

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS TEMPO-ESPACIAL DE LA COBERTURA NIVO-
GLACIAR DEL NEVADO ILINIZA SUR**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

INÉS ALEXANDRA FEBRES VÁSCONEZ

DIRECTOR: ING. REMIGIO GALÁRRAGA S., M.Sc., Ph.D.

Quito, septiembre de 2007

DECLARACIÓN

Yo, Inés Alexandra Febres Vásconez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Inés Alexandra Febres Vásconez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Inés Alexandra Febres Vásconez, bajo mi supervisión.

Ing. Remigio Galárraga S., M.Sc., Ph.D.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por el apoyo, por creer en sus hijos, comprendernos y cuidarnos.

Al Dr. Ing. Remigio Galárraga Sánchez por todo el apoyo incondicional, confianza y guía, brindados para el logro de éste trabajo.

Al Ing. Luis Garzón quien compartiendo sus conocimientos, guió de la manera más sincera y desinteresada a quien escribe.

A ambos, gracias por su paciencia.

A la Sra. Carla Manciatì por su ayuda desinteresada en el desarrollo de ciertos procesos para el avance de este estudio.

A la Sra. Sonia Almeida por su amistad y compañía.

A la Sra. Ligia Carvajal por su ayuda y apoyo en la carrera.

Al IGM, por el gran apoyo con la información aerofotogramétrica, ya que sin ésta no se hubiera llevado a cabo el presente trabajo de investigación.

Al INAMHI, por la ayuda al permitir acceder a la información hidrometeorológica requerida para el análisis requerido en éste estudio.

A todas aquellas personas que participaron de algún modo e hicieron posible la culminación de éste trabajo, por su tiempo o simplemente buena voluntad.

ALÉ001

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a:

A mis amigos, por representar para mi un apoyo, inspiración, y esperanza, particularmente a Wil por su compañía y apoyo en todo momento, a Dustin por su ayuda y consejo muy acertados, a Carlos por su respaldo incondicional, quienes representan en lo más profundo, un compendio de valores e ideales que todos buscamos.

A mis sobrinos quienes representan la esperanza que empieza a retoñar.

A mis hermanos queridos que siempre están allí, para lo que fuera y en el momento que fuera.

A la memoria de mis abuelos, que siempre será como un ícono de aquello más profundamente soñado y buscado.

A mi fiel compañía "Negrita", que sin importar la hora ni las circunstancias me acompaña siempre.

ALE001

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	11
RESUMEN	13
PRESENTACIÓN	14
CAPÍTULO 1	16
1. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.1.1 Generalidad de un glaciar.....	16
1.1.2 Importancia de los glaciares	17
1.1.3 Importancia de este tipo de estudios	18
1.1.4 Investigaciones previas.....	19
1.1.5 Variables que afectan a los glaciares	22
1.2 GESTIÓN DEL PROYECTO.....	23
1.2.1 El problema en cuestión	23
1.2.2 Objetivos.....	23
1.2.3 Alcance	23
1.2.4 Relevancia social – económica.....	24
1.3 METODOLOGÍA Y TECNOLOGÍA.....	24
1.3.1 Metodología	24
1.3.2 Tecnología	25
1.4 MARCO CONCEPTUAL	26
1.4.1 Ablación	26
1.4.2 Bloque.....	26
1.4.3 DEM.....	26
1.4.4 DTM	26
1.4.5 Indicaciones en el borde del clisé de las fotografías.....	27
1.4.6 Marcas Fiduciales	27
1.4.7 Morrenas.....	28
1.4.8 Puntos de control.....	28
1.5 SIGLAS	28
CAPÍTULO 2	30

2.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO	30
2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	30
CAPÍTULO 3		33
3.	INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	33
3.1.	PARÁMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS	33
3.1.1.	Parámetros hidrológicos	34
3.1.2.	Parámetros Meteorológicos	35
3.2.	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	39
3.2.1.	Evaluación de calidad de las estaciones hidrometeorológicas	39
3.2.2.	Procesamiento de las estaciones hidrometeorológicas.	39
CAPÍTULO 4		42
4.	INFORMACIÓN FOTOGRÁFICA.....	42
4.1.	IMÁGENES AEROFOTOGRAMÉTRICAS.....	42
4.2.	INFORMACIÓN FACILITADA POR EL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR.....	43
4.2.1.	Imágenes aerofotogramétricas de la zona del Iliniza Sur	44
4.2.2.	Puntos de control	45
4.2.3.	Cartas topográficas de la zona	46
4.2.4.	Certificados de calibración de las cámaras.....	46
CAPÍTULO 5		47
5.	ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS COBERTURAS	47
5.1.	SELECCIÓN DE IMÁGENES ÚTILES	47
5.2.	DESCRIPCIÓN DE LA ELABORACIÓN DE LA ORTOBASE	49
5.2.1.	Proceso de elaboración de la ortobase.....	50
5.3.	ELABORACIÓN DEL MOSAICO	111
5.3.1.	Proceso.....	112
5.4.	CORRECCIÓN DE ESCALA PARA LOS MOSAICOS	124
5.4.1.	Proceso.....	126
5.5.	DETALLES ENCONTRADOS EN LA ELABORACIÓN DE LAS DIFERENTES ORTOBASES Y MOSAICOS	134
5.5.1.	Para las ortobases	134
5.5.2.	Mosaicos.....	163
5.6.	FOTOINTERPRETACIÓN DE LOS MOSAICOS.....	192

5.6.1.	Creación de zonas para trabajar en Paint Shop Pro 4.15 SE.	193
5.6.2.	Definición de coberturas a estudiar.....	195
5.6.3.	Análisis radiométrico en Paint Shop Pro 4.15 SE.	197
5.6.4.	Obtención de rangos radiométricos de cada cobertura.	201
5.7.	CREACIÓN DE MÁSCARAS PRELIMINARES Y DEFINITIVAS EN ARCVIEW 8.3.....	203
5.7.1.	Comparación entre fases preliminar y definitiva.	206
5.7.2.	Interpretación del trabajo de campo sobre las imágenes.....	206
CAPÍTULO 6	208
6.	RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS Y COBERTURA NIVO-GLACIAR	208
6.1.	PARÁMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS	208
6.2.	COBERTURA NIVOGLACIAR	209
6.3.	RELACIÓN ENTRE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA COBERTURA NIVO-GLACIAR Y LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	210
6.4.	GRÁFICOS	212
CAPÍTULO 7	215
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	215
7.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	215
7.1.1.	Resultados de la observación de la tendencia de las estaciones aceptadas para el análisis desde 1970 hasta el año 2000.....	215
7.1.2.	Análisis de cada estación para los períodos requeridos, año 1986, 1988 y 2000.	216
7.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN.....	221
7.2.1.	Resultados de la fotointerpretación obtenidos para los mosaicos	221
7.2.2.	Comparación de las diferentes áreas obtenidas para las zonas de importancia de los mosaicos obtenidos para los años 1956, 1963, 1986, 1988 y 2000.	239
CAPÍTULO 8	245
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	245
8.1.	CONCLUSIONES	245
8.2.	RECOMENDACIONES.....	247
CAPÍTULO 9	249

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	249
9.1. LIBROS	249
9.2. OTROS DOCUMENTOS IMPRESOS.....	249
9.3. DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS	250
ANEXOS DIGITALES.....	251

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Variaciones de longitud para glaciares (a) Alpinos y (b) Andinos.	21
Figura 1.2 Muestra la aerofotografía 4454 del año de 1963.....	27
Figura 1.3 Marca fiducial.	28
Figura 2.1 Los Ilinizas, Sur y Norte de izquierda a derecha.	30
Figura 2.2 Ubicación del Nevado Iliniza Sur.....	32
Figura 3.1 Esquema de la ubicación de las estaciones hidrológicas.....	35
Figura 3.2 Esquema de la ubicación de las estaciones meteorológicas.	38
Figura 4.1 Ortofoto que cubre la zona de los Ilinizas	43
Figura 5.1	50
Figura 5.2	50
Figura 5.3	51
Figura 5.4	52
Figura 5.5	52
Figura 5.6	53
Figura 5.7	53
Figura 5.8	54
Figura 5.9 Definición de la proyección	54
Figura 5.10 Definición de la proyección	55
Figura 5.11 Configuración del sistema e referencia	55
Figura 5.12 Configuración de las unidades de la ortobase	56
Figura 5.13 Información específica	56
Figura 5.14 Orientación de las aerofotografías.	57
Figura 5.15 Ventana de trabajo de la ortobase	58
Figura 5.16	58
Figura 5.17 Nuevos archivos para la ortobase	59
Figura 5.18 Cuadro de diálogo "OrthoBase Pro"	60
Figura 5.19 Esquema de las piramidales.	62
Figura 5.20 Obtención de piramidales.....	63
Figura 5.21 Piramidales	63
Figura 5.22 Geometría Interna	65

Figura 5.23 Reconstrucción del haz de luz.	65
Figura 5.24 Editor de la imagen.	66
Figura 5.25 Información de la cámara para el bloque correspondiente a 1988....	67
Figura 5.26 Coordenadas de las marcas fiduciales.....	68
Figura 5.27 Datos de distorsión radial correspondientes a la cámara RC10 UAG II 3080 utilizada tanto en el año de 1986 como 1988.	69
Figura 5.28 Editor de imágenes	69
Figura 5.29 Orientación fiducial.....	70
Figura 5.30	71
Figura 5.31 Ventanas que permiten ubicar las marcas fiduciales.	72
Figura 5.32	72
Figura 5.33 Viewer	73
Figura 5.34	73
Figura 5.35 Información del tamaño del píxel.....	74
Figura 5.36 Información general de la cámara.....	75
Figura 5.37 Marcas Fiduciales	76
Figura 5.38 Distorsión radial del lente	76
Figura 5.39 Definición del sensor	77
Figura 5.40 Orientación interna	77
Figura 5.41 Herramienta para la medición de puntos.....	79
Figura 5.42 Ventana de aplicación para la medición de puntos.	79
Figura 5.43	81
Figura 5.44 Esquema del par de imágenes adyacentes.	83
Figura 5.45	83
Figura 5.46 PP, PE y PC.....	83
Figura 5.47	86
Figura 5.48	86
Figura 5.49	88
Figura 5.50	89
Figura 5.51	91
Figura 5.52 Resumen de la aero-triangulación.....	92
Figura 5.53 Valor real del RMSE.....	92
Figura 5.54 Resumen de la triangulación.....	94

Figura 5.55 Esquema del bloque resultante de la elaboración de una ortobase..	95
Figura 5.56 Modelo o par estereoscópico conformado por las aerofotografías 25389 y 25390 del año de 1988.....	96
Figura 5.57 Lentes anáglifos	97
Figura 5.58	99
Figura 5.59	99
Figura 5.60	101
Figura 5.61	102
Figura 5.62 Ajustes generales para la obtención del DTM.....	102
Figura 5.63 Observación del par 13681 con 13682.....	103
Figura 5.64	104
Figura 5.65 Ajuste del tipo de área.....	104
Figura 5.66	104
Figura 5.67 La figura muestra el estado de definición de la precisión para el bloque correspondiente al año 2000.	105
Figura 5.68 DTM correspondiente al año 2000.	106
Figura 5.69 Imagen de calidad de DTM elaborado para el año 2000.....	106
Figura 5.70	107
Figura 5.71	108
Figura 5.72	109
Figura 5.73	111
Figura 5.74	112
Figura 5.75	112
Figura 5.76	113
Figura 5.77	113
Figura 5.78 Ortofoto correspondiente a la aerofotografía 24035 del año 1956 más el AOI correspondiente.....	114
Figura 5.79 Vista de los AOI's creados para elaborar el mosaico correspondiente al año de 1956.	114
Figura 5.80 Ícono correspondiente a la herramienta "Data Preparation" del programa ERDAS 8.6.....	115
Figura 5.81 Herramienta "Data Preparation" del programa ERDAS 8.6.....	115
Figura 5.82 Herramienta del mosaico	116

Figura 5.83	117
Figura 5.84 Agregar imágenes para el mosaico.....	117
Figura 5.85	118
Figura 5.86 Selección de AOI's	118
Figura 5.87 Primer AOI desplegado	119
Figura 5.88 Ejemplo de la construcción del mosaico correspondiente al año 2000.	120
Figura 5.89	121
Figura 5.90	122
Figura 5.91 Figura explicativa del método "Feather".....	122
Figura 5.92	123
Figura 5.93	123
Figura 5.94 Mosaico confeccionado con el DTM para el bloque de aerofotografías del año de 1956.	124
Figura 5.95 Figura que muestra la zona de importancia ubicada en las cartas topográficas.....	125
Figura 5.96 Esquema que muestra la ubicación de los puntos que se utilizaron para ajustar los mosaicos a la carta.....	126
Figura 5.97	127
Figura 5.98	128
Figura 5.99	128
Figura 5.100	129
Figura 5.101	129
Figura 5.102	130
Figura 5.103.....	130
Figura 5.104	130
Figura 5.105 Muestra las ventanas activas para el proceso de corrección geométrica.	131
Figura 5.106 Ubicación de los PC para la corrección de los mosaicos.	132
Figura 5.107 Esquema que muestra la influencia de los puntos ubicados sobre los mosaicos.....	133
Figura 5.108	133

Figura 5.109 Imagen que muestra el proceso de ubicación de PE, paso y control, en particular el punto 25391a, en el bloque de 1988.	137
Figura 5.110 Figura que muestra el noveno punto de control ubicado para el año 2000	138
Figura 5.111 Figura que muestra la ubicación del punto 22204-at2 en las fotografías 22203 y 22204.....	139
Figura 5.112 Figura que muestra el punto 4453-ct y su ubicación en las fotografías 4453 y 4454.	140
Figura 5.113 Punto 24035-CT en las fotografías 24035 y 24036.....	141
Figura 5.114 Primer resumen de triangulación para 1988.	142
Figura 5.115	143
Figura 5.116	144
Figura 5.117	146
Figura 5.118	146
Figura 5.119	147
Figura 5.120	147
Figura 5.121	149
Figura 5.122	149
Figura 5.123	150
Figura 5.124	151
Figura 5.125	152
Figura 5.126	152
Figura 5.127	154
Figura 5.128	154
Figura 5.129	155
Figura 5.130	155
Figura 5.131 Distorsión encontrada en la imagen 29894 del año 1956.	164
Figura 5.132 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 1956.....	165
Figura 5.133 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 1988.....	166
Figura 5.134 Mosaico 1 del año 2000	167
Figura 5.135 Mosaico 2 del año 2000	168
Figura 5.136	169
Figura 5.137	170

Figura 5.138	170
Figura 5.139	171
Figura 5.140	171
Figura 5.141 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 2000.	172
Figura 5.142 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 1963.	173
Figura 5.143 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1988.....	175
Figura 5.144	177
Figura 5.145	178
Figura 5.146	178
Figura 5.147	179
Figura 5.148	180
Figura 5.149 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 2000.....	181
Figura 5.150 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1986.....	182
Figura 5.151 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1956.....	183
Figura 5.152 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1963.....	185
Figura 5.153 Figura comparativa de los errores finales de todos los mosaicos .	191
Figura 5.154	194
Figura 5.155	198
Figura 5.156	198
Figura 5.157 Proceso para incrementar el número de colores de una imagen. .	199
Figura 5.158	200
Figura 5.159 Ejemplo del análisis de radiometría para la definición de coberturas.	200
Figura 5.160 Información de la imagen	202
Figura 5.161	202
Figura 5.162	203
Figura 5.163	203
Figura 5.164	204
Figura 5.165	204
Figura 5.166	205
Figura 5.167	206
Figura 6.1 Esquema de la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas. ...	212
Figura 6.2 Comparación de los resultados aerofotogramétricos.	213

Figura 6.3 Comparación de los resultados aerofotogramétricos.	214
Figura 7.1	216
Figura 7.2 Tendencia de las estaciones para el año 1986.	218
Figura 7.3 Tendencia de las estaciones para el año 1988.	219
Figura 7.4 Tendencia de las estaciones para el año 2000.	220
Figura 7.5 a) Una zona del glaciar de 1956 cubierta por nubosidad, b) Definición de los límites de la zona aplicando el análisis radiométrico.	223
Figura 7.6 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1956.....	224
Figura 7.7 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.....	227
Figura 7.8 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.....	229
Figura 7.9 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.....	231
Figura 7.10 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.....	234
Figura 7.11 Pérdida de información del mosaico del año 2000.....	234
Figura 7.12 Extensa sombra producida por nubosidad.	235
Figura 7.13	238
Figura 7.14 Evolución de área nivo-glaciar del Iliniza Sur (Porcentaje).	240
Figura 7.15 Evolución de área nivo-glaciar del Iliniza Sur (Área).	240
Figura 7.16 Evolución de área nivo-glaciar del Iliniza Norte.....	241
Figura 7.17 Evolución de Morrenas.....	241
Figura 7.18 Evolución de Zonas rocosas.	242
Figura 7.19 Evolución de Arenales.....	243
Figura 7.20 Evolución de Pajonales.	243
Figura 7.21 Evolución de Bosques.....	244

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1: Detalle de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.	37
Tabla 3.2: Detalle de datos obtenidos de Villacís (2001).	37
Tabla 3.3: Detalle de datos obtenidos de Manciatí y Freire (2007).	38
Tabla 3.4 Observación de la tendencia de cada estación.	40
Tabla 4.1: Año de toma de las fotografías y los proyectos en los que se tomaron a modo de identificación.	44
Tabla 4.2 Detallamiento de las cartas topográficas.	46
Tabla 5.1 Listado de imágenes seleccionadas.	48
Tabla 5.2 Información de las cámaras.	48
Tabla 5.3.	157
Tabla 5.4.	157
Tabla 5.5.	158
Tabla 5.6.	158
Tabla 5.7.	159
Tabla 5.8 Elementos que conformaron el mosaico de 1956.	163
Tabla 5.9 Elementos que conformaron el mosaico de 1988.	165
Tabla 5.10 Elementos que conformaron el mosaico de 2000.	169
Tabla 5.11 Elementos que conformaron el mosaico de 1963.	172
Tabla 5.12.	174
Tabla 5.13.	180
Tabla 5.14.	182
Tabla 5.15.	183
Tabla 5.16.	184
Tabla 5.17 Correcciones residuales correspondientes al año 2000.	188
Tabla 5.18 Correcciones residuales correspondientes al año 1988.	189
Tabla 5.19 Correcciones residuales correspondientes al año 1986.	190
Tabla 5.20 Correcciones residuales correspondientes al año 1963.	190
Tabla 5.21 Correcciones residuales correspondientes al año 1956.	191
Tabla 5.22 Comparación de los errores finales de todos los mosaicos.	191
Tabla 7.1 Tendencias observadas en las estaciones hidrometeorológicas.	217

Tabla 7.2 Valores preliminares de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1956.....	221
Tabla 7.3 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1956.....	223
Tabla 7.4 Tabla de Coberturas para el año de 1956.....	224
Tabla 7.5 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 1963.....	225
Tabla 7.6 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1963.....	226
Tabla 7.7 Tabla de Coberturas para el año de 1963.....	226
Tabla 7.8 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 1986.....	227
Tabla 7.9 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1986.....	228
Tabla 7.10 Tabla de Coberturas para el año de 1986.....	228
Tabla 7.11 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 1988.....	229
Tabla 7.12 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1988.....	230
Tabla 7.13 Tabla de Coberturas para el año de 1988.....	231
Tabla 7.14 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 2000.....	232
Tabla 7.15 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 2000.....	233
Tabla 7.16 Tabla de Coberturas para el año de 2000.....	233
Tabla 7.17 Evolución de área nivo-glaciar del Iliniza Sur.....	239
Tabla 7.18 Evolución de área nivo-glaciar del Iliniza Norte.....	240
Tabla 7.19 Evolución de Morrenas.....	241
Tabla 7.20 Evolución de Zonas rocosas.....	242
Tabla 7.21 Evolución de Arenales.....	242
Tabla 7.22 Evolución de Pajonales.....	243
Tabla 7.23 Evolución de Bosques.....	244

RESUMEN

El estudio de glaciares, es un tema que en la actualidad ha cobrado fuerza e importancia debido tanto a los problemas de cambio climático como al estudio de reservas del líquido vital.

Este trabajo de investigación presenta una metodología que demostró resultados confiables en el análisis espacio temporal de la cobertura nivo-glaciar del nevado Iliniza Sur, detallando paso a paso los procesos necesarios para llevarlo a cabo, tales como, seleccionar las aerofotografías, y todos los procesos necesarios para corregirlas hasta obtener las imágenes del nevado en un solo mosaico susceptible de comparación respecto a la Carta Nacional elaborada por el IGM. Además los problemas presentados y las soluciones empleadas para lograr cumplir con el objetivo planteado.

Paralelamente se presenta un análisis de las estaciones hidrometeorológicas más cercanas al nevado, desde su análisis de calidad hasta una observación de las tendencias que éstas presentaron en los años requeridos para llevar a cabo una comparación con los datos obtenidos del análisis espacio temporal de las aerofotografías.

Finalmente se realiza una comparación entre los resultados de ambos análisis para obtener así las respectivas conclusiones.

PRESENTACIÓN

En el presente trabajo de investigación, se explican de manera muy fácil de comprender para el lector, los procesos llevados a cabo para el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente proyecto, tanto para el análisis hidrometeorológico como para el tempo-espacial basado en aerofotografías.

En el Primer Capítulo se da una explicación sobre el elemento analizado en este trabajo, la cobertura nivo-glaciar del Iliniza Sur, así como la importancia de la misma. También se realiza una reseña de las investigaciones previas sobre el mismo tema. Además se define el problema tratado en esta monografía y se indican los objetivos que la motivaron.

En el Segundo Capítulo se describe de manera general la zona estudiada.

En el Tercer Capítulo se describen los parámetros hidrometeorológicos analizados y se detalla el tratamiento dado a la información de las estaciones para poder observar su información y obtener resultados.

En el Cuarto Capítulo se describe la información aerofotogramétrica recibida por el IGM y su naturaleza.

En el Quinto Capítulo se detalla en primera instancia el criterio para la selección de imágenes, y luego, en dos secciones, primero el proceso llevado a cabo de manera general sobre todos los bloques aerofotogramétricos, y luego, en una segunda sección, las particularidades respecto al desarrollo del mismo encontradas, en cada uno de los bloques, todo hasta conseguir los mosaicos aerofotogramétricos. Finalizando con los procesos posteriores para conseguir la fotointerpretación y sus respectivas conclusiones.

El Sexto Capítulo muestra el criterio mediante el cual se relacionaron los resultados obtenidos al analizar la información hidrometeorológica y los resultados de la fotointerpretación aerofotogramétrica.

En el Séptimo Capítulo se analizan los resultados de la comparación llevada a cabo en el capítulo anterior y además los resultados particulares tanto de la información hidrometeorológica como de la aerofotogramétrica.

En el Octavo Capítulo se puntualizan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en éste proyecto.

FINALMENTE SE ANEXAN DOCUMENTOS QUE SE INCLUYEN EN FORMA AMPLIADA EN FORMATO DIGITAL, CORRESPONDIENTES A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ÉSTE TRABAJO.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Generalidad de un glaciar

Un glaciar es una gruesa masa de hielo que se origina por la compactación y recristalización de la nieve, es decir, consiste de capas de moléculas empaquetadas unas sobre otras y por lo tanto tiene varios movimientos en su comportamiento. Puede comportarse como un sólido quebradizo hasta que la presión que tiene encima alcanza los 50 metros de espesor del hielo. Una vez sobrepasado este límite, el hielo se comporta como un material plástico y empieza a fluir. Las uniones entre las capas son más débiles que las existentes dentro de cada capa, por lo que cuando el esfuerzo sobrepasa las fuerzas de los enlaces que mantienen a las capas unidas, éstas se desplazan unas sobre otras.

Otro tipo de movimiento que se da en un glaciar es el deslizamiento basal. Éste se produce cuando el glaciar entero se desplaza sobre el terreno en el que se encuentra formando los frentes glaciares. En este proceso, el agua de fusión contribuye al desplazamiento del hielo mediante la lubricación. El agua líquida se origina como consecuencia de que el punto de fusión disminuye a medida que aumenta la presión. Otras fuentes para el origen del agua de fusión pueden ser la fricción del hielo contra la roca, lo que aumenta la temperatura y por último, el calor proveniente de la Tierra.

El desplazamiento de un glaciar no es uniforme ya que está condicionado por la fricción y la fuerza de gravedad. Debido a la fricción, el hielo glaciar inferior se mueve más lento que las partes superiores. A diferencia de las zonas inferiores, el hielo ubicado en los 50 metros superiores, no está sujeto a la fricción y por lo tanto es más rígido. A esta sección se la conoce como zona de fractura.

El hielo de la zona de fractura viaja encima del hielo inferior y cuando éste pasa a través de terrenos irregulares, la zona de fractura crea grietas que pueden tener hasta 50 metros de profundidad, donde el flujo plástico las sella (<http://www.swisseduc.ch/glaciers/>).

1.1.2 Importancia de los glaciares

Los valles glaciares afectan de manera significativa a las actividades humanas en muchas regiones montañosas. La gente se beneficia por la presencia de los glaciares utilizando el agua los deshielos en los reservorios de plantas hidroeléctricas y sistemas e irrigación. El hielo glaciar ha sido ampliamente empleado para el enfriamiento de sótanos y cuevas (Orlemans *et. al*, 1997).

Por otro lado, en estos últimos años, avalanchas y hielo o explosiones de lagos de glaciares represados han causado numerosas catástrofes. El alcance de más regulares fluctuaciones puede también amenazar carreteras, construcciones y propiedades (Orlemans *et. al*, 1997).

Aunque los valles glaciares y las pequeñas coberturas de hielo contienen solo una pequeña cantidad (alrededor del 0.5 m del equivalente del nivel del mar) de todo el hielo continental en la Tierra, se piensa que contribuyen significativamente a las fluctuaciones del nivel del mar en una escala de un siglo. La razón esta en su relativamente pequeño tiempo de respuesta asociado al cambio de numerosas masas (Orlemans *et. al*, 1997).

Además, después de varias investigaciones se ha considerado de manera aproximada que en los océanos se encuentra el 96.5% del agua del planeta, el 1.7% se encuentra en el hielo polar, el 1.7% representa el agua subterránea y apenas el 0.1% restante corresponde a los sistemas superficiales o se encuentra en la atmósfera. De este 0.1% disponible, se considera que las tres cuartas partes corresponde al hielo no polar y a la nieve, de manera que al estudiar el comportamiento de los glaciares, se tiene una muy buena alternativa para fuentes de abastecimiento de agua tan apreciada para las nuevas generaciones de hidrólogos y de estudiosos de las ciencias del agua.

Finalmente se considera que del total de agua dulce, el 1% se atribuye al hielo no polar y a la nieve. El valor de agua dulce en los ríos, es el 0.6% con relación al agua presente en el hielo y a las coberturas nivales (Arias, 1997).

1.1.3 Importancia de este tipo de estudios

El retroceso a nivel mundial de los glaciares en las últimas décadas frecuentemente es mencionado como una clara señal del calentamiento global. Los experimentos de campo, además de los modelos glaciometeorológicos llevados a cabo recientemente, han llevado a un entendimiento mas claro de la relación existente entre los procesos climáticos y los balances de masa de los glaciares (Orlemans, 2005), particularmente, los estudios multitemporales presentan la ventaja de que incrementan la cantidad de información susceptible de comparación respecto a uno del que solo se dispone de información en una sola fecha (Avery, Berlin, 1992).

La mayoría de los glaciares en el mundo muestran una tendencia a decrecer en el Siglo XX, pero esta recesión en longitud, superficie, y volumen total, no es lineal y muestra fuertes fluctuaciones en el tiempo. Además, la relación entre las fluctuaciones del glaciar y los parámetros de clima regional pueden ser muy diferentes en un área montañosa del mundo respecto a otra (Vincent *et. al*, 2004).

Los glaciares de montaña son ampliamente reconocidos como excelentes indicadores del cambio climático de las recientes centurias (Vincent *et. al*, 2004).

Estudios sobre la relación del derretimiento de los glaciares respecto al incremento del nivel del mar y otros aspectos de las interacciones glaciar/clima requieren de estimaciones regionales y globales de los volúmenes y áreas de superficies de los hielos (Bahr, Meier y Pecham, 1997).

En el estudio de Bahr, Meier y Pecham (1997) se considera que para la mayoría de glaciares (excluyendo casos especiales tales como oleajes) la acumulación y

ablación del hielo controla el avance o retroceso frontal, el volumen de hielo y la geometría en la superficie.

Particularmente, todas estas cantidades varían con perturbaciones en la tasa del balance de masa del hielo (tasa del ingreso de hielo menos el de salida, debido a la acumulación y a la ablación en la superficie), y por lo tanto se pueden usar como indicadores de cambio climático estas tendencias globales y regionales.

En el estudio antes mencionado se muestra que la característica de los volúmenes glaciares dependen de longitudes características de longitud "x", el ancho "w", y el espesor "h", y que pueden ser reescritas para expresar el volumen como una función de la superficie característica "S", y cuatro parámetros tales como el ancho, la pendiente, el arrastre lateral, y el balance de masa (Bahr, Meier y Pecham, 1997).

1.1.4 Investigaciones previas

El acelerado derretimiento de los glaciares en los Andes tropicales es ampliamente discutido como una consecuencia del cambio climático ocurrido en las tierras altas. Los diferentes tipos de fuentes tales como; dibujos, fotografías, aerofotografía y puntos medidos geodésicamente en el glaciar son usados para cuantificar los avances o recesiones de éste último. Los frentes históricos determinados para este propósito son comparados con las ubicaciones actuales para así determinar cuantitativamente las variaciones.

Esta determinación bidimensional de pérdida de área es frecuentemente útil para estimar los cambios de volumen de hielo y para reconstruir el balance de masa promedio entre datos fijos (Jordan *et. al*, 2005). Como una particularidad de la región se puede mencionar que los glaciares en climas húmedos son más sensibles (Orlemans, 2005)

En los Andes (ver Fig., 1.1), las mediciones de longitudes en cuatro glaciares andinos muestran que la recesión es la principal causa de evolución de los glaciares desde al menos los años 1930.

Sin embargo, este decrecimiento no ha sido monótono, ya que los últimos 70 años dividen una primera fase con una recesión moderada para más de dos décadas, seguidas por una aceleración en las tasas de decrecimiento, observadas desde el principio de los años 1980.

Durante las últimas décadas, el retroceso de los frentes ha sido general y las tasas se han incrementado permanentemente, excepto para los años 1999-2000, cuando esta tendencia disminuyó y ocurrieron algunos avances limitados, como en el caso del Ecuador (Vincent *et. al*, 2004).

Para el caso de los cuatro glaciares Alpinos en el Siglo XX se puede apreciar en el estudio de Vincent *et. al*, (2004) un importante receso, pero las fluctuaciones de los frentes pueden diferir mucho en períodos cortos de un glaciar a otro.

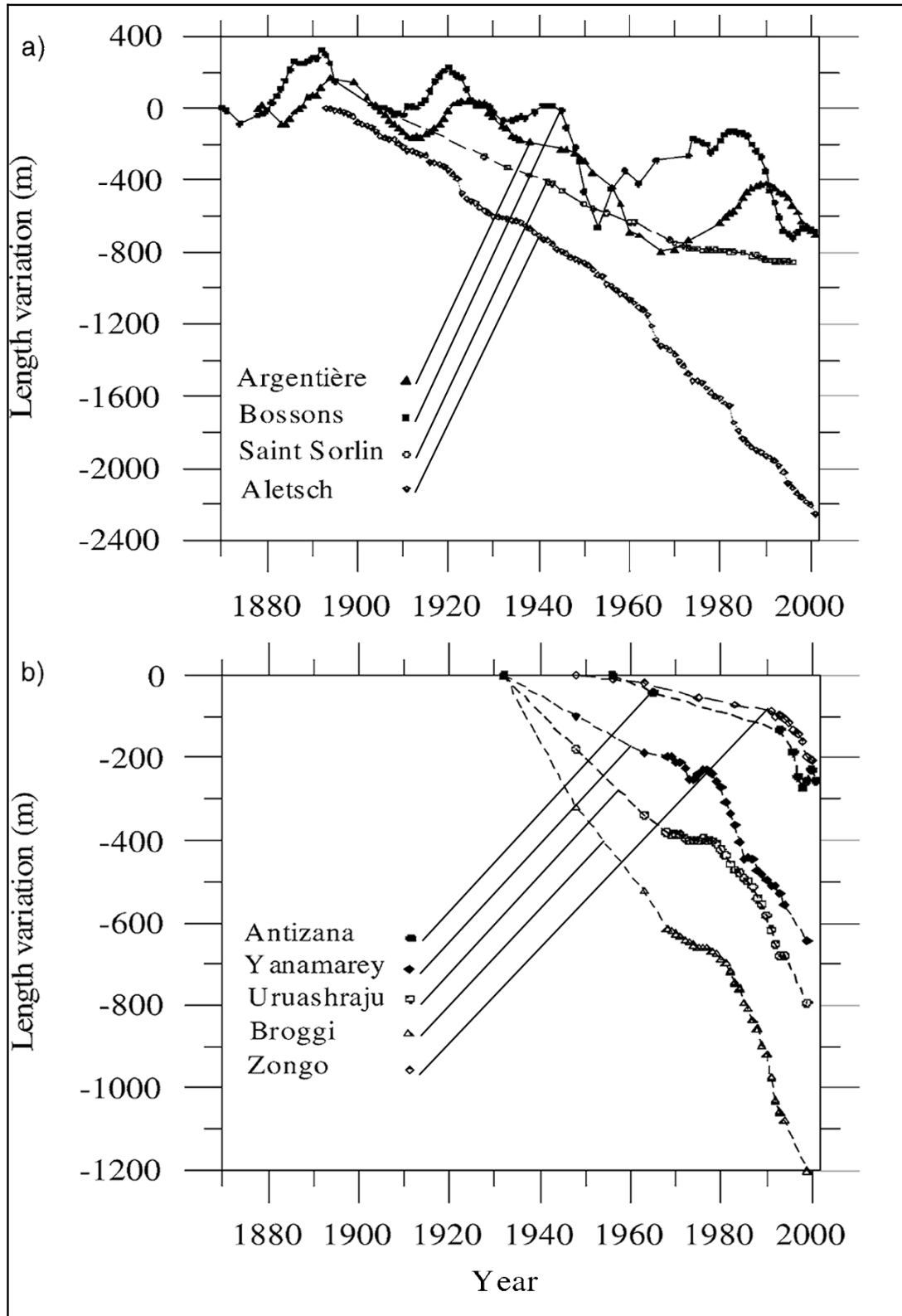
En la figura 1.1a, es obvio que la alta frecuencia de fluctuaciones observadas en los glaciares Argentière y Bossons no son sincronizados ni tampoco se observan en el Saint-Sorlin ni en el Aletsch.

El glaciar del Saint-Sorlin y el Aletsch muestran un decrecimiento regular en el siglo XX, mientras que el Argentière y Bossons muestran fuertes oscilaciones en el mismo período.

Estas diferencias no se pueden explicar solamente por el tamaño de los glaciares sino también por la diferencia en su respectiva geometría y características geográficas, altitud de las zonas de acumulación y de exposición (Vincent *et. al*, 2004).

Finalmente, en este informe se indica que “los glaciares Alpinos son muy sensibles a los cambios de temperatura del aire, mientras que los balances de masa negativos en los Andes tropicales están relacionados a los déficit de precipitación sólida que influencia el albedo” (Vincent *et. al*, 2004).

Figura 1.1 Variaciones de longitud para glaciares (a) Alpinos y (b) Andinos.



Fuente: Vincent et. al, 2004.

1.1.5 Variables que afectan a los glaciares

Las variables climáticas que más afectan a los glaciares son: la temperatura, la precipitación, la humedad y la nubosidad.

En la presente investigación, se toma en cuenta cuatro variables climáticas que son: precipitación media mensual, humedad relativa mensual, temperatura media mensual, información que fue posible obtener del INAMHI y además caudales medios mensuales ya que, como podría pensarse, no es solamente la temperatura un factor potencialmente importante para el análisis del comportamiento de los glaciares. Algunos experimentos meteorológicos en glaciares muestran que la principal fuente de energía de fusión es la radiación solar pero que las fluctuaciones en el balance de masa a través de los años se deben principalmente a la temperatura y a la precipitación (Orlemans, 2005).

Además, la información que se pudo obtener de caudales medios mensuales de agua, proviene del glaciar indudablemente pero también recibe caudales de las elevaciones aledañas, por lo que no se puede medir los deshielos del glaciar.

Además de estas variables, la respuesta de un glaciar al cambio climático depende de la pendiente de su superficie como efecto de su geometría. Así, glaciares diferentes geoméricamente, localizados bajo diferentes regímenes climáticos, reaccionaran de diferente modo a lo señales climáticas. Es así que el propósito de éste estudio es aplicar la fotogrametría para cuantificar la evolución del área y el volumen cubierto por el glaciar entre los años de 1956 a 2000 (Orlemans *et. al*, 1997).

Desde el punto de vista climatológico, los registros históricos de la longitud de los glaciares contienen valiosa información del pasado climático. No cabe duda que los valles glaciares son sensibles al cambio climático. Los registros de la fluctuación de los glaciares contienen muchos ejemplos de cambios de muchos kilómetros en la longitud de los glaciares en este último siglo (Orlemans *et. al*, 1997).

1.2 GESTIÓN DEL PROYECTO

1.2.1 El problema en cuestión

Determinar desde el punto de vista aerofotogramétrico, si en los últimos 50 años ha existido variación en el área de cobertura nivo-glaciar del nevado Iliniza Sur, y en base a esto determinar si existe relación con las variaciones de temperatura, humedad relativa y precipitación en las zonas aledañas así como relacionar los resultados del análisis de la cobertura en el tiempo con la variación de caudales en los drenajes del nevado.

1.2.2 Objetivos

Generar, a partir de las fotografías aéreas digitales, las ortofotos para varios períodos. Determinar una clasificación de la cobertura del suelo: roca, morrena, nieve, hielo, vegetación, etc.

Establecer si existió variación de la cobertura nivo – glaciar en los años estudiados.

Procesar los datos recopilados para generar la información que permita la observación de la relación entre el comportamiento nivo – glaciar (análisis de información fotográfica) y el hidrometeorológico.

Determinar la distribución espacial de la cobertura nivo–glaciar y sus áreas de influencia en el tiempo.

Sistematizar la información fotográfica, hidrológica y meteorológica.

1.2.3 Alcance

Se analizó la calidad de información hidrometeorológica y se determinó cuales estaciones son susceptibles de ser utilizadas en el análisis.

Para determinar los tipos de cobertura que existen en el área de estudio fue necesario organizar una observación de campo que permitiera comparar las zonas de cobertura definidas en gabinete y su estado en la zona estudiada.

Se compararon los resultados obtenidos de los análisis hidrometeorológicos y aerofotogramétricos.

1.2.4 Relevancia social – económica

La importancia que tiene este tema radica en conocer el estado de las reservas de líquido vital en forma de nieve y hielo para las zonas que reciben estos recursos directamente, así como determinar la variación temporal y espacial de las coberturas nivales y glaciares, durante el período de análisis.

1.3 METODOLOGÍA Y TECNOLOGÍA

1.3.1 Metodología

En primer lugar fue necesario buscar la información disponible de la zona del Iliniza Sur consistente en las fotografías aéreas digitales, las cartas topográficas correspondientes a la zona del nevado y los puntos de control necesarios para el trabajo más su elenco de coordenadas. Luego se solicitó al IGM, bajo el convenio entre la Universidad de Dusseldorf, el IGM, la ESPE y la EPN aún en vigencia, a que se otorgaran las facilidades necesarias para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Al recibir la información fue necesario seleccionar el material útil (fotografía digitalizada), para luego, a través de procesos aerofotogramétricos, obtener las ortofotos de los años disponibles para analizar.

En base a estas ortofotos se crearon “máscaras” para cada cobertura analizada. Estas máscaras parten desde la diferenciación de rangos de radiometría hasta la elaboración de polígonos que definan estas zonas en las imágenes.

El proceso no queda allí, puesto que fue necesario organizar una visita al lugar para poder comparar los resultados obtenidos y, constatar los resultados y definir las coberturas definitivas a partir de las observaciones realizadas en la visita a la zona.

Con las conclusiones obtenidas de la visita al campo se procedió a corregir y en este caso a aumentar las coberturas a determinar para las zonas correspondientes a los distintos años.

El análisis hidrometeorológico fue llevado a cabo básicamente con la calificación de la información proporcionada por las estaciones, posteriormente, con las estaciones que presentaron mejores datos, se determinó la tendencia que cada una presentó mediante el desarrollo de la media móvil para cada estación.

Con los resultados de ambos análisis se determinó el grado de influencia presente respecto a cada estación con el comportamiento de la cobertura nivo-glaciar del nevado a través de comparaciones respecto a la tendencia que cada estación y la cobertura presentaron.

1.3.2 Tecnología

Para el análisis aerofotogramétrico de las fotografías digitales fue necesaria la utilización del programa de tratamiento de imágenes ERDAS versión 8.6 hasta la obtención de las ortofotos.

Al haber obtenido las ortofotos fue necesaria la utilización del Programa Paint Shop Pro versión 4.15 SE que facilita la localización de píxeles con similar valor, es decir en tonos de gris que cumplieran con cierta tolerancia, y que luego fueron reemplazados con colores para facilitar la fotointerpretación de las imágenes.

La elaboración de las distintas máscaras correspondientes a las coberturas para los distintos años fue posible con la aplicación del programa ArcView 8.3, así como para cuantificación de las áreas que las cubrían.

1.4 MARCO CONCEPTUAL

1.4.1 Ablación

Proceso de pérdida de nieve o hielo por derretimiento o sublimación (<http://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/ablation-en.html>).

1.4.2 Bloque

Un bloque de fotografías está conformado por las orientaciones combinadas de un vuelo. Como ejemplo, un bloque tradicional de fotografías debe consistir de un número de franjas paralelas con una superposición entre bandas del 30% y una superposición entre fotografías de una misma banda o línea de vuelo del 60% (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide.pdf", 2002).

1.4.3 DEM

Un Modelo Digital de Elevaciones o Digital Elevation Model (DEM) es una representación digital de la topografía de la superficie del terreno. Un DEM puede ser representado como una imagen raster (una grilla de cuadros) o como una representación vectorial del terreno. Los DEM's son comúnmente construidos utilizando técnicas de sensores remotos, sin embargo también pueden ser construidos con levantamientos topográficos. Los DEM's se usan frecuentemente en sistemas de información geográfica, y son las bases mas comunes para la producción de mapas digitales (<http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>).

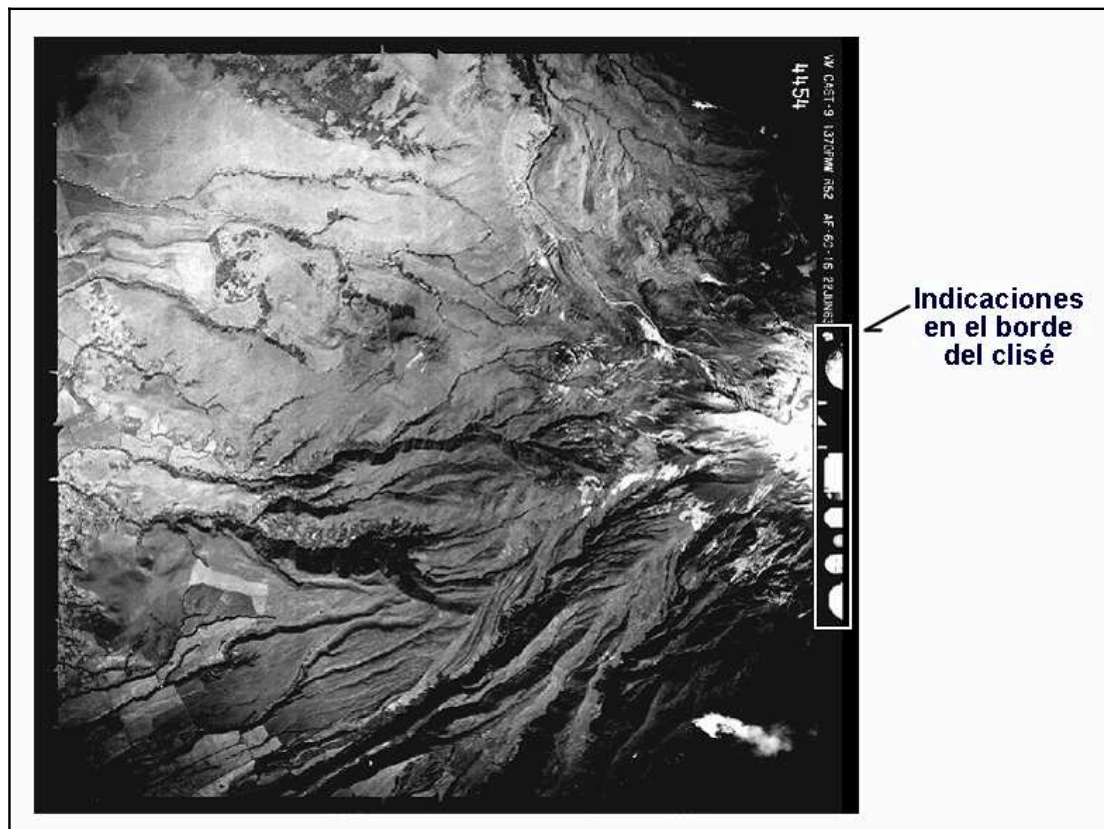
1.4.4 DTM

Un DTM es un modelo digital del terreno (Digital Terrain Model), en otras palabras, es un modelo matemático del terreno que representa la forma de la topografía y puede representarse mediante una imagen raster en la cual a cada píxel se le asigna el valor de la altura y se representa como un color, los que tomen una coloración clara están a mayor altura y los que toman una coloración oscura estarán a una altura menor. Además cada punto esta ya georeferenciado por su posición relativa (<http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>).

1.4.5 Indicaciones en el borde del clisé de las fotografías

Las indicaciones que llevan las fotografías son por lo general: nivel, reloj, altímetro (indican altura de vuelo sobre el nivel del mar), número y clase de objetivo, número del clisé y constante de calibración de la cámara (en mm), cuadro horario, cuadro indicador para número de cámara, número de fotograma, distancia principal o distancia focal calibrada (mm). Esta información cambia de acuerdo a la marca del dispositivo utilizado, en la figura 1.2 se muestra la aerofotografía 4454 de la compañía USAAF del año de 1963, en el recuadro es posible apreciar las indicaciones en el borde del clisé. (S.S.P.O., Fotogrametría, Introducción Bases 1976).

Figura 1.2 Muestra la aerofotografía 4454 del año de 1963.



1.4.6 Marcas Fiduciales

Las marcas son producidas por pequeños dispositivos en el cuerpo de las cámaras métricas, y se calibran sus posiciones relativas al cuerpo de la cámara. Así, estas sirven para definir el sistema de coordenadas de la imagen. De esta

forma se conoce la posición del centro de proyección. La forma tanto como la distribución de las marcas fiduciales dependen del fabricante. En la figura 1.3 se puede observar una imagen de una marca fiducial como las existentes en las aerofotografías en el tamaño del píxel de 14 μm (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/fr/introduction/introduction6.htm>).

Figura 1.3 Marca fiducial.



Fuente: <http://www.ipf.tuwien.ac.at/fr/introduction/introduction6.htm>.

1.4.7 Morrenas

Acumulación de piedras, barro transportados por un glaciar y depositados en su cuenca. La morrena es un producto de la erosión.

1.4.8 Puntos de control

Son posiciones cuidadosamente localizadas que muestran longitud, latitud y/o elevación sobre el nivel del mar. Los puntos de control llegan a ser la estructura sobre la cual se construyen los detalles de un mapa (Avery, Berlin, 1992).

1.5 SIGLAS

AOI: Es un archivo de Área de interés (Area Of Interest).

IGM: Instituto Geográfico Militar.

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e hidrología.

PC: Puntos de control del terreno.

PE: Puntos de enlace entre las líneas.

PP: Puntos de paso entre las imágenes de una misma línea.

PSAD-56: Provisional South America Datum.

SRTM: Shuttle Radar Topographic Mission (se usará también para denominar al DTM: obtenido de los datos.

UTM: Universal Transversa de Mercator.

WGS 84: World Global System 1984.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El nevado Iliniza, ubicado en las coordenadas geográficas 00 grados, 39 minutos, 46 segundos Latitud Sur, y 78 grados, 42 minutos, 57 segundos de Longitud Oeste. Esta localizado a 55 kilómetros de Quito, en la provincia de Cotopaxi y llamado Iliniza Norte e Iliniza Sur, en la actualidad son dos cumbres que llevan dichos nombres (Instituto Geográfico Militar, 1995).

Los dos picos del Iliniza son en realidad restos contrapuestos del borde de una antiquísima y erosionada caldera volcánica que ha permanecido en completa tranquilidad en los últimos milenios (Anhalzer, 2005).

Figura 2.1 Los Ilinizas, Sur y Norte de izquierda a derecha.



Autora: I. Alexandra Febres V., 2007

Al momento es un volcán inactivo y su última erupción fue registrada en el período del Holoceno, desde el término de la última glaciación hasta nuestros días.

El volcán Iliniza clasificado según su erupción es un estratovolcano. (http://volcano.und.nodak.edu/vwdocs/volc_images/img_iliniza.html). La altura del Iliniza Norte es de 5126 msnm. Mientras que del Iliniza Sur es de 5248 msnm. (Atlas Universal y del Ecuador, Instituto Geográfico Militar, 1995).

La temperatura de la zona varía entre los 12 y 17 grados centígrados (http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_volcanes/sudamerica/iliniza.htm).

La flora del lugar se compone por los árboles de papel o bosques *polylepis*, que son los más sobresalientes en este volcán. También se encuentran pajonales, chuquiraguas, chochos de monte, puyas, shanchi, trébol, musgo, ñacha, mortiño, “zapatitos”, cashpachina (*gentianella cerastioides*), arquitecta (*lasiocephalus ovatus*), senecio (*culcitum canescens*), almohadilla (*werneria* sp.), achicoria (*werneria nubigena*), diversos hongos, y líquenes solo como ejemplo. En la reserva de los Ilinizas crecen unas plantas llamadas “orejas de conejo”, las que se adaptan al frío y al inhóspito suelo, incluso se las pudo observar a una altura de 4300 msnm.

En cuanto a fauna, destacan los osos de anteojos, conejos, zorros, pumas y venados, cerca de la laguna se crían vacas, ovejas, caballos y burros que han alterado la flora arbustiva del cráter. Este desequilibrio en la cadena ecológica ha perjudicado a la fauna del lugar (http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_volcanes/sudamerica/iliniza.htm).

Figura 2.2 Ubicación del Nevado Iliniza Sur.



Fuente: <http://www.welt-atlas.de/datenbank/karten/en/karte-0-9031-en.gif>. Modificado por la autora.

CAPÍTULO 3

3. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

El régimen hidrológico de una región es función de características físicas, geológicas, topográficas y climatológicas.

Los factores climatológicos mas importantes son la precipitación, la evaporación, la temperatura, la humedad del aire, y los vientos; estos últimos tres en la medida en que ejercen influencia sobre la precipitación y la evaporación (Monsalve Sáenz, 2002). Es conveniente aclarar que la información referida al Capítulo 10 se encuentra en los Anexos Digitales de esta monografía.

3.1. PARÁMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS

Las variables meteorológicas recabadas para este trabajo son: datos de precipitación, humedad relativa y temperatura media de estaciones cercanas a la zona del Iliniza Sur. Además, hidrológicamente, se buscó información de caudales de estaciones aledañas al nevado.

Esta información fue solicitada al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, y consta de series de datos medios mensuales disponibles desde el año de 1970 para precipitación en milímetros, mostradas en la tabla 3.1, así mismo, datos de caudales medios mensuales en metros cúbicos por segundo, e información de humedad relativa media mensual en porcentaje que se muestran en la misma tabla, además, en la sección 10.1.1 del Anexo A se muestran los registros, y para los casos de estaciones con información aceptable, los diagramas para caudales medios, mínimos y máximos.

3.1.1. Parámetros hidrológicos

3.1.1.1. Caudales medios mensuales

La razón para haber analizado la serie de datos mensuales de los caudales de drenaje de las cuencas que nacen en el Iliniza Sur fue tratar de determinar si el glaciar aporta o no y en qué medida a los caudales de vertientes o ríos de la zona.

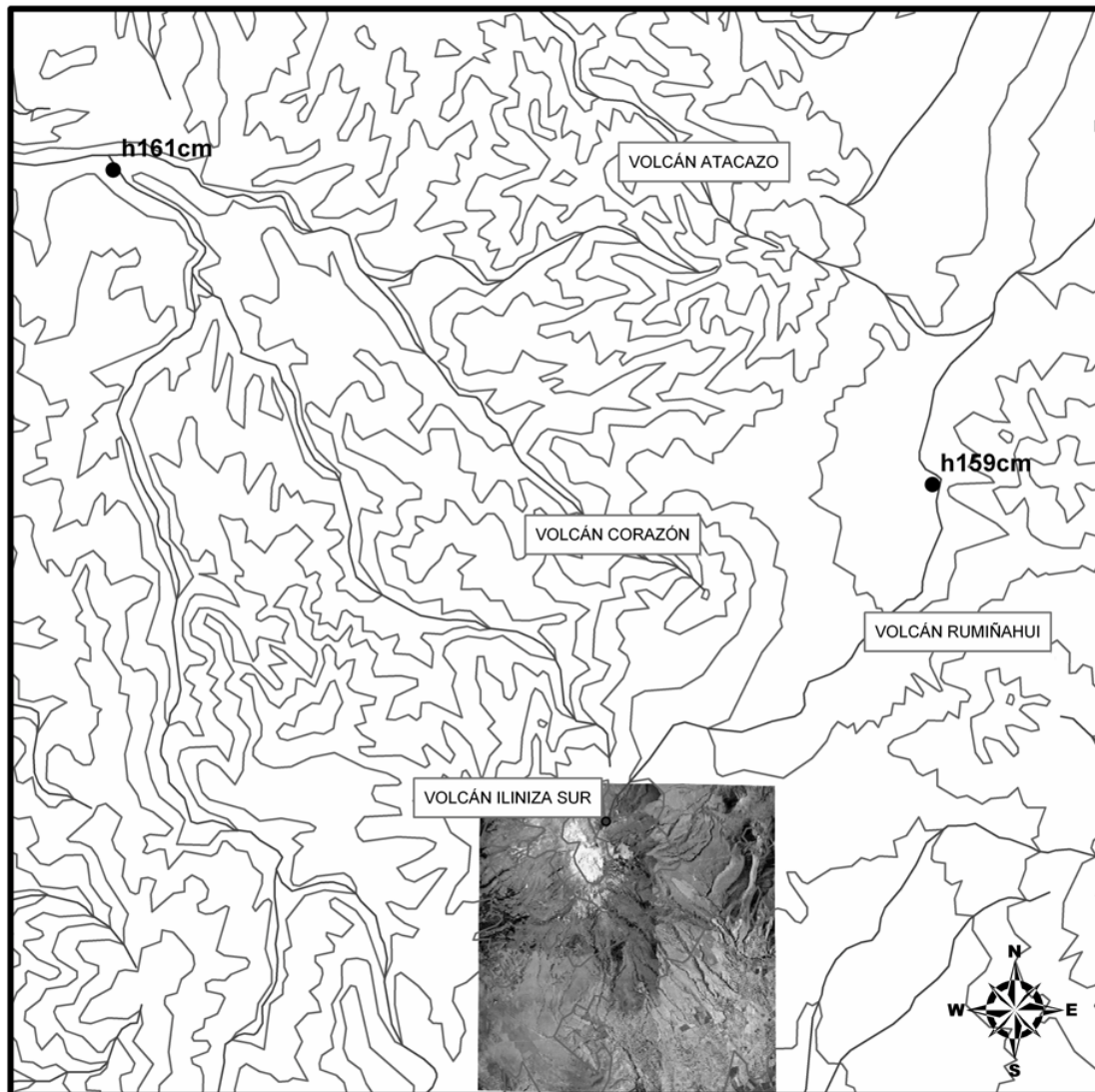
Después de evaluar la información de las estaciones de este tipo se determinó que la información de las estaciones 159 (San Pedro en Machachi) y de la estación 161 (Toachi AJ. Pilatón) son las únicas que reúnen el porcentaje de información aceptable para este trabajo. Sin embargo, la información disponible de estas estaciones únicamente cubre los flancos noreste y noroeste y por lo tanto no se puede tener una clara idea de lo que sucede con los flujos en los flancos sur del nevado.

Así, la estación San Pedro en Machachi (h159cm – cm indica caudal medio) comprende las vertientes del norte, con los ríos: Zarapullo por la quebrada Tunducumi y al oeste el Río Quititóa que pasa a ser el Río Toachi y que inicia en la quebrada Guaguahuasi (ver figura 3.1).

Mientras, la estación Toachi AJ. Pilatón (h161cm) recibe los caudales del río Blanco y el Río Jambelí al Norte, desde este tramo empieza a recibir también a las vertientes del Cerro Corazón como del Volcán Rumiñahui hasta llegar a la estación (ver figura 3.1), esta información se puede observar en las cartas digitales solicitadas al IGM para el desarrollo de este trabajo.

Un esquema de la información descrita en las anteriores líneas se puede observar en la figura 3.1, en tanto que en la tabla 3.1 se detalla información adicional sobre estas estaciones.

Figura 3.1 Esquema de la ubicación de las estaciones hidrológicas.



Fuente: Elaborado en base a información multimedia del IGM <http://www.igm.gov.ec/downloads/mapafisico.html> y resultados del trabajo aerofotogramétrico descrito en el Capítulo 5 del presente trabajo de investigación.

3.1.2. Parámetros Meteorológicos

La información meteorológica fue obtenida del INAMHI y con el objetivo de enriquecer el estudio se incluyeron estaciones utilizadas en otros proyectos de titulación, a saber, las estaciones M364 y M353 (Villacís, 2001) cuyos datos de precipitación media mensual se muestran en la tabla 3.2, y se requirió de las estaciones M004, M064, tanto para precipitación como para temperatura media

mensual, detalladas en la tabla 3.3 recopiladas posteriormente (Manciati y Freire, 2007).

3.1.2.1. Precipitación media mensual

El objetivo del análisis de la información de precipitación es observar como ésta se ha desarrollado a lo largo del período solicitado y encontrar alguna relación entre su desarrollo y el estado del glaciar en los años de cuyas fotografías se dispone. Ésta información es detallada en la tabla 3.1 y 3.2, y puede observarse su ubicación en la figura 3.2 con el sufijo rr (rr identifica precipitación).

3.1.2.2. Humedad relativa media mensual

La información concerniente a la humedad relativa facilitada por el INAMHI aportó información sobre la humedad que podría presentarse en zonas cercanas al nevado Iliniza Sur, su importancia radicó dado que la nubosidad existente sobre un glaciar puede absorber la energía solar incidiendo en el comportamiento de este, la información antes mencionada se detalla en la tabla 3.1 y se puede observar su ubicación en la figura 3.2 sobre las estaciones denominadas m120hr (m por meteorológica, y hr por humedad relativa) como ejemplo.

3.1.2.3. Temperatura media mensual

El propósito de haber solicitado información sobre temperatura media de estaciones cercanas al glaciar fue tener conocimiento sobre cómo se ha desarrollado esta variable a lo largo del tiempo del que se obtuvo información. En la figura 3.2 puede observarse la ubicación de estas estaciones, las mismas que llevan el sufijo tm.

Las tablas 3.1, 3.2, y 3.3 detallan la información del INAMHI, y la de los trabajos de Villacís (2001) y Manciati y Freire (2007).

Tabla 3.1: Detalle de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

CODIGO	NOMBRE	TIPO DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD EN msnm	PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES	
M120	Cotopaxi-Clirsen	Precipitación	0°37'9"S	78°34'19"W	3560	0.21	Aceptable
M121	El Refugio-Cotopaxi	Precipitación	0°39'33"S	78°34'12"W	4800	0.5	No aceptable
M122	Pilaló	Precipitación	0°56'37"S	78°59'42"W	2520	0.28	Aceptable
M362	Las Pampas	Precipitación	00°26'36"S	78°58'00"W	1640	0.06	Aceptable
M363	Sigchos	Precipitación	00°41'58"S	78°53'25"W	2880	0.002	Aceptable
M364	Loreto-Pedregal	Precipitación	0°33'41"S	78°25'35"W	3620	0.01	Aceptable
M365	Guaytacama	Precipitación	0°49'14"S	78°38'25"W	3075	0.05	Aceptable
M371	Pastocalle	Precipitación	0°43'30"S	78°37'57"W	3130	0.03	Aceptable
M373	Toacazo	Precipitación	0°45'0"S	78°41'0"W	3000	0.18	Aceptable
M375	Saquisilí	Precipitación	0°50'16"S	78°39'52"W	2920	0.32	No aceptable
H156	Pilatón AJ Toachi	Caudales	0°18'37"S	78°55'52"W	890	0.49	No aceptable
H159	San Pedro en Machachi	Caudales	0°28'25"S	78°32'34"W	2680	0.01	Aceptable
H161	Toachi AJ Pilatón	Caudales	0°18'56"S	78°57'5"W	820	0.2	Aceptable
H167	Toachi en S.D. de los Colorados	Caudales	00°14'42"S	79°07'40"W	554	0.58	No aceptable
H188	Pilatón D.J. Chitoca	Caudales	0°20'46"S	78°50'36"W	0	0.86	No aceptable
H329	Pilaló en la Esperanza	Caudales	00°51' 45"S	79°05'10"W	996	0.61	No aceptable
H120	Cotopaxi-Clirsen	Humedad relativa	0°37'9"S	78°34'19"W	3560	0.25	Aceptable
H121	El Refugio-Cotopaxi	Humedad relativa	0°39'33"S	78°34'12"W	4800	0.72	No aceptable
H122	Pilaló	Humedad relativa	0°56'37"S	78°59'42"W	2520	0.44	No aceptable
H120	Cotopaxi-Clirsen	Temperatura	0°37'9"S	78°34'19"W	3560	0.25	Aceptable
H121	El Refugio-Cotopaxi	Temperatura	0°39'33"S	78°34'12"W	4800	0.68	No aceptable
H122	Pilaló	Temperatura	0°56'37"S	78°59'42"W	2520	0.4	No aceptable

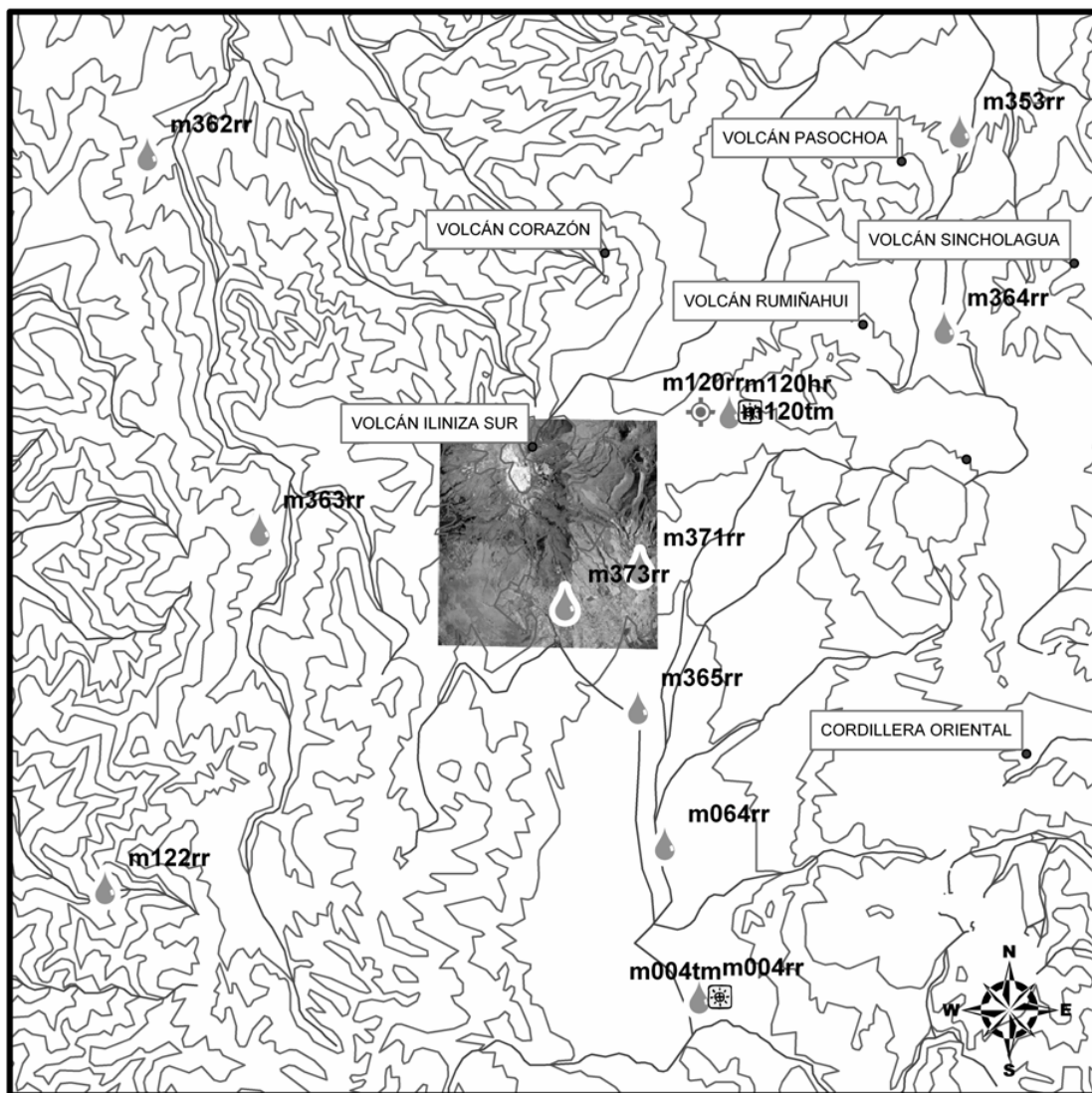
Tabla 3.2: Detalle de datos obtenidos de Villacís (2001).

CODIGO	NOMBRE	TIPO DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES	
M004	Rumipamba-Salcedo	Precipitación	1°1'5"S	78°35'32"W	2628 msnm	0.02	Aceptable
M353	Rumipamba-Pichincha	Precipitación	0°25'39"S	78°24'57"W	2940 msnm	0.07	Aceptable

Tabla 3.3: Detalle de datos obtenidos de Manciaty y Freire (2007).

CODIGO	NOMBRE	TIPO DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES	
M004	Rumipamba-Salcedo	Temperatura	1°1'5"S	78°35'32"W	2628 msnm	0.21	Aceptable
M064	Latacunga-Aeropuerto	Precipitación	0°54'48"S	78°36'56"W	2785 msnm	0.29	Aceptable
M064	Latacunga-Aeropuerto	Temperatura	0°54'48"S	78°36'56"W	2785 msnm	0.58	No aceptable

Figura 3.2 Esquema de la ubicación de las estaciones meteorológicas.



Fuente: Elaborado en base a información multimedia del IGM <http://www.igm.gov.ec/downloads/mapafisico.html> y resultados del trabajo aerofotogramétrico descrito en el Capítulo 5 del presente trabajo de investigación.

3.2. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

3.2.1. Evaluación de calidad de las estaciones hidrometeorológicas

El primer paso en el análisis de los datos hidrometeorológicos fue la evaluación en cuanto a la calidad de su contenido, es decir, determinar cual fue el porcentaje de datos faltantes de cada estación. Cuando este porcentaje fue mayor al 30% (Villacís, 2001), no se utilizó la información de la estación en el análisis debido a la pobreza de su calidad.

Como se muestra en la tabla 3.1, 3.2 y 3.3, las estaciones hidrológicas que menos datos faltantes registran son la estación San Pedro en Machachi y la Toachi AJ Pilatón. La primera nace en las vertientes del Río Blanco y el Río Jambelí al Noreste, desde este tramo empieza a recibir agua del Cerro Corazón y del Volcán Rumiñahui hasta llega a la estación. Y la última que comprende las vertientes del norte en el Río Zarapullo por la quebrada Tunducumi y al Oeste desde el Río Quilotoa que luego se lo llama Toachi y que inicia en la quebrada Guagrahuasi, se puede observar su ubicación en la figura 3.2.

3.2.2. Procesamiento de las estaciones hidrometeorológicas.

Inicialmente, se intentó rellenar los datos faltantes de las estaciones, pero a causa de su baja calidad, como se puede observar en la tabla 3.1, 3.2 y 3.3, y por el largo tiempo empleado en satisfacer el objetivo principal de este trabajo de investigación detallado en el Capítulo 5, se decidió únicamente desarrollar la media móvil de las estaciones para facilitar la observación de sus tendencias a lo largo de los años respecto a los resultados obtenidos para la cobertura nivoglaciar.

Con lo antes dicho, cabe mencionar que la correlación entre las estaciones no era lo suficientemente buena como para lograr rellenar los datos faltantes de modo que fueran suficientemente representativos como se muestra en el Anexo A-2, como resultado, no era posible rellenar series de datos que poseían buena información.

3.2.2.1. Media Móvil de las estaciones

Para facilitar la obtención de la media móvil de las series de información hidrometeorológica, se organizó toda la información de las series de modo vertical.

Luego, para considerar la estacionalidad, se procedió a restar a cada valor de la serie, el valor de la media mensual multianual correspondiente a su mes. Posteriormente se obtuvo la primera media móvil, que no es sino, el valor promedio del primer dato más el segundo valor, y así sucesivamente, para la segunda media móvil, será, el promedio del correspondiente valor más todos los anteriores.

De este modo se obtuvieron los gráficos mostrados en las figuras del Anexo A-3 para la primera media móvil, tercera media móvil, quinta media móvil, séptima media móvil, novena media móvil, onceava media móvil, que permitieron apreciar las tendencias mostradas en la tabla 3.4 y que fueron posteriormente observadas en la figura 3.3.

Posteriormente, se compararon los resultados de las onceavas medias móviles con los resultados obtenidos para la cobertura nivo-glaciar.

Tabla 3.4 Observación de la tendencia de cada estación.

Estación	Código	Tipo	Tendencia
Cotopaxi-Clirsen	M120	Humedad relativa	Presenta una leve tendencia a incrementarse.
Cotopaxi-Clirsen	M120	Temperatura	La información no permite obtener conclusiones.
Cotopaxi-Clirsen	M120	Precipitación	Se observa una tendencia de la precipitación a decrecer.
Pilaló	M122	Precipitación	Se observa una tendencia general de la precipitación a decrecer.

Continuación de la tabla 3.4

Las Pampas	M362	Precipitación	Presenta una tendencia a mantenerse constante.
Sigchos	M363	Precipitación	Presenta una tendencia a incrementarse.
Loreto-Pedregal	M364	Precipitación	Presenta una leve tendencia a decrecer.
Guaytacama	M365	Precipitación	Tiende a mantenerse constante.
Pastocalle	M371	Precipitación	Tiende a mantenerse constante.
Toacazo	M373	Precipitación	Tiende a mantenerse constante.
San Pedro en Machachi	H159	Caudales	Presenta una leve tendencia a decrecer
Toachi AJ Pilatón	H161	Caudales	Presenta una leve tendencia a decrecer
Rumipamba-Pichincha	M353	Precipitación	Presenta una leve tendencia a decrecer
Rumipamba-Salcedo	M004	Precipitación	Se observa una tendencia de la precipitación a decrecer.
Rumipamba-Salcedo	M004	Temperatura	Presenta una tendencia a mantenerse constante.
Latacunga-Aeropuerto	M064	Precipitación	Tiende a mantenerse constante.

