

CATALOGADO

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
MISIONES



ESTUDIO DE LOS RECURSOS NATURALES

Basado en la percepción remota desde el espacio
mediante la interpretación multispectral secuencial multidisciplinaria
de las imágenes satelitarias de los programas LANDSAT/SKYLAB

Informe Final

**TOMO I: Objetivos, Metodología, Hidrología,
Geología - Geomorfología**

Area de Frontera X. 10
F. 312 X. 12
F. 313 F. 331.4
F. 3113
F. 310WS
X. 16

0
F. 331.4
A. 15
Informe final
I.

CONFECCIONADO POR

AEROTERRA S.A.

EVALUACION INTEGRAL DE RECURSOS NATURALES

AV. ROQUE SAENZ PEÑA 825
BUENOS AIRES - ARGENTINA

I N D I C E G E N E R A L

TOMO I

- SECCION 1. Introducción.
- SECCION 2.. Objetivos y Alcance de los Trabajos Realizados.
- SECCION 3. Metodología.
- SECCION 4. Hidrología.
- SECCION 5. Geomorfología.
- SECCION 6. Geología - Estructural.

TOMO II

- SECCION 7. Uso Actual de la Tierra - Tipos de Vegetación.
- SECCION 8. Caracterización Socioeconómica-Poblacional.
- SECCION 9. Edafología.
- SECCION 10. Experiencia Multiespectral de Banda Angosta y Realce Temático.

TOMO III

- SECCION 11. Estudio Comparativo del Desarrollo del Area de Frontera.
- SECCION 12. Evolución Comparativa de los Principales Polos de Desarrollo.
- SECCION 13. Zonificación Departamental.
- SECCION 14. Bibliografía.

TOMO I

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	7
3. METODOLOGIA	11
3.1. Detección Remota: Generalidades	11
3.2. Ciclo Metodológico Interpretación Satelitaria	14
3.3. Organigrama y Adquisición de la Información	16
3.4. El Proceso de Formación de la Imagen en el Barredor Multiespectral MSS, el Espectro Electromagnético y la Reflectancia Espectral	18
3.5. Utilización Específica de las Distintas Bandas Espectrales Satelitarias	29
3.6. El Proceso de Interpretación	32
3.7. La Analogía y Convergencia de Evidencias en los Estudios Regionales	37
3.8. Resolución, Coordenadas Geográficas, etc.	40
3.9. Principales Defectos de Procesamiento	43
3.10. Comprobación Aero-Terrestre ("Ground-Truth")	44
3.11. Fotoíndice Satelitario, Fotomosaicos y Escena Nominal Landsat	45
4. HIDROLOGIA	49
4.1. Ambiente Geográfico	49
4.1.1. Generalidades	49
4.1.2. Ubicación y Superficie que Abarca el Estudio	53
4.1.3. Fisiografía	53
4.1.3.1. Regiones Fisiográficas de la Provincia de MISIONES (véase Figura N° 14)	55
4.1.4. Comprobación de Campo ("GROUND TRUTH")	64
4.1.5. Hidrografía	70
4.1.6. Ciclo Hidrológico	72
4.1.6.1. Derrame Superficial	73
4.1.6.2. Hidrometría	76
4.1.6.3. La Variación de Caudal y sus Efectos	76
4.1.6.4. Tipos de Régimen Fluvial	78
4.1.6.5. Balance Hidrológico de la Tierra	79
4.1.6.6. Cantidades Relativas de Agua Almacenada en los Ambientes Mayores del Ciclo Hidrológico	80

4.1.6.7.	Disponibilidad de Aguas para el Consumo Mundial	82
4.1.7.	Vegetación	82
4.1.8.	Suelos	83
4.1.9.	Fauna	84
4.1.10.	Parámetros Hidrológicos	84
4.2.	Descripción de las Subcuencas Hidrológicas de la Provincia de MISIONES	87
4.2.1.	Aclaraciones al Mapa Hidrológico	88
4.2.2.	Características Generales Regionales de los Colectores Principales desde el Punto de Vista Morfológico e Hidrográfico	88
4.2.3.	Subcuenca del río IGUAZU : I	92
4.2.3.1.	Subcuenca SAN ANTONIO (I ₁)	97
4.2.3.2.	Subcuenca SAN FRANCISCO (I ₂)	97
4.2.3.3.	Subcuenca YACUY (I ₃)	98
4.2.3.4.	Subcuenca SANTO DOMINGO (I ₄)	98
4.2.3.5.	Subcuenca CENTRAL (I ₅)	99
4.2.3.6.	Subcuenca CATARATAS (I ₆)	99
4.2.3.7.	Subcuenca LAS ISLAS (I ₇)	100
4.2.3.8.	Subcuenca EL TRIANGULO (I ₈)	100
4.2.4.	Subcuenca del río PARANA : P	101
4.2.4.1.	Subcuenca URUGUA-I (P ₁)	105
4.2.4.2.	Subcuenca AGUARAY GUÁZU (P ₂)	105
4.2.4.3.	Subcuenca PIRAY MINI (P ₃)	106
4.2.4.4.	Subcuenca PIRAY GUÁZU (P ₄)	106
4.2.4.5.	Subcuenca PARANAY GUÁZU (P ₅)	107
4.2.4.6.	Subcuenca GARUHAPE (P ₆)	108
4.2.4.7.	Subcuenca CUÑAPIRU (P ₇)	108
4.2.4.8.	Subcuenca TABAY (P ₈)	109
4.2.4.9.	Subcuenca ÑANCAGUÁZU (P ₉)	109
4.2.4.10.	Subcuenca YABEBIRI (P ₁₀)	110
4.2.4.11.	Subcuenca GARUPA (P ₁₁)	110
4.2.4.12.	Subcuenca ITAEMBE (P ₁₂)	111
4.2.4.13.	Subcuenca MBORAY (P ₁₃)	111
4.2.4.14.	Subcuenca YAZU ARGENTINO (P ₁₄)	112
4.2.4.15.	Subcuenca BONITO (P ₁₅)	112
4.2.4.16.	Subcuenca YARARA (P ₁₆)	113
4.2.4.17.	Subcuenca AGUARAY MINI (P ₁₇)	113
4.2.4.18.	Subcuenca GARAGUATAY (P ₁₈)	114
4.2.4.19.	Subcuenca ITACURUZU (P ₁₉)	114

4.2.4.20.	Subcuenca 3 DE MAYO (P ₂₀)	115
4.2.4.21.	Subcuenca MBORICUA (P ₂₁)	116
4.2.4.22.	Subcuenca FRANCES CUA (P ₂₂)	116
4.2.4.23.	Subcuenca ORATORIO (P ₂₃)	117
4.2.4.24.	Subcuenca SANTA ANA (P ₂₄)	117
4.2.4.25.	Subcuenca SAN JUAN (P ₂₅)	118
4.2.4.26.	Subcuenca ZAIMAN (P ₂₆)	118
4.2.4.27.	Subcuenca MARTIRES (P ₂₇)	119
4.2.5.	Subcuenca del río URUGUAY : U	120
4.2.5.1.	Subcuenca PEPIRI GUAZU (U ₁)	124
4.2.5.2.	Subcuenca YABOTI (U ₂)	126
4.2.5.3.	Subcuenca PARAISO (U ₃)	126
4.2.5.4.	Subcuenca SOBERBIO (U ₄)	128
4.2.5.5.	Subcuenca SALTIÑO (U ₅)	128
4.2.5.6.	Subcuenca PINDAITI (U ₆)	129
4.2.5.7.	Subcuenca ALEGRE (U ₇)	129
4.2.5.8.	Subcuenca ACARAGUA (U ₈)	130
4.2.5.9.	Subcuenca RAMON (U ₉)	130
4.2.5.10.	Subcuenca ONCE VUELTAS (U ₁₀)	131
4.2.5.11.	Subcuenca ITACARUARE (U ₁₁)	131
4.2.5.12.	Subcuenca SANTA MARIA (U ₁₂)	132
4.2.5.13.	Subcuenca PESIGUERO (U ₁₃)	132
4.2.5.14.	Subcuenca TUNAS (U ₁₄)	133
4.2.5.15.	Subcuenca CHIMIRAY (U ₁₅)	133
4.2.5.16.	Subcuenca ALEGRE (U ₁₆)	134
4.2.5.17.	Subcuenca GRANDE (U ₁₇)	134
4.2.5.18.	Subcuenca CHAFARIZ (U ₁₈)	135
4.2.5.19.	Subcuenca TARARIRA (U ₁₉)	135
4.2.5.20.	Subcuenca DORADO (U ₂₀)	136
4.2.5.21.	Subcuenca SAGREDO (U ₂₁)	136
4.2.5.22.	Subcuenca ALFEREZ (U ₂₂)	137
4.2.5.23.	Subcuenca ALIPIO (U ₂₃)	137
4.2.5.24.	Subcuenca GUERRERO (U ₂₄)	138
4.2.5.25.	Subcuenca PORTERO (U ₂₅)	138
4.2.5.26.	Subcuenca BARRERO (U ₂₆)	139
4.2.5.27.	Subcuenca CONCEPCION (U ₂₇)	139
4.3.	Metodología Empleada en el Cálculo de las Superficies de las Subcuencas	142
4.4.	Conclusiones y Recomendaciones	144
5.	GEOMORFOLOGIA	148
5.1.	Introducción	148

5.1.1.	Ciclo Geomorfológico Fluvial	148
5.1.2.	Erosión Fluvial	150
5.1.3.	Tipos de Erosión Fluvial	152
5.1.4.	Concepto de Valle	154
5.2.	El Significado de los Diseños de Avenamiento	156
5.2.1.	Tipos de Diseños de Avenamiento	157
5.2.1.1.	Diseño Dendrítico	157
5.2.1.2.	Diseño Enrejado	159
5.2.1.3.	Diseño Rectangular	159
5.2.1.4.	Diseño Radial	159
5.2.1.5.	Diseño Anular	159
5.2.1.6.	Diseño Paralelo (Véase Figura N ^o 40)	159
5.2.1.7.	Diseño Meándrico	167
5.3.	Condiciones Climáticas	163
5.4.	Control Litestructural del Substrato	170
5.5.	Imagen Fotomórfica	170
5.6.	Ambientes Geográficos	172
5.6.1.	Ambiente de Meseta	173
5.6.2.	Ambiente de Ladera	174
5.6.3.	Ambiente Costanero	174
5.7.	Unidades Geomorfológicas	175
5.7.1.	Descripción de las Unidades Geomorfológicas	175
5.7.1.1.	Planicie estructural remanente	178
5.7.1.2.	Vertientes Disectadas	184
5.7.1.2.1.	Vertientes disectadas de alta energía	186
5.7.1.2.2.	Vertientes disectadas de baja energía	187
5.7.1.3.	Planicies de inundación	188
5.7.1.4.	Áreas de Acción Eólica	190
5.8.	Conclusiones	191
6.	GEOLOGIA - ESTRUCTURAL	193
6.1.	Generalidades	193

