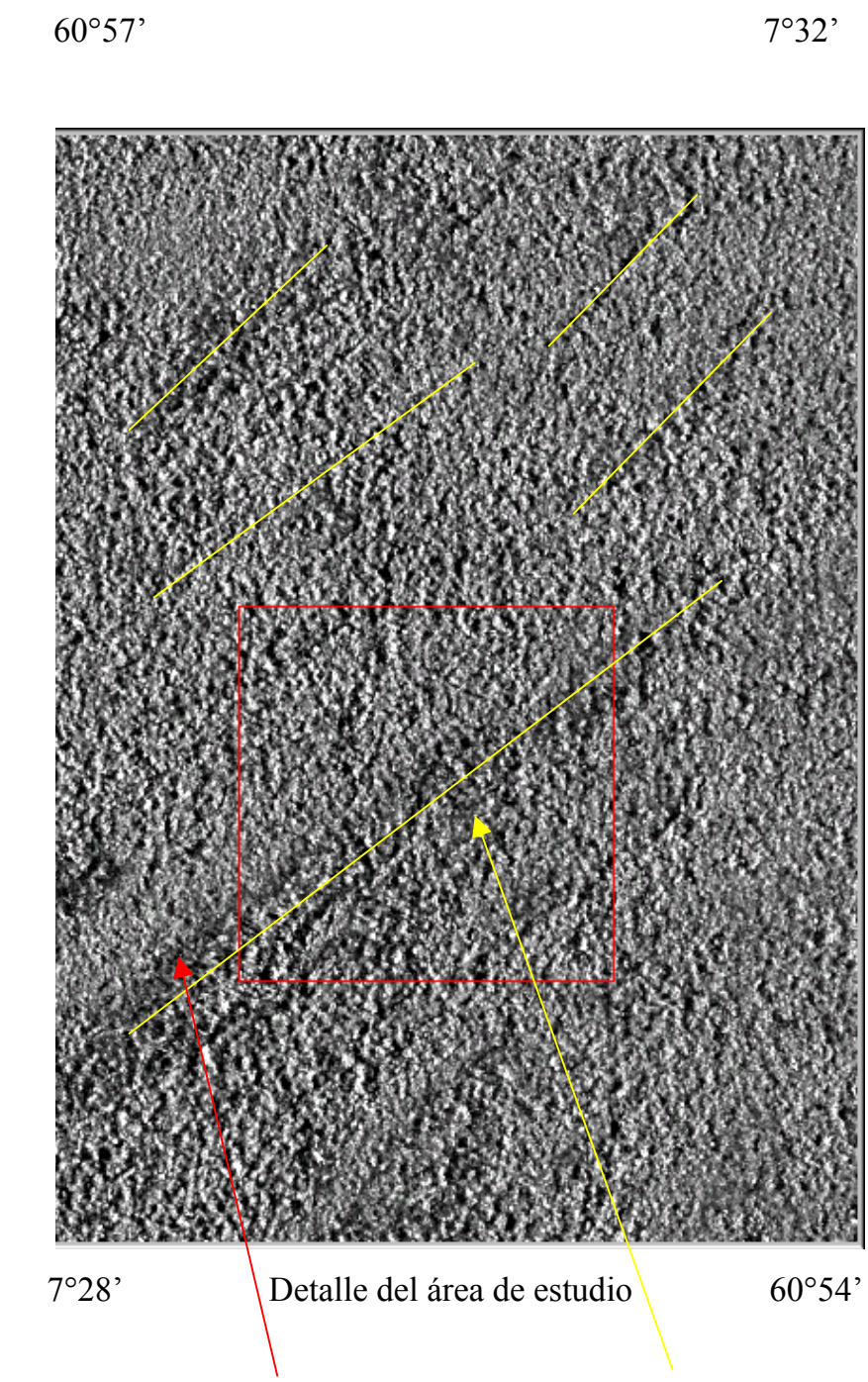


Figura 139. Interpretación de la imagen de radar.

En la figura se puede observar la orientación de las estructuras NE, así como la variación del brillo asociado a la presencia de cuerpo más resistivos en las zonas más oscuras. Que están en marcado contraste con otras áreas más claras y como lo muestran los estudios, estas zonas donde la variación lateral va de acuerdo a la disminución del valor de la resistividad y de la respuesta magnética. De esta manera notamos como las propiedades dieléctricas de la superficie tiene su influencia en la señal del radar y su respuesta varia dependiendo de estas características.

Especialmente para aquellas zonas de alta resistividad donde absorbe la mayor parte de la señal, por estos se observan más oscuras, en respuesta a la mayor penetración y absorción de la señal del radar, retornando en menor proporción al radar. No así para las zonas de baja resistividad que son más brillantes y el factor de penetración es menor por ello esta retorna sin mucha perdida de energía, reflejándose la mayor parte de la señal original.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PROCESAMIENTO

El sistema principal del radar es el correlador, el cual controla la señal de salida y de entrada, además de integrar a esta señal los parámetros de adquisición, las calibraciones correspondientes, comprimir y grabar los datos.

El control de vuelo es fundamental, para la veracidad de los datos, ya que una vez grabados no se puede hacer modificaciones sobre los parámetros de vuelo.

La descompresión de los datos permite obtener las variaciones de fase, mostrada en los interferogramas, donde podemos apreciar la relación de los datos respecto a los canales de adquisición.

El agrupamiento de la procpart, permite unificar los segmentos de vuelo o paquetes de datos que por su volumen, es mejor trabajarlos por parte, para generar la imagen SAR.

El proceso de georeferenciacion permite disminuir el error de altura que registra el radar en el avión el cual es de 5 m. Con un control en tierra, asociado a una estación total permite disminuir considerablemente el error de altura para generar un modelo digital del terreno con un error de 5 cm.

Aunque el radar sea calibrado externamente este siempre va necesitar de la supervisión de los productos, para garantizar la confiabilidad de los mismos.

INTERPRETACIÓN TEXTURAL

El radar permite realizar perfiles laterales en superficie para tener los cambios en superficie. Especialmente en zonas de difícil acceso. Aunque como es propio de los métodos aéreos hay que hacer un estudio en detalle para precisar estos cambios. Especialmente el conocimiento de la geología, como vimos en el caso de la zona de Bochinchito, fue clave para distinguir de las unidades resistivas y magnéticas.

Se observo que las imágenes de radar son particularmente útiles en áreas de gran nubosidad, además pueden efectuar la captura de información en cualquier momento del año. El poder de penetración del radar permite una apreciación del relieve terrestre.

Se observo en las imágenes de banda P, los cambios en vegetación, especialmente a los cambios de pequeña escala especialmente en zonas de sabana.

La zona de estudio denominada El Manteco (7638-II) es muy plana y la textura es muy suave; este tipo de textura hace difícil la discriminación de unidades.

Con sensores remotos también se pueden reconocer la topografía, lineamiento y estructuras geológicas, secuencia estratigráfica.

INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

Los datos grabados contienen información mas que simple ruido y algunas son de interés geofísico, pero se requiere de un equipo de procesamiento sofisticado de datos que incluya un poderoso analizador de espectro y filtraje. Que permita discriminar estos datos e interpretarlos con mayor profundidad.

La propagación de la señal de radar es descrita por una ecuación de onda, cumpliendo con las leyes de reflexión, absorción y difusión. El comportamiento de las ondas electromagnéticas de radar es análogo al de las ondas sísmicas, donde su propagación esta determinada por los parámetros elásticos de las capas. En el caso de las ondas electromagnéticas su comportamiento es determinado por las propiedades dieléctricas de la superficie.

Se observo que las altas frecuencias son rápidamente atenuadas en la profundidad, por ello no tenemos información del subsuelo, sino superficialmente.

La penetración es un parámetro que depende de la conductividad y la frecuencia de la onda electromagnética, comportándose de la siguiente manera:

- La señal de radar a mayor frecuencia disminuye la profundidad de penetración.
- La señal de radar a menor frecuencia aumenta la profundidad de penetración, la onda no es atenuada tan rápidamente, como el caso del GPR.
- La señal de radar al estar en contacto con una zona de mayor resistividad aumenta la profundidad de penetración, ya que la señal es absorbida en vez de ser reflejada.
- La señal del radar al estar en contacto con una zona de menor resistividad, retorna rápidamente, ya que la superficie actúa como un espejo reflejando la mayoría de esta.

Para una mayor penetración, el transmisor debe ser de baja frecuencia, pero cuidando que el nivel de frecuencia permita el retorno de la señal. También se pudiera considerar incrementar la separación del receptor y el transmisor, para obtener una mayor penetración.

La banda X permite determinar cambios en el modelo digital del terreno, como se observo en el cambio del nivel de agua de El Manteco. Aunque la resolución es de 25 centímetros esto permite realizar estudios de subsidencia con imágenes del terreno multitemporales, muy importante en geofísica para crear modelos empíricos de movimiento

La respuesta espectral y la alta reflectividad indica la presencia de elementos metálico, ya que esta depende de la constante dieléctrica del reflector y de su superficie.

El radar trabaja con una frecuencia fija, la variación de la reflectividad esta dada por la resistividad del material que sé este prospectando. A mayor resistividad aumentara la penetración y por ello la señal se atenúa mostrando zonas oscuras. En el caso contrario a menor resistividad la superficie reflejara la mayoría de la onda incidente por lo que no habrá penetración y estas zonas se presentan mas brillantes.

Para el caso estudiado deducir la penetración de la onda es un factor que no podemos estimar, ya que en ningún parámetro de retorno del radar muestra esta información y especialmente que este radar no fue concebido para este propósito. Por esto el único indicador que tenemos es reflectividad que nos indica que un cuerpo es mas o menos resistivo, sin conocer este valor nominalmente.

Al mejorar el modelo de reflectividad, la calidad de adquisición, técnicas avanzadas en el procesamiento y especialmente en el desarrollo de los métodos de inversión permitirá una mejor interpretación de la zona de estudio.

En cuanto a las características de la zona de estudio, en grandes rasgos es una asociación litológica de cinturones de rocas verdes, producidos por alto metamorfismo, representativa del Grupo Caripacho del Supergrupo Pastora. Aunque la mayoría de las rocas son ultramáficas con asociaciones de esquistos, cuarcitas ferruginosas, caracterizadas por ser rocas muy compactas. Las anomalías magnética y eléctrica se corresponde a las zonas de mayor brillo en la imagen de radar, asociado a zonas es de baja resistividad, al igual que las zonas oscuras constituidos por material más antiguo de mayor resistividad. Creando un patrón de absorción y reflexión de acuerdo a la resistividad. Esto quedo corroborado en la zona de Bochinchitos, donde se pudieron compara ambos resultados y observar estos cambios en la imagen del radar.

OTRAS APLICACIONES

Además de lo mencionado, al momento de la realización de este trabajo de investigación surgieron inquietudes para obtener mas información de estos datos, por ello las imágenes se transformaron en una matriz en formato ASCII, para realizar un estudio geoestadístico, pero el volumen de datos que se generaban estaban en el orden de 30.000.000 de datos, lo cual no permitió la realización de este proceso.

Por la alta resolución del modelo digital del terreno tiene su utilidad en Gravimetría a la hora de hacer correcciones topográficas, al estar georeferenciado el punto de la estación y tener el modelo digital del terreno, se puede crear una rutina que vaya reconociendo estas diferencias por sectores y pueda calcular este valor.

El planeamiento de levantamientos en zonas de difícil acceso, por medio de estas imágenes ahorraría los costos, además de resaltar posibles zonas de interés.

LIMITACIONES

Especialmente por la carencia de oportunidades de adiestramiento y la relativamente poca disponibilidad de estos programas.

El costo de trabajo inicial de esta tecnología es sumamente alto, ya que requiere inversión en la capacitación profesional, adquisición de literatura especializada en el tema, computadoras de alta capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos, los programas de procesamiento, la adquisición de la imagen.

La ausencia de imágenes de este tipo no permite hacer la comparación de las correcciones realizadas, la única base para evaluar estos resultados fue la apreciación visual de la imagen donde las correcciones mejoraron en gran medida la calidad de la imagen.

APÉNDICE A

SISTEMAS DEL RADAR

Aquí se muestran algunas consideraciones practicas asociadas con el diseño e implementación de un sistema SAR (Radar de Apertura Sintética). La capacidad de un procesador para producir alta calidad, calibración de la imagen de los productos, que depende de la calibración de los elementos que preceden a estos. El aspectos de la calidad de los instrumentos de vuelo, estabilidad, linealidad, frecuencia de respuesta, pueden contribuir significativamente en el total funcionamiento del sistema. Un mal diseño o malfuncionamiento del sensor puede resultar en una mala interpretación de los datos de imágenes como también un nivel excesivo de ruido, así como ambigüedades. Que se puede evitar si se direccionan las fuentes de ruido. Es vital discutir el sistema físico del radar y la comunicación de los subsistemas, funcionamiento de las especificaciones técnicas y medidas del funcionamiento.

El sistema de radar esta compuesto por tres subsistemas principales:

- El sensor SAR
- La plataforma
- El procesador de señales

El sensor de radar esta compuesto de cuatro características principales:

- Tiempo y control
- RF Análogos
- Rutina de datos y componentes electrónicos digitales
- Antena

Cada uno de estos están subdivididos en otros componentes. Por ejemplo la antenas típicamente es el mayor de los subsistemas y esta compuesto por la alimentación, radiador, estructura de soporte. Algunas hasta disponen una antena de comunicaciones para almacenar temporalmente los datos a bordo.

En los sistemas de datos SAR hay varios niveles de productos de los datos que son definidos por la estación receptora y el preprocesamiento para remover los artefactos telemétricos. El subsistema de procesamiento de datos en tierra consiste en el procesamiento que produce una vista simple, imagen compleja para una ejecución bidimensional emparejado para el filtrado de los datos, siguiendo con un nivel de procesamiento que ejecuta las correcciones radiométricas y geométricas de la salida anterior. Este nivel puede ejecutar la ejecución de un filtro pasa bajos para la reducción del punto de ruido y la detección de imágenes complejas para mostrarlas.

La etapa final del procesamiento deriva la información geofísica (rugosidad de la superficie, humedad del suelo, dependiendo de la compactación del suelo), desde cualquiera marco de imágenes o coregistros de imágenes multitemporales.

Cada elemento de los sistemas de datos introduce ruido de algún tipo que daña la señal, efectivamente degrada la ejecución del sistema total. Esta ejecución es caracterizado por la función de respuesta de impulso del sistema. Adicionalmente la ejecución de las características relacionado de la calibración radiométrica y geométrica. Las fuentes de ruido que degradan el radar de apertura sintética pueden ser categorizada son las siguientes:

Errores de amplitud y fase a través de los anchos de bandas del sistema que degrada el rango de respuesta de la función impulso.

Inestabilidad de fase sobre los intervalos de tiempo variando desde lo relativo al corto viaje de propagación alrededor de la más larga duración de la apertura sintética (o tiempo coherente de integración) el cual primeramente degrada el azimut de la repuesta de la función impulso.

El ruido termal introducido por los componentes analógicos los cuales degradan el rango del sistema dinámico y la ejecución de la polarimetría (estimación de la exactitud de la fase)

La distorsión del ruido, se introduce por la cuantización del error, sistemas no lineales (efectos de saturación), error del ruido en bits (desde la comunicación de los sistemas) los cuales degradan la respuesta de la función impulso en ambas dimensiones.

La degradación introducida por el primer de los 2 ítem anteriores son generalmente considerados por errores de los sistemas lineales, mientras que la distorsión del ruido es por errores no lineales. Los errores de sistemas lineales pueden ser caracterizados como errores determinísticos, ellos pueden ser compensados en la señal del procesador por ajustar el filtro de la función de referencia. El residual, componentes del error lineal degrada la respuesta de la función impulso. Las fuentes de ruido no lineal pueden ser modelado como un aditivo de ruido blanco. Sin embargo la frecuencia de los armónicos van presentándose por los efectos de saturación que necesita ser tratado separadamente. El ruido termal puede resultar en la medida de los errores o en los ejemplos individuales básicos, pero sobre el largo numero de ejemplos el poder de ruido promedio exactamente estimado y restado desde el promedio recibido poder para derivar exactamente en el estimado del coeficiente retrodispersión.

Transmisión

La coherencia de la señal de radar originada con un oscilador estable local. Esta señal es bloqueada dentro de un subsistema exitador de acuerdo a la duración de un pulso predefinido y pulso de repetición de frecuencia (PRF). El exitador modulado del pulso de tono con una frecuencia del código de fase. Esta señal es trasladada al portador deseado de frecuencia por la serie de mezcladores, amplificadores, filtros de pasabandas. El portador de frecuencia, la señal RF de entrada al amplificador de alta frecuencia (HPA), los cuales son una cascada de amplificadores de estado sólido, o al viajar en el dispositivo de tubo de onda (TWT) . Esta señal de alto poder es pasada a través de un interruptor circulador del subsistema de la antena. La alimentación de la antena de la red de trabajo consiste en un cable coaxial y/o guía de onda con el poder de dividir. Esta división de la señal dentro de un numero de trayectorias paralelas coherentes (asumiendo que la antena tiene un arreglo de fases) la cual termina con elemento radiantes o puertos. La alimentación de la red de trabajo puede contener saltos de fase por el manejo y módulos transmisores / receptores para mejorar el arreglo activo.

Recepción

El retorno del eco es colectado por la misma antena radiadora y el sistema de alimentación como fue usado para la señal de transmisión. La excepción es un arreglo activo donde el modulo T/R de las trayectorias no son las mismas al recibir y transmitir. El circulador de los interruptores de la señal de eco dentro del receptor donde el filtro pasa banda y la entrada para el amplificador de bajo ruido (LNA). El amplificador de ganancia variable (VGA) típicamente sigue el LNA para normalizar la amplitud de señal de acuerdo al objetivo de retrodispersión. Entonces esta señal

es cambiada la frecuencia a una frecuencia intermedia (IF) para el filtro de banda estrecha para el pulso del ancho banda, amplificada, y de nuevo cambiada para la bande base o compensación de video por una serie de filtros y mezcladores. Esta señal de video es fracturada para poder dividirla y digitalizar usando convertidores duales (análogo a digital) (ADC) de la señal base de la banda. Alternativamente, un simple ADC muestrea dos veces el ancho de banda del sistema puede ser usado para digitalizar la compensación del video. La salida ADC es entonces la expansión del tiempo protegido en la acceso a la memoria aleatorio de alta velocidad para alcanzar la flujo constante de la corriente de la data. Esta data es entonces pasada para la unidad formateadora la cual añade a la central (señales de calibración, telemetría, reloj GMT) y las salidas de datos a la plataforma.

La plataforma transfiere los datos de video ajustado al formato para la señal de procesamiento del sistema en el vuelo, los datos retornan para ser grabados, procesados, o transmitidos a la estación receptora. Allí reciben el procesamiento que desmodula el portador de la señal para ir al canal de codificación (esto es aplicado en la protección de errores de bit), y corregir los artefacto telemétricos (secuencia de datos, polaridad). Esta plataforma puede incluir el grabado digital de alta densidad (discos duros) para el almacenamiento de datos temporales, procesadores de señales digitales para remover la modulación del código de pulsos (rango de compresión) y/o información sintética de apertura (compresión del azimut) en tiempo real en vuelo los procesadores son las mas conocidas encontradas en sistema SAR diseñados para las aplicaciones militares. La complejidad de los equipos puede ser reducido significativamente por el bajo acoplamiento de la señal de video SAR y digitalizar los datos recibidos en la estación. La desventaja para este diseño es en la ejecución del sistema, en términos de la exactitud de la calibración radiométrica.

Procesamiento

El procesamiento digital de imágenes de radar se refiere a la aplicación de una serie de algoritmos estadísticos y matemáticos a una imagen digital con el fin de corregir defectos geométricos y radiométricos, todo esto a mediante el uso de programas informáticos en un computador.

Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas debidas a muchos factores, estos incluyen desde ligeros movimientos de la plataforma, pasando por distorsiones debidas a la rotación de la tierra, anomalías de funcionamiento del sensor, hasta distorsiones del tipo geométrico.

El principal objetivo del procesamiento digital de imágenes es permitir manipular y analizar los datos de imágenes producidas por sensores remotos, de tal forma que podamos sacar información que no pueda ser reconocida visualmente en la forma original.

La primera etapa del procesamiento es la ejecución de la sincronización y ajuste al formato. Desde que los datos son grabados en una rango lineal. La correlación de los sistemas usa funciones de referencias dimensiónales. El proceso de operación para las correcciones radiométricas, que modula las señales, el remuestreo geométrico, detección de los filtros pasa bajos y reducción del ruido. En general estas operaciones las cuales producen imágenes calibradas radiométricas y geométricas para la extracción de información de la superficie y no es reversible. Para finalizar en la calibración de las imágenes que representan algunos tipos de características de la superficie de origen geofísico, lo que muestra los objetivos reflectivos. Desde el

procesamiento de requiere la interacción con el operador, típicamente no es considerado pero es necesario para verificar la calidad de las imágenes.

Esta depende de la exactitud de los equipos de vuelo. Los errores de fase y amplitud del sistema pueden tener distorsiones en la respuesta de la función de impulso.