CAPÍTULO 4

4. INFORMACIÓN FOTOGRÁFICA

La información que se detalla en la sección 4.2 fue requerida para llevar a cabo procesos necesarios para obtener los mosaicos y poder determinar la evolución de la cobertura nivo-glaciaria del nevado Iliniza Sur que es el objetivo principal de este trabajo y además analizar la cobertura de las zonas aledañas al nevado a lo largo de los años estudiados.

Todas las referencias correspondientes al Capítulo 10 se encuentran en los Anexos Digitales de la presente monografía.

4.1. IMÁGENES AEROFOTOGRAMÉTRICAS

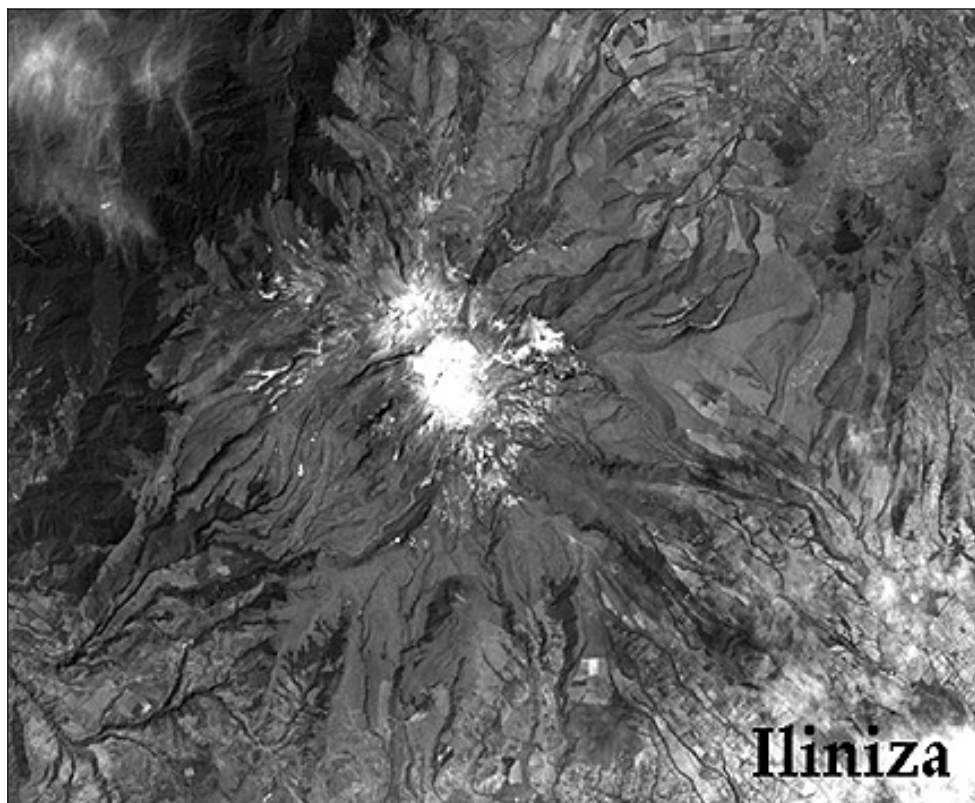
Son imágenes verticales captadas por cámaras fotográficas adaptadas a aviones que sobrevuelan a cierta altura de la superficie.

Esta altura generalmente es de 30000 pies, cuando la fotografía que va a ser tomada corresponde un proyecto a escala 1:60000 o a 35000 pies de altura para una a escala 1:70000.

Estas imágenes permiten conocer información que no puede o sería difícil obtener de otro modo (Campbell, 1987), como ejemplo se muestra una ortofoto correspondiente a la zona de los Ilinizas elaborada en base a información aerofotogramétrica en la figura 4.1, en la cual, se pueden apreciar además los Poblados de San Juan de Pastocalle Nuevo al nororiente, San Juan de Pastocalle Viejo al sur oriente, y, Toacazo y Sigchos al sur y sur occidente respectivamente.

Para evaluar el cambio de los glaciares en un período más largo se analizaron los mosaicos desde el año de 1956 que es el año más antiguo del que se tienen información fotográfica en el IGM.

Figura 4.1 Ortofoto que cubre la zona de los Ilinizas



Fuente: <http://www.igm.gov.ec/cms/index.php>.

4.2. INFORMACIÓN FACILITADA POR EL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

La información facilitada por el Instituto Geográfico Militar se conformó por: 40 fotografías de diferentes años que cubren la zona de los Ilinizas las que se especifican en la tabla 4.1, más cuatro Cartas Topográficas a escala 1:50000 en formato digital así como el elenco de coordenadas de latitud, longitud y elevación de los PC correspondientes al año de 1988 (ver tabla 4.2) con las vistas y sobrevistas de éstos últimos.

4.2.1. Imágenes aerofotogramétricas de la zona del Iliniza Sur

Para el desarrollo del presente trabajo se dispone de información aerofotográfica desde el año 1956 hasta el 2000. Estas fotografías permiten tener una visión clara y completa de la cobertura de hielo y nieve y además presentan la ventaja de superponerse unas con otras, característica esencial para la obtención de los mosaicos. Todas las fotografías fueron recolectadas y luego revisadas para asegurarse de que permitieran su interpretación. Así, finalmente se dispuso de las fotografías correspondientes a los años de 1956, 1963, 1977, 1986, 1988, y 2000. En el presente trabajo es importante tener en cuenta los meses en los que se realizaron los sobrevuelos para la toma de las aerofotografías, así, la serie de fotografías de 1988 fueron tomadas en el mes de diciembre; mientras que las fotografías de los años 1956, 1977, 1986, 2000 fueron tomadas en el mes de noviembre y únicamente las que corresponden al año de 1963 fueron tomadas en el mes de junio, más detalles sobre esta información se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Año de toma de las fotografías y los proyectos en los que se tomaron a modo de identificación.

	Fotografías							Número total de fotografías
	Quito - Latacunga	Quito	Ambato	Quito - Ambato	Machachi - Toacazo	Carta Nacional	Quito - Latacunga - Baños	
Fecha de toma	1956	1963	1971	1977	1986	1988	2000	
Número de fotografía	29894	4451	4454	5775	22204	25388	15292	7
	29893	4452	4406	5776	22203	25389	15293	7
	29892	4453	4407	5777	22202	25390	15294	7
	24035	4454				25391	15295	4
	24036	1855				25395	13681	4
	24037	1856				25396	13682	4
		1857				25397	13683	3
Cantidad	6	7	3	3	6	7	7	39

Nota: Además, se recibió la aerofotografía 31877 del año de 1993, pero al ser la única de tal año recibida no se la utilizó.

4.2.2. Puntos de control

Para el desarrollo del trabajo se solicitaron 22 PC, seis por cada fotografía, número mínimo de PC para poder llevar a cabo los trabajos de fotogrametría, los que son detallados en la tabla 4.2.

4.2.2.1. Elenco de coordenadas de los PC

El elenco de coordenadas de los PC permite conocer la ubicación en latitud y longitud y además de la elevación de los PC necesarios para los procesos que se desarrollaron para la obtención de mosaicos. Estos datos correspondientes al año 1988 se muestran en la sección 10.2.2 del Anexo B-2, proyectados en el elipsoide PSAD-56 para la proyección UTM en la zona 17 que corresponde al territorio en cuestión.

Los datos de PC obtenidos en el desarrollo del presente trabajo se muestran en el Anexo B-2, los que también se presentan bajo el mismo sistema de proyección UTM WGS 84.

4.2.2.2. Vistas y Sobrevistas de los PC

Las imágenes de vistas y sobrevistas son necesarias para la ubicación de los PC en las fotografías en el proceso de elaboración de mosaicos. Estas imágenes se pueden observar en la sección 10.2.2 del Anexo B-2.

Las sobrevistas facilitan la labor de ubicar los PC, en estas se representa la zona en la que se encuentra un punto de control mediante un rectángulo. La información de sobrevistas provista por el IGM se presenta de modo que en cada fotografía se muestran pares de los rectángulos antes mencionados y a un lado de estos el nombre del punto de control.

Mientras que las sobrevistas de los PC muestran su ubicación dentro de una zona mas reducida, las vistas proveen de los detalles del terreno en los que éstos se ubicaron como calles, linderos, rocas, etc.

4.2.3. Cartas topográficas de la zona

Las cartas topográficas son necesarias tanto para el desarrollo del trabajo aerofotogramétrico como para la ubicación de la información hidrometeorológica y su apreciación en el espacio. Las cartas topográficas recibidas del IGM se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Detallamiento de las cartas topográficas.

Nombre	Escala
Jatunloma	1:50000
Machachi	1:50000
Sigchos	1:50000
Mulaló	1:50000

4.2.4. Certificados de calibración de las cámaras

Los certificados de calibración de las cámaras presentan datos como la fecha de calibración, el tipo de lente utilizado para la captura de las fotografías, la distorsión radial media, la ubicación de las marcas fiduciales, entre otros datos que son de gran importancia para los procesos de fotogrametría.

Se obtuvieron los certificados de calibración para los años de 1986, 1988, 2000. La información correspondiente a los años de 1956 y 1963 no fue posible conseguir ya que las fotografías de dichos años fueron tomadas por aviones pertenecientes a compañías extranjeras.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS COBERTURAS

Con el fin de ajustar y procesar las imágenes hasta conseguir los mosaicos, se utilizó el paquete ERDAS 8.6. Luego, para definir las zonas que cubren los diferentes tipos de cobertura se utilizaron los programas ArcView 8.3 y Paint Shop Pro 4.15 SE. Los procesos llevados a cabo con el objetivo arriba mencionado se detallan a continuación.

5.1. SELECCIÓN DE IMÁGENES ÚTILES

Para llevar a cabo este trabajo fue necesario determinar si las imágenes cubrían correctamente la zona, es decir, que la zona a estudiar se encontraba en el área de traslapo de las aerofotografías y que no existiera gran presencia de nubes que dificultara su interpretación, por lo tanto el primer paso fue definir que aerofotografías cumplían con estos requisitos para utilizarlas. Al revisar las aerofotografías detalladas en la tabla 4.1 se observó que aquellas correspondientes al año de 1971 no cubrían la zona estudiada, mientras que las del año de 1977 no completaban la superficie del nevado, además, en el caso del año de 1963 las aerofotografías 1855, 1856 y 1857 estaban cubiertas de nubes por lo que fueron rechazadas. Adicionalmente, las aerofotografías 25387, 25392, 25394, 25397 y 25398 correspondientes al año 1988 no fueron utilizadas dado que cubrían áreas muy alejadas de la zona de interés.

Finalmente, se consideraron las fotografías correspondientes a los años 1956, 1963, 1986, 1988 y 2000, ya que, aunque algunas de sus aerofotografías presentaban nubes no eran de gran importancia y por esto no afectaban mayormente al análisis de las coberturas. Por otro lado, cubrían satisfactoriamente la zona de los Ilinizas. Una lista de las aerofotografías aceptadas se muestra en la tabla 5.1. Todas las aerofotografías recibidas para el análisis son presentadas en la sección 10.2.1.

Tabla 5.1 Listado de imágenes seleccionadas

	Fotografías					Número total de fotografías
	Quito - Latacunga	Quito	Machachi - Toacazo	Carta Nacional	Quito - Latacunga - Baños	
Fecha de toma	25-nov-56	22-jun-63	28-nov-86	21-dic-88	09-nov-00	
Escala	1:70000	1:60000	1:80000	1:60000	1:60000	
Número de fotografía	24035	4451	22202	25388	15292	
	24036	4452	22203	25389	15293	
	24037	4453	22204	25390	15294	
	29892	4454	22172	25391	15295	
	29893		22173	25395	13681	
	29894		22174	25396	13682	
					13683	
Cantidad	6	7	6	6	7	32

Además para el proceso fue necesario conocer los tipos de cámaras y de lentes utilizadas para la captura de las imágenes. Estos datos se muestran en la tabla 5.2 y fueron obtenidos de los certificados de calibración de las cámaras para los diferentes años; como se puede ver en la tabla no se tiene información para los años 1956 y 1963, este problema se dio pues las aerofotografías fueron tomadas por compañías extranjeras.

Tabla 5.2 Información de las cámaras.

Año	Tipo de lente	Tipo de cámara	Número de lente
1956	T11	Sin dato	Sin dato
1963	KC1-B	Sin dato	Sin dato
1986	15 UAG II	RC10	3080
1988	15 UAG II	RC10	3080
2000	15/4 UAG-S	RC30	13265

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA ELABORACIÓN DE LA ORTOBASE

Una ortobase es la proyección de los datos de las imágenes aero-fotogramétricas en un plano de acuerdo con un sistema de proyección geográfica. Mediante la ortorectificación se remueven distorsiones geométricas existentes en las imágenes que son ocasionadas por la orientación de la cámara, el desplazamiento debido al relieve del terreno y a errores sistemáticos asociados con la obtención y el procesamiento de la imagen (Erdas "Field Guide", 2002). Como resultado, una imagen ortorectificada representa los objetos del terreno en sus verdaderas coordenadas X e Y, es decir, que son imágenes planimétricamente correctas. En consecuencia, una ortoimagen o imagen ortorectificada tiene las características geométricas de un mapa manteniendo las cualidades de una fotografía. Finalmente, las ortoimágenes son equivalentes geoméricamente a los mapas planimétricos en cuanto a líneas y símbolos por lo que, cualquier medida tomada en una ortoimagen refleja una medida tomada en campo (Erdas "Field Guide", 2002).

Para el presente trabajo se elaboraron cinco ortobases, una con cada serie de fotografías, obteniéndose una ortobase para el año de 1956, otra para el año de 1963 y así sucesivamente.

Es conveniente explicar que algunos procesos no fueron los mismos para los datos de todos los años a causa de que no existen los certificados de calibración para los años 1956 y 1963, y que, en los procesos que lo requieran será explicada su diferencia. De este modo, al no tener la información requerida para los años antes mencionados, se decidió tratarlos como información capturada por una cámara digital ya que esta no requiere de distancia focal, puntos principales de colimación (ver numeral 5.2.1.3) ni marcas fiduciales (ver marco conceptual), entre otros pero los resultados no fueron tan precisos tampoco, ya que la información de los certificados de calibración corrigen los errores existentes en las aerofotografías. Por otro lado el proceso seguido con la información correspondiente a los años de 1986, 1988 y 2000 se llevó a cabo considerando toda la información disponible.

Además, dado que el elenco de coordenadas de PC recibido correspondía a las fotografías del año 1988, los procesos se realizaron inicialmente por este año, para a partir de este bloque de aerofotografías obtener los puntos necesarios para llevar a cabo los procesos con los restantes años.

5.2.1. Proceso de elaboración de la ortobase

Los procesos necesarios para la obtención de las ortofotos se describen a continuación.

5.2.1.1. Creación de un nuevo proyecto de Ortobase

En esta sección se va a describir un proceso inicial, requerido para todo proyecto de ortobase pero en el caso de este trabajo, diferente para bloques de años de los que se obtuvieron certificados de calibración de las cámaras del de aquellos que no poseían esta información.

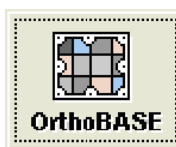
5.2.1.1.1. Para los bloques con certificados de calibración disponibles.

Para ejecutar los procesos necesarios se empezó por crear un nuevo proyecto, en el cual se trabajó con bloques que correspondían a cada año, en los párrafos siguientes se describe dicho proceso, el mismo que fue llevado a cabo con la información de todos los años a estudiar. Al iniciar el programa Erdas, este despliega su menú principal el que se muestra a continuación (ver figura 5.1), de este menú se selecciona la herramienta “ortobase”, la imagen correspondiente a este ícono se muestra en la figura 5.2.

Figura 5.1



Figura 5.2



Al activar este botón se accede a la ventana de diálogo “OrthoBASE Startup” que se puede observar en la figura 5.3, ésta ventana permite visualizar dos opciones, “Crear un nuevo proyecto de Ortobase (Create a new OrthoBASE project)” y “abrir un proyecto de ortobase existente (Open an existing OrthoBASE project)”. Dado que el requerimiento es crear el proyecto se escoge la primera opción.

Al aceptar ésta opción se visualiza un directorio que permite guardar el proyecto (ver figura 5.4). El archivo creado tiene la extensión “.blk” proveniente de la palabra en inglés “block”.

Como siguiente paso, se ha desplegado un nuevo campo de diálogo que se muestra a continuación, en éste, se debe definir el tipo de dispositivo empleado para la toma de las fotografías.

Para el ejemplo que se está describiendo, del año de 1988, se utilizó una cámara analógica, que corresponde a “Frame Camera”, se marca esta línea y se acepta la selección (ver figura 5.5).

Figura 5.3

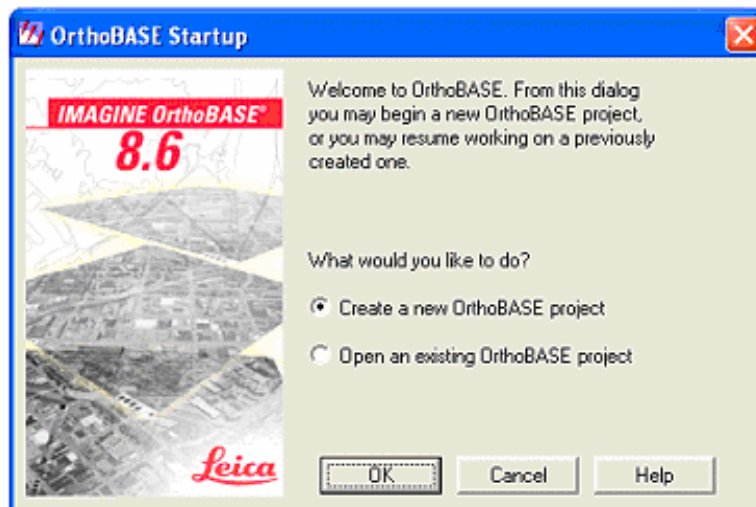


Figura 5.4

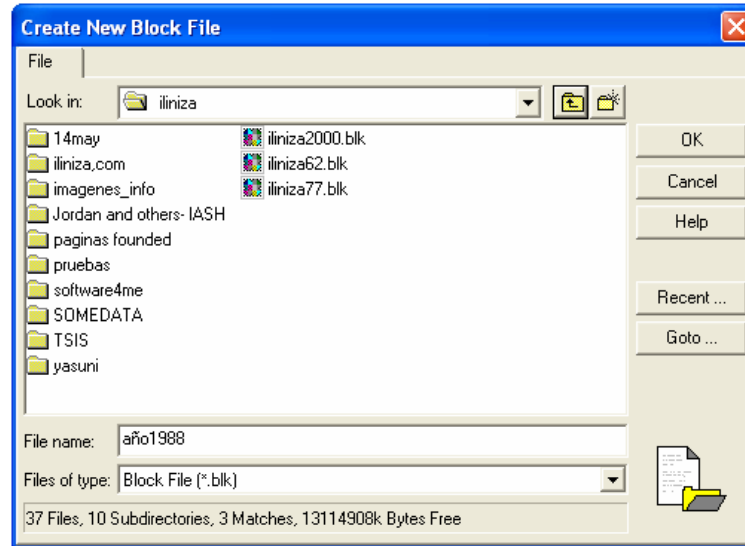
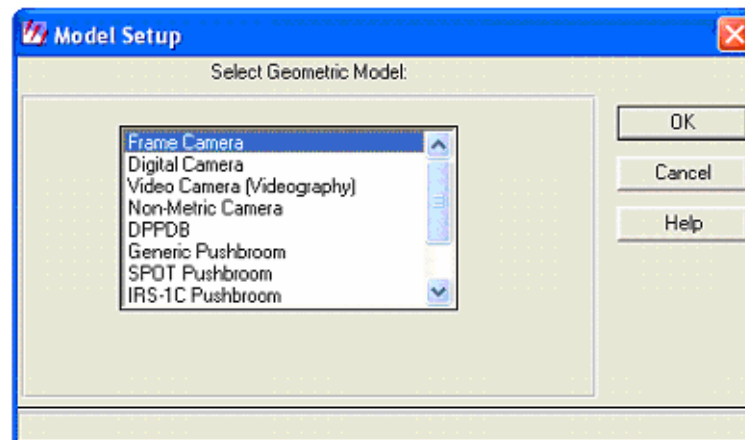
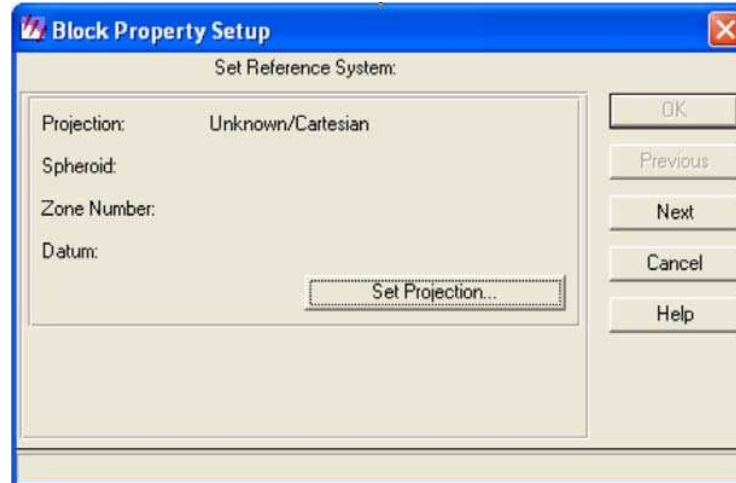


Figura 5.5



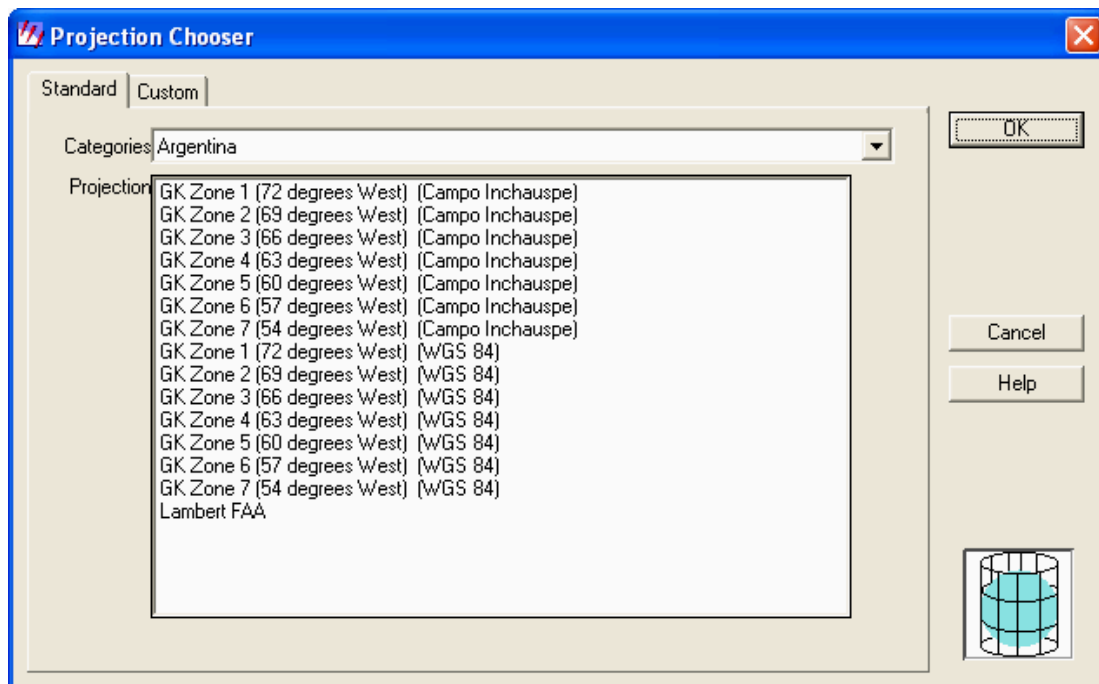
El siguiente diálogo que se visualiza, muestra los datos correspondientes al sistema de referencia en el caso de haber sido ya determinados, si nó, se muestra el campo vacío, esto es posible observar en la figura 5.6.

Figura 5.6



Por consiguiente, se selecciona el botón “Set Projection...”, y se despliegan dos lengüetas, “Standard” y “Custom”, que en suma permiten realizar la misma tarea aunque con diferente enfoque, así, si se resuelve una, la otra automáticamente queda definida como se puede ver en las figuras 5.10 y 5.11. Por lo tanto se selecciona la lengüeta “Standard” (ver figura 5.7).

Figura 5.7



En este cuadro de diálogo se tiene dos puntos por determinar. El primero, “Categories”, permite seleccionar el tipo de proyección geográfica, para el caso del Ecuador se utiliza el sistema UTM WGS 84 para la latitud sur como se puede observar en figura 5.8. El segundo permite determinar la zona geográfica sobre la cual se va a trabajar, para este caso la zona 17 (ver figura 5.9).

Figura 5.8

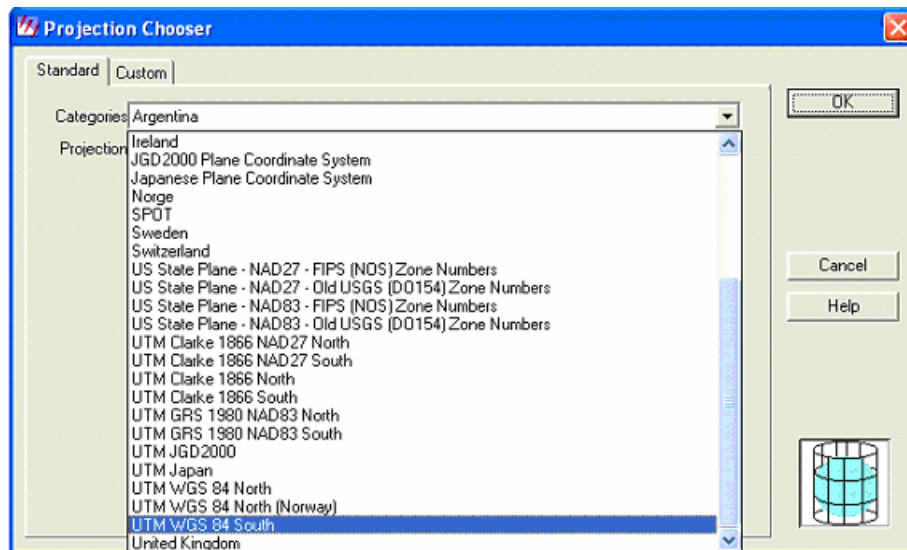


Figura 5.9 Definición de la proyección

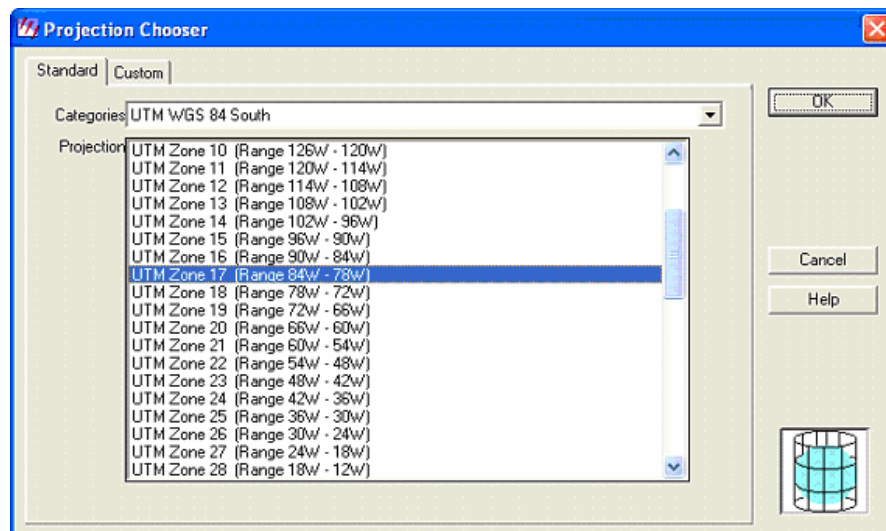
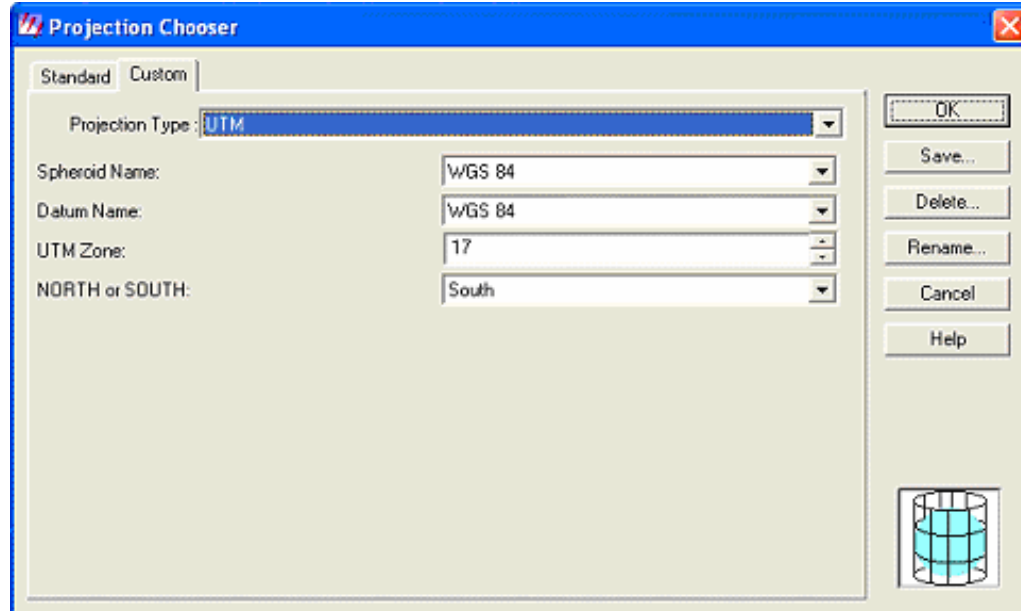
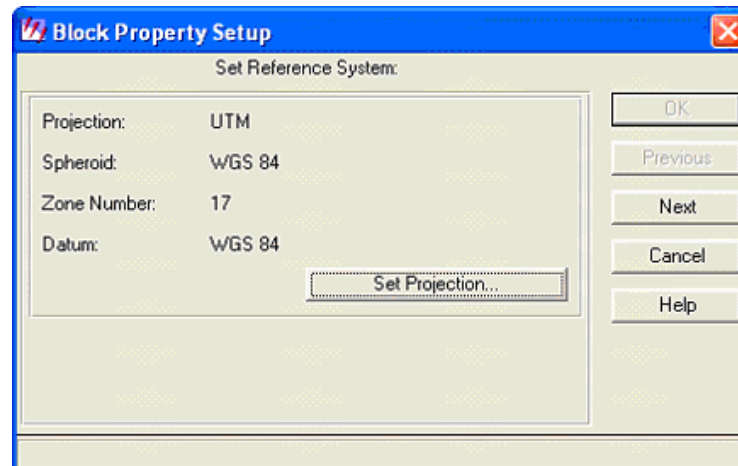


Figura 5.10 Definición de la proyección



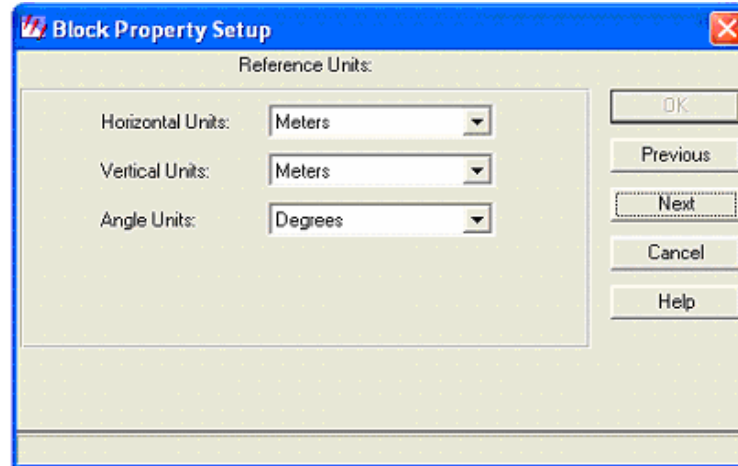
Como resultado, queda determinado el sistema de proyección para el modelo que se definió, tal como se puede ver en la figura 5.11.

Figura 5.11 Configuración del sistema e referencia



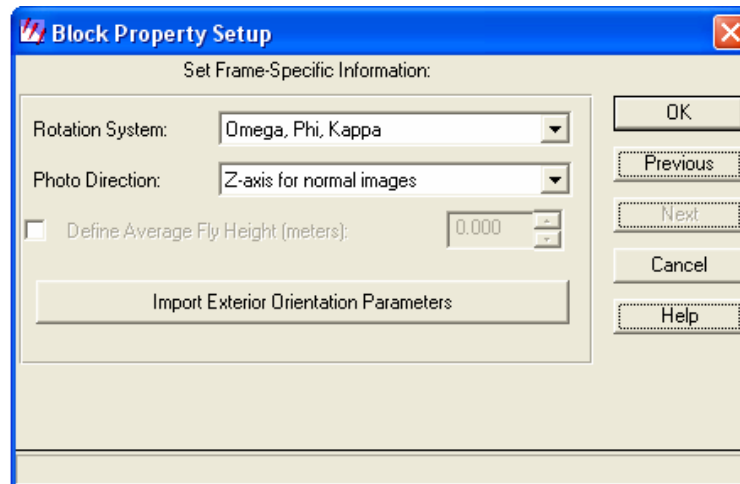
Al continuar con el proceso, la siguiente ventana permitió establecer las unidades de medida con las que se trabajó el proyecto, tal como se muestra en la figura 5.12, donde se determinaron las unidades del Sistema Internacional.

Figura 5.12 Configuración de las unidades de la ortobase



Se definen las unidades angulares de rotación como se muestra en la figura 5.13.

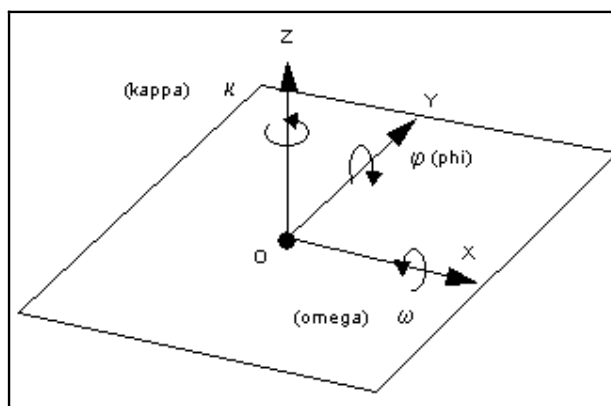
Figura 5.13 Información específica



El campo “Rotation system” permite determinar el ángulo de rotación apropiado a ser utilizado en el bloque, este sistema define la orientación de la cámara cuando la fotografía fue tomada. Los tres ángulos de rotación, a saber, omega, phi y kappa, definen la relación entre los ejes del sistema de coordenadas del terreno y el sistema de coordenadas de la imagen. Es importante la definición de este sistema para el proceso de triangulación que se realiza posteriormente, dado que dicho proceso, requiere de una matriz de 3 x 3 que se genera en este paso (ver figura 5.14). Para este caso se utilizó este sistema “Omega, Phi, Kappa”, ésta

convención es la mas comúnmente utilizada y recomendada para la región en la que se encuentra el Ecuador, ya que las dos opciones restantes, Phi(+), Omega, Kappa y Phi(-), Omega, Kappa son usadas en Alemania y China correspondientemente. Para el sistema elegido, Omega tiene una rotación positiva alrededor del eje X, Phi una rotación positiva alrededor del eje Y, al igual que Kappa alrededor del eje Z. En este sistema X es el eje primario, esto significa que es el eje sobre el que la primera rotación ocurre, esta rotación sigue la regla de la mano derecha (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\block_property_setup_camera.htm*).

Figura 5.14 Orientación de las aerofotografías.



Fuente: Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002

El parámetro "Photo direction", permite definir hacia donde se dirige el eje óptico de la cámara. Así, en el caso de fotografías aéreas el eje óptico esta dirigido hacia el eje Z del sistema de coordenadas del terreno (la opción que corresponde definir es "Z-axis for normal images"), mientras que en el caso de las fotografías tomadas desde el terreno, el eje óptico de la cámara esta dirigido hacia el eje Y del sistema de coordenadas del suelo (la opción que corresponde definir es "Y-axis for close-range images").

El parámetro "Define Average Fly Height" (metros) permite definir la altura promedio sobre el terreno fotografiado. Este parámetro es útil cuando se genera automáticamente PE entre las fotografías que vale recalcar, no fue necesario en estos casos ya que además no es necesario definirla para la triangulación.

La opción “Import Exterior Orientation Parameters...” “es necesario activarla cuando se importan datos de orientación externa existentes, los que son provistos por sistemas fotogramétricos como por ejemplo, estereoplotters analíticos, estaciones de trabajo fotogramétricas digitales o datos posteriormente procesados de GPS aerotransportados registrados al momento de toma de las fotografías. En la presente investigación no fue necesario tomar en cuenta este punto ya que los PC se colocaron manualmente.

Al terminar de definir los anteriores puntos, y aceptar la información ingresada se tuvo acceso a un cuadro de diálogo con el mostrado en la figura 5.15. En este cuadro se cargaron las fotografías con las que se trabajó el bloque de la ortobase, para ésto, se presionó el botón “Add frame” (ver figura 5.16), de este modo es posible seleccionar las imágenes una por una, o en grupo, buscando en su directorio correspondiente (ver figura 5.17).

Figura 5.15 Ventana de trabajo de la ortobase

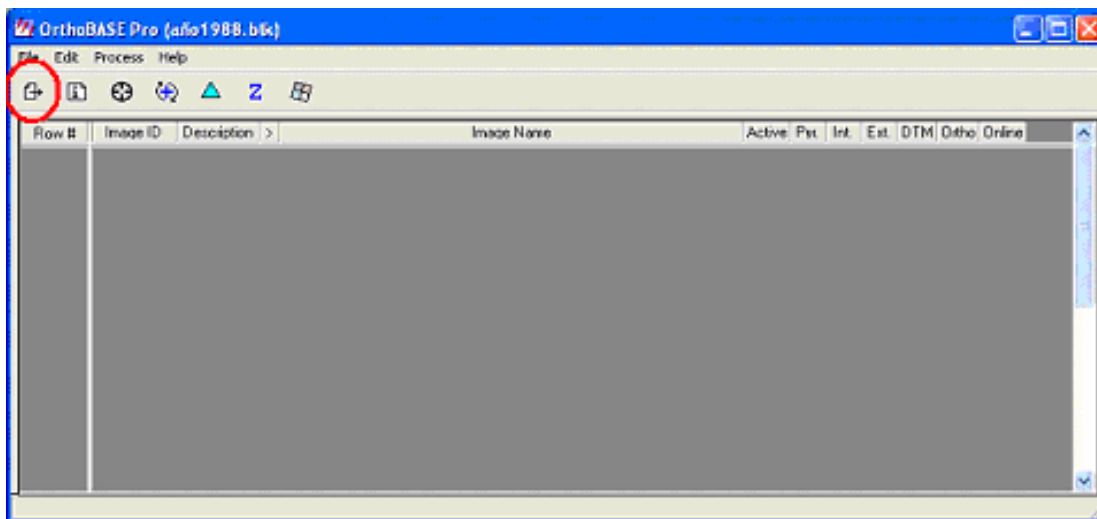
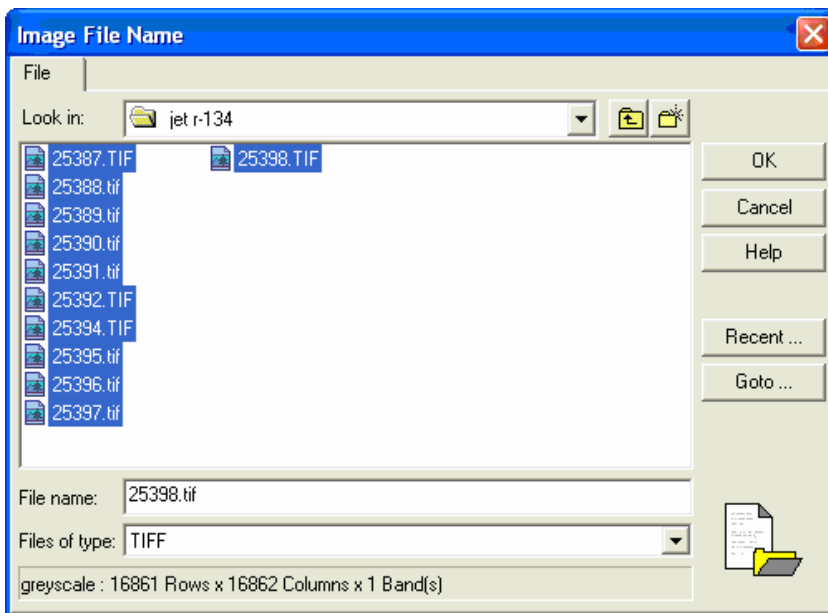


Figura 5.16



Figura 5.17 Nuevos archivos para la ortobase



Al terminar este paso se mostraron las distintas imágenes en una “matriz” que permite visualizar tanto el proceso a seguir como el avance del trabajo (ver figura 5.18).

Esta “matriz” muestra horizontalmente la información de las imágenes con las que se trabajó y verticalmente se puede visualizar los procesos que se debieron llevar a cabo para la ortorectificación.

Las distintas celdas son originalmente rojas y van tomando una coloración verde a medida que se lleva a cabo cada proceso. En la figura 5.18 las celdas que corresponden a la columna “OnLine” aparece de color verde, dado que el programa las estaba identificando, de otro modo, si se hubiera perdido la ruta de acceso a la imagen, su color hubiera sido rojo.

Figura 5.18 Cuadro de diálogo “OrthoBase Pro”.

The screenshot shows the OrthoBase Pro software window with a menu bar (File, Edit, Process, Help) and a toolbar. The main area contains a table with the following columns: Row #, Image ID, Description, a right-pointing arrow (>), Image Name, Active, Pyl., Int., Ext., DTM, Ortho, and Online. The table lists 11 rows of image data.

Row #	Image ID	Description	>	Image Name	Active	Pyl.	Int.	Ext.	DTM	Ortho	Online
1	1			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25387.tif	X						
2	2			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25388.tif	X						
3	3			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25389.tif	X						
4	4			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25390.tif	X						
5	5			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25391.tif	X						
6	6			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25392.tif	X						
7	7			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25394.tif	X						
8	8			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25395.tif	X						
9	9			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25396.tif	X						
10	10			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25397.tif	X						
11	11			d:/liza/magenes_info/lotos/et r-134/25398.tif	X						

Una breve descripción de las columnas que presentaba la ventana mostrada en la figura 5.18 se presenta a continuación:

- En la primera columna, “Row #”, el programa asignaba una numeración a las imágenes de acuerdo al orden con el que se las ingresó.
- En la siguiente columna se identificó a la imagen, para este caso se escribió 25387, 25388, etc., este paso fue importante pues, de otro modo al revisar el reporte de triangulación de la orthobase no hubiera sido posible identificar a que imagen correspondieron los resultados que este presentó.
- En la columna que corresponde a “Description”, se escribieron notas importantes respecto a cada imagen, como por ejemplo la fecha de captura de la imagen.
- La columna que tiene el símbolo “>”, indica qué imagen del grupo esta activa.
- La columna “Image Name” muestra el directorio de ubicación de cada imagen, cuando esta dirección esta completa, la columna de “Online” se muestra en color verde.
- La columna “Active” muestra con una “X” si la imagen esta activada para ser procesada, esta columna es útil si luego se decide rechazar alguna imagen en el proceso.

Las siguientes columnas corresponden a los procesos que se debe llevar a cabo con el fin de obtener las ortofotos y se describen brevemente a continuación.

- La columna “Pyr”, para procesar las capas piramidales.
- La columna “Int”, que muestra el estado del proceso de Orientación Interna de cada imagen.
- La columna “Ext” indica el proceso de Orientación Externa.
- La columna “DTM”, muestra si el proceso de obtención de los DTM's se llevo a cabo con éxito.
- La columna “Ortho” muestra si el proceso de realización de las ortofotos se completó.
- Finalmente, la columna “Online” que permite ver si las imágenes están disponibles para el proceso, esta es necesaria, ya que el programa trabaja con archivos que no necesariamente se encuentran ubicados en el mismo archivo que el archivo de procesamiento.

5.2.1.1.2. Para los datos sin certificados de calibración disponibles

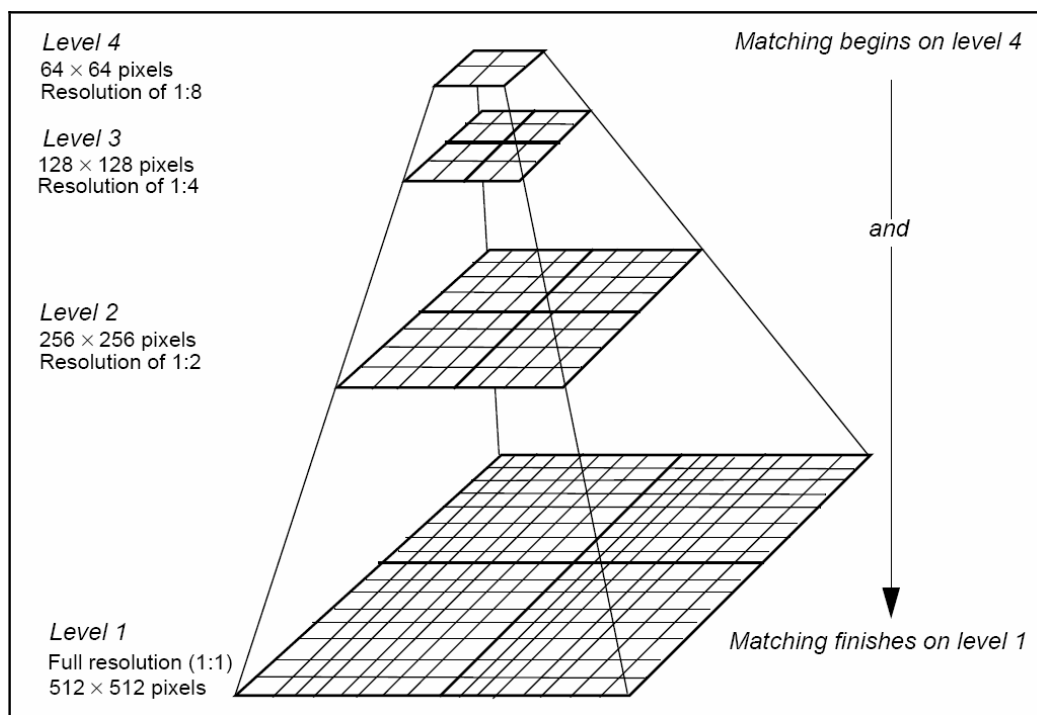
Los procesos llevados a cabo para la creación del proyecto de ortobase en el caso de la información de la que no se tienen datos de calibración de la cámara no difieren sustancialmente de los procedimientos descritos para el caso contrario, tales como crear el proyecto dándole una ubicación al archivo, pero si lo hicieron al definir el tipo de dispositivo utilizado para la captura de imágenes, en la que se escogió un tipo de dispositivo digital (refiérase a la figura 5.5) y por consiguiente no fue requerida la orientación de las marcas fiduciales ni sus coordenadas, ni los datos para la corrección de la distorsión de los lentes de la cámara. Posteriormente fue necesario definir la proyección, las unidades, la información específica de la cámara tal como se hizo anteriormente.

5.2.1.2. Cálculo de capas piramidales

El propósito de la generación de las capas piramidales fue acelerar los procesamientos y preservar los contenidos de las imágenes a través de generar la representación de una imagen varias veces pero reduciendo la resolución espacial en cada capa, de modo que cada nivel de la piramidal contiene la imagen a una resolución particular, un esquema de lo explicado se puede observar en la figura 5.19 (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002).

Este proceso se llevó a cabo de igual manera en todos los casos, por lo que no es necesario más que un detallamiento general del mismo.

Figura 5.19 Esquema de las piramidales.



Fuente: Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002.

5.2.1.2.1. Proceso

Para llevar a cabo este proceso se seleccionó la opción "Compute Pyramid Layer", del menú "Edit" (ver figura 5.20), luego se definió que imágenes se calcularían, para el caso, se procesó a todas por lo que se seleccionó la opción

“All Images Without Pyramids” como se muestra en la figura 5.21, al finalizar, la columna “Pyr” se visualizó de color verde (Erdas “Imagine Orthobase User’s Guide”, 2002).

Figura 5.20 Obtención de piramidales

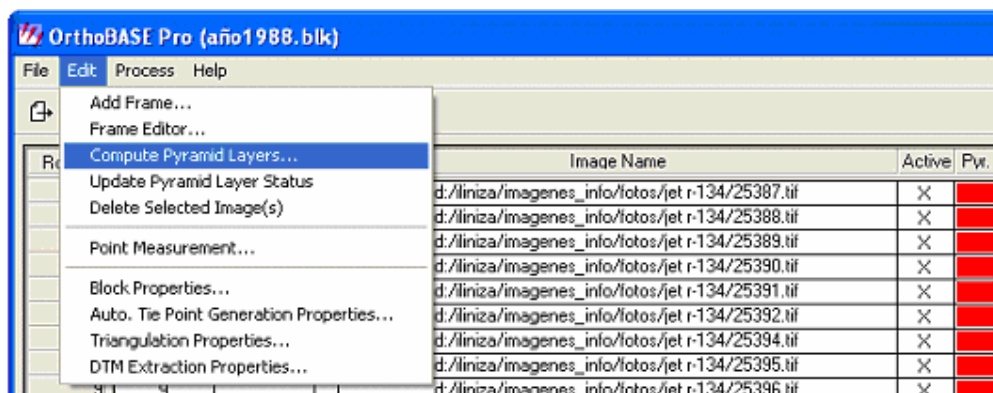
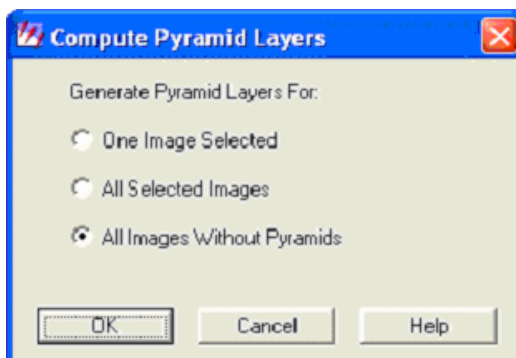


Figura 5.21 Piramidales



5.2.1.3. Orientación interna

La orientación interna es un proceso que define la geometría de la cámara o del sensor utilizado en el momento de la captura de fotografías, las variables asociadas con el espacio de la imagen son definidas durante el proceso de definir la orientación interna, dichas variables son: el punto principal, la distancia focal, las marcas fiduciales y la distorsión de las lentes (ver figura 5.22) (Erdas “Imagine Orthobase User’s Guide”, 2002).

Por medio de este proceso se transformó el sistema de coordenadas del píxel de la imagen al sistema de coordenadas del espacio de la imagen (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide Pág. 52", 2002).

Además, la orientación interna se define como "La reconstitución del haz de rayos perspectivas a partir de la fotografía" (S.S.P.O., 1976) dado que para la generación de los modelos estereoscópicos no es directamente la fotografía lo mas importante sino el haz de rayos que al pasar por el centro perspectivo de la cámara fotográfica en el momento de la exposición le dieron origen tal como se muestra esquematizado en la figura 5.23 (S.S.P.O., 1976).

Luego se procedió a medir las marcas fiduciales en la imagen para posteriormente compararlas con la posición calibrada de la cámara para obtener una solución. Una vez que estas marcas fueron medidas, se utilizó una transformación afín en 2D para determinar el origen del sistema de coordenadas de la fotografía.

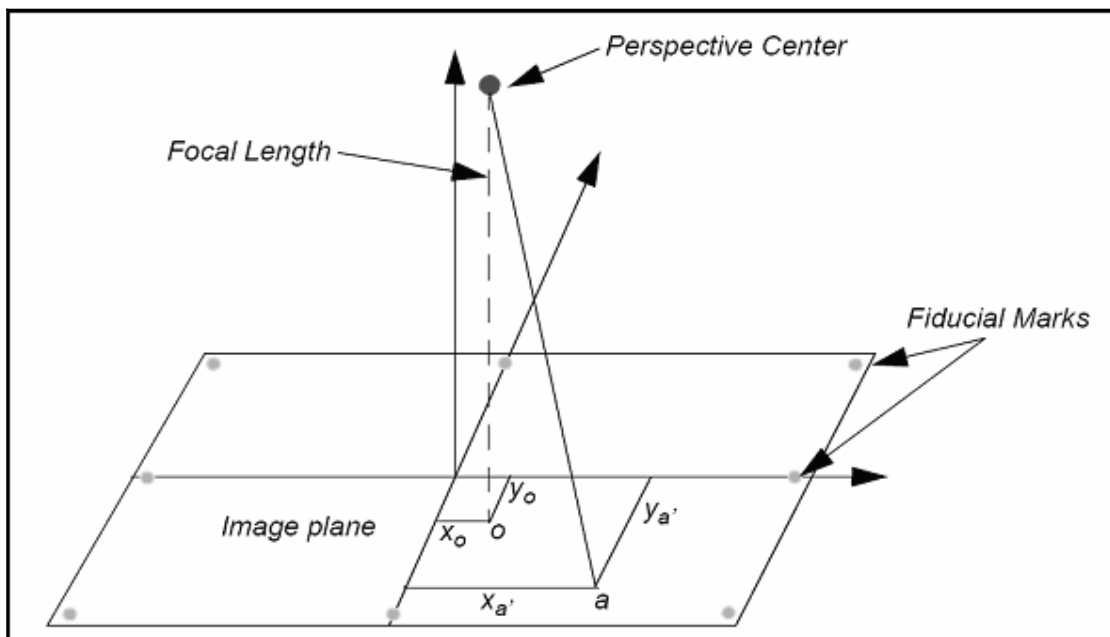
Este último elemento, el origen del sistema de coordenadas, define la ubicación en la imagen del punto en el cual el eje óptico se interseca con el plano de la imagen.

Una vez que el sistema de coordenadas de la fotografía fue definido, cada medida subsecuente de la imagen fue referida a ésta (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\frame_editor_camera.htm).

Para todas las ortobases se observó que el RMSE fuera menor a 0.5 píxeles, si esto se cumplía, se continuaba con el proceso.

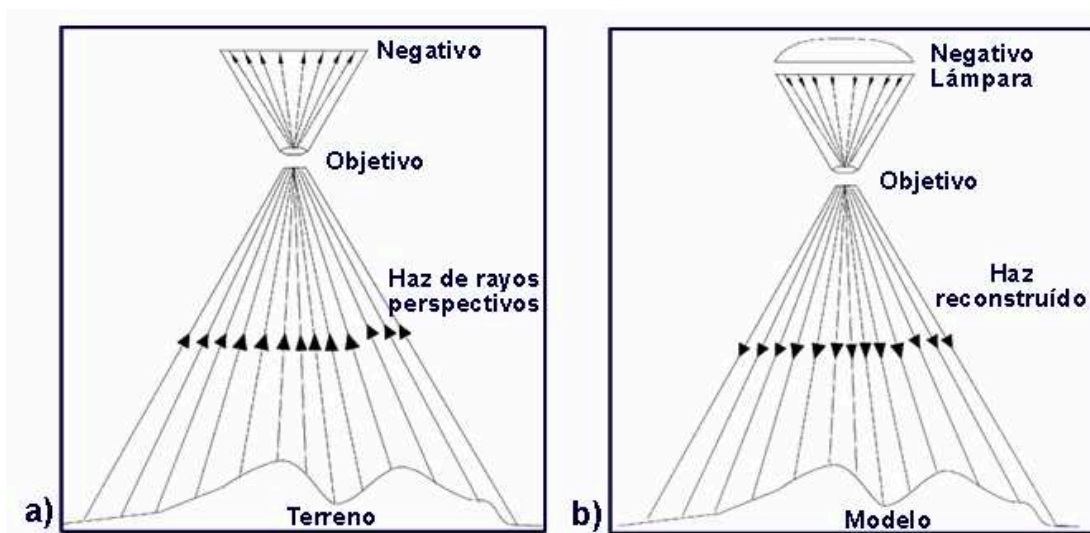
Nota: Es importante mencionar que los datos de la cámara se guardan con extensión "*.cam".

Figura 5.22 Geometría Interna



Fuente: Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002).

Figura 5.23 Reconstrucción del haz de luz.



Fuente: S.S.P.O. Formación del modelo – Orientación Relativa, 1976.

5.2.1.3.1. Para los datos con información de calibración

El proceso para definir la orientación interna empezó al activar la opción "Frame Editor..." desde el menú "Edit", el acceso a esta herramienta se puede observar

en la figura 5.20, lo que permitió ir a otro cuadro de diálogo como el mostrado en la figura 5.24 en el cual se pueden ver tres lengüetas, en la primera “Sensor” se muestra la identificación de la foto, abajo, el tipo de cámara ya definido anteriormente y el siguiente requerimiento “Nombre del sensor (Sensor Name)” que por defecto en el programa se presenta como “default wild”. Para definir este punto se acciona el botón “Edit” con el que se pasa a un siguiente cuadro de diálogo (ver figura 5.25). Estos datos requeridos en este último cuadro, “Información de la cámara (Camera Information)”, se llenan con la información proporcionada por los certificados de calibración de las cámaras con las que se tomaron las fotografías (ver Anexo B-3). Los datos referidos son los siguientes: la distancia focal (Focal Lengt), los puntos principales (Principal Point x_0 y Principal Point y_0) que están detallados en los certificados de calibración proporcionados por el IGM, donde, x_0 y y_0 son los “Principal Point of Autocollimation” – PPA (ver figura 5.25), en la figura del ejemplo se define la siguiente información.

- Nombre de la cámara: “WILD”
- Descripción: “año1988”
- Focal Length (mm): 153.0000
- Principal Point x_0 (mm): 0.0000
- Principal Point y_0 (mm): -0.0030

Figura 5.24 Editor de la imagen.

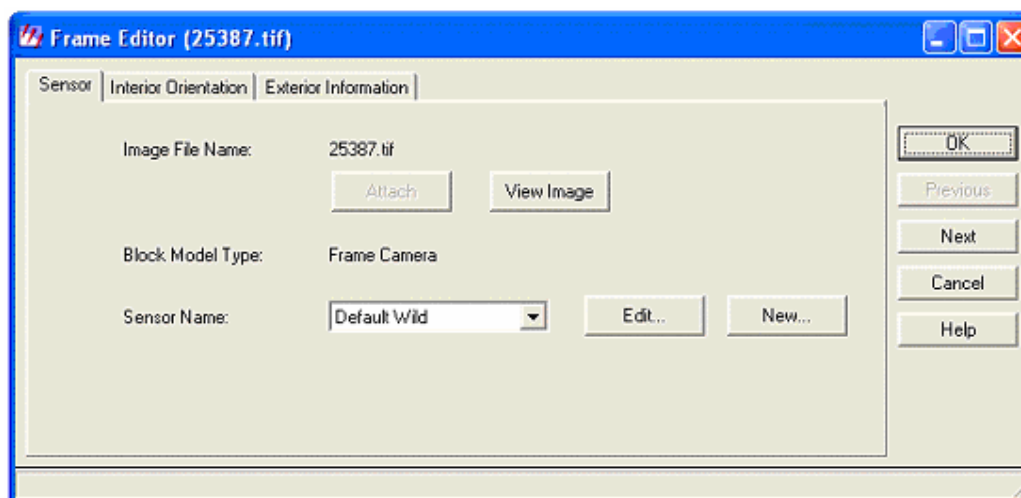
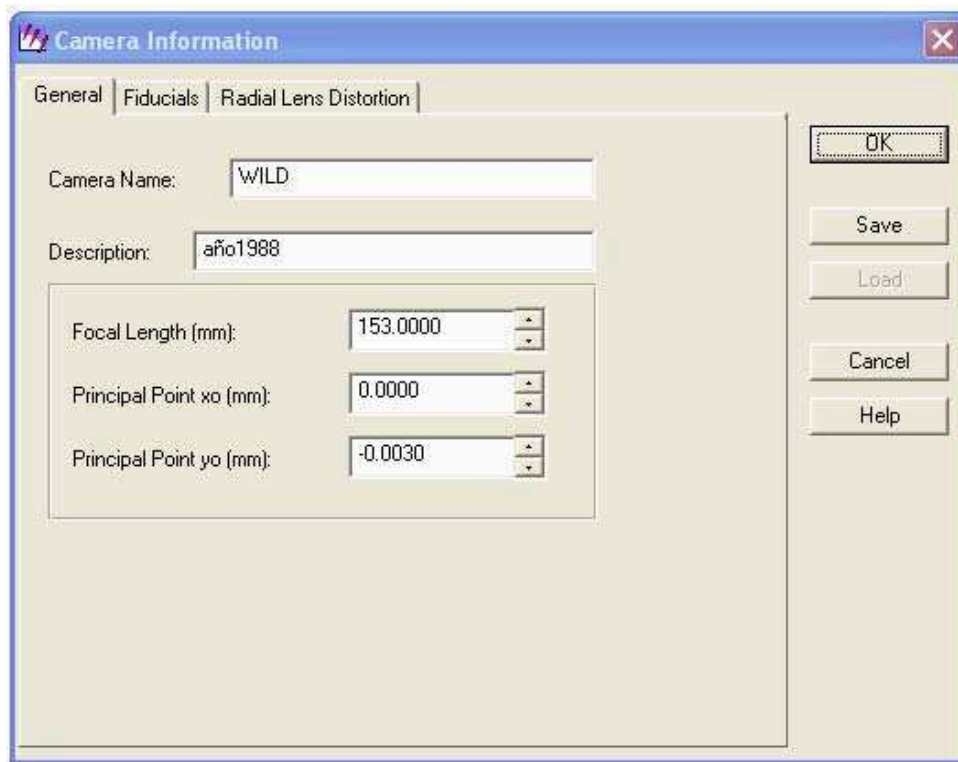


Figura 5.25 Información de la cámara para el bloque correspondiente a 1988.

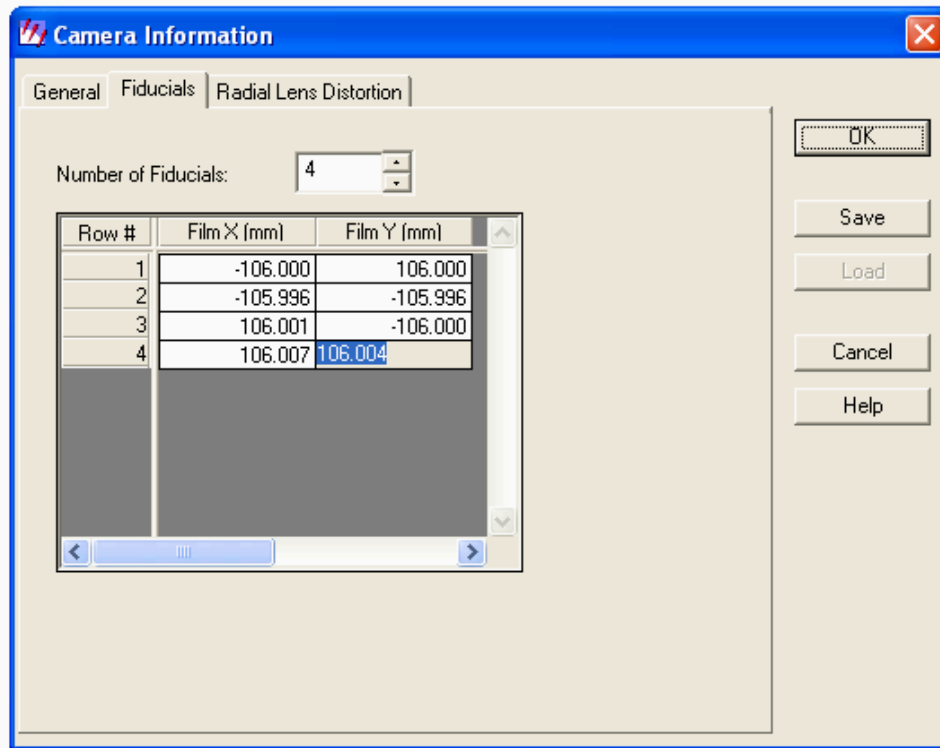


En la siguiente lengüeta, llamada “Fiducials”, se ingresa el número de marcas fiduciales de la cámara y sus coordenadas X e Y como se muestra en la figura 5.26.

Luego, en la lengüeta, “Radial Lens Distortion” o Distorsión Radial del lente. Primeramente se aceptó una de las siguientes opciones que definían la técnica mediante la cual se calculó la distorsión: “Radial Distance in Millimeters” y “Field Angle in Decimal degrees”, esta información se encuentra en el certificado de calibración de la cámara (ver Anexo B-3). Con el botón “Add Point” se aumentan celdas para permitir llenar los datos de información de las distorsiones radiales, el botón “Delete Point” elimina filas cuyos valores fueran incorrectos, el botón “Calculate Coefficients” calcula los coeficientes de la distorsión K_0 , K_1 y K_2 que corrigen la distorsión en cada medición sobre la imagen, la explicación anterior se muestra en la figura 5.27 (IMAGINE

8.6\help\html\orthobase\camera_information.htm y Erdas “Imagine Orthobase User’s Guide”, 2002).

Figura 5.26 Coordenadas de las marcas fiduciales



Las filas que se llenaron en el cuadro de la información de la cámara son: “Radial Distance” y “Distortion”, y luego, al haber calculado los coeficientes, se desplegaron los valores de una tercera fila, “Residual”, que está dimensionada en micrones y muestra los valores residuales que indican el grado en el que los valores de distorsión radial corresponden a la distorsión radial de la lente del modelo (ver figura 5.27) (Erdas “Imagine Orthobase User’s Guide”, 2002).

Cuando se finaliza el proceso anterior, se cierra automáticamente el cuadro de diálogo regresando al cuadro de diálogo mostrado en la figura 5.24 pero con la diferencia de que este ya mostró los valores correctos para el proyecto actual.

Como siguiente paso, se procedió a realizar la Orientación Interna de cada fotografía. Este proceso continua en el mismo menú “Frame Editor” como se muestra en la figura 5.28 en la lengüeta “Interior Orientation”.

Figura 5.27 Datos de distorsión radial correspondientes a la cámara RC10 15 UAG II 3080 utilizada tanto en el año de 1986 como 1988.

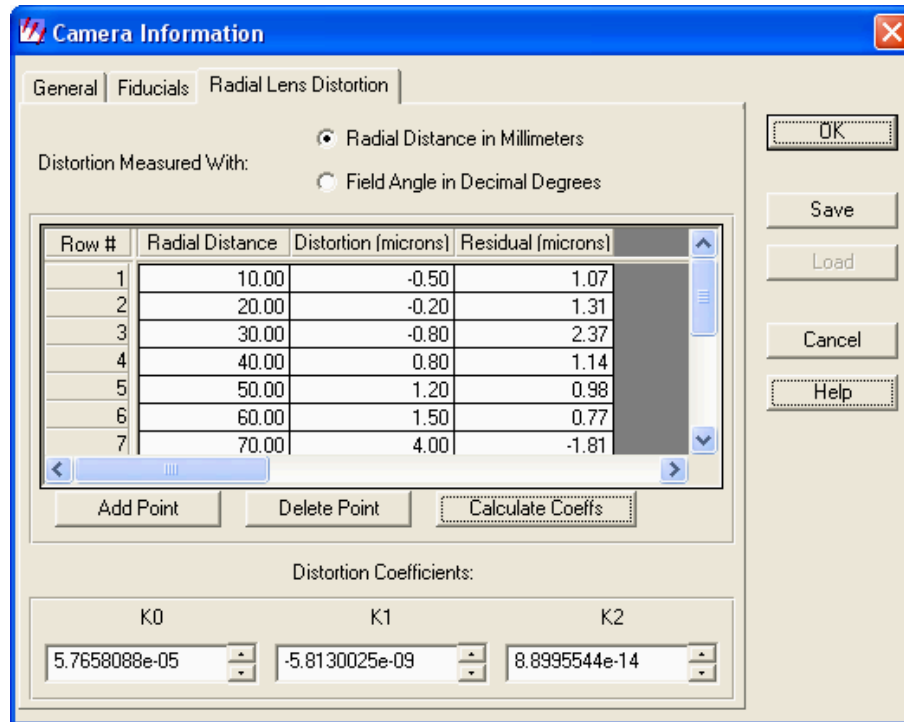
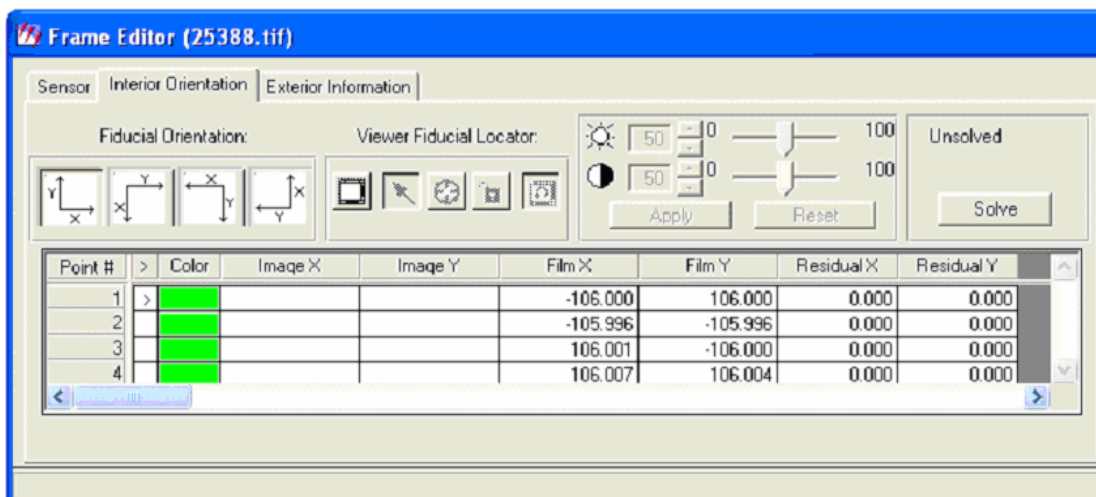


Figura 5.28 Editor de imágenes

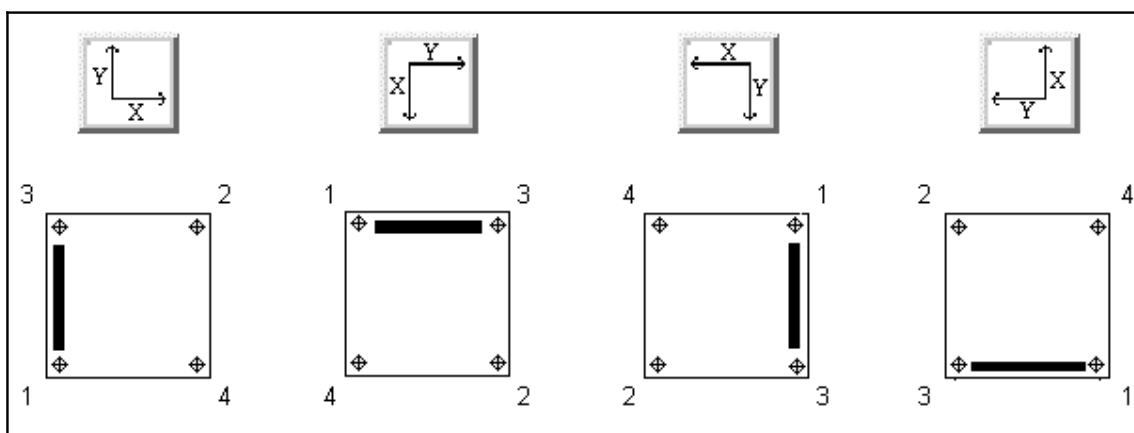


Para la orientación interna se defini6 primeramente la correcta orientaci6n fiducial para obtener una soluci6n aerofotogram6trica.