6.2.	Estratigrafía	196
6.2.1.	Triásico	196
6.2.1.1.	Formación SAN IGNACIO	196
6.2.2.	Cretácico Inferior	203
6.2.2.1.	Formación MISIONES (= Basaltos de Serra Geral = Lavas de Arapey)	203
6.2.3.	Cuartárico	207
6.2.3.1.	Depósitos Lateríticos	207
6.2.3.2.	Depósitos Fluviales Antiguos	208
6.2.3.3.	Depósitos Fluviales Recientes	208
6.2.4.	Cuadro Estratigráfico	209
6.3.	Estructura	209
6.3.1.	Estudio de Detalle	215
6.3.2.	Rasgos Redondeados	215
6.3.3.	Modelos de Fracturación	217
6.4.	Conclusiones y Recomendaciones	227

INDICE DE CUADROS, FOTOS Y FIGURAS

CUADROS

1. Principales premisas que son tenidas en cuenta por AEROTERRA S.A. para realizar los estudios satelitarios regionales	10
2. Ejemplo utilización hidrológica bandas espectrales MSS	31
3. Resolución terrestre del LANDSAT en líneas por milímetro, referida a cada una de las "generaciones" de los distintos productos	41
4. Variaciones (Latitud-Superposición) pasos adyacentes	48
5. Temperaturas y precipitaciones en la Provincia de MISIONES durante el decenio 1951-1960	52
6. Cuadro estratigráfico de la Provincia de MISIONES	210

FIGURAS

1. Altitudes correspondientes a diversas plataformas de percepción remota	12
2. Ciclo metodológico de la interpretación multispectral satelitaria	15
3. Organigrama de Trabajo	17
4. El sistema ERTS-LANDSAT	19
5. Sensor RBV del LANDSAT	20
6. Esquema de un barredor multispectral	22
7. Espectro electromagnético (según Sherz y Stevens, 1970). Curvas de radiación de un cuerpo negro y radiación solar	24
8. Trayectoria de la radiación solar a través de la atmósfera hasta el sensor remoto (USGS)	25
9. Espectro de reflexión de una hoja verde típica, y espectro de absorción del agua entre longitudes de onda de 0,4 m y 2,6 m	27
10. Pronóstico de tonos fotográficos obtenidos del análisis espectral	28
11. Diagrama interpretación satelitaria asociativa indicando asociaciones ligadas utilizadas en la interpretación multispectral - multidisciplinaria	36
12. Superposición de imágenes en el Ecuador. El Patrón de cubrimiento permite una superposición del 14% entre imágenes adyacentes en el Ecuador	47
13. Mapa de ubicación general y localización de los block diagrams	54
14. Regiones fisiográficas de la Provincia de MISIONES	56
15. Gráfico del reconocimiento aereo-terrestre	69
16. Ejemplo graficado del ciclo de escurrimiento (Davis y Dewiest, 1966)	74
17. Cantidades relativa de agua almacenada en los ambientes mayores del ciclo hidrológico (porcentajes del total mundial)	81
18. Block Diagrama N. 3 - Subcuenca del río Iguazú - Localidad Cataratas del Iguazú (Misiones)	96

19. Block Diagrama N. 1 - Subcuenca del río Paraná - Localidad Santa Ana (MISIONES)	103
20. Block Diagrama N. 2 - Subcuenca del río Uruguay - Localidad Alba Rosse (MISIONES)	125
21. Block Diagrama N. 4 - Subcuenca del río Uruguay - (Provincia de MISIONES)	127
22. Formas del terreno según Strahler, 1960 - Diagramas ilustrando las distintas clases de terreno	151
23. Perfil longitudinal de equilibrio de un río	153
24. Pulso de erosión activa	155
25. Modelos de Avenamientos básicos modificados (según Parvis, 1950)	158
27. Modelos básicos de avenamiento (Parvis, 1950)	160
28. Modelos básicos de densidad de avenamiento (Way, D.S., 1973)	160
29. Diseño dendrítico tipo arborescente	161
30. Diseño dendrítico en pinza	161
31. Diseño dendrítico modificado	162
32. Diseño dendrítico-paralelo	162
33. Diseño dendrítico pinado	163
34. Diseño dendrítico pectinado	163
35. Diseño de avenamiento angular o enrejado	164
36. Diseño de avenamiento rectangular	164
37. Diseño de avenamiento radial	165
38. Diseño radial, anular y dendrítico en pinza	165
39. Diseño anular	166
40. Diseño de avenamiento paralelo	166
41. Diseño de avenamiento meándrico	166

42. Perfiles de la erosión en los verbales	169
43. Formación de los Carcavones	171
44. Perfil de la planicie estructural remanente	177
45. Erosión relativa de la planicie estructural remanente	181
46. Perfil de una vertiente disectada	183
48. Esquema de la tectónica cratónica o germánica	212
49. Rasgos redondeados	216
50. Modelos de fracturación	218
51. Zonas de fracturas continentales o propiamente dicho megafracturas	221
52. Megafracturas continentales	222
53. Perfil San Ignacio - El Soberbio - Provincia de MISIONES	224
54. Perfil Esperanza - Bernardo de Irigoyen - Provincia de MISIONES	226

FOTOS

1. FRP: tramo austral de la Franja Ribereña del PARANA; LLA: sector correspondiente a la Llanura de APOSTOLES)	58
2. FRU: Franja Ribereña del URUGUAY; LLA: Llanura de APOSTOLES; N: cobertura de nubes pseudoaborregadas dispuestas en mayor parte en el territorio basileño	59
3. SC: Sierras Centrales; FRP: Franja Ribereña del PARANA	61
4. Paleollanura de IRIGOYEN; FRU: Franja Ribereña del URUGUAY; LLA: Llanura de APOSTOLES; RR: rasgo redondeado	63
5. LLA: Llanura de APOSTOLES; FRU: Franja Ribereña del URUGUAY; SC: Sierras CENTRALES; FRP: Franja Ribereña del PARANA	65
6. Equipo de trabajo multidisciplinario de AEROTERRA S.A. en el aeropuerto ELDORADO	67
6 bis. Equipo de trabajo multidisciplinario próximo a la intersección de la RUTA N° 20 con las nacientes del río PIRAY GUAZU	68
7. Región norte de la provincia de MISIONES en la que se observan ríos de primer orden (IGUAZU, PARANA) y ríos de segundo orden (A. URUGUA-I, SAN ANTONIO); dispuestos perpendicularmente a los ríos de tercer orden .	71
8. En esta imagen se observa definitivamente el DIVORTIUM AQUARUM. El río PARANA y el río URUGUAY se muestran como dos "enruladas" cintas blancas. En el caso particular del río URUGUAY, el índice de irregularidad meándrico es mayor, a lo largo de un tramo aproximadamente similar	90
9. Tonos de gris homogéneos, enmascaramiento de estructuras	94
10. Tonos de gris heterogéneo, mayor gama de diferenciación	94
11. Cuerpos de agua y zonas húmedas bien contrastadas	94
12. Obsérvese como varía en ancho el río IGUAZU a partir de las cataratas del mismo nombre	95
13. A: en esta banda se distinguen los valles aluviales; B y C: ríos poco delineados	102

14. A: en esta no se diferencian los valles aluviales; B y C: los ríos se diferencian perfectamente	102
15. Vista oblícua baja. En el centro del río PARANA, se observa la isla de CORPUS, remanente de rocas basálticas, con acumulaciones de finas lenguas de arena blanco grisáceas hasta amarillentas	104
16. Gran parte de la imagen muestra territorio brasileño, intensamente explotado, en tanto que en el sector correspondiente a la ARGENTINA no sucede el mismo fenómeno	122
17. Obsérvese el escalón de fenobasalto, producidos por erosión retrocedente sobre el cual se originan los SALTOS DE MOCONA; sobre el curso del río URUGUAY	123
18. En el recuadro señalado, se indica el sector con mayor índice de fracturación y que ha sido estudiado en detalle	141
19. Unidades Fotomórficas	172
20. Ambientes Geográficos	173
21. Se observa un corte vertical de la planicie estructural remanente. BERNARDO DE IRIGOYEN	179
22. Obsérvese la expresión morfológica entre la vertiente de baja energía (A) y la de alta energía (B)	185
23. A: Afloramientos de SAN IGNACIO; B: Afloramientos de PEÑON DE LA REINA y alrededores; C: Afloramientos del sudoeste de la ISLA DE CORPUS...	197
24. Vista tomada de sur a norte. Se aprecia la densa cobertura vegetal que cubre los afloramientos correspondientes a las areniscas triásicas de la formación SAN IGNACIO	198
25. Vista tomada desde el sudoeste. Estos afloramientos corresponden a las areniscas del PEÑON DE LA REINA	199
26. Vista parcial de las areniscas de la Formación SAN IGNACIO, tomada en dirección norte a sur.....	200
27. Vista tomada próximo al arroyo SANTA ANA	201
28. Vista de detalle que ilustra la relación intrusiva del fenobasalto sobre la arenisca de la formación SAN IGNACIO	201
29. Vista de la intrusión del fenobasalto a la arenisca de la Formación SAN IGNACIO	202

30. Vista tomada sobre la Ruta N° 17, unos 5 Km al sudoeste de la localidad de. BERNARDO DE IRIGOYEN	205
31. Vista de detalle del fenobasalto amigdaloides	206
32. Campo de lineaciones realizado por CARTA	214

SECCION 1

INTRODUCCION

El presente estudio integral de recursos naturales de la Provincia de MISIONES, fue realizado especialmente para el CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES por AEROTERRA S.A. por llamado N° 34 (Concurso N° 138/77), abarcando una superficie de 29.801 Km2.