Técnicas de medidas

Las técnicas comúnmente usadas para la medida de amplitud característica de la función de transferencia es usada como entrada en series de niveles iguales de tonos espaciados a través de la frecuencia del espectro y la medida de la señal de salida usada. Para la medida de las características de fase, en series de pulso, cada uno en diferentes frecuencias espaciadas a lo largo del ancho de banda del sistema, es usada como entrada. Los cambios relativos son retrasados en grupo de cada pulso es medida en la salida usando un analizador de la red de trabajo. El cuadrado numérico es usado para derivar la fase versus de la frecuencia de datos. El menor cuadrado del error cuadrático es aplicado para estos puntos y el error de la fase RMS es calculado desde los residuales. La variancia de estas medidas determinan la sincronización cuales pueden ser convertidas dentro de la fase de error.

Análisis de sistemas lineales

La asunción de los sistemas lineales que permite caracterizar cada elemento del sistema SAR, desde las antenas para la señal del procesador en función de la función de transferencia. Los errores aleatorios en ningunos de estos elementos puede impedir la ejecución de los filtros en la correlación SAR y produce errores en la respuesta de la función de impulso. Algunos tipos de errores son producidos de anchos de bandas, filtros, amplificadores, y otros dispositivos sobre el periodo de la

dispersión de pulso, errores de pulso, sincronización, y osciladores locales coherentes.

Análisis de sistemas no lineales

Mientras que la mayoría de los componentes son diseñados para que operen en una región lineal sobre los rangos de entrada, la actual ejecución del radar nunca puede ser categorizada como lineal. Dado que el retorno de la amplitud de modulación del eco es aleatoria, alguna fracción de los datos (colas de distribución de la probabilidad) pueden presentar saturación. Si el porcentaje de la saturación de los datos es pequeño, el sistema esta en un modo operación cuasi lineal, donde las no linealizaciones son caracterizadas por el nivel de armónicos o distorsiones de inter modulación. Estas distorsiones características son evaluadas usando sinusoidales, como una señal de entrada y estudiar el poder falso en la salida del espectro señal.

Sin embargo, esta técnica solo estima aproximadamente el sistema no lineal desde la señal de distorsión es generalmente dependiente de la frecuencia y de la entrada sinusoidal. El sistema de radar produce una prueba con el numero de tonos espaciados a la frecuencia a través de ancho de banda. Estas pruebas son desarrolladas para evaluar la distorsión intermodulada, donde los pares de entradas de tonos son utilizadas para caracterizar las responsables del sistema no lineal de segundo orden, es de notar sin embargo que estas no son series finitas de entradas de tonos pueden caracterizar un sistema no lineal. Una alternativa es la técnica de medida de gausiana de ruido blanco. Lo que es un poco complicado por su calidad, los sistemas de radar no lineal se presentan por la saturación y limitaciones de los amplificadores y mezcladores. Adicionalmente el cruce de distorsiones puede producir características no lineales debido a los cambios de modo en las operaciones (interruptores de alto poder).

La mayoría de los receptores tienen muchas etapas de amplificación como la señal es mezclada bajo la banda base. La etapa de frecuencia intermedia es realizada por un amplificador variable de ganancia, o un interruptor atenuador insertado para ajustar la posición del rango dinámico del receptor. Los efectos no lineales resultan de la saturación en cada una de las etapas en el que el receptor puede ser mascareado por adición de ruido por lo tanto puede ser dificultoso para detectar la señal digital del video. Adicionalmente la distorsión de los armónicos, los efectos de un sistema no lineal dependen de la colocación del tiempo o memoria del sistema.

La colocación del tiempo es generalmente definido como el tiempo requerido para la respuesta para la entrada para retornar para cero una vez que la entrada es removida. La respuesta para la señal es igual en el tiempo y la respuesta no es igual a si misma.

La memoria del sistema puede ser medida usando la entrada de dos pulsos, donde la respuesta para cada pulso es medida en función del tiempo espaciado entre las entradas. El intervalo de tiempo mínimo el cual resulta de las respuestas idénticas de dos entradas al colocar el tiempo. Estos parámetros pueden ser medidos directamente de la función de autocorrelación del sistema de repuesta para el ruido blanco.

SUBSISTEMA DEL RADAR

Sensores

Aquí se considera de los efectos de errores de propagación atmosférica en la antena del radar y sensores electrónicos.

Efectos externos

La propagación de la onda transmitida y reflejada en la atmósfera puede resultar en una significativa modificación en los parámetros de la onda electromagnética. Los efectos atmosférico son: Atenuación de la señal, propagación de grupo de retrasos, y rotación de la onda polarizada. Estos efectos son localizados en ambos espacio y tiempo, son por extremadamente dificultoso para calibrar operacionalmente El cual puede afectar el funcionamiento SAR en dos maneras:

- Primero el rango de inclinación estimado puede ser compensado de acuerdo del error de propagación de la velocidad.

- El segundo efecto es la distorsión del pulso como resultado al separase del pulso.

Antena

Consiste en una antena de alta ganancia usada para transmitir y recibir consiste en el sistema de alimentación, elementos estructurales, elementos radiantes. La ganancia de la antena es directamente proporcional al área, asumiendo una iluminación uniforme la ganancia esta dada por la longitud de onda. La ganancia de la antena o eficiencia forma un patrón ciertamente considerado en el diseño de la antena, sin embargo él numero de estas especificaciones son adecuadas al funcionamiento. Es previamente discutido para la recepción, errores de fase y amplitud a través del pasa bandas que puede degradar el impulso de la función de respuesta del sistema. En la antena se debe considerar la fase la amplitud como función del ángulo de disparo junto al lóbulo principal de la antena.

La polarización es algo importante en las consideraciones del diseño de la antena. Estos es especialmente verdad en la multipolarización del radar donde es relativamente bajo el poder del retorno de la polarización es usada para derivar información sobre el objetivo. En esto ningún pulso del radar, pueden presentarse respuestas ambiguas del radar, no solo desde el patrón radiado pero desde señales polarizadas. Estos pueden ser fuentes significantes de error al no coincidir con los pico de polarización.

La antena SAR puede ser la mayor fuente de calibración del error. Esta tiene algunos factores que limitan la calibración del subsistema de antena. Primero el largo de la antena seria esencial para la apertura del área. Para mantener el patrón de coherencia, la estructura para ser rígida la distorsión es de $\lambda/8$. así como también las características de la antena no pueden ser medido fácilmente usando dispositivos internos, para ellos el subsistema de la antena puede inyectar una señal de referencia conocida por el radar en los componentes receptores.

En general el único método para calibrar la antena en vuelo es la usada con objetivos externos de calibración. Esto presenta dificultades para caracterizar el funcionamiento de cada dispositivo que pueden degradar o fallar durante el vuelo.

La calibración de antena implica la caracterización precisa de la ganancia y fase de la transferencia a través del sistema de ancho de banda en función del ángulo de iluminación. También es importante la polarización a través de la apertura de la antena.

El elemento clave en el sistema de radar es la antena donde la ganancia es proporcional al tamaño de la misma, adicionalmente el rango y el azimuth, estos afectan la resolución tomando en cuenta el ruido termal, el factor de ruido, ruido aleatorio o ambiguo, son importantes. Se pueden presentar como ejemplos finitos

del espectro de Doppler, son repeticiones de los componentes internos donde la frecuencia interno dentro de la parte del espectro. Similarmente, en el rango de dimensiones, los ecos proceden y suceden en pulso que pueden llegar a la antena simultáneamente desde el retorno deseado. El azimuth espectral del ancho de banda es necesario dos antenas patrones y la reflectividad del objetivo para ser formulado en términos de la frecuencia de Doppler y retraso del tiempo. Por lo que debe ser cuantizado la medida de los datos.

Rutina de los datos

Los datos pasan por un conversor análogo – digital (ADC), en la memoria de acceso aleatorio del almacenado intermediario y rutina de datos para cada señal del procesador y la alta densidad de los grabadores. Convertidos en señal de video son corriente de datos binarios de voltaje fijo en intervalos de tiempo.

El ADC es un dispositivo no lineal en el cual el poder de salida versus el poder de entrada es idealizada en una función de escalera. Asumiendo una distribución gausiana y una cuantización uniforme. Los errores del convertidor de análogo digital pueden ser generalmente clasificados como errores de tiempo y error del reloj el cual resulta en errores relativos de fase entre dos conversores. Los errores simples son típicamente estables o de variación lenta y pueden ser medidos con la calibración de las señales y corregidos en tierra. La cuantización de los niveles de error son relativos al espaciamiento entre los niveles (diferencializaciones no lineales) es fácilmente corregido en la señal del procesador por la estimación del promedio de la señal de video digital. La suposición de la distribución gausiana es razonable si consideramos la huella de la típica antena es larga y que eco consiste en la dispersión desde las diversas áreas de la tierra.

La energía del ruido es calculada por cada muestra del cuadrado de la diferencia entre el valor de la entrada análoga y el valor reconstruido digital. Este ruido es comúnmente clasificado dentro de la saturación de ruido y cuantización del ruido de los componentes. La saturación de ruido es definida como el ruido presentado desde la entrada de las señales analógicas que excede o el mínimo rango de conversión análogo para digital, mientras la cuantización del ruido es el error del resultado desde la señal entrada mientras el ADC rango dinámico.

El numero de bit se incrementa por el poder de la señal de entrada y la ganancia que reduce el balance de saturación y distorsión de ruido de los componentes. Las técnicas receptores para reducir el rango dinámico como los STC (control de tiempo sensitivo) o el control automático de control (ACG) puede degradar el sistema de calibración radiométrico.

Funcionamiento

Los sensores electrónicos incluyen ambos RF (Radio Frecuencia) y dispositivos digitales que son caracterizados por dispositivos de calibración interna. El funcionamiento del sistema viene dado por los términos, fase y amplitud a través del sistemas de ancho de banda, puede variar como resultado de los componentes de ganancia y variación termal. La calibración interna emplea ciclos con replicas de código de pulso o calibración de tonos para determinar la función de respuesta del sistema.

Un segundo factor que caracteriza el funcionamiento de los sensores electrónicos es la linealidad del sistema. El rango dinámico de los componentes electrónicos receptores puede exceder que conversor análogo digital y el amplificar lineal dinámico de video en la saturación del sistema de ganancia requerido para el nivel de distorsión ruido.

PLATAFORMA

La exactitud de la calibración es determinística, para todo el sistema de calibración y calidad del sensor. La plataforma con la altitud precisa para generar la calibración de los datos. La incertidumbre en la posición del sensor y de la velocidad afecta la calibración geométrica, afectando la exactitud de la localización del objetivo y la fidelidad geométrica de la imagen.

Los factores que varían son la altitud, los ecos del efecto Doppler, estimación de las rutinas, autoenfoque, la inicial predicción puede ser lo suficiente exacta para estimar las propiedades de convergencia, que depende de las características de la superficie. La calibración podía ser corregida y ajustar la ganancia del procesador de acuerdo a cada bloque de acuerdo a la señal perdida.

Procesamiento de la señal.

La complejidad computacional de los algoritmos de correlación SAR, usados en el procesamiento y la selección de los algoritmos dependen del requerimiento del sistema y su implementación de las consideraciones como:

1) Proceso de control
2) Administración de los datos
3) Flexibilidad
4) Mantenimiento

Diseño del correlador SAR

1) Definición de lo requerimientos SAR

2) Selección de los algoritmos, evaluación de la lectura computacional y calidad de la imagen de salida.
3) Estudio del candidato de la arquitectura de la señal del procesador y la tecnología disponible.
4) Evaluación del costo versus funcionamiento, incluyendo ambos costos de implementación y costo de sustento.
5) Selección de la arquitectura y diseño en detalle.

La plataforma debe tener las características necesarias para su funcionamiento, guardar, formatos de los datos, técnicas de compresión por el gran volumen de datos.

Para evaluar la arquitectura de los candidatos y algoritmos, el sistema procesador básico requiere mucha estabilidad. Estos son derivados desde el sensor y la plataforma, las características de ejecución, así como también los requerimientos de los usuarios. El radar básico y los parámetros de la plataforma son los factores principales. Las características son:

- Dimensiones de la antena
- Numero de datos simples por líneas de eco
- BIT por muestra, frecuencia de muestreo
- Frecuencia del radar, polarización
- Pulso: ancho de banda, duración, esquema de código
- Angulo de vista
- Frecuencia de repetición de pulso

Lista de requerimientos de la plataforma requeridos para el diseño de procesador:

- Angulo de inclinación
- Altitud orbital
- Exactitud de la determinación de la posición
- Exactitud de la determinación de la velocidad
- Exactitud de la determinación de la altitud
- Exactitud de la determinación de la porcentaje de altitud
- Porcentaje del error bit

Lista de las especificaciones de la salida requeridos para el diseño del procesador:

- Datos de los productos tipos y formatos
- Calidad de la imagen
- Ambigüedad azimuth y rango para los porcentajes de la señal
- Fidelidad geométrica
- Localización, exactitud de la orientación, escala, error oblicuo
- Fidelidad radiométrica relativa, exactitud absoluta

El procesamiento consiste en tres elementos:

Correlacionador SAR: Forma las imágenes de los productos desde los datos digitalizados de la señal de video al convolucionarlos con los datos bidimensionales de filtros de la función de referencia. Los coeficientes de la función de referencia son derivados de las características Doppler del eco de los datos. El correlador SAR de algoritmos se aproxima a la función de los filtros. Adicionalmente el dominio de la frecuencia los parámetros Doppler son asumidos constante, los errores no pueden ser separados para identificar la fuente de error.

La ejecución de las correcciones geométricas y radiométricas de la imagen SAR de los datos, se tienen que estimar los coeficientes de corrección, como: ingeniería telemétrica, sensor, plataforma, parámetros de procesamiento, calibración externa de los dispositivos de medida. Estos datos en conjunción del pre- vuelo de los datos y la calibración de las imágenes, son usado para desarrollar modelos dependientes del tiempo de las características del sistema de transferencia del radar. Este sistema provee las estimaciones del error del sistema durante la misión asumiendo las inestabilidades del sistema que son determinísticas, aunque pueden ser medidos. La exactitud del modelos depende de la exactitud del sistema de calibración, de las frecuencias temporales y espaciales.

Procesador geofísico: Interpreta la calibración de las medidas de retrodispersión en términos de las características de la superficie. Dependiendo de los parámetros específicos para medir, estos pueden ser hechos por inversión del modelos de dispersión o empíricamente para usar la estadísticas de la imágenes, donde estos datos son verificados con algoritmos de procesamiento geofísico. La exactitud de los datos geofísicos derivados depende de la calibración de la imagen de los datos y el modelo adecuado de la dispersión.

El factor critico en el desarrollo de algoritmos de procesamiento geofísicos es la parametrización del análisis de los factores claves del ambiente que pueden ser incluidos (temperatura de la superficie, variación diurna, velocidad del viento), los más comunes son los algoritmos de datos que son relativos a la calibración de los errores. La señal esta compuesta del total recibido que es igual a la señal inicial mas la señal de ruido.

Las técnicas de calibración para estimar estos parámetros están dentro de la calibración interna y las medidas de calibración externa. La calibración interna de

los datos de los dispositivos de las medidas primarias de la salida de poder del transmisor y del receptor de ganancia. Las técnicas de calibración externa generalmente usan la imagen de datos calibrados por los objetivos conocidos de dispersión conocida. Estos datos son usados primariamente para la ganancia de los patrones de la antena.

Sincronización y control

La sincronización y el control consisten en correr libremente un oscilador, un multiplicador de frecuencia y un circuito divisor para generar las señales requeridas por otros subsistemas. Adicionalmente el microprocesador incluido para generar la secuencia de señal requerida para la operación del radar. Un oscilador estable local donde el termino relativo a la estabilidad es esencial para la ejecución del radar modo SAR. Específicamente la señal de fase transmitida necesita ser retenida para desmodular la coherencia del eco recibido.

Componentes electrónicos RF

Estos son divididos de la siguiente manera:

- Exitador
- Transmisor
- Receptor

Exitador

Genera el código de pulso de la forma de la onda para la continuidad del tono de la salida. Codificando el pulso transmitido provista en el rango de resolución depende del ancho de banda del pulso de código, que es independiente del pulso de duración,

el pico de transmisión requiere que pueda ser reducido al extender la duración del pulso degradando la resolución. La reducción del pico de poder simplifica el diseño de transmisor, incrementando el funcionamiento y la confiabilidad así como reducir el riesgo de bajo rompimiento en la formación de arcos en los cables de alto poder.

Entre los varios esquemas del pulso de códigos, frecuencia de códigos y fase de códigos son comúnmente usados. La frecuencia de códigos puede ser categorizada como frecuencia modulada lineal y no lineal. La frecuencia modulada lineal o código de chirp es usado en mas sistemas de radar, primariamente en caso de implementación e intensidad. Casi todos los sistemas SAR usan el chirp lineal de frecuencia modulada (FM), Los códigos chirp no lineales son utilizados en aplicaciones no lineales donde son muy bajos los lóbulos de la antena, los chirp no lineales permiten emparejar el filtrado (rango de compresión) fuera de las algunas perdidas pueden resultar desde el procesador equivalente de señal lineal frecuencia modulada (FM).

La modulación del código de fase es usada primariamente en sistemas donde las fuentes son limitadas o donde es relativamente barato la implementación de la codificación necesaria. La mas popular es la codificación binaria de fase, donde a 180° la fase cortada es interrumpida dentro del circuito en intervalos periódicos. La secuencia 0° no es cortada y la 180° es cortada en intervalos uniformes de Delta T es escogida para la mejor posible características.

Para pequeños pulsos de compresión. (menor a 13 chips por pulsos). Los pulsos de Barker son comúnmente usados a un nivel igual al optimo de las características del sistema. Sin embargo, desde los códigos largos son requeridos por los sistemas SAR.

Líneas dispersivas de retraso, la implementación del código de FM en la superficie de ondas acústicas (SAW) en las líneas dispersivas de retraso (DDL) en la configuración mostrada. El SAW y DDL típicamente consiste de 2 transductores complementarios, cada uno compuesto de un numero de electrodos donde la periodicidad varia (teniendo alta densidad en alta frecuencia). La posición y longitud de los electrodos depende de la fase y la amplitud de respuesta. El DDL es esencial en los filtros lineales donde cada grupo de retraso vario del ancho de banda del sistema. El retraso versus la frecuencia caracteriza el rango lineal la respuesta de amplitud y la repuesta no lineal. Para la compensación y reducir estos efectos se usa un transductor geométrico inclinado.

El avance en usar DDL para la generación de pulsos de códigos depende de las especificaciones del sistema.

Algunas técnicas para digitalizar y generar el pulso de código son interruptores que usa una duración del pulso en los intervalos necesarios, donde el pulso del ancho de banda y la duración del pulso son examinado.

La caracterización de parámetros exitadores de los errores de fase y amplitud van dependiendo de la función de autocorrelación de pulsos.

Transmisor

El transmisor consiste en una serie de mezcladores y filtros pasabanda para convertir la salida codificada del pulso del exitador, el bajo poder de la señal de entrada es alimentada dentro del amplificador de alta ganancia, para la generación de una señal de alto poder, que es la salida de la alimentación de la antena. Los amplificadores de alta ganancia usados en SAR son tubos de alta ganancia. Generalmente la

compensación para hacer los picos de poder y disponibilidad eficiente desde los amplificadores hasta la red de amplificadores.

Tubos de viaje de ondas

El tubo comúnmente usado en los levantamientos aéreos y algunos espaciales viajando en el tubo de onda. El TWT consiste en una pistola de electrodos (cátodo calentado, control de rejilla y ánodo), línea de retraso y colector. La columna de electrones, formado por un campo eléctrico a través de una línea de retraso, donde la columna de energía es transferido por la línea de retraso, amplificada por el RF. El TWT es caracterizado por una alta ganancia y un largo de ancho de banda. Para aplicaciones de radar estos tubos están típicamente operados en saturación, para maximizar la salida. Sin embargo las operaciones en esta región pueden que el TWT del dispositivo no lineal y los armónicos de la señal fundamental son generados son removidos usando filtros pasabanda.

Receptores

El receptor es dividido dentro de la etapa:

- Radio Frecuencia (RF)
- Frecuencia Intermedia (IF)
- Video Frecuencia (VF).

RF: Consiste en prevenir las señales de alto poder desde el pulso transmitido para evitar daños al radar. Filtro pasabanda (el cual es comparado con el pulso del ancho de banda) y limita el poder de la señal. Amplificador de bajo ruido, donde la figura del ruido es un factor clave en estabilizar la señal del sistema y poder eliminarlo,

donde la señal de entrada y salida es amplificada respectivamente. Este considera el ruido interno generado en el amplificador para poderla eliminar.

IF: Sirve para ajustar el sistema de ganancia dado por la secuencia de adquisición de datos. Sin embargo para algunos sistemas el rango dinámico instantáneo de la señal es un STC (control de tiempo sensitivo) o un control automático de ganancia (AGC) es requerido para reducir la señal del rango dinámico.

VF: Consiste en un filtro pasa banda, amplificador de video para emparejar la salida del receptor. Y un segundo VGA puede ser incluido en esta etapa con un numero de acopladores direccionales, que son insertados en los puntos de control y la señal de calibración es inyectada usando acopladores direccionales, típicamente enfrente del circulador, precediendo al IF amplificador.

Cada elemento en el receptor es caracterizado por la fase y la amplitud a través del pasabanda. La distorsión no lineal puede ser caracterizada por el análisis de la frecuencia usando series de tono simple y de dos tonos en las entradas.

Los armónicos y la distorsión de la intermodulación se presentan cuando la señal de entrada excede el rango dinámico lineal de los componentes individuales. Los mezcladores o los amplificadores limitan el rango dinámico sistema y contribuyen abultamiento de la respuesta, sin embargo existen componentes que reciben en el rango lineal dinámico, desde el piso del ruido hasta el punto de compresión.