Para esto se se6ala la orientaci6n adecuada (X, Y) como se muestra en la figura 5.28.

Para que sea posible la definici6n de esta orientaci6n es necesario observar las indicaciones en el borde del clis6 de las fotograf1as y de acuerdo a esto comparar los resultados con la informaci6n contenida en los certificados de calibraci6n mostrados en el Anexo B-3 como se muestra en la figura 5.29, en esta figura, los peque6os rect6ngulos negros representan las indicaciones del borde del clis6.

Figura 5.29 Orientaci6n fiducial



Fuente: IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\frame_editor_camera.htm

Una vez definida la orientaci6n fiducial se procedi6 a ubicar las marcas fiduciales de las fotograf1as teniendo en consideraci6n que los valores de residuales de cada marca fueran menores a 0.5 p1xeles, estos valores se muestran en la ventana correspondiente al editor de im6genes "Frame Editor" en las columnas "Residual" para X y para Y.

Para llevar a cabo este procedimiento se requirió utilizar la herramienta “Localizador fiducial” que despliega las aerofotografías en un viewer mostrada en la figura 5.30.

Figura 5.30



Esta herramienta permite visualizar la imagen de la fotografía en 3 subcuadros o grupo de vistas, una vista en la parte superior izquierda que permite observar la fotografía completa y que da la facilidad de encuadrar la zona requerida en un cuadro móvil que puede ser agrandado o reducido de acuerdo a la necesidad, el contenido de este cuadro es mostrado en el segundo cuadro, que es el mas grande a la izquierda, este último muestra la zona encuadrada en el primer recuadro con mayor detalle que el primero y también permite ubicar una tercera zona de interés del mismo modo que se realizó anteriormente y que se muestra en una tercera ventana, para este caso se requirió encuadrar el punto central de la marca fiducial, lo dicho anteriormente se muestra en la figura 5.31.

Para llevar a cabo el proceso de ubicar las marcas fiduciales se utiliza la herramienta mostrada en la figura 5.32, y cabe señalar que luego de haber ubicado dos marcas fiduciales con la mayor precisión posible el programa es capaz de ubicar aproximadamente la tercera y cuarta marca fiducial, reduciendo el tiempo empleado en determinarlos manualmente.

Figura 5.31 Ventanas que permiten ubicar las marcas fiduciales.

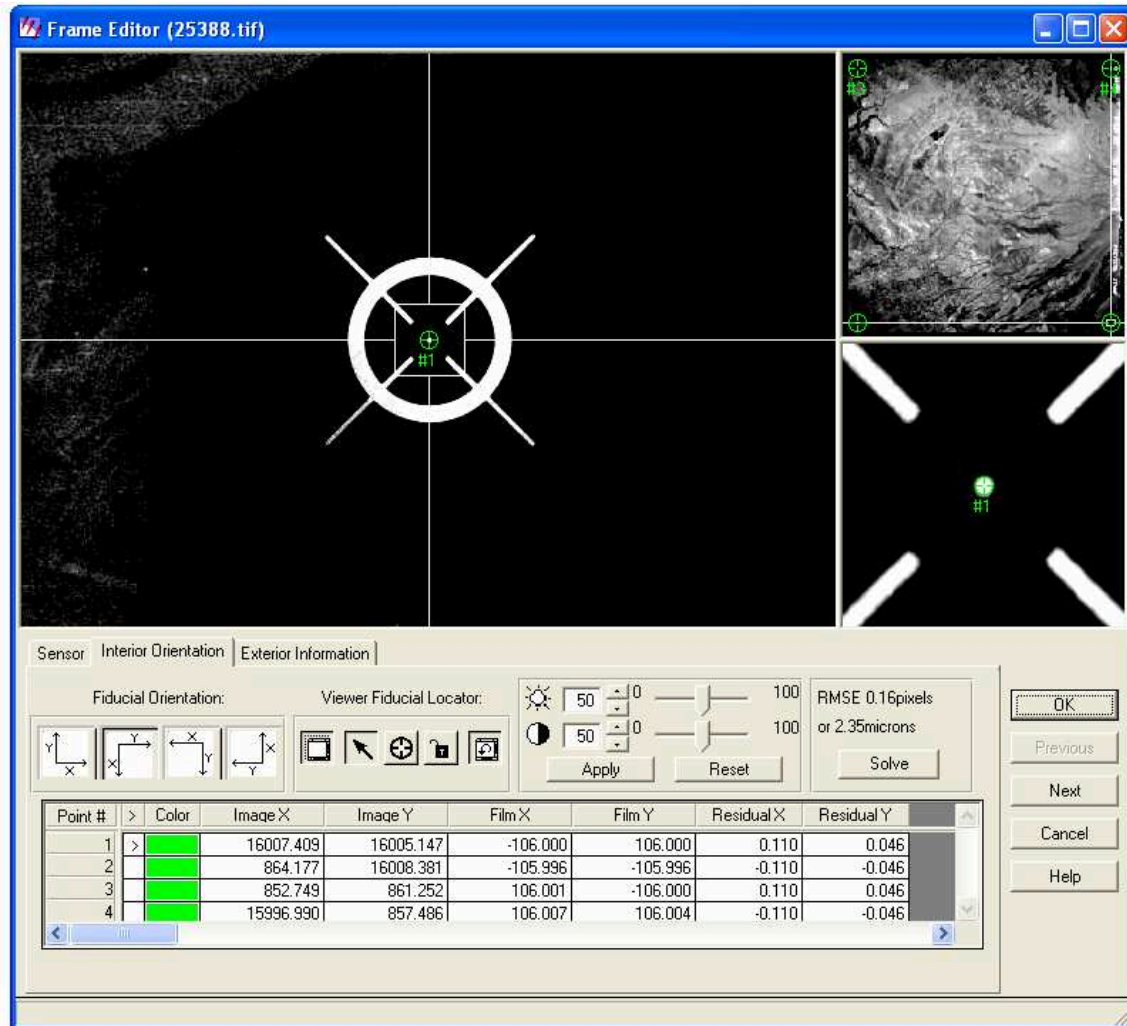


Figura 5.32



5.2.1.3.2. Para los datos sin información de calibración

Para estas imágenes fue necesario inicialmente abrir cada imagen en un "Viewer" de ERDAS como se ve en la figura 5.33, para acceder, a través del botón "información" mostrado en la figura 5.34, a los datos concernientes a la imagen, para este caso, el requerimiento era el tamaño de píxel o "Pixel Size" que se muestra en la figura 5.35 y también corroborar las unidades en que se mostró la misma información.

Figura 5.33 Viewer

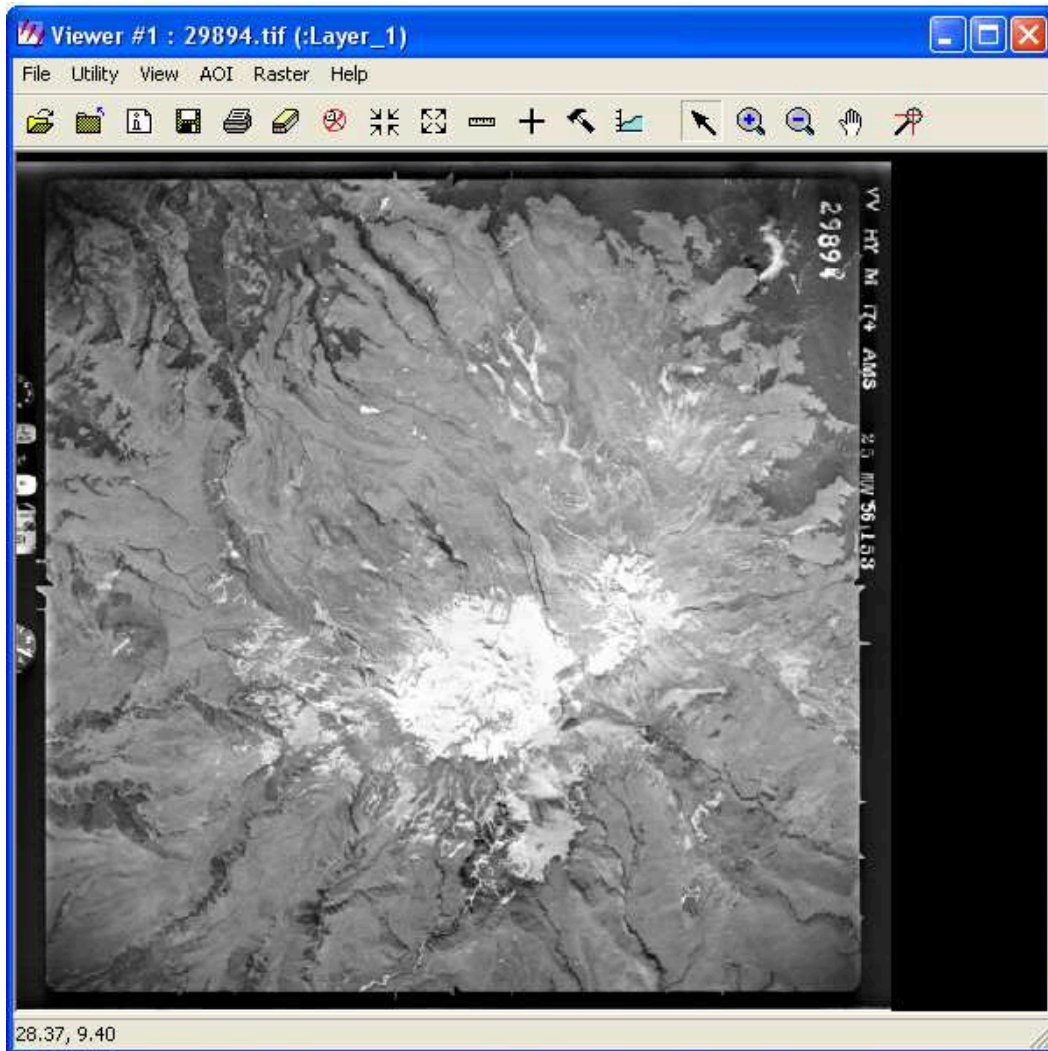
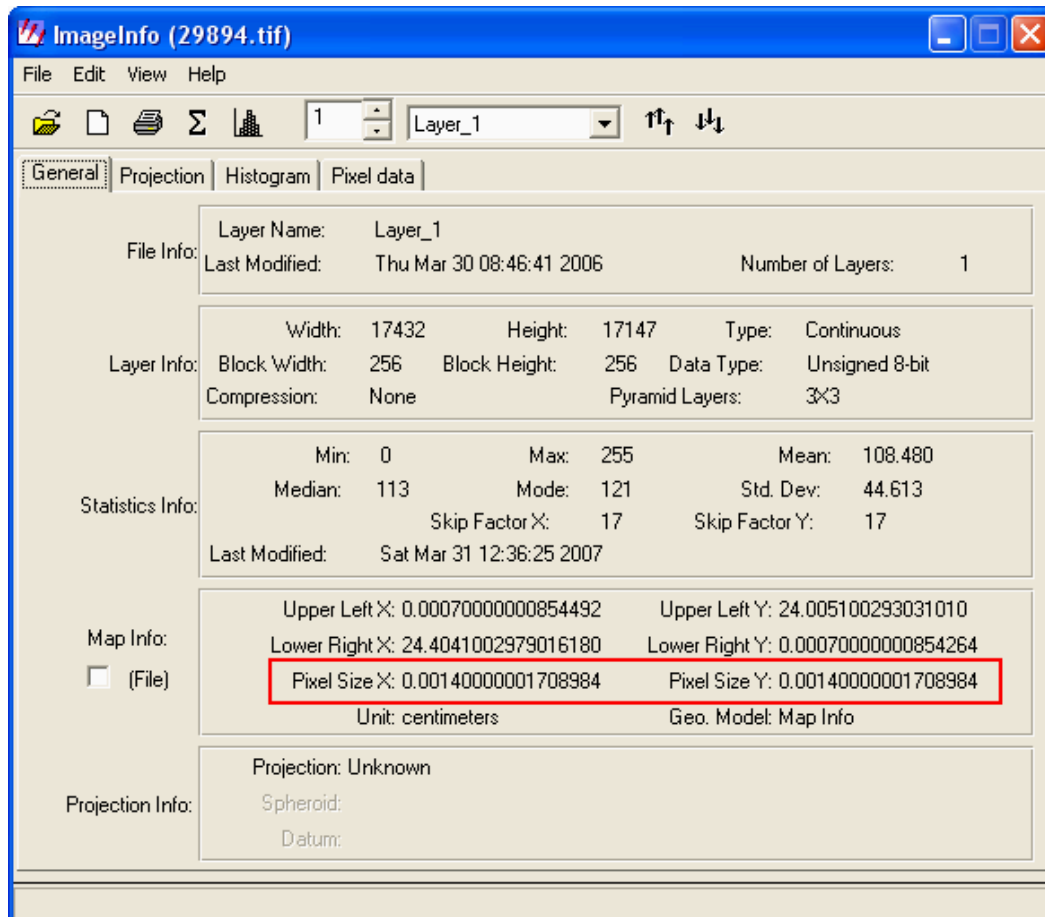


Figura 5.34



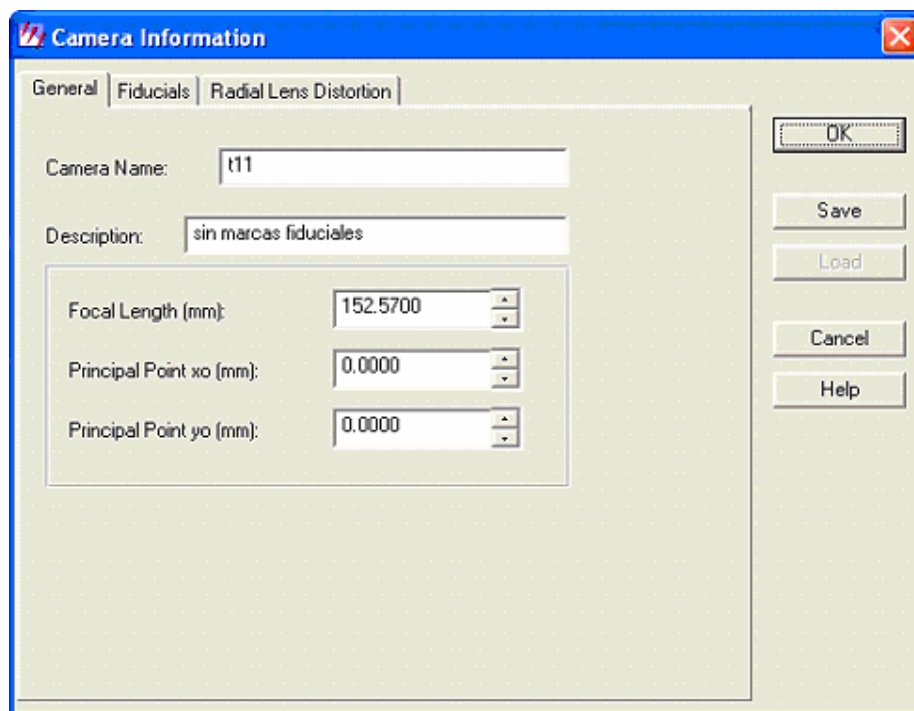
Figura 5.35 Información del tamaño del píxel



Posteriormente se definieron las características de la cámara utilizada, para lo que se trabajó desde el diálogo "Frame Editor" mostrado en la figura 5.24. Para éste caso en la lengüeta "General", la descripción de la cámara constó del nombre de la cámara, una descripción "sin marcas fiduciales", y una distancia focal, determinada de 152.57 mm, tomada de los álbumes del almacén de ventas del IGM.

La información de puntos principales no fue llenada puesto que para una cámara digital no son requeridos (ver figura 5.36). Para la lengüeta “Fiduciales” no se requiere información como se puede ver en la figura 5.37 y para la lengüeta “Radial Lens Distortion” solo se revisó que la opción “Radial Distance in Milímetros” estuviera activada como se muestra en la figura 5.38.

Figura 5.36 Información general de la cámara



The image shows a software dialog box titled "Camera Information" with a blue header bar and a close button (X) in the top right corner. The dialog has three tabs: "General", "Fiduciales", and "Radial Lens Distortion". The "General" tab is selected. Inside the dialog, there are several input fields and buttons:

- Camera Name:** A text box containing "t11".
- Description:** A text box containing "sin marcas fiduciales".
- Focal Length (mm):** A numeric input field with a value of "152.5700" and up/down arrow buttons.
- Principal Point xo (mm):** A numeric input field with a value of "0.0000" and up/down arrow buttons.
- Principal Point yo (mm):** A numeric input field with a value of "0.0000" and up/down arrow buttons.
- Buttons:** On the right side, there are five buttons: "OK", "Save", "Load", "Cancel", and "Help".

Figura 5.37 Marcas Fiduciales

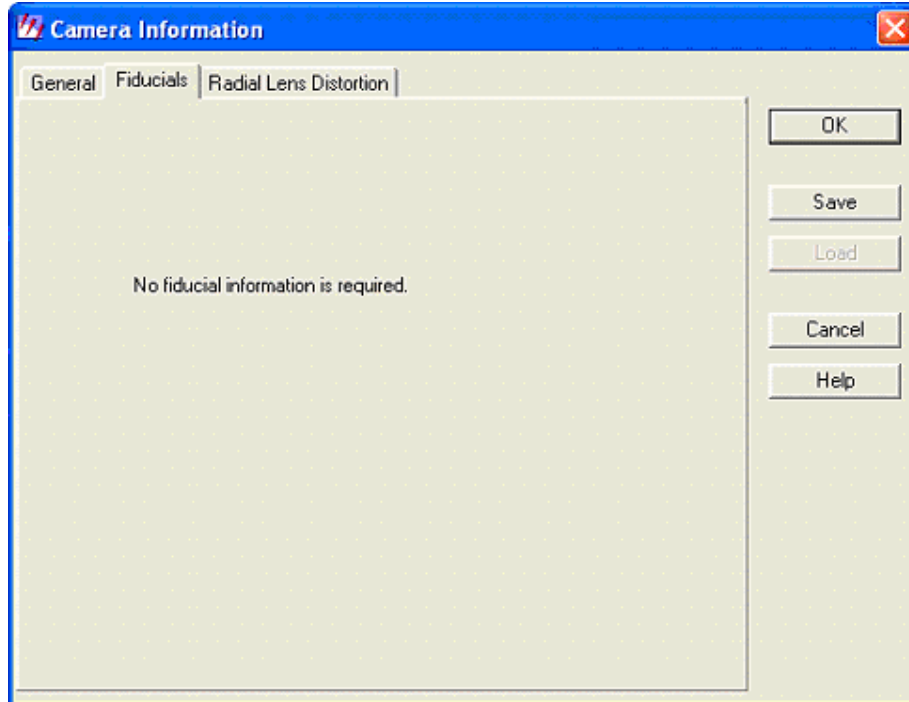
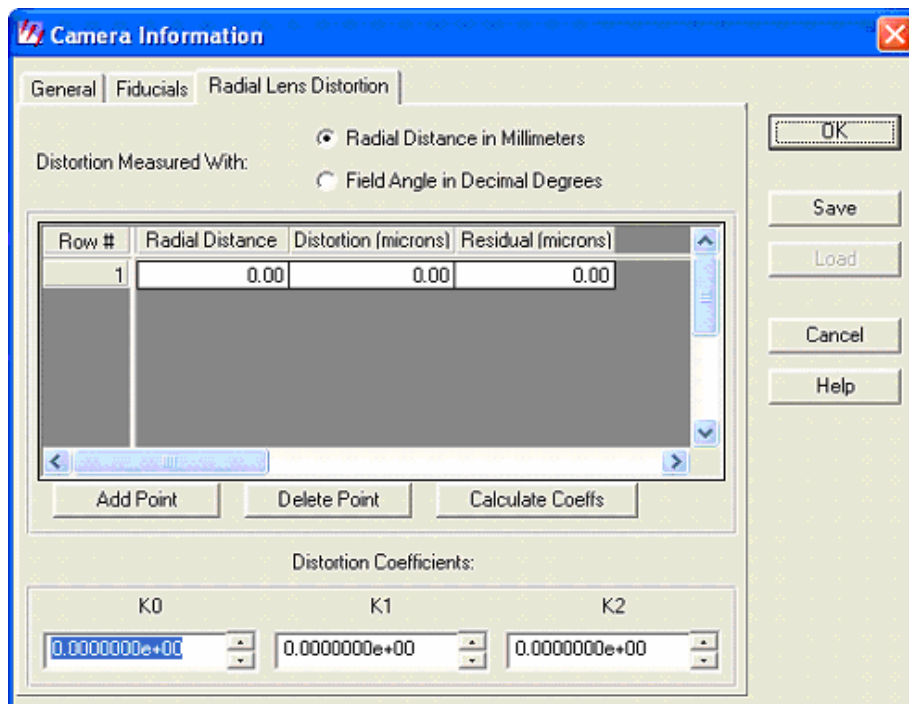


Figura 5.38 Distorsión radial del lente



A continuación se define la orientación interna, por lo que se recurrió al cuadro de diálogo “Frame Editor” del modo anteriormente mostrado en la figura 5.20.

Al observar esta ventana se puede comprobar que se tiene especificada una cámara de tipo digital, lo que se puede observar en la figura 5.40, por lo que se pasa a la lengüeta “Interior Orientation”, en la cual se debió definir el tamaño del píxel tanto para la dirección X como Y, para el caso es de 14 micrones como se observa en la figura 5.40, éste último dato es el anteriormente obtenido con la herramienta “Información” (ver figura 5.35).

Figura 5.39 Definición del sensor

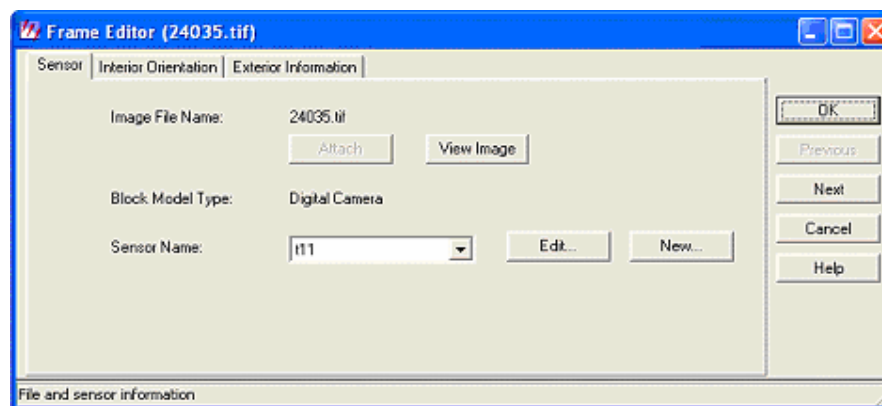
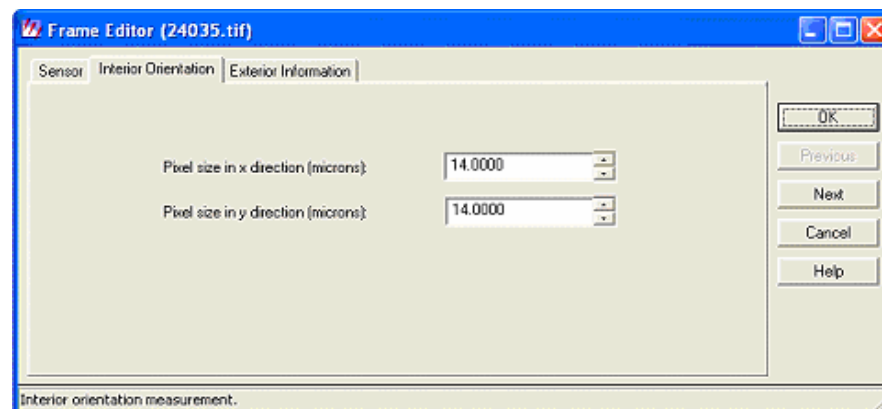


Figura 5.40 Orientación interna



Al haber finalizado el proceso de Orientación Interna, el programa presenta la columna "Int" mostrada en la figura 5.18 de color verde representando que el proceso concluyó.

5.2.1.4. Orientación externa

La orientación exterior es un proceso mediante el cual se configura la posición y la orientación angular de la cámara que capturó una imagen.

Las variables que definen esta orientación son a su vez sus elementos, y determinan las características asociadas con la imagen en el momento de la captura, tales como su posición original y su orientación.

Los elementos posicionales de la orientación exterior, X_o , Y_o , y Z_o , definen la posición del centro de perspectiva (O) respecto al sistema de coordenadas del terreno X, Y, Z. Donde Z_o representa la altura de la cámara sobre el nivel del mar y que normalmente es un dato (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002).

Para realizar este proceso con las aerofotografías de los años 1956, 1963, 1986 y 2000 se utilizaron los PC obtenidos a partir del bloque de 1988 al haber concluido el proceso de triangulación y haber obtenido los pares estereoscópicos.

Este proceso se detalla en la sección 5.2.1.5.2.

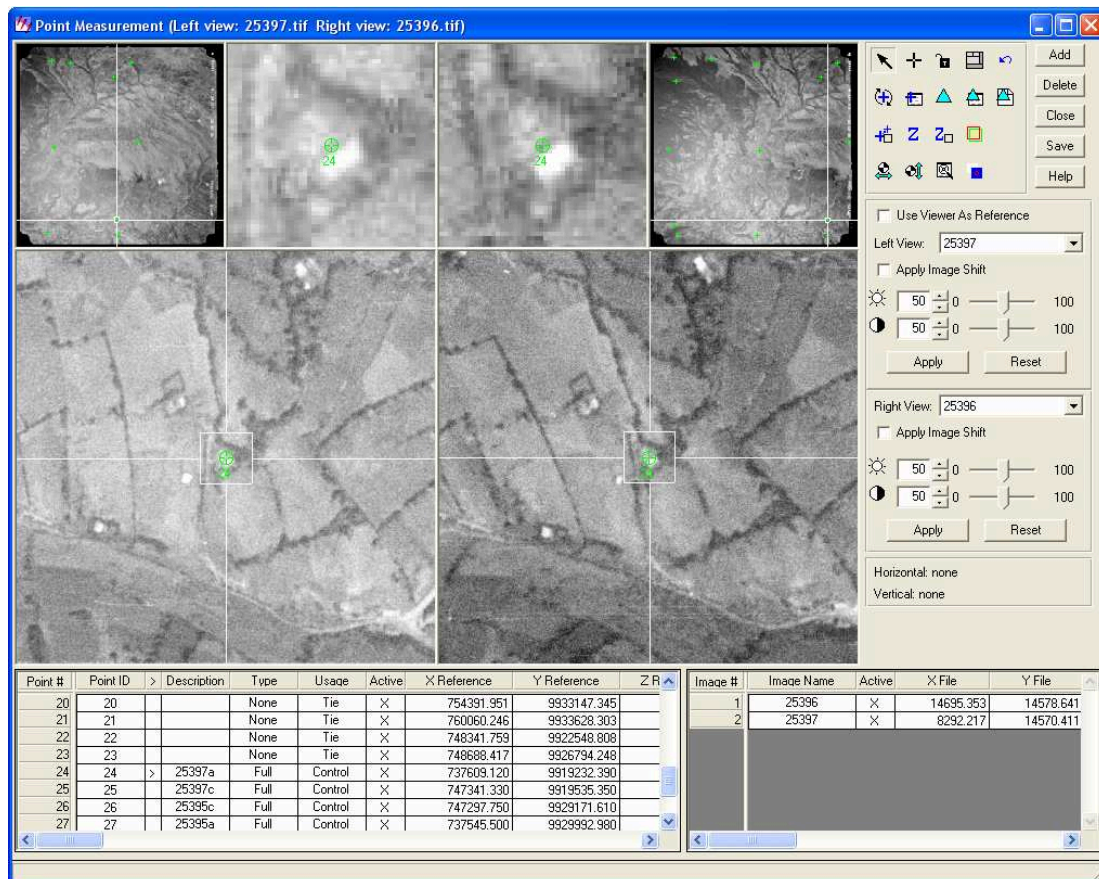
5.2.1.4.1. Proceso

Mediante la herramienta "Point Measurement" mostrada en la figura 5.41 que se encuentra en el cuadro de diálogo "OrthoBASE Pro" mostrado en la figura 5.18, se accede a la ventana mostrada en la figura 5.42, en este espacio se colocan tanto los PE, los PP y los PC para la formación del modelo estereoscópico, el modelo antes mencionado es producto de la superposición de dos aerofotografías, por consiguiente se forma en una zona que cubre alrededor del 60% de una aerofotografía.

Figura 5.41 Herramienta para la medición de puntos.



Figura 5.42 Ventana de aplicación para la medición de puntos.



La ventana correspondiente a la herramienta “Measure Control” permite visualizar las dos imágenes que se enlazarán para formar un modelo, en dos grupos de ventanas, una derecha y una izquierda, cada una de las cuales presenta tres opciones de visualización, la primera que corresponde a la fotografía completa (Over View), la segunda que permite observar una zona previamente definida en

la ventana anterior (Main View) con un cuadro ajustable, y la tercera que permite tener un acercamiento mayor para la definitiva colocación del punto (Detail View). Para tener una mejor comprensión de la descripción anterior se puede observar la figura 5.43.

Además existen dos subcuadros que corresponden a las coordenadas de referencia y las coordenadas del archivo (ver figura 5.43).

El primero que gracias a un conjunto de columnas enumera automáticamente los puntos colocados, permite ingresar una descripción sobre cada punto en la columna "Description", luego en la columna "Type" permite definir el tipo de punto que fue colocado, las opciones entre las que se pudo seleccionar fueron: "Full", son PC con coordenadas en X, Y y Z; "Horizontal" que son PC o de chequeo o revisión con coordenadas en X y Y ya que la coordenada en Z es desconocida y "Vertical" que son PC o de chequeo con coordenadas únicamente en Z ya que las coordenadas en X y Y son desconocidas y para los PE la opción es "None" y cuyas coordenadas en X, Y y Z se estiman durante la triangulación.

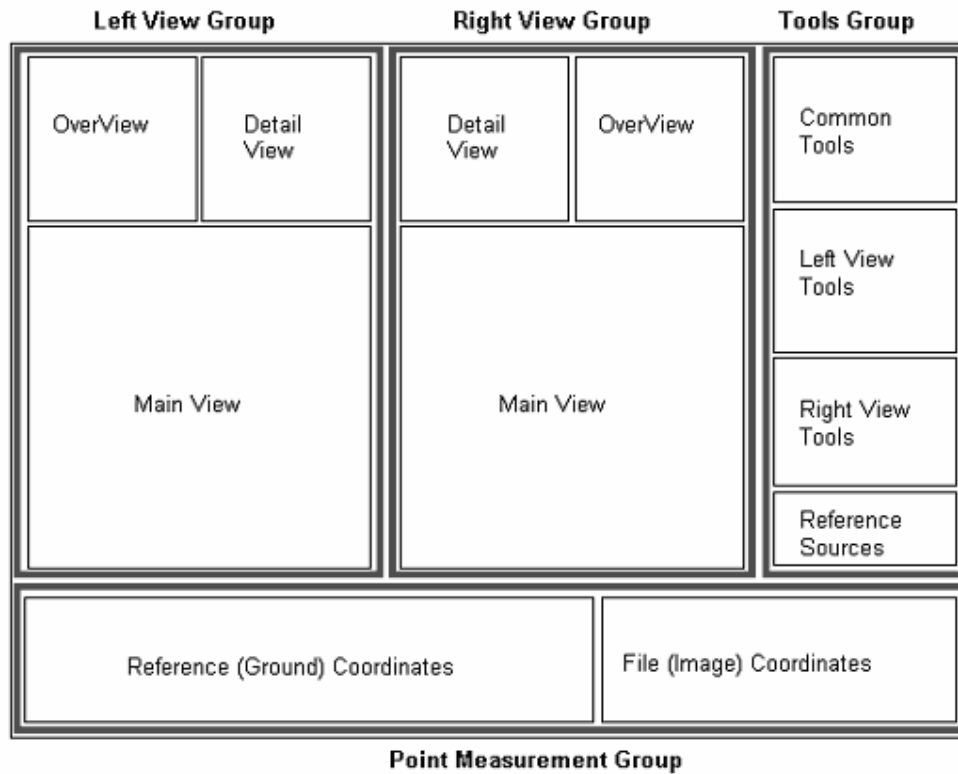
La columna "Usage" permite definir como el punto se utilizó, tanto para la triangulación como para la ortorrectificación, estas opciones pueden ser de control, de chequeo o de enlace.

La columna "Active" permite habilitar o deshabilitar los puntos colocados en la triangulación. Las columnas "X Reference, Y Reference y Z Reference" permiten ingresar las correspondientes en el caso de que el punto sea de control.

El segundo cuadro permite observar las imágenes del bloque, sean estas 2 o más, en las que se encuentra identificado el punto. También permite saber si estas están activas para el actual trabajo y conocer sus coordenadas en X e Y (ver figura 5.43).

Y finalmente la columna Tools Group, que es la que contiene las distintas herramientas con las que se lleva a cabo este proceso (ver figura 5.43).

Figura 5.43



Fuente: Erdas Imagine "Orthobase User's Guide", 2002

Al tener desplegada la nueva herramienta de trabajo, se identificó puntos comunes que existieran en la zona de traslapeo y se los marcó con la herramienta mostrada en la figura 5.46, preferentemente dispersos y tratando de repartirlos de modo que toda esta zona quede cubierta por los puntos. Los puntos que se colocaron son de dos tipos: los PP y los PE.

Es recomendable ubicar un mínimo de seis PP entre fotografías adyacentes como se puede ver en el esquema de la figura 5.45, en la cual el área sombreada corresponde a la zona de traslapeo, mientras que las cruces representan los PE que se visualizan con sus respectivos nombres.

Al tener correctamente identificados los PE se procedió a enlazar con estos las dos imágenes, para esto se utilizó la herramienta mostrada en la figura 5.45, la colocación de los puntos se realizó tanto en la vista detallada (Detail View) desplegada como en la vista principal (Main View), mas no en la sobrevista (OverView) esquematizada en la figura 5.44.

Es recomendable tratar de que aquellos puntos que se encuentren en el traslape entre una línea y otra sean al mismo tiempo PE con el objetivo de optimizar el tiempo empleado en esta tarea.

Los PC se debieron colocar de modo que se “equilibrara” cada bloque, pero a la vez manteniéndolos dentro de las zonas de los modelos. A modo de ejemplo, se los debió colocar como si se tratara de las patas del tablero de una mesa, no podían ser solo tres puntos, ya que en cualquier posición se hubiera obtenido un resultado perfecto; mientras que al tener cuatro o más PC, se corregía verdaderamente a los modelos.

En la figura 5.46 se puede observar que los PC se ubican en las esquinas más exteriores del bloque, entre zonas intersecadas, por lo que se cumplió con este requerimiento, además en la misma figura se observa a los PE y PP representados por un cuadrado, y los PC a su vez con un triángulo. Los PE, encerrados por un círculo, ubicados entre las dos líneas de aerofotografías representan a los PP.

Figura 5.44 Esquema del par de imágenes adyacentes.

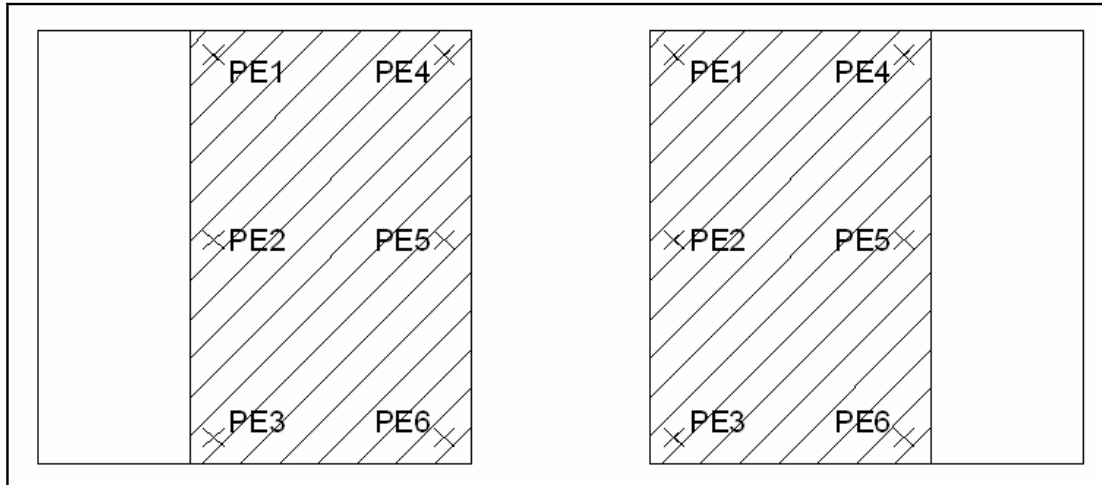
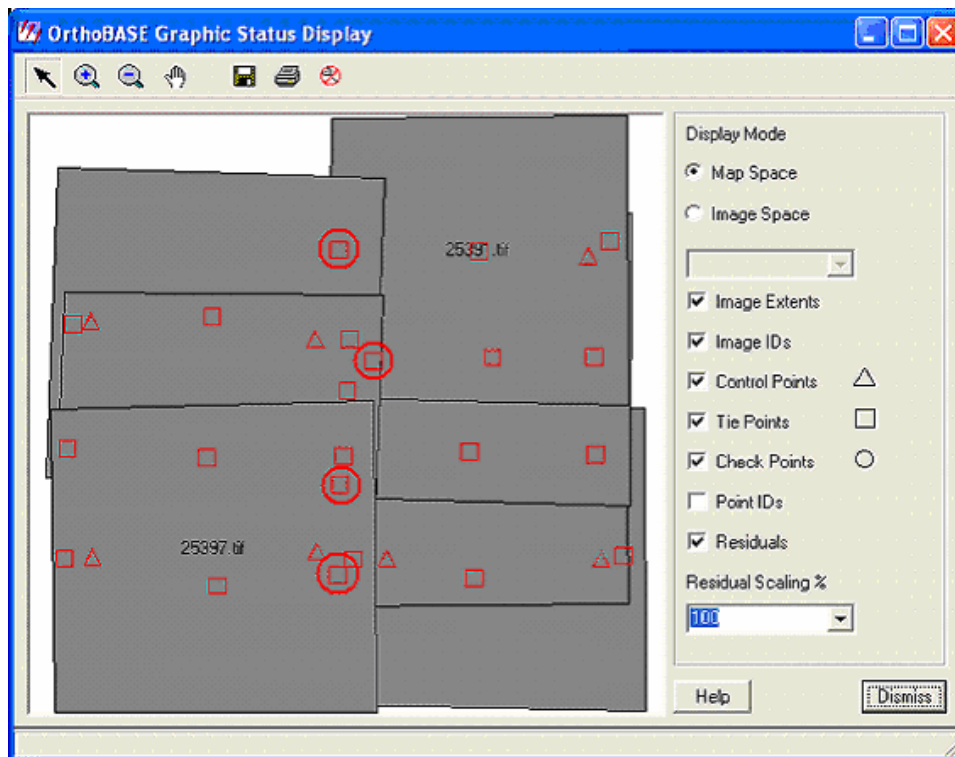


Figura 5.45



Figura 5.46 PP, PE y PC.



5.2.1.5. Aero-Triangulación

La triangulación es el proceso de definir la relación matemática que existe entre: las imágenes contenidas dentro de un grupo, el modelo de la cámara o sensor y el terreno; como resultado, se estima la posición de cada imagen en un bloque al momento de la captura de la imagen, las coordenadas de los PE y los parámetros de orientación interior. Una vez que la relación ha sido definida es posible crear imágenes exactas y además información geográfica concerniente a la superficie de la tierra. En el caso de que la información utilizada sea aerofotogramétrica la triangulación es llamada aero-triangulación (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002).

Como resultado de la aero – triangulación los bloques de fotografías aero - trianguladas son utilizadas para la generación de: pares estereoscópicos como el mostrado en la figura 5.58, recolección de detalles, determinación de puntos de alta precisión, extracción de DTM's y ortorrectificación (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002).

Adicionalmente, una vez que los ajustes se completan, el bloque de resultados de la triangulación incluye: parámetros finales de orientación exterior de cada imagen en un bloque y su exactitud, parámetros finales de orientación interior de cada imagen en un bloque y su exactitud, las coordenadas en X, Y y Z de los PE y su precisión, las coordenadas de los PC ajustadas y sus residuales, las residuales de las coordenadas de la imagen (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002).

5.2.1.5.1. Proceso

Para efectuar el proceso de triangulación se accedió a la herramienta correspondiente llamada "Triangulation Properties..." desde el menú "Edit". Esta herramienta desplegó un cuadro de diálogo como el que se muestra en la figura 5.20.

De modo que para continuar con el ajuste del proceso de aero-triangulación se definieron los campos descritos a continuación: la lengüeta "General" en la que

primeramente se definió el número máximo de iteraciones que se debían realizar con el fin de obtener la convergencia de los datos introducidos con un error mínimo.

Luego se definió el valor límite al que puede llegar el error, en este caso se definió un valor límite de 0.001 metros (ver figura 5.47), en el mismo cuadro se tuvo la opción “Compute Accuracy for Unknowns” (calcular la exactitud de los desconocidos), la que permitió calcular la exactitud de la orientación exterior, de las coordenadas del terreno, etc., pero para éste proyecto no fue tomado en cuenta debido a que este procedimiento se realiza en proyectos mayores a 100 imágenes.

Finalmente se debió definir la unidad en la que se debía presentar el reporte de resultados de la triangulación, que fueron milímetros para todos los bloques aero – triangulados, esto es mostrado en la figura 5.47.

En la lengüeta “Point”, que se muestra en la figura 5.48, se definió la desviación estándar asociada con las coordenadas de la imagen y el terreno, en el campo “Image Point Standard Deviations (pixels)” se determinó su valor para las coordenadas X e Y, este valor fue, por defecto, de 0.33 píxeles y definió la precisión de las coordenadas de la imagen, por lo tanto, si los valores fueron altos se reflejaron mediciones pobres o viceversa, si fueron bajos la calidad de las mediciones resultó alta.

En la sección “GCP Type and Standard Deviations (meters)” se definió la técnica utilizada para ponderar los PC, las opciones disponibles en el software correspondiente son: a) “Valores fijos (Fixed values)”, cuando los PC se consideran fijos, en este caso la desviación estándar no es necesaria; b) “Valores igualmente ponderadas (Same weighted values)”, en este caso, se considera el mismo valor de desviación estándar para las coordenadas X, Y, y Z; c) “Valores con distinta ponderación (Different weighted values)”, para aplicar diferente valor de desviación estándar a las coordenadas X, Y y Z (IMAGINE

8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm), la opción escogida para la aerotriangulación de todos los bloques de este trabajo fue “Fixed values”.

Figura 5.47

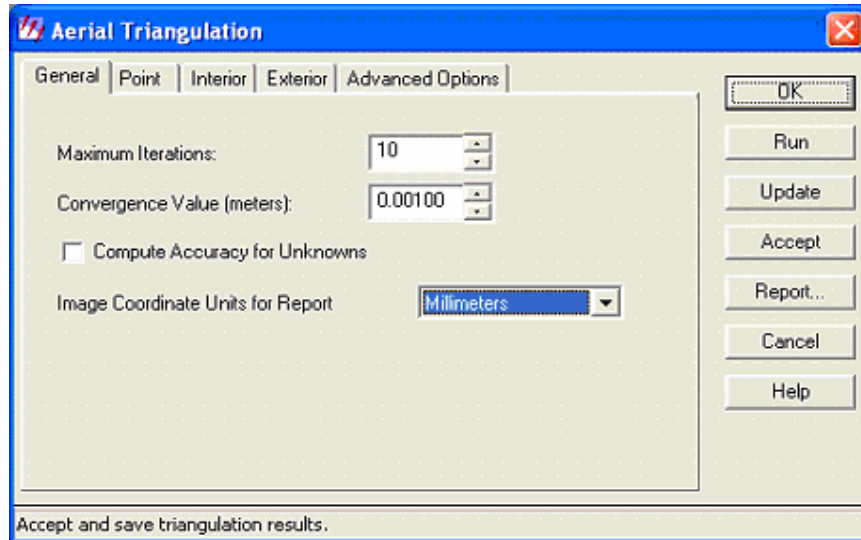
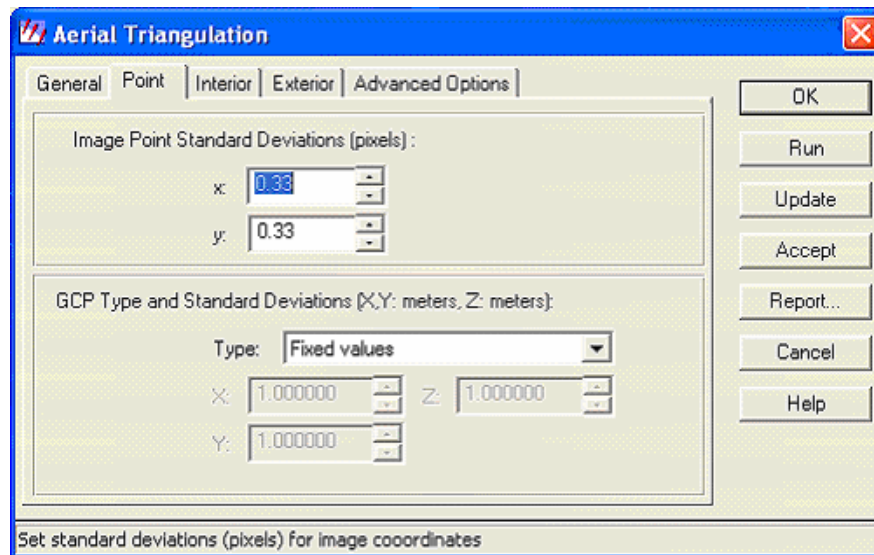


Figura 5.48



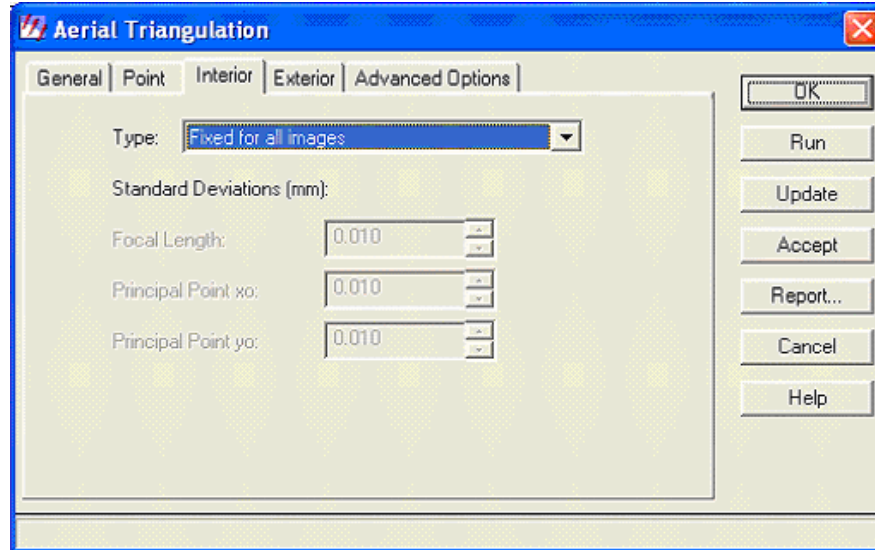
En la lengüeta correspondiente a la orientación interior, “Interior” (ver figura 5.49), se determinó el tipo de desviación estándar en milímetros para dicha orientación que junto con los ajustes especificados anteriormente en la orientación interior.

El programa ERDAS 8.6 utiliza para determinar los valores de distancia focal y punto principal.

Los tipos de desviación estándar que se tiene a disposición son: “Fija para todas las imágenes (Fixed for all images)”, utilizada cuando la distancia focal y los valores de punto principal pueden fijarse para la aero – triangulación, para este caso no se requiere desviación estándar, el resto de campos bajo este se deshabilitan y no se procede a llevar a cabo una auto – calibración, cabe señalar que esta opción se aplica a la mayoría de imágenes capturadas por cámaras métricas como en éste caso; “Iguales correcciones ponderadas para todas las imágenes (Same weighted corrections for all)”, se selecciona esta opción si los parámetros de orientación interna, tales como distancia focal y puntos principales X_o y Y_o , son los mismos para cada imagen, y se les desea asignar una ponderación estadística; “Correcciones diferentemente ponderadas (Different weighted corrections)”, en casos en que los parámetros de orientación interna sean diferentes para cada imagen y se quiere asignar una única ponderación estadística a cada ajuste de parámetros para la orientación interna, este es el único caso en la que opción “Desviación estándar” está activada; “Iguales correcciones no ponderadas para todas (Same unweighted corrections for all)” cuando los parámetros de orientación interna son los mismos para cada imagen y se los quiere tratar como observaciones no ponderadas; “Diferentes correcciones no ponderadas (Different unweighted corrections)” es seleccionada si los parámetros de orientación interna son diferentes para cada imagen y se los quiere tratar como observaciones no ponderadas.

El campo “Desviación Interna (Standard Deviation)” se activa únicamente cuando se selecciona “Iguales correcciones ponderadas para todas” o “Diferentes correcciones no ponderadas”, por lo que para el caso actual no se requirió ajustarlo (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm).

Figura 5.49



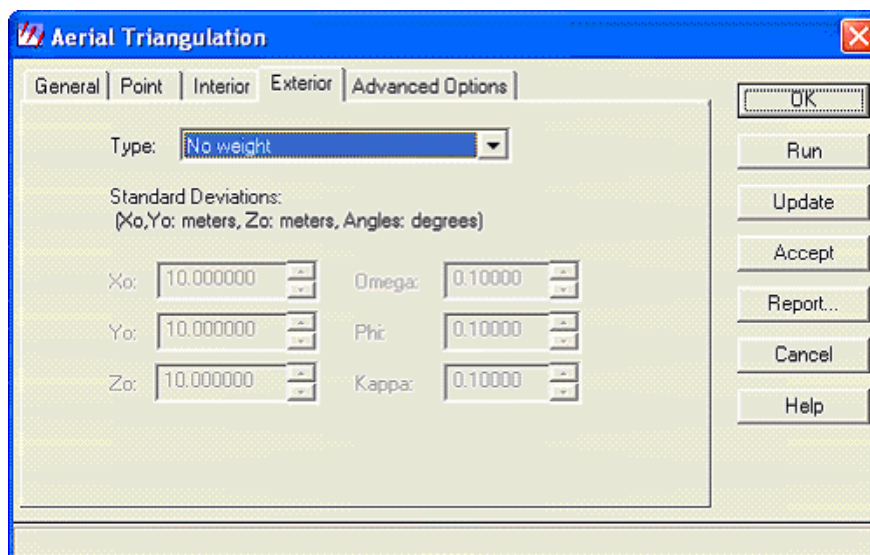
Los siguientes ajustes correspondieron a la lengüeta “Exterior”, la que permitió definir las desviaciones estándar para los parámetros exteriores en metros y grados, mediante éstas se define la precisión de los parámetros de orientación exterior.

En el proceso de aero – triangulación, los valores de desviación estándar fluctuaron entre los valores asignados y al terminar dicho proceso se obtuvieron otros nuevos.

Las opciones que se tuvieron a disposición son: “No ponderación (No weight)”, utilizado cuando se considera desconocida la orientación externa y el programa estima sus parámetros; “Los mismos valores ponderados (Same weighted values)”, asigna la misma ponderación estadística a los parámetros de orientación externa de cada imagen; “Diferentes valores ponderados (Different weighted values)” para asignar diferente ponderación a los parámetros de orientación exterior de diferentes imágenes, estos valores son los que se definen en la orientación exterior explicada en la referencia 5.2.1.4 (IMAGINE8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm).

Los valores de X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ y κ se requieren solamente cuando se seleccionó la desviación estándar del tipo “Los mismos valores ponderados”, el ajuste realizado en la aero-triangulación de cada bloque se puede ver en la figura 5.50.

Figura 5.50



La lengüeta “Opciones Avanzadas” permitió definir parámetros adicionales para la ejecución de la aero-triangulación, definiendo, de ser necesario, el tipo de parámetros adicionales para el modelo (Additional Parameter Model), los cuales son utilizados en la aero-triangulación para la compensación de errores sistemáticos de las imágenes, las opciones que se tiene a disposición son: “parámetros no adicionales (No additional parameters)” que se selecciona cuando no se desea usar un modelo de parámetro adicional; “Modelo simple de Bauer (Bauer's simple model)” que tiene tres parámetros adicionales, dos que determinan la extensión de la deformación afín y uno que estima la distorsión simétrica de la lente; “El modelo simple de Jacobsen (Jacobsen's simple model)” que tiene cuatro parámetros adicionales simplificados los cuales pueden compensar para la mayoría de los casos las distorsiones de primer y segundo orden, las que son distorsiones asociadas con la distorsión afín y a distorsión radial del lente (Erdas “Field Guide.pdf”, 2002) incluyendo la distorsión afín de los lentes; “El modelo ortogonal de Ebner (Ebner's orthogonal model)” es un modelo

que tiene doce parámetros adicionales que compensan la mayoría de errores sistemáticos, pero también requiere más observaciones y una configuración más estable del bloque; y finalmente “El modelo físico de Brown (Brown's physical model)”, el cual tiene catorce parámetros adicionales que son simplificados del modelo de Brown, dichos parámetros pueden compensar la mayoría de películas lineales y no lineales y distorsiones de las lentes pero requieren más PC y PE ubicados con buena distribución en las imágenes (IMAGINE8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm).

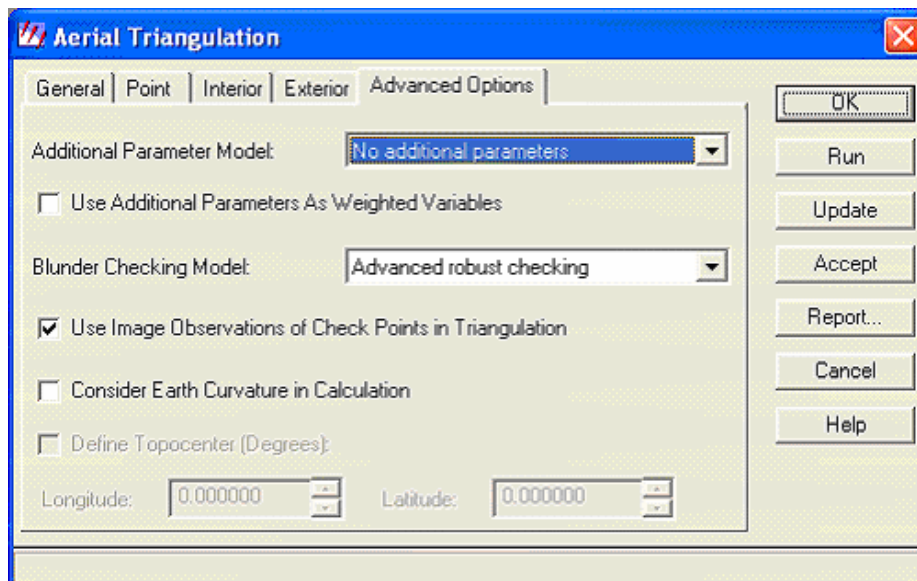
La opción de uso de parámetros adicionales como variables ponderables se activa, si es el caso, para seleccionar los parámetros adicionales del modelo seleccionado. En el actual trabajo no se utilizaron parámetros adicionales como se muestra en la figura 5.51 para la configuración de la aero-triangulación de todos los bloques (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm).

El campo “Blunder Checking Model”, permite seleccionar un método de detección total de errores, identificarlos de entre los puntos de la imagen y removerlos, de este modo, cuando se detecte un punto erróneo, el programa automáticamente lo omitirá de los cálculos. Las opciones que se tuvo a disposición son: “Revisión completa corta (Time-saving robust checking)” que detecta totalmente errores sin incrementar significativamente la duración del proceso de aerotriangulación; “Revisión completa avanzada (Advanced robust checking)” que es teóricamente más perfecta, pero en el caso de bloques con más de 100 imágenes puede causar un significativo incremento de la duración del proceso, ésta es en el actual proceso la utilizada; “No revisión automática (No automatic blunder checking)” seleccionada en el caso de no requerir una revisión (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm).

Además se activó la opción “Usar observaciones de la imagen para revisión de puntos en la triangulación (Use Image Observations of Check Points in Triangulation)” la que utiliza las coordenadas en las imágenes de los puntos de revisión en la triangulación para de este modo mejorar la precisión de la solución. Es conveniente aclarar que la opción “Considerar la curvatura de la Tierra en los

cálculos (Consider Earth Curvature in Calculation)” es una opción que corrige los errores provenientes de la curvatura de la Tierra y que por lo mismo es más utilizado en el caso de bloques que cubran grandes áreas de la Tierra con fotografías de escala pequeña, caso contrario al estudiado en este trabajo (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm). Los procesos anteriores se observan en la figura 5.51.

Figura 5.51



Al terminar de definir los parámetros para la aero – triangulación se corrió el programa mediante el botón “Run”, luego, un resumen de los resultados obtenidos se visualizó en un cuadro como el mostrado en la figura 5.52, el que permite conocer si al finalizar el número máximo de iteraciones el proceso convergió, además el valor de RMSE tanto para los PC como para los puntos de revisión.

En el caso del ejemplo mostrado, la iteración no convergió (ver Anexo 10.4.1.1 - Primera Iteración), aunque el valor de RMSE es 0.0132 y por consiguiente fue un valor aceptable ya que es menor al impuesto para el trabajo que fue 0.02 que representa 7.44 cm de acuerdo a la escala del bloque del ejemplo que fue de 60000, para cada bloque se debió calcular su valor de acuerdo a la fórmula

mostrada en la figura 5.53, en esta el valor es dividido para 100 para que el resultado sea directamente dado en centímetros.

Figura 5.52 Resumen de la aero-triangulación.

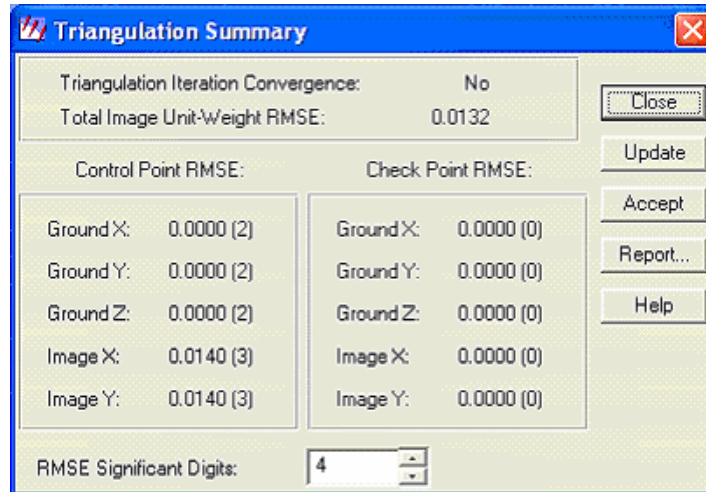


Figura 5.53 Valor real del RMSE.

$$\text{Valor real del RMSE} = \frac{\text{RMSE} * \text{Valor de la escala}}{100}$$

Dado que los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, se debió volver a correr el programa, no sin antes revisar los resultados mostrados en el reporte para conocer cual fue la razón o razones del problema y establecer las correcciones necesarias, estos se pudieron observar pulsando el botón "Report...". Los resultados mencionados se muestran en la sección 10.3.1.

Los resultados del reporte de triangulación del ejemplo en consideración muestran en primera instancia las unidades en las que se trabajó, luego presenta para cada imagen las coordenadas en éstas para cada punto considerado, además muestra para estas mismas imágenes el valor de los seis coeficientes afines del archivo que representan la relación entre el sistema de coordenadas del píxel de la imagen (file) y el sistema de coordenadas del espacio de la imagen (film); luego,

de estos datos correspondientes a cada imagen del bloque se presentan los resultados del ajuste de triangulación en sí, el archivo de salida del ajuste del bloque con la revisión solicitada (Revisión completa), a continuación se puede ver la iteración debidamente identificada con el valor de su error y luego de las 10 iteraciones solicitadas o las que hayan sido requeridas, en el reporte se informa si las iteraciones convergieron o no.

Para terminar, el programa despliega las coordenadas de los puntos en las correspondiente imágenes y además muestra cuales coordenadas son incorrectas y si por estas razones esos puntos fueron excluidos del proceso.

Como resultado de este proceso pueden ser excluidos tantos puntos que al final sean insuficientes, en este caso se debe revisar que punto son los excluidos y de ser necesario reemplazarlos.

Adicionalmente, se despliegan los valores de orientación interna recalculados en el caso de que la aero-triangulación haya resultado exitosa, la orientación interna y los valores de las residuales de los PC y puntos de revisión.

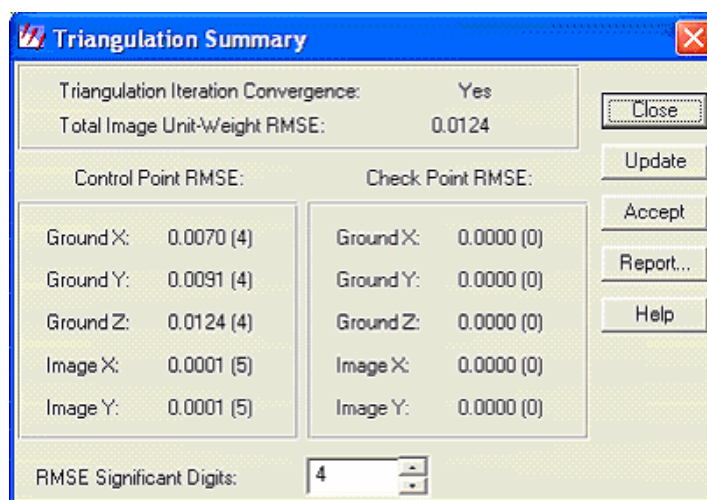
En el caso de que se requiera una nueva iteración, es decir, si no se ha obtenido convergencia o cuando al converger no se obtuvieron los valores aceptables de RMSE, se revisa el resultado del reporte y se retira los puntos que hayan causado problemas en la iteración tomando en cuenta las dificultades encontradas al ubicar los diferentes puntos en el proceso de orientación externa, por ejemplo aquellos cuya ubicación fue dudosa (en medio de densos bosques, etc.) y finalmente, de ser necesario se aumentan PC o PE para mejorar los resultados.

En conclusión entre los puntos que dieron errores estuvieron el 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 46, por lo tanto se tomó en cuenta los puntos que dieron problemas al colocar en las fotografías, entre estos estaba el 30 que se encontraba en medio del bosque generando complicaciones al determinar su ubicación. Luego de retirarlo se volvió a correr el programa.

En la nueva iteración se consiguió una convergencia y además el RMSE es menor que el valor máximo impuesto para el trabajo (ver figura 5.54).

Así que se aceptó la aero-triangulación y se revisó el reporte, con el fin de conocer la configuración de los diferentes puntos con los que el programa trabajó, el valor del error en centímetros es entonces $0.0124 * 60000$ (valor de la escala) = 744 mm o 7.4 cm.

Figura 5.54 Resumen de la triangulación.



Por lo tanto en el reporte mostrado a continuación se observa que se excluyeron de la iteración los puntos 25, 29 y 31 y que convergió en la cuarta iteración, obteniéndose los parámetros de orientación externa e interna y los valores residuales de los PC entre los más importantes.

Finalmente cuando se termina este proceso para cada bloque de aero-fotografías se puede apreciar en una figura la ubicación de las mismas en la ortofoto tal como se puede apreciar en la figura 5.55 para el ejemplo que además muestra los diferentes puntos colocados que fueron aceptados en la aero-triangulación.

Hay que tener en cuenta que cuando el valor de convergencia no se alcanza en el máximo de iteraciones, el programa ERDAS 8.6 revisa el cambio de desviación

estándar. Si éste en las dos últimas iteraciones es menor al 2%, se considera que la triangulación convergió.

Si estos criterios no son alcanzados la triangulación no se considera convergente y se deberá ubicar los errores y corregirlos para volver a correr la aero – triangulación nuevamente (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\airial_triangulation.htm).

Un ejemplo de este caso es la primera iteración llevada a cabo para la ortobase del año 2000, donde inicialmente el programa informó que la triangulación convergió pero al revisar los resultados del reporte de triangulación se leyó un resultado diferente (ver referencia 10.3.1.4 Anexo C).

Figura 5.55 Esquema del bloque resultante de la elaboración de una ortobase.

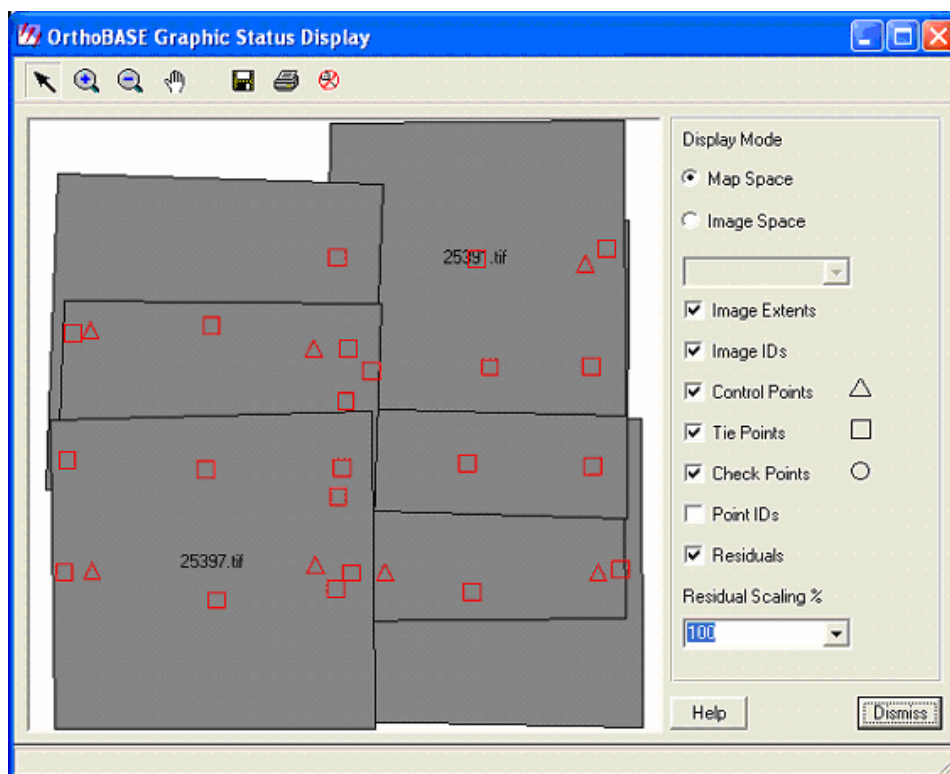
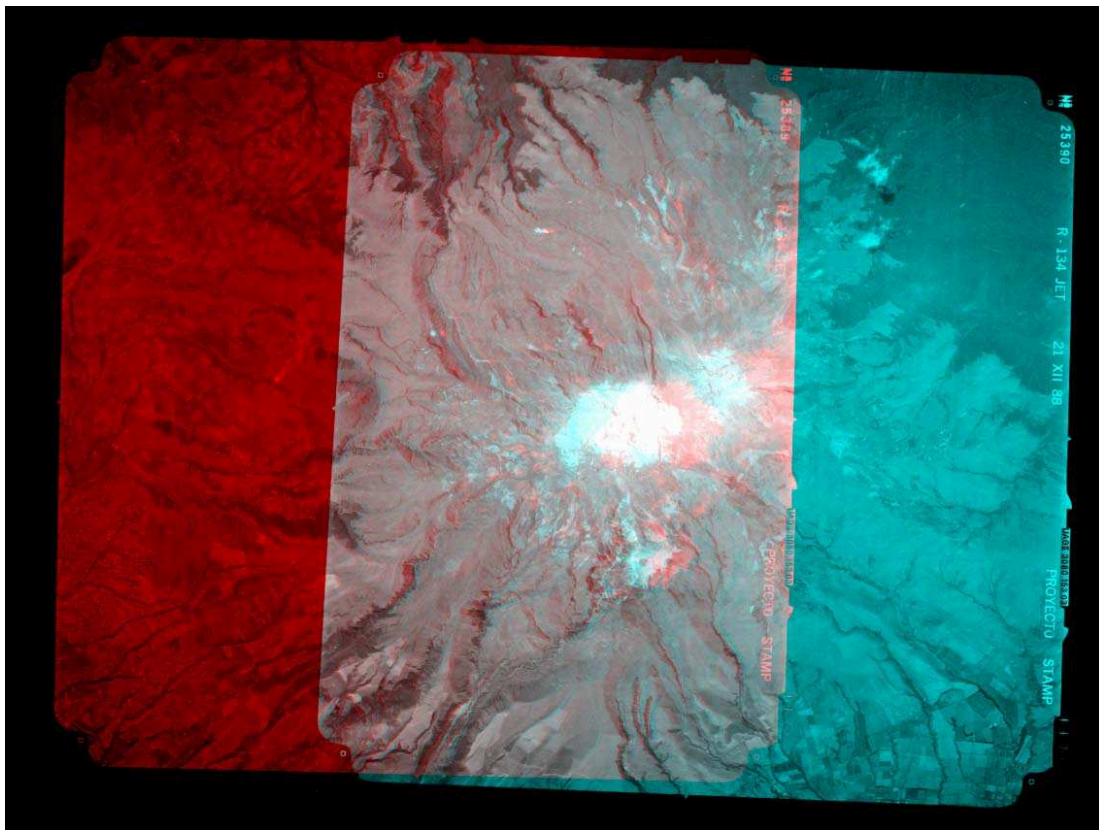


Figura 5.56 Modelo o par estereoscópico conformado por las aerofotografías 25389 y 25390 del año de 1988.



5.2.1.5.2. Obtención de PC para los bloques de 1956, 1963, 1986 y 2000.

La obtención de los PC requeridos para la ortocorrección de las aerofotografías de los bloques correspondientes a los años de 1956, 1963, 1986 y 2000, fueron obtenidos de los modelos estereoscópicos correspondientes al bloque de 1988, como el que se puede observar en la figura 5.56, en esta imagen que se puede ver que la aerofotografía 25389 se muestra de color rojo mientras que la aerofotografía 25390 en color azul.

El proceso llamado estereoscopia es la percepción de profundidad de un objeto como producto de su observación con ambos ojos (Avery y Berlin, 1992).

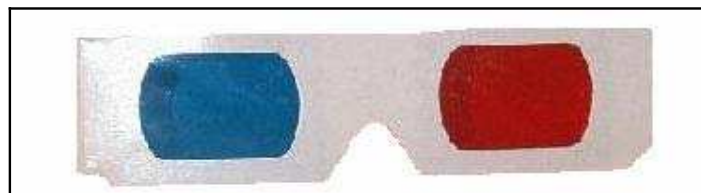
Un verdadero efecto estereoscópico se logra cuando dos imágenes traslapadas (un par estereoscópico), o fotografías de áreas comunes capturadas desde dos

diferentes puntos determinados son observadas simultáneamente. El efecto estereoscópico, o la habilidad para observar con una percepción de profundidad, es producto de un efecto de paralaje generado desde dos diferentes puntos (Erdas "Stereo Analyst User's Guide.pdf", 2002).