El mismo fue basado en la adecuada correlación e interpretación multispectral-secuencial-comparativa-multidisciplinaria de las imágenes seleccionadas del barredor multispectral de 4 canales MSS de los satélites LANDSAT 1 y 2, y complementadas por el SKY-LAB (sensor S-190 A cámara multispectral y sensor S-190 B cámara terrestre de gran resolución), para obtener en un plazo de 105 días los completos inventarios base; hidrológico; uso actual tierra-vegetación; geomorfológico; geológico-estructural; edafológico; desarrollo evolutivo de las áreas de fronteras; polos de desarrollo; zonificación económica departamental, etc., a escala 1:250.000, conjuntamente con diversos fotomosaicos satelitarios provinciales (pancromáticos, color, infrarrojo blanco y negro y color), y un "paquete" de diversos productos complementarios (cálculo de superficie, diseños avenamiento, block diagrams, perfiles compilados, diagramas de Dansereau, etc.), derivados directa o indirectamente de la interpretación satelitaria efectuada.

En el trabajo realizado, que por la extensión del área a investigar, tiempo, metodología aplicada y cantidad de mapas temáticos producidos, puede considerarse el primer estudio integrado de recursos naturales realizado por la ARGENTINA, se tuvieron especialmente en cuenta las distintas y múltiples experiencias logradas por la comunidad científica mundial en la aplicación de la teledetección satelitaria a la evaluación y catalogación de los recursos naturales, las que fueron especialmente adaptadas a las características particulares de la provincia y compatibilizadas con las ya aplicadas por AEROTERRA S.A. en otros estudios regionales de similares características, tales como "Aprovechamiento múltiple de la CUENCA DEL RIO PILCOMAYO" en los territorios de ARGENTINA y PARAGUAY en una extensión de 200.000 Km2, realizado para OEA-BID-PNUD; Provincia de CORRIENTES (88.199 Km2.); Provincia de FORMOSA (77.066 Km2.), etc.).

Asimismo, AEROTERRA S.A. se place en destacar que con el valioso apoyo del CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (CFI), han podido ser realizados con el presente trabajo diversas experiencias prácticas y aplicables a la solución de diversos problemas vinculados con un mayor conocimiento de los recursos naturales provinciales, que constituyen un valioso aporte a futuras aplicaciones. En ese esfuerzo empresarial de transferencia tecnológica y desarrollo de una metodología nacional de la teledetección satelitaria, merece citarse entre otros, los del inventario uso actual de la tierra-vegetación ba

sado en el reciente proyecto BURMA del Banco Mundial, y la multiespectralidad de banda angosta y realce temático, realizados ambos por vez primera en el País.

Es que el adecuado planeamiento de la utilización racional e integral de los recursos naturales con propósitos múltiples, es necesario encuadrarlo dentro de un plan coherente con el desarrollo económico y social de la región, asignando la debida importancia a la protección ambiental y a la conservación de los recursos naturales. Ello se encuentra directamente vinculados con una correcta evaluación de sus recursos naturales, puesto que al formar un solo complejo bio-ecológico, la utilización parcial de cualquiera de sus componentes en forma no planeada y coordinada afecta al conjunto.

La necesidad de contar rápida, oportuna y económicamente con inventarios regionales, constituye uno de los objetivos básicos del desarrollo y del presente trabajo, y aunque la técnica moderna está proporcionando muchos eficaces instrumentos para estudiar con rapidez y economía grandes superficies, la necesidad de disponer de inventarios regionales, se acentúa a un ritmo que muchas veces puede exceder las posibilidades de la tecnología contemporánea, si ella no es adecuadamente utilizada.

Hasta épocas muy recientes, el hombre sólo podía estudiar el sistema ecológico-social del que formaba parte, pero en la actualidad, es posible extender ese estudio a toda una región en condiciones de observación uniforme. Esta posibilidad es la consecuencia de la evolución y precisión alcanzadas actualmente por las técnicas de detección remota y de la interpretación de sus datos, y concretamente de las múltiples posibilidades que ofrece hoy el aprovechamiento de los satélites artificiales, a la necesidad crítica y siempre creciente de un mejor conocimiento de los recursos terrestres.

Los trabajos realizados se han basado especialmente en la aplicación de la tecnología ERTS-SKYLAB que forman parte del Programa EROS ("Sistema de Observaciones de los Recursos Terrestres"), aprobado por el Departamento del Interior del Gobierno de los Estados Unidos en 1966. Las principales fuentes de información son las imágenes obtenidas por el Satélite ERTS/LANDSAT-2 (1975-76), y complementadas con las del ERTS/LANDSAT-1 (1972-74), y las del programa SKYLAB con sus cámaras multiespectrales y terrestre de gran resolución.

La percepción remota o teledetección de los recursos naturales de la tierra se hace posible en virtud de que cada objeto de la superficie terrestre, cada porción del terreno absorbe, refleja y emite energía electromagnética en longitudes de onda especialmente distintas, la mayoría de las cuales no están en el campo visible. En consecuencia, la percepción remota como nuevo concepto técnico, ha venido a significar la perfección de la capacidad de registro electromagnético, y su resolución en grado aceptable, mediante una variedad de equipos e instrumental denominados "sensores remotos" ubicados en plataformas alejadas del blanco.

Es conocido que el manejo de los recursos naturales es una difícil y compleja tarea según la cual, los recursos deben ser distribuidos y organizados en marcos específicos de lugar y tiempo de acuerdo con objetivos pre-establecidos, y procurando equilibrar las necesidades sociales, económicas, psicológicas y fisiológicas de la población. Estas tareas deben por lo tanto ser cumplidas a través de una adecuada elección de objetivos y procedimientos, que den origen a un planeamiento integral, con una distribución y aprovechamiento armónico de los recursos.

Afortunadamente, la tecnología de los sensores remotos ha experimentado un notable desarrollo en los últimos tiempos y ella constituye al presente, la solución a muchos de los interrogantes de los planificadores. Los satélites y aviones de gran altura, portadores de los más eficaces sistemas de teledetección ofrecen una cantidad de imágenes espectrales y un cúmulo de información en una dimensión no conocida hasta hace muy pocos años.

Así por ejemplo, las imágenes satelitarias LANDSAT presentan muchas ventajas respecto de las fotografías aéreas convencionales, especialmente cuando se trata de aplicarlas a análisis regionales como en el caso del presente trabajo. En efecto, una sola imagen LANDSAT cubre un área superior a los 34.000 Km², área que es equivalente a varios cientos de fotografías convencionales, y a ello debe agregarse la periodicidad, sinotici^{dad} o visión uniforme de toda el área y la sincronización polar de su órbita con el sol. Además, la multiespectralidad y secuencialidad de las imágenes facilitan la interpretación y la interrelación de los elementos de la superficie terrestre y del medio ambiente.

De igual manera el programa SKYLAB, a lo largo de sus tres misiones tripuladas, ha producido una importante cantidad de imágenes de elevada resolución, las que proveen un factor inestimable para verificar y complementar la interpretación de las imágenes LANDSAT, o para realizar estudios seleccionados y detallados sobre diversas áreas específicas.

Uno de los logros más importantes de NASA en el conocimiento y exploración del espacio, es la capacidad de proveer cubrimiento secuencial de los recursos terrestres y del medio ambiente a un mínimo costo mediante el programa LANDSAT (originalmente ERTS - Earth Resources Technology Satellite). JAMES C. FLETCHER, Administrador de NASA, se ha expresado en estas palabras: "Si yo tuviera que escoger un astronave en el desarrollo de esta era espacial para salvar al mundo, yo elegiría el ERTS (LANDSAT) y los satélites de los cuales creo van a evolucionar a partir de él" ...

En igual sentido el Presidente del Banco Mundial ante la Junta de Gobernadores en septiembre de 1975 claramente puntualizó, que uno de los principales obstáculos al desarrollo y superación de la pobreza es el no contar con una tecnología apropiada y adecuadamente aplicada. Y al referirse específicamente a la teledetección agregó ... "Una técnica de la que estamos haciendo un uso creciente es la telepercepción de imágenes median-

te satélites, para el reconocimiento y la evaluación de los posibles y potenciales recursos de tierras y aguas. Este nuevo instrumento está resultando muy valioso en muchos aspectos de la planificación de proyectos, y estamos ayudando a varios de nuestros países miembros -Indonesia, India, Bangladesh, Nepal y Kenia, entre otros- a utilizarlo ... "

Son sabias palabras de la citada organización cuando expresó ... "Los países en desarrollo confrontan problemas de importancia reconocida por todos aquellos a quienes preocupa la calidad de la vida de los seres humanos. Algunos de los síntomas del subdesarrollo más fáciles de identificar son la pobreza, el hambre, las enfermedades, el analfabetismo y una esperanza de vida reducida. De más difícil comprensión es la magnitud del esfuerzo de planificación necesario para liberar a los pueblos de la pobreza. La amplitud y complejidad de los problemas a que se enfrentan los países densamente poblados y con limitado acceso a los recursos naturales exige una planificación coordinada, a menudo en un ámbito regional. La telepercepción mediante satélites permite hoy día a los países en desarrollo obtener, rápidamente y a intervalos frecuentes, la información sobre sus recursos naturales y utilización de tierras que esa planificación requiere ... "

En la Conferencia Mundial del Agua (CONFAGUA) organizada en el mes de marzo del corriente año por las Naciones Unidas en Mar del Plata (Argentina), el Departamento del Interior de los EE.UU. a través del Servicio Geológico (USGS) en su presentación "Remote Sensing for Water Resources Management", ha enfatizado la importancia de las técnicas y metodología como las aquí aplicadas, para la evaluación, manejo y desarrollo de los recursos hídricos, y los múltiples problemas directa o indirectamente asociados con ellas, que requieren una acción planificada actualizada, armónica e integral.

El Comité Nº 3 "Aplicación Hidrológica de Sensores Remotos" durante las Reuniones Técnicas y Científicas de la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas mencionada en el párrafo anterior, recomendó la necesidad de ejecutar estudios regionales basado en la teledetección satelitaria, como el realizado en este trabajo, como uno de los medios más eficaces, rápido y económico para contribuir al conocimiento de la región en sus características topográficas y culturales integrales, y producir la información básica necesaria que enfatice primordialmente la representación de la realidad, más que las exigencias de precisión, y que dicha información sea proporcionada en tiempo para que las autoridades de decisión puedan usarla acorde con las expectativas socioeconómicas existentes.

Una reciente publicación del corriente año el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) al referirse a la aplicación práctica de los satélites: "Una nueva herramienta para el desarrollo de América Latina", resaltó la vinculación y papel fundamental de la tecnología de la teledetección remota con los proyectos del BID y la necesidad de su aplicación cada vez más creciente de tales estudios en sus actividades preinversionales y puesta en marcha de proyectos concretos administrados y/o financiados por el mismo.