El Control automático de ganancia (AGC) y control del tiempo de la sensibilidad (STC) para compensar la larga variación del rango dinámico del eco, algunos receptores de radares incorporan un sistema automatizado para ajustar la ganancia del receptor. El propósito de estos dispositivos es para reducir efectivamente la señal del rango dinámico y es visto por las etapas de IF y VF para recibir la señal. El STC

implementa en el tiempo una variable de ganancia para compensar las características sistemáticas de la amplitud de modulación de cada eco. Típicamente son sincronizados por un control de pulso donde el tiempo se puede predecir alrededor del viaje del tiempo de retraso. El método común para implementar los STC es para generar un rampa de voltajes repetitivos los cuales son aplicados a la entrada del control de ganancia en una serie amplificadores variables de ganancia en cascada.

Control de ganancia automática (AGC) es típicamente diseñado para compensar para las variaciones de intrapulso en el retorno del eco de poder, minimizando los cambios en el rango dinámico del eco resultando desde la variación en la reflectividad del objetivo. Esencialmente estos dispositivos emplean un control de lazo con un detector para detectar el receptor a través de la porción del eco. El poder de integración estima esta retro alimentación con ganancia negativa desde el receptor VGA. La compensación en el funcionamiento AGC es dependiente en el tiempo constante y es mas corto para minimizar los errores de comunicación, suficientemente largo para el integrador para hacer un tiempo estimado del eco.

El principal uso de estos amplificadores variables de ganancia es de hacer la calibración radiométrica en los datos que es extremadamente dificultosos. No solo hacer el inverso para esta función de ganancia que necesita ser aplicado en el procesador de la señal para después de emparejar el filtraje, pero estas correcciones para ninguna cambio en las fases relativas de características de la función de transferencia del receptor puede ser algo compensado. Idealmente estas características pueden ser medidas en un pre vuelo en función de la temperatura. Generalmente ni los unos ni los otros en ACG o STC pueden ser relativamente usado para la amplitud precisa y la calibración de la fase es requerida.

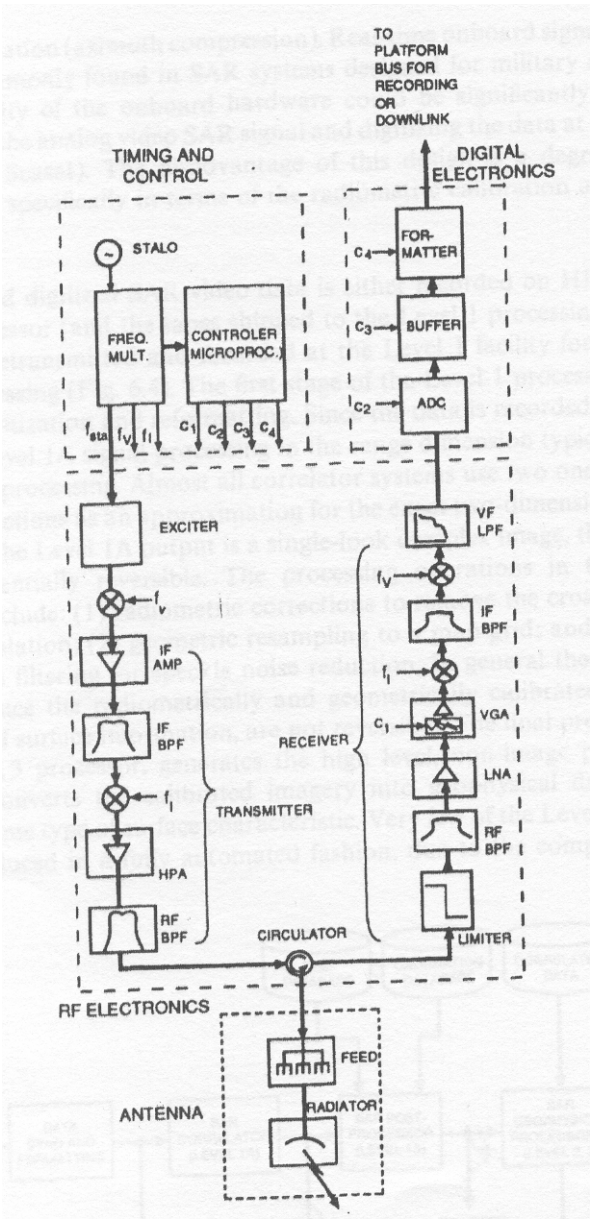


Figura 1. Bloque del diagrama SAR (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat.S.A., 2000)

Compresión de los datos

Al recibir los datos estos son capturados al grabar la transmisión de tiempo no real para recibirlos en el procesador. La señal es codificada para la protección de errores

de los códigos (se convoluciona) al igual que estos se modulan. Los errores estadísticos de este sistema dependen del tipo de protección de los datos usado.

Son utilizadas algunas técnicas para reducir el volumen de los datos, por medio de algoritmos de compresión de menor perdida. Hay un tipo de algoritmos son diseñados para alcanzar un factor de compresión con perdida de alguna información, en la reconstrucción de datos. Estos algoritmos son capaces de reconstruir exactamente los datos originales. Otros algoritmos reduce el porcentaje de compresión de datos por instrumentos ópticos, que son caracterizado por entropía de orden cero.

El diseño para sistemas SAR es generalmente dependiente en las aplicaciones para lo cual es previsto. Las especificaciones son previstas por el diseño del ingeniero y debe tomar en cuenta la resolución, ángulo de incidencia, longitud de onda, polarización, calibración de la exactitud, contraste, altitud de la plataforma, determinación de la exactitud de la altitud, control de altitud, sistemas de ganancia, amplitud, fase, frecuencia, ruido del receptor, estabilidad del sistema, y al final el diseño es el resultado de procedimientos iterativos que balancean el desempeño de la características juntos a los subsistemas para un diseño optimo, de los componente electrónicos.

Algoritmos de compresión

Este consiste en los siguientes pasos:

- Dividir la imágenes en bloques (vectores).
- Generar un libro de códigos para la búsqueda de la data.
- Comparar cada imagen del vector con el cogido de libros para determinar las similitudes.

- Transmitir los índices del código de seleccionado para cada vector de la imagen.

También se utilizan geometría fractal, estos algoritmos de imágenes han sido desarrollados para la alta resolución de las aplicaciones de alta resolución. Los efectos de migración, limitación en profundidad y focos son evidentes. Estos son mas uniformes para el caso de bajas frecuencias. Funciones de respuesta bidimensionales de la función de Green.

Los algoritmos de procesamiento de señales digitales, para realizar las operaciones principales en la formación de imágenes SAR, teniendo en cuenta las limitaciones de las bandas con la señal del radar, y la señal SAR Doppler. Lo que incluye calcular filtros análogos, el proceso de muestreo que produce un numero de entradas para los algoritmos de procesamiento digital.

Primero la definición de sistemas lineales es que la salida del sistema en respuesta para la suma de las dos entradas es la suma de las salidas en respuesta de la dos entradas tomadas separadamente. Tomando en cuenta la homogeneidad y el sistema estacionario. Impulso respuesta y convolución. Función de transferencia del sistema, el problema de análisis del sistema, procede de la forma de las ondas y son expresados por los operadores del sistema en cuestión. Representación de la señal para determinar las restricciones apropiadas para ajustar las funciones que son requeridas por series de Fourier o análisis de transformadas en casos de sistemas lineales y no lineales, no es comparable en teoría en simplicidad y generalmente por la teoría de Laplace y Fourier que ha sido desarrollada. Computacionalmente envuelve encontrar la transformada de Fourier o invertir la salida de la transformada, para encontrar la forma de la onda, que son procesos complicados.

Parámetros de filtro y compresión

Las propiedades de la resolución de los procesos de compresión de datos, el rango del radar y el objetivo, depende de la señal que es intrínsicamente muestreada por el pulso natural del radar, con frecuencia de muestreo. La forma de la onda del objetivo es necesaria en orden para construir los filtros de compresión.

La función de rango para geometrías practica son expresiones complicadas que envuelve algunos parámetros relativos al movimiento del radar y el objetivo.

Análisis parámetros Doppler

Los parámetros Doppler deben ser fijado, esto incluye los valores limites de cada parámetro, como el máximo porcentaje de cambio a lo largo de la línea de vuelo y a través de la línea de vuelo. El porcentaje de cambio de los parámetros Doppler a lo largo de la línea de vuelo es muy importante en los parámetros de correlación, desde el dominio de la frecuencia, tomando en cuenta que los parámetros Doppler son constantes sobre el periodo de apertura sintética. De acuerdo a los parámetros de vuelo como velocidad, distancia, ángulos, aceleración y otros controles de vuelo, ancho de banda, longitud de onda, muestreo de la frecuencia, así como capacidad de la memoria, algoritmos de compresión, dispersión de los datos, aproximaciones bidimensionales, así como funciones unidimensionales.

El cambio de los parámetros Doppler como función del sentido de la línea de vuelo y su posición estabiliza las necesidades de la función de referencia para reunir los parámetros de necesarios. Los parámetros especificados por el máximo cuadrático o de orden mayor de fase, así como los bordes de apertura sintética. Este error fraccional entre el centroide verdadero de Doppler y el calculado debe corregirse para no tener desplazamiento en la señal.

POST PROCESAMIENTO

Se han presentado varios aspectos de la arquitectura y diseño del correlador SAR, para producir los productos de imágenes. Donde hay dos procesos principales: el post procesador y el procesador geofísico. El post procesador consiste las corrección geométricas y las radiométricas en la salida de las imágenes. El procesador geofísico de mosaicos SAR deriva algunas características geofísicas de estos productos (altura de la onda, humedad del suelo, rugosidad del suelo). Estas medidas geofísicas son la entrada de modelos a larga escala para la estimación de procesos globales como la circulación oceánica o ciclos hidrológicos

En algunos sistemas de procesamiento SAR, las correcciones radiométricas y geométricas no son funcionalmente separable de los procesos de correlación. De hecho estas operaciones pueden ser incorporadas en los procesos de correlación en pasos adicionales del ajuste de los datos. El rompimiento funcional entre los procesos de correlación y post procesamiento son asumidos como un posible diseño y no es necesario optimizar para los aspectos computacionales del sistema. Sin embargo provee una flexibilidad en términos de la variedad de salidas de los tipos de productos que pueden ser producidos. El procesamiento SAR dedicado para una simple aplicación o grupo de usuarios puede ser combinado por un numero de estos paso de procesamiento con el rango y azimuth de compresión, desde la variedad de estos productos.

El diseño del post procesador depende del porcentaje de datos y volumen de datos de salida del correlador SAR, la variedad y exactitud de los requerimientos de varios tipos de productos. En el análisis depende de la salida como vista simple, compleja, datos de imágenes de alta resolución, muestreo geométrico y correcciones radiométricas aplicadas. En esta formulación se mueven todas las opciones de salida

para el post procesador resultando la correlación de la salida que es del mismo tipo, para simplificar el archivo.

El proceso del correlador es un proceso reversible, por los que se puede recobrar la raíz de los datos para aplicar el inverso de los filtros de compresión. Esto permite al archivo para una simple vista de la imagen de los datos. La referencia de la función de longitud en cada dimensión. El volumen de datos para ser archivado, la localización de los archivos relativos del correlador SAR, y la calidad de los datos originales, para el caso que sea requerido un reprocesamiento.

APÉNDICE B

CALIBRACION GEOMÉTRICA

Un píxel en la imagen o una localización en un mapa cuyas coordenadas son conocidas. Se usan para corregir las distorsiones geométricas en una imagen comparando las coordenadas de la imagen con las coordenadas del mapa. Las coordenadas de la imagen y del mapa son usadas para computar la matriz de transformación que se usa para rectificar la imagen .

Al ver los procedimientos relativos a la recepción de la señal de los datos del objetivo de las características de dispersión. Sin embargo para estimar la reflectividad del objetivo se requiere un conocimiento preciso de la geometría relativa entre el objetivo y el sensor. Para este punto se han derivado las correcciones radiométricas asumiendo la suavidad de la superficie del objetivo. De hecho en las áreas donde hay significativamente relieve, y la incidencia local del ángulos de iluminación desvía el relieve del geoide por patrones de la antena, resolución del tamaño de la antena, puede ser ajustado a la altura de terreno. Adicionalmente, la fidelidad de la geometría interna de la imagen (relacionada a la representación verdadera del objetivo del área) degrada la función de desviación de la altura del terreno relativo asumiendo el modelo del geoide.

La exactitud de la calibración geométrica de la imagen SAR o cualquier imagen puede ser evaluada en términos de la localización absoluta y las orientaciones de los errores de la imagen, como la escala relativa de la imagen, y los errores de la posición oblicua de la imagen. La calibración geométrica es el proceso por el cual es determinado cada uno de los parámetros de ejecución para ajustar los datos.

Referido a los pasos de post procesamiento donde las imágenes son reemplazadas por alguna nuevas proyecciones, los términos de geocodificación usualmente

referidos al caso especial del procedimiento de correcciones geométricas donde la imagen es reemplazada por alguna representación espacial con las propiedades geométricas conocidas.

Aquí describiremos varios parámetros que describen la exactitud de la calibración geométrica. Esto es seguido por el análisis de la calibración de las fuentes de error, considerando el sensor, la plataforma, los efectos del procesador. Algunos algoritmos para la corrección geométrica, incluyendo la geocodificación referenciado al datum, al mapa de elevación digital de alta resolución. Al discutir las técnicas de mosaicado geocodificación múltiple y las aplicaciones de registrar la imagen multisensores.

Para algunas aplicaciones científicas (mapeo geológico, estudios de tierra) la fidelidad geométrica de los datos del producto son críticamente importante. Las distorsiones geométricas principalmente se presentan desde los errores de plataforma, errores al estimar los objetivos relativos, errores del procesamiento de la señal.

Los términos de la corrección geométrica y rectificación geométrica pueden ser usados para describir los pasos de procesamiento donde la imagen es remplazada por la proyección natural dentro del mejor formato para el análisis científico. La geocodificación es el proceso de reemplazar la imagen de los datos dentro del formato especifico de la imagen de salida, llamado mallado uniforme fijo de la tierra, el cual es estándar al mapa de proyección.

El mosacaido se refiere al proceso de ensamblar dentro del marco simple, dos o mas imágenes independientemente geocodificadas y que hay solapamiento de la áreas cubiertas.

Los parámetros de calibración geométrica pueden ser dividido dentro de los términos del error absoluto, son referenciado a un sistemas de coordenadas fijo, los términos del error relativos, el cual describe la distorsión de la imagen. La calibración absoluta geométrica de una imagen puede ser descrita por dos parámetros localización y orientación. El error de localización absoluta es la incertidumbre en estimar alguna imagen relativa dada al sistema de coordenadas (latitud o longitud geodésica). El error de orientación de la imagen es la incertidumbre angular en estimar una línea de una imagen comparado con una línea de referencia del sistema de coordenadas.

Los parámetros de calibración geométrica relativa describe la fidelidad geométrica interna de la imagen SAR. La calibración relativa de la imagen puede ser caracterizada en términos de dos parámetros: la escala y la posición oblicua.

La escala de error relativa es el error fraccional entre la distancia y es representada en la imagen y la actual distancia geográfica. Este termino de error es especificado en las dimensiones del rango y en el azimuth.

El error de la posición oblicua relativa es el error entre el ángulo dado y el representado en la imagen de el ángulo actual.

Para sistemas de radar de múltiples canales, los parámetros requeridos para describir la imagen de los diferentes canales.

DISTORSIONES GEOMÉTRICAS

Después de describir varias técnicas de correcciones geométricas de los productos de la imagen, primero direccionamos las distorsiones geométricas inherentes sin correcciones de la imagen de datos y las fuentes de estas distorsiones. Ellas pueden

ser generalmente categorizadas como resultados de la inestabilidad del sensor, inestabilidad de la plataforma., efectos de la propagación de la señal, altura del terreno y errores inducidos por el procesador como:

- Errores del sensor

La estabilidad del sensor es un factor clave en controlar la fidelidad interna geométrica de los datos. Por ejemplo la consistencia del interpulso es gobernado por la exactitud de la señales de tiempo enviadas por el generador de pulso y el convertidor analógico – digital. La variación de estas señales de tiempos dependen primariamente de la localización del oscilador local. La corta variación de la frecuencia que produce variaciones en la fidelidad de la imagen

- Retrasos electrónicos

Este parámetro afecta directamente la fidelidad de la imagen de los datos y los retrasos electrónicos del transmisor del radar y el receptor. Estos retrasos electrónicos pueden ser substraídos de la medida total y determinar las propagaciones actuales del tiempo.

- Localización de los errores del objetivo

Este es dado por la imagen y puede ser derivado por el conocimiento de la posición y velocidad del sensor. La precisión y localización de la fase de la antena del sistema de referencia depende de la ecuación de la señal, ecuación Doppler, ecuación del modelo de la tierra. La localización de los objetivos es determinada por las soluciones simultaneas de estas ecuaciones, las intersecciones de estas ecuaciones son las que dan las dirección de los puntos de los objetivos. La exactitud de este proceso de localización depende de la posición del sensor y la velocidad del vector,

la medida del tiempo del retraso del tiempo el conocimiento de la altura de del objetivo asumiendo el modelos de la tierra.

El error de la altura del objetivo de los resultados del rango de estimación que produce los desplazamientos. Esta distorsión geométrica local representan la reflectividad del objetivo a distancia. Para superficies suaves son relaciones no lineales inherente, ya que las distancias representadas no son uniformes. Los efectos de estas características en el rango cercano aparecen compresionadas respecto al rango lejano.

El terreno local desde las superficies suaves adicionalmente las distorsiones geométricas es relativa a las dimensiones actuales de la tierra. Por eso la incidencia del ángulo puede decrementar el tamaño del rango de píxeles.

En áreas altas las sombras, como el pico de una montaña puede distorsionar señales de múltiples objetivos que pueden ser recibidos por la antena simultáneamente. Las propiedades correctas de este tipo de correcciones geométricas requiere asunciones del modelo de dispersión. Teóricamente el coeficiente de dispersión es en función de la geometría de incidencia para objetivos particulares en áreas conocidas, el poder relativo de contribución de cada uno de los objetivos puede ser determinado por la imagen rectificada.

Prácticamente es un proceso extremadamente dificultoso, cada punto del píxel es necesitado y puede ser necesitado por el área del modelo digital del terreno ya que los objetivos pueden producir un efecto Doppler. Las distorsiones de la imagen pueden ser efectos de la sombra del radar cuando hay regiones de sombra allí no es dispersada ninguna señal, en estas zonas son representadas con un nivel de señal igual al ruido termal del sistema, por ello al prevenir valores negativos representadas en zonas de sombra el ruido es sustraído de la imagen.

Las interpretaciones de los productos de estos datos con estos tipos de distorsión están envueltos el coeficiente de dispersión y la geometría incidente local lo que puede corregir la imagen del terreno, que puede ser utilizada directamente para caracterizar la reflectividad del objetivo en función de la geometría de la imagen.

Alguna fuente de distorsión especular donde predomina la localización de dispersión que es dependiente al ángulo de incidencia de la onda transmitida, para este punto es importante que se registren dos imágenes de una misma área con dos ángulos de incidencia, que sirve para determinar la altura del objetivo.

Los datos SAR tienen distorsiones geométricas por causas de la geometría de vista, geometría del terreno, errores del sistema de muestreo, variaciones de velocidad en el vuelo. Asumiendo que la localización de ningún píxel puede ser determinada relativamente por un a malla de espaciado fijo (UTM, red estereográfica polar) las imágenes pueden ser geométricamente rectificadas al ejecutar un remuestreo bidimensional. La localización de los píxeles puede ser derivado por los puntos de lazo (asistido por el operador o automatizado) o predicho usando modelos para el sensor de la geometría de la imagen y la elevación del objetivo. Después el aprovechamiento requiere un preciso conocimiento de la plataforma, posición, velocidad durante el periodo de la imagen. Es de notar que la fidelidad de la geometría de la imagen de los productos remuestrado no depende de la altitud de la plataforma. Si el rango y la información de Doppler inherente del eco de lo datos es usado en la localización de los objetivos. Hacer rectificaciones geométricas usando algoritmos polinomiales, este aprovechamiento es efectivo con imágenes de significante relieve junto a las distorsiones locales causado por los efectos de antena. Usado solo para alguno puntos de posición conocida (latitud, longitud y altitud) para redefinir la exactitud de las ecuaciones de posición usando el rango y la ecuaciones

de Doppler. Esto requiere un mínimo de dos objetivos distribuidos en el rango de incidencias para determinar una escala de errores.

PROCEDIMIENTO DE CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

Los pasos son los siguientes:

- Análisis de los puntos de objetivos
- Estudios de la propagación de la onda
- Generar la localización vs el numero de píxeles del mallado
- Registro de la imagen con el mapa digital del terreno
- Remuestreo de la imagen para un mallado uniforme.

Los cuatros primeros casos son llevados por un análisis de calibración de una estación de trabajo. La determinación de la localización del punto del objetivo envuelve la interacción del operador. Para registrar el DEM es proyectada dentro de la geometría SAR (rotar la imagen de la línea de vuelo de acuerdo a algún modelos de retrodispersión) esto se hace para derivar la localización de los errores de los objetivos residuales y todas las correcciones sistemáticas.