El sistema de representación de imágenes estereoscópicas utilizado para la obtención de los PC fue el sistema anáglifo, en el cual se utilizan filtros de colores complementarios, como rojo-azul, rojo-verde o ámbar-azul acoplados a lentes anáglifos (ver figura 5.57). La imagen presentada por ejemplo en rojo no es vista por el ojo que tiene un filtro del mismo color, pero si ve la otra imagen en azul o verde

(www.avizora.com/publicaciones/cine/textos/mecanismo_vision_estereoscopica_0059.htm).

Figura 5.57 Lentes anáglifos



Fuente: www.2spi.com.mx/catalog/stereo-3D/anaglyphic-stereo-glasses.html

Para la obtención de los puntos de paso y enlace de las fotografías de los bloques de 1956, 1963, 1986 y 2000, se procedió inicialmente con la identificación de puntos tentativos en imágenes impresas, para de este modo, identificar más fácilmente zonas comunes en las aerofotografías.

Una vez identificadas dichas zonas fue necesario identificarlas una vez mas pero en las fotografías correspondientes al año de 1988, al realizar este proceso se tuvo el problema de que las imágenes correspondientes al año de 1988 no cubría la zona de 1956 y 2000, por lo que fue necesario ubicar mas PE de lo que anteriormente se había decidido colocar, el objetivo de esto era mantener del mejor modo posible una buena ortorectificación ya que las zonas que no se encontraban en el año 1988 no se corregirían, sino solamente las áreas que

contuvieran PC, en la sección 5.5.1.3 de aero-triangulación se puede observar como los esquemas de los puntos colocados en estos bloques.

Una vez identificados los puntos que era factible utilizar para los bloques, se procedió a utilizar los modelos estereoscópicos correspondientes al año 1988, en estos modelos era necesario encontrar el par estereoscópico que mejor se ajustara para la zona del punto buscado, como ejemplo se cita el caso del bloque de 1956, en el cual, para el punto 29893at se encontró que el par que mejor se ajustaba en la zona del punto fue el par 254396-25397 en vez del par 25390-25389 en el que también se encontraba este punto, ya que la zona se encontraba mejor corregida contrariamente al par 25390-25389 en el que no se ajustaban correctamente las fotografías en la zona examinada.

Para la lectura de los modelos estereoscópicos fue utilizada la herramienta "Espacio de trabajo para el estéreo análisis (Stereo Analyst Workspace)" mediante el ícono mostrado en la figura 5.58 de la barra de herramientas mostrada en la figura 5.1, esta herramienta permite aplicar una técnica llamada "Intersección espacial hacia delante (Space Forward Intersection)", de modo que visualizando ambas imágenes pertenecientes a un par estereoscópico en el espacio mostrado en la figura 5.59 se ubique un punto y se ajuste a ambas fotografías para que se intersequen y así obtener sus coordenadas.

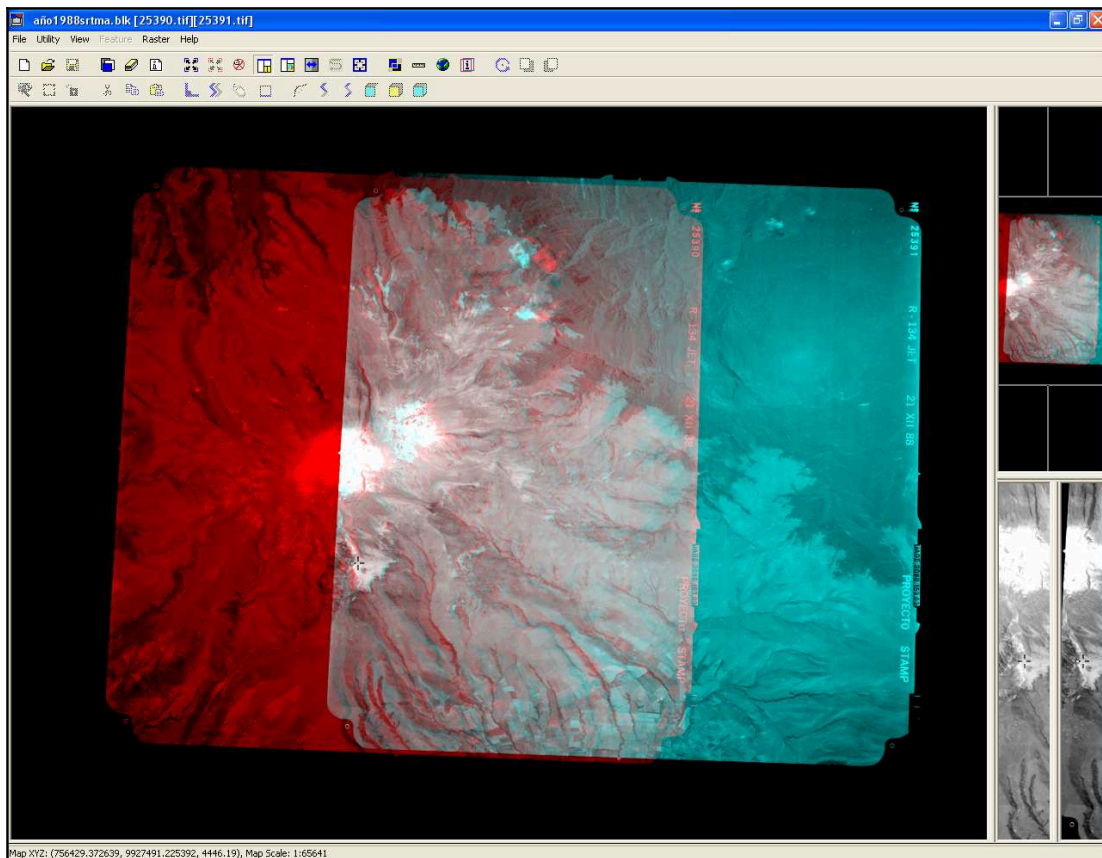
Para lograr la intersección de las imágenes se mantuvo presionada la tecla "X" junto con el botón izquierdo del mouse, con el objeto de desplazar ambas imágenes hasta lograr que coincidieran sobre el punto medido comprobando esto en las pequeñas ventanas ubicadas en la esquina inferior derecha de la ventana de trabajo. Además, para desplazarse sobre el espacio del modelo se mantenía presionada la tecla "control" junto con el botón izquierdo del mouse.

Para poder observar los detalles del modelo fue preciso utilizar los lentes anáglifos antes mencionados.

Figura 5.58



Figura 5.59



Para la búsqueda de PC para los mosaicos carentes de esta información, se ubicaron zonas preferentemente en las esquinas de las aerofotografías además de dos intermedias a estas en las zonas de traslape de ellas, para cada bloque de los años 1956, 1963, 1986 y 2000. Las zonas antes mencionadas permitieron ser comparadas con los modelos correspondientes al año 1988 ya que no toda el área cubierta por la mayoría de bloques se encontraba dentro de los límites del bloque de 1988, teniendo esta consideración presente, se identificaron puntos como, rocas, casas, quebradas, etc. cuyas coordenadas fuera posible conocer y luego identificar nuevamente en los bloques para su orientación externa. Así se

obtuvieron finalmente veinte y ocho PC para todos los bloques faltantes, cuya vista y sobrevista se puede observar en la sección 10.3.3 del Anexo C.

Además de identificar las zonas contenidas en las aerofotografías del bloque de 1988, se buscaron puntos que cumplieran con una distribución apropiada para cada imagen que debía ser luego orientada, de modo que se ubicaron seis puntos debidamente espaciados y distribuidos en cada fotografía (Campbell, 1987).

5.2.1.6. Generación de DTM's

Los DTM's son obtenidos a partir de la aero-triangulación de las ortobases, posteriormente, estos fueron la base para continuar con los procesos de ortorectificación.

5.2.1.6.1. Proceso

Para llevar a cabo este proceso se seleccionó la opción "Extracción de DTM... (DTM Extraction...)" mostrada en la figura 5.60 contenida en el menú "Process", este permitió acceder a una ventana de diálogo en la que se definió el tipo de DTM a obtener como se muestra en la figura 5.61 Para este trabajo fue inicialmente un DTM de tipo DEM, las opciones restantes que presentó el programa fueron: "TerraModel TIN (Triangulated Irregular Network)" que es un arreglo de facetas triangulares contiguas sin traslapar de tamaños y formas irregulares, los vértices que conforman aquellas áreas triangulares son puntos aero-triangulados; "3D Shape", proceso que genera un archivo ASCII de coordenadas 3D (X, Y y Z) y finalmente "ASCII (American Standard Code for Information Interchange)" que es un archivo que simplemente detalla las identificaciones de los puntos mas sus coordenadas en X, Y y Z que conforman el DTM y además detalla una columna que califica la calidad de cada punto en un rango del 1 al 5.

El siguiente paso fue seleccionar el tipo de archivo de salida de entre la opción "Mosaico único de DTM (Single DTM Mosaico)", el cual une los DTM's construidos a partir de cada par de imágenes en uno solo y, "Archivos individuales de DTM (Individual DTM Files)", para este trabajo se seleccionó la primera opción y se obtuvieron DTM's individuales.

El siguiente paso es definir la ubicación que tendrá el archivo de salida en el computador lo que se realizó a través del directorio “Output DTM”. Luego se determinó el tamaño para cada celda del DTM, valor que para todos los mosaicos fue de 10 metros por 10 metros, este dependió de la escala, de los procesos anteriores ya realizados y además se debía tomar en cuenta que el terreno de estudio era muy variable en altura, por lo que con un valor menor al determinado, en las zonas mas bajas se podría haber tenido problemas por falta de información, mientras que un efecto adverso se podría haber presentado para las zonas mas altas.

Como últimas acotaciones, se definió que los píxeles sean cuadrados para el DTM resultante y que el valor del fondo del DEM fue definido como “por defecto”, este valor puede ser determinado con las siguientes opciones: “As is” para mantener el valor actual; “Default” en este caso si el valor mínimo del DEM es positivo, entonces será 0. Si por el contrario, es negativo el Default se calcula tomando el valor mas bajo y restando a este, cinco unidades, considerando las antes definidas; “10” se selecciona 10 unidades (ej. metros) para el fondo; y “20” que define 20 unidades para el fondo (ej. metros) o adicionalmente puede definirse un valor propio para el fondo. Finalmente se determinó en la opción “Trim the DTM Border by” que al realizar el proceso se corte un 3% del borde para eliminar los bordes de las fotografías que no aportan información sobre el terreno, todo esto puede observarse en la figura 5.61 (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase_pro\dtm_extraction_dialog.htm).

Figura 5.60

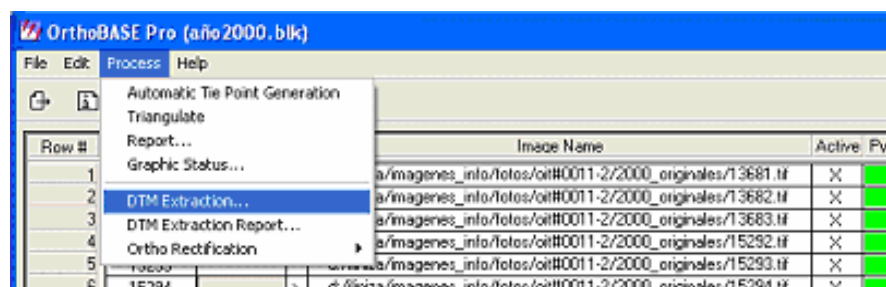
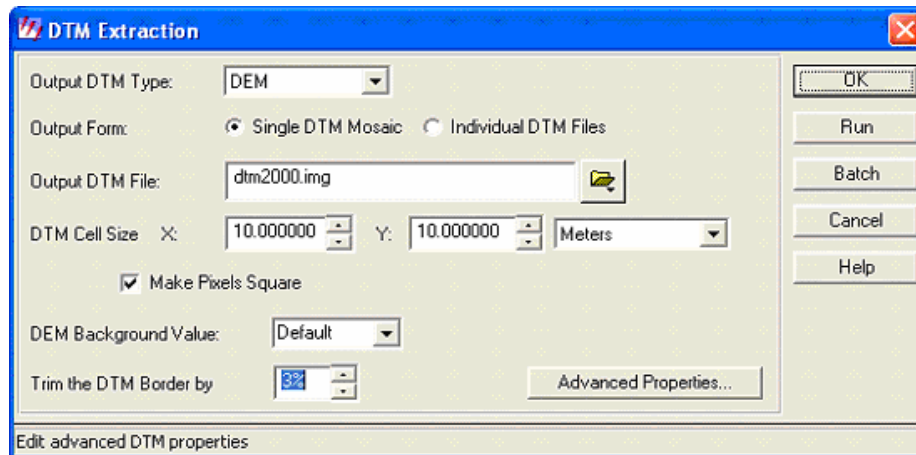
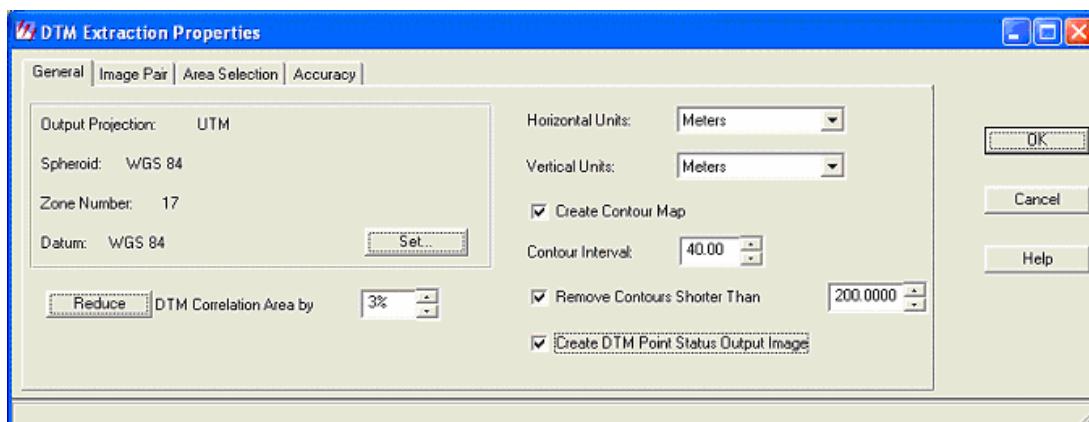


Figura 5.61



Luego se debieron revisar las propiedades avanzadas a las que se accede a través del botón “Advanced Properties...”. En la lengüeta “General” se revisa el tipo de proyección definido para el proceso, se revisa además que la reducción del área de correlación sea del 3%, que las unidades horizontales y verticales estén definidas en metros. Se solicita que se cree curvas de nivel mediante la opción “Create Contour Map”, definiéndolo en un intervalo de 40 metros pero, teniendo en cuenta que se debe solicitar que se remuevan líneas de contorno menores a 200 metros. Por último se le pide al programa que cree una imagen de salida del estado de los puntos del DTM (ver figura 5.62).

Figura 5.62 Ajustes generales para la obtención del DTM.



En la siguiente lengüeta, Image Pair, se revisó si todos los modelos, formados por las intersecciones de cada par de imágenes, se crearon correctamente. También

se revisó que el traslapo entre fotografías fuera el suficiente, como medida de seguridad se solicitó un traslapo de preferencia de entre el 50% y 60% dependiendo del bloque de aerofotografías. Para poder observar un esquema de la conformación de los modelos se activó el botón mostrado en la figura 5.64, con este se puede observar al lado izquierdo un esquema del bloque en el cual los pares observados al lado derecho se colorean de verde y muestra enmarcada la zona del modelo (ver figura 5.63), en el ejemplo mostrado en la figura 5.63 fue activado el par 13681-13682, en la que se presenta de tonos más claros las zonas que forman el modelo. Es importante llevar a cabo una revisión de los modelos que se tendrán que formar, al haber revisado la correspondencia de los modelos se aceptó el proceso pasando a la siguiente ventana de configuración, los modelos mencionados se muestran en el Anexo C en la sección 10.3.4.

Figura 5.63 Observación del par 13681 con 13682.

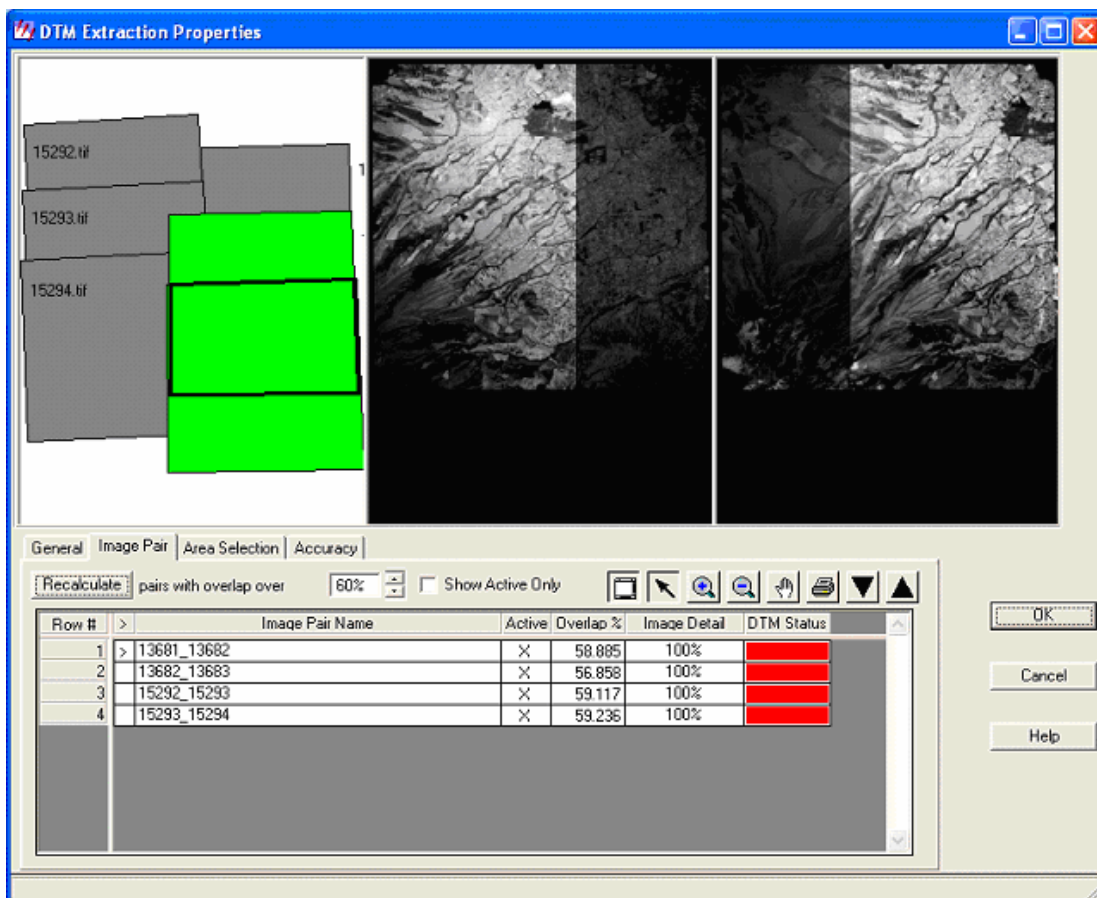
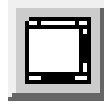


Figura 5.64



Como siguiente paso se revisó la lengüeta “Area Selection” (ver figura 5.65), y en la columna Region Strategy se seleccionó el tipo de superficie a la que corresponde la zona estudiada, para el caso de todos los bloques se seleccionó “Montañas Altas (High Mountains)”, que corresponde a la zona de los llinizas. La definición del tipo de región se realizó a través de los botones mostrados en la figura 5.66.

Figura 5.65 Ajuste del tipo de área

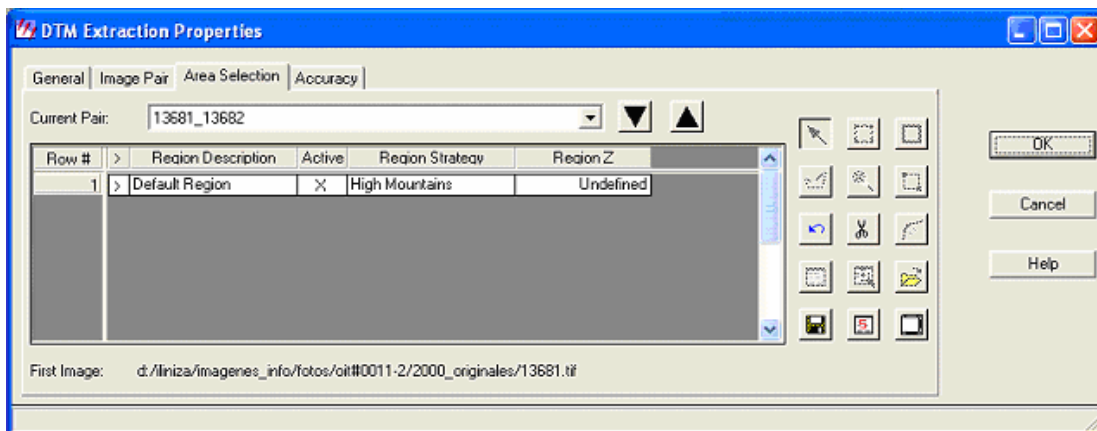
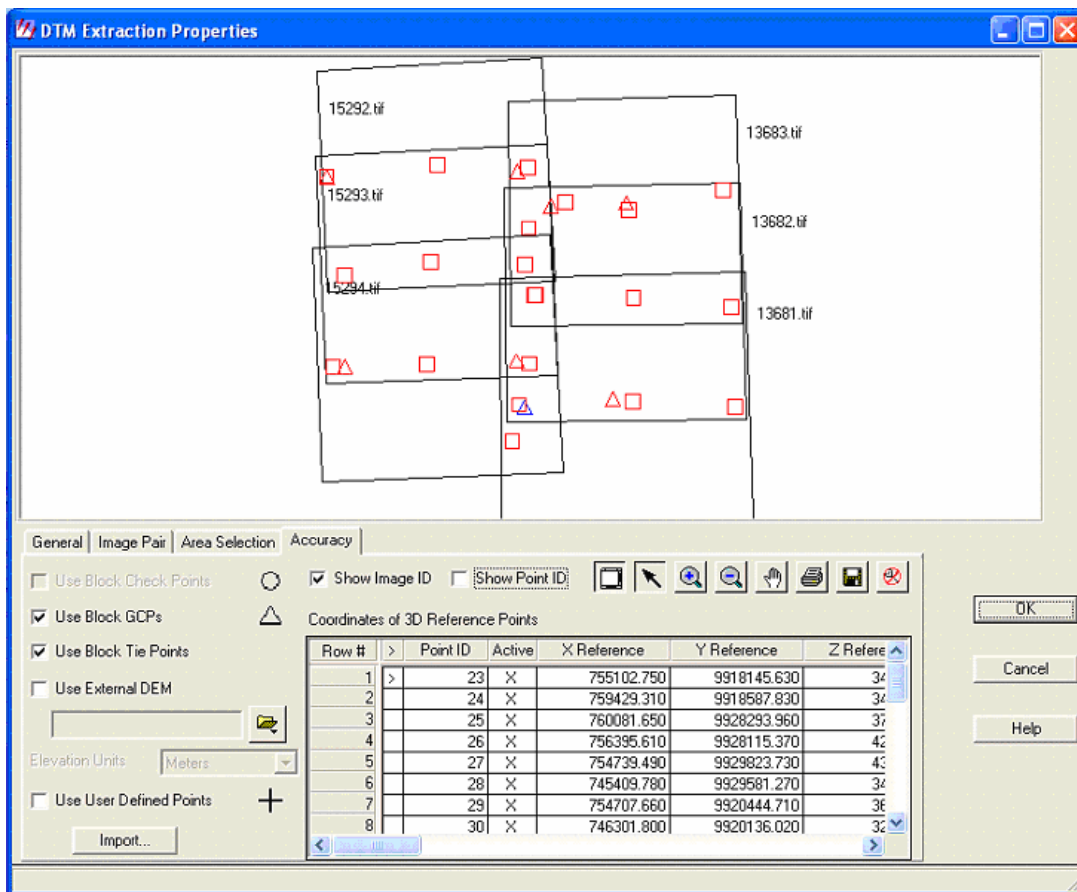


Figura 5.66



Finalmente, en la lengüeta Accuracy (ver figura 5.67) utilizando el botón mostrado en la figura 5.64, se desplegó un bosquejo de las imágenes y sus puntos, definiendo que se usaran los PC (use Block GPC's) y los PE entre fotografías (Use Block Tie points), los primeros simbolizados con triángulos y los siguientes con cuadrados correspondientemente. Además en este cuadro de diálogo es también posible quitar, si se desea, puntos para el proceso de generación del DTM y visualizar el punto seleccionado en la tabla simbolizado con un color azul.

Figura 5.67 La figura muestra el estado de definición de la precisión para el bloque correspondiente al año 2000.



Al aceptar se volvió a visualizar el cuadro mostrado en la figura 5.61 y se procedió a correr el proceso, el cual fue ejecutado por el programa para cada par de fotografías. Cuando ya se procesó el DTM, su columna correspondiente, mostrada en la figura 5.18, tomó un color verde, indicando que se había ejecutado dicho proceso. Los DTM's resultantes se visualizaron con el fin de observar la posible formación de distorsiones en el proceso. Se debe acotar que el DTM es una imagen georeferenciada, como ejemplo puede observarse la figura 5.68. Para facilitar la tarea de encontrar dichas distorsiones, el programa presta la facilidad de entregar un análisis de calidad mostrado en otra imagen como la de la figura 5.69, en esta se ve que en color verde se encuentran las zonas "buenas", en otras palabras, las que están bien creadas por el software y otras zonas en rojo que muestran donde existen distorsiones, este último archivo tiene el sufijo "_quality.img" por ejemplo "dtm2000_quality.img".

Figura 5.68 DTM correspondiente al año 2000.

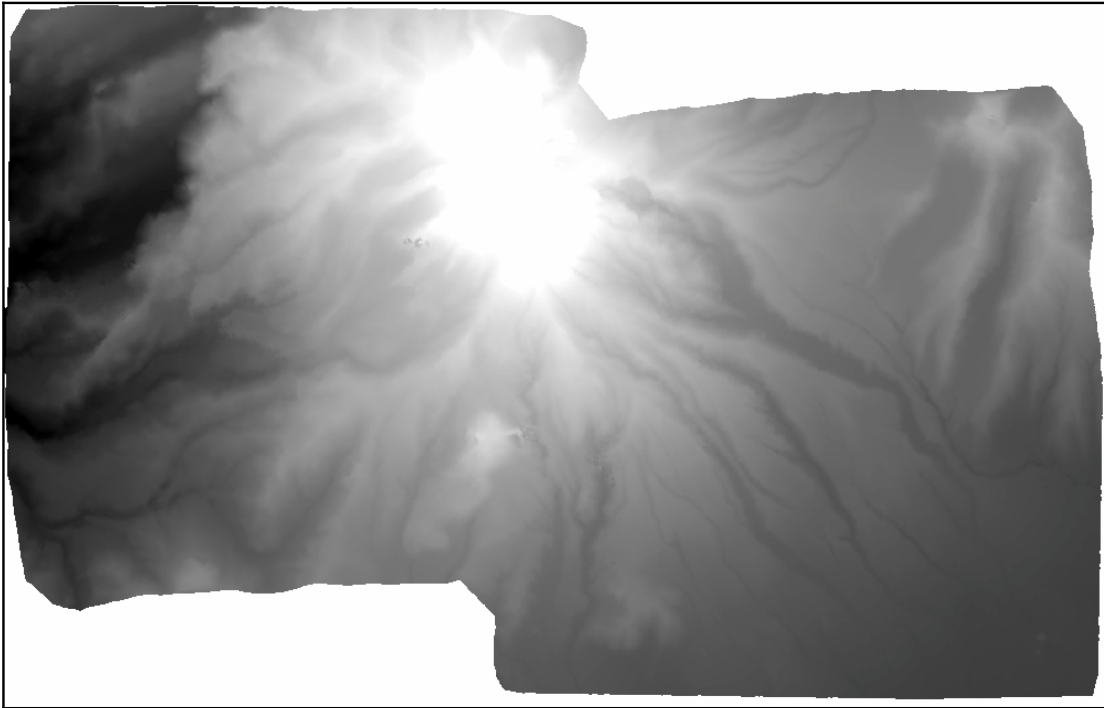
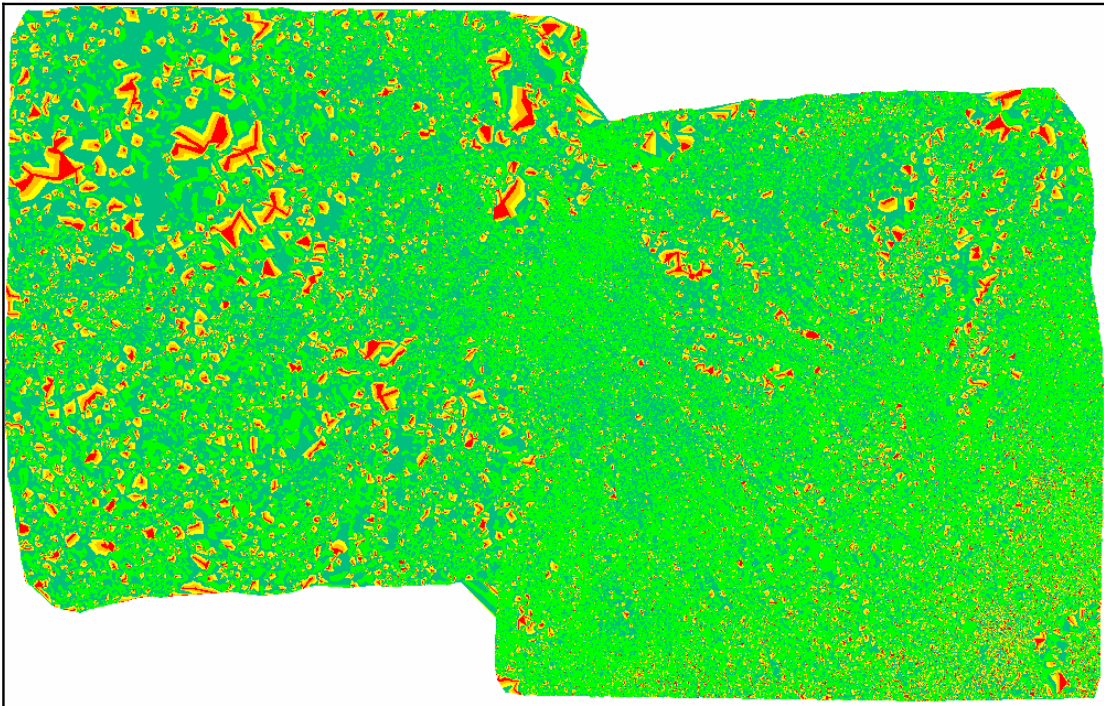


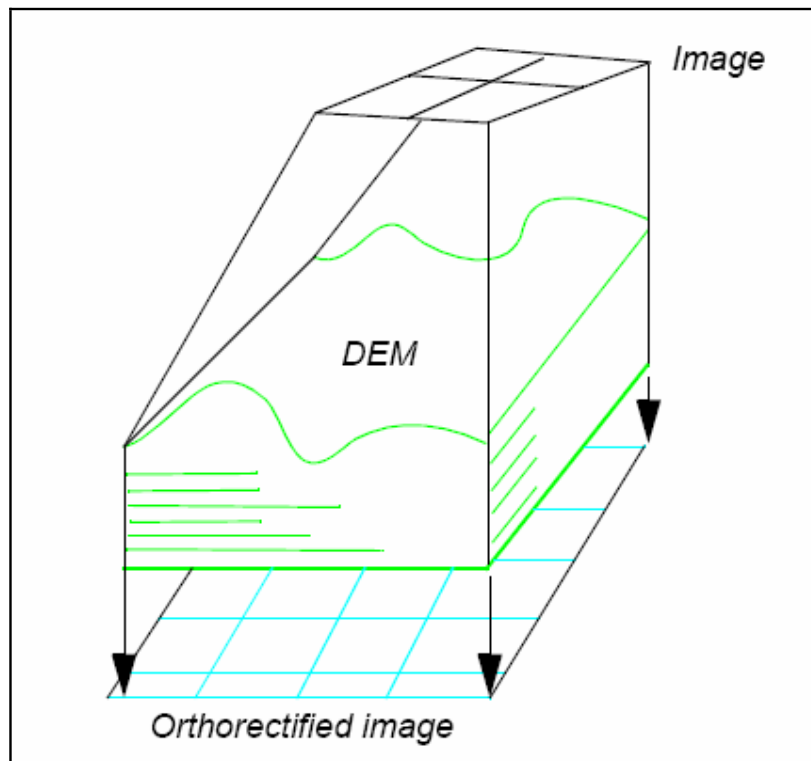
Figura 5.69 Imagen de calidad de DTM elaborado para el año 2000.



5.2.1.7. Ortorectificación

La ortorectificación es un proceso que permite reducir errores geométricos inherentes a las fotografías que pueden ser producidos por variables como: la orientación del sensor, los errores sistemáticos asociados con la cámara, y la curvatura de la tierra que son corregidos con procesos y ajustes técnicos en la triangulación; y además, el efecto del desplazamiento del relieve topográfico que es corregido mediante el uso de un DEM, que puede ser generado con las mismas imágenes o puede ser obtenido de otras fuentes como el SRTM, que se utilizó posteriormente para mejorar la ortorectificación (ver figura 5.70). De este modo, las mediciones tomadas en estas imágenes se pueden considerar confiables y correspondientes a las tomadas en la superficie de la tierra (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002).

Figura 5.70



Fuente: Erdas "Imagine Orthobase User's Guide", 2002.

5.2.1.7.1. Proceso

La ortorectificación se realizó inicialmente con los DTM's generados a partir de las aerofotografías que conforman el banco de datos del proyecto, pero, a causa de la difícil topografía se encontró un exceso de distorsiones que no permitieron generar buenas imágenes por lo que se hizo necesario ortorectificar en base a un SRTM obtenido en la dirección ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/south_america/.

Es importante mencionar que las ortocorrecciones solamente se pueden realizar en zonas de traslapes en fotografías, las mismas con las cuales se generaron los DTM's mencionados en la sección 5.2.1.6.

Para obtener las ortofotos de las series de fotografías se accedió a la opción "Resampling" mostrada al haber seleccionado la herramienta "Ortho Rectification" del menú "Process", como se muestra en la figura 5.71. Como resultado se desplegó un cuadro de diálogo como el mostrado en la figura 5.72.

En dicho cuadro, en la lengüeta "Advanced" primeramente se ingresaron las aerofotografías que formaban parte del bloque que se iba a ortorectificar, luego, se pasó a la lengüeta llamada "General", mostrada en la figura 5.73 (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\ortho_resampling.htm).

Figura 5.71

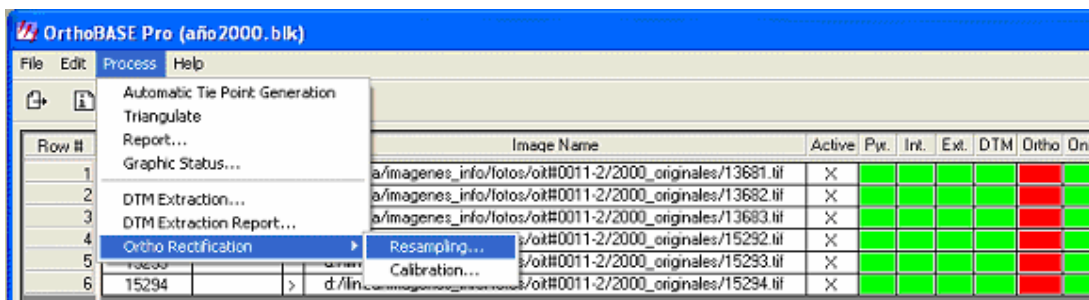
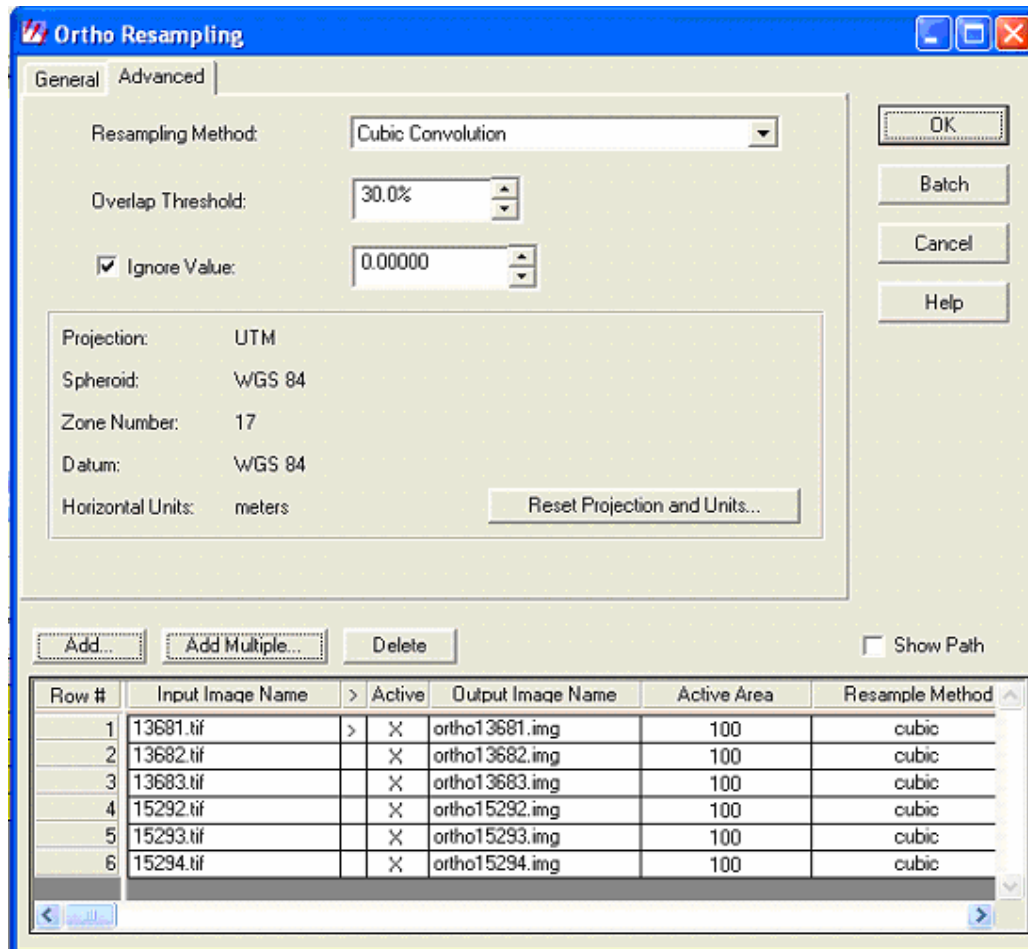


Figura 5.72



En la lengüeta “General”, se escribió el prefijo con el que el programa nombraría a los archivos resultantes del proceso, en el actual trabajo el prefijo utilizado fue “ortho”, se ajustó el porcentaje de la imagen que sería ortorectificada a un 100% para todos los casos. En esta misma lengüeta se especificó el DTM de origen en la opción “DTM File Name”, para el primer caso, en el que se llevó a cabo la ortorectificación en base a los DTM’s generados a partir de las aerofotografías, se buscó el archivo del DTM obtenido con el proceso descrito en la sección 5.2.1.6, de otro modo, para el segundo caso, para mejorar los resultados de las ortorectificaciones se seleccionó el archivo del SRTM.

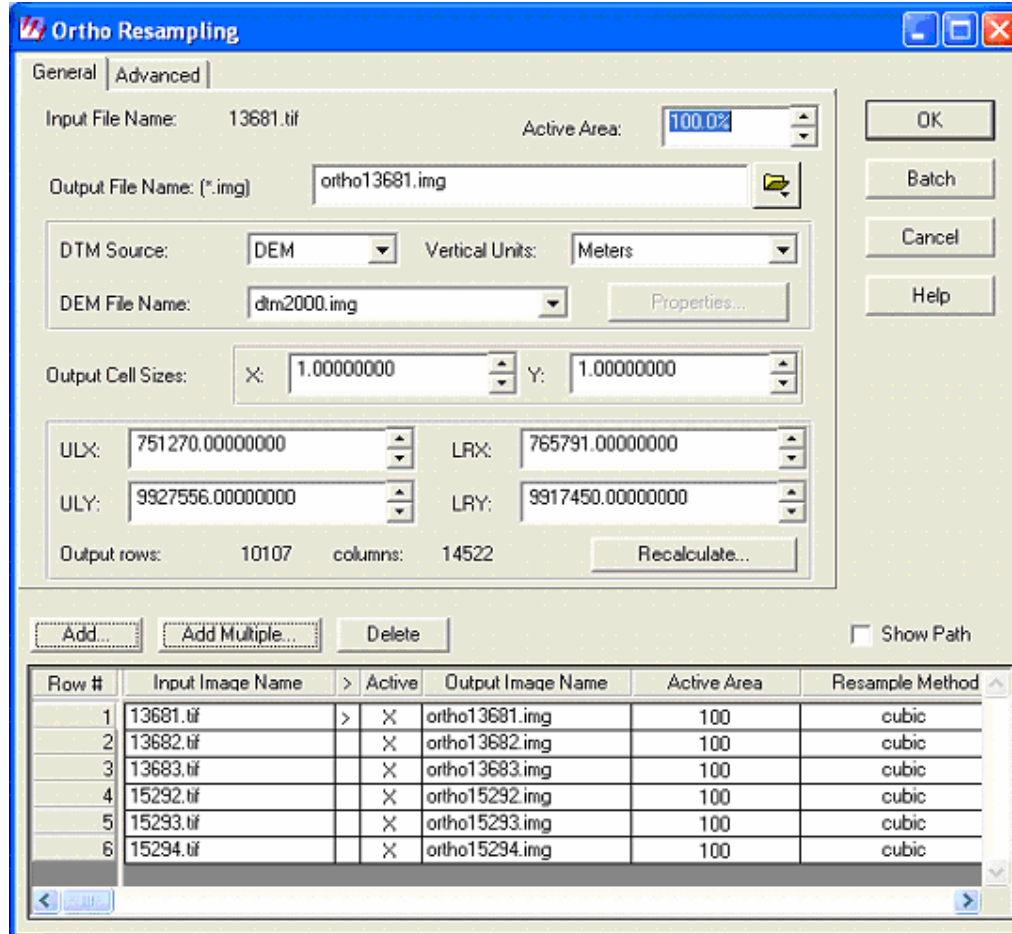
Posteriormente se debió especificar el tipo de DTM de origen, entre los que presenta el programa a disposición se tenía: “DEM”, “TIN”, “3D Shape”, “ASCII” y “Constant”, los cuatro primeros se definieron en la sección 5.2.1.6 mientras que al elegir la opción “Constant” se debe ingresar un valor constante, en todos los bloques ortorectificados la opción seleccionada fue DEM .

En la opción “Tamaño de las celdas del archivo de salida (Output Cell Sizes)” se especificó la resolución del terreno, que para este caso debió ser de 1 para X e Y, además, las coordenadas ULX, ULY, LRX y LRY que muestran correspondientemente las coordenadas superior izquierda en X e Y, y la inferior derecha en X e Y (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\ortho_resampling.htm).

Luego, nuevamente en la lengüeta “Advanced”, en la opción “Resampling Method (Método de Remuestreo)” se especificó el método de resolución utilizada para interpolar los píxeles originales de la imagen a sus nuevas posiciones ortorectificadas, las opciones que dispone el programa son: “Nearest Neighbor (Vecino más Cercano)”, “Bilinear Interpolation (Interpolación Bilineal)” y por último “Cubic Convolution (Convolución Cúbica)” que es la opción escogida para este trabajo; la opción “Overlap Threshold (límite de superposición)” muestra la mínima superposición requerida entre la imagen a ortorectificar y el DTM que fue de 30% para todas las ortocorrecciones; además, se solicitó que se ignore el valor 0 en el cálculo de las estadísticas de las imágenes ortorectificadas en el campo “Ignore Value” ya que las imágenes contenían áreas con este valor en zonas como los bordes de las aero-fotografías, etc. (IMAGINE 8.6\help\html\orthobase\ortho_resampling.htm). Al tener todo definido para cada una de las imágenes se lo aceptó y se corrió el proceso.

Al terminarlo para cada imagen, la herramienta OrthoBase mostró todos los campos mostrados en las columnas de la figura 5.19 coloreados con color verde.

Figura 5.73



5.3. ELABORACIÓN DEL MOSAICO

Un mosaico está formado por las ortofotos de la aerofotografías, esta unión se llevó a cabo seleccionando dependiendo del caso, las ortofotos o ciertos sectores de estas que presentaron mejor calidad, es decir, zonas que en la medida de lo posible no contenían distorsiones como la que se puede ver en la figura 5.132, nubes ó sombras de nubes (ver figura 7.12), para unir las entre sí y obtener una imagen que cubriera la zona total cubierta por las ortofotos del bloque. Estas selecciones son llevadas a cabo utilizando la herramienta AOI del programa ERDAS 8.6.

5.3.1. Proceso

Para la elaboración del mosaico se empezó con la selección de las mejores zonas de las ortofotos, las que están detalladas en la referencia 5.5.2 para cada bloque de fotografías, luego, la creación de los AOI con la herramienta del mismo nombre y que se puede observar en la figura 5.74. Esta herramienta puede ser utilizada activándola desde el menú AOI del viewer (ver figura 5.33) y utilizando la herramienta mostrada en la figura 5.75 con la que se determinaron las mejores zonas de las ortofotos.

Figura 5.74

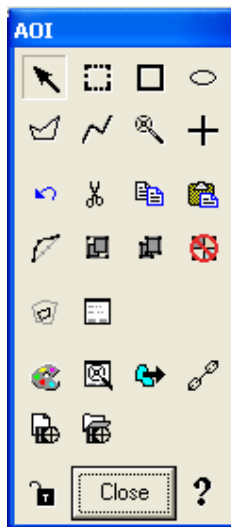


Figura 5.75



Este proceso se llevó a cabo en un Viewer del Programa como el mostrado en la figura 5.33, al haber desplegado todas las ortofotos se comparó la calidad de su información, esto se facilitó al ejecutar un clic derecho sobre las imágenes en el viewer, lo que desplegó las opciones mostradas en la figura 5.76, de éstas se seleccionó “Arrange Layers”, ésta a su vez activó una pequeña ventana con la que se cambió el orden en que se encontraban ordenadas las ortofotos, para de este modo visualizar en primer plano la que se quería observar o simplemente ocultar las que no se requerían (ver figura 5.77). En el caso mostrado en la figura

5.77 se muestra que la ortofoto “ortho29894.img” es la única activa mientras que las otras no se desplegaron en el viewer que las mostraba.

Figura 5.76

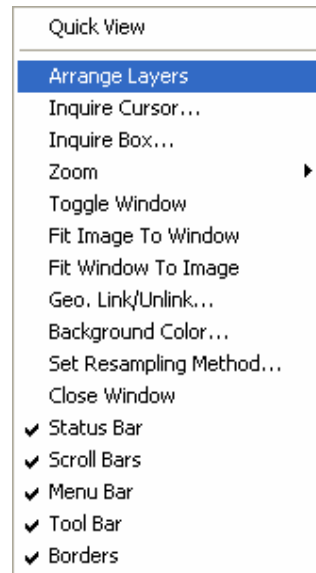
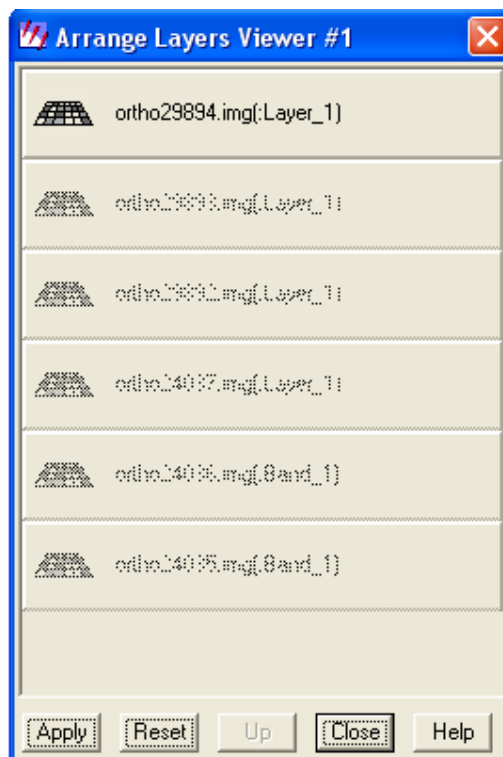


Figura 5.77



Luego, al haber comparado las imágenes se procedió a crear los AOI's sobre las mejores zonas, como ejemplo se puede observar la figura 5.78 que muestra el AOI "limite24035.aoi" sobre la ortofoto "ortho24035". El producto de la selección de zonas, la creación de AOI's para cada una de ellas, es un mosaico de AOI's como el que se puede ver en la figura 5.79.

Figura 5.78 Ortofoto correspondiente a la aerofotografía 24035 del año 1956 más el AOI correspondiente.

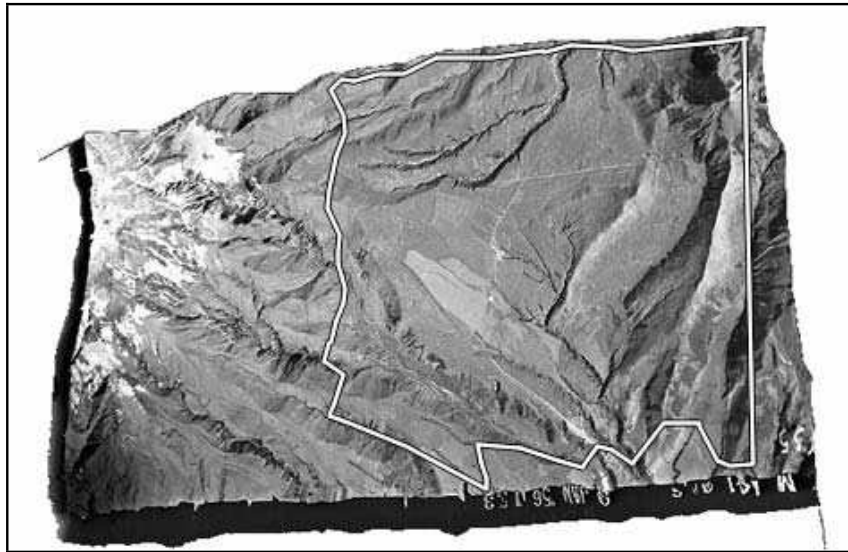
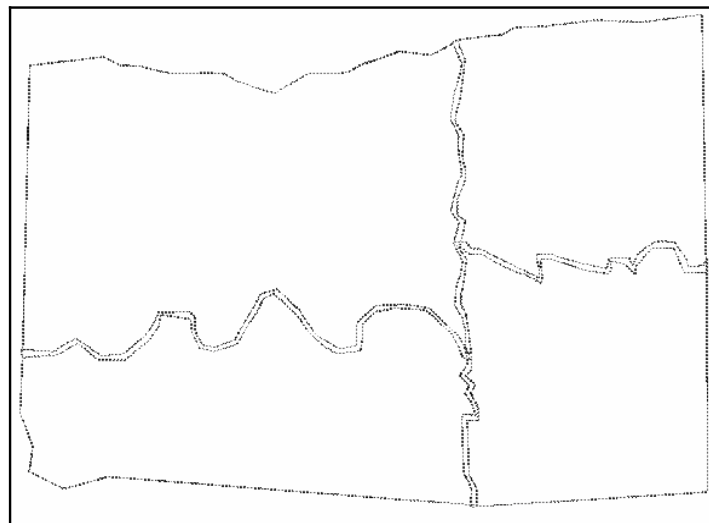


Figura 5.79 Vista de los AOI's creados para elaborar el mosaico correspondiente al año de 1956.



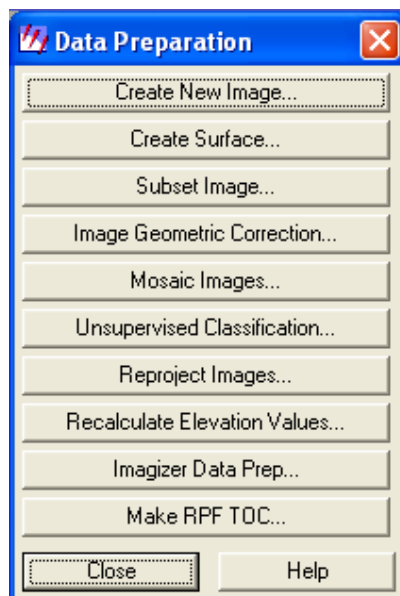
Para tener acceso a la herramienta necesaria para la preparación de mosaicos se accedió al icono mostrado en la figura 5.80 que se encuentra en el panel de íconos principales de ERDAS 8.6 (ver figura 5.1).

Figura 5.80 Ícono correspondiente a la herramienta “Data Preparation” del programa ERDAS 8.6.



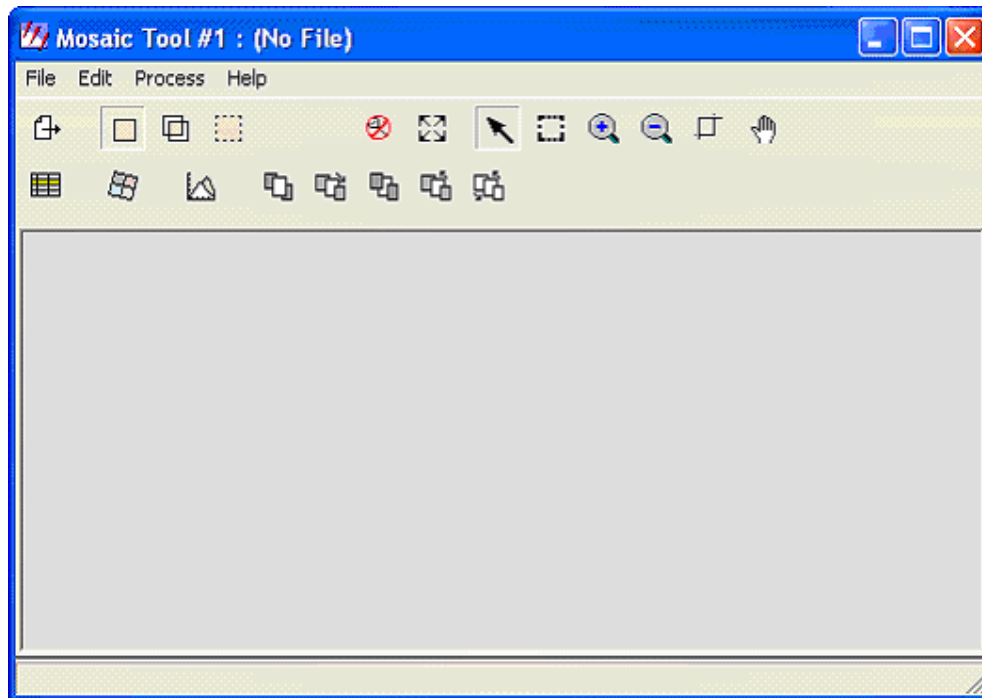
Al activar dicho botón se accedió a un menú que muestra varias opciones (ver figura 5.81), entre ellas “Mosaic Images...”, que es la que se requirió para la elaboración de los mosaicos.

Figura 5.81 Herramienta “Data Preparation” del programa ERDAS 8.6.



Mediante esta herramienta se accedió a una ventana como la mostrada en la figura 5.82, que entre otras cosas permite crear superficies 3D, recortar una sección de una imagen, crear mosaicos, etc.

Figura 5.82 Herramienta del mosaico



En esta nueva ventana se activó el ícono que se muestra en la figura 5.83 que permite añadir archivos de imagen para el proceso, como resultado se desplegó el cuadro mostrado en la figura 5.84.

En este cuadro se buscó la imagen requerida en su directorio correspondiente, y luego se le anexó el AOI correspondiente. Para añadir este AOI se marcó el campo "Individual AOI", luego se activó el botón "Set...", que condujo a un segundo cuadro de diálogo en el que se especificó el origen del AOI, para el caso

en el que el AOI fue previamente guardado se activó “AOI file” y se buscó el AOI correspondiente en el campo de directorio (ver figura 5.85).

Figura 5.83



Figura 5.84 Agregar imágenes para el mosaico

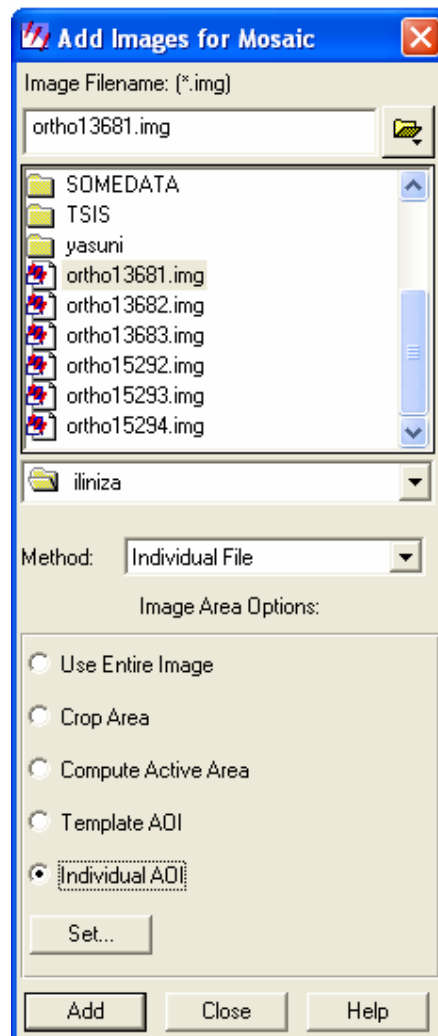


Figura 5.85

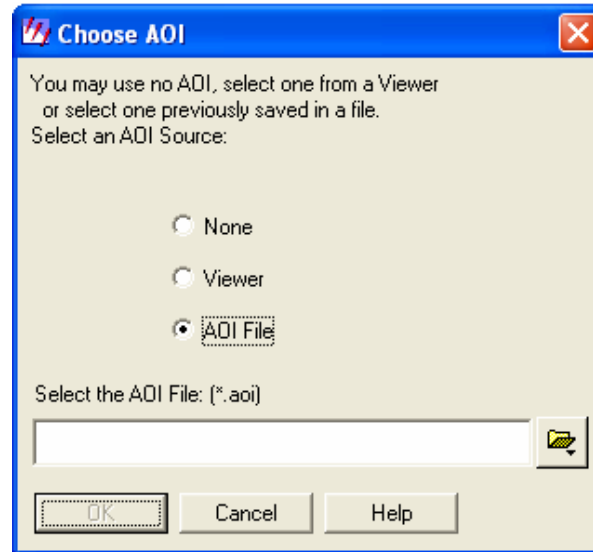
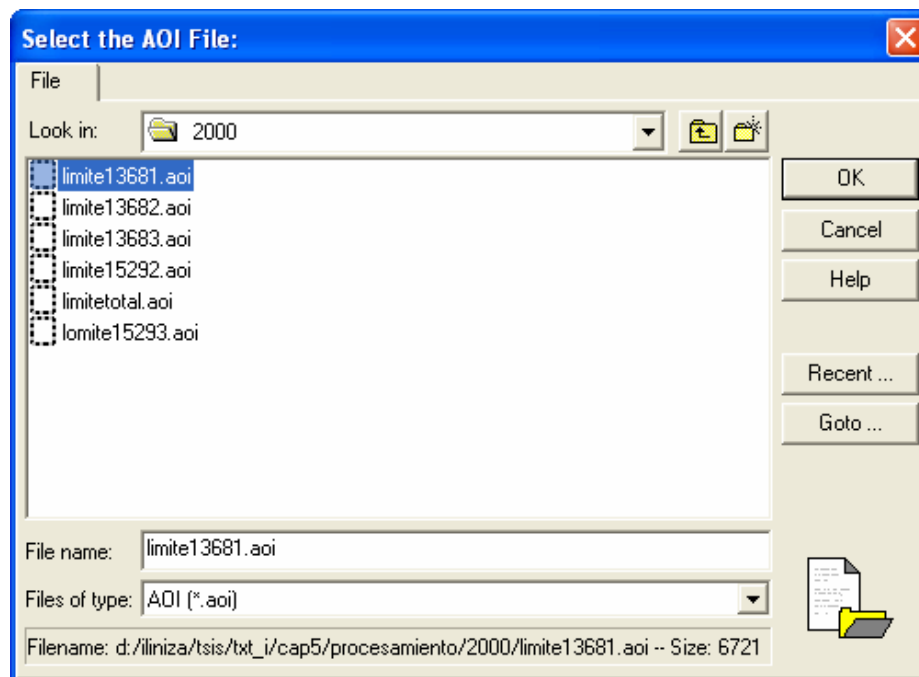


Figura 5.86 Selección de AOI's

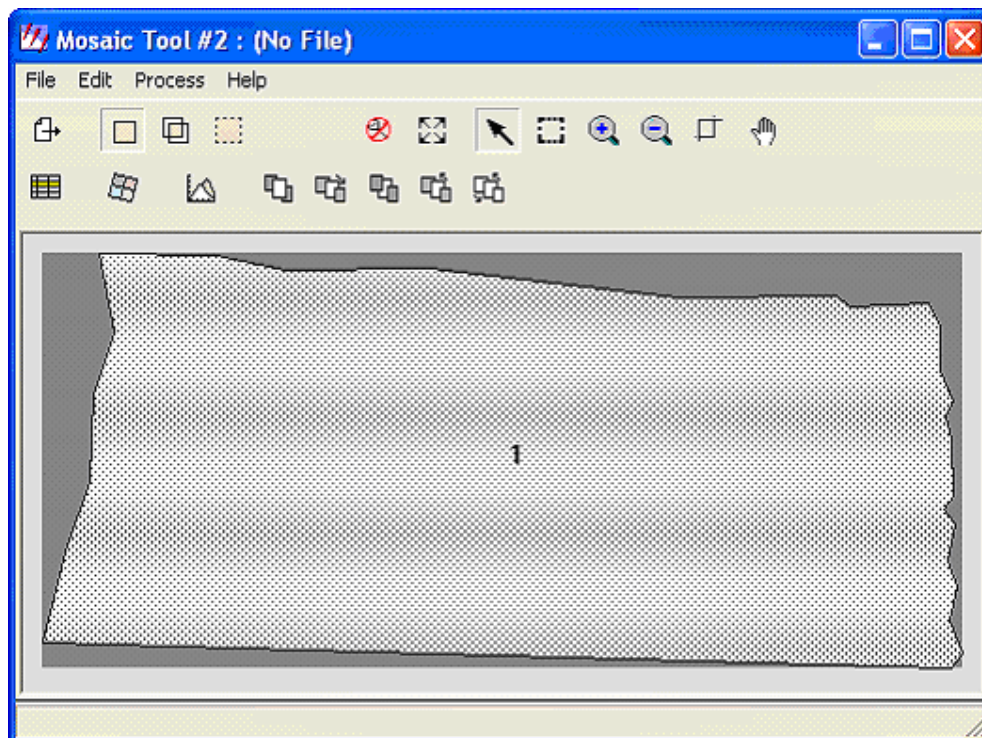


Al presionar el botón de directorio se presenta un nuevo cuadro en el cual se busca el AOI correspondiente (ver figura 5.86), se acepta y luego se presiona Add

en el cuadro mostrado en la figura 5.84, esto cerró estas ventanas y condujo nuevamente al cuadro de diálogo de la herramienta mosaico (ver figura 5.82) en el cual se visualiza el esquema del AOI solicitado como se muestra en la figura 5.87.

Luego se busca los restantes AOI's con sus ortorectificaciones correspondientes y finalmente se observa el bosquejo de los AOI's mostrado en la figura 5.88.

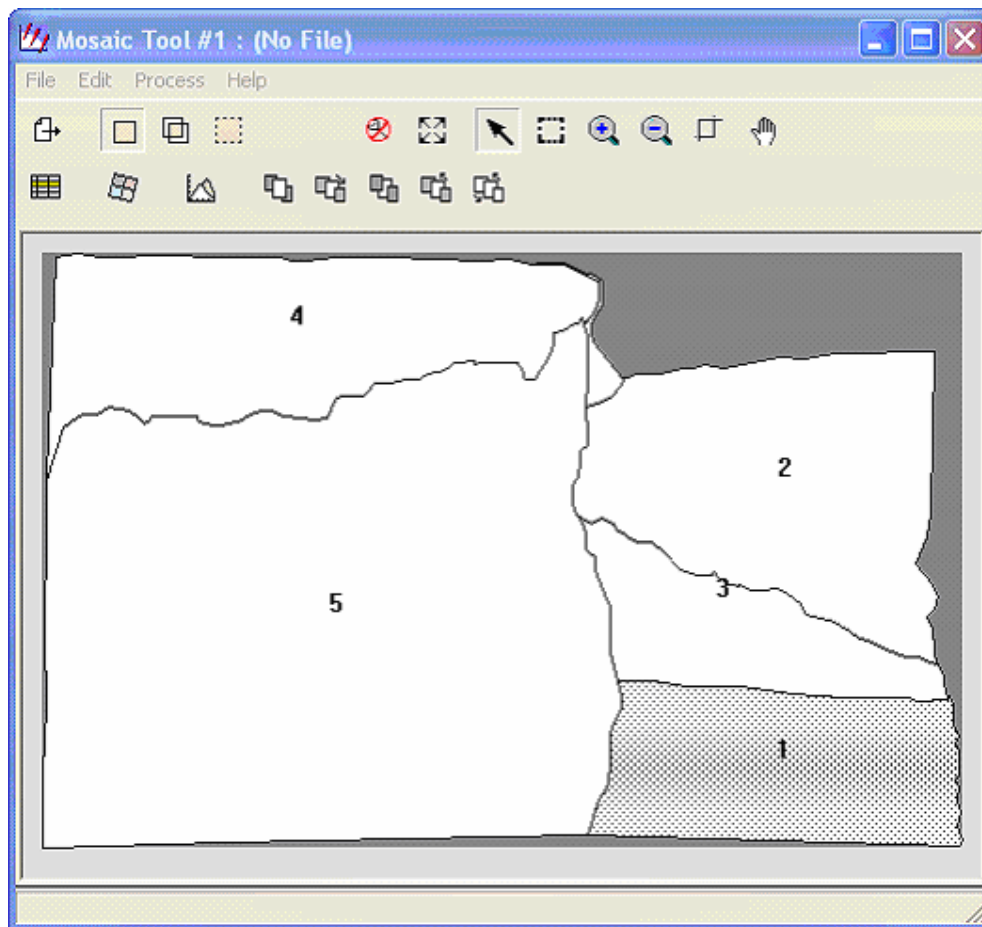
Figura 5.87 Primer AOI desplegado



Los AOI's se ubicaron de acuerdo a sus coordenadas y además a medida que se los agregaba adquirirían una numeración.

En la figura 5.88 se muestran los AOI's numerados de acuerdo al orden solicitado, que para el ejemplo del año 2000 fue el siguiente: primero, limite13681, segundo, limite13682, tercero, limite 13683, cuarto, limite 15292 y quinto, limite15293 previamente definidos con sus respectivas ortofotos.

Figura 5.88 Ejemplo de la construcción del mosaico correspondiente al año 2000.



En este punto se conformó completamente el mosaico. Para completar su preparación se revisaron las opciones de superposición, para esto, desde el menú principal de la herramienta "Mosaic Tool" se accedió a la opción "Edit", en ésta a la función "Set Overlap Function..." como se puede observar en la figura 5.89, que a su vez condujo al cuadro de diálogo mostrado en la figura 5.90, en él se definió el tipo de intersección a ejecutar para la fusión de los AOI's del mosaico, para el desarrollo de todos los mosaicos obtenidos en este trabajo se seleccionó la opción "No Existen Líneas de corte (No Outline Exists)", ya que las imágenes no fueron cortadas.

Al seleccionar el tipo de función se pidió “Suavizado (Feather)”, el cual ejecuta una interpolación lineal para la obtención del valor del píxel para las áreas de superposición; de este modo el valor de un píxel en el medio del área de superposición es el 50% de los valores de los correspondientes píxeles superpuestos; mientras que un píxel ubicado a 1/10 del área de superposición desde el borde, tendrá el 90% del valor de la imagen que empieza y un 10 % de la que termina (ver figura 5.91); las restantes opciones son; “superposición (Overlay)”, que solamente superpone las imágenes dejando a la última ingresada sobre las anteriores; “Promediar (Average)”, que promedia los valores de los píxeles que se encuentran en el área de superposición; “Mínimo (Minimum)”, donde el valor del píxel en el área de superposición es reemplazado por el valor mínimo de entre los superpuestos; “Máximo (Maximum)” en la cual el valor del píxel en el área de superposición es reemplazado por el valor máximo de entre los superpuestos (IMAGINE 8.6\help\html\utility\set_overlap_function.htm).

Figura 5.89

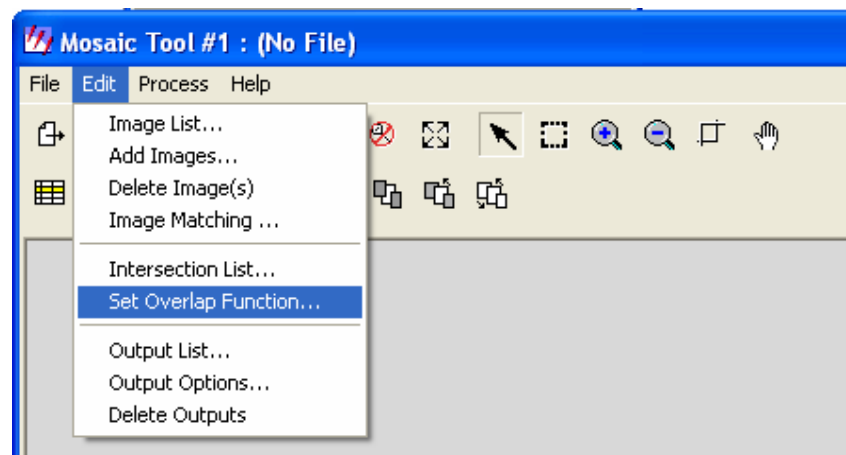


Figura 5.90

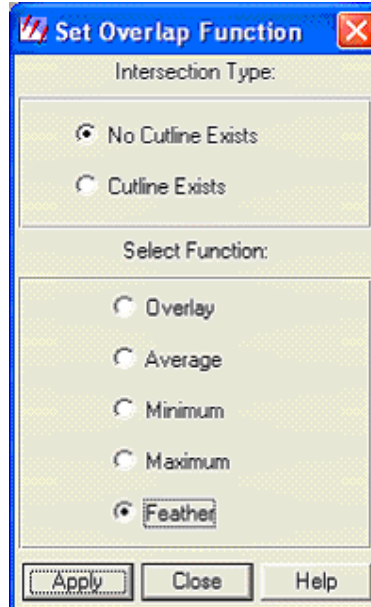
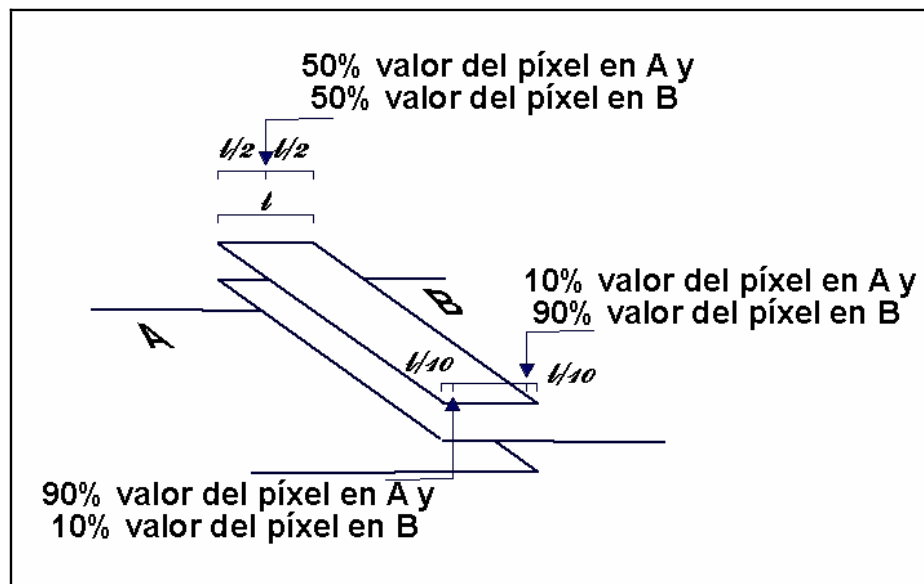


Figura 5.91 Figura explicativa del método "Feather".