Así es que con exactitud se ha dicho, que los satélites de recursos terrestres constituyen al presente el estimulante del futuro desarrollo económico y social, y que en el progreso de esta tecnología de la detección remota, quizá lo más importante sea el espíritu de colaboración que está desarrollándose entre los pueblos del mundo.

AEROTERRA S.A. empresa argentina e integrada solamente por técnicos argentinos se enorgullece de presentar este trabajo, y aunque no pretende haber logrado con él la solución a los diversos y complejos problemas que afectan a la evaluación y desarrollo de esta importante Provincia y su influencia en el desarrollo del País, y es consciente de que estos estudios son factibles de un mayor perfeccionamiento, sólo aspira al haber podido contribuir con uno de los varios eslabones que faciliten su solución.

Constituye así, para nosotros, un motivo de legítimo orgullo, que nos place hacer resaltar, y en ese orgullo están incluidos todos los que han colaborado directa o indirectamente con este proyecto, ya sea en sus recomendaciones, observaciones o integrando los diversos y complejos equipos de tareas, desde el más joven auxiliar al más experimentado fotointérprete; con los deseos que este trabajo pueda servir, para que dentro de la difícil problemática mundial que nos toca vivir, ayude a construir ese futuro de paz y comprensión tan deseada, y basada en el desarrollo y la justa distribución de la riqueza de nuestros vastos recursos naturales.

El "Informe Final" que a continuación se produce, desarrolla ampliamente la labor efectuada y es generoso en la descripción de la metodología utilizada, antecedentes y resultados logrados, y ha sido dividido en 14 secciones que conforman los 3 (tres) tomos, a cada uno de los cuales con sus conclusiones respectivas y profusamente ilustrados.

Hemos querido presentarlo así, consciente de la responsabilidad asumida ante el CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES Y PROVINCIA DE MISIONES y lo que ello implica, pero consciente también, de la necesidad que existe de producir una verdadera y desinteresada transferencia tecnológica que muchas veces se ve reducida por mezquinos problemas de intereses particulares o comerciales.

Finalmente agradecemos muy especialmente a las autoridades y/o técnicos del CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES y de la Provincia de MISIONES por la confianza y el apoyo a la solución de los múltiples problemas que fue necesario afrontar en esta clase de actividad, y formula votos para que ojalá entre sus páginas e ilustraciones, los lectores, sea cualquiera su esfera de responsabilidad, encuentren algu-

na respuesta a sus inquietudes y diarios problemas, y así contribuyamos todos a for
jar la ARGENTINA de paz, desarrollo y bienestar que las generaciones futuras espe
ran de los que hoy por diversos motivos tienen el poder de decisión y/o conducción.

CHAN - CHAN

Buenos Aires (ARGENTINA), setiembre de 1977.

Por AEROTERRA S.A.



ALBERTO BENITO VIOLA
Presidente

SECCION 2

OBJETIVOS Y ALCANCE DE LOS
TRABAJOS REALIZADOS

De conformidad con los requerimientos oportunamente formulados por el CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES en su llamado N° 34 a concurso N° 138/77 y el contrato respectivo, complementados con las diversas necesidades surgidas de las distintas exposiciones de trabajo llevadas a cabo con técnicos y autoridades del CONSEJO, y en directa vinculación con los resultados que nuestra empresa ha obtenido recientemente en los diferentes trabajos de interpretación satelitaria multiespectral en el "Aprovechamiento Múltiple de la Cuenca del RIO PILCOMAYO" en los territorios de las Repúblicas de ARGENTINA y PARAGUAY, realizado por contrato con la OEA-BID-PNUD, Provincia de CORRIENTES y Provincia de FORMOSA, los trabajos a realizar por AEROTERRA S.A. tenderán a cumplir los siguientes objetivos:

- Proporcionar los inventarios satelitarios: base-planimétrico; hidrológico; geológico-estructural; geomorfológico; edafológico; uso actual de la tierra-tipos de vegetación; desarrollo evolutivo de áreas de frontera; polos de desarrollo y zonificación departamental a escala 1:250.000, derivados directa o indirectamente de la interpretación satelitaria secuencial-multiespectral-multidisciplinaria.
- Confeccionar los fotomosaicos satelitarios provinciales a escala 1:250.000 (blanco y negro, infrarrojo color, etc.) actualizado a 1973/76, y permitir así una visión de conjunto uniforme y objetiva, para evaluar adecuadamente la realidad geográfica y la verdadera potencialidad de los recursos naturales provinciales, facilitando la programación de una planificación inmediata de desarrollo armónico e integral, al igual que la obtención de importantes conclusiones de la dinámica del medio ambiente.
- Contribuir a la realización por vez primera en el País de trabajos derivados directa o indirectamente de la interpretación satelitaria y aplicada a la evaluación de los recursos naturales, tales como los inventarios asociados del uso de la tierra-vegetación; mapas temáticos de banda angosta y realce temático, zonificación departamental, etc.
- Proporcionar un "paquete" de productos complementarios y/o suplementarios tales como cálculos de superficies, block diagrams, perfiles, diagramas de Danseraeau, etc.

- Propender al desarrollo de una metodología argentina-latinoamericana de aplicación práctica de la tecnología de teledetección satelitaria a los recursos naturales.

Los objetivos mencionados fueron materializados en una serie de productos derivados directa o indirectamente de la interpretación satelitaria que se entregan con este informe y que comprenden en síntesis:

- una considerable cantidad de imágenes satelitarias empleadas en el análisis e interpretación a distintas escalas y bandas espectrales.
- diversos mosaicos satelitarios (LANDSAT-SKYLAB) de la completa Provincia de MISIONES en escala 1:250.000, y otros complementarios.
- un juego completo de inventarios base-planimétrico; hidrológico, geológico-estructural; geomorfológico; edafológico; uso actual de la tierra-tipos de vegetación, desarrollo evolutivo de áreas de frontera, polos de desarrollo y zonificación departamental a escala 1:250.000.
- un "paquete" de diversos productos complementarios que incluyen cálculo de su superficies, modelos de drenaje, block diagrams, perfiles compilados, diagramas de Danseraeau, etc.
- resultados de la experiencia multiespectral de banda angosta y realce temático.
- informe final de más de 400 hojas en 3 tomos incluyendo el Primer Compendio en español de Teledetección Satelitaria Aplicada a los Recursos Naturales y al Medio Ambiente.

Dichos trabajos tienden a permitir a los funcionarios y autoridades de decisión responsables de las distintas áreas del CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES y de la Provincia de MISIONES, contar con una información básica actualizada y objetiva, que les facilite el planeamiento y el diagnóstico cuali-cuantitativo de la región en estudio y la selección de áreas prioritarias para su desarrollo y aprovechamiento, al igual que su integración con otros ya realizados y/o en ejecución.

De esta manera el CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES - PROVINCIA DE MISIONES - AEROTERRA S.A. dan principio de ejecución en esta parte del Continente, con las reco

mendaciones formuladas por organizaciones mundiales tales como el PROGRAMA de las NACIONES UNIDAS, UNESCO, CEPAL, ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS, BANCO MUNDIAL, BANDO INTERAMERICANO DE DESARROLLO, etc., que han señalado en reiteradas oportunidades la necesidad de utilizar los elementos de la percepción remota satelitaria como uno de los medios más eficaces, rápido y económico de evaluar y manejar adecuadamente nuestros vastos recursos naturales y los distintos problemas vinculados con el medio ambiente y la ecología.

La importancia y necesidad de una amplia transferencia de esta tecnología, ha sido ampliamente comprendida por AEROTERRA S.A. y se encuentra descripta en este muy completo informe, y ojalá sus páginas puedan contribuir no sólo al desarrollo de una metodología argentina-latinoamericana de teledetección satelitaria aplicada a los recursos naturales, sino reducir, la brecha tecnológica existente en un mundo caracterizado por su superpoblación y la escasez de sus recursos básicos vitales.

Es que desde su aparición en 1972 los satélites tecnológicos para recursos terrestres conocidos con el nombre de LANDSAT, han transformado drásticamente el mundo de la información abriendo insospechados horizontes para el desarrollo de los países, y contribuyendo eficazmente y con una dimensión desconocida a la obtención de los datos básicos necesarios en la solución de los graves problemas del mundo actual.

Los trabajos entregados se realizaron teniendo en cuenta que la consecución de los objetivos propuestos debían operarse sobre la base de ciertas premisas ineludibles, tales como las que han sido graficadas en el cuadro N° 1, y con la metodología ampliamente descripta en la Sección 3 de este informe.

CUADRO Nº 1 PRINCIPALES PREMISAS QUE SON TENIDAS EN CUENTA POR
AEROTERRA S.A. PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS SATELITARIOS REGIONALES

1	Limitación en tiempo y medios económicos en relación con los objetivos impuestos y la extensión de la zona.
2	La información necesaria debe ser obtenida en la forma más rápida, económica y precisa posible, compatible con la metodología aplicada.
3	Los estudios deben realizarse teniendo primordialmente en cuenta que ellos deben servir a los proyectos de desarrollo.
4	Los estudios deben encadenarse teniendo en cuenta el paso siguiente en el proceso del análisis e interpretación.
5	El objetivo de cada paso es el de proveer información y justificación para el siguiente, siendo el último de ellos la ejecución del proyecto.

SECCION 3

METODOLOGIA

3.1. DETECCION REMOTA: GENERALIDADES.

La detección remota no es un concepto nuevo, aunque sólo recientemente se ha, acelerado la diversidad y la capacidad de esta técnica. El hombre nace provisto de sensores remotos: sus ojos responden a una pequeñísima parte visible del espectro electromagnético; sus oídos a la pequeña parte audible y su piel a la parte térmica que es algo mayor. Pero hay una gran cantidad de información del espectro electromagnético que no puede detectarla y/u observarla.