Proyecciones del plano de tierra, para la imagen compleja de salida de la proyección en tierra, con uniforme espaciamiento de píxeles, que genera el mallado de posición vs el numero de píxeles.

Las imágenes de radar son distorsionadas por factores como: geometría del sensor, inestabilidad de la plataforma, rotación terrestre, curvatura terrestre. En general estas distorsiones se refieren a la disposición incorrecta de los objetos de la imagen, en comparación con su ubicación real sobre la superficie; dicho de otra forma, las

imágenes presentan un error de ubicación de los elementos con respecto a su posición real longitudinal y latitudinal.

La corrección de estas deformaciones, al igual que las correcciones radiométricas, se realiza mediante la aplicación de funciones matemáticas a la imagen, que operan asignando a los píxeles de la imagen correcta su ubicación correcta en el espacio de acuerdo a un sistema de proyección especificado.

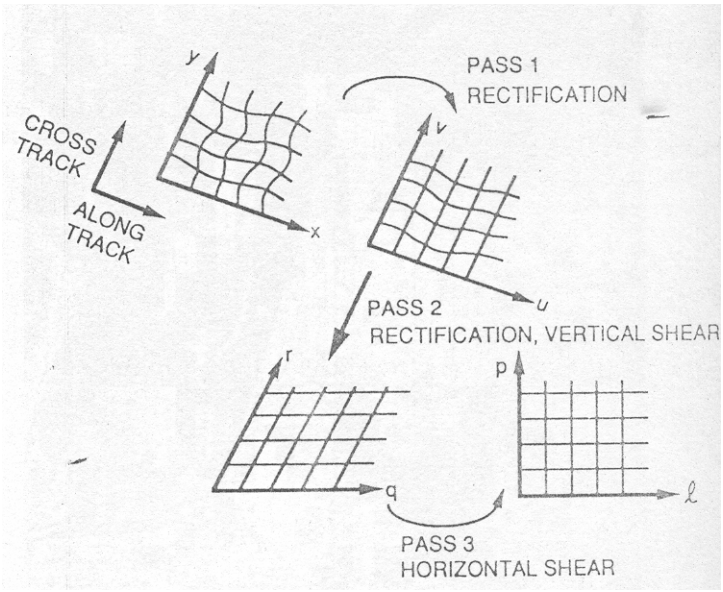


Figura 1.Muestra de la rectificación de una línea de vuelo (Tomado del manual de procesamiento de Orbisat S.A., 2000)

El proceso se basa en la identificación de puntos de control terrestre, con coordenadas conocidas sobre la imagen. Una vez establecidas estos puntos, se procede al remuestreo de los píxeles de la imagen de acuerdo a una de tres funciones: vecino mas próximo, interpolación bilineal y convolución cúbica.

El primer método consiste en la asignación del valor del píxel en la imagen de salida, tomando del píxel mas cercano de la imagen original. Es el método mas sencillo y rápido, pero también es el menos preciso. El segundo método, asigna el valor del píxel de la imagen de salida a partir del promedio de los cuatro píxeles mas cercanos de la imagen de entrada, siendo este el promedio ponderado según la distancia de los píxeles originales al píxel corregido. El ultimo método considera el promedio y la ponderación de distancia de los 16 píxeles de la imagen de entrada y asigna el resultado del píxel de la imagen de salida. Este últimos es el método mas preciso, pero también el mas lento, debido al aumento en la complejidad de calculo a realizar por el computador (Chuvieco, 1992).

Rectificación geométrica

Dependiendo de la posición del sensor, geometría de la imagen y relativo a la elevación del objetivo, especialmente algunas distorsiones como sombra del radar no puede ser corregida para producir la calibración del la imagen. Al describir y separar los productos de los datos puede identificare los píxeles de las zonas de sombra, estas áreas no contienen datos de calibración de la reflectividad del objetivo que puede ser excluido de los análisis cuantitativos de los datos.

Estas rectificaciones se hacen por algoritmos que dependen de la rectificación geométrica de la imagen y de los mecanismos de la imágenes del sensor para derivar los factores de corrección. Esencialmente hay tres categorías de algoritmos de rectificación geométrica.

1) Plano de la tierra
2) Geocodificación para suavizar el elipsoide
3) Geocodificación para mapas topográficos.

Cada uno de estos usan técnicas de localización de píxeles con la exactitud de la calibración geométrica que corrige los productos de los datos y es directamente relativo al error de la localización del objetivo.

Tomando en cuenta que el remuestreo de la imagen SAR no pierda la información, el algoritmo de remuestreo conserva las estadísticas de la función de distribución de probabilidad en todos los momentos, de la imagen de entrada, al preservar toda la imagen usando filtros finitos de muestreo que consiste al aprovechar óptimamente las características de entrada de la imagen remuestrada de salida.

Desde que los datos de la señal compleja es de un ancho de banda finito, es determinada por el sensor y los parámetros de los datos procesados, esto requiere de un muestreo de la frecuencia definible del sistema del radar.

APÉNDICE C

PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN RADIOMETRICA.

El funcionamiento del sistema de radar puede ser caracterizado en términos del ajuste de los parámetros de calibración. El funcionamiento del sistema es dividido dentro de términos de absoluto (exactitud) y relativo (precisión). La calibración absoluta requiere la determinación de ganancia del sistema, mientras que la calibración relativa no requiere de la ganancia del sistema desde que envuelve el porcentaje del valor de los datos junto sistema de radar. Si comparamos relativamente los canales del radar y la ganancia del sistema.

Parámetros de canal simple.

Los tres parámetros de calibración son generalmente usados para especificar el funcionamiento de los canales simple (frecuencia simple, polarización simple) del sistema de radar.

La calibración absoluta es en exactitud para estimar el coeficiente de retrodispersión normalizada desde la imagen de píxeles o grupo de píxeles resultado de los errores inducidos por el sistema.

La calibración relativa es generalmente categorizada de acuerdo al tiempo de separación entre los valores de los píxeles para ser comparado.

El sistema es especificado en términos de ambos, del funcionamiento de los términos cortos y los términos largos de la calibración relativa, estos se refieren para la precisión de la estimación del porcentaje de los coeficientes de retrodispersión entre dos imágenes de píxeles (o grupos de píxeles) separados en el tiempo

requeridos para producir fuentes de error no correlacionadas en los términos dominantes del error (inestabilidades termales, variaciones de altitud). Los términos cortos relativos a la calibración la incertidumbre en el coeficiente de retrodispersión entre dos píxeles o grupo de píxeles separados por el tiempo en intervalos que son relativamente corto relativos para el tiempo constante de la fuentes dominantes de error.

La distinción entre términos corto y largo de calibración relativa es mas que cualitativa y es generalmente basada en la utilización de los datos. En el análisis típico de imágenes el parámetro clave es el porcentaje del promedio de la intensidad (en el marco de la imagen) de 2 áreas de objetivos homogéneas (para la clasificación de imágenes). Alternativamente en el análisis puede ser que desde un doble paso sobre el área de objetivo común para el cambio de la detección. Los errores relativos son de la variación de los efectos termales y errores resultante de la inestabilidad de la plataforma, y la separación en el tiempo entre medidas suficientemente cortas.

Dado que la retrodispersión de la señal es compleja cuantificarla, es mas extendido sobre las definiciones del la calibración del sistema radiométrico para estimar la exactitud de los objetivos dependientes de la fase. Sin embargo estos términos de la fase son solamente el significado de sistemas SAR multicanales.

Parámetros de canales múltiples

Las multipolarizaciones SAR son relativas a la amplitud y a la fase, puede ser especificadas para determinar el funcionamiento de la calibración. El balance de polarización de los canales es incierto para estimar el funcionamiento de el porcentaje de coeficientes de retrodispersión entre los píxeles coincidentes desde 2 canales coherentes de datos. Similarmente la polarización de la fase de calibración es incierta para estimar la fase relativa entre píxeles coincidentes desde 2 canales

coherentes de datos. La fase desconocida puede ser incluida del promedio de valores y la desviación estándar sobre el promedio, desde el segundo orden estadístico del error de la fase que puede contribuir significativamente para la incertidumbre de la polarización del objetivo. Estas parámetros de polarización pueden ser especificados por cada combinación de canales del radar.

Para multifrecuencias SAR la calibración de frecuencia relativas y absoluta puede ser especificada por cada combinación de canales. La frecuencia absoluta es definida por la incertidumbre (precisión) en la estimación del coeficiente de retrodispersión entre dos imágenes de un área, simultaneas o separadas en el tiempo, desde diversas frecuencias de los canales del radar. La calibración relativa de la frecuencia es la incertidumbre de estimar el porcentaje del coeficiente de retrodispersión entre dos imágenes de píxeles o objetivos de áreas homogéneas. Las calibración de la fase esta no significa la frecuencia a través canales, desde la diferencias de fase entre la retrodispersión de las medidas y las diferentes frecuencias no correlacionadas.

Características de los parámetros

El funcionamiento de los parámetros de calibración se definen como las fuentes errores sistemáticos. Estos caracterizan los parámetros que pueden excluir objetivos dependientes de errores como puntos de ruido, rango y ambigüedades del azimuth. Adicionalmente esto es asumido que el poder contribuido por el ruido termal es conocido y puede ser sustraído desde el receptor en el análisis de los datos.

La calibración de los parámetros son variables aleatorias. La exactitudes de la calibración son especificadas como un numero simple, este es asumido inherentemente, en la probabilidad de la función de distribución de cada error de termino es normal. Los números específicos son el error de la desviación estándar,

es generalmente asumido tal que la variación de la contribución puede ser la raíz de la suma cuadrada para determinar el total funcionamiento del sistema.

Adicionalmente un punto que puede hacer es que la calibración de los errores son función de ambos a lo largo de la línea y a través de la línea del objetivo. En las dimensiones de líneas a través del objetivo, por ejemplo el solape del patrón de la antena incrementa con el ángulo de iluminación. Por el error dado en la estimación del diseño de la antena eléctrica, que es relativa a la calibración relativa del error puede depender con la posición del objetivo respecto a la elevación. A lo largo de la línea depende de las variaciones de la línea de vuelo, por ejemplo puede afectar la incertidumbre de la calibración junto con los ciclos termales del instrumento.

En resumen, definiendo los parámetros ambos de calibración exacta absoluta y de calibración relativa de precisión pudiera ser definido para abarcar toda la línea del sistema. Cada uno de estos parámetros son variables aleatorias y este valor puede ser especificado con la probabilidad de ocurrir. Por lo tanto, en general puede ser especificado en función de estas 2 variables o en el limite del máximo error sobre el dominio. Este ajuste de calibración de la fuentes de error excluye los objetivos dependientes de los efectos de punto y ambigüedad del ruido, desde la contribución relativa de estos efectos es única para las áreas objetivos. Los parámetros de calibración para un canal simple del sistema de radar pueden ser extendidas para radares de múltiples canales.

Calibración de las fuentes de error

La exactitud de la calibración radiométrica de datos SAR no es simplemente dependiente de la estabilidad del subsistema del sensor. Aquí veremos cada elemento de este sistema en términos de las características de las fuentes de error y los efectos totales de la calibración del sistema.

El objetivo de los procesos de calibración es caracterizar el sistema con suficiente exactitud que las propiedades de la imagen del área del objetivo pueden ser derivadas desde los valores de la imagen usando algunos procedimientos de análisis sistemáticos. Este procedimiento de análisis de datos, usualmente referido al procesamiento geofísico, interpretación de la imagen, valores en términos de características geofísicos del objetivo (humedad del suelo, propiedades en superficie). La sensibilidad de este análisis para el error determinado que requiere el funcionamiento de la calibración depende de la aplicación especifica.

En general la grandes dimensiones de datos, ángulos de múltiple incidencia, polarización y frecuencias, es el mas robusto procedimiento de análisis y el mas exigente funcionamiento del sistema de calibración.

Técnicas de calibración radiométrica

La caracterización de la exactitud radiométrica del sistema SAR, comenzando con las especificaciones y el diseño de instrumentos para la operación. La actividad inicial durante el diseño de instrumento para especificar la calibración interna que pueda medir los parámetros críticos del instrumento durante su operación. Primero se verifica el funcionamiento del sensor según las especificaciones. Segundo se estudian las dependencia funcionales entre las medidas internas y los parámetro de funcionamiento del sistema. Por ejemplo la antena puede ser sensitiva a cambios de gradiente de temperatura, también cambios de la iluminación del sol puede distorsionar la imagen, es posible caracterizar los patrones de la antena como picos de ganancia. Que pueden ser medidos y comparados con los datos de vuelo. La calibración externa por objetivos conocidos como medidores de dispersión que son comparado con los valores medidos por la antena.

El emisor de la señal, la ganancia del receptor, los patrones de la antena, la ganancia del disparo. Generalmente los lazos calibración interna pueden ser usados para estimar los cambios relativos en el transmisor de poder y receptor de ganancia, que resulta de la variación de temperatura de los componente. Incluidos los medidores de prueba que ofrecen información adicional al funcionamiento del sensor. La medición en el vuelo es muy dificultoso y usualmente no da lo resultados.

El funcionamiento de la antena es caracterizada durante el pre vuelo y es verificada en el vuelo con las técnicas de calibración externa. Similarmente el sistema de calibración absoluto no puede ser determinado sin el conocimiento de la ganancia de la antena.

Calibración externa

El uso de objetivos en tierra con las características conocidas de dispersión para derivar las funciones de transferencia del sistema de radar es referida a la calibración externa. Los avances de calibración externa produce sobre la calibración interna que hecha en doble paso y puede ser medida directamente. Los parámetros del sistema son difíciles de medir, como patrones de antena, ganancia del disparo, ángulos efectos de propagación de la señal, pueden ser caracterizados usando técnicas externas de calibración como objetivos puntuales o dispersión especular conocidos por el radar, distribución de los objetivos a lo largo de áreas homogéneas que son relativamente estable y están caracterizadas las propiedades de dispersión.

Calibración de objetivos puntuales

Los objetivos puntuales son dispositivos hechos por el hombre conocidos como reflectores, transponder, generadores de tonos y receptores, cada unos de estos dispositivos tienen una área geométrica mucho mayor a la resolución de una celda

pero exhibe un brillo respecto a la retrodispersión total al rodear el objetivo del área con la resolución de una celda.

La dispersión de la señal transmitida y reflejada del terreno son recibidos por la antena y simultáneamente la calibración del objetivo retorna para controlar las condiciones del ambiente referente al rango de temperatura y los ángulos de vista. Los dispositivos pasivos como el corner son muy sensitivos a las distorsiones en cada una de las caras que lo forman.

Calibración de dispositivos pasivos: El más famoso es el reflector triangular trihedral estos dispositivos son orientados con los ejes de simetrías perpendicular a la superficie. La construcción del reflector puede tener un error de tolerancia que es pequeño relativo a la longitud de onda del radar. Por ejemplo una placa plana no es suficiente exacta para señalar la amplitud del rayo. Tampoco es estable especialmente en ambientes donde el viento produce flexión de la placa. La solución alternativa de los reflectores pasivos son los dispositivos activos que controlan los dispositivos de ganancia.

Calibración de los dispositivos: Esta clase de dispositivos incluyen instrumentos como transponders, receptores y generadores de tonos. El transponder es similar a un reflector que transmite la señal de regreso al radar, sin embargo el transponder beneficia el incremento de la señal por amplificación electrónica, los receptores de tierra son esencialmente son transponder con capacidad de grabar. Ellos pueden ser usados directamente para estimar el poder radiado y los patrones de la antena que no pueden ser medidos por los dispositivos de calibración interna. El generador de tonos es usado en pares para producir dos frecuencias en alguna fracción del ancho de banda ortogonal a la polarización.

Receptor compacto de tierra: el sistema consiste en una antena receptora y un desarrollo un circuito detector que puede ser cerrado dentro del radar, un digitalizador y un dispositivo de almacenar. Este sistema puede ser integrado con un transponder para un dispositivo de función dual. Estos dispositivos pueden ser usado directamente para medir el patrón del azimut de la antena y medir el patrón de elevación que puede ser de utilizado al tener un numero de receptores.

Generadores continuos de onda de tono. Los generadores de tono consiste en una antena polarizada linealmente y un generador de señal. Estos dispositivos son usado en pares, donde cada uno transmite y dos de polarización ortogonal de frecuencia por alguna fracción del sistema del ancho de banda.

Diseño de la calibración del sitio

Al realizarse las medidas requeridas de la calibración del sistema SAR, son requeridos un grupos de dispositivos. Estos dispositivos son desplegados a los largo de la línea de vuelo en una configuración geométrica para medir la exactitud de la calibración y los parámetros de calibración radiométrica. La mayoría del arreglo consiste tetraedros triangulares con transponder, receptores, generadores de tonos. El patrón de elevación de la antena es determinado por las medidas desde cada dispositivo que es suficiente para caracterizar los dispositivos de error y la incertidumbre de la medida.

Distribución de los objetivos de calibración

Se refiere a la calibración externa y usando objetivos naturales en un área larga con características homogéneas de retrodispersión. Lo fundamental es que las propiedades de estas áreas son estables y las variaciones están caracterizadas. Esto permite que las características de la imagen son asociadas a un objetivos de

dispersión y depende del funcionamiento del sensor. Estos dispositivos solo miden el funcionamiento del rango dinámico del radar. También son importantes las variaciones transversales de la intensidad de la señal recibida reflejada y la señal digitalizada antes del rango de comprensión. Referido a la formulación de la distribución del objetivo.

PROCESAMIENTO

El procesamiento de la señal consiste en la correlación de los datos crudos, y es seguido por la etapa de post procesamiento, para realizar las correcciones radiométricas y geométricas. La calibración radiométrica envuelve el análisis de calibración interna y externa de los datos, generación de los factores de calibración y aplicación de estas correcciones a la imagen de los datos para ajustar la telemetría. Este proceso tiene tres fases de operación:

- Prueba de los datos de prevuelo

Es usado para derivar la relación entre la calibración entre los dispositivos de calibración interna para medir los parámetros de funcionamiento del radar. Por ejemplo la salida del transmisión depende puede depender únicamente de la temperatura de la base de la placa. Es esencial para los parámetros de calibración, como los sensores termales para el control de transmisión y recepción del modulo de salida y ganancia. Adicionalmente los conversores DC en cada canal y estudiar el funcionamiento anómalos.

- Proceso de Calibración

La prueba del análisis de los datos del prevuelo son usados para interpretar la telemetría en vuelo en términos del sistema. Los parámetros de calibración para ser

estimado durante el preprocesamiento, los patrones de antena, los receptores de ganancia, poder del ruido y ángulo.

Dependiendo de la estabilidad del sistema, las medidas de la amplitud y fase de la función de frecuencia a través del sistema del ancho de banda puede ser requerida. Generalmente los efectos de cuadrático y de orden mayor de fase y errores de amplitud en la exactitud de la calibración radiométrica desde los efectos de la señal de la respuesta de la función de respuesta. La característica de calidad de la resolución geométrica del funcionamiento de antena, los aspectos de la calibración son los siguientes:

1. Calibración del análisis del sitio de la imagen de los objetivos simples de los objetivos para determinar las características de la antena y la exactitud de la localización.
2. Análisis de los objetivos múltiples para determinar la distorsión geométrica (escala y orientación de los errores) y patrones de elevación de la antena.
3. Análisis de los datos crudos del generador de señal para determinar la polarización de la antena receptora.
4. Análisis de la telemetría para estimar deriva del sistema (cambio de ganancia del receptor y transmisor)
5. Generación y calibración de los factores de corrección, incluyendo los patrones de la antena y los factores de escala de calibración absoluta .
6. Distribución de la calibración de los objetivos del análisis de los sitios para la estimación de los patrones de la antena.

Los factores de calibración son los siguientes: el análisis de una imagen seleccionada y los datos telemétricos sobre el intervalo de tiempo con los datos que van a ser calibrados. Los factores de corrección son generados por una secuencia de tiempo para cada parámetro y son guardados en la base de datos. La base de datos

genera los archivos de los parámetros de procesamiento de cada imagen para ser procesada, que incluye los parámetros de corrección de calibración, los datos y funcionamiento del sistema nominal del sistema. Los parámetros, el intervalo de tiempo, son aplicados a la imagen de los datos normalizados y son transferidos a los archivos finales de la salida de los datos.

- Proceso de verificación y análisis del funcionamiento

La exactitud de la calibración absoluta y la precisión relativa de los productos de los datos pueden ser verificados y estabilizados en la verificación en tierra que puede ser equipada con los dispositivos de los puntos de objetivos o cubriendo regiones de dispersión homogénea ya conocidas. Para la verificación del sitio de la medida, la calibración nominal de las correcciones, son derivadas de la telemetría y la calibración de la data del sitio, que son aplicados al producto de la imagen y estos son comparados con el objetivo de datos del sitio y son derivados para obtener la calibración del error. Estos parámetros definen el funcionamiento de la calibración, son validos sobre el limite de los intervalos de tiempo que depende de la estabilidad del sistema. El sistema de doble vuelta sirve para determinar las fuentes de errores que se pueden presentar.

El proceso de calibración consiste en la evaluación de ambas calibraciones internas y externas, así como la generación de factores de corrección de calibración. Estos factores son usados para corregir la imagen de los datos, así como estabilizar las bases comunes para relatar la representación del numero de datos en píxeles para el coeficiente de retrodispersión del objetivo. En general se puede definir calibración radiométrica y procedimiento de corrección de la imagen que consiste en los siguientes pasos:

- Evaluación de la calibración interna de los datos
- Evaluación de la calibración externa de los datos
- Generación de los factores de corrección de la calibración
- Corrección radiométrica de la imagen de los datos.