Al terminar de colocar todos los AOI's se volvió al menú principal (ver figura 5.82), del menú "Process", en este se seleccionó la opción "Run Mosaic" como se muestra en la figura 5.93, y se dio un nombre al mosaico.

Se determinó que se ignorara los valores de cero en las estadísticas y que el valor del fondo sea 255, o sea, color blanco (ver figura 5.93).

Figura 5.92

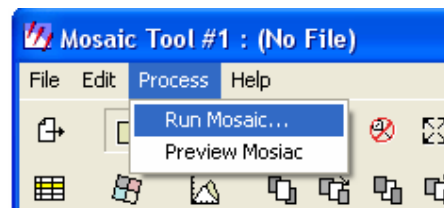
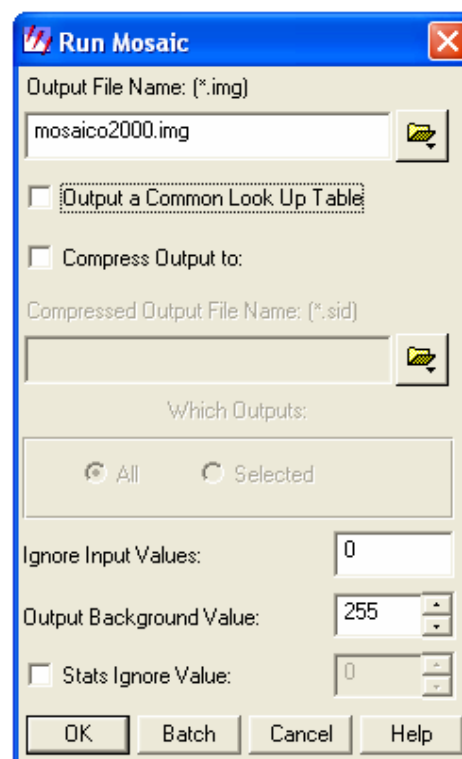
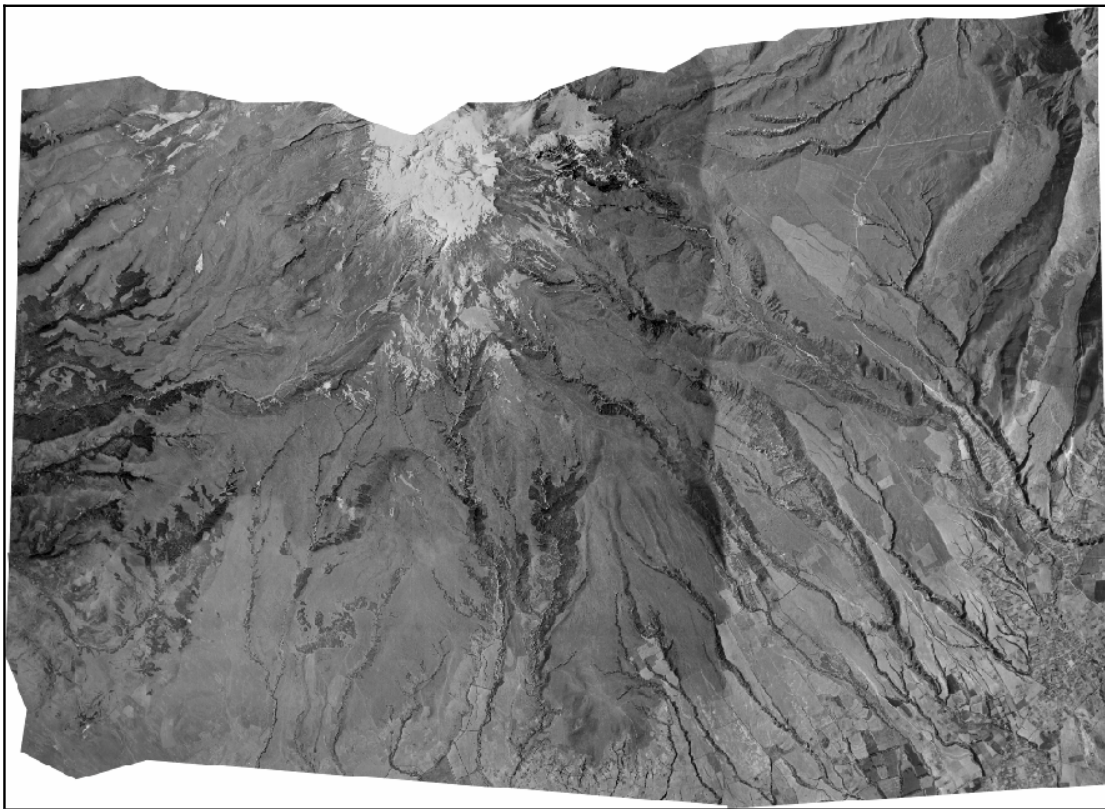


Figura 5.93



Como resultado se obtuvo un mosaico como el que se muestra en la figura 5.94, en el que las mediciones serán una representación de la realidad.

Figura 5.94 Mosaico confeccionado con el DTM para el bloque de aerofotografías del año de 1956.



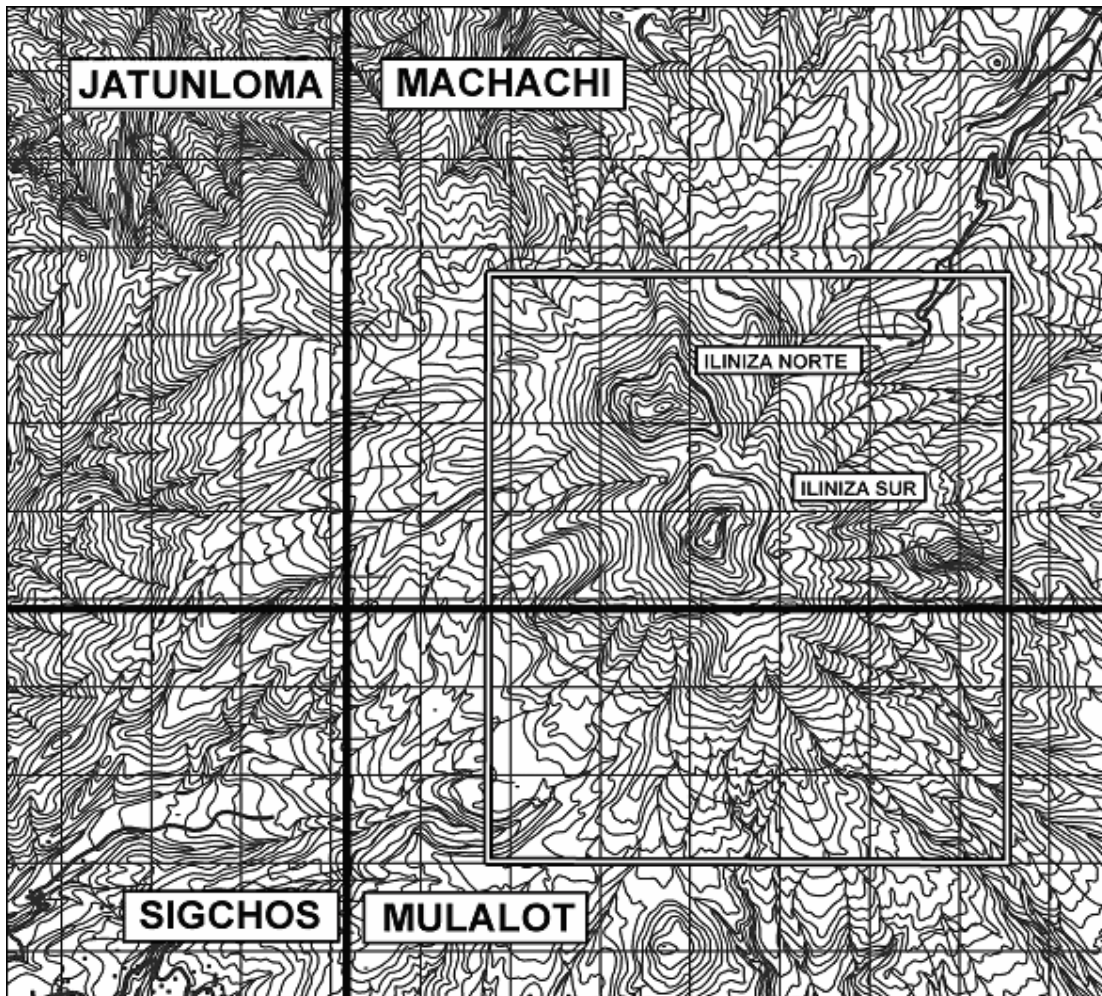
5.4. CORRECCIÓN DE ESCALA PARA LOS MOSAICOS

Los mosaicos obtenidos mediante los procesos anteriormente descritos con el SRTM resultaron de muy buena calidad, sin embargo, a causa de particularidades de cada bloque de fotografías, como la diferencia en la ruta de vuelo por las que se produjeron ciertas discrepancias respecto a la proyección de la topografía de la zona en el plano, por ejemplo variaciones en la forma de quebradas o en especial elevaciones topográficas en otras palabras el desplazamiento de la imagen.

Debido a esto, se decidió corregir todos los mosaicos con el objeto de que los resultados obtenidos de estos fueran comparables entre sí. Para todos los casos se tomó como referencia la carta digital de la zona facilitada por el IGM de modo que al ajustar los mosaicos, coincidieran en la medida de lo posible con los datos que estas cartas contenían. Así, se procedió a corregir el mosaico completo de

cada año pero prestando mayor atención y concentrando esfuerzos en la zona principal, la que contenía el área nivo-glaciara, esto es, entre las coordenadas 751760,99 m, 9923003,67 m y 757545,62 m, 9929695,5 m (ver figura 5.95).

Figura 5.95 Figura que muestra la zona de importancia ubicada en las cartas topográficas.



Como resultado de este proceso, se observó que aquellos puntos que presentaron problema en su ubicación son, en general, los que presentan un RMSE mayor, y por lo general tuvieron que ser reemplazados. Igualmente que en el caso de PC para la orientación externa, los PC en las correcciones debieron ser ubicados siguiendo una buena distribución acorde a los requerimientos y

considerando que los puntos en el centro del mosaico no son tan influyentes como aquellos colocados en las zonas mas externas.

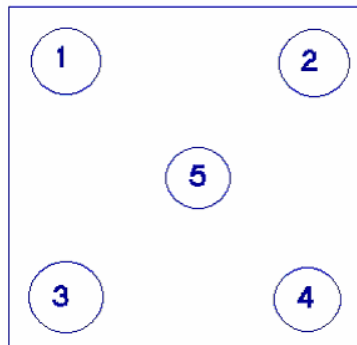
5.4.1. Proceso

Primeramente, se estableció que la diferencia entre un punto de referencia en el mosaico, arbitrariamente considerado, y su representación en la carta no fuera mayor a 25 m, esta distancia en la escala de las fotografías sería de medio milímetro. Los resultados de dichas comparaciones son los que se muestran más adelante para los diferentes años en la zona antes mencionada.

En este proceso fueron utilizados los programas ERDAS 8.6, para la corrección de las distancias y el ARCVIEW 8.3 para la constatación de los errores.

Para la revisión de dichas distancias se seleccionaron cinco puntos al azar, los cuales, con el fin de mantener un orden en el trabajo fueron ubicados del siguiente modo: uno en cada esquina del mosaico mas uno en el centro de éste último tal y como se muestra en el esquema de la figura 5.96, con lo que además se obtenía mayor representatividad.

Figura 5.96 Esquema que muestra la ubicación de los puntos que se utilizaron para ajustar los mosaicos a la carta.



Para conseguirlo fue necesario utilizar la opción "Data preparation" mostrado en la figura 5.80, al desplegarse el menú correspondiente a esta herramienta, se activó la opción "Image Geometric Correction" (ver figura 5.81), luego se activó una ventana que permitía escoger la imagen para corregir desde un viewer previamente abierto o desde un archivo como se puede ver en la figura 5.97, en la

ventana que se activó a continuación se seleccionó el mosaico que se iba a corregir, al aceptar la información de esta ventana se desplegó un Viewer que contenía el mosaico como el que se ve en la figura 5.33 y además un cuadro que permitió definir el tipo de modelo geométrico a emplear para la corrección. En este caso para los fines requeridos se seleccionó el modelo polinomial como se puede observar en la figura 5.98 definiendo en la lengüeta de parámetros el orden 1 (ver figura 5.99).

En la siguiente lengüeta, “transformation”, se muestra una tabla que contiene los datos generados al momento de resolver la corrección y en la última lengüeta que corresponde a “Projection” se define el tipo de proyección geográfica para la corrección. Esto se logró activando el botón “Add/Change Projection”, y se presiona el botón “Apply” para aceptar la información anterior definida, estas dos últimas ventanas se aprecian en las figuras 5.100 y 5.101. Junto con el viewer y la ventana “Set Geometric Model” mostrada en la figura 5.98 se activó el menú mostrado en la figura 5.102, cuya segunda herramienta (ver figura 5.104) activó la ventana mostrada en la figura 5.103, la cual permitió seleccionar el tipo de archivo que sirvió de referencia para la corrección, para el caso, las cartas fueron de tipo “Vector Layer” ya que para este trabajo se las transformó a archivos de tipo Shape, al haber aceptado esta opción se abrió un directorio a través del cual se abrieron los directorios que permitieron encontrar y visualizar los archivos de las cartas en un nuevo Viewer.

Figura 5.97

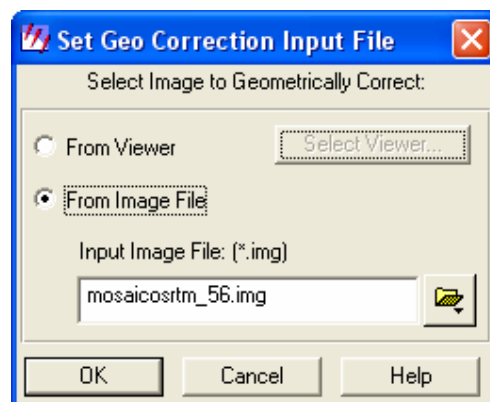


Figura 5.98

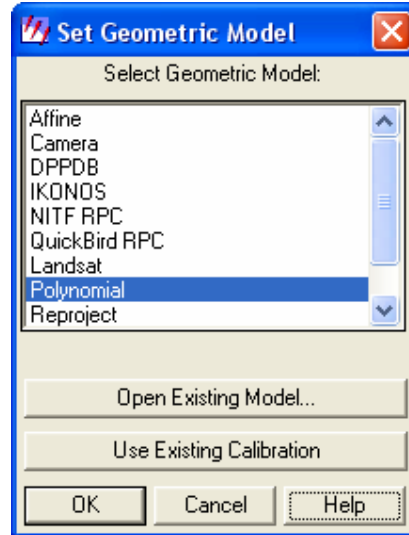


Figura 5.99

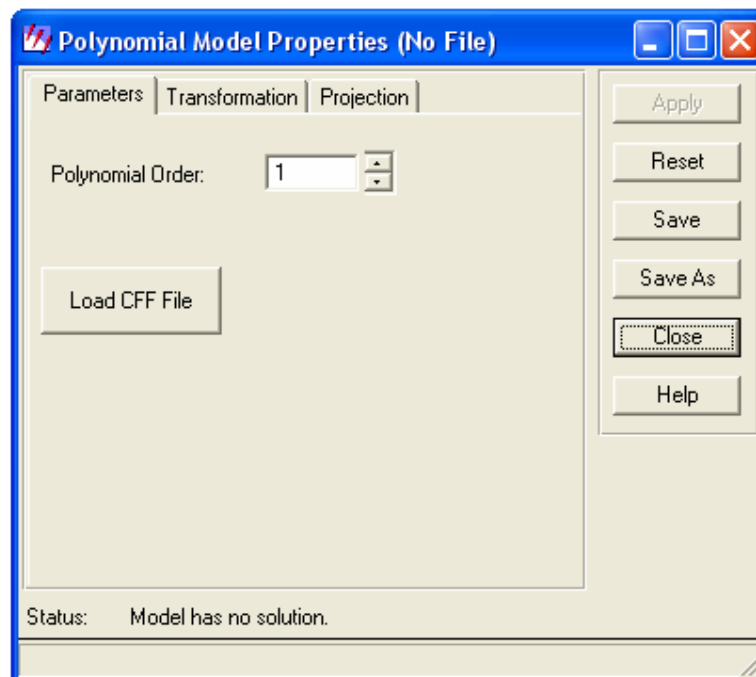


Figura 5.100

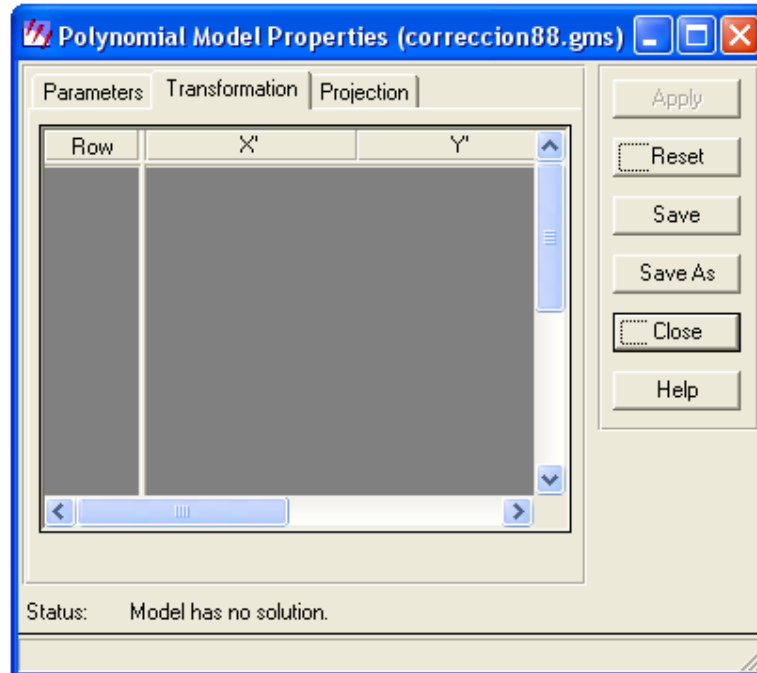


Figura 5.101

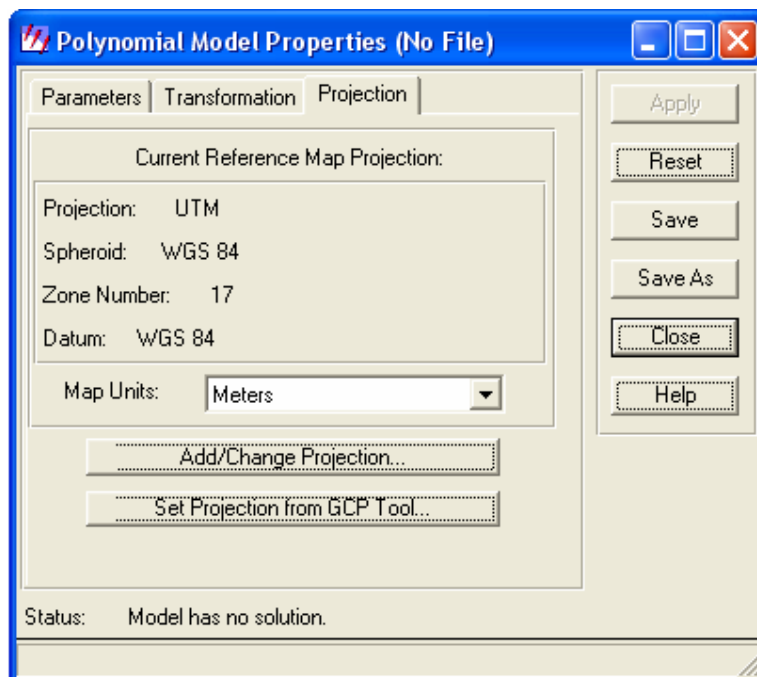


Figura 5.102

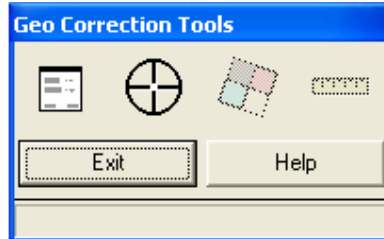


Figura 5.103

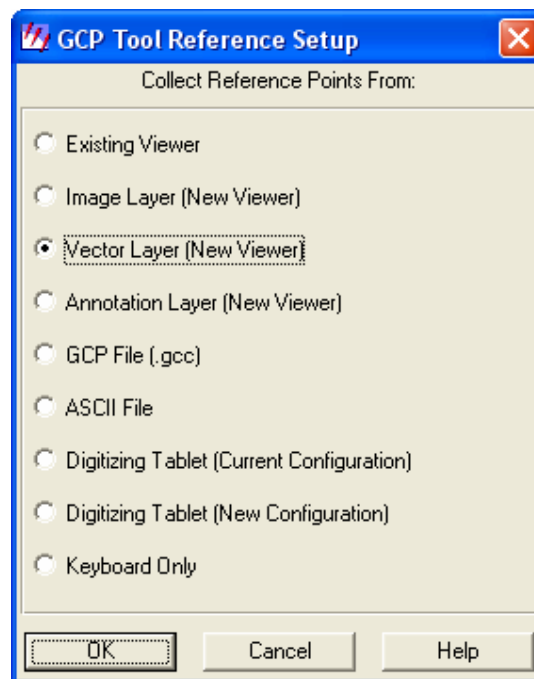


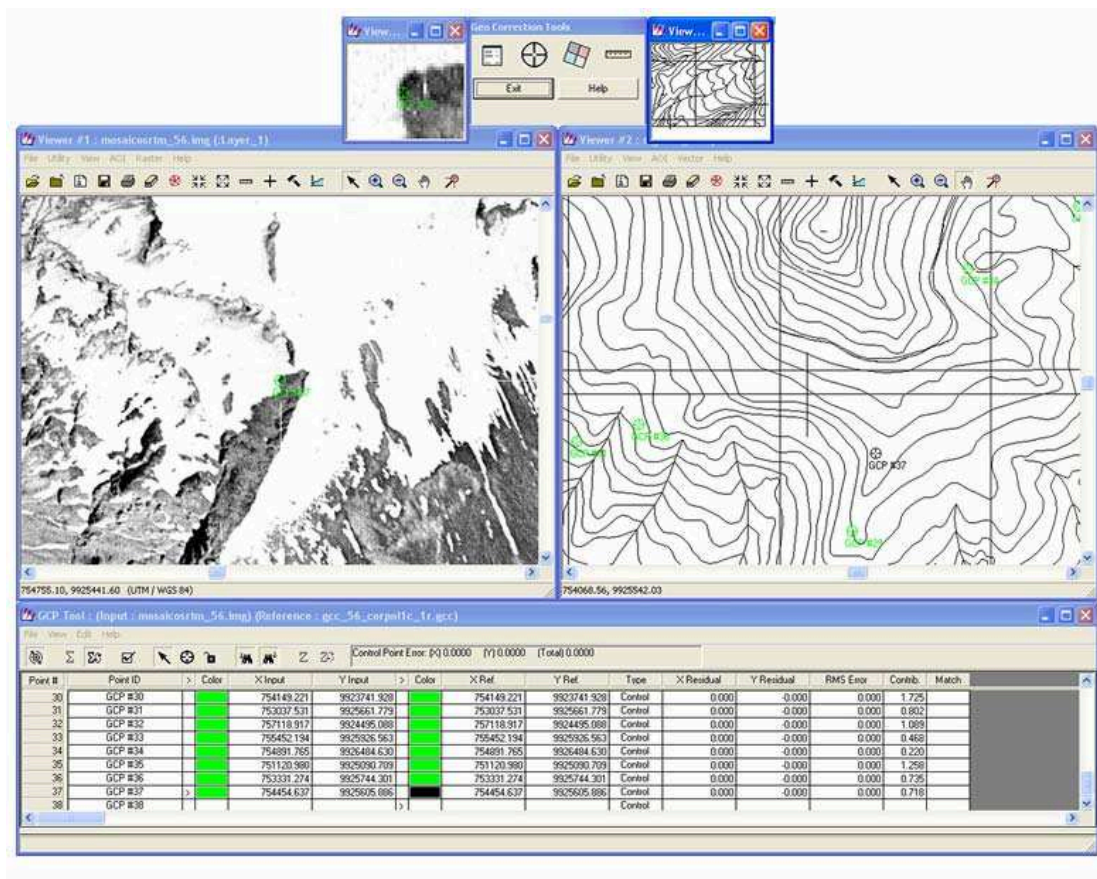
Figura 5.104



Como resultado, se pueden visualizar dos Viewers grandes, más dos pequeños que muestran el punto mismo colocado, debido a que éstos últimos pueden ser colocados manualmente sobre la zona requerida y a la vez se puede alterar su tamaño con el fin de ampliar la zona buscada con el fin de mostrar las zonas que

encierran de manera mas detallada, y una ventana con los puntos debidamente identificados en la columna "Point ID", los colores con los cuales se muestran los puntos en los Viewers en la columna "Color", las coordenadas de los puntos colocados tanto para la ventana del mosaico, "X, Y Input", como para ventana de la carta, "X, Y Ref", y los valores de sus residuales en las columnas "X, Y Residual", el RMS Error y la columna "Contrib" que permite conocer el peso o la influencia de un punto en la corrección, para tener una idea del trabajo utilizado para la ejecución de esta corrección se puede observar la figura 5.105 que muestra los cuatro Viewers, el menú principal de la herramienta en la parte superior, "Geo Correction Tools", y la ventana de la herramienta "GCP Tool".

Figura 5.105 Muestra las ventanas activas para el proceso de corrección geométrica.



Inicialmente y para todos los mosaicos se ubicaron los puntos, 3 por lado del mosaico (ver figura 5.106), con el objetivo de que estén mas relacionados con la

carta, y luego, con la información obtenida de las mediciones iniciales de errores como se mostró en la figura 5.96 se colocaron los PC.

El objetivo de la colocación de estos puntos fue, de cierto modo, para “moldear” los detalles del mosaico de modo que se ajustara con la carta; por ejemplo, colocar un punto en un esquina con el fin de alejarla del centro o de cierta zona del mosaico, en la figura 5.107 a) sería el punto 1, mientras, desde otra esquina, colocar otro punto, como el punto 2, con el fin de que lo acercara al centro del mosaico y al mismo tiempo colocar los puntos 3 y 4 que se dirigieran hacia el punto 2, en otras palabras el objetivo buscado fue “moldear” los mosaicos en base a las cartas aplicándole ciertas “fuerzas”, este es un ejemplo explicativo respecto al criterio de la colocación de los puntos en este proceso, como resultado de la colocación de estos puntos o “fuerzas” el cuadrado tomó la forma mostrada en la figura 5.107 b).

Finalmente se comprobó que al aumentar la cantidad de PC para la corrección se podían obtener mejores resultados, sin olvidar el compensar los efectos producidos por uno de ellos con la aplicación de otros que produzcan efectos complementarios o contrarios de menor intensidad tratando de mantener el equilibrio entre los efectos de los PC de acuerdo a los requerimientos. Este criterio final se encuentra esquematizado en la figura 5.107 a la que se le aplican las “fuerzas” PC1, PC2, PC3 y PC4 obteniendo una figura que como base es un cuadrado pero deformado como efecto de la aplicación de los PC.

Figura 5.106 Ubicación de los PC para la corrección de los mosaicos.

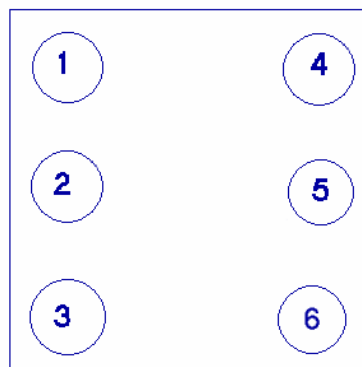
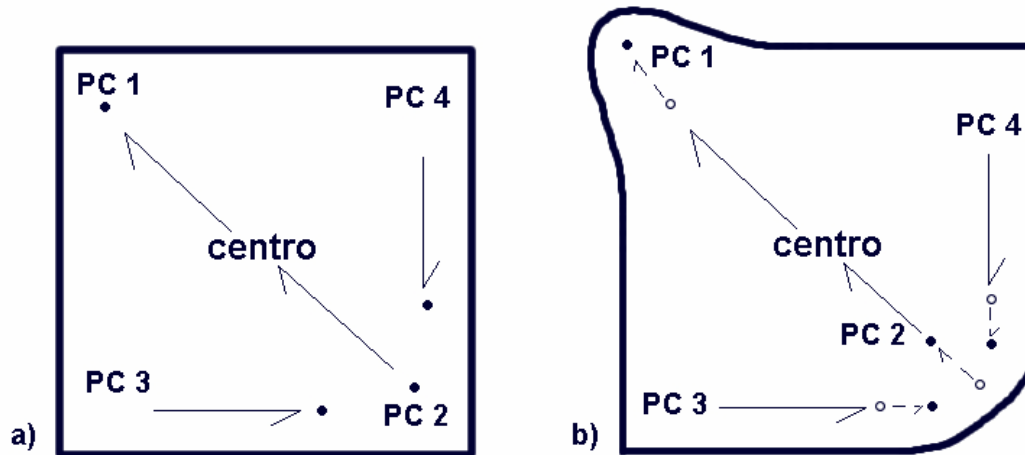


Figura 5.107 Esquema que muestra la influencia de los puntos ubicados sobre los mosaicos.



Luego de colocados los puntos en el mosaico y en la carta, se guardaron los datos y se activó el botón mostrado en la figura 5.108 para reconfigurar la imagen de acuerdo a los puntos colocados.

Al obtener los resultados se volvió a medir los mismos puntos anteriormente colocados repitiendo el proceso de ser necesario hasta que las distancias anteriormente descritas fueran menores a 25 metros.

Figura 5.108



En el caso de no existir información como carreteras o calles, la opción restante por considerar para la colocación de PC fueron las quebradas, que en la mayoría de los casos fueron afectadas por el efecto de desplazamiento de imagen en especial sus intersecciones.

5.5. DETALLES ENCONTRADOS EN LA ELABORACIÓN DE LAS DIFERENTES ORTOBASES Y MOSAICOS

5.5.1. Para las ortobases

5.5.1.1. Orientación interna

En el caso de la Orientación Interna de las ortobases se decidió empezar por aquellos años cuya información de los certificados de calibración se tenía a disposición; así, se empezó por el año 2000, continuando con el año de 1988 y luego el año 1986.

Las ortobases correspondientes al año de 1956 y 1963 se orientaron posteriormente con un proceso ligeramente diferente a los anteriores tres años mencionados. De este modo se describen a continuación ciertos detalles correspondientes a la configuración de cada ortobase.

5.5.1.1.1. Para cámaras con certificados de calibración disponibles

Año 2000

El dispositivo correspondió a una cámara tipo RC30 marca Leica AG, Heerbrugg, los lentes fueron de tipo 15/4 UAG-S de número 13265 y fue calibrada el 29 de mayo de 1995.

Además la distancia focal de este dispositivo es de 152.92 mm, los certificados de calibración se encuentran en el Anexo B-3.

Tanto las marcas fiduciales correspondientes a este sensor, así como los datos de distorsión radial y la orientación de las marcas fiduciales se muestran en el certificado de calibración correspondiente en el Anexo B-3.

Para este año, luego de corregir la ubicación de las marcas fiduciales, los valores de RMSE son menores a 0.5 pixeles, por lo que se consideraron aceptables y se continuó con el proceso.

Años 1988 y 1986

Para los dos bloques de aerofotografías la información del sensor es la que se detalla a continuación: cámara tipo RC10 marca Wild Heerbrugg Ltd., así como, lentes tipo 15 UAG II de número 3080. Este dispositivo fue calibrado el 24 de junio de 1982. La distancia focal de éste dispositivo fue de 153.03 mm.

Los datos de las marcas fiduciales y su orientación, la información de la distorsión radial se encuentran especificadas en su respectivo certificado de calibración que se encuentra en el Anexo B-3.

En cuanto al RMSE derivado de la colocación de las marcas fiduciales, se puede decir que para el año de 1988 su orientación interna fue relativamente sencilla y no fue necesario realizar ningún tipo de ajuste, mientras que para el año de 1986 se requirió un ajuste mas profundo ya que el error en sus aerofotografías presentaban inicialmente un error mas alto.

5.5.1.1.2. Para cámaras sin certificados de calibración disponibles

Año 1956 y 1963

Como se explicó en la sección 4.2.4, no se disponía de los certificados de calibración para estos bloques, de manera que no se requirieron coordenadas para las marcas fiduciales, ni orientación de las marcas fiduciales, ni tampoco correcciones para la distorsión de las lentes.

Por el motivo señalado anteriormente se definió el dispositivo correspondiente al año de 1956 como uno digital, tipo T11, con una distancia focal de 152.57 mm y al

año 1963 como una cámara digital, KC1-B con una distancia focal de 152.58 mm siendo estos los únicos datos conocidos para ambas ortobases.

Al momento de definir la orientación interna para el caso de las imágenes capturadas únicamente se requirió definir el tamaño del píxel en ambas direcciones que para ambos casos su valor fue de 14 micrones.

5.5.1.2. Orientación externa

Para el desarrollo de este proceso se inició con el bloque correspondiente al año de 1988, ya que se tenía la información de PC a disposición.

Luego, se obtuvieron los modelos estereoscópicos de este bloque y consecuentemente la información de PC's para los restantes años.

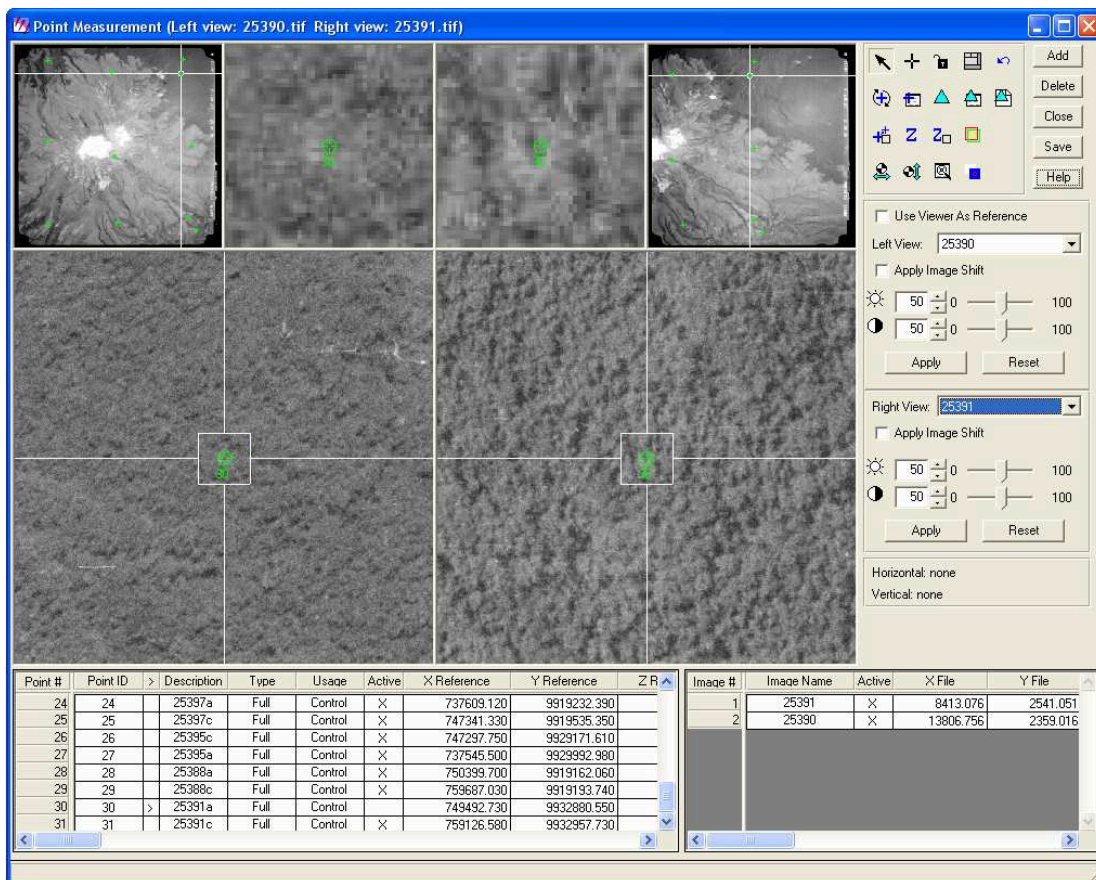
5.5.1.2.1. Año de 1988

Para la orientación externa de las aerofotografías del año 1988 se ubicaron 23 PE y además ocho PC (25397a, 25397c, 25395a, 25395c, 25388a, 25388c, 25391a, 25391c); sin embargo, al correr la triangulación el punto 25391a fue retirado del proceso con el objeto de mejorar la triangulación.

Cabe mencionar que el punto 25391a es un punto ubicado en una zona boscosa, por lo que fue difícil de encontrarlo y de ubicarlo, generando de por sí una considerable imprecisión; por esta razón se esperaba que este punto causara problemas en el momento de correr la aero-triangulación.

Este punto se muestra en la figura 5.109, luego de haber sido colocado en las aerofotografías 25390 y 25391.

Figura 5.109 Imagen que muestra el proceso de ubicación de PE, paso y control, en particular el punto 25391a, en el bloque de 1988.

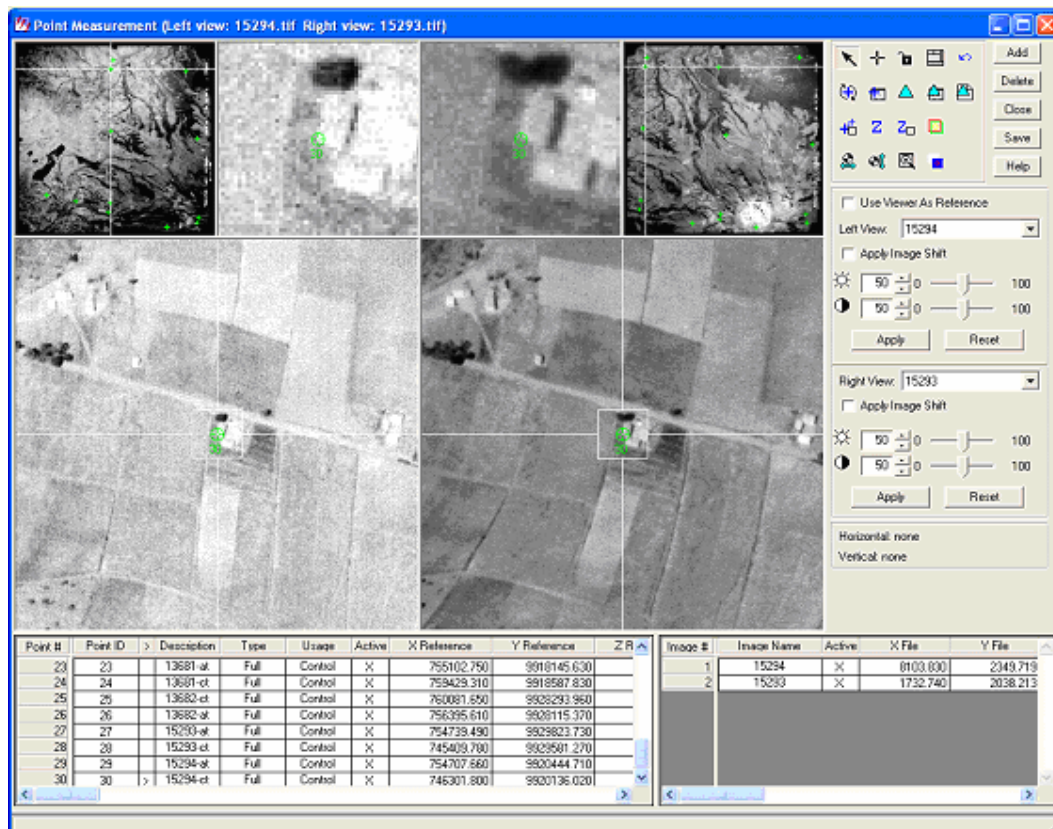


5.5.1.2.2. 2000

En el caso del bloque del año 2000, se presentó el inconveniente de que su superficie no era totalmente cubierta por el bloque del año de 1988, éste era el caso para las imágenes 13681, 13682 y 13683, siendo aproximadamente un 40% de la superficie de cada una de éstas (ver sección 10.3.2 del Anexo C), a la que no se le pudo colocar PC en las zonas más extremas, por esta razón se procedió a ubicar mas PE en la zona de traslape de las líneas que componen el bloque como se puede observar en la figura 5.127. Finalmente para el año 2000 se ubicaron 22 puntos, entre éstos, puntos de paso y de enlace, luego se ubicaron inicialmente ocho PC, cuatro por línea, aunque finalmente se tuvo que aumentar uno más para mejorar los resultados de la aero-triangulación. Los puntos de paso y de enlace permiten, cual si fuera un rompecabezas, ir formando la imagen de la

zona. Estos conectan a las imágenes del bloque entre ellas y son necesarias para la triangulación (Erdas "Imagine Orthobase User's Guide.pdf", 2002). Un detalle de los PC utilizados para la orientación exterior de este año se muestra en la sección 10.3.3 del Anexo donde además se puede observar la ubicación de cada uno de ellos en los modelos estereoscópicos que permitieron su obtención.

Figura 5.110 Figura que muestra el noveno punto de control ubicado para el año 2000



5.5.1.2.3. 1986

Para la orientación externa del bloque de 1986 se buscaron puntos en las zonas traslapadas, tres por cada traslapo, con lo que finalmente se colocaron nueve PP ya que para este año se tuvo a disposición únicamente tres fotografías con las que trabajar. Se buscaron seis puntos con coordenadas en los pares estereoscópicos del año de 1988, sin embargo en el trabajo de triangulación se utilizaron únicamente el mínimo de puntos requeridos, o sea cuatro, lo que es el mínimo de PC requerido al trabajar únicamente con una línea de fotografías.

Estos PC que finalmente se utilizaron fueron 22204-at, 22204-ct, 22202-at y 22202-ct, su información puede observarse en la tabla 5.4. Como se puede observar en la sección 10.3.2 del Anexo C, la zona contenida en las aerofotografías correspondientes a 1986 se encuentra perfectamente contenida en las aerofotografías de 1988, por lo que no se encontraron problemas en encontrar PC para este bloque. Un esquema de la ubicación final de los PC en las imágenes de este año se puede observar en la figura 5.130. La información de los PC y sus coordenadas correspondientes a 1986 se muestra en la tabla 10.4.

Figura 5.111 Figura que muestra la ubicación del punto 22204-at2 en las fotografías 22203 y 22204.

Point #	Point ID	Description	Type	Usage	Active	X Reference	Y Reference	Z R
8	8		None	Tie	X	0.000	0.000	
9	9		None	Tie	X			
10	10	22202-at	Full	Control	X	753004.050	9923910.800	
11	11	22202-ct	Full	Control	X	756852.160	9923743.650	
12	12	22204-at	Full	Control	X	752974.610	9927761.560	
13	13	22204-ct	Full	Control	X	756438.120	9928087.610	
14	14	22204-at2	Full	Control	X	752869.320	9927652.780	
15	15	22204-bt	Full	Control	X	756632.040	9927542.450	

Image #	Image Name	Active	X File	Y File
1	22203	X	1904.625	15330.625
2	22204	X	6322.875	15739.375

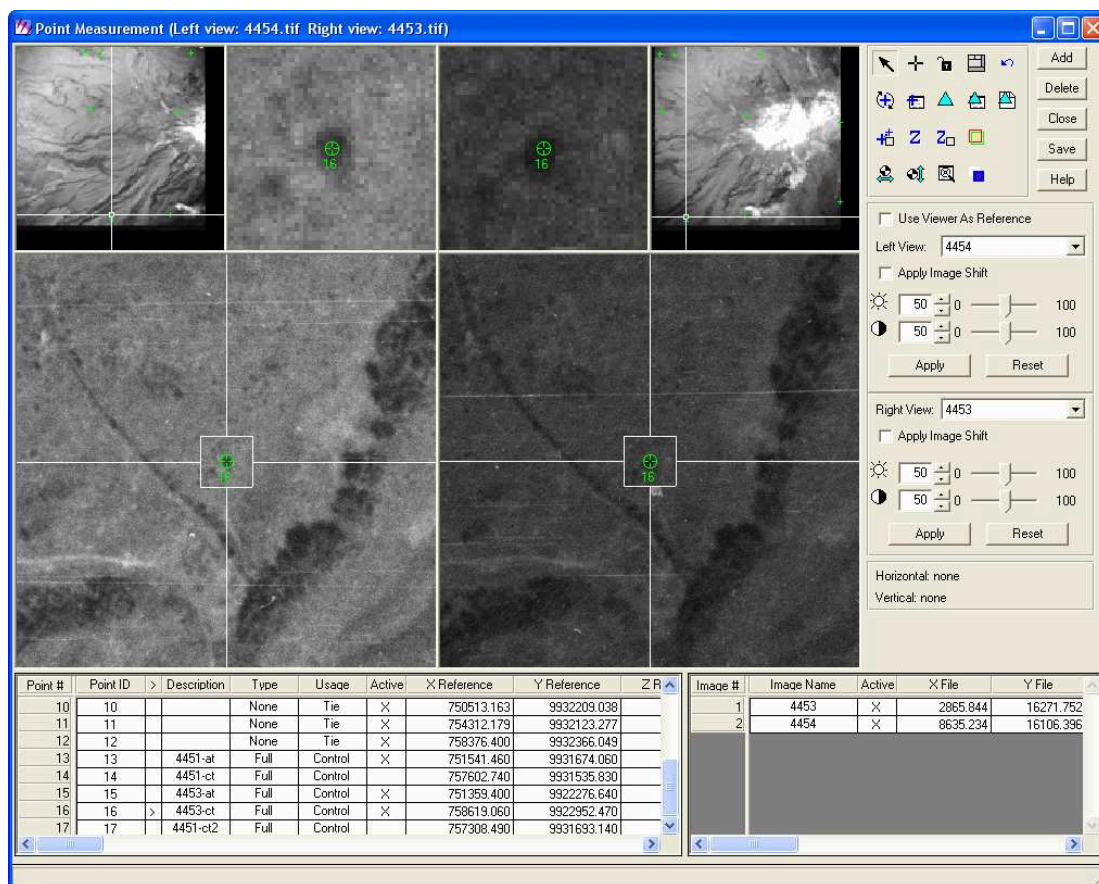
5.5.1.2.4. 1963

Para la orientación externa correspondiente al año de 1963 se requirió de la búsqueda y ubicación de doce PP ya que se trataba de una línea conformada por cuatro fotografías, para los PC, al tratarse de una única línea se buscaron y

ubicaron cuatro PC inicialmente, pero en la triangulación se tuvo que reemplazar el punto 4451-ct con el 4451-ct2 dado que a pesar de que convergía el cálculo de la triangulación se había excluido un punto por lo que quedaban solo tres PC. Una explicación mas profunda del proceso de triangulación y de los resultados de este se presenta en el literal 5.5.1.3 concerniente a este proceso.

La información de los PC utilizados para este bloque se puede observar en la sección 10.3.2 del Anexo C.

Figura 5.112 Figura que muestra el punto 4453-ct y su ubicación en las fotografías 4453 y 4454.



5.5.1.2.5. 1956

El área cubierta por las aerofotografías de 1956 no era totalmente cubierta por el área de 1988 por los que se tuvo que tener cuidado en el momento de colocar los PC, esto se puede observar en la sección 10.3.2 del Anexo C, razón por la cual la

colocación de los PC en la zona del problema, debió ser lo más aproximada a los límites de la zona común para ambas. Finalmente se ubicaron veinte y dos PE en todo el bloque y ocho PC, aunque en el proceso de aero-triangulación se tuvo que retirar el punto de control denominado 29892-AT y también un punto de enlace entre las aerofotografías 29892 y 29893 por lo que finalmente se trianguló con veinte y un PE y siete PC, esto se puede observar en el esquema de la figura 5.120. Cabe aclarar que este bloque presentó imágenes de poca claridad, por lo que se dificultaba la identificación de PE y PC y además que en aquel año no existía mayor detalle de calles casas etc., pues no era un sector muy poblado, por lo que no se asemejaba el nivel de detalles a la información de 1988. La información correspondiente a los PC obtenidos para este bloque se muestra en la tabla 10.2 del Anexo.

Figura 5.113 Punto 24035-CT en las fotografías 24035 y 24036.

Point #	Point ID	Description	Type	Usage	Active	X Reference	Y Reference	Z R
23	23	29894-AT	Full	Control	X	748933.420	9927577.080	
24	24	29894-CT	Full	Control	X	757192.300	9927337.600	
25	25	29892-AT	Full	Control	X	748933.420	9927577.080	
26	26	29892-CT	Full	Control	X	756845.390	9918139.480	
27	27	24035-AT	Full	Control	X	756526.020	9927580.350	
28	28	24037-AT	Full	Control	X	755983.320	9918216.030	
29	29	24037-CT	Full	Control	X	755544.170	9919198.140	
30	30	24035-CT	Full	Control	X	760072.510	9927912.170	

Image #	Image Name	Active	X File	Y File
1	24035	X	7768.756	9282.527
2	24036	X	15339.987	10160.828

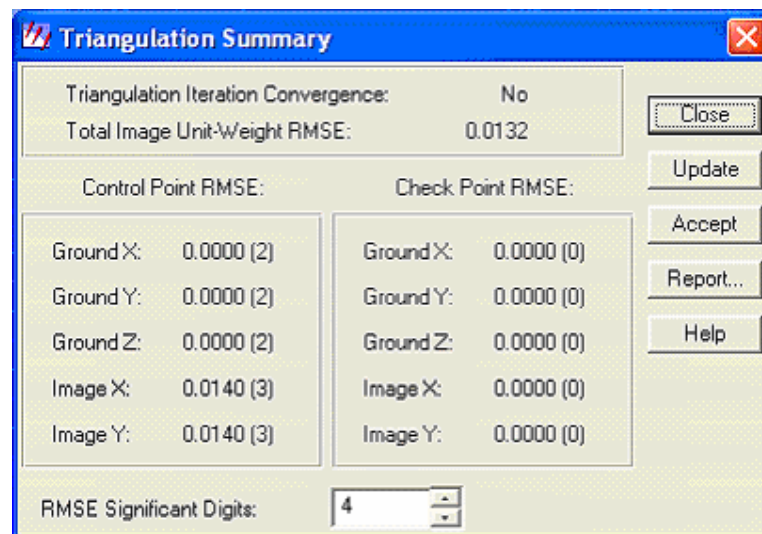
5.5.1.3. Aero-Triangulación

El proceso de aero-triangulación se llevó a cabo en el orden mostrado a continuación, esto ya que se debía terminar el proceso para el año de 1988 con el fin de obtener información para el resto de años de los bloques.

5.5.1.3.1. 1988

El proceso llevado a cabo para el bloque correspondiente al año de 1988 es, tal como se detalló en la sección 5.2.1.5, el resultado obtenido de la primera iteración de la aero – triangulación es no convergente aunque presenta un valor de RMSE de 0.0132 (0.80 cm) como se muestra en la figura 5.114, por lo tanto aceptable, por lo que se procede a revisar el reporte de la iteración (ver referencia 10.3.1.1 – Primera Iteración) del Anexo Digital.

Figura 5.114 Primer resumen de triangulación para 1988.



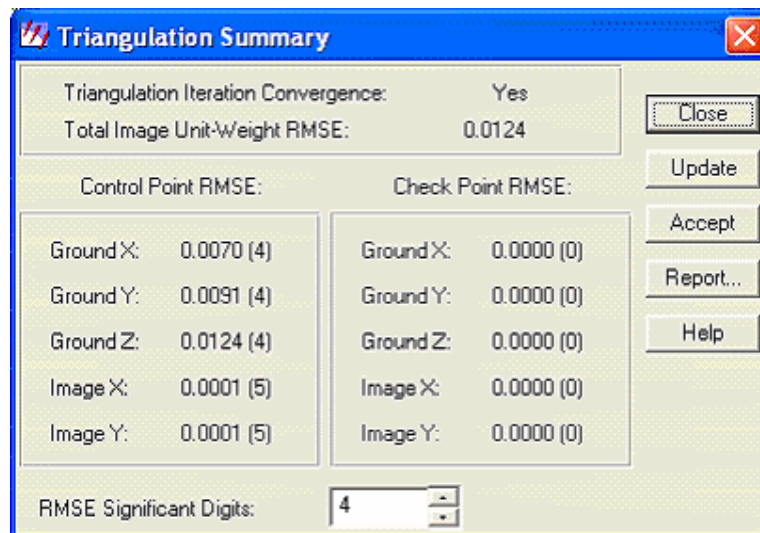
En el reporte puede verse que se ha alcanzado el valor límite de iteraciones que es diez, y pudo apreciarse también que entre los puntos que dieron error están los puntos 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 46 por lo tanto para saber que punto era aconsejable retirar se tomó en cuenta los puntos que dieron problemas al colocar en las fotografías, entre estos estaba el 30, el que se encontraba en el bosque y fue difícil determinar su ubicación.

Luego de retirarlo se volvió a correr el programa. El valor de RMSE previamente se consideró aceptable para este trabajo siendo menor a 0.02 en el peor de los casos, ya que este es igual a 16 cm de acuerdo a la escala la mayor escala de 80000, aunque la escala del bloque tomado para el ejemplo que fue de 60000 (RMSE = 12 cm), para cada bloque se debió calcular su valor de acuerdo a la fórmula mostrada en la figura 5.53.

En la fórmula, el valor es dividido para 100 para que el resultado sea directamente obtenido en centímetros.

En la nueva iteración se consiguió una convergencia y además el RMSE fue menor que el valor máximo impuesto para el trabajo (ver figura 5.115). Así que se acepta la triangulación con todos los puntos definidos anteriormente. El valor del error en centímetros es entonces $0.0124 * 60000$ (valor de la escala) = 744 mm o 7.4 cm.

Figura 5.115

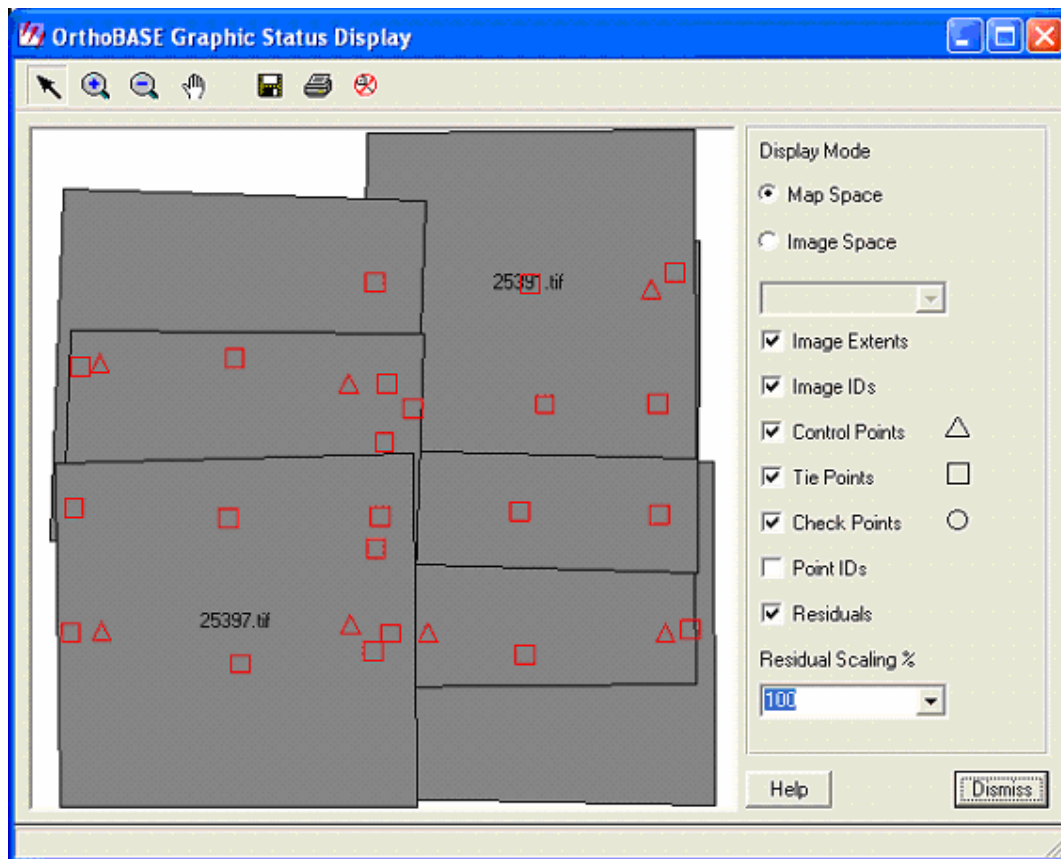


Por lo tanto el reporte es el que se muestra en la referencia 10.3.1.1 – Segunda Iteración del Anexo Digital; se observa que se excluyeron de la iteración los puntos 25, 29 y 31, y convergió en la octava iteración, obteniendo los parámetros

de orientación externa e interna, los valores residuales de los PC, entre lo más importante.

Con la información obtenida en el proceso de aerotriangulación se pudo ya visualizar la figura 5.116 que muestra la ubicación de las fotografías en la ortofoto más sus PC representados mediante triángulos y los PP y PE con cuadrados.

Figura 5.116



5.5.1.3.2. 1956

El bloque del año de 1956 se llevó a cabo del modo descrito en la referencia 5.2.1.5 y como primer resultado para dicho año no se obtuvo convergencia en la iteración y además el valor de RMSE fue de 0.0281 ó 19.67 cm (ver figura 5.117) por lo que se revisó el reporte de la iteración para la triangulación.

Se observó que se presentaron problemas con estas fotografías por el hecho que las líneas estaban orientadas en diferente sentido, esto se hubiera corregido llevando a cabo la orientación interior.

Por lo tanto en la primera iteración el programa excluyó los puntos 23, 24, 26, 28, 6, 4, 9, 19, 20, 3, 21, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 (ver referencia 10.4.1.2 – Primera Iteración en el Anexo Digital), por lo que se procede a retirar el punto 27, el 23 y el 10. Se retiró del proceso el punto 27 por ser el que más problemas dio en su colocación ya que en la imagen 24035 el punto ubicado es claro mientras que en la imagen 24036 se tiene una vista borrosa del punto, lo mismo sucedió con el PE número 10 que igualmente no tiene una ubicación clara en la imagen 29893, contrariamente que en la imagen 29892 y finalmente el punto 23 que ya fue excluido en la aero – triangulación.

Como resultado se obtuvo convergencia pero el valor de RMSE es demasiado alto tendiendo a un valor de 1.7043 que equivale a 1193 cm (ver figura 5.118), además se puede observar en el reporte que se realizaron diez iteraciones excluyendo los puntos 28, 6, 2, 11, 13, 15, 16.

Como resultado se decidió retirar los puntos 10 y 25 ya que ambos puntos tuvieron una imprecisa colocación debido a la poca claridad en las imágenes, el punto 10 anteriormente descrito y el 25 que siendo un PC se encontraba ubicado en la curva de una carretera (ver sección 10.3.3.2 del Anexo C). Esto se decidió revisando uno por uno los puntos para saber cuales tenían menor calidad.

El resultado de esta iteración se muestra en la referencia 10.3.1.2 – Tercera Iteración del Anexo Digital, se puede ver que se ha retirado el punto 28, mismo que fue difícil de colocar dada la poca claridad de las imágenes y que se convergió con seis iteraciones, además el valor de RMSE 0.0264 (18.48 cm) que aunque es mas alto que el que anteriormente se definió para este procedimiento, se acepta ya que se esperaba un mayor error en los bloques que no contenían información de calibración de cámara. Como resultado puede observarse en la figura 5.120 una imagen del bloque del año 1956 aero-triangulado, es posible

observar el traslape de las dos líneas y los PC representados mediante triángulos mientras que los PE y PP con cuadrados.

Figura 5.117

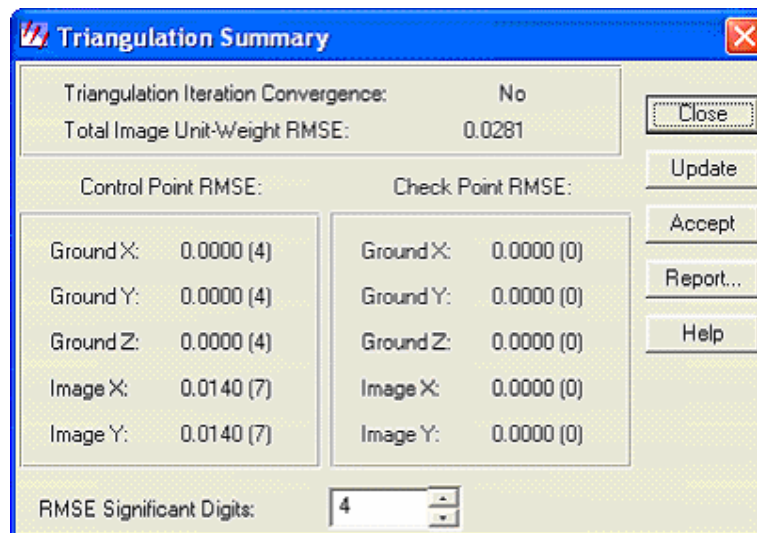


Figura 5.118

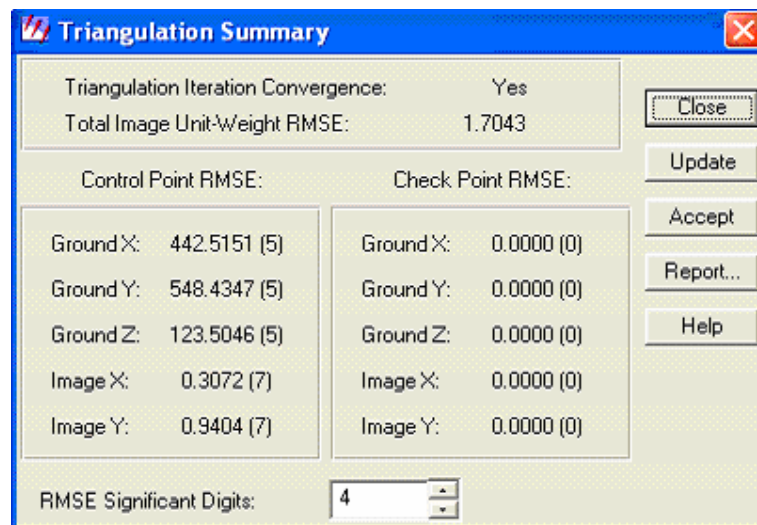


Figura 5.119

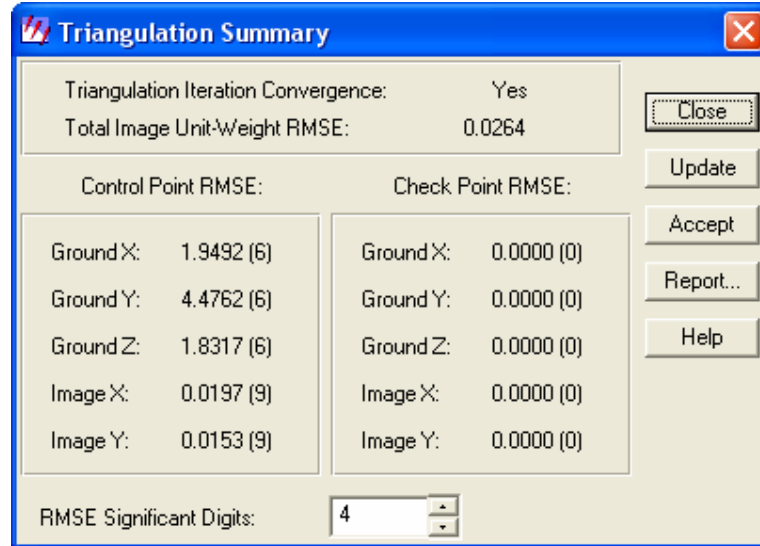
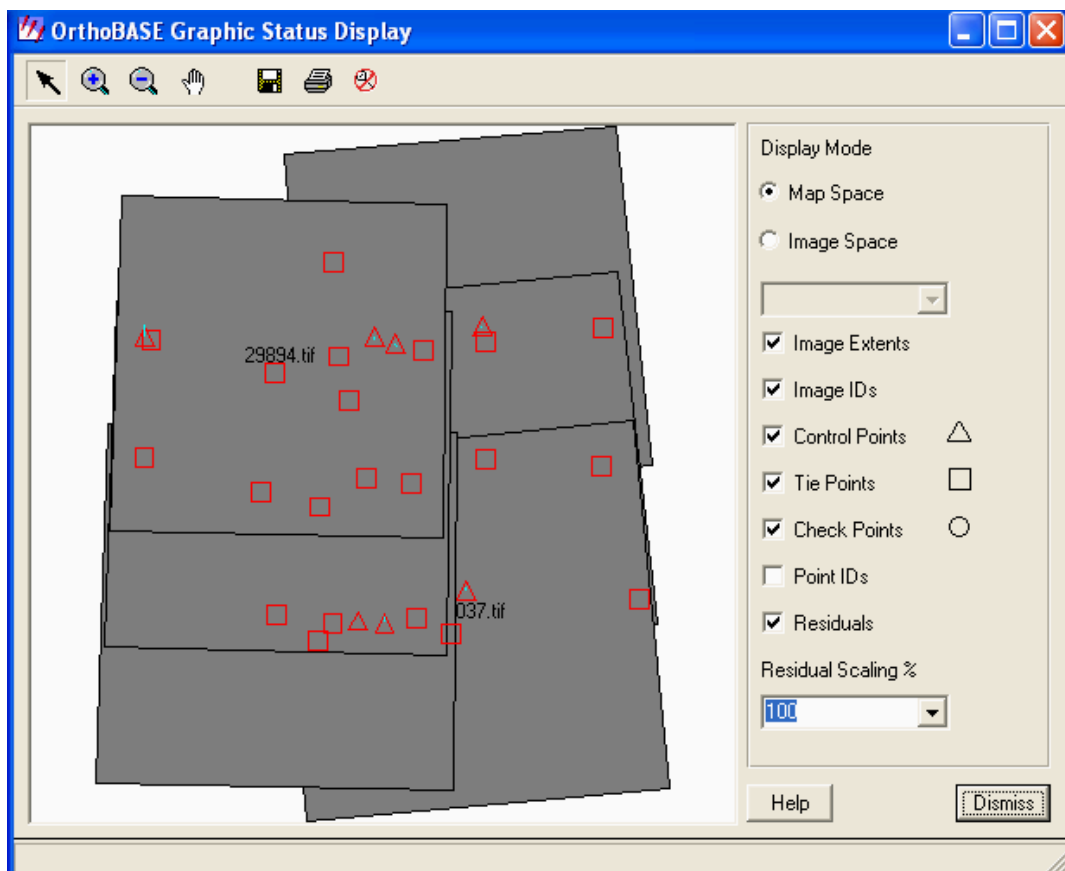


Figura 5.120



En la figura 5.120 se puede apreciar que los PC fueron colocados solo hasta la zona común entre el bloque de 1956 y el bloque de 1988 como se puede observar en la sección 10.3.2 del Anexo C, resultando un ajuste poco uniforme sobre las áreas que no se controlaron, el área en la que no pudieron medirse los PC.

5.5.1.3.3. 1963

Al haber definido los PC y PE en las aero – fotografías que conformaban este bloque se procedió a correr el programa con los puntos definidos.

En la primera iteración se obtuvo convergencia y se encontró un RMSE de 0.0088 igual a 5.28 cm y que puede observarse en la figura 5.121.

Además en el reporte se puede ver que el RMSE es muy bajo, el reporte de la iteración es el que se presenta en la referencia 10.3.1.3 para la primera iteración del Anexo Digital. Como se puede ver en el mencionado reporte se excluyó el punto 14 que es el punto de control 4451-ct, esto dejó mal ajustado el bloque de las fotografías por lo que se procedió a reemplazar este punto con el 4451-ct2.

Como se señaló anteriormente, se añadió el punto 17 (4451-ct2) en reemplazo del punto 14, resultando una convergencia que mostraba un error de 0.0126 (ver figura 5.122). Y al haber revisado el reporte para la segunda iteración mostrado en la referencia 10.3.1.3 (Anexo Digital), se constató que los valores de los residuales eran muy pequeños respecto al límite dado anteriormente, por lo tanto se consideró estos datos correctos y aceptables, ya que el programa no mostraba que hubiera sido necesario retirar algún punto para la aero – triangulación y el valor de RMSE era aceptable de un valor de 0.0126 ó de 7.56 cm.

En la figura 5.123 se puede observar un esquema de las fotografías del bloque de 1963 y sus PC y PE.