Con el correr de los siglos, el hombre ha ampliado ingeniosamente su limitada capacidad de percepción y registro a distancia. Por ejemplo, la mayoría de la gente está familiarizada con los telescopios y las cámaras empleados para detectar y registrar la luz y con los radioreceptores que captan una amplia gama de frecuencias. Pero, no muchos conocen los radiómetros de micro-ondas, usados para registrar frecuencias superaltas, los "scintillómetros" para medir la radioactividad, los dispositivos exploradores de rayos infrarrojos para comprobar la radiación térmica, etc. Algunos de estos instrumentos especiales han ampliado el alcance de la observación consciente (por ejemplo los magnetómetros), mientras que otros han permitido hacer observaciones en condiciones que antes eran desfavorables (por ejemplo la penetración de las nubes con el radar). En consecuencia, la expresión detección remota ha venido a significar la percepción de ciertas radiaciones electromagnéticas que penetran en la atmósfera y la resolución de detalle en grado aceptable.

El objeto de la detección remota es hacer observaciones y/o mediciones de un "blanco". Por regla general, este blanco está situado en la superficie de la tierra, a alguna distancia del sensor y separado de éste por una columna de atmósfera. Por lo tanto, para conseguir mediciones válidas, la radiación debe ser transmitida por el aire. Al mismo tiempo, el reconocimiento y análisis del blanco (y de su fondo), requiere cierto grado de resolución de detalle. En gran parte, la resolución refleja el contraste de las propiedades físicas del blanco con su fondo, pero también la magnitud de la atenuación entre el blanco, el sensor y la definición espacial del sensor.

La detección remota puede efectuarse desde diversas plataformas, incluidos vehículos automotores, aeronaves y naves espaciales (Figura N° 1). Cada combinación

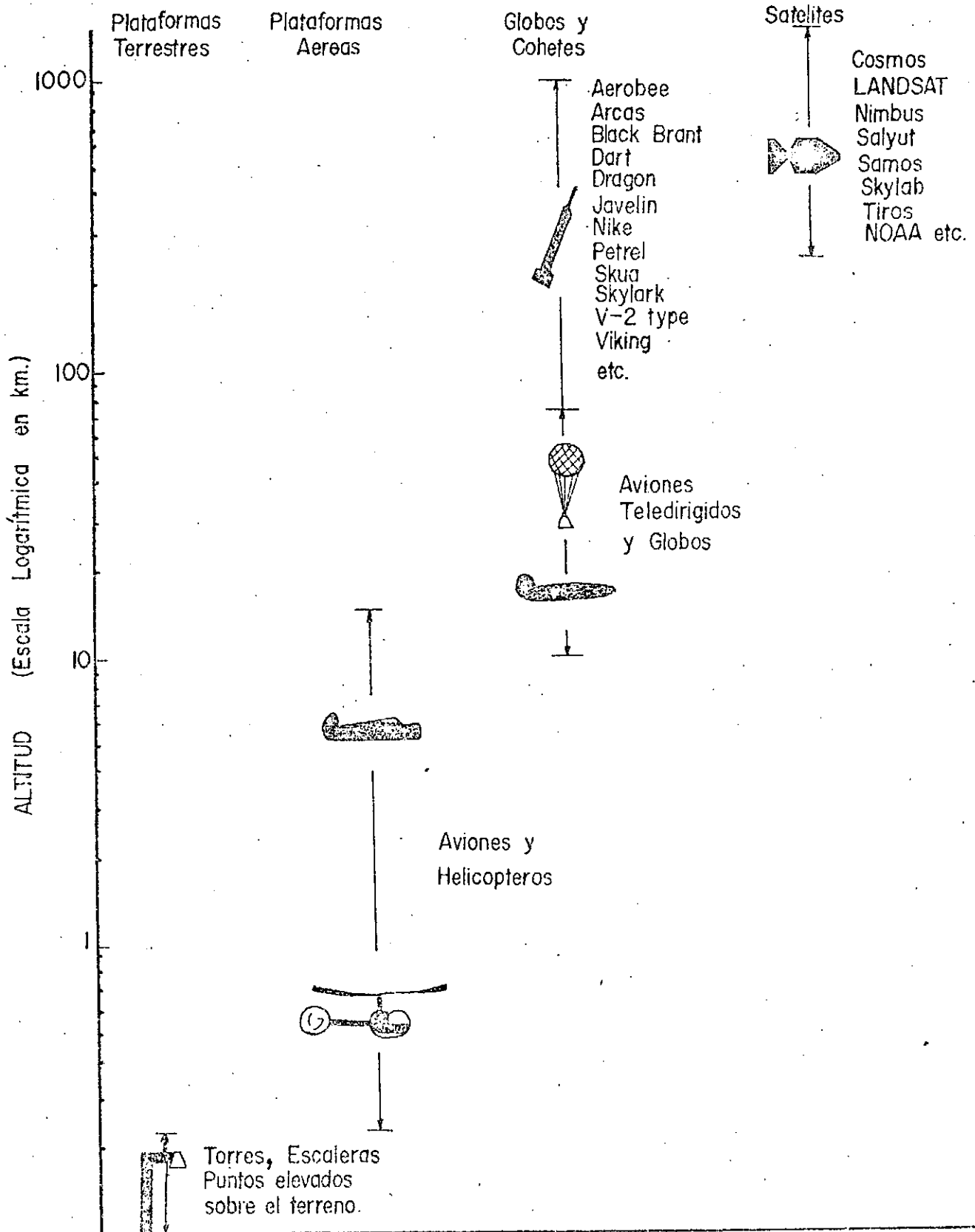


FIGURA I Altitudes correspondiente a diversas plataformas de percepción remota.

de plataforma y sensor tiene ventajas e inconvenientes peculiares. Por ello, es preciso elegir con cuidado la combinación idónea para satisfacer los objetivos del trabajo de detección remota que se hace. Hasta donde se conocen las características propias de un blanco, es posible elegir o diseñar un sensor para su detección y observación. Desde luego, puede emplearse una combinación de sensores para proporcionar información más completa sobre un blanco, pero no, sin que aumente inevitablemente el volumen de los datos a interpretar.

Es útil aquí recordar las palabras del Dr. en Ciencias Físicas D. ALLEN M. FEDER, Jefe de la Sección Análisis del Terreno del Departamento de Geociencia de la Universidad de Texas (USA), que al referirse a los sensores modernos enfatiza dos aspectos fundamentales a tener en cuenta:

1. Los datos producidos por el sensor sólo son tan efectivos como sea su interpretación.
2. Ningún sensor, por sí solo, está en condiciones de satisfacer todos los requerimientos de adquisición de datos.

Nuevas técnicas, para la adquisición simultánea de las imágenes de sensores remotos en diferentes bandas espectrales, como la experiencia multiespectral de banda angosta y realce temático de cierta clase de información, realizada por vez primera en ARGENTINA por AEROTERRA S.A., ya mencionada en la Introducción y descrita en este informe, aumentan su utilidad y precisión en el proceso de interpretación.

De igual manera la evolución de los equipos automáticos de procesamiento, interpretación, registro, etc., permiten la extracción de información en un alcance nunca antes obtenido por los medios tradicionalmente empleados.

WILLIAM FISHER, Director Asociado y Científico en Jefe del Programa EROS del USGS, al sintetizar el estado actual de la tecnología de sensores remotos, señaló las cuatro condiciones básicas para su aprovechamiento:

1. Desarrollar la tecnología de observación.
2. Desarrollar la habilidad para interpretar las observaciones y conocimientos de los recursos en sentido ambiental.

3. Adoptar los sistemas científicos de clasificación de recursos para poder así proveer un óptimo uso de los datos.
4. Establecer la aceptabilidad científica y/o credibilidad legal de una interpretación dada.

3.2. CICLO METODOLOGICO INTERPRETACION SATELITARIA.

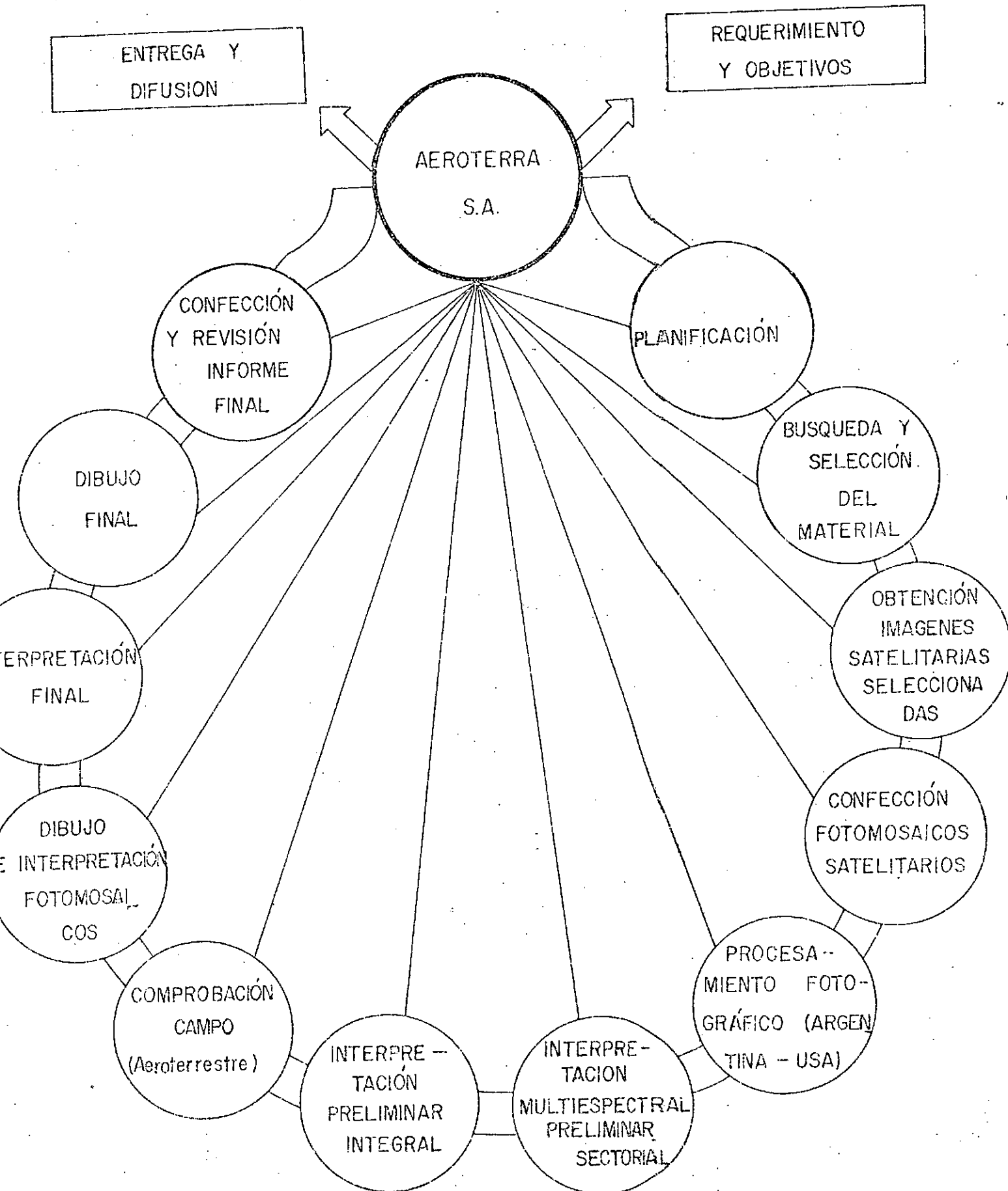
La figura N° 2 diagrama las distintas etapas que conforman el ciclo metodológico de la interpretación satelitaria-multiespectral-multidisciplinaria observada por AEROTERRA S.A. en la obtención de los presentes inventarios.