La calibración interna incluye:

1) La telemetría usada para el sistema de ganancia y error de la fase para el punto de operación del sistema.
2) Intensidad del ruido solo del receptor
3) Calibración de los datos para inyectar la calibración de los tonos de los pulsos.

La calibración externa de datos consiste en imágenes de los dispositivos de calibración de los puntos del objetivo, o distribución homogénea de los sitios de los objetivos.

Para el análisis asumimos que la calibración de los datos en los pasos 1 y 2 son ejecutados en la estaciones de trabajo dedicadas a la calibración.. Esta es una suposición razonable desde que la porción significativa del análisis puede envolver la interacción del operador para seleccionar los objetivos e interpretar la telemetría de los datos. Adicionalmente para el análisis es ejecutado solo ocasionalmente desde el tiempo constante parea variaciones desde el largo relativo para el periodo de muestreo y los sitios de los objetivos que son típicamente observados infrecuentemente.

Esta es una forma simple, del factor de corrección radiométrica es una arreglo escalar que varia en función del numero de píxeles de la imagen a través de la línea de vuelo. Este factor de corrección depende de :

- Los patrones de elevación de la antena
- Rango lejano
- Resolución del tamaño de la celda
- Sistema de ganancia y perdidas del sistema

En la calibración radiométrica pueden ser usados filtros secundarios sobre los datos para corregir los rangos de referencia junto a la estimación del error de los parámetros Doppler o errores y amplitud a través del sistema del ancho de banda, es natural que estos filtros pueden depender de las características de la imagen y de la función de respuesta del punto del objetivo, si los datos son dispersados a lo largo de las dimensiones del rango y azimuth, dos filtros unidimensionales pueden ser requeridos. Si los errores del sistema son determinísticos, la corrección de los filtros pueden ser incorporados dentro del rango y azimuth de compresión de la funciones de referencias, para eliminar es necesario filtros de corrección.

En general, los defectos productos de las anomalías de funcionamiento del sensor se manifiestan en el bandeamiento de la imagen. Otra distorsión obedece a la variación de la intensidad captada, que presenta entonces un punto máximo de intensidad por encima del cual ocurre la saturación de la señal; igualmente, se presenta un punto mínimo por debajo del cual la señal se ve afectada por bajas frecuencias (ruido) propias del sensor.

Esto se hace evidente cuando se observa el histograma de la imagen, el cual muestra la distribución de frecuencias de los niveles digitales. En caso de estas distorsiones, se observa un agrupamiento de los niveles digitales restringidos a un intervalos determinado dentro de un rango de 256 niveles posibles de escalas de grises. Para la corrección de estos defectos se aplican dos técnicas conocidas como mejoramiento de contraste y filtrado.

El mejoramiento de contraste, o corrección del histograma, es un tipo de corrección radiométrica basada en la aplicación de una función matemática, mediante la cual los niveles digitales de una imagen, concentrados en un intervalo específicos en el histograma, son redistribuidos uniformemente en el rango de 256 niveles digitales. De acuerdo al tipo de algoritmo matemático aplicado, el mejoramiento del contraste puede ser lineal, exponencial, uniforme, gausiano, etc.

Los filtros son funciones de tipo matricial utilizadas para el realce de distintas características. Los filtros son ventanas móviles, variables en tamaño, que realizan un determinado tipo de calculo con los píxeles de la imagen y asignan el resultado a los píxeles originales de la imagen. Existen gran cantidad de filtros y su selección y utilización depende del criterio del experto y del objetivo que persigue, el realce o atenuación de elementos de la imagen.

Existen dos tipos de filtros comúnmente utilizados en el tratamiento digital de imágenes denominadas filtros pasa alto y filtros pasa bajos. Los filtros de paso altos son utilizados para el realce de los bordes, de allí que también se conozca como detectores de bordes. Los filtros pasa bajos se emplean en suavizar los bordes al contrarios de los primeros. En ambos casos, el modo de funcionamiento es básicamente el mismo: los filtros pasa alto actúan resaltando las frecuencias mas altas y atenuando las mas bajas, mientras que los filtros pasa bajos cortan las frecuencias mas altas. También son utilizados con frecuencia los filtros direccionales, los cuales sirven para resaltar estructuras lineales en la imagen.

APÉNDICE D

AJUSTES DE IMÁGENES SAR

Dado dos tipos de datos cada sensor es geocodificado en una proyección común y espaciamiento del mallado. Sin embargo, el registro residual entre dos imágenes que puede ser corregida, se puede decir que si los píxeles son coincidentes hay un buen ajuste. Generalmente, este registro es un proceso simple relativo para ajuste de datos similares, pero el brillo de las imágenes SAR, depende de la rugosidad de la superficie y constante dieléctrica, puede no correlacionarse con brillos de la imagen óptica, que depende de la reflexión (relacionado con la composición química) de la superficie.

En zonas se puede hacer corrección radiométrica reversa en lo relativo al brillo, en áreas donde la tierra no esta cubierta, suelo arenoso, los datos SAR son de baja dispersión, mientras que con otros sensores la región aparece muy brillante. Algo que es notable es la información detallada del terreno que se obtiene con ambos sensores, sirve para contrastar y realizar interpretaciones. Otra diferencia es la apariencia del grano de la imagen SAR resultado del punto de ruido. Este par de imágenes claramente demuestra que la técnicas de correlación convencional no son suficientes para registrar la dos imágenes para la exactitud de subpixelados.

Para un aprovechamiento riguroso del problema de registro de la imagen es para extraer algunas características o ajustar las características que son conocidas para ser invariantes a través del ajuste de los datos. El aprovecho para extraer estas características es para seleccionar manualmente el ajuste de los puntos de lazo que son comunes a través del ajuste de los datos de multisensores. Estos puntos comunes son usados como entrada para la rutina polinomial para registrar estas variaciones. La imagen SAR puede ser registrada precisamente para el DEM por la iluminación del mapa desde la geometría de la imagen SAR, así se puede comparar estas

imágenes SAR con imágenes Landsat para obtener las correcciones de los efectos de sombra, determinar los registros residuales translacionales, para registrar en un mapa común base y puede ser coregistrado.

Esta técnica describe áreas de alta revelación donde los datos DEM pueden provenir de referencia comunes. Sin embargo, dado el ajuste de los datos globales, son de terrenos relativamente planos, aquí la precisión del DEM es disponible. Las técnicas de procesamiento de la imagen para iniciar la extracción de las características puede ser encontrado en la literatura. Alguna de estas técnicas, aunque originalmente previstas para otras aplicaciones, puede ser usada para los registros con multisensores. Los algoritmos de registros de multisensores donde el numero de técnicas son disponibles de cada etapa de procesamiento para acomodar la variedad de los sensores y tipos de objetivos, así como la variedad de condiciones ambientales. Estas técnicas son:

1) Operadores del borde
2) Análisis estadístico usando propiedades estacionarias de regiones locales
3) Análisis de componentes principales.

Para imágenes SAR que son corruptas por los puntos de ruido, las técnicas son basadas en derivadas direccionales de primer o segundo orden. Esto es especialmente verdad en términos de localización de los bordes, usando el suavizado bidimensional, exhibiendo significativamente la localización mejorada en el funcionamiento de la detección de bordes relativo para derivar los operadores estadísticos.

Las diferencias texturales en las imágenes viene dada por la subida de algunas líneas disimilares. Quizás el puntos clave son las rutinas de emparejamiento pueden ser mas adaptativas, para optimizar la ejecución por el ajuste de los datos y las

condiciones de la imagen. Los operadores de bordes pueden ser incrementados para reducir el números de bordes falsos que son comparados con los datos ópticos, los efectos pueden variar por los filtros espaciales, de hecho las rutinas de emparejamiento pueden requerir procedimiento iterativos en cada paso, los parámetros de los filtros pueden ser ajustados si algunos criterios de similaridad son satisfechos.

Dado que algunas características son invariantes son extraídas con procedimientos de emparejado, esto es requerido para derivar los efectos rotacionales y translacionales entre estas características, algunas procedimientos posibles son:

1) Correlación binaria
2) Transformada de distancia
3) Programas dinámicos usando modelos autoregresivos.

La clave métrica para ser considerada cuando seleccionamos el procedimiento de emparejado, dado que algunas características son distintas a través del ajuste de la imagen. Adicionalmente la rutina de ajuste puede ser capaz de detectar algunas cantidades de la rotación residual entre los puntos de unión. Por ejemplo la correlación binaria es relativamente insensible para la presencia de bordes extraños cuando se compara con las imágenes ópticas, el proceso de pequeñas rotaciones estas dos imágenes son pequeñas rotaciones dados por candidatos de ángulos nominales (de rotación cero)

La transformada de distancia en cada borde del mapa es convertido en una imagen de escala de grises de acuerdo a la distancia entre los píxeles desde los borde.

La técnica de programas dinámicos es relativamente nueva para probar las técnicas que todavía no han sido probadas usando datos SAR. Es esencial usar modelos

autoregresivos para registrar algunas distorsiones de la imagen para el mapa base y no tener distorsiones de informaciones. Este modelo es usado para definir la deformación de la escala de píxel. Este método optimiza la búsqueda de la mejor registro del orden de secuencia de primitivos. Estos primitivos pueden ser bordes u otro tipo de imágenes de características invariantes. Este numero de características únicas de este proceso de emparejar puede presentar soluciones optimas para algunos problemas de emparejamiento. Usando datos ópticos pueden dar buenos resultados.

Los registros de múltiple sensores es el paso final de el procesamiento utilizando la salida de las correcciones geométricas, rutinas de geocodificación descritas para mejorar los registros del ajuste de los datos desde distintas y diferentes porciones del espectro electromagnéticos. Esto brinda mas detalles de las características de la superficie y puede ser usada para modelar los procesos de cambios o estudios simples de la tierra. El aspecto mas retante de estos problemas son la variedad de los tipos de datos resultante de diferentes sensores, tipos de objetivos y condiciones de ambientes. Es claro que el proceso de espaciado, el proceso de ajuste no satisface los requerimientos de emparejado. Aquí es un buen candidatos para inteligencia artificial, reglas basadas en el aprovechamiento para seleccionar algoritmos óptimos y determinar estos parámetros. Herramientas computacionales para leer algoritmos complejos puede mandar a distribuir procesos de arquitectura e implementación de algún tipo de redes neurales.

Independiente del diseño final del sistema seleccionado para la ejecución del registro multisensor, en el desarrollo de la capacidad y generara rutinas registradas de datos multinivel que pueden ser estudiados. Estos productos son cruciales para presentar los datos en el formato presentar la derivación de información de parámetros geofísicos, en esta manera usados para manejar modelos de larga escala de los proceso de la tierra.

Aquí se completo la discusión de calibración de imágenes SAR y algoritmos de corrección, se presento las técnicas para caracterizar las funciones de transferencia de sistema de radar usando ambos dispositivos de calibración interna y externa. Se discutieron las clasificaciones básicas de los términos de calibración geométrica y se introdujo el ajuste de los parámetros para caracterizar la exactitud de la imagen. Esta discusión siguió el análisis del error para identificar las fuentes de distorsiones geométricas y errores de localización del objetivo.

Se presentaron técnicas automatizadas para mapas de la salida natural correlacionada de la imagen SAR (remuestrada) dentro del formato de rectificación (espaciamiento fijo uniforme de píxeles). Rotación de la imagen y técnicas de compensación de la imagen. Técnica de rectificación unidimensional, factores de corrección radiométrica resultados de relieve local.

Las aplicaciones de geocodificación, mosaicado, registros multisensores, automatización de algoritmos geométricos y radiométricos en las operaciones de procesamiento. Calibración de los productos en un futuro cercano, y un nuevo reto al mezclar imágenes de datos SAR con datos no-SAR en la etapa de pre procesamiento para el análisis de datos geofísicos. Considerando los efectos del contenido de la escena y condiciones ambientales en las estadísticas de la imagen de datos, puede ser muy complejo para automatizar estos proceso de reconocimiento. El mejor aprovechamiento para usar reglas de sistemas expertos para evaluar la características de los datos y seleccionar las técnicas optimas para el emparejado.

A continuación se muestra las diversas interpretaciones de datos SAR con datos NO-SAR

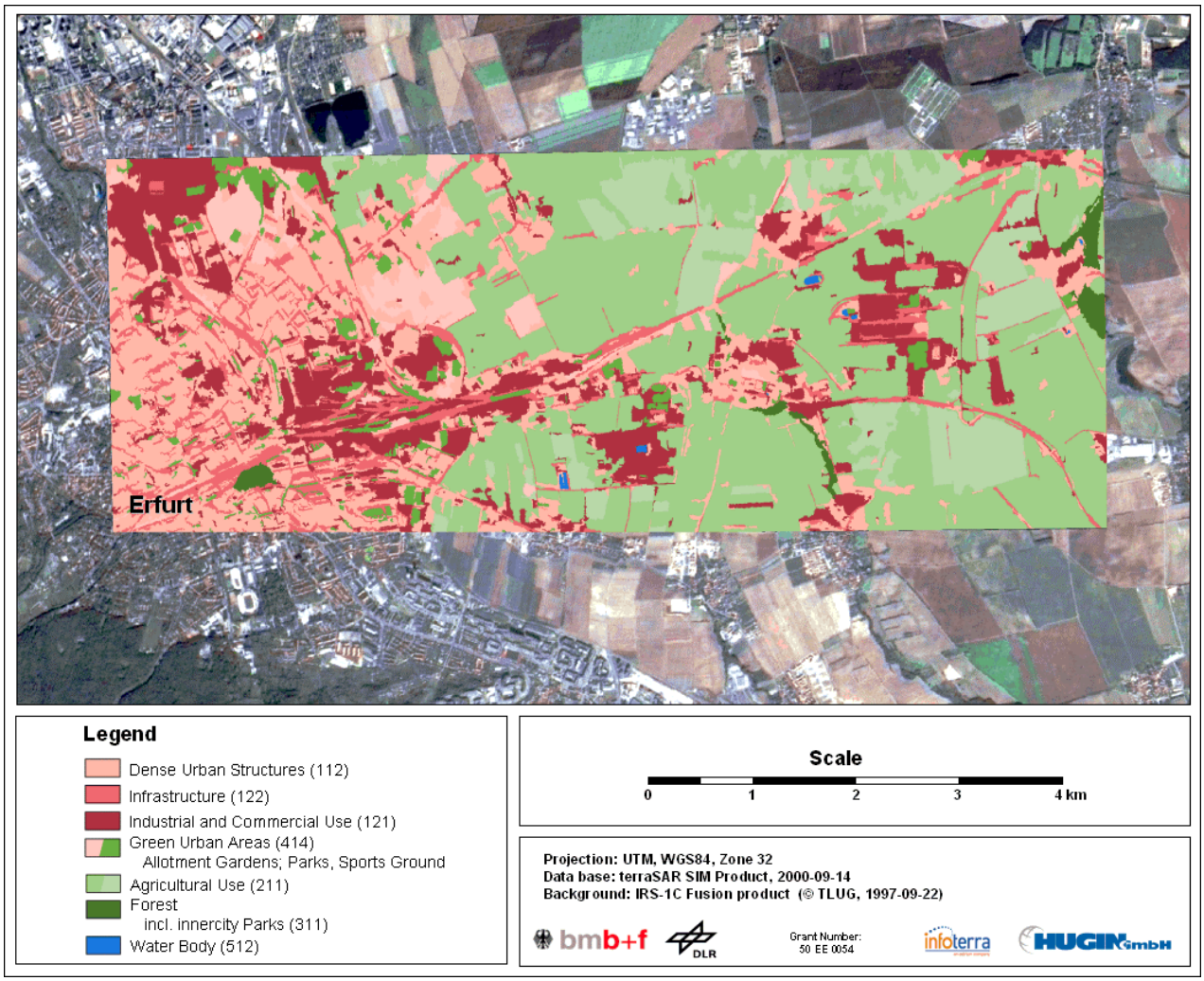
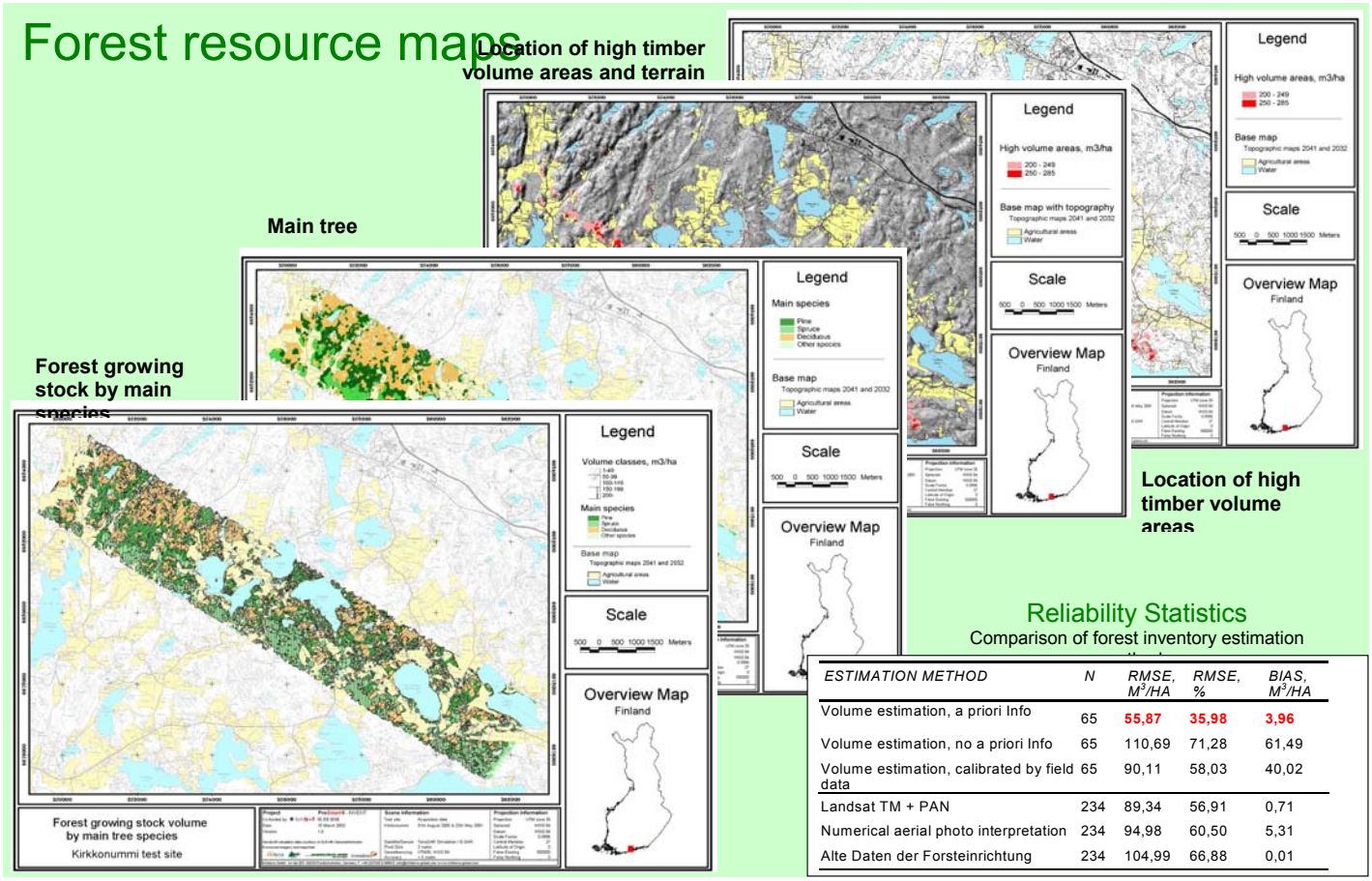


Figura 1. Interpretacion integrada en zonas urbanas.