Figura 5.121

Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.0010 (3)	Ground X:	0.0000 (0)
Ground Y:	0.0003 (3)	Ground Y:	0.0000 (0)
Ground Z:	0.0011 (3)	Ground Z:	0.0000 (0)
Image X:	0.0000 (4)	Image X:	0.0000 (0)
Image Y:	0.0015 (4)	Image Y:	0.0000 (0)

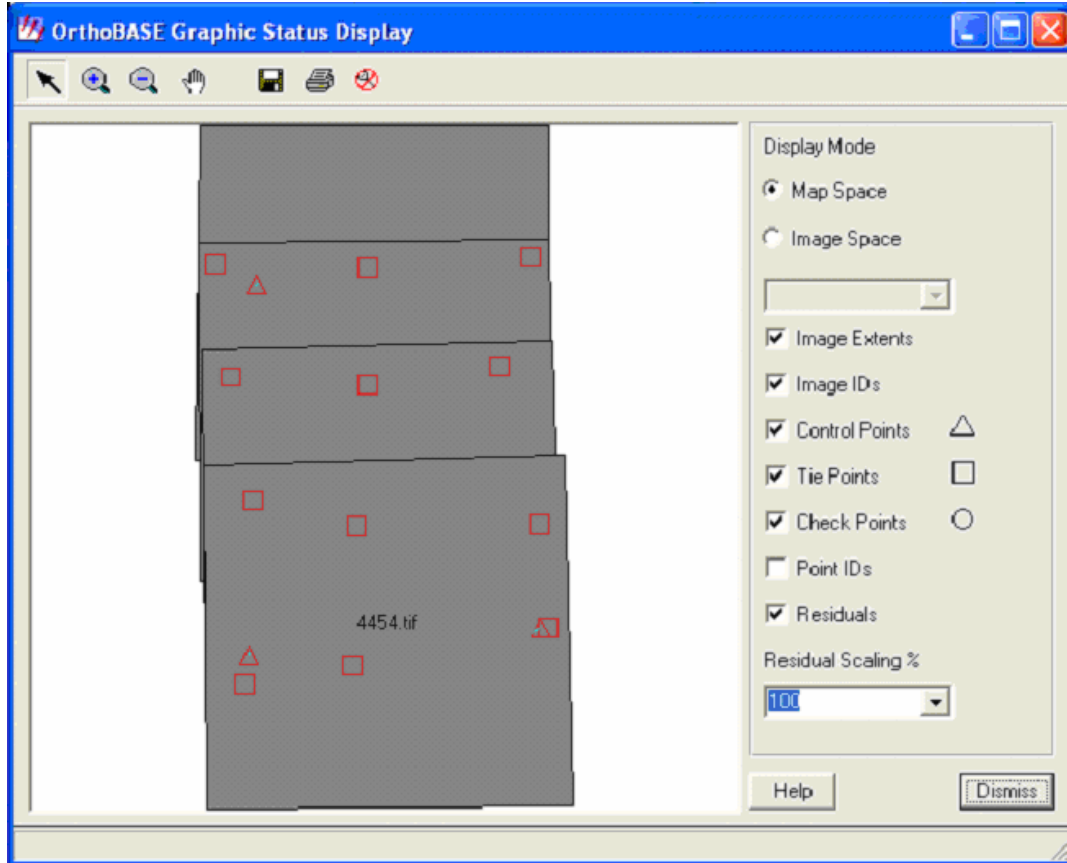
RMSE Significant Digits:

Figura 5.122

Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.0023 (3)	Ground X:	0.0000 (0)
Ground Y:	0.0009 (3)	Ground Y:	0.0000 (0)
Ground Z:	0.0026 (3)	Ground Z:	0.0000 (0)
Image X:	0.0001 (4)	Image X:	0.0000 (0)
Image Y:	0.0038 (4)	Image Y:	0.0000 (0)

RMSE Significant Digits:

Figura 5.123



En la figura anterior puede observarse que los PC cubren toda la zona del bloque, además no existió problema alguno para localizar los PC para este año ya que su área estaba incluida por completo dentro de la zona cubierta por el bloque de 1988 como se puede apreciar en la sección 10.3.2 del Anexo Digital.

5.5.1.3.4. 2000

El proceso de aero – triangulación del bloque del año 2000 produjo los resultado mostrados en la figura 5.124, en esta figura se puede apreciar que la iteración convergió con un error de 0.0073, ó 4.4 cm para la escala que se presenta en la tabla 5.1, un valor mas que aceptable, por lo que se procedió a revisar el reporte de aero – triangulación resultante que se muestra en la sección 10.3.1.4 del Anexo Digital para la primera iteración.

En dicho reporte se puede apreciar que la iteración no convergió y además los puntos 26, 28, 30 fueron excluidos de las iteraciones, lo que quiere decir que el programa aceptó los resultados bajo la condición de desviación estándar detallada en la referencia 5.2.1.5.

Para la nueva iteración se revisaron todos los puntos y se decidió retirar el punto 5 que enlazaba a las imágenes 15292, 15293 y 15294 ya que, a causa de la diferente proyección del punto o efecto del desplazamiento de la imagen pudo no haber sido ubicado correctamente.

El resultado de este nuevo proceso fue convergente y con un error cercano al máximo de 0.02 siendo de 0.0198 (11.88 cm) por lo tanto se aceptaron estos datos y el proceso de aero - triangulación. Igualmente el reporte de triangulación fue satisfactorio, no presenta incoherencias (ver figura 5.125) como el resultado anterior y puede observarse en la referencia 10.3.1.4 del Anexo para la segunda iteración.

Finalmente, se puede tener una visión de la configuración del bloque correspondiente al año 2000 en la figura 5.126.

Figura 5.124

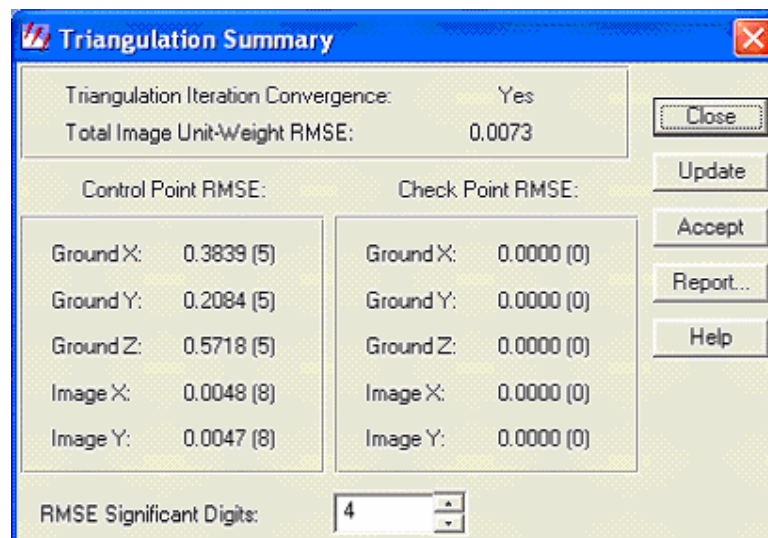


Figura 5.125

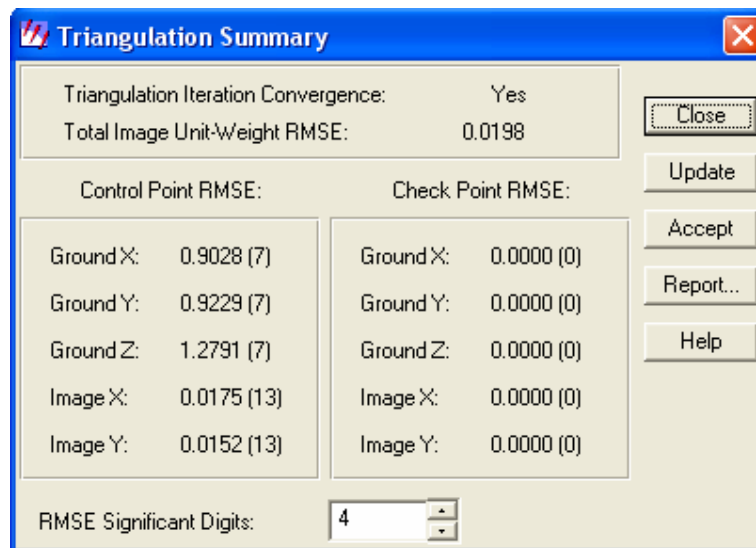
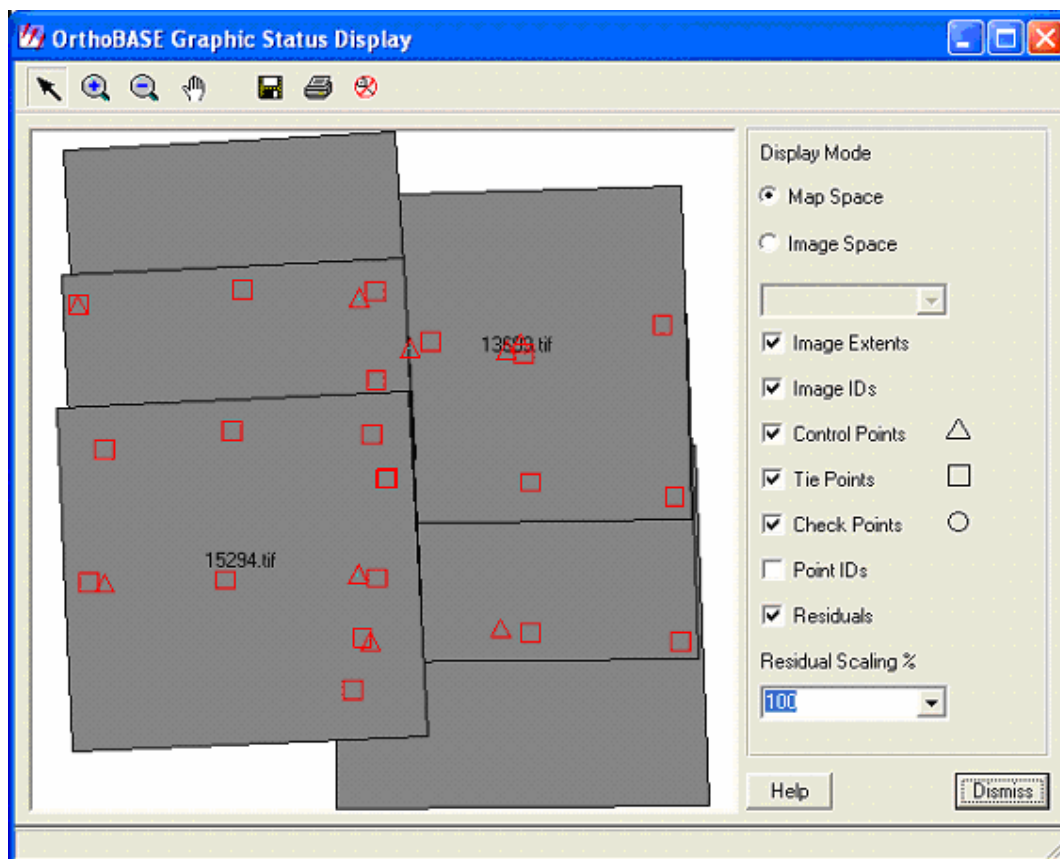


Figura 5.126



Como se puede observar en la figura 5.126, los PC se encuentran dentro de la zona común entre los bloques del año 2000 y el 1988, esto se puede observar de mejor manera en la sección 10.3.2 del Anexo C (Anexo Digital), la que corresponde a una superposición mas detallada entre ambos bloques. Como respuesta a esta falta de información no se obtuvo un buen ajuste entre las imágenes 13681, 13682 y 13683 en la zona que no contenía PC.

5.5.1.3.5. 1986

Para la ortobase correspondiente al año de 1986, inicialmente no se obtuvo convergencia ni tampoco un valor aceptable del RMSE lo que se puede ver en la figura 5.127. Al revisar el reporte de aero – triangulación se pudo conocer que se llevaron a cabo diez iteraciones y que el programa excluyó los puntos 10, 12 y 8; y, debido a que los puntos 10 (22202-at) y 12 (22204-at) son de control, el programa no pudo terminar la aero - triangulación. Puede revisarse el reporte de triangulación en la referencia 10.3.1.5 – Primera Iteración (Anexo Digital).

Por lo tanto se procedió a identificar un nuevo punto para reemplazar al 12 (22204-at) que presentaba un error en X de 22.8669, este nuevo punto fue denominado 22204-at2 y puede ser observado en la sección 10.3.3 del Anexo C, además se adicionó el punto de control 22202-bt con el objetivo de mejorar los resultados. Estos resultados se pueden observar en la referencia 10.3.1.5 – segunda iteración del Anexo D (Anexo Digital).

Como resultado converge, pero con un valor de RMSE de 1.7227 ó 1378 cm (ver figura 5.127) y además se observó que el programa retiró los puntos 2 y 3, por lo tanto se debió retirar el punto 12 (22204-at) y el 15 (22204-bt) además de los PP 3, 5 y 9.

Con los cambios detallados en las anteriores líneas, el resultado del programa convergió con un valor de 0.0084 ó 6.72 cm (ver figura 5.129), al revisar el reporte del proceso que se muestra en la sección 10.3.1.5 – Tercera Iteración (Anexo

Digital), se puede ver que no se excluyó ningún punto de control por lo que la triangulación fue satisfactoria. Finalmente, se tiene un esquema de la solución del proceso en las aerofotografías de 1986 que se puede observar en la figura 5.130 además de los PC, PP, y PE, éstos se encuentran identificados debido a que el espacio brindó esa posibilidad al tratarse de tres fotografías.

Figura 5.127

The screenshot shows a 'Triangulation Summary' dialog box with the following data:

Triangulation Iteration Convergence:		No	
Total Image Unit-Weight RMSE:		0.3946	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.0000 (2)	Ground X:	0.0000 (0)
Ground Y:	0.0000 (2)	Ground Y:	0.0000 (0)
Ground Z:	0.0000 (2)	Ground Z:	0.0000 (0)
Image X:	0.0140 (2)	Image X:	0.0000 (0)
Image Y:	0.0140 (2)	Image Y:	0.0000 (0)
RMSE Significant Digits:		4	

Buttons: Close, Update, Accept, Report..., Help.

Figura 5.128

The screenshot shows a 'Triangulation Summary' dialog box with the following data:

Triangulation Iteration Convergence:		Yes	
Total Image Unit-Weight RMSE:		1.7227	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	203.2430 (4)	Ground X:	0.0000 (0)
Ground Y:	727.0654 (4)	Ground Y:	0.0000 (0)
Ground Z:	1241.9967 (4)	Ground Z:	0.0000 (0)
Image X:	1.1767 (5)	Image X:	0.0000 (0)
Image Y:	1.2583 (5)	Image Y:	0.0000 (0)
RMSE Significant Digits:		4	

Buttons: Close, Update, Accept, Report..., Help.

Figura 5.129

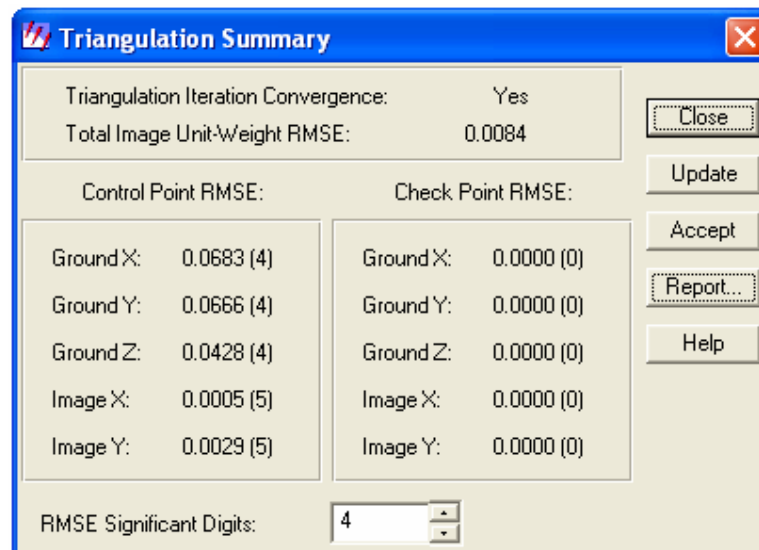
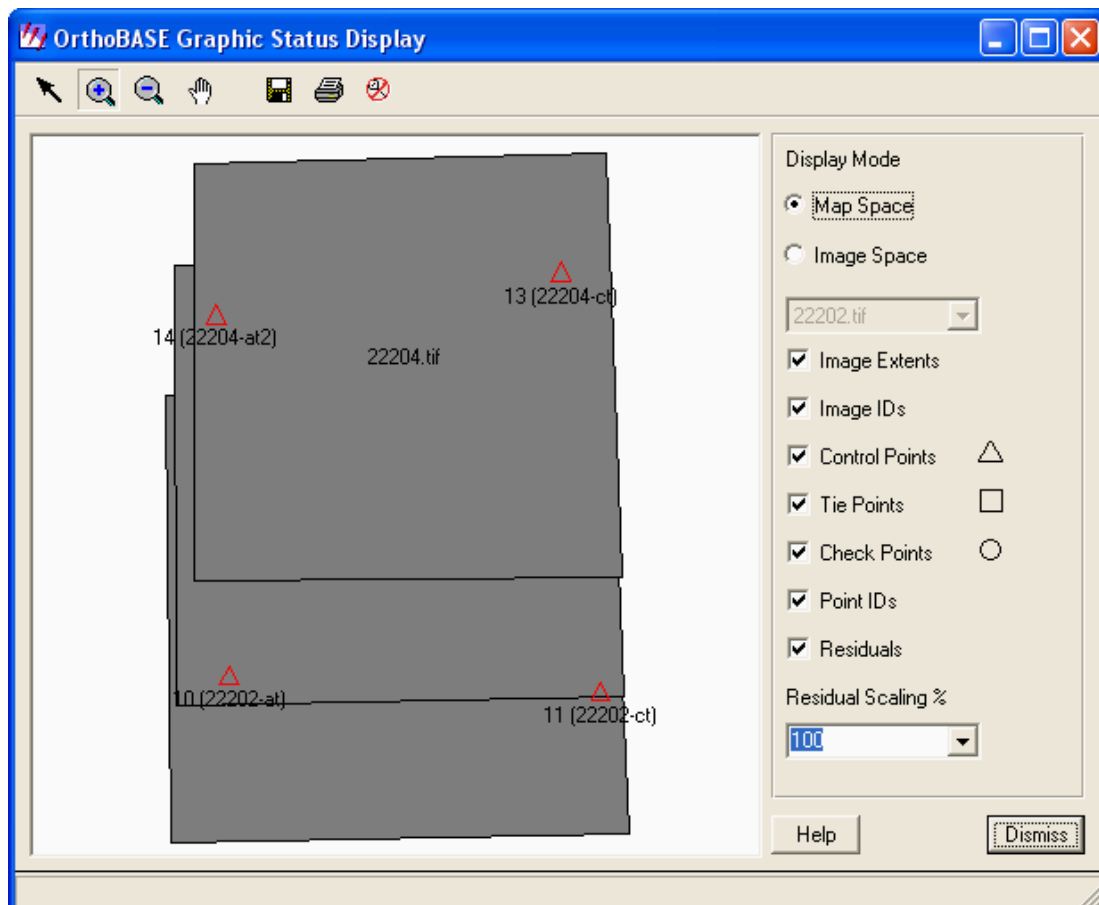


Figura 5.130



Este bloque no mostró problema en el momento de colocar los PC dado que su superficie se encontraba comprendida por entero dentro del bloque de 1988 que sirvió de referencia para la obtención de ésta información como se puede ver en la sección 10.3.2 del Anexo Digital.

5.5.1.4. Obtención de los PC para la Orientación Externa de los bloques correspondientes a los años de 1956, 1963, 1986 y 2000

Al tener lista la aero – triangulación del bloque correspondiente al año de 1988, es posible visualizar los pares estereoscópicos correspondientes a este año con el fin de ubicar las áreas de las aerofotografías de los restantes años y determinar puntos para éstas.

Los puntos de control ubicados en zonas poco detalladas y susceptibles de cambio a lo largo del tiempo, como por ejemplo bosques o arenales, son puntos que generan problemas y errores ya que, primeramente consumen más tiempo que lo normal para quien lo ejecuta y también generan errores en la aero-triangulación. Se recomienda que al definir PC en bloques de imágenes en trabajo de comparaciones anuales, se trate en lo posible de ubicarlos en zonas que no cambien a lo largo del tiempo tales como, grandes rocas en el caso de campo abierto, si se trata de zonas pobladas, calles o casas, por citar un ejemplo.

Los PC determinados para 1986, 1963, 1986, 1988 y 2000 pueden observarse en la sección 10.3.3 del Anexo C.

5.5.1.5. Generación de DTM's

En general, para la generación de los DTM's requeridos para este estudio se siguieron los pasos descritos en la referencia 5.2.1.6. Además, una imagen de los DTM's obtenidos se puede observar en la referencia 10.3.4 del Anexo C que se muestra junto a las imágenes de calidad de cada uno.

5.5.1.5.1. 2000

Los pares correspondientes al bloque del año 2000 presentan una superposición menor al 60% (ver tabla 5.3) por lo que se definió un 50% de traslapo para el proceso. Los modelos correspondientes a este año pueden observarse en la sección 10.3.4 para el año 2000 (ver Anexo Digital).

Tabla 5.3

Par	Superposición (%)
13681-13682	58.89
13682-13683	56.86
15292-15293	59.12
15293-15294	59.24

5.5.1.5.2. 1986

En el caso de este año se presentó la particularidad de que el traslapo entre las fotografías 22202-22204 era de 34.22% como se muestra en la tabla 5.4, por lo que este par no fue procesado para la obtención del DTM dado que la superficie que este cubría se encontraba dentro en el traslapo de los modelos 22202-22203 y 22203-22204, es decir no tenía mucha importancia. Los modelos correspondientes a este año se muestran en la sección 10.3.4 para el año 1986 (Anexo Digital).

Tabla 5.4

Par	Superposición (%)
22202-22203	51.78
22203-22204	51.07
22202-22204	34.22

5.5.1.5.3. 1963

En el procesamiento para la obtención del DTM llevado a cabo para el año 1963 se observó que los pares mantenían una superposición igual o muy cercana al sesenta por ciento que era la recomendada para el procesamiento, por lo que este se llevó a cabo del modo detallado en la sección 5.2.1.6. Los valores de traslapo son los que se muestran en la tabla 5.5.

Los modelos correspondientes al año 1963 se muestran en la sección 10.3.4 para el año 1963 en el Anexo Digital.

Tabla 5.5

Par	Superposición (%)
4451-4452	59.55
4452-4453	62.22
4453-4454	60.03

5.5.1.5.4. 1988

Para la obtención del DTM correspondiente al año de 1988 todos los traslapos fueron mayores al sesenta por ciento por lo que se siguió el procedimiento detallado anteriormente, éstos se pueden apreciar en la tabla 5.6, además se puede tener una clara idea de estos traslapos en la sección 10.3.4 para el año 1988.

Tabla 5.6

Par	Superposición (%)
25388-25389	61.82
25389-25390	62.91

Continuación de la tabla 5.6

25390-25391	62.66
25395-25396	62.44
25396-25397	66.61

5.5.1.5.5. 1956

En el procesamiento para la obtención del DTM correspondiente al año de 1956 se debió ajustar el traslapo para un cincuenta por ciento dado que este es el valor que todos los modelos cumplían como se muestra en la tabla 5.7.

Las imágenes correspondientes a la conformación de pares se muestran en la sección 10.3.4 para el año 1956 (ver Anexo Digital).

Tabla 5.7

Par	Superposición (%)
24035-24036	51.22
24036-24037	53.55
29892-29893	56.60
29893-29894	57.44

5.5.1.5.6. Observaciones encontradas en los DTM'S resultantes

- Año de 1956

El DTM correspondiente al año de 1956 no cubre la superficie del Iliniza Norte, que aunque no cabe en el objetivo de ésta investigación, es importante ya que en la zona de la ensillada de los Ilinizas también existe cobertura como se puede ver

en la referencia 10.3.4. Por otro lado este DTM presentó zonas de distorsiones en las zonas que tenían mayor importancia para el proyecto, las zonas de cobertura nival ubicadas más al exterior de la masa nival, que aunque no fueron muy grandes afectaron los resultados de las ortocorrecciones, esto se mostró en la referencia 10.3.4 del Anexo C correspondiente al año de 1956.

- Año de 1963

El DTM obtenido de las aerofotografías del año de 1963, presentó una considerable distorsión justamente en la ensillada de los llinizas y también en las zonas extremas que mantienen la cobertura nival, y como resultado las ortocorrecciones no permitieron obtener buenos resultados sobre las coberturas de esta zona ya que no podía identificarse dichas zonas con facilidad.

Puede observarse la imagen de calidad del DTM correspondiente a 1963 en la sección 10.3.4 del Anexo C correspondiente al año de 1963.

- Año de 1986

El DTM del año de 1986 presentó una distorsión muy grande que cubría la zona noreste del lliniza Sur, además de otras de menor tamaño en la zona encontrada en los bordes de la cobertura nival del nevado, por esta razón, y observando los resultados obtenidos al ortorectificar los demás bloques con sus DTM's no se completó el proceso de ortorectificación con dicho DTM procediendo a hacerlo directamente con el SRTM, por lo que no se obtuvo el mosaico con el DTM para este año (refiérase a la sección 10.3.4 del Anexo C).

- Año de 1988

Para el caso del DTM obtenido con las aero – fotografías correspondientes al año de 1988 se encontraron pequeñas zonas de distorsiones que afectaban la zona correspondiente al la cobertura nivo-glaciar, las mismas que aunque no eran de tamaños comparables a los casos de 1963 y 1986 causaron problemas para la observación de las distintas coberturas encontradas en esas zonas. Una idea de los resultados obtenidos para este bloque en la generación del DTM se puede observar en la sección 10.3.4 del Anexo C para el año 1988.

- Año 2000

En el caso de DTM correspondiente al año 2000 se encontró una distorsión muy grande en la zona noreste del lliniza Sur y pequeñas distorsiones en los límites de la zona que ocupa la cobertura nival, lo que causó problemas en la generación de las ortofotos que se utilizaría para la fotointerpretación y delimitación de las distintas coberturas. Este resultado se puede apreciar en la sección 10.3.4 correspondiente al año 2000 (ver Anexo Digital).

En general, la calidad de los DTM's obtenidos a partir de la información aerofotogramétrica fue baja, presentando problemas en especial en zonas con topografías escarpadas (quebradas, laderas del nevado y peñascos), que vale la pena recalcar, forman parte de la morfología general del nevado lliniza Sur, como se observó en la expedición de campo que se detalla en la referencia 10.3.7 de esta monografía en el Anexo, presentándose desde su cumbre hasta las zonas mas bajas de esta elevación.

Como resultado de los problemas encontrados en las ortorectificaciones realizadas con los DTM's creados a partir de la información recolectada del IGM fue necesario buscar en medios externos tales como el SRTM corregido para evitar los problemas de distorsiones y tener información confiable con la que obtener la información sobre las coberturas existentes en la zona del nevado lliniza Sur, una imagen de un DTM del SRTM se muestra en la sección 10.2.4 del Anexo.

5.5.1.6. Ortorectificación

Los resultados de los procesos de ortorectificación se pueden observar en el Anexo 10.3.5, donde se muestran las ortofotos en el orden que les corresponde dentro de su propio bloque.

El proceso de ortorectificación no difirió considerablemente de un bloque a otro. Sin embargo, es importante mencionar que al procesar las aerofotografías del año

2000 se presentó un inconveniente dado que la información contenida en las aerofotografías 13681, 13682 y 13683 se encontraba en un rango de 8 bits mientras que las aerofotografías 15292, 15293 y 15294 había sido escaneada en uno de 16 bits, esto causaba problemas en el momento de ortorectificar en base al SRTM que se encontraba en un rango de 8 bits por lo que fue necesario tratar a las imágenes de 16 bits para reducir su rango a 8 bits.

Una mejor explicación del problema y su solución se describe en la sección 5.5.2.2.2 correspondiente al año 2000.

Un inconveniente similar al ocurrido con el bloque del año 2000 ocurrió con el bloque del año de 1963 ya que sus aerofotografías también se encontraban en un rango de 16 bits, por lo que se requirió corregir las aerofotografías para que coincidan con el rango de 8 bits del SRTM tal como se hizo para el caso del año 2000.

En el caso del año de 1986 no se ortorectificó en base al DTM propio de este año debido a que, con los resultados de los otros cuatro años se comprobó la baja calidad de las ortorectificaciones, resultados totalmente opuestos a los obtenidos en base al SRTM por lo que este bloque al ser el último por procesar se ortorectificó únicamente con el SRTM.

Es importante aclarar, que para el bloque del año de 1988 que la aerofotografía 25397 no fue ortorectificada debido a que esta cubría una zona muy alejada del nevado y por esto no aportaba información importante que cumpliera con los objetivos de este estudio.

5.5.2. Mosaicos

5.5.2.1. Elaboración de los mosaicos utilizando los DTM's.

5.5.2.1.1. Año de 1956

Para la elaboración del mosaico correspondiente al año de 1956 se crearon los AOI's en correspondencia con las ortofotos tal como se muestra en la tabla 5.8, cabe destacar que finalmente las ortofotos ortho24037.img y ortho29893.img no se utilizaron para crear el mosaico.

La razón fue que la información contenida en la ortho24037.img se encontró también disponible en la ortho24036.img, y la información de la ortho29893.img estaba contenida en las ortofotos 29892 y 24035 como se puede observar en la figura 10.239 (ver Anexo Digital).

Tabla 5.8 Elementos que conformaron el mosaico de 1956

Ortofoto	AOI
ortho24035.img	limite24035.aoi y limite24035_2.aoi (AOI 3)
ortho24036.img	limite24036.aoi (AOI 4)
ortho29892.img	limite29892.aoi (AOI 2)
ortho29894.img	limite29894.aoi (AOI 1)

Las distorsiones en este mosaico fueron frecuentes, así, en la ortorectificación correspondiente a la aerofotografía 29894 se encontró una gran distorsión en una zona que corresponde a un despeñadero y una quebrada, solamente por mencionar un ejemplo, la revisión de la calidad de este mosaico se presenta en la

figura 10.3.6 del Anexo Digital, en la cual se puede apreciar polígonos que muestran zonas distorsionadas similares a la presentada en la figura 5.131.

En la figura 5.132 se muestra la ubicación de los distintos elementos detallados en la tabla 5.8.

Figura 5.131 Distorsión encontrada en la imagen 29894 del año 1956.

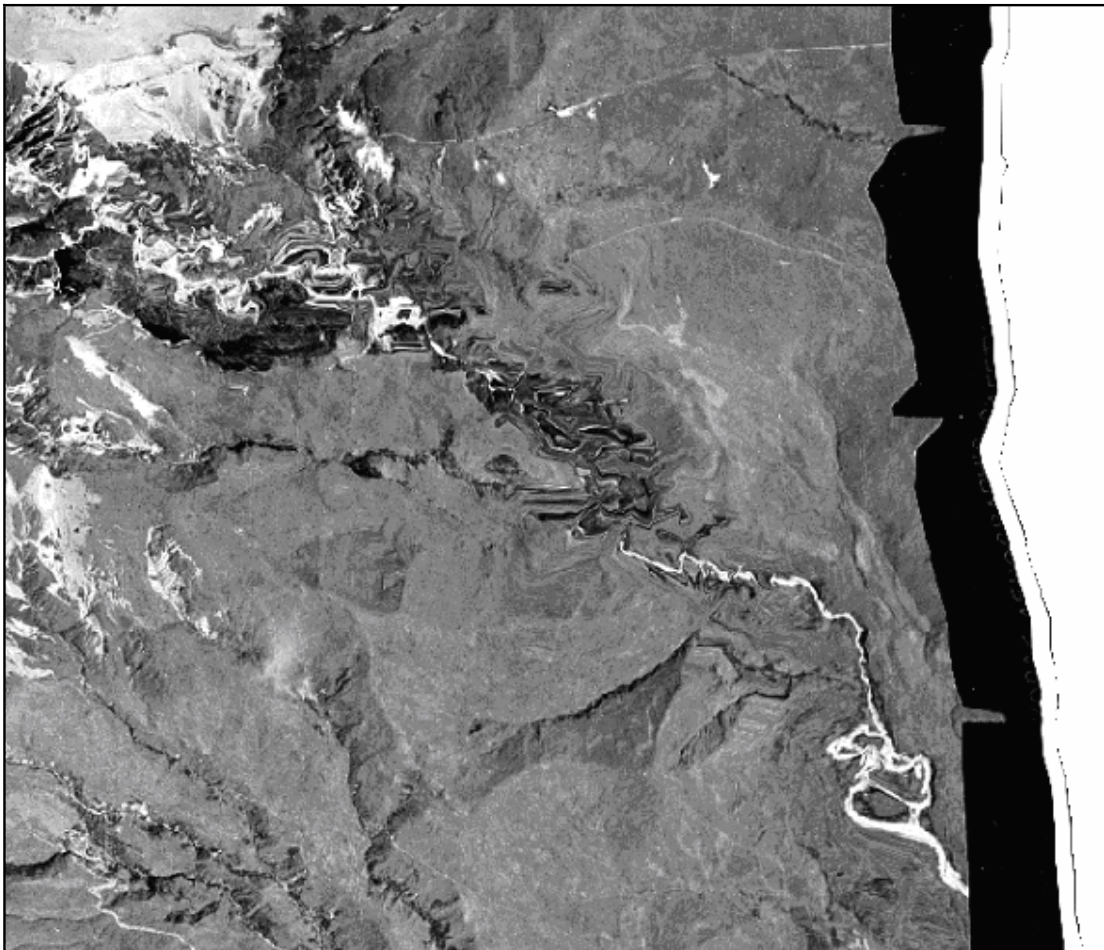
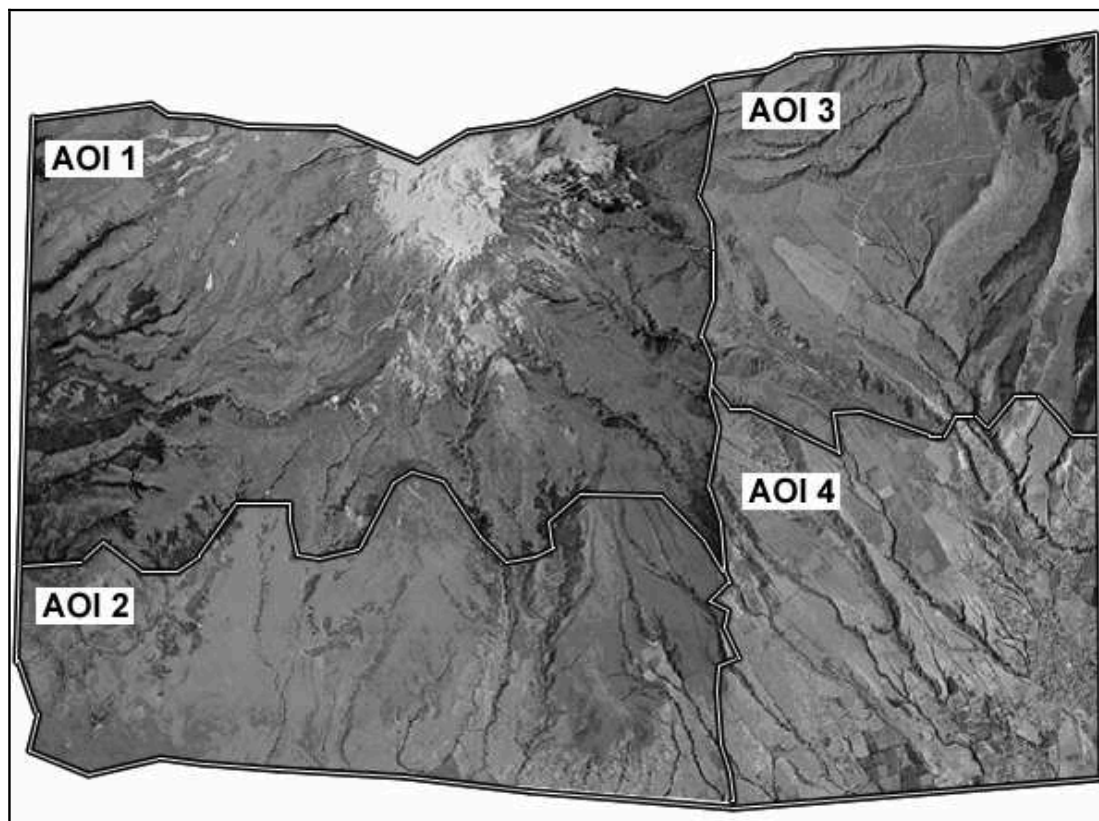


Figura 5.132 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 1956.



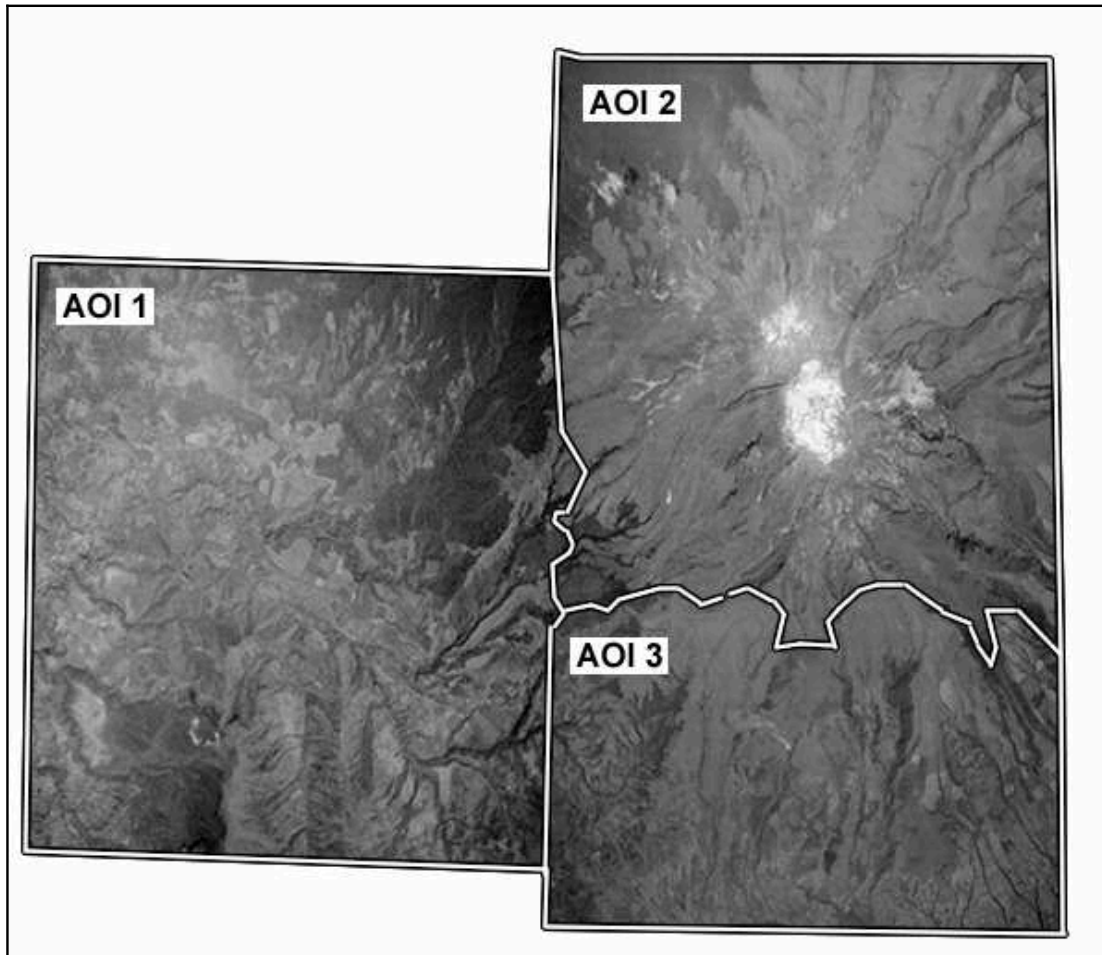
5.5.2.1.2. Año de 1988

Para el año de 1988 se crearon tres AOI's para tres ortoimágenes las que son mostradas en la tabla 5.9, esto dado que la información para este año en esas tres imágenes era lo suficientemente buena y cubría la zona de interés para el trabajo, para tener una clara apreciación de lo descrito en las anteriores líneas se puede observar la figura 5.133.

Tabla 5.9 Elementos que conformaron el mosaico de 1988.

Ortofoto	AOI
ortho25389.img	Limite25389.aoi (AOI 3)
ortho25390.img	Limite25390.aoi (AOI 2)
ortho25396.img	Limite25396.aoi (AOI 1)

Figura 5.133 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 1988.



5.5.2.1.3. Año de 2000

Es importante mencionar que al procesar las aerofotografías del año 2000 se presentó un inconveniente dado que la información contenida en las aerofotografías 13681, 13682 y 13683 (ver figura 5.135) se encontraba en un rango de 8 bits mientras que las aerofotografías 15292, 15293 y 15294 (ver figura 5.134) habían sido escaneadas en uno de 16 bits, dicho problema no afectó la generación del DTM, ni la ortocorrección ya que en ésta existía coincidencia entre la información de DTM con cada aerofotografía.

Es decir en las zonas cubiertas por las aerofotografías escaneadas con 16 bits el DTM mantenía esta información, sin embargo, al querer preparar el mosaico los rangos de la información de ambas líneas no coincidieron, por citar un ejemplo, el mosaico obtenido de las aerofotografías en un rango de 8 bits tenía información desde 0 a 255 colores y el mosaico correspondiente a las aerofotografías en un rango de 16 bits contenía información en un rango de 26 a 3553 colores, esta incompatibilidad causó que el programa, al interpretar un mosaico tomó como color negro (el tono más oscuro) el de valor 0 pero en el otro mosaico, al ser el color más oscuro uno de valor de 26 se producía un mosaico cuyas dos mitades diferían demasiado siendo una más clara que la otra y que por la misma razón cada mitad resultaba muy homogénea en si misma y no facilitaba su interpretación.

Figura 5.134 Mosaico 1 del año 2000

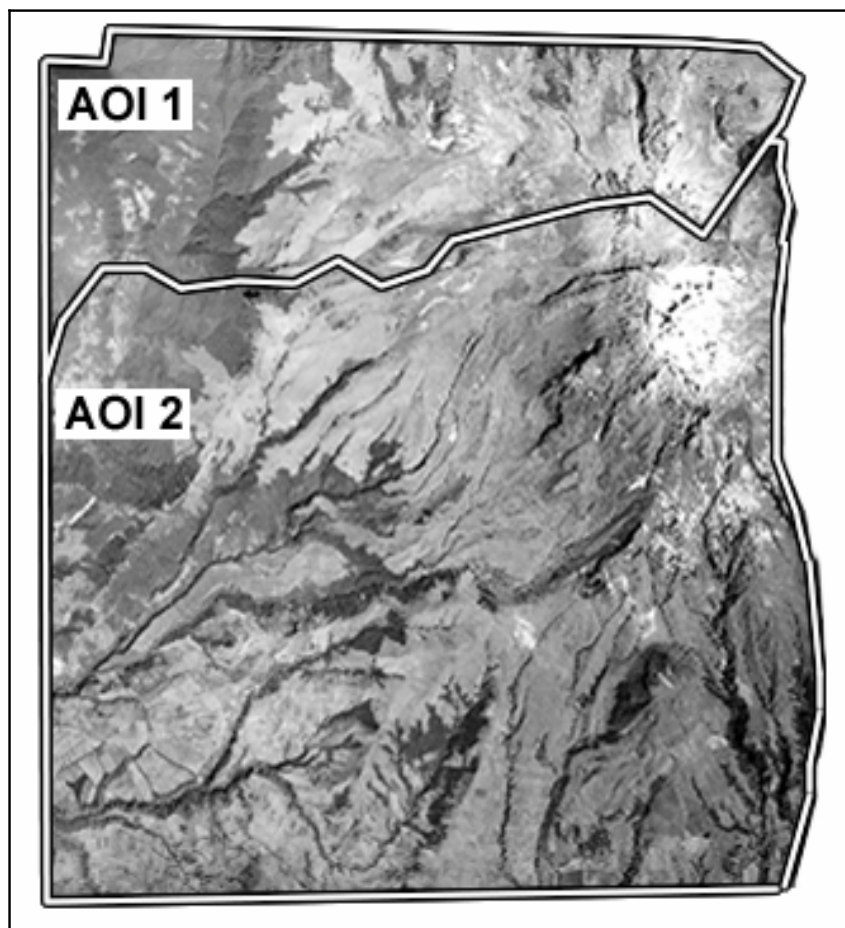
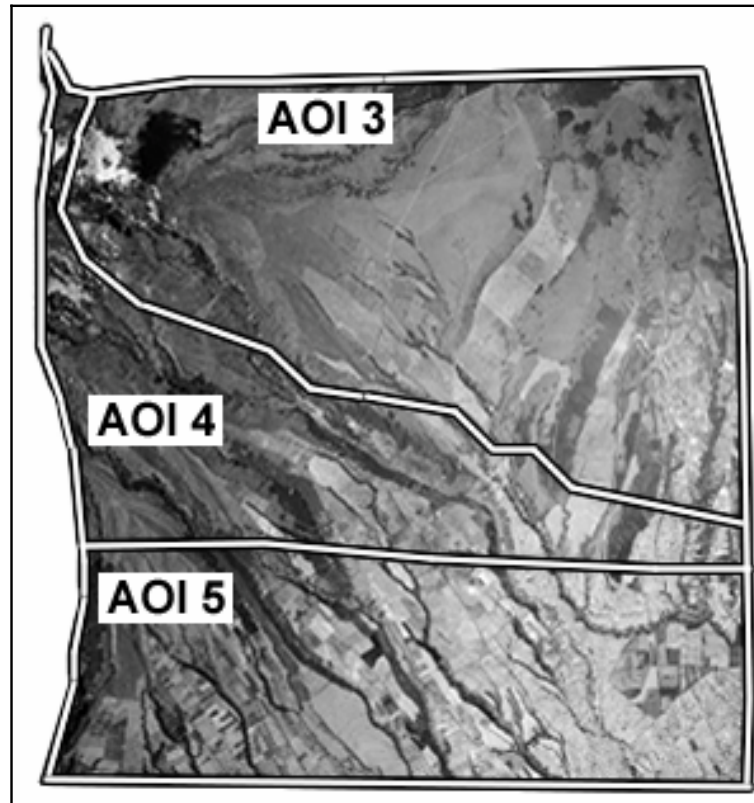


Figura 5.135 Mosaico 2 del año 2000



La conformación de estos dos mosaicos se detalla en la tabla 5.10.

El resultado de la conformación de estos mosaicos fue el mostrado en las figuras 5.134 y 5.135, en este último se requirió completar la zona ubicada en la parte superior izquierda correspondiente a la ortorectificación ortho13682 con la ortho13683 a causa de la presencia de una nube que cubría la zona de importancia con el objeto de mejorar la información que proporcionaba el mosaico del año 2000, aun con dicha corrección se nota la presencia de la sombra de dicha nube en la ortho13682 pero en una zona de menor importancia que no afecta de modo importante a los procesos de fotointerpretación de la zona nivoglaciar (ver AOI 3 en figura 5.135).

Tabla 5.10 Elementos que conformaron el mosaico de 2000

Ortofoto	AOI
Mosaico 1	
ortho15292.img	límite15292.aoi (AOI 1)
ortho15293.img	límite15293.aoi (AOI 2)
Mosaico 2	
ortho13683.img	límite13683.aoi (AOI 4)
ortho13682.img	límite13682.aoi (AOI 3)
ortho13681.img	límite13681.aoi (AOI 5)

Como solución, luego de haber obtenido ambos mosaicos, fue preciso trabajar con el mosaico de 16 bits y exportarlo en el programa ERDAS 8.6 utilizando la herramienta mostrada en la figura 5.136 en un formato “.TIFF” obteniendo un nuevo archivo (ver figura 5.137).

Con este paso el archivo perdió la información concerniente a la proyección geográfica; luego, a este nuevo archivo, se lo importó en el mismo programa con formato “.im.” (ver figura 5.138) pero, en este paso, reduciendo a 8 bits el archivo utilizando el botón “Import Options” que puede verse en la figura 5.139 y luego en la 5.140 en la función “Output Data Type”, al realizar este paso el nuevo archivo recuperó la proyección que tenía inicialmente pero quedando con un rango de colores de 0 a 256.

Figura 5.136



Figura 5.137

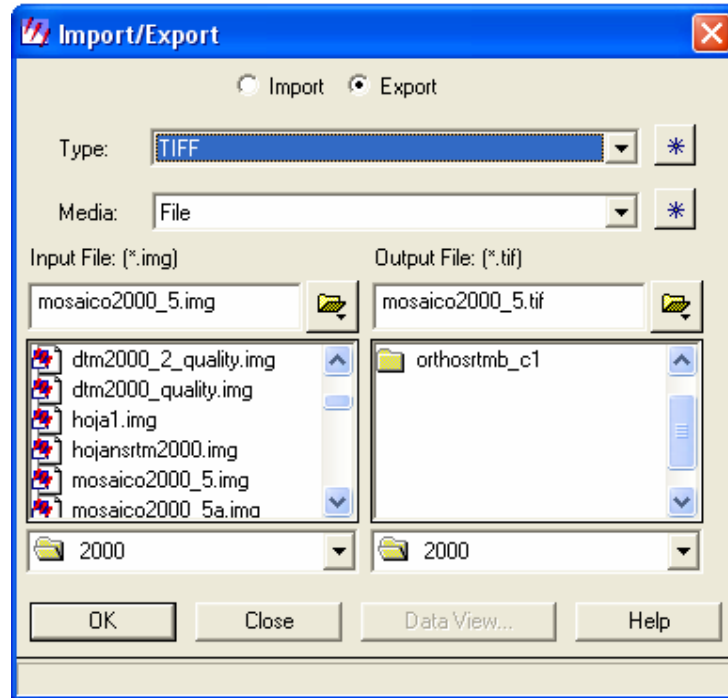


Figura 5.138

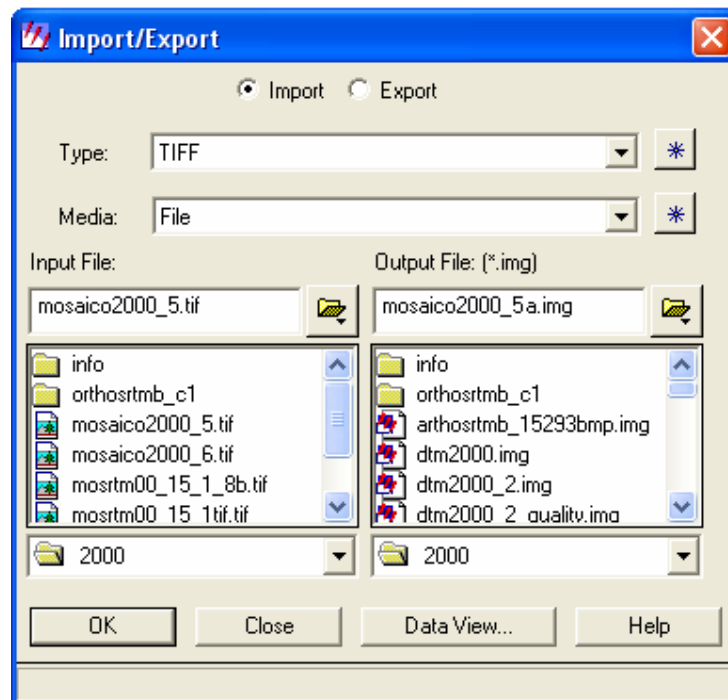


Figura 5.139

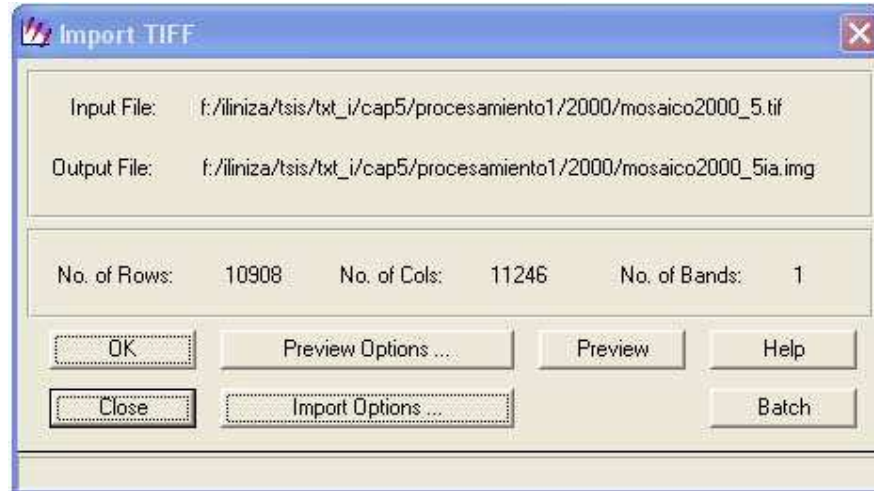
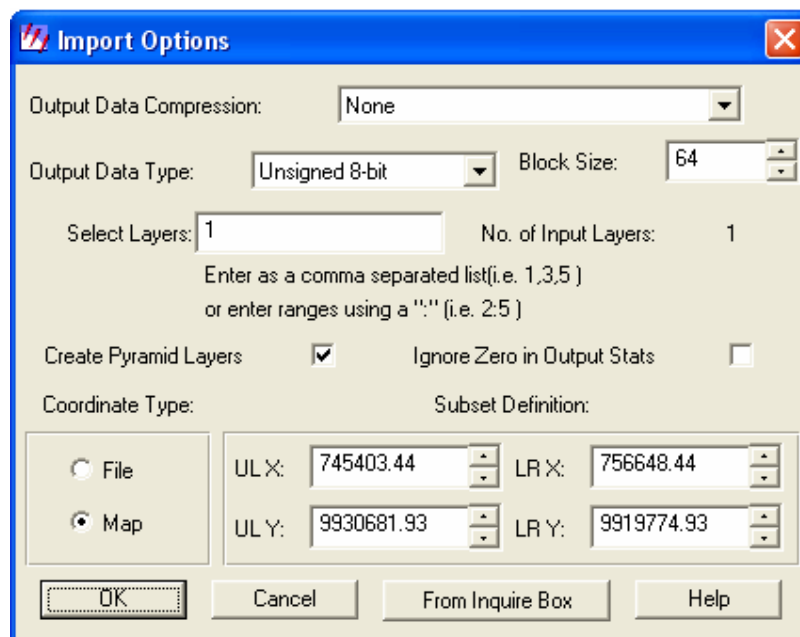
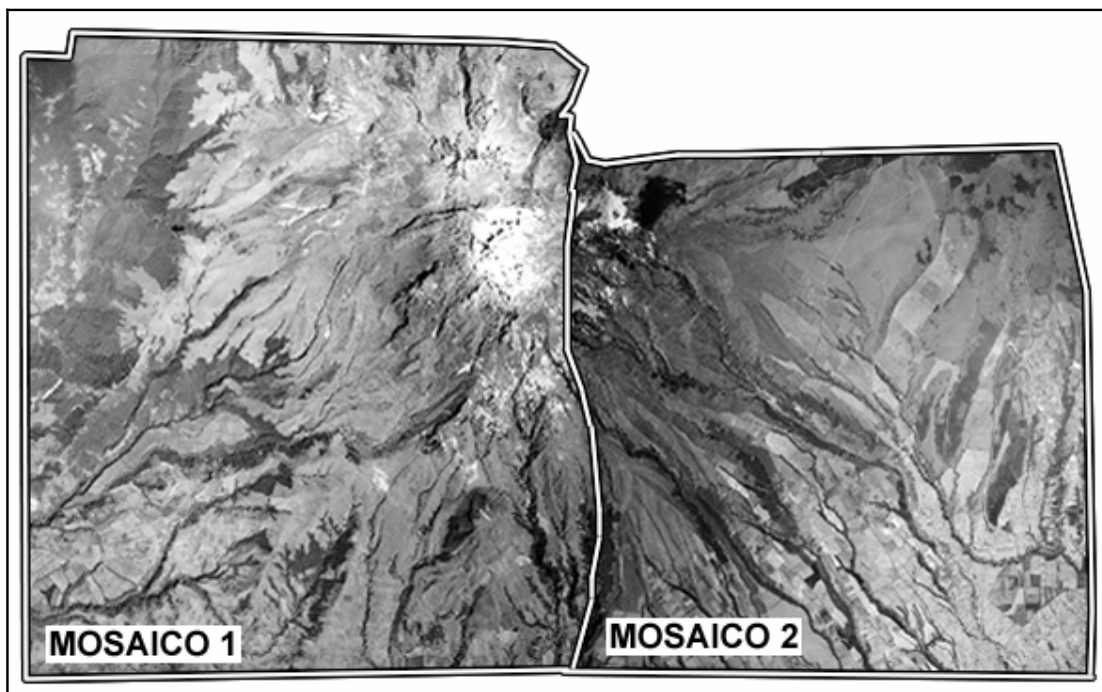


Figura 5.140



Al tener ambos mosaicos en el mismo rango de colores se procedió a su unión mediante el proceso seguido para los anteriores mosaicos, tal como se describió el proceso de realización de los mosaicos utilizando ortofotos con AOI's en la sección 5.3, con la excepción de que al seleccionar el mosaico en la ventana mostrada en la figura 5.84 se selecciona la opción "Use Entire Image", luego se carga el o los otros mosaicos, de este modo se obtuvo el mosaico mostrado en la figura 5.141 para el bloque del año 2000.

Figura 5.141 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 2000.



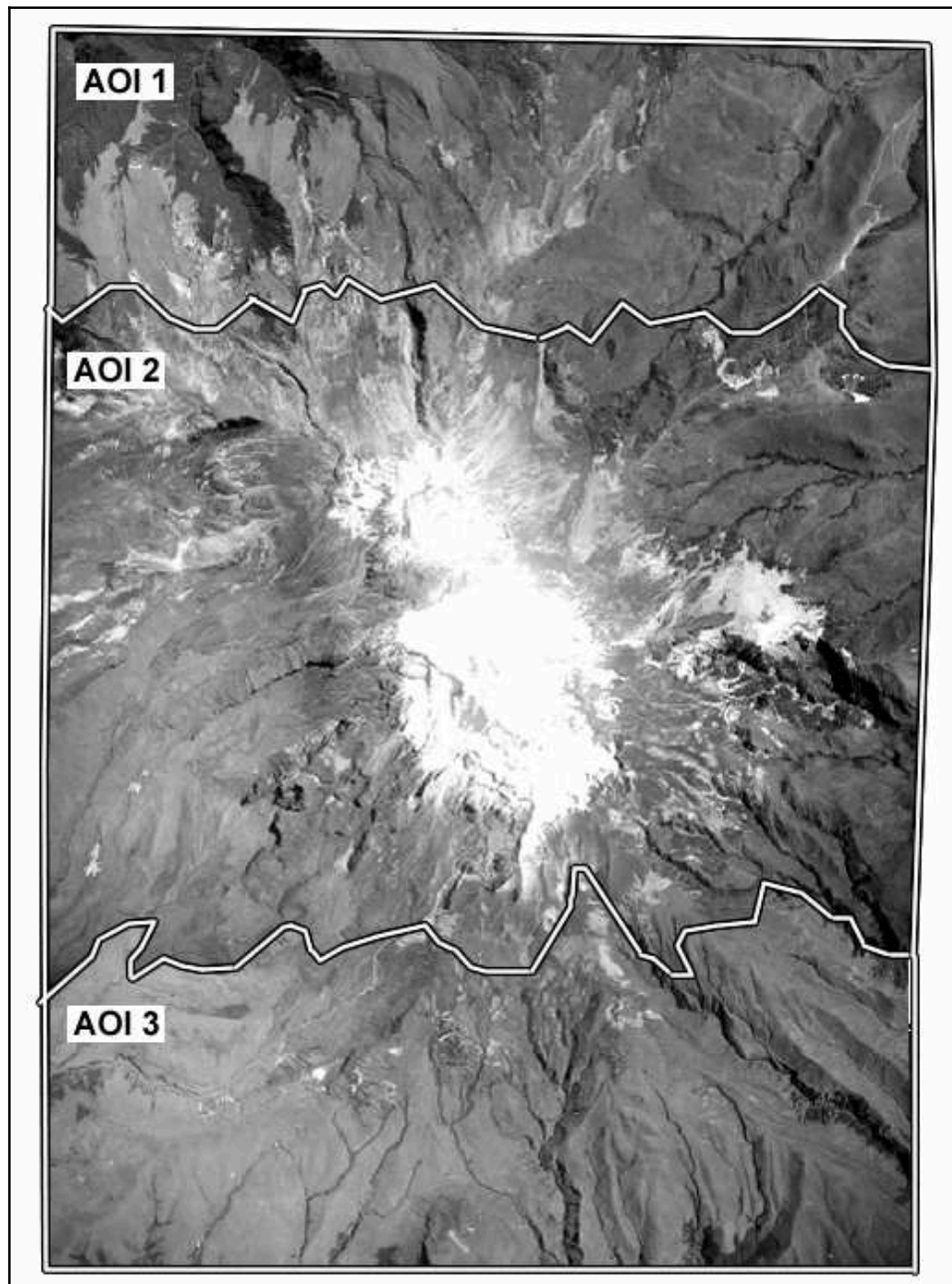
5.5.2.1.4. Año de 1963

Para la conformación del mosaico correspondiente al año de 1963 se utilizaron los resultados de las ortorectificaciones correspondientes a las aerofotografías mostradas en la tabla 5.11 junto con sus respectivos AOI's. Se decidió utilizar estas imágenes dado que su calidad era mejor, mostraban mayor claridad y menos distorsiones. El mosaico resultante se muestra en la figura 5.142.

Tabla 5.11 Elementos que conformaron el mosaico de 1963

Ortofoto	AOI
ortho4451.img	lim4451.aoi (AOI 1)
ortho4452.img	lim4451.aoi (AOI 2)
ortho4453.img	lim4451.aoi (AOI 3)

Figura 5.142 Mosaico elaborado con el DTM para el año de 1963.



5.5.2.2. En base al SRTM obtenido de fuentes externas

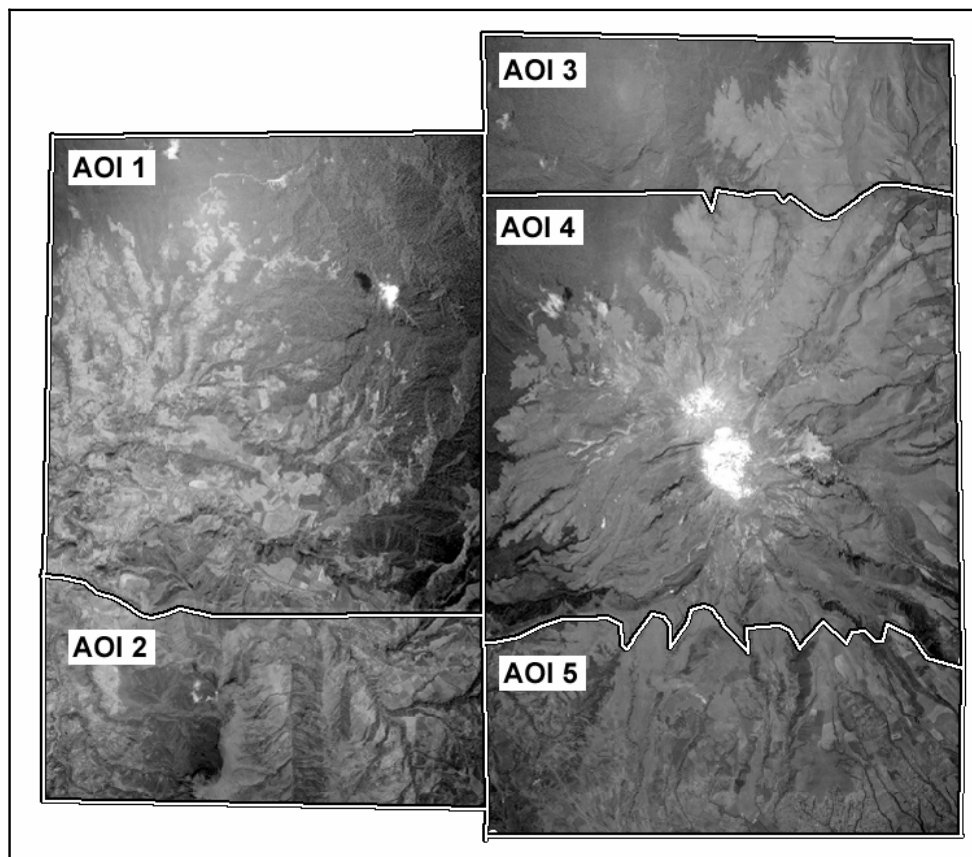
5.5.2.2.1. 1988

Para el año de 1988 se elaboraron cinco AOI's que correspondieron a zonas de las ortofotos 25389, 25390, 25391, 25395, 25396. En este año fue posible mantener la zona nivo-glaciar dentro de una única ortofoto de manera que no se perdiera información en esta, tal como se puede observar en la figura 5.143 en la que se muestran la conformación del mosaico con las diferentes ortofotos sus AOI's, la conformación de estos se detalla en la tabla 5.12.

Tabla 5.12

Ortofoto	AOI
ortho25389.img	limite25389.aoi (AOI 5)
ortho25390.img	limite25390.aoi (AOI 4)
ortho25391.img	limite25391.aoi (AOI 3)
ortho25395.img	limite25395.aoi (AOI 1)
ortho25396.img	limite25396.aoi (AOI 2)

Figura 5.143 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1988.



5.5.2.2.2. 2000

Para el año 2000 las imágenes 13681, 13682 y 13683, que estaban digitalizadas inicialmente en 8 bits no presentaron ningún inconveniente al momento de realizar las ortofotos con el SRTM, contrariamente, en las aerofotografías 15292, 15293, y 15294 se presentaron problemas ya que estas habían sido digitalizadas en 16 bits lo que era incompatible con el SRTM con el que se trabajó que era de 8 bits.

Para solucionar esta situación se realizó el tratamiento de estas imágenes descrito a continuación.

Utilizando la herramienta "Import" (ver figura 5.136) del menú principal del programa ERDAS 8.6 mostrado anteriormente en la figura 5.1, se desplegó un cuadro de diálogo como el mostrado en la figura 5.138, en este se debió definir en el menú "Type" el tipo de archivo que se iba a importar, que en este caso fue de tipo ".TIFF"; posteriormente, en el directorio "Input File" se seleccionó la imagen que se iba a importar y se le asignó un nombre en el cuadro "Output File", éste nuevo archivo fue de tipo "img".

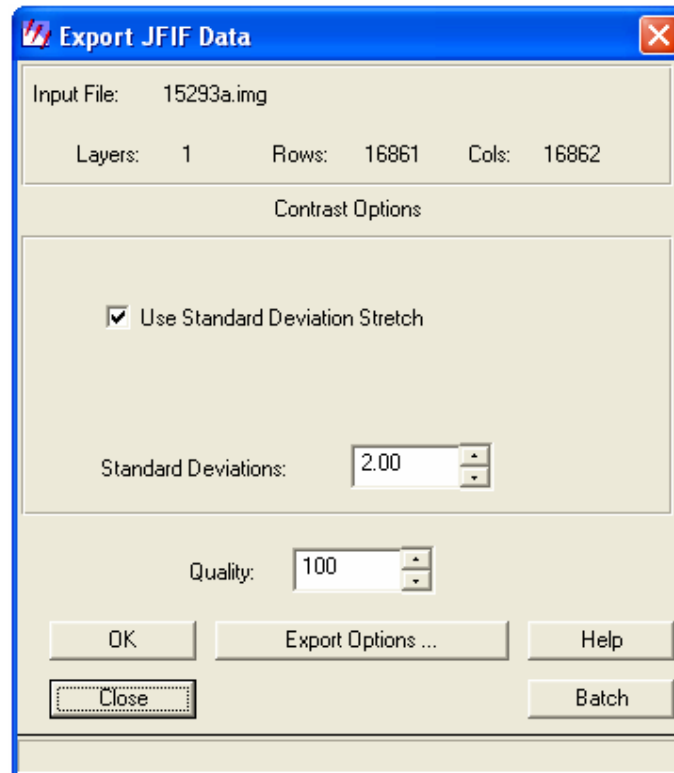
Se debe tener en cuenta que en este paso no se asignó aun el rango de los 8 bits, ya que, de haberlo hecho en el anterior paso, se hubiera perdido la información.

A continuación, se exportó en el mismo programa ERDAS 8.6 la imagen de tipo ".img" a ".jpg" tal como se muestra en la figura 5.137 mediante un proceso similar al detallado en el párrafo anterior, activando la función "Export" y configurando el tipo de archivo a uno ".JPEG", luego se seleccionó el archivo a exportar en el directorio "Input file" y se asignó un nombre al archivo de salida de formato ".jpg" en el directorio "Output file", tal como se muestra en la figura 5.137.

Al aceptar este procedimiento, se presentó un nuevo cuadro de diálogo presentado en la figura 5.144, en el que se determinó que la imagen resultante tenga un índice de calidad relativa de 100, éste índice se encuentra disponible desde 1, valor que tiene una baja calidad pero mayor compresión, hasta 100 que tiene una mas alta calidad pero con menor compresión.

Con el objeto de no arriesgar la información contenida en las imágenes se eligió un valor de 100 y una desviación estándar de 2 (ver figura 5.144), este valor de desviación estándar estrecha los valores del píxel en el archivo ".img" de modo que este valor de desviación estándar mantenga al archivo de salida entre 0 y 255 (IMAGINE 8.6\help\html\import_export\export_jfif_data.htm).

Figura 5.144



Como siguiente paso, se abrió el archivo en el programa Adobe Photoshop, en el cual se lo guardó con la extensión “.bmp” como se puede ver en la figura 5.145, este software, previa la realización del proceso requirió, además de definir el tipo de archivo (ver figura 5.146) definir un formato de “Windows” y una profundidad de 8 bits como se muestra en la figura 5.147.

Figura 5.145

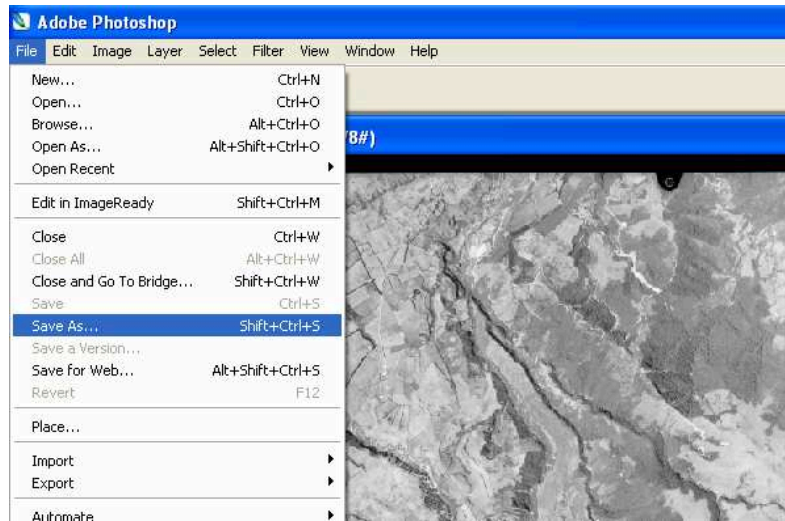


Figura 5.146

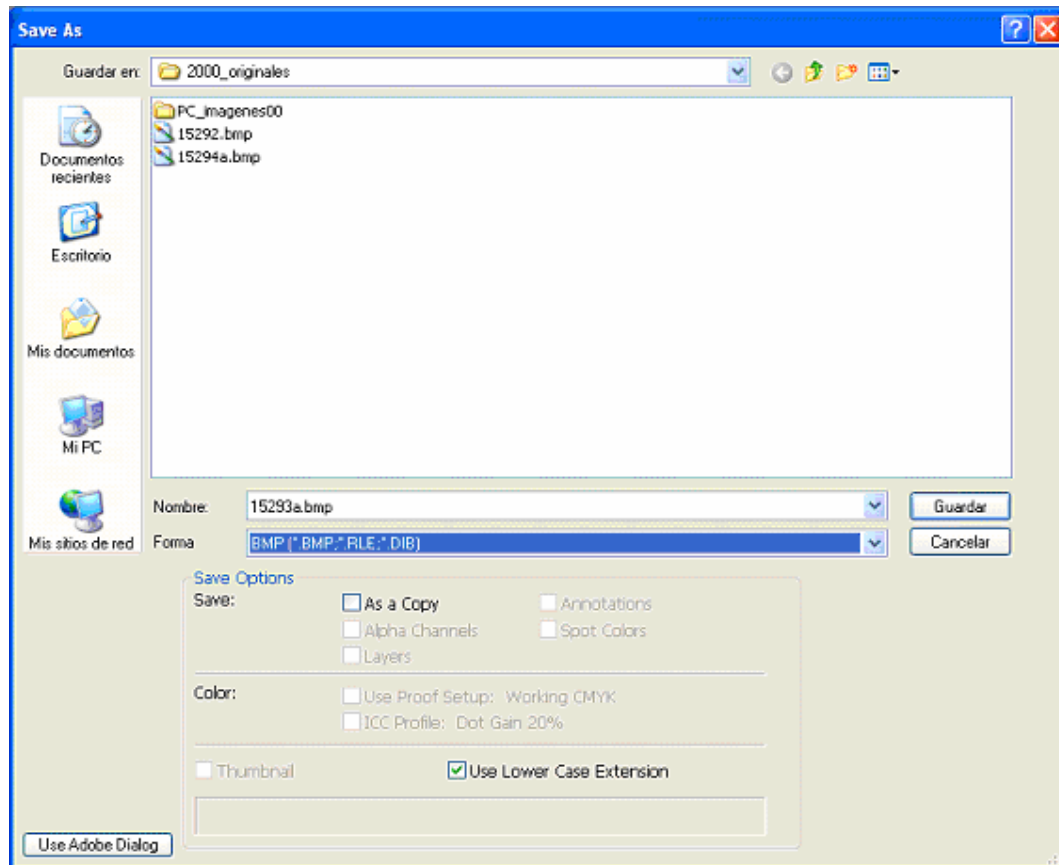
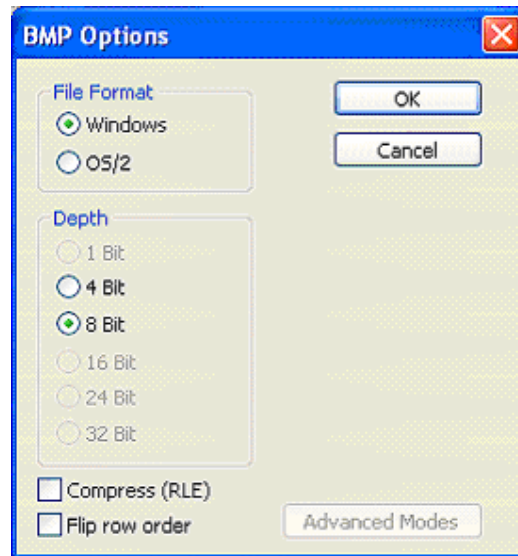


Figura 5.147



Posteriormente, se importó el archivo de extensión “.bmp” en el programa ERDAS 8.6 como archivo de img tal como se procedió anteriormente con la herramienta “Import” mostrada en la figura 5.137 con la diferencia de que en el campo “Type” se cambió el tipo de archivo a “.bmp”.