Sintetiza además, los distintos pasos o etapas interdependientes, desde la formulación de los requerimientos y la fijación de los objetivos, hasta la entrega y difusión de los resultados entregados en el corto plazo de este estudio, que en relación a la superficie estudiada y los distintos inventarios de recursos realizados obtenidos en el corto tiempo de este concurso (105 días), ha constituido a no dudarlo un verdadero desafío técnico que AEROTERRA S.A. place en resaltarlo, e imposible de lograr con los métodos tradicionalmente conocidos y empleados hasta el presente.

Los distintos estudios entregados fueron realizados por el equipo multidisciplinario de intérpretes, personal profesional de asesores, auxiliares, etc., bajo la dirección del Ingeniero ALBERTO BENITO VIOLA, Presidente de AEROTERRA S.A. La interpretación de las imágenes satelitarias propiamente dicha, puede resumirse en tres etapas fundamentales:

- a) la primera etapa consistió exclusivamente en una fotointerpretación objetiva de las distintas imágenes multiespectrales teniendo especial consideración con las imágenes LANDSAT infrarroja color y/o color SKYLAB.
- b) la segunda etapa consistió en la verificación de la interpretación realizada utilizado como base de control los mapas e información disponibles y/o el reconocimiento terrestre-aéreo.
- c) la tercera etapa consistió, una vez finalizada la revisión de la interpretación, en una evaluación final multiespectral-secuencial-multidisciplinaria, con el dibujo cartográfico correspondiente.

FIGURA 2 CICLO METODOLOGICO DE LA INTERPRETACIÓN MULTIESPECTRAL SATELITARIA OBSERVADO POR AEROTERRA S.A.



3.3. ORGANIGRAMA Y ADQUISICION DE LA INFORMACION.

En la realización de los trabajos descriptos en este informe y obtención de los diversos productos e inventarios entregados, AEROTERRA S.A. aplicó el organigrama de trabajo resumido y graficado en la figura N° 3 ya empleado con éxito en otros estudios similares, tales como el Proyecto de Aprovechamiento Múltiple RIO PILCOMAYO (ARGENTINA-PARAGUAY); Provincia de CORRIENTES, Provincia de FORMOSA, etc.

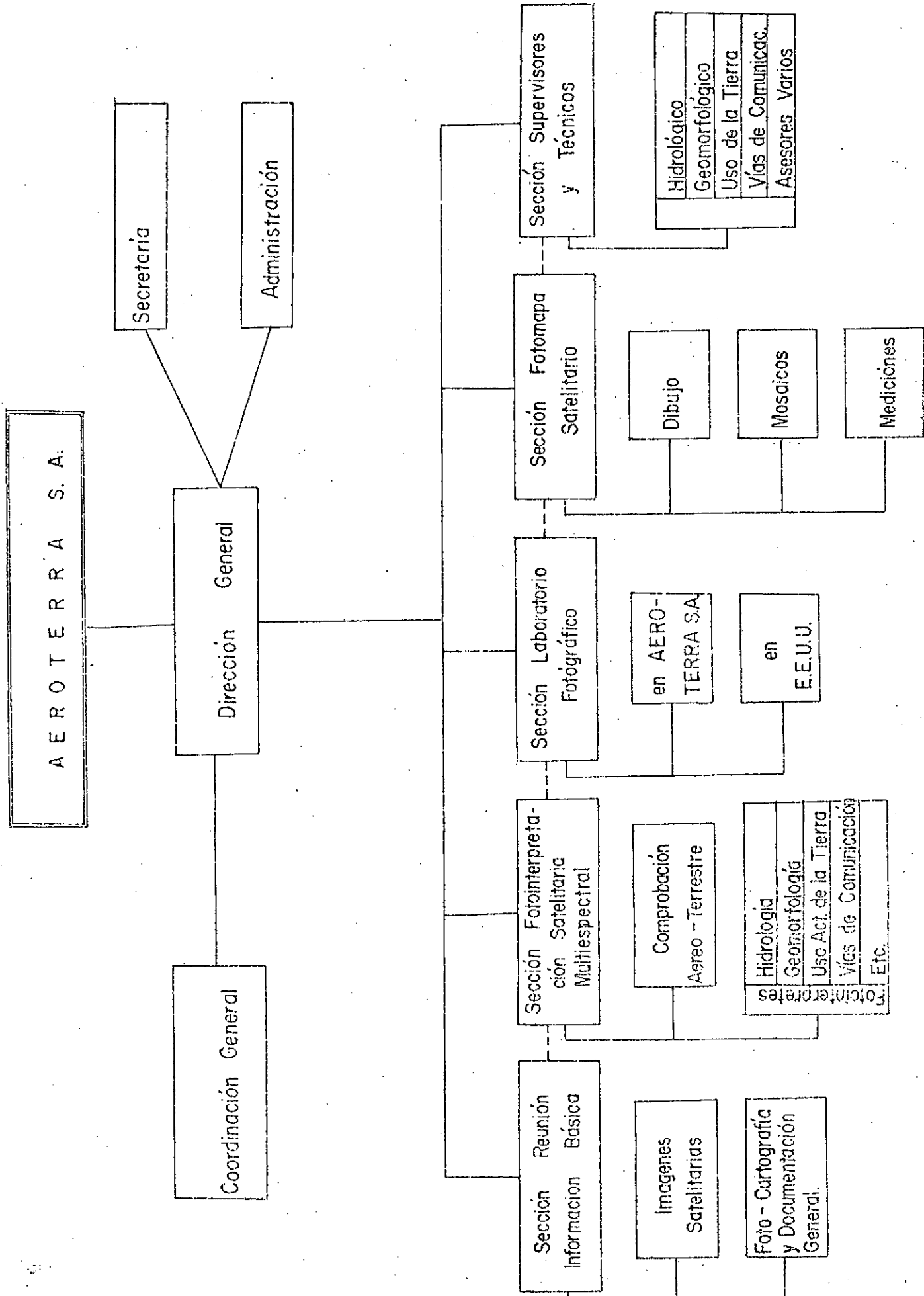
Los distintos estudios realizados se han basado en la aplicación práctica de la tecnología de los programas satelitarios LANDSAT-SKYLAB, que han demostrado que la teledetección del espacio de los recursos naturales y problemas asociados con el medioambiente, es un procedimiento práctico, rápido y económico para su evaluación, administración y/o desarrollo.

La teledetección remota de nuestros recursos y el medio ambiente ha cobrado una nueva dimensión desde el 23 de julio de 1972, fecha del lanzamiento del ERTS-1 (LANDSAT es el nombre actual) (Figura N° 4) y del 22 de enero de 1975, fecha de la puesta en órbita del LANDSAT-2. El lanzamiento del LANDSAT-3 está previsto para fines de 1977 o principios de 1978.

Después de 3 años y medio de operación del LANDSAT-1, este ha completado cerca de 18.000 órbitas y ha adquirido más de 200.000 imágenes multiespectrales procesadas en casi 5.000.000 de diferentes productos, fotografiando el 100% del territorio de los EE.UU. y el 78% del resto de las masas terrestres del globo, bajo condiciones "cloud-free" (sin nubes, definida por NASA aquellas imágenes con un porcentaje menor del 30% de nubes). En nuestro país el cubrimiento existente sobrepasa el 80% de la superficie terrestre.

Probablemente uno de los más importantes beneficios del análisis de las imágenes LANDSAT en áreas extensas, como la del presente estudio, es la perspectiva regional obtenida que se transforma en invalorable herramienta a disposición de los planificadores, autoridades de decisión, etc.

Los sensores a bordo de los satélites transmiten sus datos electrónicamente a las estaciones receptoras, ya sea en directo o a partir de grabadoras de cinta magnética. Cuando se encuentran fuera del alcance de las estaciones receptoras en tierra, los satélites pueden almacenar los datos en grabadoras de video de banda ancha y transmitirlos cuando vuelven a estar dentro del radio de dichas estaciones. A su vez las señales electrónicas se convierten en imágenes pseudofotográficas y cintas compatibles con computadores en el Centro de Vuelos Espaciales de la NA-



SA, y enviadas a los centros de distribución.

Los satélites LANDSAT están equipados con tres sistemas de adquisición de datos: un vidicon de retorno de haz (RBV) (figura Nº 5) parecido a un circuito de televisión; un espectrómetro multiespectral (MSS) (figura Nº 6) y un sistema de recopilación directa de información (DCS) que transmite datos numéricos sobre el medio ambiente desde las plataformas de recopilación de datos situadas en tierra a un punto central. El RBV y el MSS son de importancia capital, ya que constituyen los únicos sistemas de formación de imágenes a bordo de los satélites.