ESTIMATION METHOD	*N*	*RMSE, M^3/HA*	*RMSE, %*	*BIAS, M^3/HA*
Volume estimation, a priori Info	65	**55,87**	**35,98**	**3,96**
Volume estimation, no a priori Info	65	110,69	71,28	61,49
Volume estimation, calibrated by field data	65	90,11	58,03	40,02
Landsat TM + PAN	234	89,34	56,91	0,71
Numerical aerial photo interpretation	234	94,98	60,50	5,31
Alte Daten der Forsteinrichtung	234	104,99	66,88	0,01

Figura 2 Diversas interpretaciones hechas en un mismo mapa

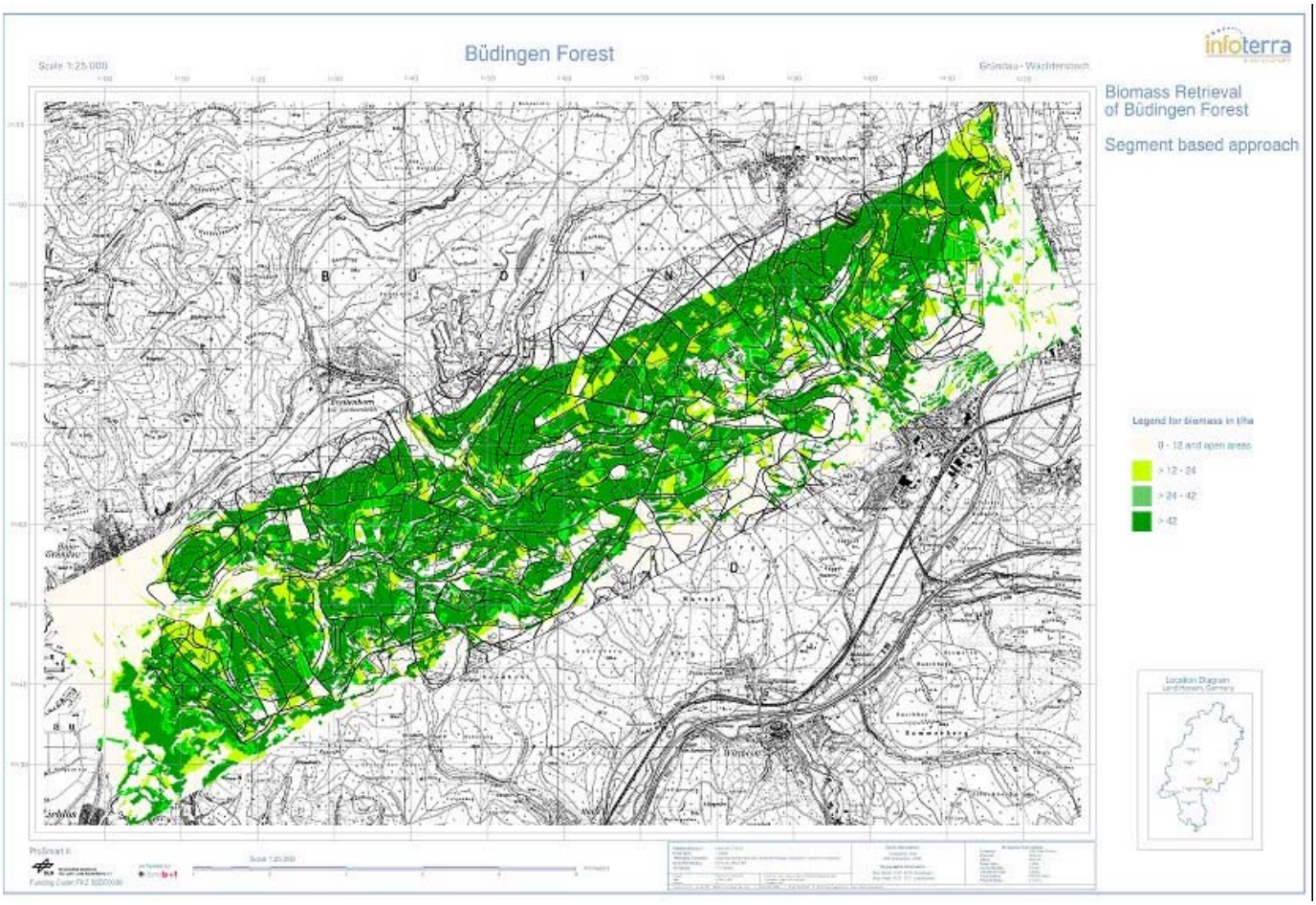


Figura 3 Clasificacion de altura de Biomasa

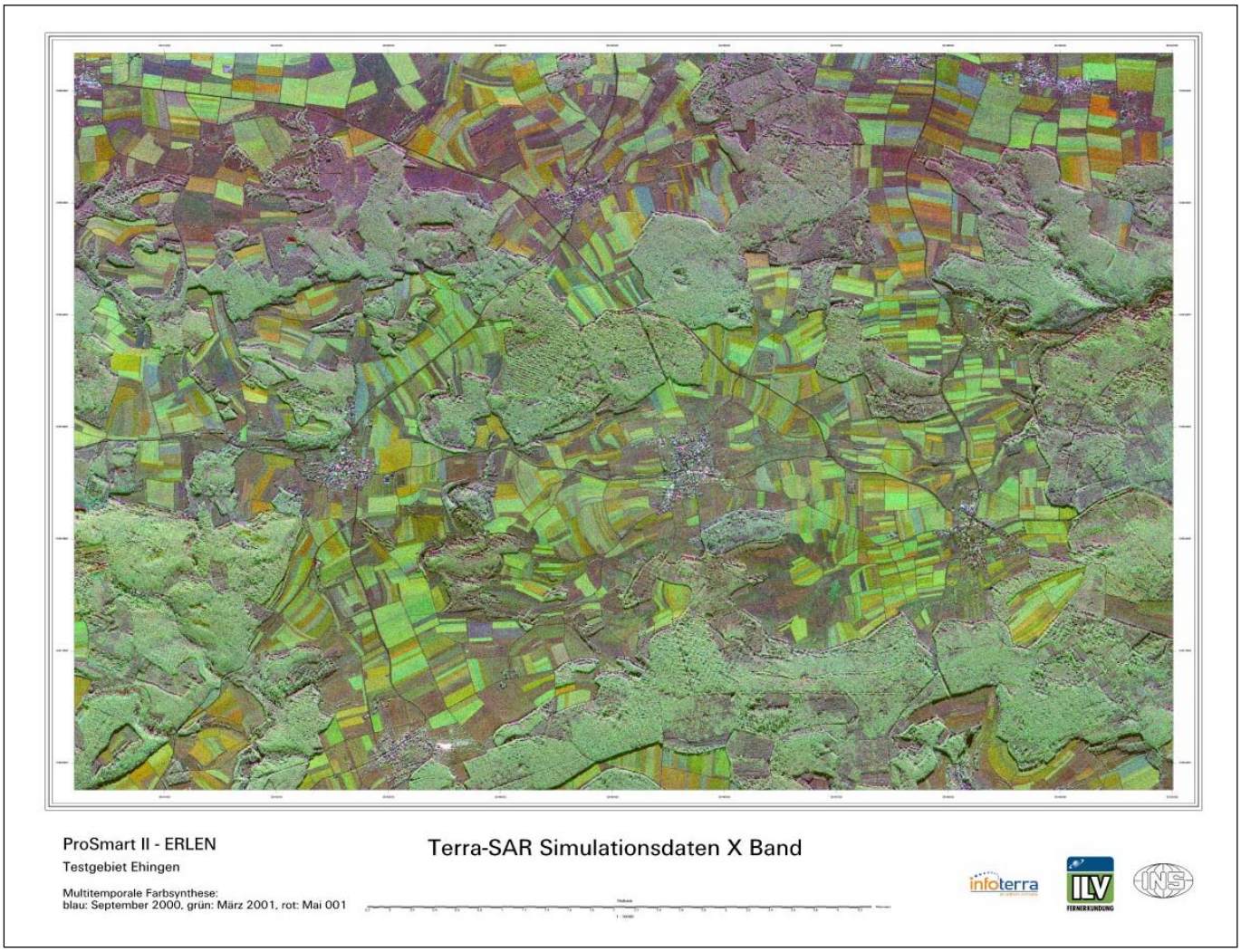


Figura 4 Clasificación de diferentes de cultivos

APÉNDICE E

EDICION DE MAPAS

La edición de mapas es el ultimo procedimiento del procesamiento de imágenes SAR y consiste en la depuración de errores menores remanentes de pasos anteriores. La edición de mapas se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- Enlace con programas que conforman las librerías que permiten la ejecución de cada uno de los algoritmos necesarios para la edición.

- Revisión de imágenes, este paso consiste en chequear las imágenes correspondientes a cada una de las bandas de grabación (X y P), con la finalidad de verificar la presencia de errores tales como: franjas verticales y horizontales, puntos brillantes o "spikes", vacíos de información, efectos de reflexión en ríos y lagunas, apariencia del archivo de coherencia.

- Edición de archivos de amplitud: se realiza con el programa "amplitude". Mediante este programa se pueden eliminar detalles como líneas verticales y horizontales y vacíos de información en ríos, lagunas y tierra. Estas correcciones se aplican inicialmente a la banda X y luego, a través del programa "maskcheck", son llevadas automáticamente a los archivos de la banda P.

- Aplicación de mascara a ríos y lagunas, utilizando el programa "amp_mask" con este procedimiento se interpolan los valores de altura en ríos y lagunas correspondientes a los archivos "dtm" y "dsm", así como los valores de amplitud en los archivos "amp" de cada una de las componentes de grabación. Evitando que estos presenten valores por encima del nivel del terreno.

- Edición de archivos DTM-DSM se lleva a cabo con los programas "autospikes" y "spikes". El primero permite eliminar la presencia de puntos brillantes o "spikes" de manera automática, mientras que el segundo despliega la imagen "dtm" permitiendo visualizar cualquier error de diferencia de altura presente en estos archivos. Cada una de las correcciones es llevada automáticamente al archivo "dem". Cabe destacar que los "spikes" son diferencias anormales de altura remanentes del proceso de adquisición de datos.

- Traspaso de correcciones de la banda X a la banda P como se menciono en el punto anterior, el traspaso se lleva a cabo automáticamente por medio del programa "maskchek".

- Corrección Radiométrica: consiste en la corrección de diferencias en los valores de amplitud presentes en las bandas X y P manifestados como franjas horizontales o verticales. Las franjas horizontales son depuradas con el programa "cocidos", mientras que las franjas verticales son corregidas con el programa "bandeos".

- Aplicación de la mascara se lleva a cabo con el programa "amp_mask2". Dicho programa aplica de nuevo la mascara aplicada previamente con "amp_mask" con el objetivo de interpolar cualquier diferencia proveniente de las correcciones realizadas con el programa "spikes".

- Verificación de diferencias de altura: este paso consiste chequear posibles diferencias de alturas mayores a 52 metros entre los archivos "dtm" y "dsm", así como la verificación de puntos con alturas negativas (mayores a -5 metros). Además, compara la cantidad de puntos con valores -9999 o

"dummies" entre los mismos archivos, la cual debe ser equivalente. El programa "altura" realiza estas correcciones de manera automática.

CONTROL DE CALIDAD

La edición de mapas sigue algunas etapas que luego son verificadas durante el control de calidad. La mayor diferencia es que la edición debe ser hecha por mapas cortados directamente del mosaico del mapa y el control de calidad es hecho del mapa cortado listo para entregar.

Los principales tópicos del control de calidad son:

a) Verificación de la existencia de todos los archivos del directorio de donde es extraído el mapa

Una herramienta usada para el control de calidad es el software "ENVI" que en algunos casos típicos de edición debe ser ejecutado para garantizar la existencia de ciertos tipos de errores. En ENVI, se verifican los siguientes archivos:

1. El archivo de coherencia, se chequea su integridad y aspecto. Esta verificación es visual y el archivo debe ser visto solo una vez, el rango de valores de la imagen considera el rango 0~255. Valores diferente de este rango podría degenerar la imagen y no dar información alguna.

2. También son verificado los detalles como la existencia de franjas verticales y/o horizontales.

3. Luego de los dos pasos mencionados anteriormente son cargados en ENVI los archivos dtm, dsm, ori_x, phh, phv e pvv. También es hecha una diferencia entre el

dsm y el dtm para verificar la altura de la vegetación del área del mapa. Los archivos se abren en ENVI, colocando las ventanas de tal manera que permite la verificación de la existencia de franjas horizontales y verticales, así como de la integridad de cada uno de ellos.

4. Las ventanas de las imágenes son vinculadas, permitiendo así una inspección detallada simultánea, para todas ellas. Los puntos a ser verificados son:

- Anomalías de altura (spikes)
- Fallas de procesamiento.
- Fallas de edición.

5. Después de haber verificado los detalles en ENVI, se procede a verificar la aplicación de los procedimientos de edición, esto es:

- La verificación de la correcta aplicación de la máscara de agua

- La verificación de dummies (-9999.) en el dtm/dsm, así como su consistencia.

A continuación se muestran alguna correcciones producto de la edición :