Luego, fue necesario ubicar las nuevas imágenes en el bloque de ortobase del año 2000, ejecutando un clic sobre la columna “Online” del cuadro de OrthoBASE en la celda que le correspondía a la aerofotografía que se corrigió desenlazarla del bloque y volvió a realizar un clic sobre el mismo espacio con lo que se presenta el cuadro de diálogo mostrado en la figura 5.24, cuyo campo “Image File Name” se mostró con la palabra “unattached” en el espacio destinado al nombre de la imagen, para agregar la nueva imagen se utilizó el botón “Attach”, con el que se accedió a un directorio que permitió seleccionar la imagen que se utilizó para procesar.

En la figura 5.148 se puede observar la diferencia entre la ruta de origen de las imágenes originales y las corregidas que se muestra en la columna “Image Name”, e incluso la diferencia entre el formato desplegado en la misma columna para cada una de las imágenes. De este modo se calcularon las piramidales de las nuevas imágenes y se procedió a obtener las ortofotos.

Figura 5.148

Row #	Image ID	Description	Image Name	Active	Pyr.	Int.	Ext.	DTM	Ortho	Online
1	13681		d:/lriza/imagenes_info/lotos/cit#0011-2/2000_originales/13681.tif	X						
2	13682		d:/lriza/imagenes_info/lotos/cit#0011-2/2000_originales/13682.tif	X						
3	13683		d:/lriza/imagenes_info/lotos/cit#0011-2/2000_originales/13683.tif	X						
4	15292		d:/lriza/imagenes_info/lotos/cit#0011-2/2000_originales/15292.bmp.png	X						
5	15293		f:/lriza/imagenes_info/lotos/cit#0011-2/2000_originales/15293.bmp.png	X						
6	15294		f:/lriza/imagenes_info/lotos/cit#0011-2/2000_originales/15294.bmp.png	X						

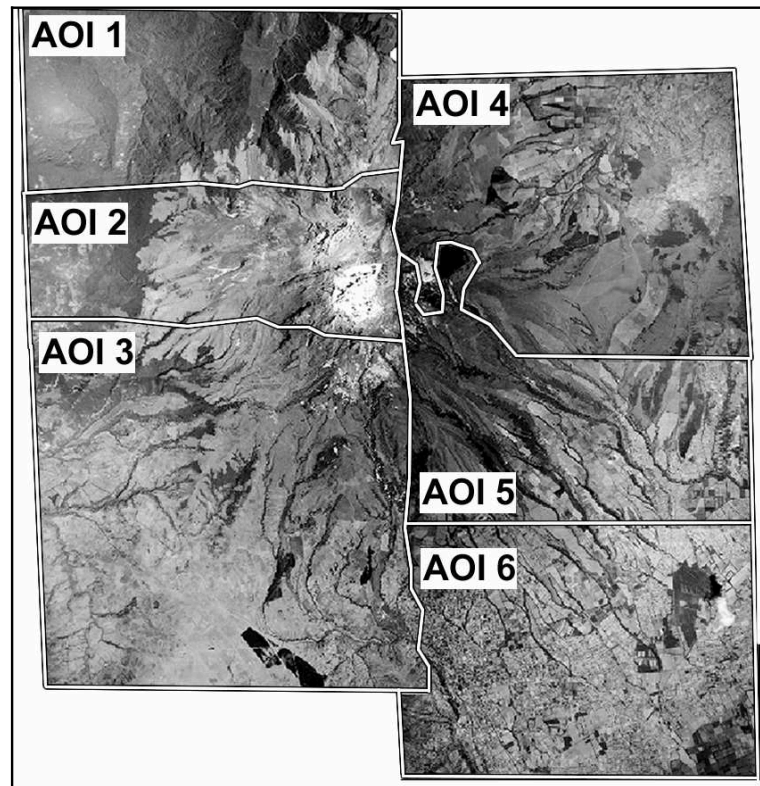
Afortunadamente a pesar del inconveniente con las aerofotografías el área de mayor interés se mantuvo en una sola imagen sin alterar la zona nivo-glaciár.

El producto de los procesos para la obtención del mosaico es mostrado en la figura 5.149, en la cual se pueden observar los diferentes AOI's creados para la confección de dicho mosaico, estos AOI's con sus respectivas ortocorrecciones se detallan en la tabla 5.13.

Tabla 5.13

Ortofoto	AOI
ortho15292.img	limite15292.aoi (AOI 1)
ortho15293.img	limite15293.aoi (AOI 2)
ortho15294.img	limite13682.aoi (AOI 3)
ortho13683.img	limite13683.aoi (AOI 4)
ortho13681.img	limite13681.aoi (AOI 5)

Figura 5.149 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 2000.



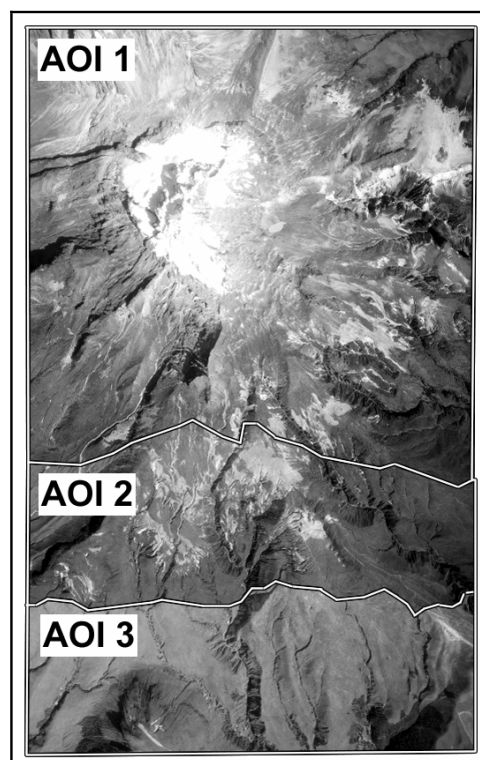
5.5.2.2.3. 1986

Para el año 1986 igualmente pudo conseguirse que la zona de importancia se encontrara dentro de un único AOI, para lo que se decidió obtener un mosaico con el mayor porcentaje de la ortofoto de la aerofotografía 22204 y completando la zona inferior con las ortofotos de las aerofotografías 22203 y 22202 sucesivamente. En la figura 5.150 se puede observar el modo como se conformó el mosaico para este año y en la tabla 5.14 puede observarse la correspondencia entre AOI's y ortorectificaciones.

Tabla 5.14

Ortofoto	AOI
ortho22204.img	limite22204.aoi (AOI 1)
ortho22203.img	limite22203.aoi (AOI 2)
ortho22202.img	limite22202.aoi (AOI 3)

Figura 5.150 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1986.



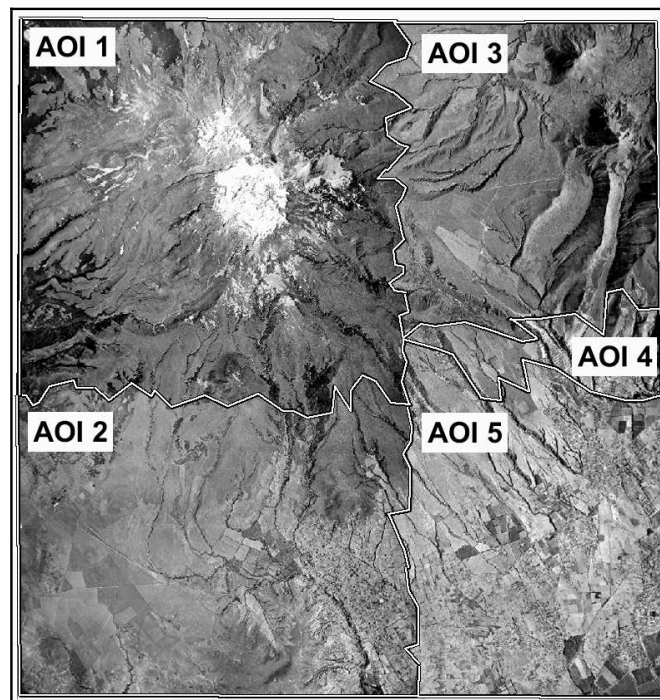
5.5.2.2.4. 1956

Las ortofotos utilizadas para la confección del mosaico correspondiente al año de 1956 se muestra en la figura 5.151 y un detallamiento del modo como se conformó el mosaico con AOI's y ortoimágenes se puede apreciar en la tabla 5.15, se debe tomar en cuenta que la ortofoto de la aerofotografía 29893 no fue necesaria ya que la zona podía ser cubierta por la ortofoto de la aerofotografía 29892.

Tabla 5.15

Ortofoto	AOI
Ortho29894.img	limite29894.aoi (AOI 1)
ortho29892.img	limite29892.aoi (AOI 2)
Ortho24035.img	limite24035.aoi (AOI 3)
ortho24036.img	limite24036.aoi (AOI 4)
ortho24037.img	limite24037.aoi (AOI 5)

Figura 5.151 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1956.



5.5.2.2.5. 1963

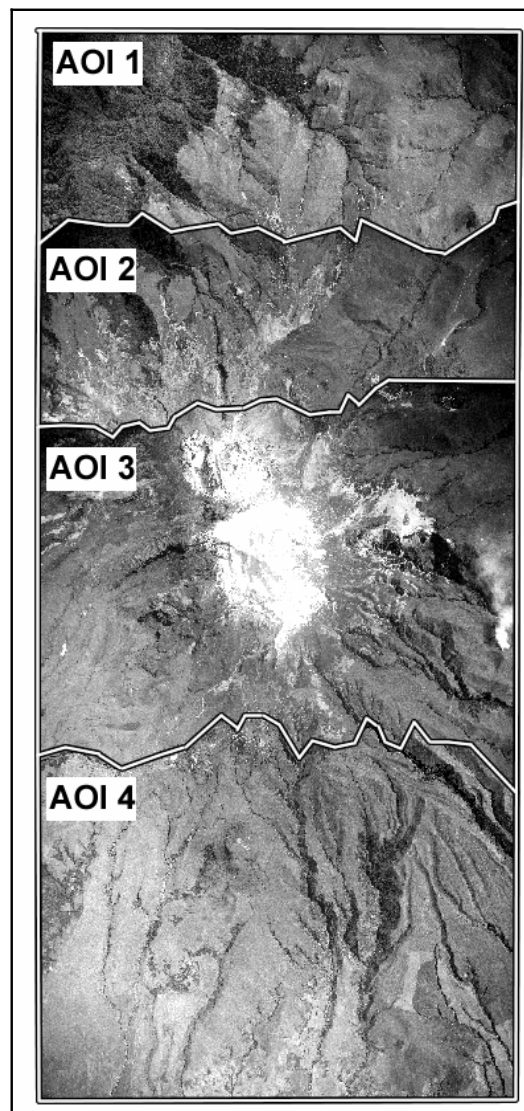
Para la composición del mosaico de 1963 se generó un AOI para la ortofoto de la aerofotografía 4453 que contuviera la zona de interés para evitar fragmentarla, por lo tanto ésta zona quedó contenida en el AOI 3, en los restantes casos, el AOI 1 contiene la zona de la ortofoto correspondiente a la aerofotografía 4451, el AOI 2 a la de la aerofotografía 4452 y la AOI 4 a la de la aerofotografía 4454. El resultado de este mosaico se muestra en la figura 5.152 además de un detallamiento correspondiente a la conformación de AOI's y ortorectificaciones en la tabla 5.16.

Es importante mencionar que, tal como sucedió para el caso del año 2000, las aerofotografías que conformaron este bloque habían sido escaneadas en un rango de 16 bits, lo que quiere decir que no concordaban tampoco con la información del SRTM, por lo que fue necesario darles el tratamiento aplicado para las imágenes 15292, 15293 y 15294 del año 2000 en base al SRTM explicado en la sección 5.5.2.2 para el caso del bloque del año 2000.

Tabla 5.16

Ortofoto	AOI
Ortho4451.img	limite4451.aoi (AOI 1)
ortho4452.img	limite4452.aoi (AOI 2)
Ortho4453.img	limite4453.aoi (AOI 3)
ortho4454.img	limite4454.aoi (AOI 4)

Figura 5.152 Mosaico elaborado con el SRTM para el año de 1963.



5.5.2.3. Revisión de la calidad de los mosaicos

Año de 1956: Ambos mosaicos resultantes de este año presentaron pocas distorsiones, sin embargo en el mosaico elaborado con el DTM se presentó una considerable distorsión en la zona de la Quebrada Agualongo. En el caso del mosaico elaborado con el SRTM únicamente se encontró una distorsión que no se consideró importante dado que cubría un área de mínima importancia para el

trabajo. Ambos casos se pueden observar en la sección 10.3.6 del Anexo C correspondiente al año 1956.

En este mosaico se identificó una pequeña nube que causó problemas para ubicar PC para su orientación externa y también dificultó la fotointerpretación de la zona sobre la morrena del Iliniza Sur sobre la que se ubicaba, además de nubosidad sobre la zona de interés, lo cual dificultó la fotointerpretación, problema que se solucionó gracias a la metodología empleada (refiérase a la sección 5.6.3).

Año de 1963: Para el año de 1963 el mosaico elaborado con el DTM obtenido a partir de la información aerofotogramétrica presentó numerosas distorsiones de un tamaño considerable, contrariamente, el mosaico obtenido con el SRTM tiene muy pocas distorsiones que se encuentran fuera del área de interés. Estos resultados se pueden observar en la sección 10.3.6 del Anexo C (ver Anexo Digital) correspondiente al año 1963.

El problema con este mosaico fue que debido a la escala de las fotografías resultó más pequeño por lo que no completó la zona de interés (caso 1986), lo que no afectó el objetivo principal de este estudio. Además se notó que las esquinas de las ortofotos son más oscuras y se encontró una nube por la que se dificultó interpretar una pequeña zona externa a la zona de interés.

Año de 1986: En el caso del año de 1986 no se creó el mosaico con el DTM propio de este año debido a que, con los resultados de los otros cuatro años se decidió crear mosaicos con el SRTM descartando el empleo de los DTM's ya que su calidad no era aceptable, y además, que al revisar el DTM obtenido de este año, se pudo observar la mala calidad que este presentaba. Por otro lado, el mosaico confeccionado con el SRTM muestra una muy buena calidad, tal como puede observarse en la sección 10.3.6 del Anexo C (ver Anexo Digital) correspondiente al año 1986.

A pesar de su área reducida la calidad es muy buena ya que no contiene nubes o distorsiones importantes aunque no completó la zona de interés definida para el

estudio por lo que se aceptó el resultado y se procedió a realizar el análisis de fotointerpretación dado que no afectaba el cumplimiento del objetivo principal del estudio. Cabe mencionar que las tonalidades del mosaico entero presentan una buena uniformidad.

Año de 1988: Los mosaicos de este año muestran varias zonas de distorsiones, con la diferencia de que el mosaico elaborado con el SRTM las presenta en zonas de poca importancia, alejadas del nevado, mientras que el mosaico elaborado con el DTM presenta en especial distorsiones en la zona-nivo glaciar por lo que fue rechazado para el trabajo. Las observaciones mencionadas se pueden ver en la sección 10.3.6 del Anexo C correspondiente al año 1988.

El mosaico correspondiente a este año elaborado con el SRTM presentó información de buena calidad, en especial en la zona de importancia definida para la interpretación de los mosaicos, observándose la presencia de pequeñas nubes y sus sombras fuera de esta zona. Este mosaico no presentó grandes diferencias en las tonalidades de las ortofotos y finalmente se consideró aceptable para la fotointerpretación.

Para tener una mejor idea de los resultados mencionados en este párrafo se pueden observar ambos mosaicos en la sección 10.3.6 contenida en el Anexo Digital correspondiente al año 1988.

Año 2000: Los mosaicos obtenidos para este año muestran calidades opuestas, tal como sucedió con los restantes de mosaicos. Particularmente el mosaico obtenido mediante la utilización del SRTM presenta contadas distorsiones que además son muy pequeñas aunque por efecto de los procesos a los que fue preciso someter a sus imágenes se produjo pérdida de información lo que adicionalmente dificultó su interpretación, mientras que el mosaico correspondiente al DTM presentó distorsiones grandes y en mayor número, que además, cubren la zona de interés. Lo detallado en las anteriores líneas se presenta en la sección 10.3.6 del Anexo C (ver Anexo Digital) correspondiente al año 2000.

- En conclusión, estas distorsiones que se observaron en los mosaicos concuerdan perfectamente con la imagen de calidad que se obtuvo a la par del DTM.

5.5.2.4. Corrección de escalas de los mosaicos

Se empezó desde el mosaico más reciente hasta el más antiguo, ya que el mosaico correspondiente al año 2000 presentaba más detalles comunes con las cartas topográficas como calles, predios, además de rocas y quebradas para zonas no urbanizadas, contrariamente a los mosaicos de los años de 1956 y 1963 que no presentaban tanta similitud, en el caso de estos últimos se decidió tomar en cuenta detalles como intersecciones de quebradas y rocas básicamente ya que las zonas urbanas habían cambiado mucho en ese lapso de tiempo.

5.5.2.4.1. 2000

Para la primera corrección de este año se realizaron cuatro procesos, teniendo inicialmente valores de errores desde 0.93 metros hasta 180.61 metros, como se puede observar en la tabla 5.17 hasta obtener, en el cuarto proceso valores desde 11.52 hasta 19.20 que están dentro del mínimo valor aceptable como error.

Tabla 5.17 Correcciones residuales correspondientes al año 2000.

Mosaico	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Original	149.88	180.61	103.79	22.85	0.93
Corrección 1	61.21	97.44	11.43	62.16	82.41
Corrección 2	61.99	98.14	11.18	61.2	83.92
Corrección 3	45.44	111.39	5.9	13.75	81.68
Corrección 4	12.61	18.29	11.52	11.92	19.20

5.5.2.4.2. 1988

En el caso del año de 1988, los valores de errores medidos en el mosaico inicialmente eran desde 10.5 hasta 44.85, finalmente, para este mosaico se realizaron cuatro procesos en el intento de reducir al máximo estos valores, sin embargo, en el último de estos los errores se incrementaron al contrario de lo deseado, por lo que se decidió aceptar el tercer mosaico resultante de las correcciones dado que sus errores bordeaban el límite y en el caso del mayor error, se excedió con 0.55 metros que representa 0.01mm de error en la fotografía. Estos resultados se muestran en la tabla 5.18.

Tabla 5.18 Correcciones residuales correspondientes al año 1988.

Mosaico	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Original	38.97	44.85	21.48	10.5	13.89
Corrección 1	28.79	30.23	32.33	10.85	53.96
Corrección 2	48.83	11.19	46.6	10.14	48.84
Corrección 3	7.71	13.14	5.17	13.41	20.55
Corrección 4	46	11.40	28.20	12.93	24.77

5.5.2.4.3. 1986

Para llevar a cabo la corrección de este mosaico se llevaron a cabo dos procesos, aunque los errores del primer mosaico en su mayoría de mediciones eran aceptables, tal como se puede ver en la tabla 5.19, sin embargo con la primera corrección el error aumentó considerablemente. El principal problema respecto a este mosaico fue que el sector correspondiente al Iliniza Norte no se visualizaba en la mejor ubicación respecto a la carta debido al desplazamiento de la imagen, finalmente, con el objeto de mejorar el resultado se volvió a corregir el mosaico tomando como base el mosaico corregido de 1988 (3ra corrección) ya que debido a el área reducida que este mosaico cubría el terreno común con la carta correspondía a zonas poco detalladas, mientras que al compararlo con el mosaico

del año 1988 se tenía mas elementos que comparar. Finalmente se colocaron 42 puntos en todo el sector del 1986, cantidad que superó a las anteriores tanto en este mosaico como en los de 1988 y 2000, esta decisión se tomo dado que se intentaba corregir una diferencia con la carta debida al desplazamiento de la imagen y que al trabajar respecto a otro mosaico se incrementaban las posibilidades de encontrar elementos comparativos entre ellas. Los resultados de las mediciones de los errores tomados en cuenta para comparar el mosaico con las cartas se muestra en la tabla 5.19.

Tabla 5.19 Correcciones residuales correspondientes al año 1986.

Corrección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Original	8.18	15.57	23.74	10.74	2.45
Corrección 1	44.27	54.29	35.39	46.27	45.93
Corrección 2	15.16	11.49	4.78	16.7	11.71

5.5.2.4.4. 1963

En el caso del año de 1963 se procedió a realizar dos correcciones respecto a la carta topográfica, obteniendo finalmente resultados aceptables en la segunda corrección. Los datos de los errores medidos en las cartas son los que se muestran en la tabla 5.20.

Tabla 5.20 Correcciones residuales correspondientes al año 1963.

Mosaico	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Original	77.92	105.68	70.30	30.88	89.25
Corrección 1	84.66	106.64	71.60	58.23	88.77
Corrección 2	11.97	20.40	9.72	17.47	15.80

5.5.2.4.5. 1956

En el caso de este año, a causa de la diferencia en cuestión de detalles existente entre la información existente entre este mosaico y las cartas, se procedió a corregir el mosaico respecto a la tercera corrección realizada al mosaico del año 1988, obteniéndose resultados satisfactorios en la segunda corrección como se puede observar en la tabla 5.21.

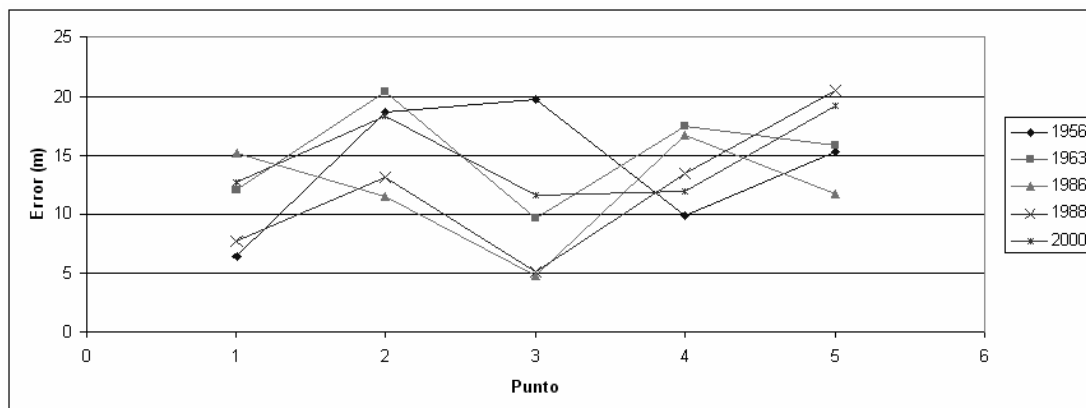
Tabla 5.21 Correcciones residuales correspondientes al año 1956.

Mosaico	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Original	72.16	18.69	21	30.28	20.02
Corrección 1	19.17	19.52	19.97	16.52	16.31
Correccion 2	6.47	18.67	19.73	9.93	15.33

Tabla 5.22 Comparación de los errores finales de todos los mosaicos

Error medido entre un punto del mosaico y el mismo en la carta correspondiente					
Año	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
1956	6,47	18,67	19,73	9,93	15,33
1963	11,97	20,4	9,72	17,47	15,8
1986	15,16	11,49	4,78	16,7	11,71
1988	7,7	13,14	5,18	13,4	20,55
2000	12,61	18,29	11,52	11,92	19,2

Figura 5.153 Figura comparativa de los errores finales de todos los mosaicos



Finalmente, los mosaicos corregidos se compararon en la figura 5.153 que muestra los valores aceptados de las imágenes para cada punto de comparación, los que son mostrados en la tabla 5.22.

5.6. FOTOINTERPRETACIÓN DE LOS MOSAICOS.

Para la realizar la fotointerpretación, la metodología aplicada tanto para el análisis preliminar como para el definitivo constó en general de los siguientes pasos:

- La definición de la zona de interés principal de los mosaicos obtenidos de las ortorectificaciones realizadas con el SRTM.
- La determinación de las coberturas estudiadas.
- El análisis de las cobertura tanto para la fase preliminar como para la definitiva utilizando herramientas proporcionadas por el programa Paint Shop Pro 4.15 SE. Luego, para identificarlas y ubicarlas en un nuevo archivo en el programa ArcView 8.3 y poder obtener las áreas correspondientes se lo cambió de color y se guardó el archivo.
- El análisis de radiometría para cada zona determinada en el paso anterior para conocer que rangos radiométricos correspondían a cada cobertura. Para esto se abrió cada archivo tratado en el Paint Shop Pro 4.15 SE en un viewer del programa ERDAS 8.6 y mediante la herramienta de información se conoció que rangos de gris fueron los seleccionados anteriormente.
- La creación de las máscaras que representaran a cada cobertura en el programa ARCGIS 8.3 y el cálculo de sus áreas.

En la fase preliminar, el análisis fue llevado a cabo dentro de una zona de interés que satisficiera el requerimiento de tener un criterio general de las coberturas existentes antes de realizar el trabajo comparativo de campo, es decir, los resultados obtenidos tuvieron el carácter de referenciales.

Mientras, que en la fase definitiva de la fotointerpretación, la zonificación fue llevada a cabo sobre el mosaico completo, dando prioridad a la zona de importancia.

Cabe destacar que como producto de la visita técnica al nevado Iliniza Sur se pudo realizar la fotointerpretación con mayor criterio y objetivos claros, y por consiguiente, constatar los resultados preliminares y redefinir las coberturas estudiadas para finalmente poder obtener resultados susceptibles de comparación y definitivos.

5.6.1. Creación de zonas para trabajar en Paint Shop Pro 4.15 SE.

Para la realización la fotointerpretación se requirió de la utilización del programa Paint Shop Pro 4.15 SE, pero dado que los mosaicos fueron muy pesados para trabajar en este programa se seleccionó una zona mas pequeña que representara las coberturas mas importantes, que fuera común en todos los mosaicos y facilitara el trabajo en este software.

Para lograr esto, primeramente se recortó una zona de estudio común para todos los mosaicos, y que por esta razón permitiera comparar los resultados obtenidos, además, esta pequeña zona recortada de cada mosaico facilitó los procesos radiométricos ya que aunque mantenía la información del original era más manejable que este.

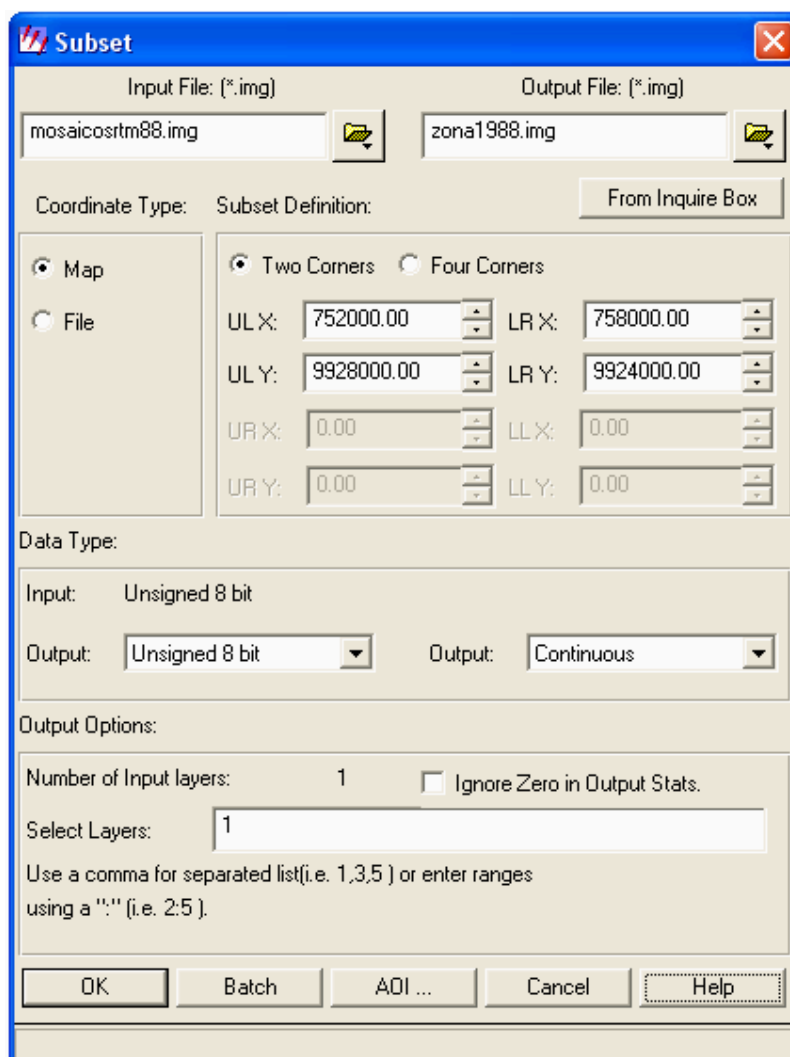
Dicha zona se encontraba comprendida entre los 9928325 y 9923917 m de latitud sur y los 756739 y 757000 m de longitud oeste para la fase preliminar y entre los 9928000 y 9924000 m de latitud sur y los 752970 y 757000 m de longitud oeste para la fase definitiva, recurriendo a herramientas antes utilizadas del programa ERDAS versión 8.6.

De este modo, se activó la opción "Subset Images..." (ver figura 5.81) que se encuentra en la herramienta "Data Preparation" mostrada en la figura 5.80, esto permitió acceder al cuadro de diálogo "Subset" (ver figura 5.155), en el cual, en el

directorio de "Input File" se seleccionó el mosaico de origen y en el directorio "Output File" se denominó al archivo resultante.

Luego, habiendo activado la opción Map que se utiliza para archivos rectificados y también la opción de una zona de dos esquinas se determinaron las coordenadas entre las que se debía encontrar la zona, esto se muestra en la figura 5.154.

Figura 5.154



Posteriormente, en el programa ERDAS 8.6, y utilizando la herramienta "Import/Export" (ver figura 5.137) se importó la zona a un formato ".JPEG" para

que fuera legible para este programa siguiendo el proceso detallado en la sección 5.5.2.2 correspondiente al año 2000 cuidando siempre de mantener la calidad mas alta y utilizando una desviación estándar de 2.

5.6.2. Definición de coberturas a estudiar

5.6.2.1. Coberturas Preliminares

Con base en las investigaciones bibliográficas realizadas y en las observaciones llevadas a cabo en los mosaicos y su información a lo largo de todos los procesos anteriores se predefinieron las siguientes coberturas para analizar en los mosaicos:

- Nieve y glaciar.- Conformado por la zona de cobertura nivo-glaciar observada en los mosaicos, que se encontró con los valores radiométricos mas altos para todos los casos como se puede observar en las figuras de la sección 10.4.3 contenidas en el Anexo digital.
- Morrena.- Zona que se conformó por las zonas más cercanas a la nivo-glaciar, aquellas que mostraban signos de meteorización o de erosión causada por el glaciar y que presentaban la apariencia de “depósitos de materiales”. Esta zona fue difícil de determinar a simple vista ya que presenta rangos similares de radiometría que la zona de arenales en especial por que ambas coberturas se entremezclan de manera natural de modo que la metodología empleada para la fotointerpretación demostró ser la ideal para su identificación.
- Arenal.- Fue la zona de tonalidad más clara identificada en los mosaicos después de la nivo-glaciar, que además presentaba una textura más heterogénea respecto a ésta última y de tonalidad más clara que la cobertura de morrena.
- Cobertura Vegetal “1” conformada por matorrales.- Se definió inicialmente esta cobertura dado que a simple vista, en los mosaicos, se encontró una clara diferencia entre dos tipos de coberturas que presentaban particulares tonalidades de gris para cada una, por lo que se supuso que estas zonas estaban cubiertas por una tonalidad mas oscura en la zona que se

interpretaba como de cobertura vegetal representaba a este tipo de vegetación con la premisa de corroborarlo en la visita a la zona.

- Cobertura Vegetal “2” conformada por pajonales.- Al igual que para el caso de la Cobertura Vegetal “1”, se conformaron las zonas de cobertura de pajonales para el caso de la vegetación de tonalidad mas clara de gris teniendo presente la importancia de la constatación de campo.

5.6.2.2. Coberturas Definitivas

Concluyendo de las observaciones realizadas en la visita técnica al nevado Iliniza Sur se observó la necesidad de aumentar una nueva máscara que representara a la cobertura rocosa del lugar, observada tanto en cúmulos rocosos como en las laderas de las quebradas y despeñaderos, y que presentaba la diferencia respecto a las otras coberturas e importancia necesaria como para continuar manteniéndola incluida en otra cobertura.

Así mismo se constató, que existían básicamente tres tipos de cobertura, las que fueron: bosques, pajonales y cobertura arbustiva de los límites de los arenales.

Para el caso de los bosques, se consideró tanto a los bosques de polilepis que crecen a lo largo de las quebradas como a los sembríos de pino que se encuentran a menor altura, ambas especies observadas durante la expedición al lugar.

Por otro lado, en el caso de los pajonales que son los que ocupaban la mayor superficie y la vegetación arbustiva, que crece en los límites de los arenales, se consideró que por motivos prácticos sería preferible analizarlos en una misma máscara ya que no es el alcance del presente trabajo guardar demasiados detalles sobre la zona mas que sobre la cobertura nivo-glaciar.

Por lo demás se mantuvieron las coberturas de hielo y nieve, morrenas, y arenales.

Finalmente el trabajo se realizó en base a seis tipos de coberturas que fueron:

- Hielo y Nieve para cada pico de los llinizas
- Morrenas
- Arenales
- Cobertura rocosa
- Pajonales (que considera desde pajonales hasta la cobertura arbustiva que se encuentra en los límites de los arenales)
- Bosques (bosques de pino y de polilepis que son los más comúnmente encontrados en el lugar).

Adicionalmente, en los procesamientos definitivos se elaboraron máscaras correspondientes a las coberturas de las zonas externas a la zona de interés.

Estas coberturas fueron: zonas de bosques, pajonales, sembríos, arenales, roca y morrenas. El trabajo de fotointerpretación de las zonas completas puede ser observado en el numeral 10.4 de los Anexos.

5.6.3. Análisis radiométrico en Paint Shop Pro 4.15 SE.

Con la ayuda del Programa Paint Shop Pro 4.15 SE, se procedió al reconocimiento de zonas que se encontraban en un cierto rango común de radiometría, este proceso partió de la foto-interpretación de los mosaicos, de modo que se identificó una cobertura pero para facilitar su determinación y alcance en el espacio se empleó una herramienta de este programa que seleccionaba los píxeles aledaños que poseían valores radiométricos semejantes.

Como ejemplo, la nieve se vio de un color blanco o tonos de gris muy cercanos a este pero todas las zonas que estaban dentro de un rango de tolerancia definido con anterioridad en el programa, se encontraron marcadas por una línea entrecortada al utilizar esta herramienta.

A continuación se detalla este proceso de identificación de los diferentes tipos de cobertura llevado a cabo en el programa Paint Shop Pro 4.15 SE semejante para la fase preliminar como para la definitiva.

Mediante el menú file del software mencionado se accedió a la opción Open, para cargar la zona anteriormente recortada del mosaico a analizar (ver figura 5.155).

Figura 5.155

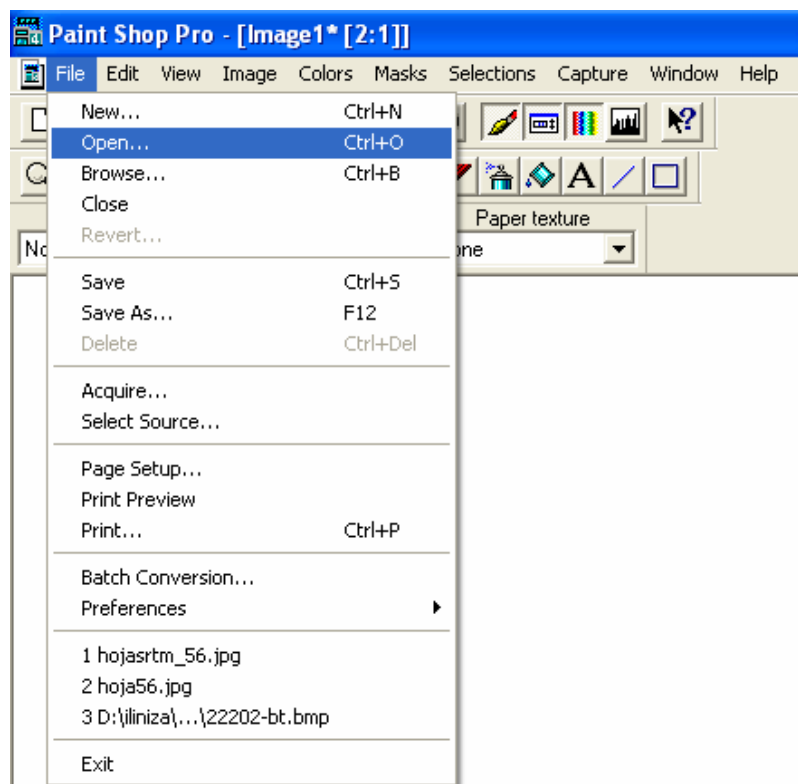


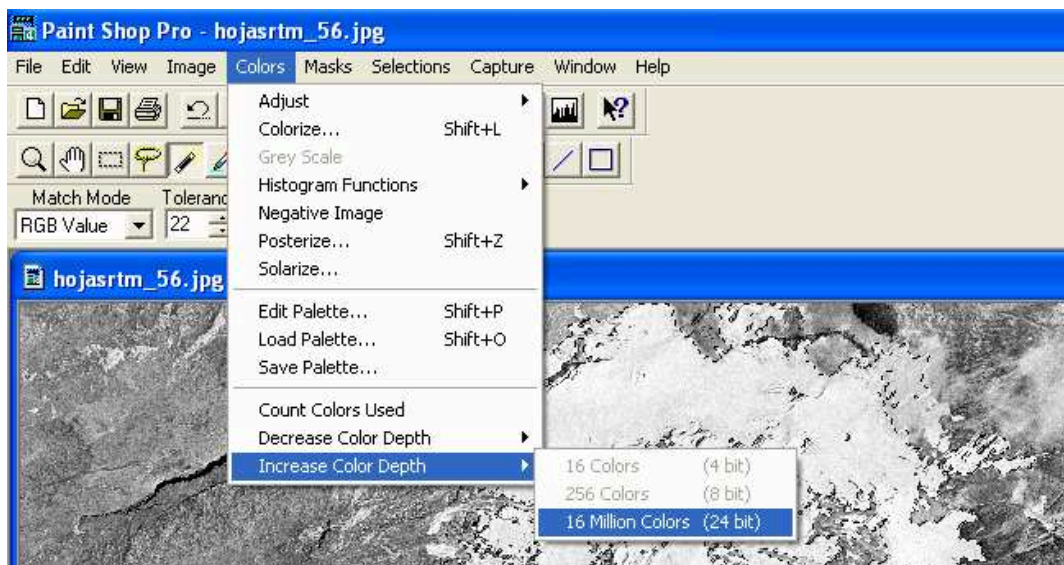
Figura 5.156



Luego, empleando la herramienta “Magic Wand”, mostrada en la figura 5.156, se seleccionó para el ejemplo de la explicación la zona de nieve y glaciar mediante un clic sobre un punto de dicha cobertura, mediante el método de prueba y error se revisó que con un solo clic sobre la imagen se cubriera toda la zona de nieve y hielo cambiando el nivel de la tolerancia hasta lograrlo.

Dado que la imagen sobre la que se estaba trabajando era de ocho bits, dicho de otro modo de 255 colores que corresponde a una escala de grises, y lo que se pretendió en este punto del proceso fue diferenciar las zonas seleccionadas con colores que faciliten su ubicación en el mosaico, se debió incrementar el número de colores en el archivo que se está trabajando, es decir, incrementarlo a 24 bits (16 millones de colores). Esto se logró seleccionando la opción “16 Million Colors (24 bits)” de la herramienta “Increase Color Depth” la que se encuentra en el menú “Colors”, este proceso puede observarse en la figura 5.157.

Figura 5.157 Proceso para incrementar el número de colores de una imagen.

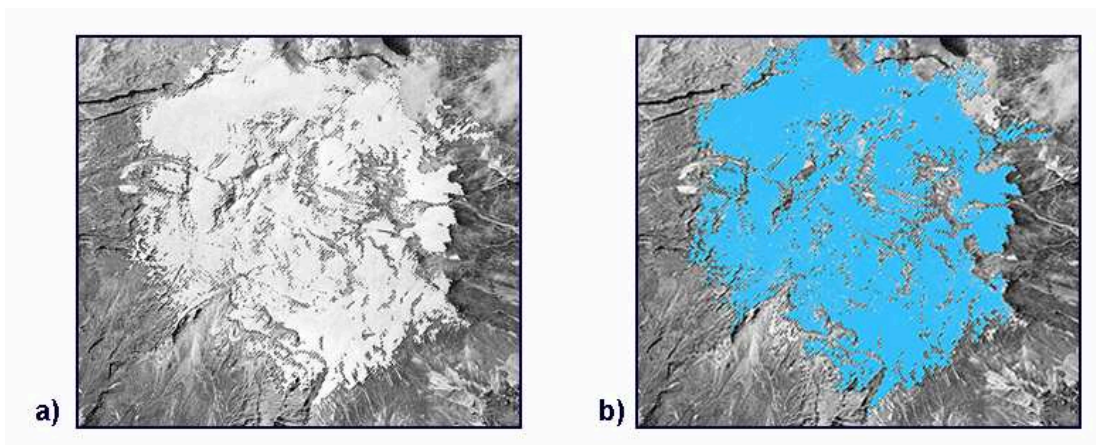


Al haber realizado este proceso es posible colorear las zonas seleccionadas de modo que se puedan diferenciar más fácilmente. En la figura 5.159 a) se muestra una zona de glaciar seleccionada para el ejemplo que corresponde al año de 1956 y en la figura 5.159 b) la misma luego de haber sido coloreada con la herramienta "Flood Fill" (ver figura 5.158). Este proceso se siguió con todas las coberturas de los mosaicos tanto en la etapa preliminar como en la definitiva.

Figura 5.158



Figura 5.159 Ejemplo del análisis de radiometría para la definición de coberturas.



Como producto de este proceso se muestran los resultados tabulados del valor de tolerancia empleada para cada cobertura, los valores radiométricos de los píxeles seleccionados y también un valor de porcentaje, que no es sino la representación del nivel de presencia del elemento principal de cada cobertura definida, ya que en la realidad no existen zonas conformadas por un cien por ciento de cada cobertura sino que dentro de esta también se encuentra la presencia de otra u otras, por ejemplo no existe una zona que abarque un cien por ciento de roca, sino que dentro de ésta también existe cierta cantidad de vegetación o arenal como se confirmó en la observación de campo explicada en el numeral 10.3.7 de los Anexos.

5.6.4. Obtención de rangos radiométricos de cada cobertura.

Para la obtención de los rangos radiométricos de las coberturas analizadas en la sección 5.6.3, fue preciso, antes de aplicar un color sobre la zona delimitada con ayuda del programa Paint Shop Pro 4.15 SE, copiar esta zona sin desmarcarla (usando el comando Control + C), pegarla en un nuevo archivo y guardarla.

Luego visualizar este archivo en un viewer del programa ERDAS 8.6, desplegar la información de la imagen como se muestra en la sección 5.2.1.3 en las figura 5.34, 5.35.

Posteriormente desde el menú "Edit" del cuadro mostrado en la figura 5.35 seleccionar la opción "Compute Statistics..." (ver figura 5.160) para que el programa calcule los valores de los píxeles más su cantidad dentro de la selección, luego, para acceder a esta información, del mismo menú anterior se seleccionó la herramienta "Raster Attribute Editor" (ver figura 5.160) con lo que se pudo visualizar tanto un histograma como un cuadro que muestran los valores de gris desde 0 hasta 255 y su cantidad (ver figura 5.161).

Figura 5.160 Información de la imagen

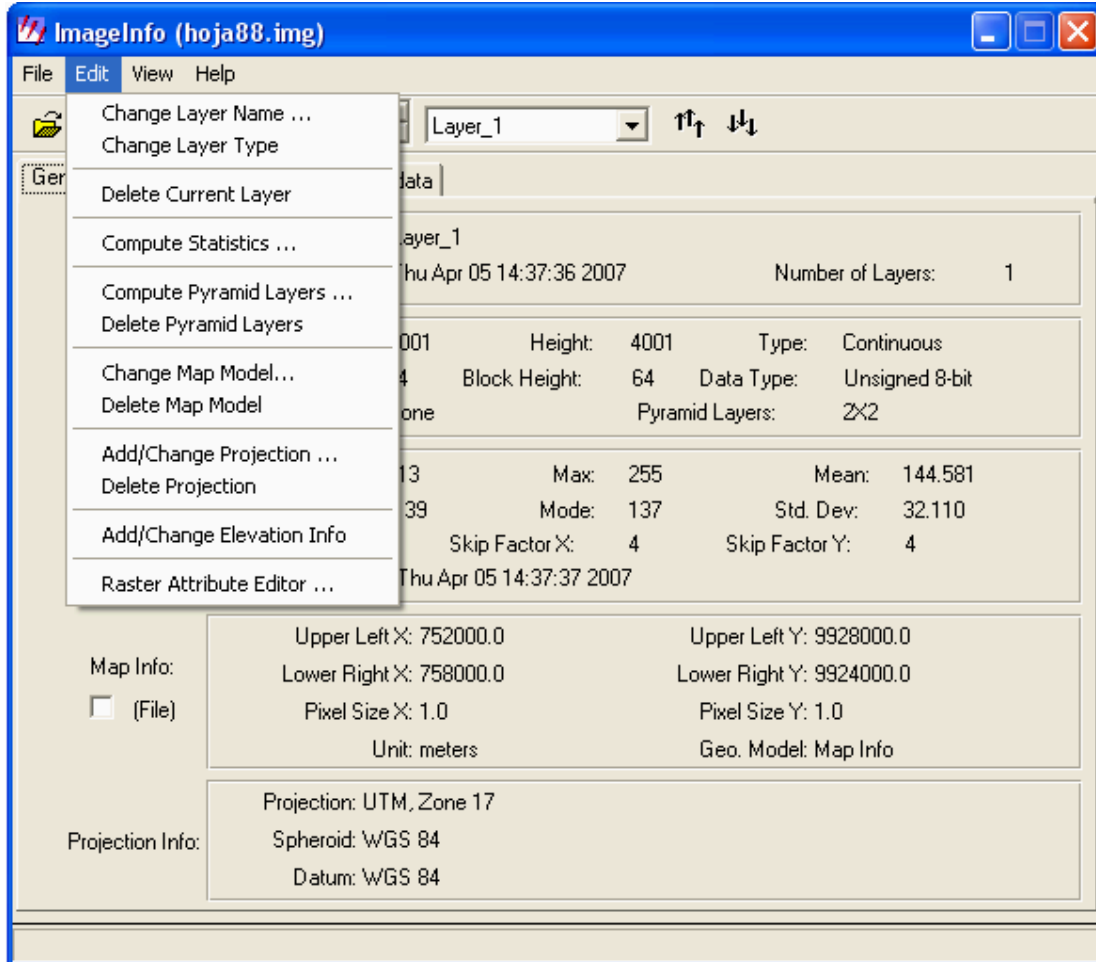


Figura 5.161

The screenshot shows the 'Raster Attribute Editor' dialog box. It displays a histogram table with the following data:

Row	Histogram
28	0
29	112
30	32
31	96
32	112
33	176
34	128
35	144
36	160
37	64
38	256

5.7. CREACIÓN DE MÁSCARAS PRELIMINARES Y DEFINITIVAS EN ARCVIEW 8.3

Luego de haber abierto el mosaico que se analizó, se crearon los “shapefiles” correspondientes a cada cobertura mas uno adicional que englobaría a todos con el fin de determinar las áreas de las coberturas más sus porcentajes respecto a la zona de importancia definida para el trabajo, esto se realizó mediante la herramienta “ArcCatalog” (ver figura 5.162) la que permitió “administrar” los archivos y sus cualidades, sea esto, crearlos, borrarlos, renombrarlos y organizarlos dentro de un entorno.

Luego mediante la herramienta “Add Data” (ver figura 5.163) se añadieron las capas o “shapefiles” creados, y con la herramienta “Editor” de la barra de herramientas correspondiente a las capas (ver figura 5.165), se las activó para poder trabajar en ellas, al hacerlo, la barra de herramientas de edición se habilitó y se determinó la tarea “Crear Nuevo Elemento (Create New Feature)” y se seleccionó la capa sobre la cual se trabajaría. Se dibujaron los polígonos de acuerdo a la zonificación llevada a cabo en la sección 5.6.3. Inicialmente se decidió definir cuatro tipos de cobertura, estos fueron: nieve y glaciar, morrenas, arenales y vegetación, en la marcha se observó que entre la vegetación se presentaban dos tipos de radiometría diferentes en lo que se había considerado como una sola cobertura de vegetación, una mas clara que la otra, y se observó que la diferencia parecía radicar en el tipo de elementos presentes en cada sector, en la radiometría mas clara y mas extensa se consideró que predominaban los pajonales mientras que la mas oscura y reducida los matorrales, por lo que se incrementó una cobertura más, que correspondió a la última.

Figura 5.162



Figura 5.163



Figura 5.164

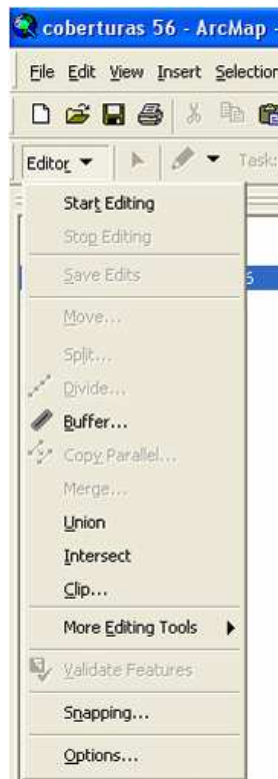


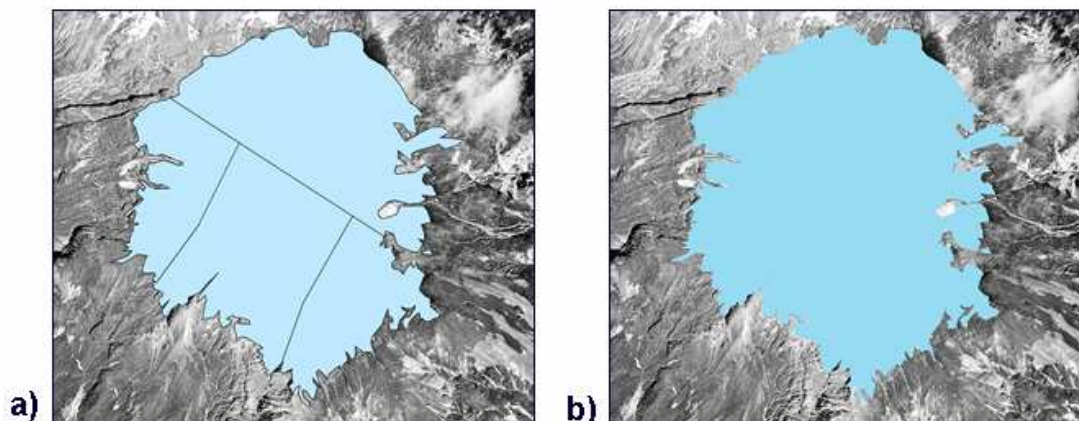
Figura 5.165



Como se explicó anteriormente, luego de haber creado los polígonos que cubrieran las zonas a cuantificar, se los uniría en otra capa que permitiera tanto cuantificarlos como obtener los porcentajes que cada uno representara respecto a la zona total de interés. El proceso de unificación de los polígonos que conformaban cada capa se realizó primeramente seleccionando todos los polígonos que conformaban una misma cobertura, cambiando la capa activa por aquella que se creó previamente con el objetivo de englobar a todas con la herramienta “Target” (ver figura 5.165) y luego utilizando la opción “Union” de la barra de herramientas “Edit” (ver figura 5.164). Se debe recordar que ya que los polígonos se crearon para dar origen a otro, fue preferible permitir que existieran pequeños traslajos entre ellos para evitar que se crearan zonas huecas por las

que se perdiera información. La figura 5.166 muestra los polígonos que formaban parte de una cobertura glaciar (ver figura 5.166 a)) y el producto de su unión (ver figura 5.166 b)).

Figura 5.166



Una vez creados todos los polígonos de las diferentes coberturas y luego de haber sido unidas en la capa que las contenía, se procedió a crear en su tabla de atributos nuevos campos de modo que la capa pudiera presentar la información deseada. Para acceder a esta tabla se ejecutó un clic derecho sobre la capa correspondiente y mediante el botón “Options” que se desplegó producto de esta acción, se seleccionó la opción “Add”, que permitió crear los nuevos campos, estos fueron: Tipo de cobertura, Área de cada tipo de cobertura, Área de la zona de interés, Porcentaje de la cobertura; cada uno definido para el tipo de información que debía que contener, así el primero debía ser de tipo texto, el segundo y el tercero debían ser de tipo “Double”, o números decimales mayores a 1 con un máximo de 7 dígitos y el cuarto debía ser de tipo “Floating”, que es un decimal menor que 1.

Luego de haber creado los nuevos campos se procedió a completar la información que estos contenían; en el campo “Tipo de cobertura” se escribió el nombre de cada cobertura; en el campo “Área de cada tipo de cobertura” se

obtuvieron los valores de cada área utilizando la fórmula mostrada en la figura 5.167; en el campo “Área de la zona de interés” se ingresó el valor del área de interés que fue de 38714271 m² y por último en la columna correspondiente al campo “Porcentaje” se obtuvo el valor del porcentaje de cada cobertura respecto a la zona de interés. Este proceso fue llevado a cabo tanto para las capas de polígonos correspondientes a la fase preliminar como para la definitiva.

Figura 5.167

```
Dim dblArea as double
Dim pArea as IArea
Set pArea = [shape]
dblArea = pArea.area
```

5.7.1. Comparación entre fases preliminar y definitiva.

Como se puede ver, los resultados preliminares difieren de los definitivos tanto por el hecho de que éstos últimos consideran una nueva cobertura, como es el caso de la zona rocosa, como por que redefine la cobertura de matorrales como una cobertura de bosques. Por esta razón, en la comparación realizada entre estas dos informaciones, la capa correspondiente a rocas se consideró nula para la zonificación preliminar mientras que la de matorrales se la comparó con la información obtenida para los bosques en la fase definitiva.

5.7.2. Interpretación del trabajo de campo sobre las imágenes

Para proceder a la fotointerpretación definitiva se requirió llevar a cabo una comparación de las observaciones realizadas en la expedición realizada el 14 de mayo del año 2007 con las observaciones realizadas en gabinete especialmente con el mosaico correspondiente al año 2000, ya que, al ser el más reciente no difirió en gran medida con el tipo de coberturas presentes en el año en curso.

Como primera observación se notó la necesidad de considerar la cobertura rocosa del lugar aumentando una nueva máscara para representarla dado que se la observó tanto en cúmulos rocosos como en las laderas de las quebradas y

despeñaderos ocupando así una zona de mayor importancia de la que se le había otorgado, así mismo, se apreció la existencia de básicamente tres tipos de cobertura vegetal que fueron: pajonales, bosques y matorral. Para el caso de los bosques, se decidió considerar tanto a los bosques de polilepis, especie endémica que se desarrolla a lo largo de las quebradas como a los sembríos de pino que se encuentran a menor altura, y con sentido práctico se consideró analizar en una misma máscara a los pajonales, los que ocupan la mayor superficie y al matorral que, en buena parte, se desarrolla en los límites entre los arenales y la vegetación además de esporádicamente entre los pajonales, claramente diferenciable de aquellos por su altura y por estar conformada por otras especies endémicas.

Como un dato adicional se menciona que en el cuarto punto de control (refiérase a la sección 10.3.7 del Anexo) se pudo observar la existencia de una zona cenagosa que por su pequeña extensión fue considerada entre la zona de pajonales.

CAPÍTULO 6

6. RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS Y COBERTURA NIVO- GLACIAR

La comparación llevada a cabo entre los resultados hidrometeorológicos y nivoglaciar, parte de la observación de la tendencia de ambos por separado, determinando una tendencia general y específica para cada año en el comportamiento de cada parámetro.

Con estas observaciones fue posible conocer el grado de afectación de cada parámetro de las estaciones sobre el nevado como se describe en el Capítulo 7.

Como resultado del análisis hidrometeorológico es conveniente mencionar que no se pudieron obtener datos conclusivos o categóricos dada la falta de información de ambas, es decir, lo ideal hubiera sido tener información hidrometeorológica que aportara al primer dato de cobertura nivo-glaciar (año 1956) así como tener más información aerofotogramétrica de años intermedios que aportaran una visión más continua de la evolución del nevado.

6.1. PARÁMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS

Los parámetros hidrometeorológicos utilizados para desarrollar el presente trabajo de investigación fueron:

El parámetro hidrológico considerado en el desarrollo del presente trabajo fue de las estaciones de caudales medios mensuales, las cuales permitieron conocer la situación de drenaje del nevado, y determinar si el glaciar aporta o no y en qué medida a los caudales de vertientes o ríos de la zona.

Las estaciones que pudieron aportar información de mejor calidad para el análisis fueron, la estación 159 (San Pedro en Machachi) y la estación 161 (Toachi A.J. Pilatón), con la complicación de que estas estaciones únicamente cubren los flancos noreste y noroeste y por lo tanto no se puede tener una clara idea de lo que sucede con los flujos en los flancos sur del nevado.

Los parámetros hidrológicos por otro lado, consideraron información de precipitación media mensual para observar como ésta se ha desarrollado a lo largo del período solicitado y, de acuerdo a los resultados, encontrar alguna relación entre su desarrollo y el estado del glaciar en los años de cuyas fotografías se dispone. Puede observarse la ubicación de ésta información en la figura 6.1.

Además se consideró la información de humedad relativa de zonas cercanas al nevado, este parámetro es importante dado que la nubosidad existente sobre un glaciar puede absorber la energía solar incidiendo en el comportamiento de ésta cobertura, la información antes mencionada se detalla en la tabla 3.1 y se puede observar su ubicación en la figura 6.1; la temperatura media mensual para conocer las condiciones de ésta en los años estudiados y comparar su incidencia con el área de cobertura observada para los diferentes años.

En la figura 6.1 puede observarse la ubicación de estas estaciones.

6.2. COBERTURA NIVOGLACIAR

La cobertura nivo-glaciar del nevado Iliniza Sur fue estudiada en base a información aerofotogramétrica proporcionada por el IGM.

Mediante los procesos descritos en el Capítulo 5 del presente trabajo mas las observaciones realizadas en campo presentadas en la figura 6.3, se llegó a determinar un decrecimiento que corresponde al 68% desde al primer año analizado, 1956, hasta el año 1986.

Desde este último, el glaciar muestra haber recuperado un 27% de la cobertura, desafortunadamente dado que la información fue muy dispersa, no fue posible llevar a cabo una reconstrucción más completa de la evolución de la cobertura nivo-glaciar del nevado Iliniza Sur.

Desde el año de 1956 al de 1963, se notó una pérdida particularmente en la zona norte, noreste y este del glaciar, mientras que desde el año 1963 hasta 1986 se observó una reducción en todos los bordes aunque ésta pérdida se presentó de mayor manera en la zonas del este, del sur y en el sur-este del nevado.

En el lapso de 1986 hasta 1988 se observó una recuperación de la cobertura nivo-glaciar en especial al norte, al sur y al sur-oeste del glaciar y finalmente, en el lapso de 1988 hasta el año 2000 se observó un aumento de cobertura únicamente al este y a sur-este del glaciar, mientras se perdió cobertura en la zona del norte y del noroeste.

En la figura 6.2 se puede observar la evolución de la cobertura nivo-glaciar para los años estudiados en la presente investigación. Mientras que en la figura 7.14 puede observarse cuantificada la variación de la cobertura para éstos años.

6.3. RELACIÓN ENTRE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA COBERTURA NIVO-GLACIAR Y LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.

En los años de 1956 y 1963 no fue posible determinar relaciones entre ambos años dada la falta de información hidrometeorológica.

En el caso del año de 1986 fue posible observar, para la precipitación, una tendencia a aumentar en este año mientras que la humedad se presentó de manera constante para este año mientras que ambas estaciones de temperatura

registraron incrementos, que aunque lejanas en su ubicación respecto al nevado, mostraron una influencia negativa para la acumulación nivo-glaciar.

En 1988 se notó ya un crecimiento de la cobertura nivo-glaciar del 15% en especial en las zonas norte, sur y noreste, en general se observó que la precipitación de la zona tuvo una tendencia a crecer con excepción de las estaciones m120rr, m371rr, m064rr y m122rr, la humedad relativa mostró mantenerse constante en ese período, la temperatura media en ambas estaciones mostró aumentar en el período estudiado y los caudales mostraron también un crecimiento.

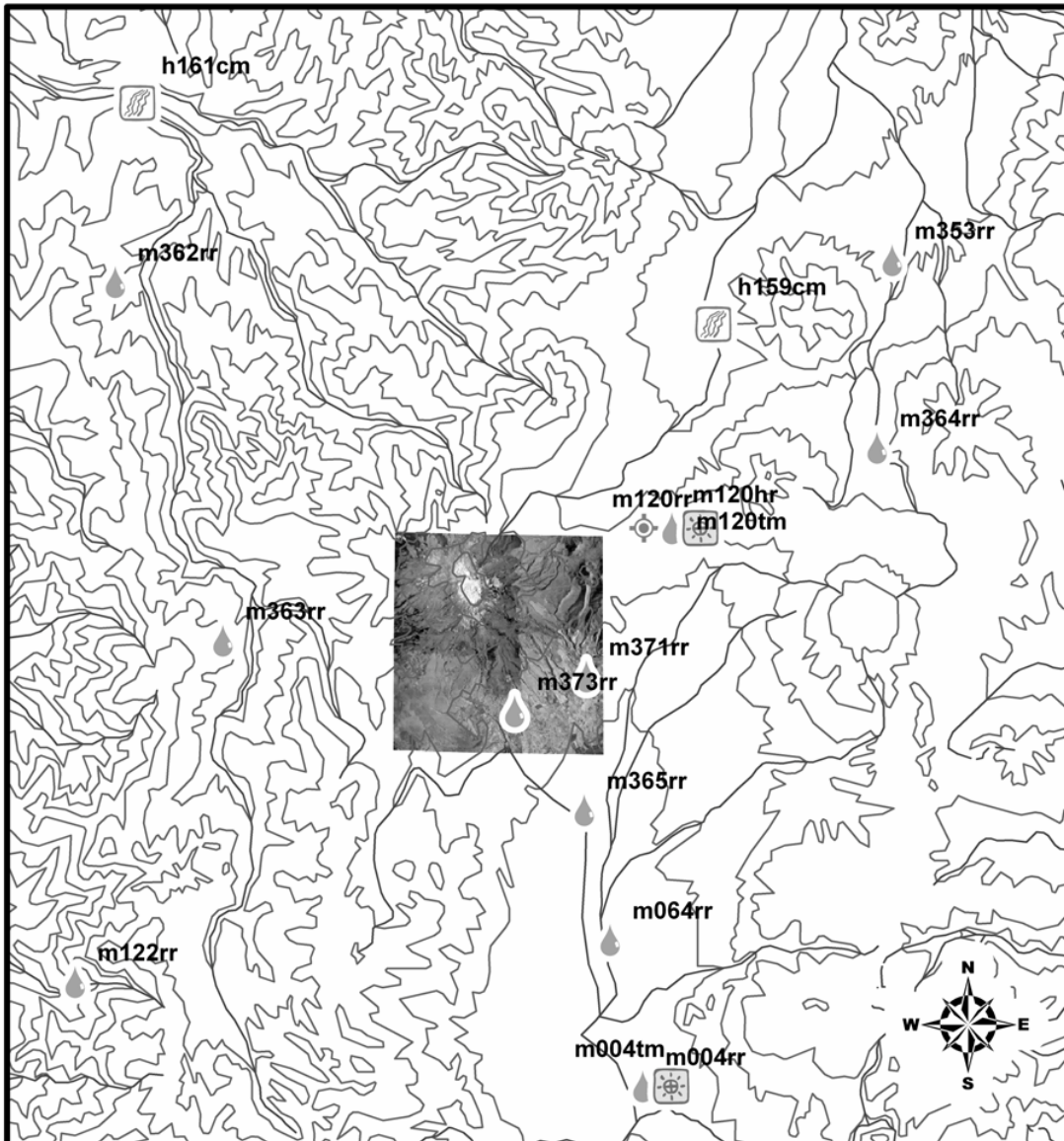
En el año 2000 ya se registró un incremento del 12% respecto a 1988. Se observó también que la precipitación tuvo tendencia a decrecer con excepción de las estaciones m362 y m363 y las m364rr y m353rr que se encuentran más alejadas y además se observó que en el período correspondiente a éste año las temperaturas tuvieron tendencia a crecer.

Se observó que los caudales fueron menores que los registrados anteriormente.

En general, para los años 1986, 1988 y 2000 se notó tendencias poco beneficiosas respecto a la cobertura nivo-glaciar; la precipitación presenta una tendencia a decrecer; el caudal es, en ciertos casos, crecientes y en otros decrecientes, pero finalmente, sigue recibiendo aportes del nevado, aunque la información no es fiel debido a que las estaciones se ubican en cuencas que reciben aportes de otras subcuencas. La variación de la precipitación de las estaciones analizadas presenta en general una tendencia a decrecer, la humedad relativa es constante y la temperatura en todos los casos aumenta, este último factor, más la falta de lluvias, pueden haber influenciado a que el nevado no alcanzara a recuperar un área de cobertura nivo-glaciar similar a la que presentó en el año 1956.

6.4. GRÁFICOS

Figura 6.1 Esquema de la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas.



Fuente: Elaborado en base a información multimedia del IGM <http://www.igm.gov.ec/downloads/mapafisico.html> y resultados del trabajo aerofotogramétrico descrito en el Capítulo 5 del presente trabajo de investigación.

Figura 6.2 Comparación de los resultados aerofotogramétricos.