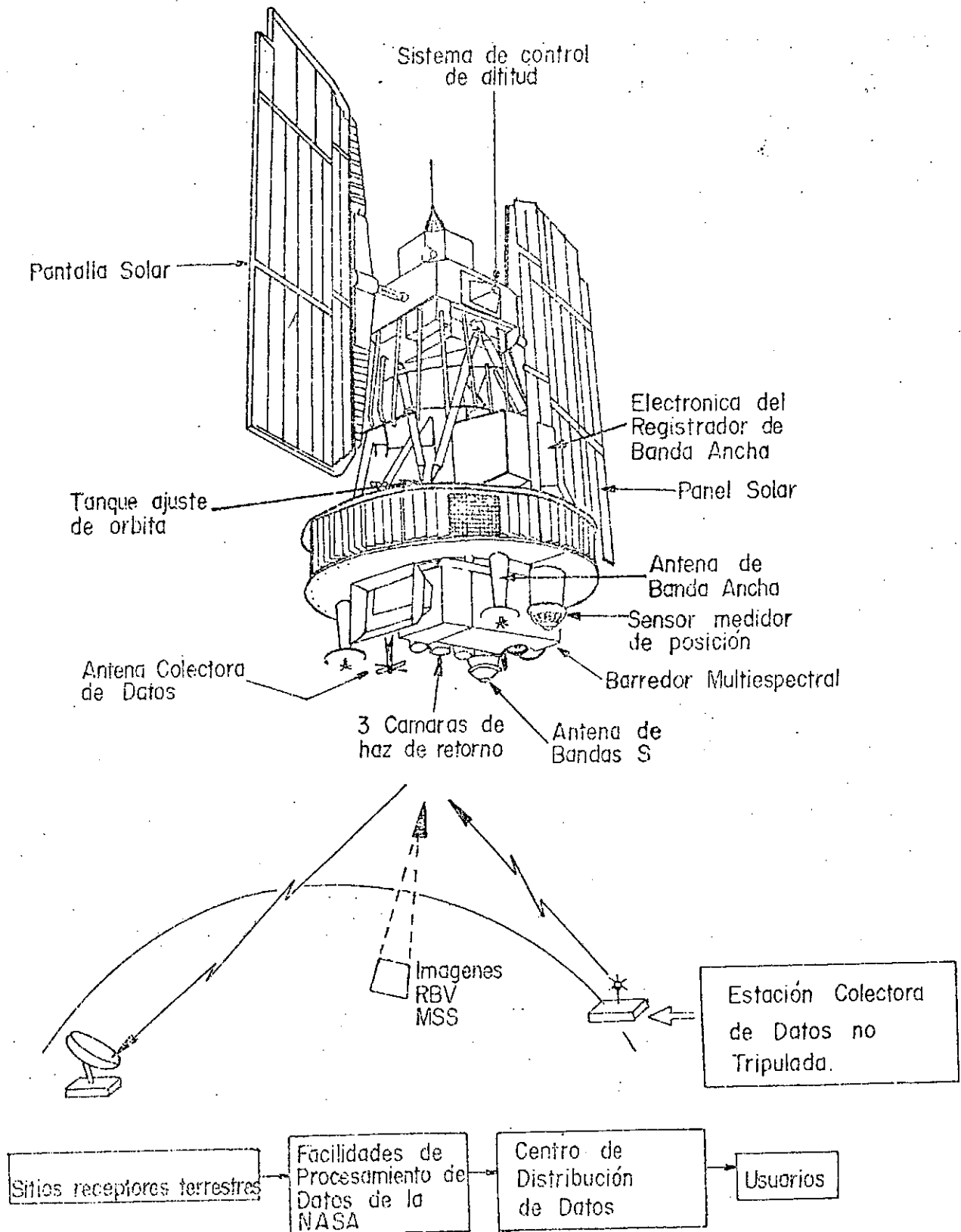
En la actualidad el aprovechamiento práctico en el LANDSAT 1 y 2 corresponde casi íntegramente a las del barredor multiespectral MSS, y ellas han sido las utilizadas en estos estudios por AEROTERRA S.A., y/o complementadas con las existentes del SKYLAB.

3.4. EL PROCESO DE FORMACION DE LA IMAGEN EN EL BARREDOR MULTIESPECTRAL MSS, EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO Y LA REFLECTANCIA ESPECTRAL.

Como es descripto en el Compendio de Teledetección Satelitaria aplicada a los Recursos Naturales y el Medio Ambiente desarrollado y publicado por AEROTERRA S.A., el sistema MSS del LANDSAT pertenece a la categoría de las cámaras panorámicas que producen la geometría dinámica de la imagen. La imagen se forma a través de un barrido secuencial a lo largo del trayecto de vuelo.

Las líneas individuales de barrido proveen una visión en perspectiva del terreno, mientras que el fotografiado de los detalles del terreno que se alinean a lo largo del trayecto, pueden considerarse teóricamente como una proyección ortográfica.

Existen sin embargo diversos factores instrumentales, físicos y geométricos, que afectan la simple relación descripta anteriormente, causando distorsiones geométricas en la imagen y la precisa ubicación de las coordenadas geográficas. Algunos factores están relacionados con las líneas individuales de barrido y pueden ser definidos apriori, teniendo conocimiento de la información orbital básica. Otras distorsiones involucran factores impredecibles y no pueden solucionarse tan fácilmente. En este caso, debe obtenerse una información absoluta e independiente con el fin de determinar o controlar la deformación, mediante la correspondiente información de control terrestre.



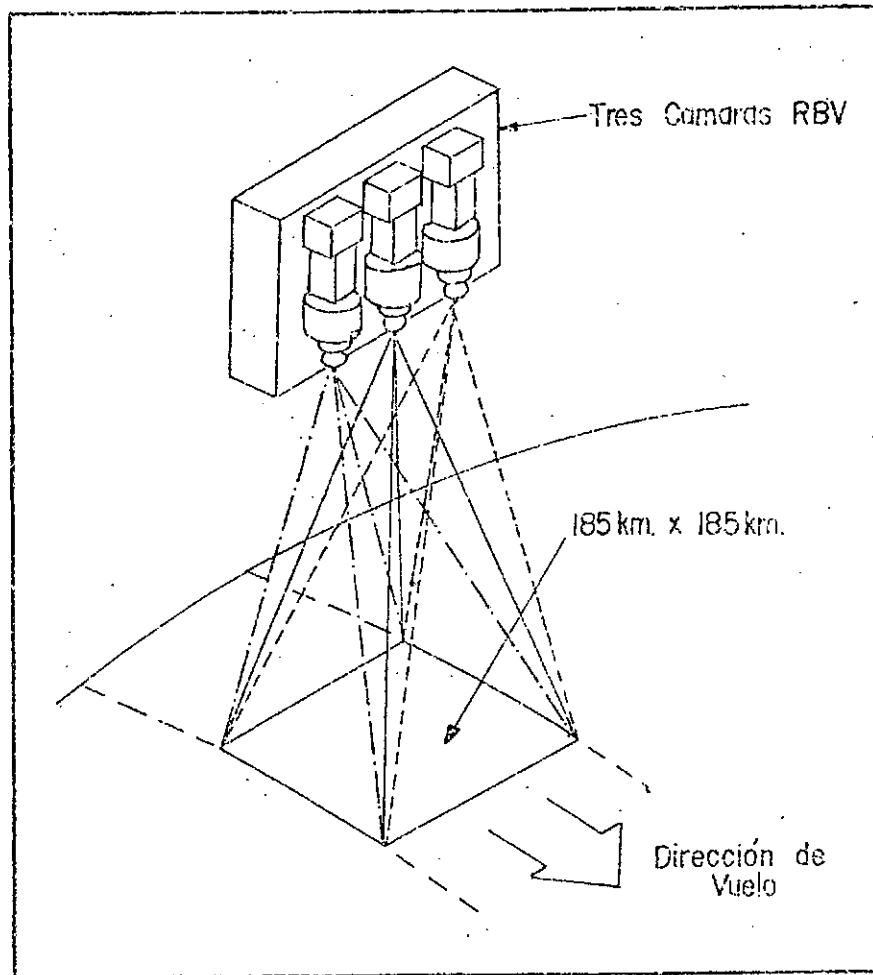


FIGURA Nº 5 SENSOR RBV DEL LANDSAT

Para comprender más acabadamente la información contenida en el MSS, la energía radiante reflejada por los objetos y condiciones del terreno que alcanza el sensor, es detectada por el espejo barredor giratorio y el sistema óptico del MSS (figura N° 6) que las separa en las cuatro bandas espectrales conocidas: (4 y 5 pancromáticas; 6 y 7 infrarrojas). La energía detectada en cada banda es a su vez convertida en una señal eléctrica y luego en forma digital (0 a 63) que es transmitida a tierra vía telemétrica a las estaciones receptoras terrestres y registradas en cintas magnéticas y luego convertidas en fotografías.

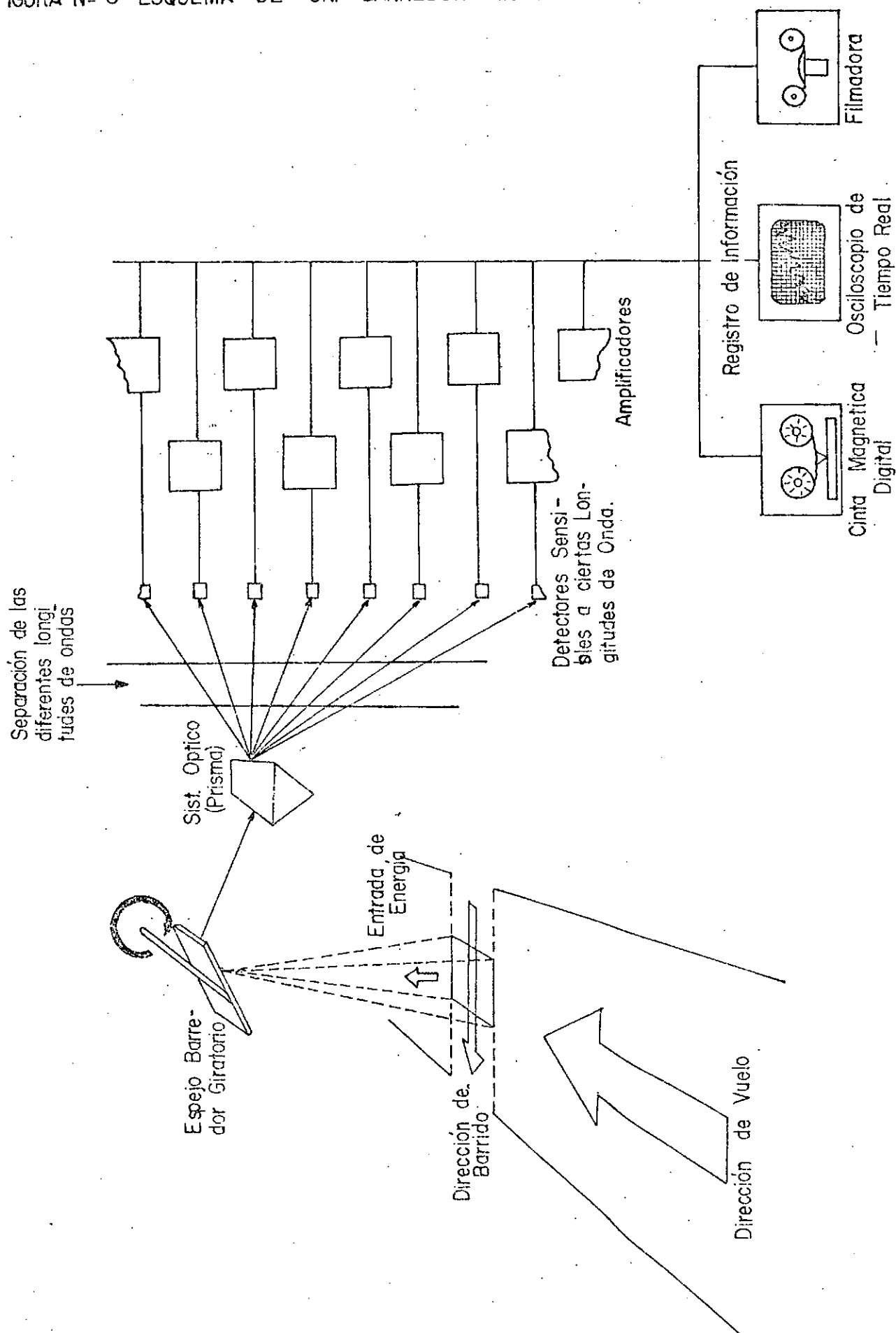
El campo instantáneo de vista es llamado o conocido como "pixel" (mínimo elemento de resolución terrestre igual a 1,1 acres ó 0,4 hectáreas). Se requiere un total de 2.340 líneas de barrido para definir cualquier imagen del LANDSAT cubriendo un área en la superficie terrestre de 185 kilómetros. A su vez, cada línea de barrido está formada por 3.240 "píxeles"; o sea que cada imagen satelitaria analizada en este estudio contiene 7.581.600 píxeles o mínimo elemento de resolución terrestre.