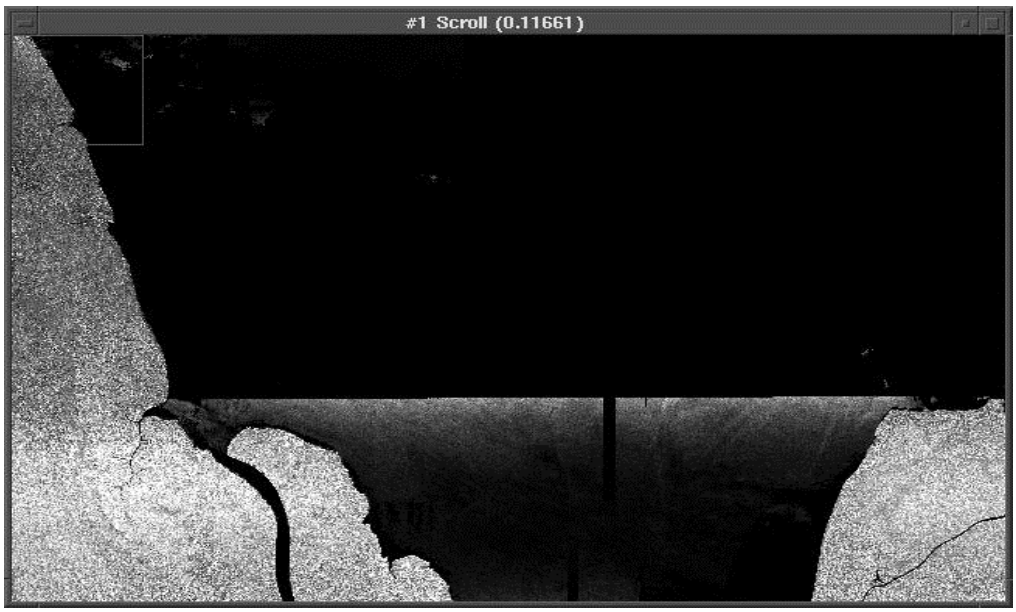


Figura 1 Efecto de agua a ser corregido

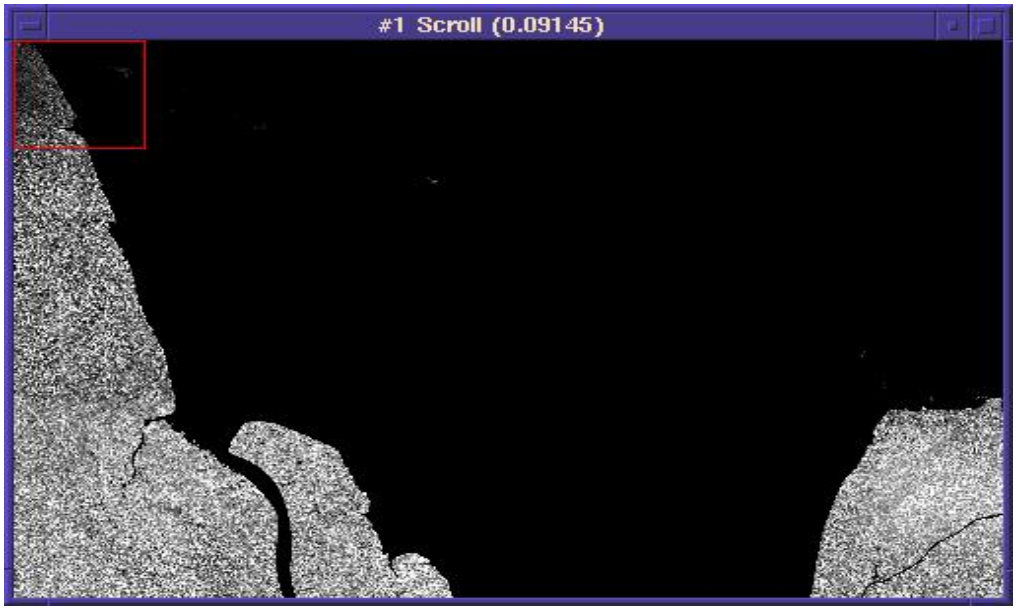


Figura 2 Efecto de agua ya corregido

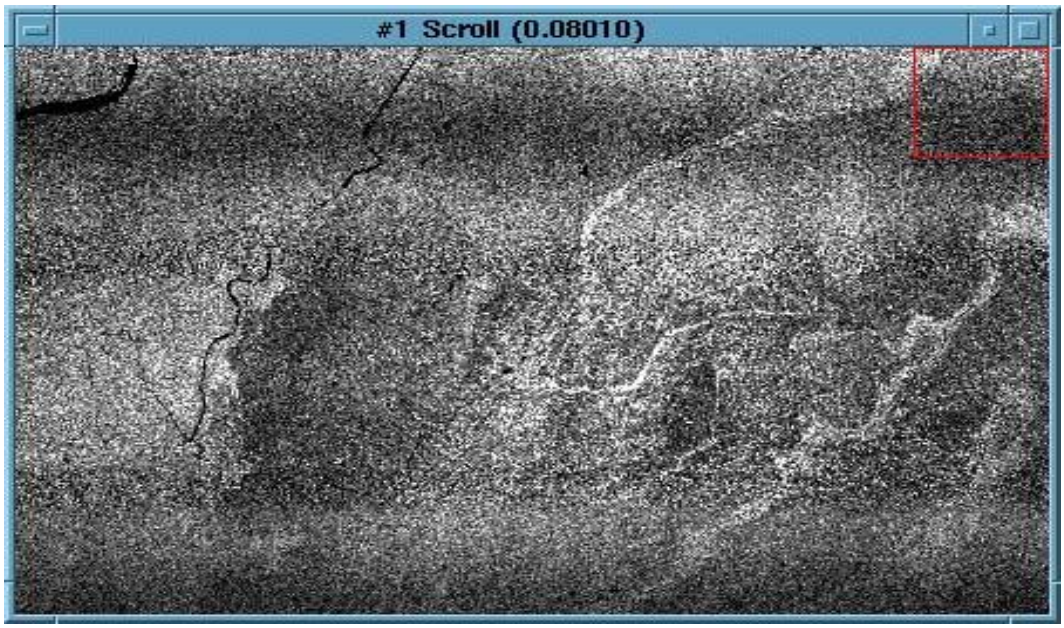


Figura 3. Franjas horizontales a ser corregidas

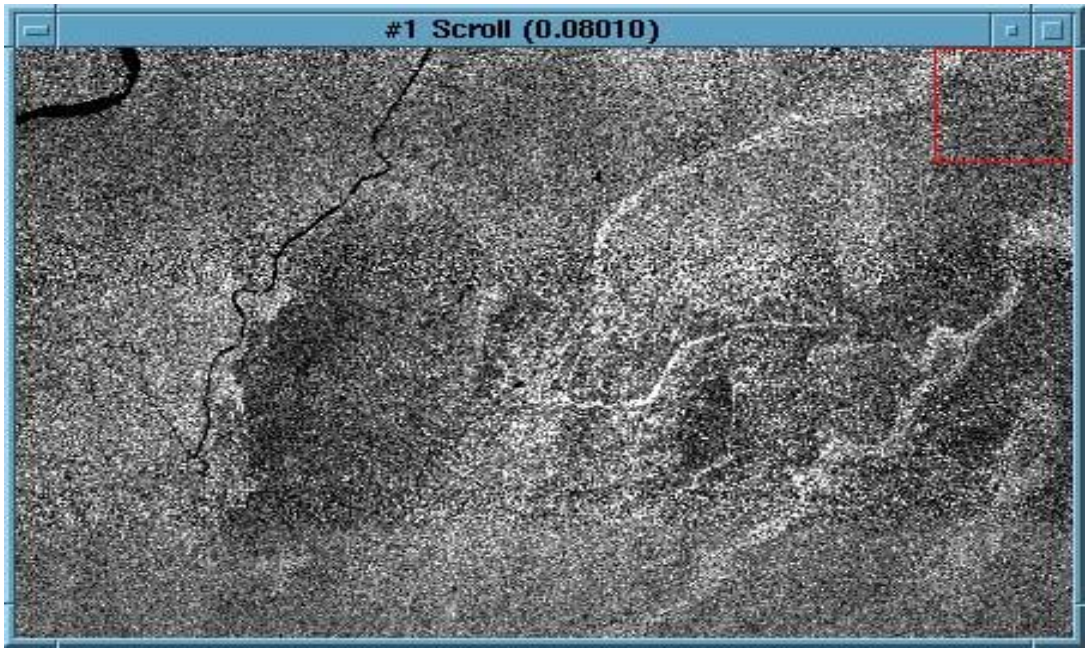


Figura 4. Franjas corregidas

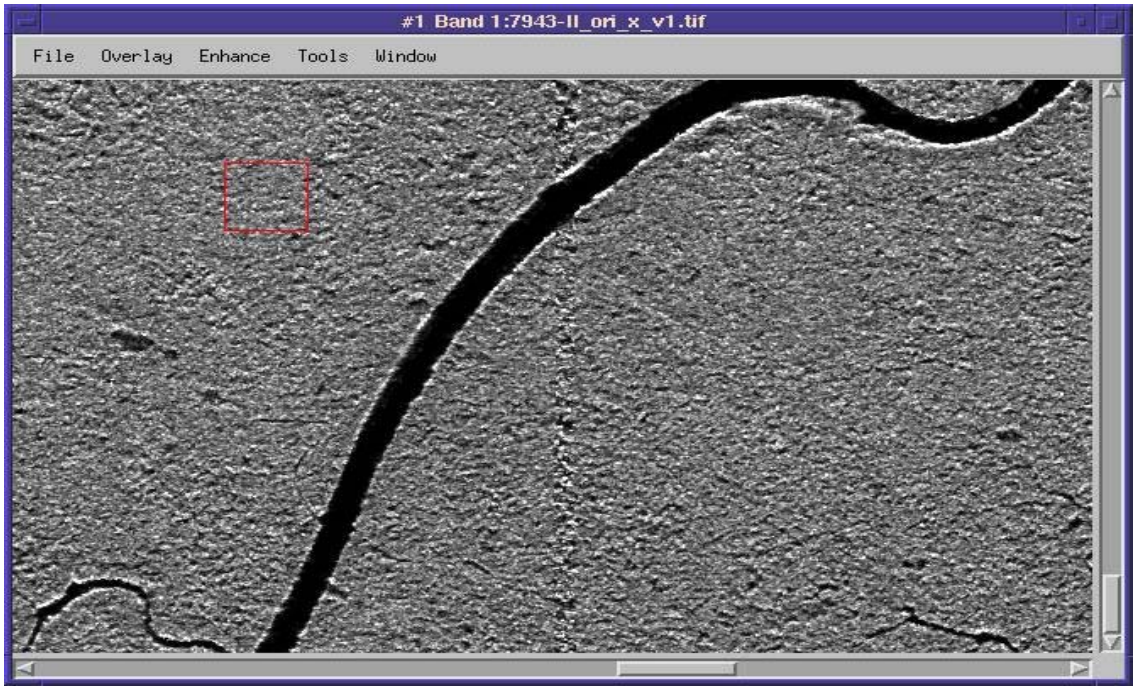


Figura 5. Franja vertical a ser corregida

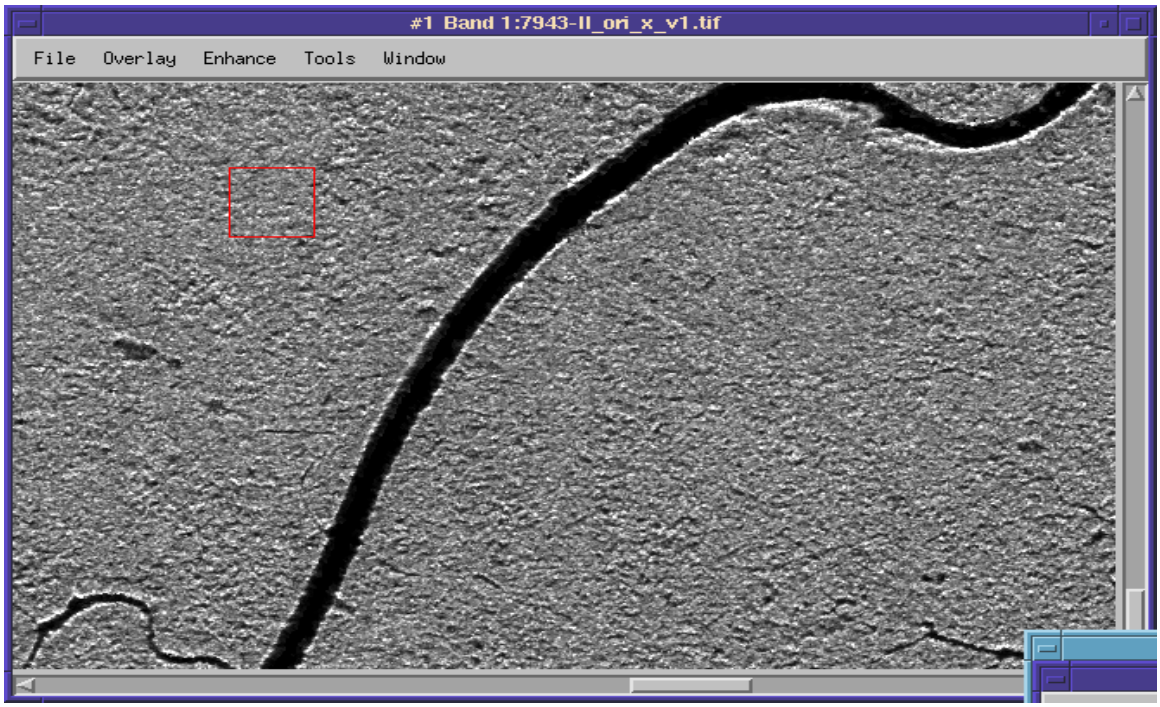


Figura 6. Franja vertical corregida

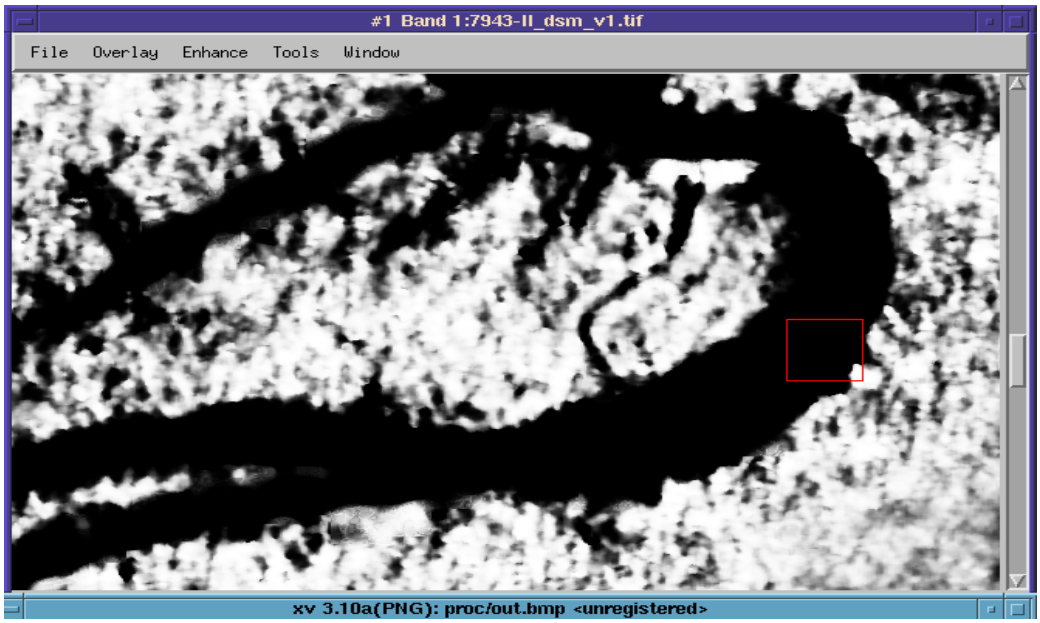


Figura 7 Spikes a ser corregidos

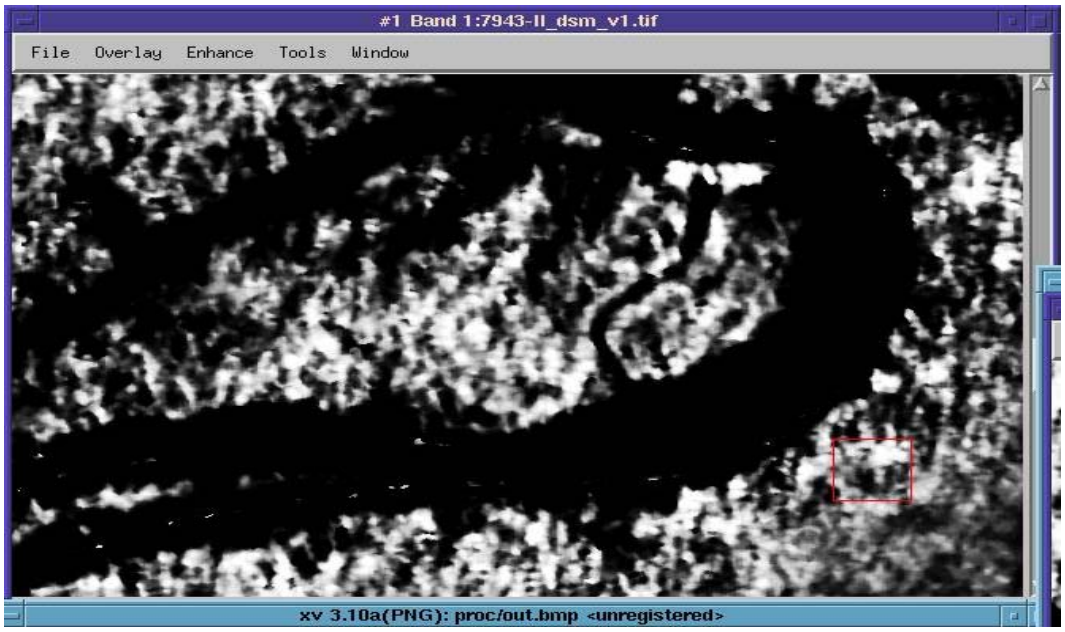


Figura 8. Spikes corregidos

APÉNDICE F

CURVAS DE NIVEL.

Luego de tener los mapas corregidos se verifico la correcta asignación de valores altimétricos de cada una de ellos, para generar las curvas de nivel, por medio del programa Microstation.

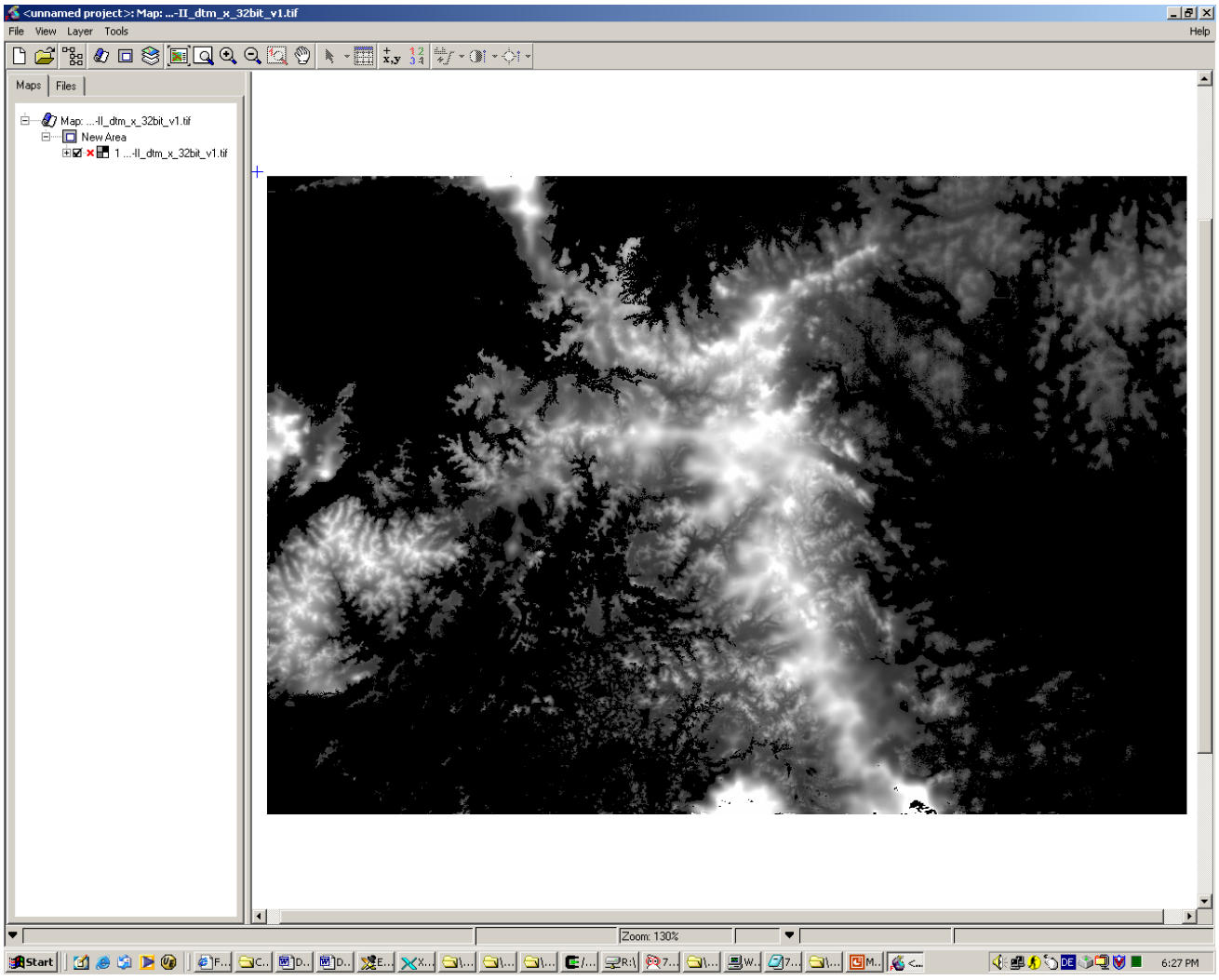


Figura 1. Imagen del programa de generación de curvas de nivel

El programa Microstation realiza la interpolación de los puntos para la elaboración de las curvas de nivel

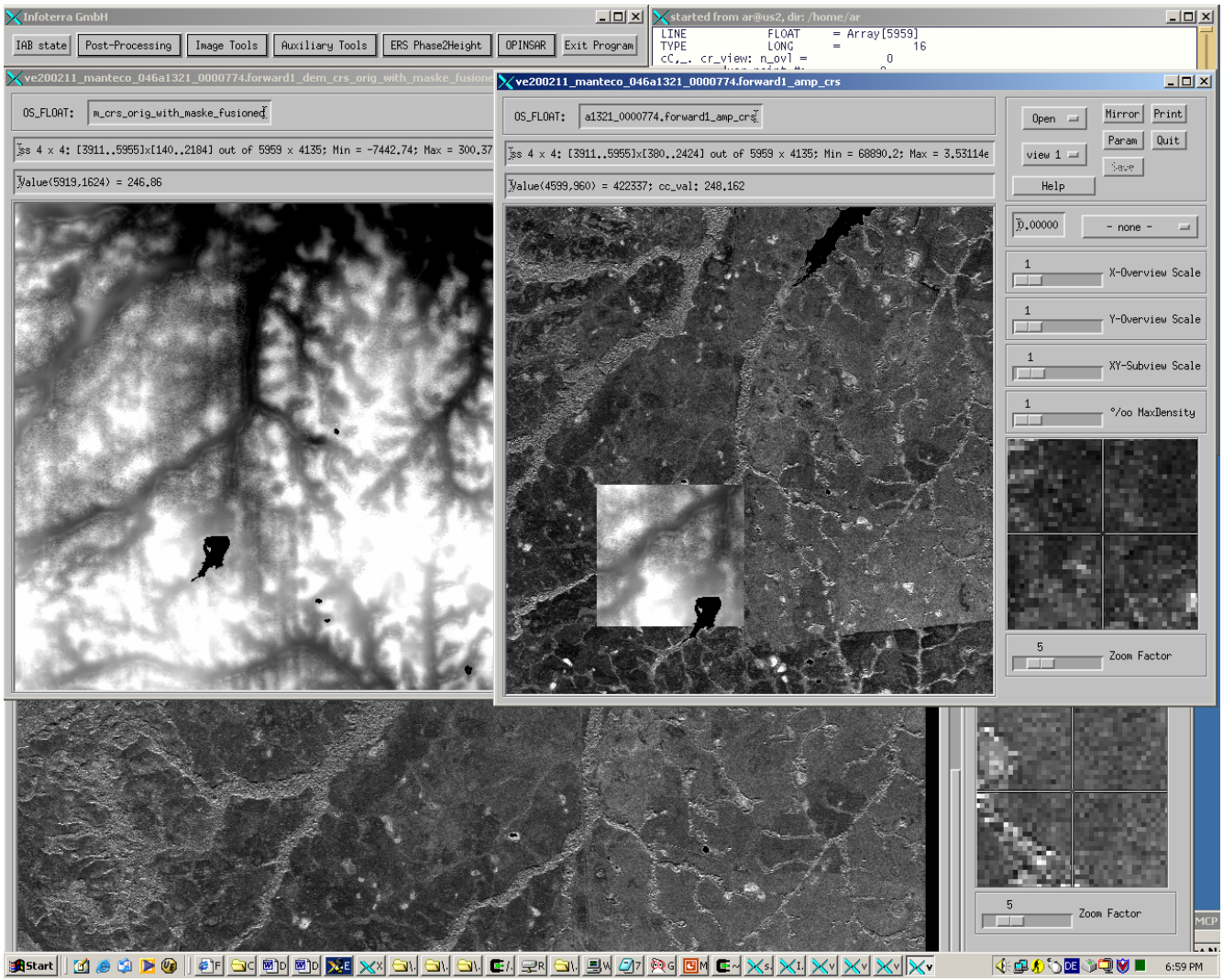


Figura 2 Imagen del programa para interpolar las curvas de nivel

A partir del DTM o modelo digital del terreno, se convierte a formato raster del archivo vectorial de curvas de nivel; posteriormente el sistema realiza los procedimientos de interpolación lineal entre las curvas de nivel en formato raster, con lo cual se obtuvo la interpolación bidimensional.

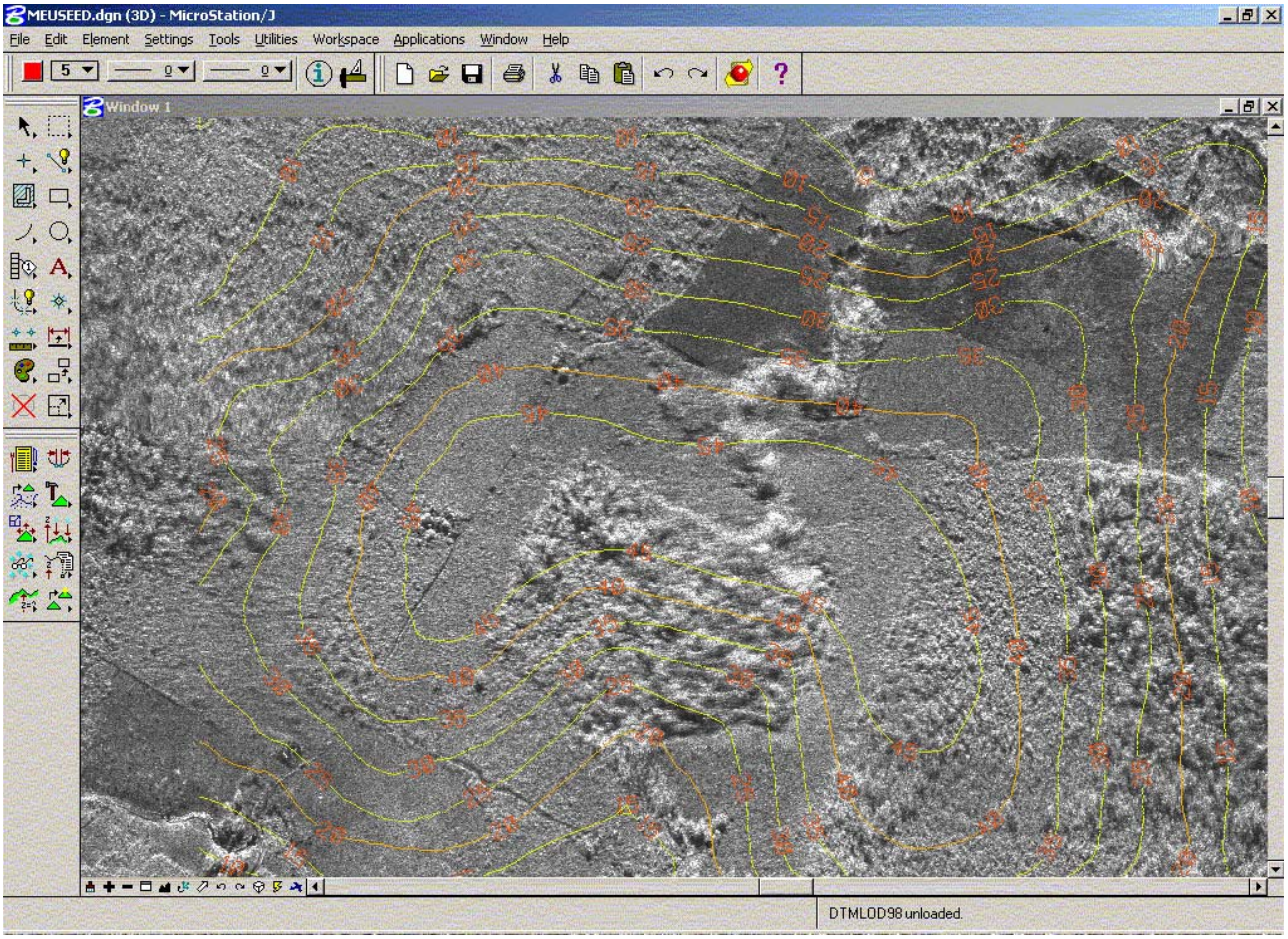


Figura 3 Curvas de nivel interpoladas

Para luego tener un modelo tridimensional del terreno, como lo muestra la siguiente figura:

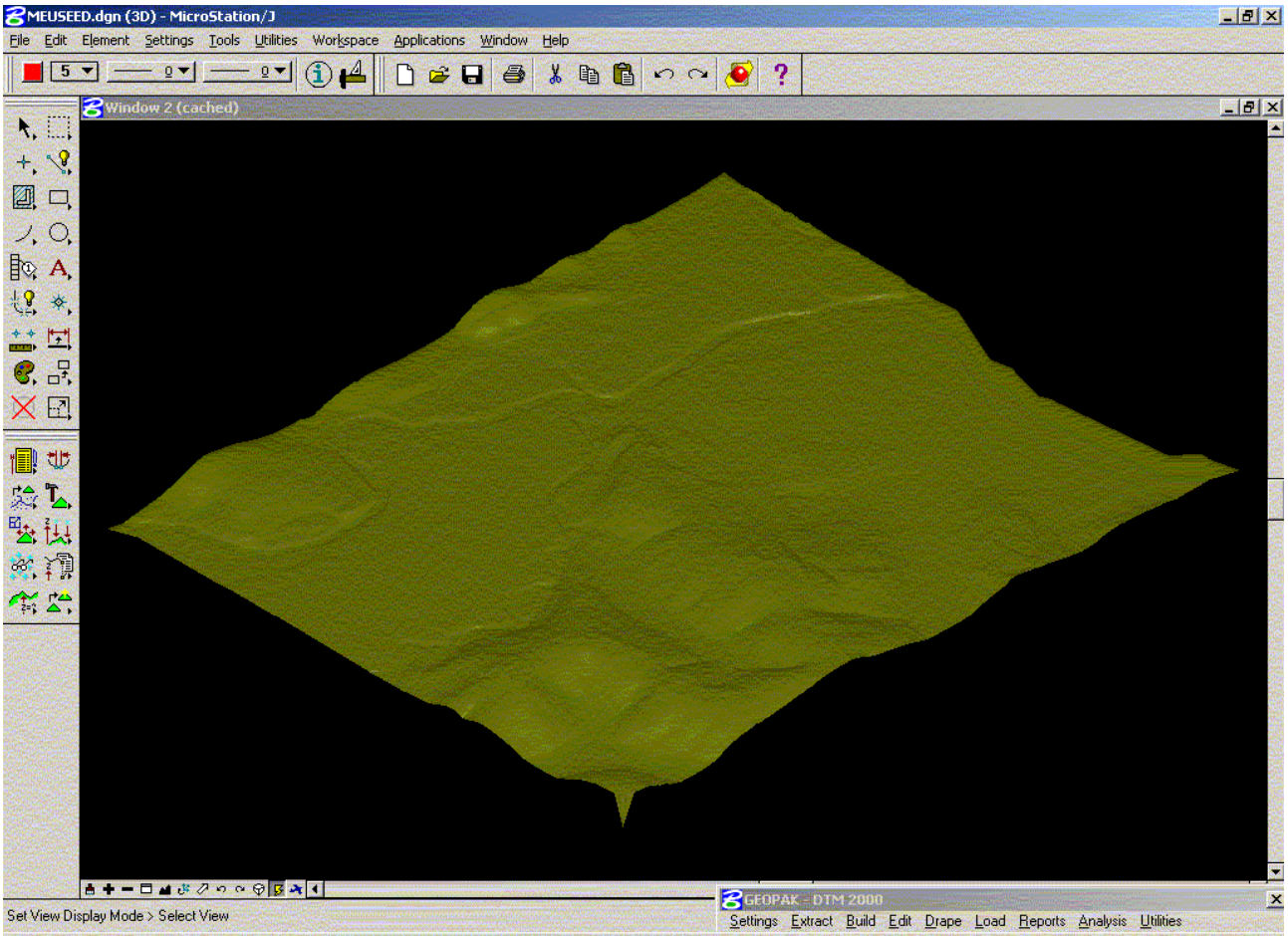


Figura 4. Modelo tridimensional del terreno a partir de la interpolación de las curvas de nivel

Finalmente se seleccionan las curvas de nivel de interés, Además se incluye la opción de introducir la toponimia del mapa.