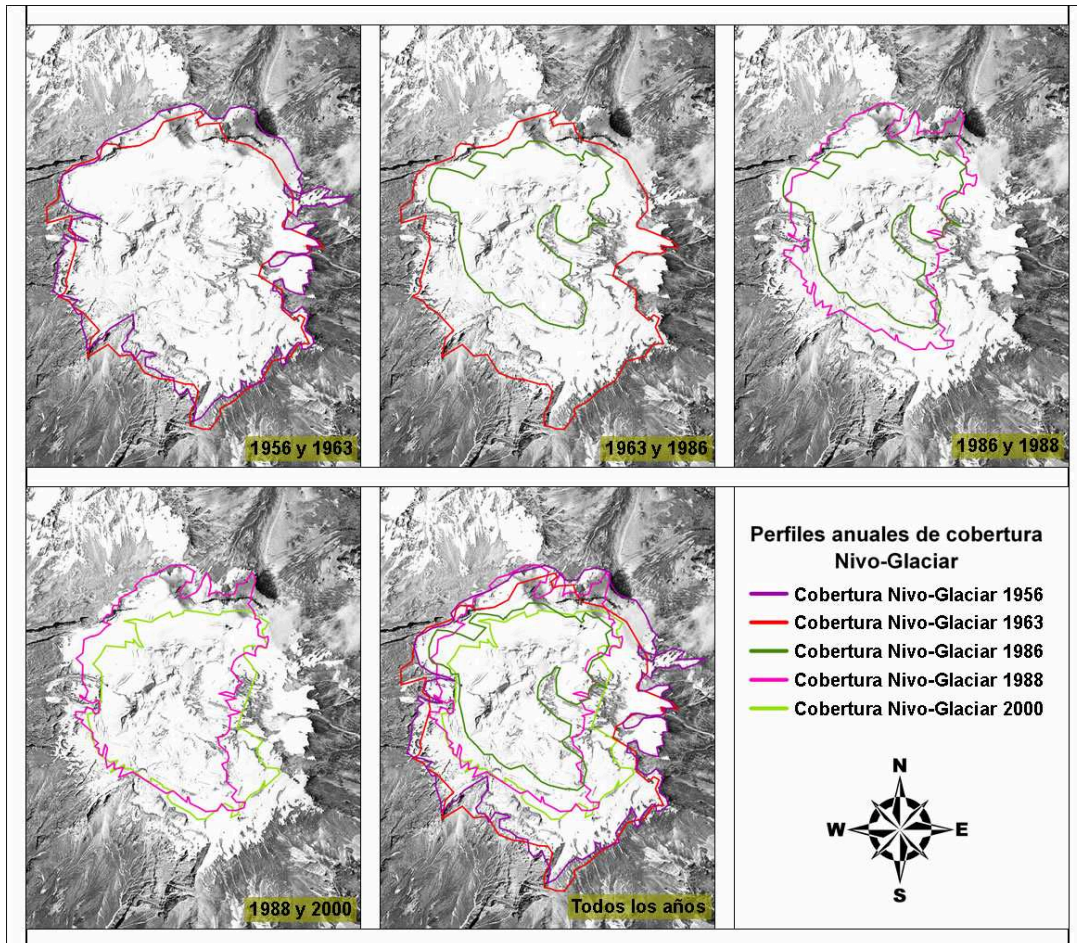
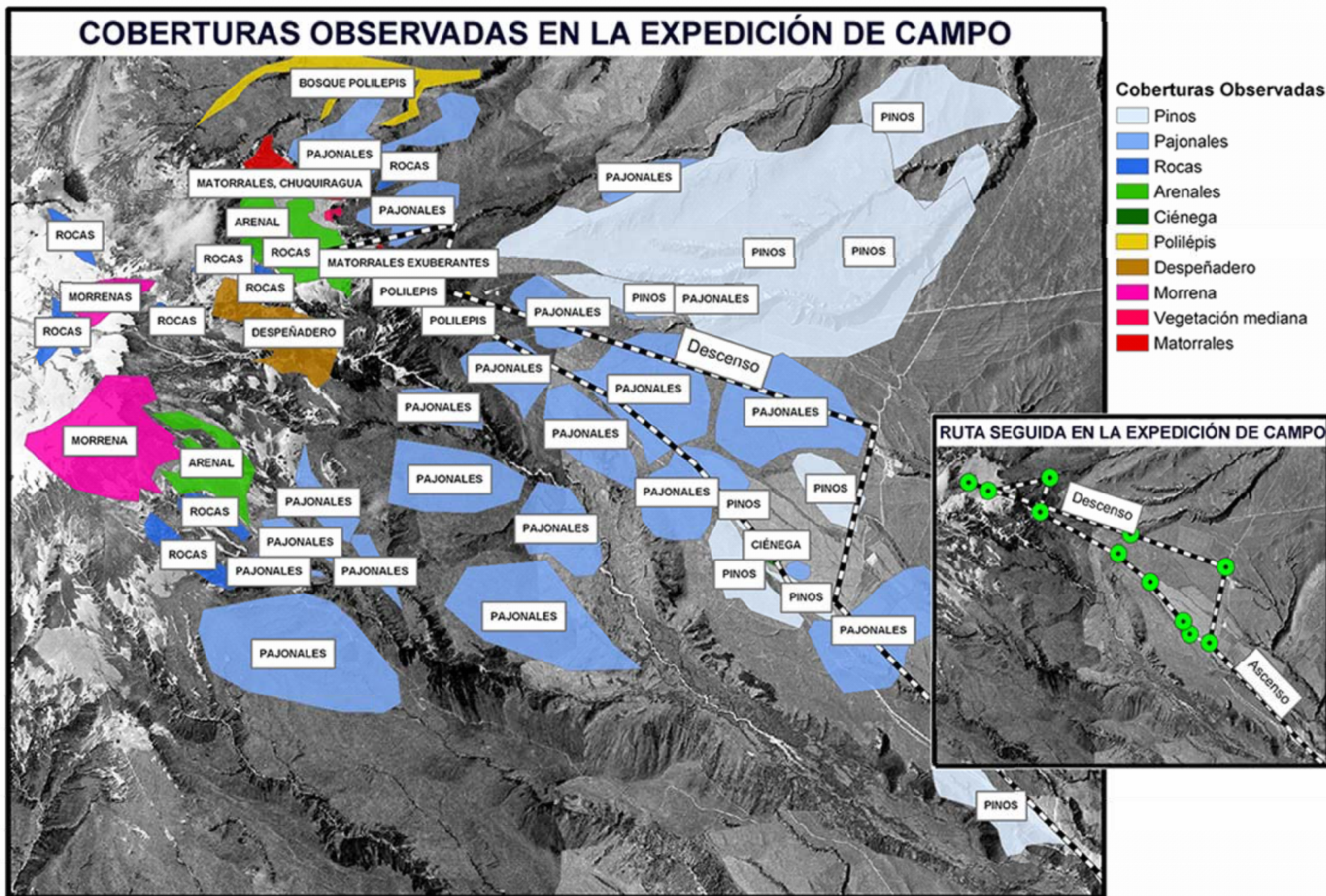


Figura 6.3. Comparación de los resultados aerofotogramétricos.



CAPÍTULO 7

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

7.1.1. Resultados de la observación de la tendencia de las estaciones aceptadas para el análisis desde 1970 hasta el año 2000.

Lo que se puede apreciar de acuerdo a la información de precipitación media mensual más cercana al glaciar, las estaciones m373rr, m371rr, m365rr y m064rr es que se mantienen constantes.

Mientras que la estación m363rr muestra un incremento en la precipitación y finalmente la estación m120rr presenta un decrecimiento.

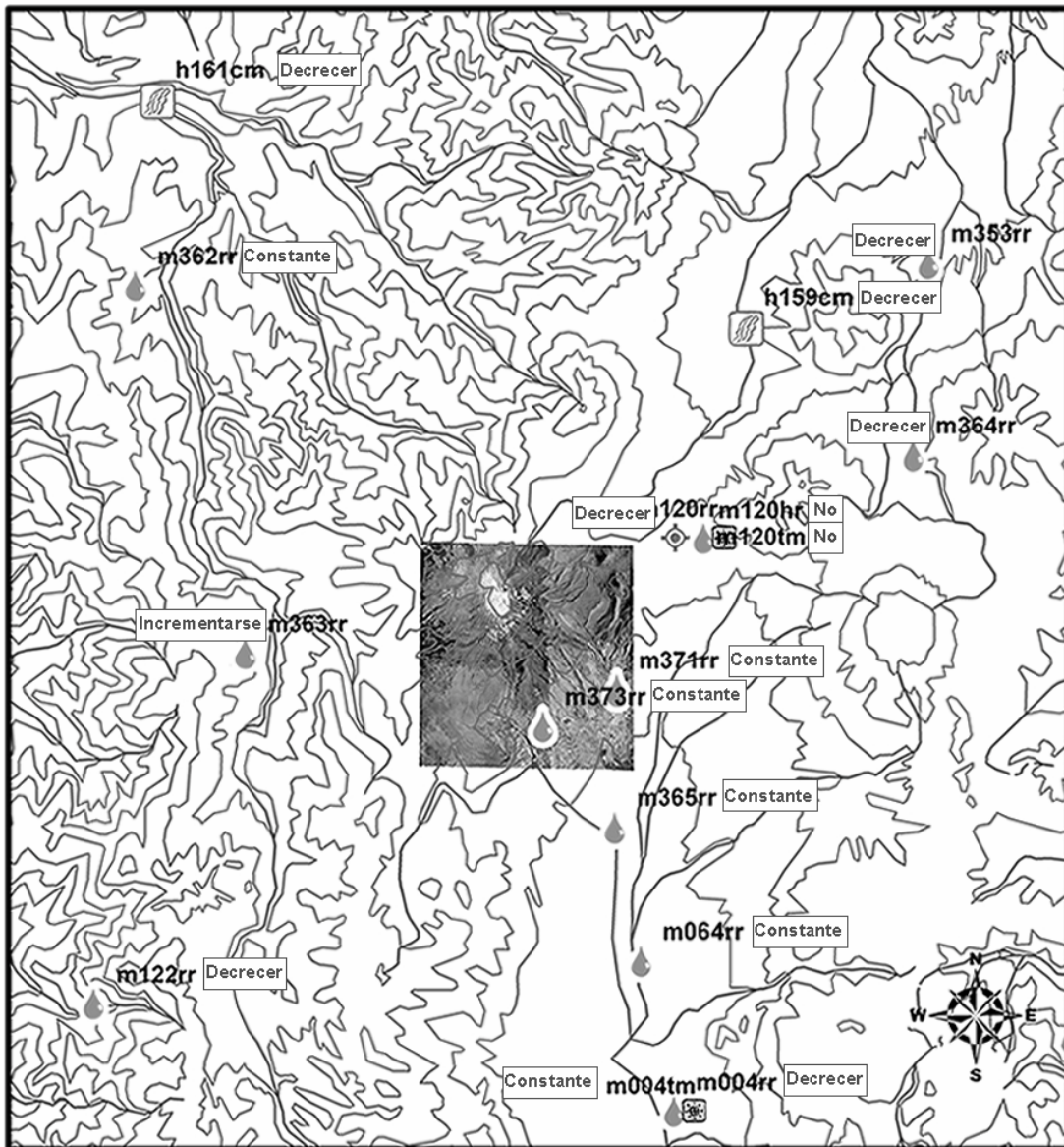
Las restantes estaciones, las más lejanas a la zona, m362rr, m122rr, m004rr, m353rr y m364rr muestran en general que decrecen con excepción de la m362rr que se mantiene constante.

Respecto a la temperatura media mensual, se puede observar que la estación m004tm permanece constante mientras que la estación m120tm no permite observar una tendencia debido a la falta de información, al igual que la estación m120hm, de humedad relativa, que tampoco permite apreciar tendencia alguna debido a la misma falencia.

Las estaciones hidrológicas h161cm y h159cm muestran claramente que sus caudales decrecieron en el período estudiado.

Lo detallado en los anteriores párrafos de la sección 7.1.1 se puede observar en la figura 7.1

Figura 7.1



7.1.2. Análisis de cada estación para los períodos requeridos, año 1986, 1988 y 2000. Es importante recalcar que los resultados obtenidos del análisis respecto a la tendencia de cada variable hidrológica así como las meteorológicas, pudo ser comparado con los resultados nivo-glaciares para los años 1986, 1988 y 2000 únicamente, dado que no fue posible obtener información desde 1956 lo que hubiera sido lo ideal. En general cabe señalar que la información

hidrometeorológica es muy dispersa, de mala calidad y en ciertos casos, no coincide con los años de las fotografías.

Una representación espacial de los resultados obtenidos para los años de 1986, 1988 y 2000 puede apreciarse en las figuras 7.2, 7.3 y 7.4 respectivamente.

Las tendencias que llevan un asterisco “*”, representan conclusiones que parten de la reconstrucción de los datos empleando en control de estacionalidad a causa de la falta de información para dichos períodos.

Tabla 7.1 Tendencias observadas en las estaciones hidrometeorológicas.

Código de la estación	Nombre de la estación	Noviembre de 1986	Diciembre de 1988	Noviembre de 2000
m120hr	Cotopaxi-Clirsen	Constante	Constante	Creciente
m120tm	Cotopaxi-Clirsen	Creciente	Creciente	Creciente
m120rr	Cotopaxi-Clirsen	Decreciente	Decreciente	Decreciente
M122rr	Pilaló	*Decreciente	*Decreciente	Decreciente
M362rr	Las Pampas	Creciente	Creciente	Creciente
M363rr	Sigchos	Creciente	Creciente	Creciente
M364rr	Loreto-Pedregal	Creciente	Creciente	Creciente
M365rr	Guaytacama	Decreciente	Creciente	*Decreciente
M371rr	Pastocalle	Decreciente	*Decreciente	Decreciente
M373rr	Toacazo	Decreciente	Creciente	Decreciente
H159cm	San Pedro en Machachi	Decreciente	Creciente	Decreciente
H161cm	Toachi AJ Pilatón	* Creciente	*Decreciente	Decreciente
M353rr	Rumipamba-Pichincha	Creciente	Creciente	* Creciente
M004rr	Rumipamba-Salcedo	Decreciente	Creciente	Decreciente
M004tm	Rumipamba-Salcedo	Creciente	Creciente	Creciente
M064rr	Latacunga-Aeropuerto	*Decreciente	*Decreciente	*Decreciente

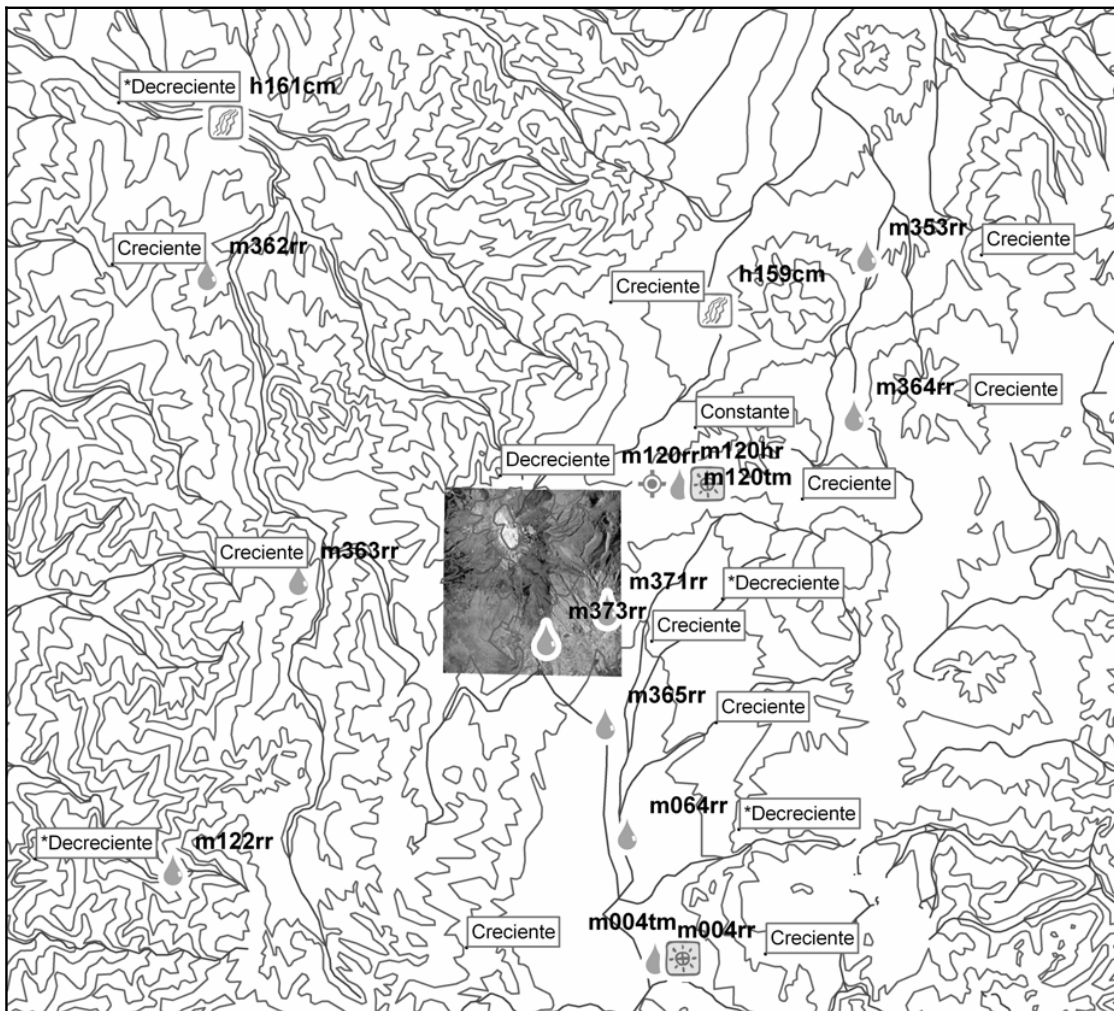
Figura 7.2 Tendencia de las estaciones para el año 1986.



Por lo que se puede ver en la figura 7.2, la precipitación en las estaciones más cercanas al nevado tuvieron tendencia a reducirse, ambas estaciones de temperatura media muestran un aumento en la temperatura cercana al nevado, y la humedad relativa en la estación m120hr muestra que fue constante.

Por otro lado, la estación h161cm muestra que recibió un aumento del caudal en el período de 1986 al contrario que la estación h159cm.

Figura 7.3 Tendencia de las estaciones para el año 1988.



La información hidrológica del año 1988 presentada en la figura 7.3, muestra que la mayoría de estaciones circundantes a la estación presentan una tendencia creciente, la humedad relativa mostró mantenerse constante en ese período, la temperatura media en ambas estaciones mostró aumentar en el período estudiado y los caudales crecieron en la estación h159cm contrariamente a lo sucedido en la estación h161cm.

Figura 7.4 Tendencia de las estaciones para el año 2000.



La tendencia general de la precipitación para el año 2000 fue decreciente, con excepción de lo sucedido en las estaciones ubicadas al oeste del nevado y las más alejadas al este como se puede ver en la figura 7.4. La temperatura mostró aumentar en este período al igual que la humedad relativa. Ambos caudales se redujeron en este período.

Conclusiones

Las estaciones m362rr y m363rr se mantuvieron crecientes en los tres períodos analizados, los caudales no parecen haber recibido mayor influencia del nevado en las épocas estudiadas, igualmente, las estaciones m353rr y m364rr se mantuvieron crecientes en los tres años. En todas las estaciones de temperatura,

se nota un aumento de la misma en los años estudiados. Se observó que la humedad relativa ha tenido la tendencia a crecer.

7.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN

7.2.1. Resultados de la fotointerpretación obtenidos para los mosaicos

7.2.1.1.1. 1956

En el mosaico correspondiente al año de 1956 existía una zona cubierta por nubes y su sombra proyectada sobre la superficie nivo-glaciar, en el caso de esa sombra el programa Paint Shop Pro 4.15 SE no lo reconoció con la misma radiometría y no lo seleccionó, por lo que en el momento de crear las marcas de las diferentes zonas se tomó en cuenta este detalle para dibujar el polígono nivo-glaciar sobre esa zona. En la sección 10.4.1 del Anexo se muestran los resultados de la aplicación de este procedimiento en la zona de importancia del mosaico correspondiente al año de 1956, y en la tabla 5.23 se muestran los resultados tabulados del valor de tolerancia empleada para cada cobertura, los valores radiométricos de los píxeles seleccionados y un porcentaje que representa el nivel de presencia del elemento principal de cada cobertura y su diferencia respecto a los datos constatados en campo.

Tabla 7.2 Valores preliminares de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1956.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete (A)	Porcentaje Campo (B)	Diferencia entre A y B
Nieve y glaciar	22	211-256	0.95	-	0.95
Morrena	25	96-155	0.80	-	0.80
Arenal	23	154-210	0.75	0.80	-0.05
Cobertura Veg. 1 (matorrales)	22	0-65	0.70	0.98	-0.18
Cobertura Veg. 2 (pajonales)	19	66-95	0.75	0.98	-0.18

Luego de haber identificado las diferentes zonas por su radiometría se procedió a crear las máscaras para cada cobertura. El resultado de este proceso es el mostrado en el numeral 10.4.1 (ver Anexo Digital) correspondiente a 1956.

En base a esta información se conformaron las máscaras correspondientes a las coberturas, esta información puede observarse en la sección 10.4.2 del Anexo.

Posteriormente, y en base a las observaciones de la expedición de campo, fue posible repetir el proceso anterior. Se analizó la radiometría cuyos resultados se muestran en la sección 10.4.1 del Anexo para los resultados definitivos de este año, y los valores de la tolerancia empleada mostrados en la tabla 7.3, se elaboraron las máscaras que se muestran en el numeral 10.4.2 de los Anexos correspondiente al proceso definitivo, con lo que se obtuvieron también los valores de porcentaje de cobertura glaciar para ese año, mostrados en la tabla 7.4 y en la figura 7.6.

Además se muestra el trabajo de obtención de coberturas de la zona restante que abarcaba el mosaico en la sección 10.4.3 de Anexo C (ver Anexo Digital).

Cabe mencionar, que se encontró la presencia de nubes, las que dificultaron la fotointerpretación de las zonas que estaban cubiertas por esta, lo que se solucionó observando las zonas aledañas y, de ser posible, considerando su similitud con los otros años.

En el caso muy particular de una de estas nubes, se pudo definir los límites de la cobertura nivo-glaciar que cubría con ayuda de la radiometría (ver figura 7.5).

Figura 7.5 a) Una zona del glaciar de 1956 cubierta por nubosidad, b) Definición de los límites de la zona aplicando el análisis radiométrico.

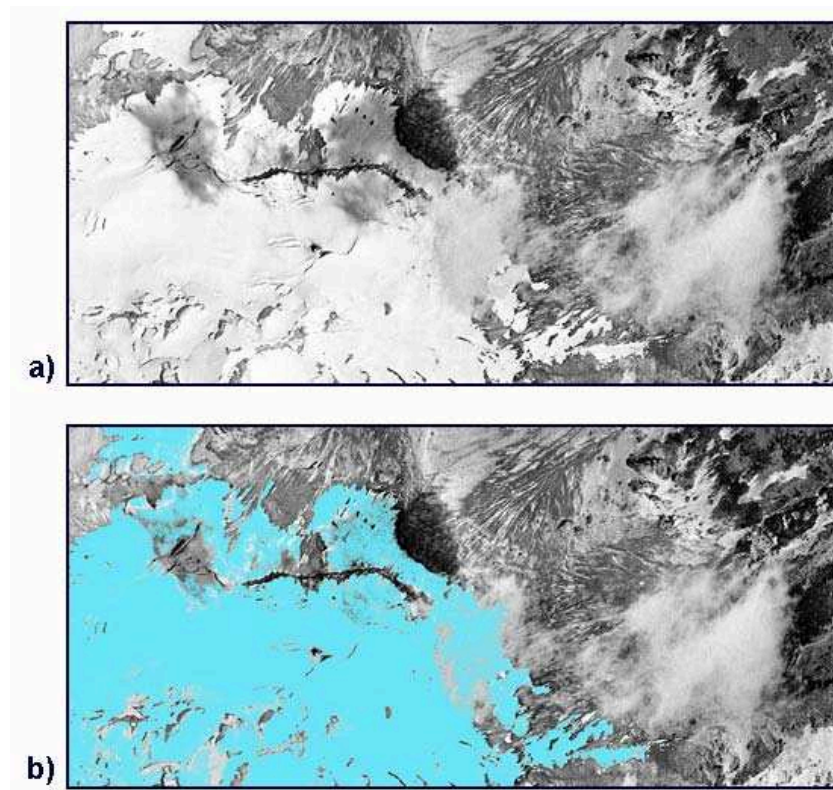


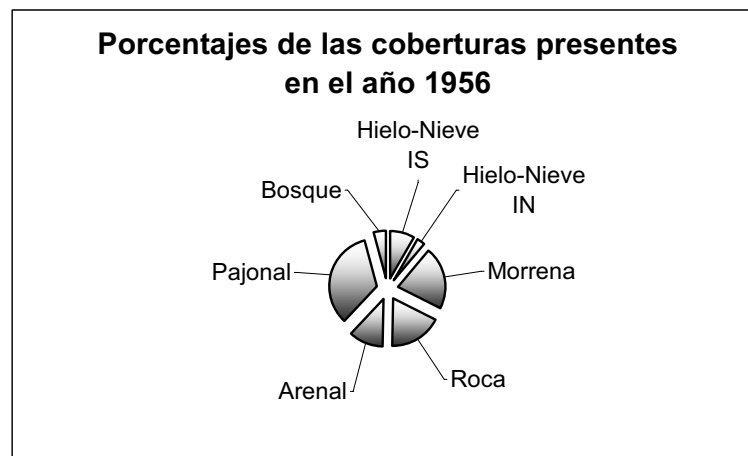
Tabla 7.3 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1956.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete (A)
Nieve y glaciar	13	101-255	0.95
Roca	20	0-167	-
Arenal	26	97-255	0.75
Morrena	22	7-246	0.8
Bosque	20	0-109	0.88
Pajonal	15	30-194	0.75

Tabla 7.4 Tabla de Coberturas para el año de 1956.

Cobertura	Área de cada cobertura	Área de la zona de interés	Porcentaje en la zona de interés
Hielo-Nieve Iliniza Sur	3222037	38714271	8,32
Hielo-Nieve Iliniza Norte	1109481	38714271	2,87
Morrena	8305090	38714271	21,45
Roca	6865652	38714271	17,73
Arenal	4517821	38714271	11,67
Pajonal	13154770	38714271	33,98
Bosque	1566438	38714271	4,05

Figura 7.6 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1956.



7.2.1.1.2. 1963

Los resultados obtenidos para el mosaico del año de 1963 no presentaron problemas siendo bastante clara para interpretarla, además dado que tonalidades de las imágenes son más bastante homogéneas fue necesario reducir los valores de la tolerancia. El resultado del análisis radiométrico preliminar fue el mostrado en la tabla 7.5, como producto de este se muestran además en el numeral 10.4.1

del Anexo correspondiente al proceso preliminar los resultados de la clasificación realizada para este mosaico.

Tabla 7.5 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 1963.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete	Porcentaje Campo (B)	Diferencia entre A y B
Nieve y glaciación	23	229-255	0.9	-	0.90
Morrena	13	113-197	0.85	-	0.85
Arenal	18	111-248	0.75	0.80	-0.05
Cobertura Veg. 1 (matorrales)	13	1-91	0.88	0.98	-0.10
Cobertura Veg. 2 (pajonales)	12	67-159	0.95	0.98	-0.03

Con estos resultados se elaboraron primeramente las máscaras preliminares para las coberturas, las que se muestran en la sección 10.4.2, posteriormente se realizó el nuevo análisis radiométrico en base a la observación de campo obteniéndose las nuevas zonas que son mostradas en la figura 10.4.1 y los valores de tolerancia definitivos que se muestran en la tabla 7.6, mas tarde se realizaron las máscaras definitivas para este mosaico obteniéndose los valores definitivos de coberturas mostrados en la tabla 7.7 adjunto a la figura 7.7 que permite visualizar dicha información. Los resultados de las máscaras realizadas para este año se muestran en la sección 10.4.2 junto con la máscara realizada para toda la zona que abarcaba el mosaico, ésta última en la sección 10.4.3 del Anexo C (ver Anexo Digital).

A causa de la presencia de una nube, la interpretación de la zona cubierta por esta última se realizó por asociación con las zonas aledañas y con los otros mosaicos.

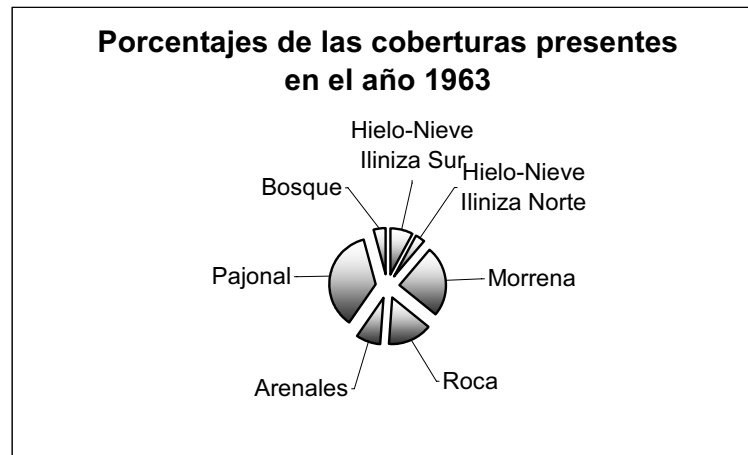
Tabla 7.6 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1963.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete (A)
Nieve y glaciar	10	135-255	0.80
Roca	15	0-200	0.75
Arenal	15	59-255	0.85
Morrena	17	54-241	0.50
Bosque	17	0-23	0.60
Pajonal	15	0-192	0.94

Tabla 7.7 Tabla de Coberturas para el año de 1963.

Cobertura	Área de cada cobertura	Área de la zona de interés	Porcentaje en la zona de interés
Hielo-Nieve Iliniza Sur	2997351	38714271	7,74
Hielo-Nieve Iliniza Norte	1295101	38714271	3,35
Morrena	9651016	38714271	24,93
Roca	5951337	38714271	15,37
Arenales	3282259	38714271	8,48
Pajonal	14070080	38714271	36,34
Bosque	1587481	38714271	4,10

Figura 7.7 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.



7.2.1.1.3. 1986

Los resultados del análisis radiométrico preliminar para la zona de interés de 1986 fueron los mostrados en la tabla 7.8 que muestran la heterogeneidad de las diferentes coberturas además de la zonificación mostrada en la referencia 10.4.1. Con estos resultados y la fotointerpretación se elaboraron las máscaras para cada zona, que se muestran en el numeral 10.4.2.

Tabla 7.8 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 1986.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete	Porcentaje Campo (B)	Diferencia entre A y B
Nieve y glaciar	20	218-255	0.93	-	0.93
Morrena	17	42-236	0.88	-	0.88
Arenal	17	85-249	0.63	0.80	-0.17
Cobertura Veg. 1 (matorrales)	15	8-107	0.95	0.98	-0.03
Cobertura Veg. 2 (pajonales)	13	44-154	0.84	0.98	-0.14

Luego de este proceso, se realizaron las correcciones tanto en el análisis radiométrico como en la elaboración de las máscaras definitivas que se muestra en las secciones 10.4.1 y 10.4.2 respectivamente, obteniendo la tabla de valores de las nuevas tolerancias, rangos de gris y porcentajes mostrado en la tabla 7.9 y las máscaras mostradas en la sección 10.4.4, junto con los valores corregidos de sus áreas y sus porcentajes respecto a la zona de importancia.

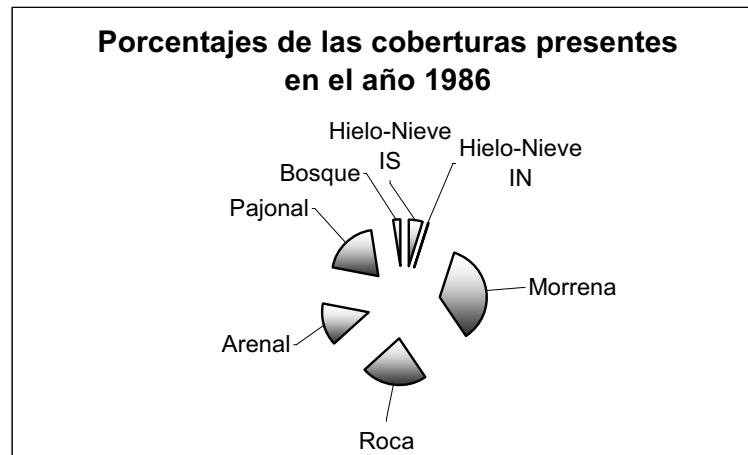
Tabla 7.9 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1986.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete (A)
Nieve y glaciar	10	135-255	0.95
Roca	12	0-200	0.77
Arenal	14	104-255	0.90
Morrena	14	2-242	0.73
Bosque	16	1-93	0.97
Pajonal	14	15-197	0.70

Tabla 7.10 Tabla de Coberturas para el año de 1986.

Cobertura	Área de cada cobertura	Área de la zona de interés	Porcentaje en la zona de interés
Hielo-Nieve Iliniza Sur	1031471	38714271	2,66
Hielo-Nieve Iliniza Norte	13843	38714271	0,04
Morrena	7600076	38714271	19,63
Roca	4847712	38714271	12,52
Arenal	3113788	38714271	8,04
Pajonal	4160757	38714271	10,75
Bosque	531045	38714271	1,37

Figura 7.8 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.



7.2.1.1.4. 1988

Al llevar a cabo el proceso de radiometría respecto a la zona de interés del mosaico de 1988, se observó que la información era bastante uniforme ya que esta zona se encontraba en una misma ortofoto por lo que los valores de tolerancia fueron los que se muestran en la tabla 7.11, como se puede observar los tonos de gris correspondientes a la cobertura nivo-glaciár se encuentran también contenidos en la arenosa, con esta información se crearon las máscaras que se muestran en la sección 10.4.2 a partir del trabajo de zonificación por medio de la radiometría mostrado en el numeral 10.4.1.

Tabla 7.11 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 1988.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete	Porcentaje Campo (B)	Diferencia entre A y B
Nieve y glaciár	18	224-255	0.88	-	0.88
Morrena	18	41-215	0.93	-	0.93
Arenal	15	86-255	0.85	0.80	0.05
Cobertura Veg. 1 (matorrales)	16	0-109	0.85	0.98	0.13
Cobertura Veg. 2 (pajonales)	13	19-151	0.92	0.98	-0.06

Posteriormente, se llevó a cabo un nuevo análisis de radiometría para las coberturas definitivas cuyos resultados son mostrados en la tabla 7.12, además de estos, se obtuvieron los datos de porcentajes relativos de las coberturas a la zona e interés que se muestra en la tabla 7.13 además del gráfico explicativo de la información contenida en esta (ver figura 7.9).

Los resultados de las máscaras preparadas para la fase definitiva del mosaico se muestran en la referencia 10.4.2 para la zona de interés y en la sección 10.4.3 del Anexo C para el mosaico completo, y los resultados de la zonificación definitiva se muestra en el numeral 10.4.1.

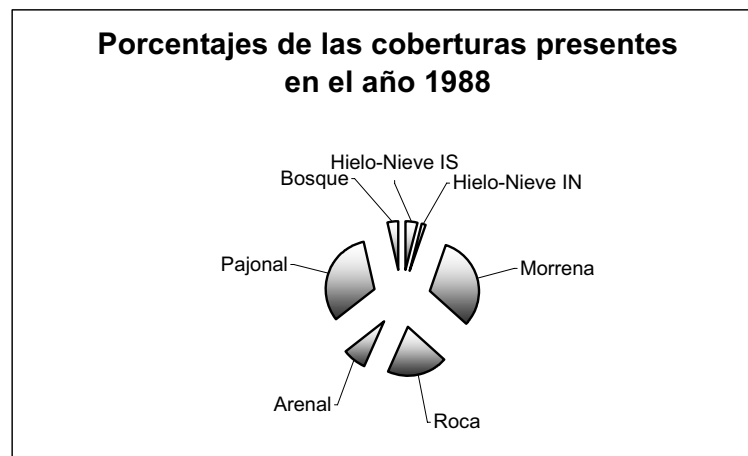
Tabla 7.12 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 1988.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete (A)
Nieve y glaciar	10	239-255	0.85
Roca	16	0-237	0.80
Arenal	16	88-255	0.55
Morrena	13	27-232	0.63
Bosque	18	0-141	0.95
Pajonal	13	33-195	0.90

Tabla 7.13 Tabla de Coberturas para el año de 1988.

Cobertura	Área de cada cobertura	Área de la zona de interés	Porcentaje en la zona de interés
Hielo-Nieve Iliniza Sur	1530425	38714271	3,95
Hielo-Nieve Iliniza Norte	562322	38714271	1,45
Morrena	12165026	38714271	31,42
Roca	7648064	38714271	19,76
Arenal	3039014	38714271	7,85
Pajonal	12385303	38714271	31,99
Bosque	1410307	38714271	3,64

Figura 7.9 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.



7.2.1.1.5. 2000

En el caso de este año los resultados del análisis de radiometría se muestran en la tabla 7.14, además de las diferentes zonificaciones preliminares para este año en la figura 10.4.1.

Tabla 7.14 Mediciones de Porcentaje de Coberturas en la zona estudiada para el año 2000.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete	Porcentaje Campo (B)	Diferencia entre A y B
Nieve y glaciár	14	208-235	0.70	-	0.70
Morrena	20	12-235	0.80	-	0.80
Arenal	16	57-235	0.86	0.80	0.06
Cobertura Veg. 1 (matorrales)	14	12-82	0.90	0.98	-0.08
Cobertura Veg. 2 (pajonales)	14	25-143	0.75	0.98	-0.23

A continuación de este proceso se realizó el análisis radiométrico definitivo cuyos resultados se muestran en la tabla 7.15 y en la sección 10.4.1 donde se muestran los resultados de los procesos de zonificación definitivos.

En este paso se debió tomar en cuenta la pérdida de información que sufrió este mosaico a causa de los problemas surgidos desde la ortorectificación de las aerofotografías hasta la conformación del mosaico, un ejemplo de este problema se muestra en la figura 7.11, en la cual, para el caso a) la zona mostrada no presenta los tonos verdaderos de los píxeles sino que los ha reemplazado con tono negro, mientras que en el caso b) la zona mostrada sufrió un problema similar pero reemplazando los tonos de los píxeles por color blanco; otro problema por señalar es que en el mosaico de este año se presentó una zona oscura (ver figura 7.12) producida por la presencia de una nube y cuya cobertura fue interpretada en base a la información de los anteriores años, a causa de los inconvenientes antes mencionados la fotointerpretación de este año presentó varias dificultades, para lo que se recurrió básicamente a la consideración de características del terreno como, asociación (encontrando superficies con similares características en otras zonas más claras del mosaico), ubicación (al haber ubicado y encontrado similitudes entre ciertas coberturas en años anteriores y el mosaico del año 2000 para determinadas zonas), texturas (en los casos de bosques, pajonales, arenales) y en ciertos casos patrones (en el caso de las zonas rocosas y boscosas).

Finalmente, se realizaron también las máscaras correspondientes a las coberturas definitivas mostradas en la sección 10.4.2.

Los valores de las áreas obtenidas para éste mosaico se muestran tanto en la tabla 7.16 como en la figura 7.10.

Tabla 7.15 Valores definitivos de tolerancias, rangos de gris y porcentajes de las coberturas encontradas en la zona estudiada para el año 2000.

Tipo de Cobertura	Tolerancia	Tonos de gris	Porcentaje Gabinete (A)
Nieve y glaciar	10	180-255	0.98
Roca	18	1-255	0.70
Arenal	13	50-255	0.80
Morrena	17	32-250	0.83
Bosque	16	0-152	0.80
Pajonal	15	10-217	0.85

Tabla 7.16 Tabla de Coberturas para el año de 2000.

Cobertura	Área de cada cobertura	Área de la zona de interés	Porcentaje en la zona de interés
Hielo-Nieve Iliniza Sur	1909819	38714271	4,93
Hielo-Nieve Iliniza Norte	211400	38714271	0,55
Morrena	11149042	38714271	28,80
Roca	6991517	38714271	18,06
Arenal	4109564	38714271	10,62
Pajonal	12206316	38714271	31,53
Bosque	2121354	38714271	5,48

Figura 7.10 Porcentajes obtenidos para las áreas de cobertura comprendidas en el área de estudio definitiva para el año de 1963.

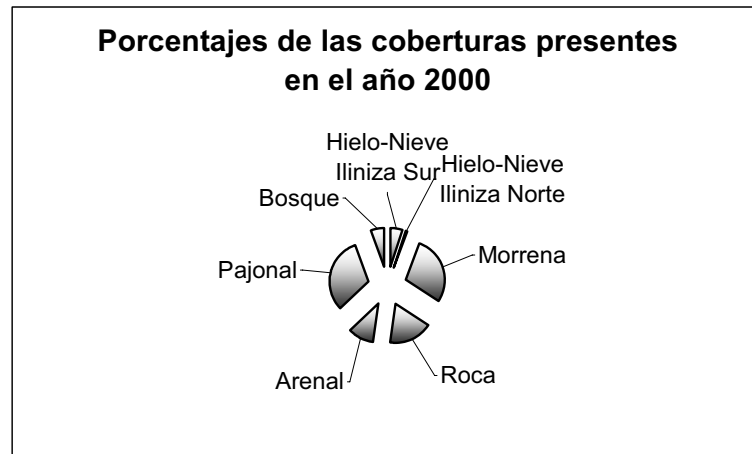


Figura 7.11 Pérdida de información del mosaico del año 2000.

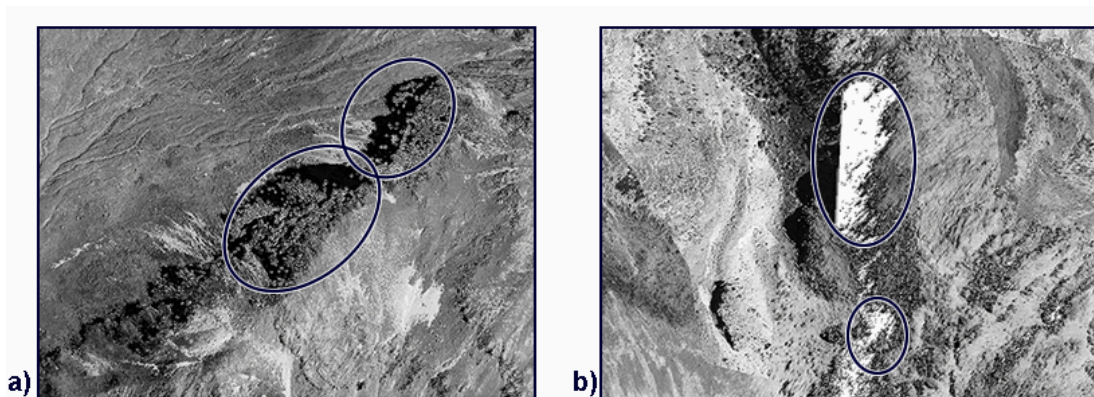
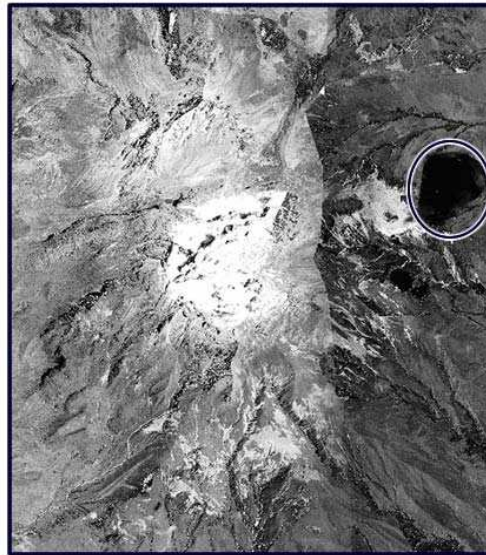


Figura 7.12 Extensa sombra producida por nubosidad.



7.2.1.2. Conclusiones acerca de la fotointerpretación

Al observar las diferentes coberturas se pudo conocer su composición, es decir, al observarlas se puede advertir la presencia de elementos ajenos a la tendencia principal de una cobertura, por este motivo se determinó heterogeneidad de las coberturas definiendo los porcentajes tabulados en las tablas 7.2, 7.5, 7.8, 7.11, 7.14.

Dado que en la naturaleza, estas no se presentan sino combinadas, se observó el grado en que existía influencia de otras coberturas dentro de determinada cobertura. Este fue el criterio tomado para definir el porcentaje en gabinete tabulado en las tablas mencionadas en el anterior párrafo.

Finalmente, se observó que los rangos de gris no son exclusivos para cada cobertura, de modo que, resultados mas precisos se logró combinando la radiometría con la fotointerpretación.

7.2.1.2.1. Cobertura Nivo-Glacial

Esta cobertura no presenta mayor dificultad, tanto en el caso de fotointerpretarla como al analizar su radiometría, además, por su naturaleza permite diferenciarla de las morrenas por el claro límite que presenta con éstas. Desde el punto de vista de la fotointerpretación se pudo observar que esta cobertura es la más homogénea de entre todas las estudiadas en este trabajo de investigación. En la figura 7.13 a) puede observarse un ejemplo de la diferencia entre la morrena y la zona nivo-glacial.

Los rangos de radiometría mostrados por los varios mosaicos para esta cobertura se presentan en la referencia 10.4.5 del Anexo C.

7.2.1.2.2. Cobertura Rocosa

Esta es una cobertura que por su radiometría, en la que predominaron las tonalidades oscuras (refiérase a las tablas de la sección 10.4.5.2), se diferenció fácilmente de las más cercanas como la arenosa, pero sin presentar claros límites entremezclándose con arenales y morrenas, por esta razón es una cobertura que no fue considerada antes de realizar la expedición, pues no fue identificada en la fase preliminar. Adicionalmente, se encontró una coincidencia con las tonalidades presentadas por la cobertura de bosques en especial en zonas de quebradas (ver figura de la sección 10.4.5.2 de Anexos radiometría anual), donde las sombras proyectadas por la ubicación del sol al momento de la toma de las fotografías dificultaban la diferenciación entre ambas coberturas y la observación de texturas. En la figura 7.13 b) se aprecia una imagen que engloba la cobertura arenosa, coberturas vegetales y la cobertura rocosa que se encuentra en la zona de la quebrada aledaña a la zona arenosa y otro en medio de los pajonales, en la parte superior derecha y de forma alargada, que por su ubicación y tonalidad podría interpretarse como zona de bosque pero que es en realidad otro cúmulo rocoso común en la zona.

7.2.1.2.3. Cobertura de Arenales

En general se observó que esta capa presenta una considerable presencia de componentes rocosos. Esta capa además presentó tonalidades mas claras de entre las otras con excepción de la nivo glaciar. En general presentó una textura bastante uniforme que junto a su tonalidad fueron la clave para su identificación. Una comparación anual de los valores encontrados para esta cobertura se muestra en la sección 10.4.5.1 del Anexo C. Un ejemplo se puede observar en la figura 7.13 en los casos b) y d).

7.2.1.2.4. Cobertura de Morrena

Las zonas de morrenas son coberturas que presentaron un considerable porcentaje de arena y de rocas como en el caso mostrado en la figura 7.13 caso b), lo que dificultó su interpretación en las zonas aledañas a estas coberturas. Básicamente, su interpretación se realizó siguiendo los límites del glaciar, observándola especialmente en zonas oscuras (ver figura 7.13 caso a)) encontradas entre la zona nivo-glaciar y las zonas arenosas.

- Se concluyó la necesidad de una expedición de campo que hubiera permitido la observación directa de esta zona para poder diferenciarla fácilmente de la arenosa y rocosa. Se recomienda en trabajos de este tipo tratar de realizar expediciones que permitan observar de cerca todas las coberturas.

7.2.1.2.5. Cobertura de Pajonales

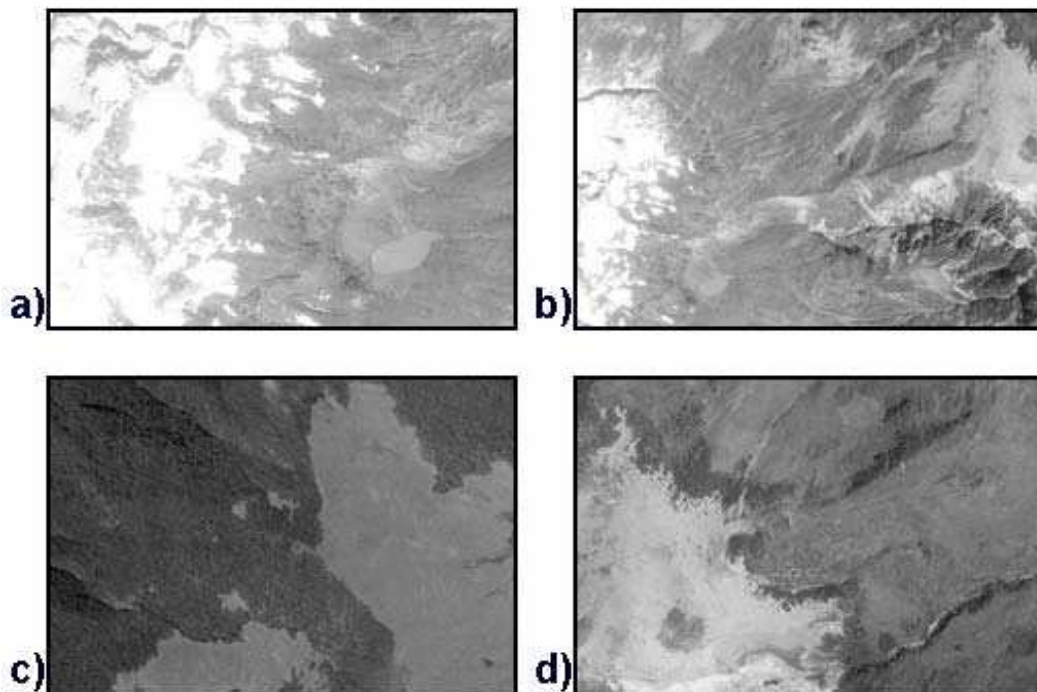
Esta es una cobertura que presenta una radiometría más clara que la boscosa por lo que no se encontró problemas al definirla, encontrándola claramente limitada por bosques, matorrales, zonas rocosas y arenosas como puede observarse en la figura 7.13 caso c) y d), adicionalmente se pudo observar que se diferencia de otras coberturas por su textura más homogénea.

7.2.1.2.6. Cobertura de Bosques

Esta es una cobertura que presentó una de las tonalidades más oscuras como en la figura 7.13 caso c), por lo que presentó problemas al diferenciarla únicamente entre los límites entre ésta y las zonas rocosas, el porcentaje observado al definir las máscaras correspondientes fue alto debido a que sus componentes por lo general se encontraban concentrados en sectores definidos. Una clave para la determinación de esta cobertura fue la presencia de patrones que facilitaban su lectura, proceder a ubicar zonas de cobertura vegetal, y en los casos de pérdida de información (Caso del año 2000), la asociación con zonas boscosas aledañas a esta, sean en el mismo mosaico o en los anteriores.

Es importante mencionar que para facilitar la interpretación en ciertos casos fue necesario asociar un mosaico con otro, en los casos de pérdida de información (sea por el procesamiento o presencia de nubes y sus sombras), o en los casos de que esta información se encontrara en las esquinas de las fotografías (año 1963) en el que las esquinas presentan una tonalidad tan oscura que dificultan la interpretación de las coberturas existentes en ellas.

Figura 7.13



7.2.2. Comparación de las diferentes áreas obtenidas para las zonas de importancia de los mosaicos obtenidos para los años 1956, 1963, 1986, 1988 y 2000.

Los resultados obtenidos del área del nevado Iliniza Sur para los años estudiados en este trabajo son mostrados en las tablas 7.17, 7.18, 7.19, 7.20, 7.21 y 7.22, 7.23.

Las observaciones respecto a las áreas de cobertura se llevaron a cabo considerando la zona de interés definida en la sección 5.6.1, de modo que éstos valores sea susceptibles de comparación, los resultado sin embargo presentan la comparación de los años 1956, 1963, 1988, y 2000, a causa de que el año de 1986 no cubría la zona de interés definida anteriormente. La excepción a las líneas anteriores, fue la zona nivo-glaciar correspondiente al Iliniza Sur, dado que, en el mosaico de 1986 ésta área no fue afectada por la falta de información.

Como resultado se pudo observar, en la cobertura nivo-glaciar, una tendencia a decrecer desde el año 1956 hasta 1986, sin embargo se observó en los años consiguientes que el área nivo-glaciar del Iliniza Sur incrementó un 47 % del área inicial de 1956 y finalmente, en el año 2000 se incrementó en un 59 %, como se puede observar en la tabla 7.17.

Tabla 7.17 Evolución de área nivo-glaciar del Iliniza Sur.

Año	Área (Hec)	Porcentaje
1956	322,20	100,000
1963	299,74	93,027
1986	103,15	32,013
1988	153,04	47,499
2000	190,98	59,274

Figura 7.14 Evolución de área nivo-glaciario del Iliniza Sur (Porcentaje).

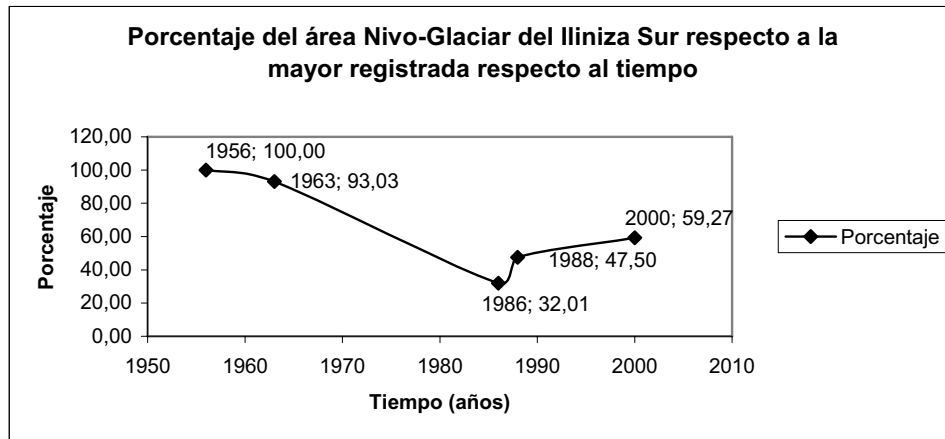
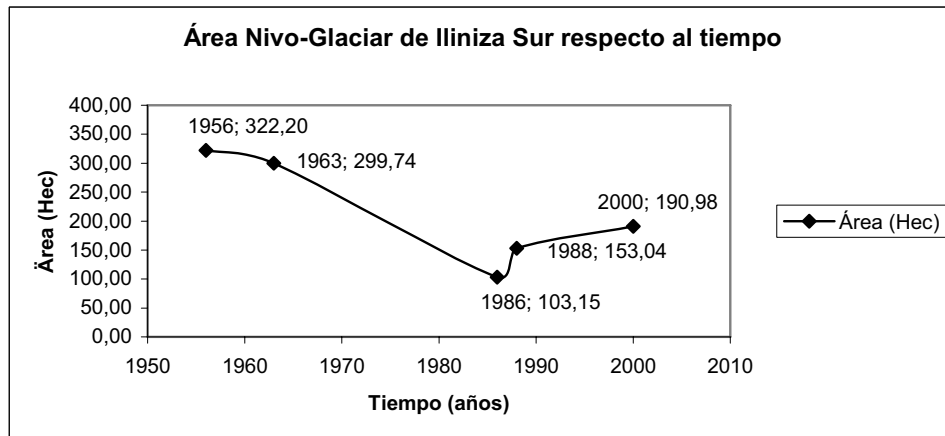


Figura 7.15 Evolución de área nivo-glaciario del Iliniza Sur (Área).

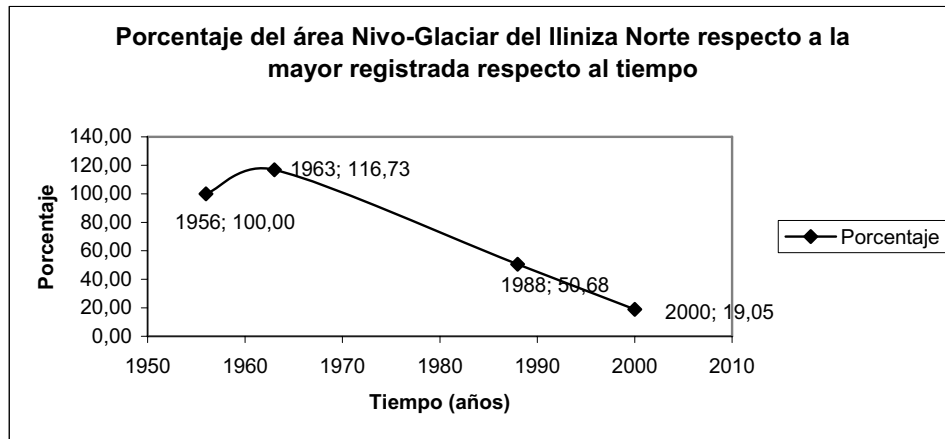


Para la cobertura nivo-glaciario del Iliniza Norte, se observó que la cobertura tiende en general a decrecer, como se puede observar en la figura 7.16 y en la tabla 7.18.

Tabla 7.18 Evolución de área nivo-glaciario del Iliniza Norte.

Año	Área (Hec)	Porcentaje
1956	110,95	100,000
1963	129,51	116,730
1988	56,23	50,683
2000	21,14	19,054

Figura 7.16 Evolución de área nivo-glaciar del Iliniza Norte.

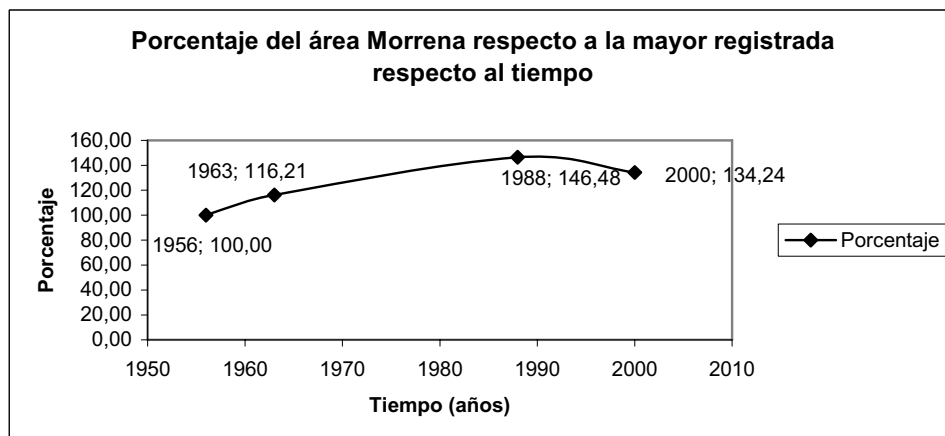


En el caso de la cobertura de Morrenas se observó un leve incremento de la cobertura, esto se observa en la tabla 7.19 o en la figura 7.17.

Tabla 7.19 Evolución de Morrenas.

Año	Área (Hec)	Porcentaje
1956	830,51	100,000
1963	965,10	116,206
1988	1216,50	146,477
2000	1114,90	134,243

Figura 7.17 Evolución de Morrenas.

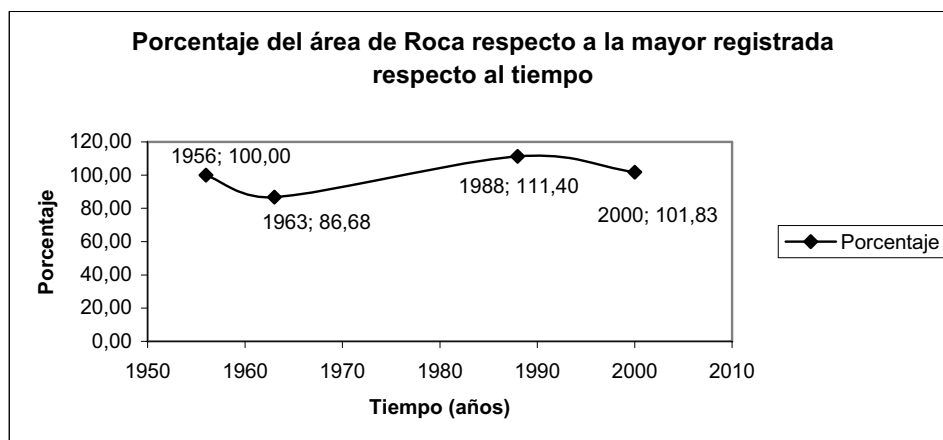


En el caso de la cobertura rocosa, no se observó una variación mayormente entre los años analizados (Ver tabla 7.20 y figura 7.18).

Tabla 7.20 Evolución de Zonas rocosas.

Año	Área (Hec)	Porcentaje
1956	686,57	100,000
1963	595,13	86,683
1988	764,81	111,396
2000	699,15	101,833

Figura 7.18 Evolución de Zonas rocosas.

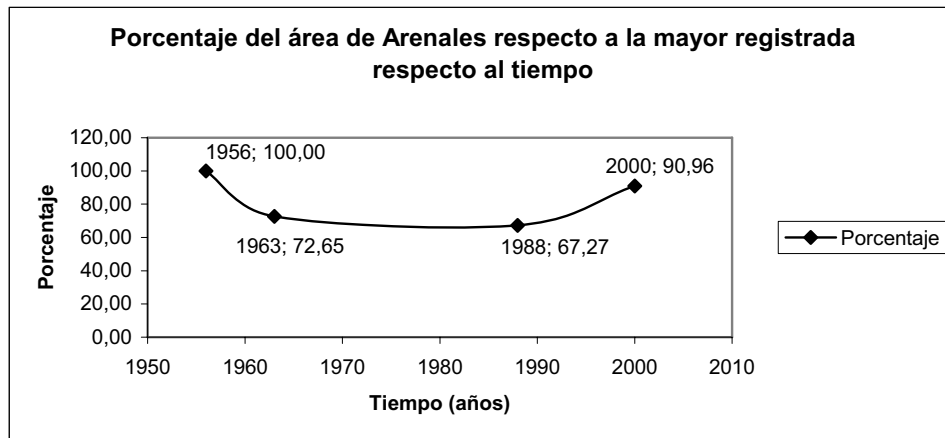


En el caso de los arenales, no se observó una variación considerable respecto a los años analizados tal como se puede observar en la tabla 7.21 y en la figura 7.19.

Tabla 7.21 Evolución de Arenaes.

Año	Área (Hec)	Porcentaje
1956	451,78	100,000
1963	328,23	72,651
1988	303,90	67,267
2000	410,96	90,963

Figura 7.19 Evolución de Arenales.

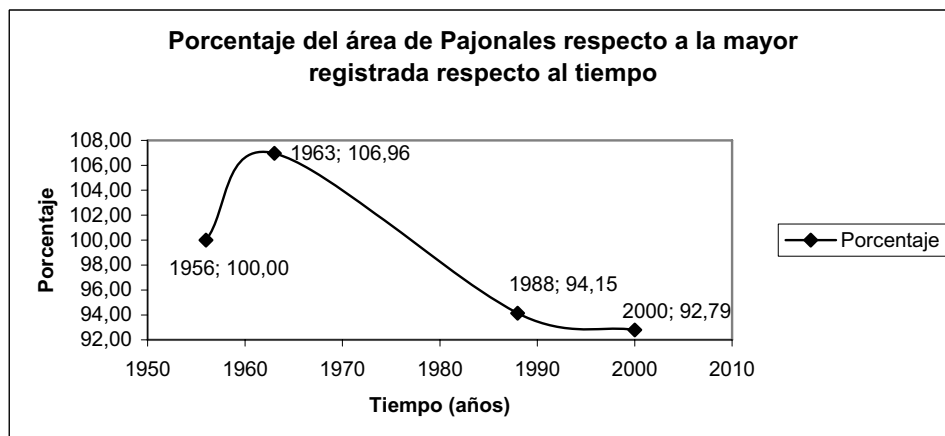


La cobertura correspondiente a pajonales muestra una reducción de alrededor del 10 % respecto a los años analizado, como se puede observar en la tabla 7.22 y en la figura 7.20.

Tabla 7.22 Evolución de Pajonales.

Año	Área (Hec)	Porcentaje
1956	1315,48	100,000
1963	1407,01	106,958
1988	1238,53	94,151
2000	1220,63	92,790

Figura 7.20 Evolución de Pajonales.

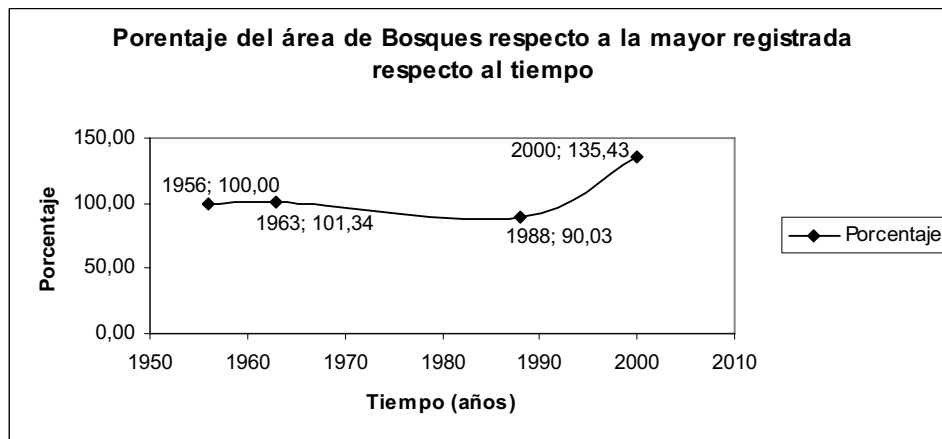


Respecto a los resultados para la cobertura de bosques, se notó un incremento del 35 % en los últimos 12 años hasta el 2000, esto puede observarse en la tabla 7.23 o en la figura 7.21.

Tabla 7.23 Evolución de Bosques.

Año	Área (Hec)	Porcentaje
1956	156,64	100,000
1963	158,75	101,343
1988	141,03	90,033
2000	212,14	135,425

Figura 7.21 Evolución de Bosques.



CAPÍTULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

Se concluye que el nevado Iliniza Sur perdió cobertura nivo-glaciar en el período comprendido entre los años de 1956 a 2000 en un 41%; debiendo indicarse que hasta el año 1986 la pérdida de cobertura fue del 68% respecto a la cobertura de 1956 (que es el área tomada como mayor dentro de los registros investigados). Así mismo, se determinó que hasta el año 2000 la cobertura nivo-glaciar se recuperó en un 27% con respecto a 1956. Estos datos concuerdan con las investigaciones mencionadas en el Primer Capítulo.

Hidrometeorológicamente, se observó que la actividad de las variables no fue beneficiosa en la evolución de la cobertura nivo-glaciar, pues mientras se presentó un incremento de la temperatura en los años estudiados, las precipitaciones no compensaron estos cambios, ya que en su mayoría, si no se mantuvieron constantes, tendieron a decrecer. A esto se suma que la humedad relativa registrada cerca del nevado se mantuvo constante tanto para 1986 como para 1988, y únicamente en el 2000 mostró incrementarse.

La información hidrológica por su parte, muestra tendencias dispares para las dos estaciones hidrológicas cercanas al nevado, tanto para 1986 como para 1988; mientras que para el año 2000 ambas muestran una marcada tendencia decreciente. Debe resaltarse que por su ubicación, dichas estaciones reciben también el escurrimiento de otras cuencas cercanas y no únicamente se alimentan de los deshielos del nevado, lo cual reduce la confiabilidad de estos datos al momento de realizar cualquier análisis.

El empleo de un SRTM, que contenía información digitalizada y corregida del terreno en estudio, fue la mejor opción para generar las ortofotografías ya que el sector presentaba grandes irregularidades, particularmente en la zona cubierta por nieve y glaciares, que resultó ser muy escarpada y de difícil acceso.

Para obtener resultados más concluyentes respecto al comportamiento de la cobertura nivo-glaciar, es necesario incrementar la información aerofotogramétrica, para tener así una idea más exacta de la evolución del glaciar. Igualmente, respecto a la hidrometeorología, es necesario tener a disposición información de mejor calidad, que permita obtener detalles confiables de los parámetros.

Debe mencionarse que habría sido óptimo contar con mayor cantidad de aerofotografías correspondientes a años intermedios y más recientes, para ampliar la interpretación del comportamiento del glaciar. En cuanto a lo hidrometeorológico, habría sido ideal contar con información más antigua, completa y de mejor calidad, para poder así realizar interpretaciones más exactas, pues para el caso particular del Iliniza Sur, hubiera resultado muy conveniente contar con una estación en el nevado que aportara información específica sobre los escurrimientos del glaciar en cuestión, precipitaciones, humedades relativas y temperaturas.

En cuanto a la metodología empleada, se debe decir que esta demostró ser eficaz y confiable para este estudio, ya que al realizar la comparación de las coberturas definidas en oficina con las observaciones de la expedición de campo, se encontró bastante similitud con las coberturas reales.

Finalmente, debe indicarse que el apoyo de las instituciones implicadas en la investigación es crucial, tanto el de la Escuela

Politécnica Nacional, como el de instituciones patrocinadoras, pues trabajos de este tipo impactan positivamente a la sociedad, pero a la vez requieren de un fuerte apoyo logístico y económico, que usualmente no puede ser cubierto por estudiantes.

8.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo un nuevo trabajo de investigación con el propósito de analizar de modo más profundo la información hidrometeorológica de las zonas cercanas al Iliniza Sur, con el fin de comprender de manera más precisa el fenómeno que produce el comportamiento observado en la zona nivo-glaciar de este nevado.

En general, se recomienda continuar con las investigaciones en los glaciares de la región, dada la importancia de conocer y comprender los procesos derivados de fenómenos climáticos, tales como la pequeña era de hielo o los efectos invernadero y sobrecalentamiento global, que afectan a las reservas de agua glaciar, sea para consumo humano, riego, generación eléctrica y demás.

Para estudios similares se recomienda la corrección de los DTM's generados, o si es factible, el uso de información digital de terreno como el SRTM utilizado en este trabajo y que es proveído por la NASA.

A las entidades directamente involucradas en la instalación, mantenimiento y recolección de información de las estaciones hidrometeorológicas se recomienda mayor minuciosidad en el registro y seguimiento de los datos arrojados por dichas estaciones. Esto será fundamental para la realización de futuras investigaciones. Serían apreciables iniciativas que busquen incrementar el número de

estaciones hidrometeorológicas para la obtención de datos de buena calidad y confiables.

En estudios de este tipo, es recomendable el empleo de una metodología similar a la aquí probada, pues aún considerando los adelantos tecnológicos, es indispensable llevar a cabo una o dos expediciones de campo que permitan reconocer el terreno y verificar la información obtenida en gabinete; esto ya que existen diferencias entre fotografías, debidas a errores sistemáticos o a procesos del tratamiento de las imágenes, que pueden dificultar el proceso de fotointerpretación.

Se recomienda a la, o las instituciones, brindar todo el apoyo posible para el logro de investigaciones de esta naturaleza que, finalmente, justifican la existencia de las universidades y aportan al desarrollo científico y cultural de la nación.

CAPÍTULO 9

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1. LIBROS

1. CARLA MANCIATI, DANIELA FLEILE, Relación a escala mensual y estacional entre la información hidrometeorológica local y regional y la fusión de los glaciares tropicales del Ecuador. Caso de estudio, Glaciar 15 y Glaciar “Crespos” del nevado Antisana, 2007.
2. EDGAR ARIAS MOSSOT, Escorrentía superficial en cuencas con aportes de Glaciares tropicales y su aplicación al caso Antisana, 1997.
3. GERMÁN MONSALVE SÁENZ, Hidrología en la ingeniería, 2002.
4. INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, Atlas Universal y del Ecuador, 1995.
5. JAMES B. CAMPBELL, Introduction to Remote Sensin, 1987.
6. JORGE JUAN ANHALZER, Ilinizas, Cayambe, Chimborazo, Imprenta Mariscal, 2005.
7. LEICA, Erdas Field Guide, Sexta Edición, 2002.
8. LEICA, Imagine Orthobase Users’s Guide, Sexta Edición, 2002.
9. MARCOS VILLACÍS ERAZO, Influencia del Niño-Oscilación del Sur sobre la precipitación en los Andes Centrales del Ecuador.
10. THOMAS EUGENE AVERY, GRAYDON LENS BERLIN, Fundamentals of Remote Sensin and Airphoto Interpretation, Editorial Macmillan, Quinta Edición.

9.2. OTROS DOCUMENTOS IMPRESOS

11. J. ORLEMANS, Extracting a climate Signal from 169 Glacier Records.
12. J. ORLEMANS, B. ANDERSON, A. HUBBARD, PH HUYBRECHTS, T. JOHANNESON, W.H. KNAP, M. SCHMEITS, A.P. STROEVEN, R.S.W. VAN DE WAL, J.WALLINGA, Z.ZUO, Modelling the response of glaciers to climate warming.

13. C. VINCENT, P. RIBSTEIN, V. FAVIER, T. WAGNON, B. FRANCOU, E. LEMEUR, D. SIX, Glacier Fluctuations in the Alps and in the Tropical Andes.
14. D. DAHR, M. MEIER, S. PECHMAN, The Physical Basis of Glacier Volume.
15. S.S.P.O., SWISS SCHOOL OF PHOTOGRAMETRIC OPERATORS, Fotogrametría - Introducción Bases, 1976.
16. S.S.P.O., SWISS SCHOOL OF PHOTOGRAMETRIC OPERATORS, Formación del modelo - Orientación Relativa, 1976.

9.3. DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

17. ftp://e0srp01.ecs.nasa.gov/srtm/version2/south_america/
18. www.avizora.com/publicaciones/cine/textos/mecanismo_vision_estereoscopica_0059.htm
19. <http://en.wikipedia.org>
20. http://redescolar.ilce.edu.ex/redescolar/publicaciones/public_volcanes/sudamerica/iliniza.htm
21. http://volcano.und.nodak.edu/vwdocs/volc_images/img_iliniza.html
22. <http://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/ablation-en.html>
23. <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>
24. <http://www.igm.gov.ec>
25. <http://www.ipf.tuwien.ac.at/fr/introduction/introduction6.html>
26. IMAGINE 8.6\help\html\orthobase
27. IMAGINE 8.6\help\html\utilityset_overlap_function.htm
28. www.2spi.com.mx/catalog/stereo-3D/anaglyphic-stereo-glasses.html
29. http://volcano.und.nodak.edu./vwdocs_volc_images/img_iliniza.html
30. <http://www.welt-atlas.de/datenbank/karten/en/karte-0-931-en.gif>

ANEXOS DIGITALES