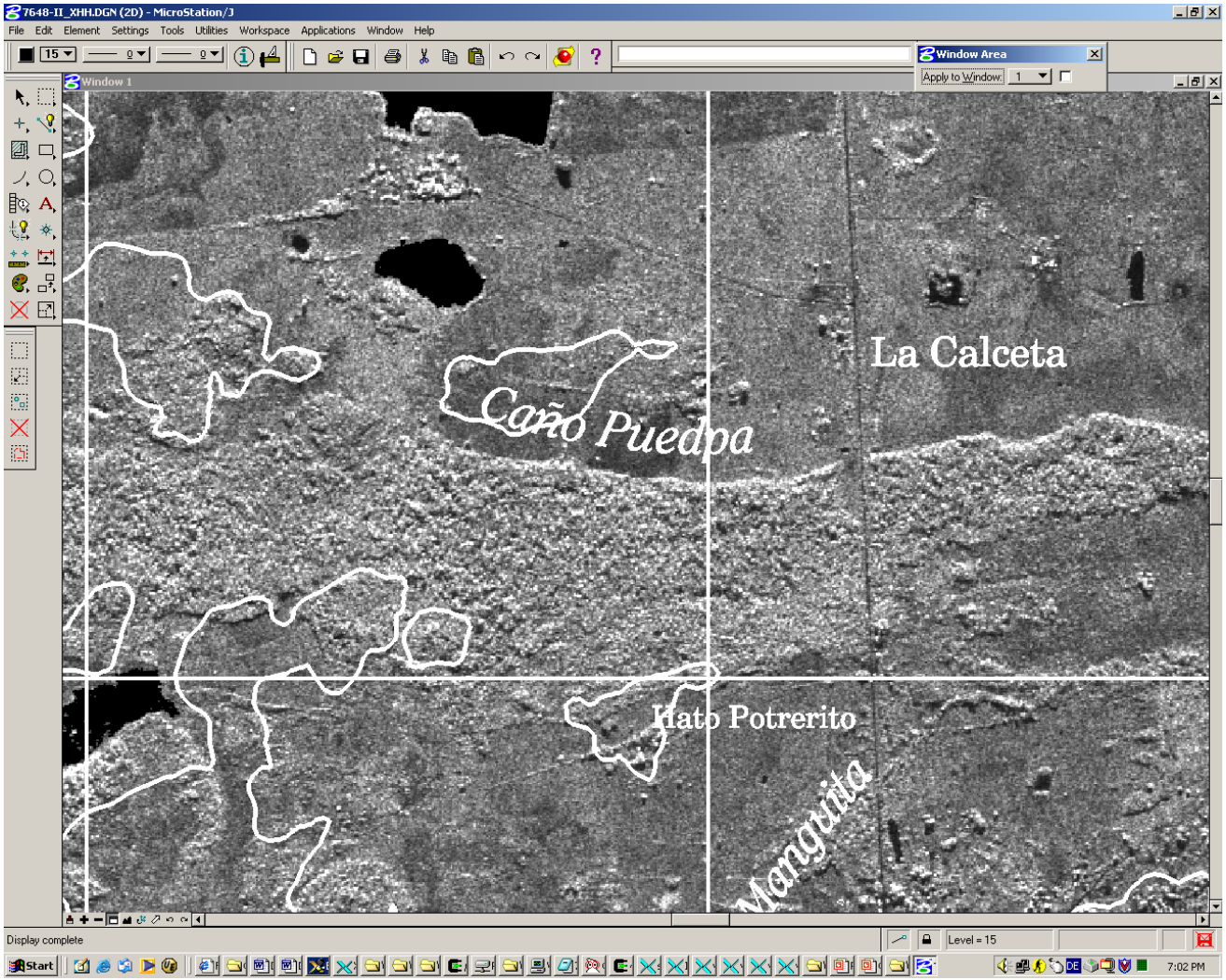


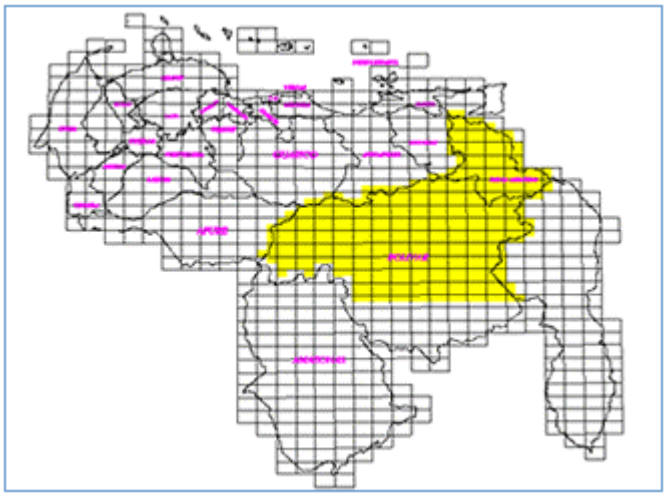
Figura 80 Interpolación de las curvas de nivel junto a la toponimia

APÉNDICE G

Proyecto Cartosur II

Con el propósito de concluir la cobertura cartográfica de la región Sur del país, el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), se propone la realización del proyecto CARTOSUR II el cual corresponde a la segunda etapa del levantamiento de la región Sur, mediante un procedimiento de Licitación Pública Internacional.

El objetivo fundamental del proyecto es la Obtención de Ortoimágenes de Radar e Interferometría Diferencial sobre una superficie de aproximadamente 262.000 Km. ^{2}. El proyecto se llevará a cabo en El Estado Bolívar y el Estado Delta Amacuro



Objetivos

Adquisición de datos radar aerotransportado e interferometría diferencial

1. Producción de ortoimágenes

2. Generación de modelos de elevación del terreno (MDT) y curvas de nivel

3. Instalación en el país y puesta en marcha de los sistemas para la producción cartográfica

4. Transferencia de tecnología mediante la participación directa de profesionales y técnicos de IGVSB en todas y cada una de las fases del proyecto y su capacitación en adquisición de datos radar y procesamiento en todas las fases hasta la obtención de las ortoimágenes.

Con el Proyecto CARTOSUR II, no solo se obtendrán productos similares a los de CARTOSUR I, sino además, el cálculo de biomasa, que permitirá una evaluación más rápida de las condiciones en que se encuentran los bosques de la zona, con lo que se puede iniciar las actividades de planificación, seguimiento y control de los recursos naturales.

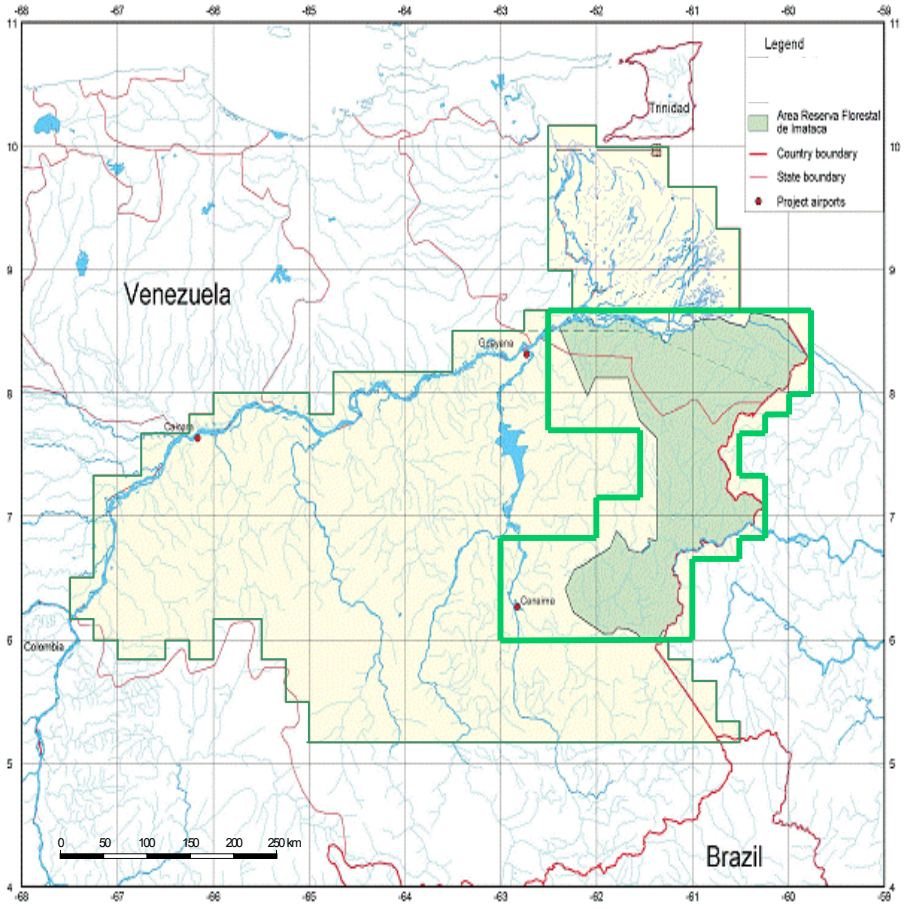
La capacidad de estos sensores permite que los datos obtenidos por su intermedio tengan valor agregado, pues las crecientes innovaciones en el área de la informática, facilitarán nuevas aplicaciones de los datos ya obtenidos.

Toda la información generada a partir de estos productos estará asociada a una base de datos, que podrá proporcionar información para diferentes propósitos y a distintos usuarios.

Aplicaciones de la tecnología radar

Geología: la habilidad del radar de penetrar la cobertura de la tierra y la sensibilidad para el micro relieve hace que los datos del radar sean de gran utilidad para cartografiar geología, exploración minera y arqueología.

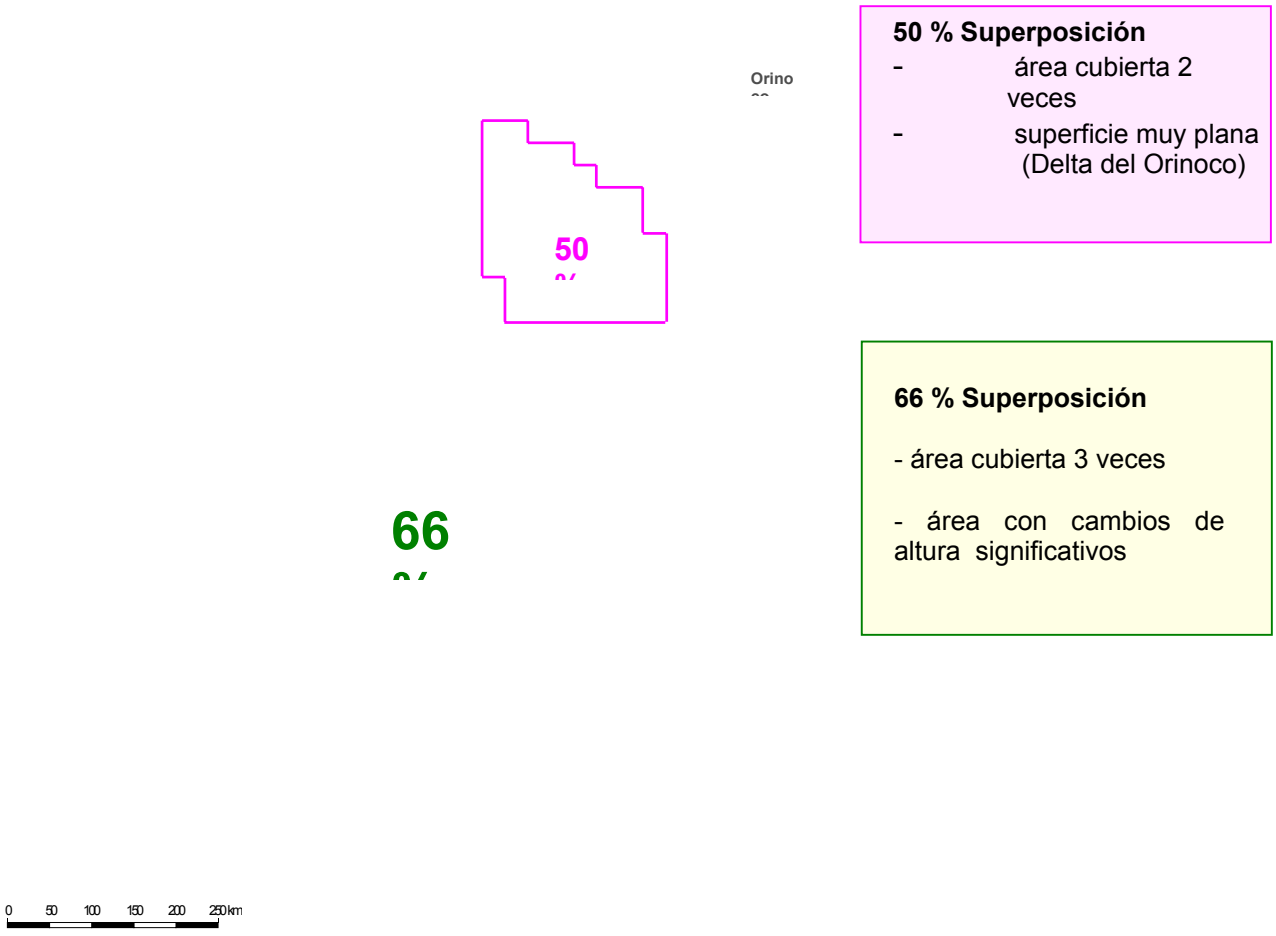
Clasificación: una escena de radar puede ser fusionada con datos infrarrojos y visibles como capa(s) adicional(es) para clasificar vegetación, para la cartografía de recursos forestales, seguimientos de cultivos, etc.



Modo 2
Área: Reserva Forestal de Imataca

Modo 1
El resto de áreas

Figura 1. Modo de medición en CartoSur II
(Tomado del informe técnico del IGVSB, 2001)



50 % Superposición

- área cubierta 2 veces
- superficie muy plana (Delta del Orinoco)

66 % Superposición

- área cubierta 3 veces
- área con cambios de altura significativos

Figura 2. Tipo de cobertura en CartoSur II

(tomado del informe técnico del IGVSB, 2001)

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

Ascanio, T. Gustavo. (1975). **" El complejo de Imataca en los alrededores del Cerro Bolívar, Venezuela".** En conf. Geol.Interguiana. 10 th. Belt Brasil. Men**.** p 181 –197.

Cartografía Nacional. **"Atlas Geográfico de Venezuela"** (2000).

Chuvieco, Emilio. (1995). **"Fundamentos de Teledetección Espacial"** Rialp, S.A. Madrid. 2ª Edición. p. 450

Derauw (1995). **"Developement of an Interferometric SAR Processor"** Proc. SPIE 2584, 319-324

Derauw (1995). **"Phase Unwrapping using Coherence Measurement"** Proc. SPIE 2584, 376-383.

Eliachi, C. (1987). **"Introduction to the physics and techniques of remote sensing".** New York. John Wiley & Sons. p.138-375.

Fernández, Ali. (1995). **"Exploración Geofísica en el Area de Bochinchito, Estado Bolivar, Venezuela"** U.S. Geological Survey Bulletin 2124-D: D1-D17

Gabriel A.K. y R.M. Goldstein (1988). **"Crossed Orbit Interferometry: Theory and Experimental Results from SIR-B"**, Int. J. Remote Sensing. 9 (5) : 857-872.

Gabriel A.K., Goldstein R.M. y Zebker H.A. (1989). **"Mapping Small Elevation Changes over Large Areas: Differential Radar Interferometry"**, J. Geophys. Res. 94 (B7) : 9183-9191.

Goldstein R.M, Zebker H.A. y Werner Ch.L (1988). **"Satellite Radar Interferometry: Two Dimensional Phase Unwrapping"**, Radio Science. 23 (4) : 713-720.

Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. (2001). **"Proyecto Cartosur II"**

Keim Andreas (2000). **"Interpretacion de imagenes de radar"**, Archives of photogrametry and remote sensing. Part B1, p173.

Larani R. (1999). **Synthetic Aperture Radar Processing**. Journal of Geophisical Research. 106 (9) : 336-355

Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela (En línea): **http://www.pdv.com/lexico** (Consulta: 20/07/45)

Li F.K. y Goldstein R.M. (1990). **"Studies of Spaceborne Interferometric SAR"**, IEEE Trans. Geosci. Remote. Sensing. 28 (1) : 88-97.

Manual de Procesamiento de Orbisat S.A. (2001)

Massonnet D.y Rabaute Th. (1993). **"Radar Interferometry: Limits and Potential"**, IEEE Trans. Geosci. Remote. Sensing.1(2) : 455-464.

Mendoza y otros. (1977). **"Evolución Tectónica del Escudo de Guayana".**En 2 Cong. Latinoamericano Geol. Caracas. MEM Pub. Esp. N 7, V 3, p. 2237-2270

Mendoza, Vicente S.(2000). **"Evolución Geotectónica y Recursos Minerales del Escudo de Guayana en Venezuela (Y Su Relación con el Escudo**

Sudamericano)". Catedra Geología de Venezuela. Universidad de Oriente. Escuela de Ciencias de la Tierra. P. 18-106

Menéndez, V. de, Alfredo (1972). **"Geología de la Region de Guasipati, Guayana Venezolana".** En IV Cong. Geol. Venezolano. MEM Pub. Esp. N 6, p. 49-67

Orellana, Ernesto. (1974). **"Prospección Geoelectrica".** Editorial Parainfo. Madrid P.571

Prati C., Rocca F., Guarniere A.M. y Damonti E.(1990). **"Seismic Migration for SAR Focusing: Interferometrical Applications"**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. 28: 627-640.

Salazar, Edixon., Wynn, Jeffrey., McCafferty, Anne. (1995). **"Análisis of Aeromagnetic Data to Improve Geologic Maps of the Bochinche Mining District, Estado Bolivar, Venezuela"** U.S. Geological Survey Bulletin 2124-C: C1-C13

Sidder, G.B., and Mendoza, V. (1995). Geology of the Venezuela Guayana Shield and its Relation to the Geology of the entire Guayana Shield. En U.S. Geol. Survey, Bull N2124, p. B1-B41

Zebker H.A. y R.M. Goldstein (1986). **"Topographic Mapping from Interferometric SAR Observations",** J. Geophys. Res. 91:4993-4999.

Zebker H.A. y R.M. Goldstein (1988). **"Satellite Radar Interferometry: Two Dimensional Phase Unwrapping"**, Radio Science, 1988, Vol 23, N°4, pp 713-720.

Zebker H.A. y R.M. Goldstein (1989). ”**Mapping Small Elevation Changes over Large Areas: Differential Radar Interferometry"**, J. Geophys. Res., Vol 94, N°B7, pp 9183-9191.