Para comprender el contenido informativo se debe considerar la secuencia de medición del sensor MSS (Barredor Multiespectral). El campo instantáneo de vista del MSS sobre la superficie terrestre encuadra como se expresó, un área de aproximadamente 0,4 hectáreas (pixel). Un espejo barredor provoca que el campo instantáneo de vista sea expandido a lo largo de líneas perpendiculares al desplazamiento orbital del satélite, y las mediciones se efectúan a intervalos sucesivos a lo largo de cada línea de barrido. De esta forma el MSS mide secuencialmente el reflejo espectral de 3.240 píxeles contiguos a lo largo de cada línea de barrido.

El espectrómetro multiespectral o barredor MSS (figura N° 6) consta de cuatro juegos de sensores electro-ópticos. Cada juego dispone de un filtro que permite registrar selectivamente la energía-luz que emite cada banda del espectro electromagnético. Las imágenes se forman captando la energía reflejada por la superficie terrestre en un espejo oscilante, a bordo del satélite, y haciendo pasar esos rayos a través de un sistema telescópico a los cuatro juegos de fibras ópticas filtrantes. Estas fibras retransmiten la energía electromagnética captada a una serie de tubos fotomultiplicadores que la convierten en energía eléctrica; ésta se transforma inmediatamente en valores numéricos que se envían mediante telemetría a las estaciones receptoras en tierra o se almacenan en cintas magnéticas.

Debido a la rotación de la tierra y al hecho de que se forman mediante un explorador óptico-mecánico, las imágenes que produce el MSS de los satélites LANDSAT son paralelogramos y no cuadrados. Sus lados son paralelos a la trayectoria orbital del satélite sobre la superficie terrestre.

FIGURA Nº 6 ESQUEMA DE UN BARREDOR MULTIESPECTRAL



La imagen captada por el MSS es en realidad una tira continua, pero al elaborar los datos registrados se le da un formato que coincide con los bordes inferior y superior de la imagen que obtiene el REV, lo que resulta en una imagen que abarca una superficie aproximada de 34.225 Km².

Las bandas espectrales de los cuatro sensores del MSS corresponden al verde (0,5-0,6 micrones), rojo (0,6-0,7 micrones) e infrarrojo próximo (0,7-0,8 y 0,8-1,1 micrones). En las imágenes LANDSAT se identifican como bandas 4, 5, 6 y 7 del MSS, respectivamente. La precisión geométrica de las imágenes que capta el MSS no es tan buena como la que se hubiera podido obtener con las imágenes del RBV, pero la exactitud radiométrica es muy superior.

La adquisición de imágenes por medio de sensores remotos como el barredor MSS, depende de la detección y registro de la energía electromagnética reflejada o emitida por la superficie de los objetos o rasgos (naturales o artificiales), dentro del campo de vista del sensor. Los modelos formados están en función de la interacción entre el objeto y la energía dentro del espectro electromagnético.

Los sensores remotos operan en diferentes regiones del espectro electromagnético (ver figura N° 7) la fotografía es sensible a la energía en la porción visible y cercana-visible (0.3 a 1.2 μ m.) del espectro; los exploradores infrarrojo termal generalmente operan dentro de bandas entre 1.0 a 20 μ m.; y los radares operan en las longitudes de onda multimétricas y métricas.

Cuando la energía choca con un objeto sólido, ella es o reflejada, absorbida o transmitida (ver figura N° 8). El grado de reflexión, absorción o transmisión es función de las propiedades del material y de la longitud de onda de la energía. Algunos materiales son buenos reflectores a ciertas longitudes de onda y transmiten o absorben energía a otras longitudes de onda. Es este fenómeno el que hace que un material tenga un particular "color" o "tono". Un material que absorbe energía puede ser calentado a un nivel superior al del medio que lo circunda, provocando la reemisión de la energía. El nivel en que un material desprende calor se denomina "emitividad". Las variaciones de tono en una imagen infrarrojo termal se manifiestan así, por diferencias en las temperaturas radiométricas de los materiales existentes dentro de la escena.

Los materiales terrestres responden de modo diferente a la energía de las diversas longitudes de onda, lo cual depende de sus propiedades físicas y químicas, configuración superficial y dureza, intensidad de la iluminación y ángulo de incidencia. Las distintas respuestas de los materiales terrestres, cuando son registrados en las imágenes de los sensores remotos, forman modelos que proporcionan medios para discriminar los rasgos terrestres. A través del análisis de estos modelos y de la relación entre los mismos, el intérprete de las imágenes deduce la identidad de los materiales terrestres.

FIGURA Nº 7 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO (Según SHERZ y STEVENS, 1970)

CURVAS DE RADIACION DE UN CUERPO NEGRO Y RADIACION SOLAR

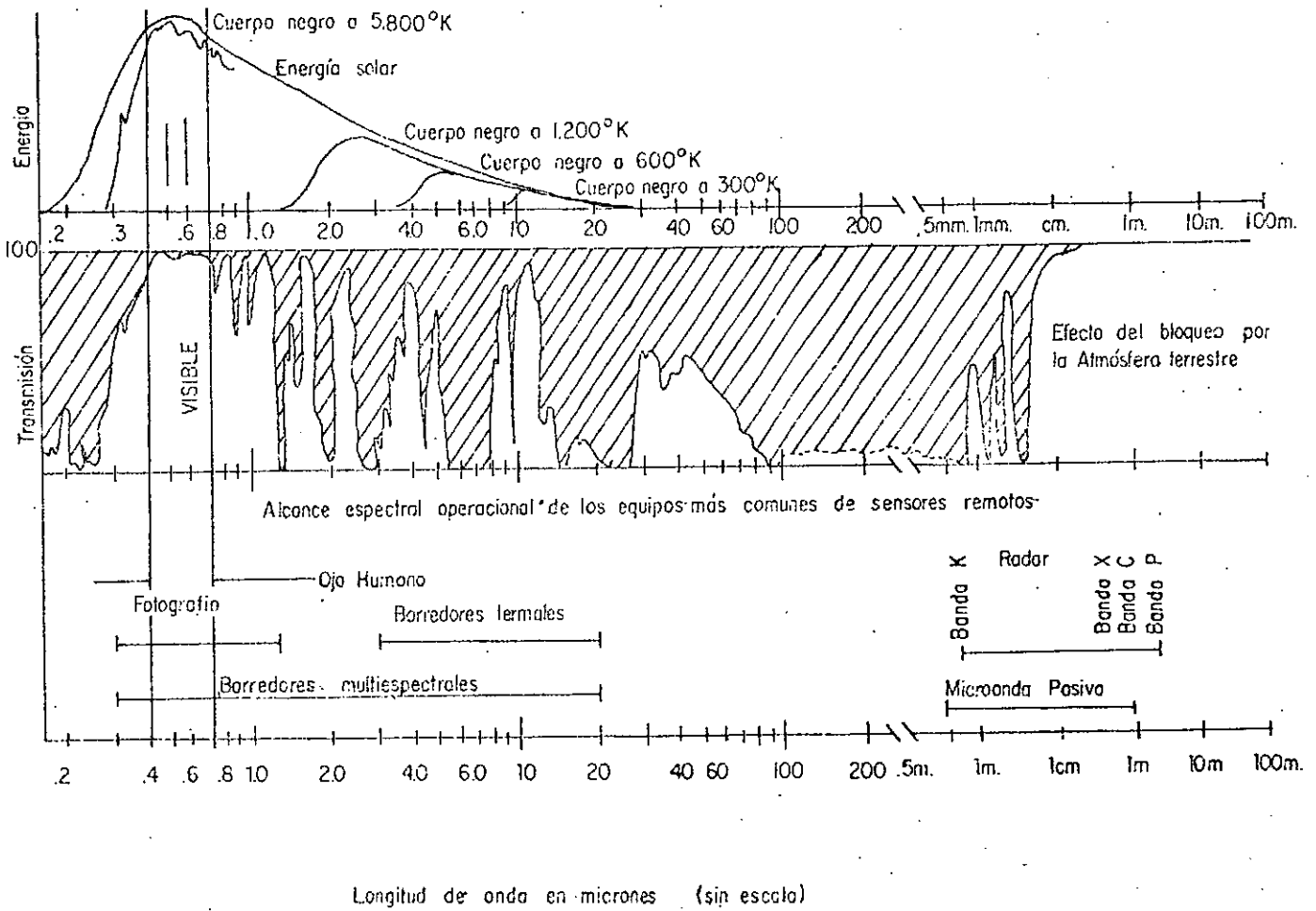
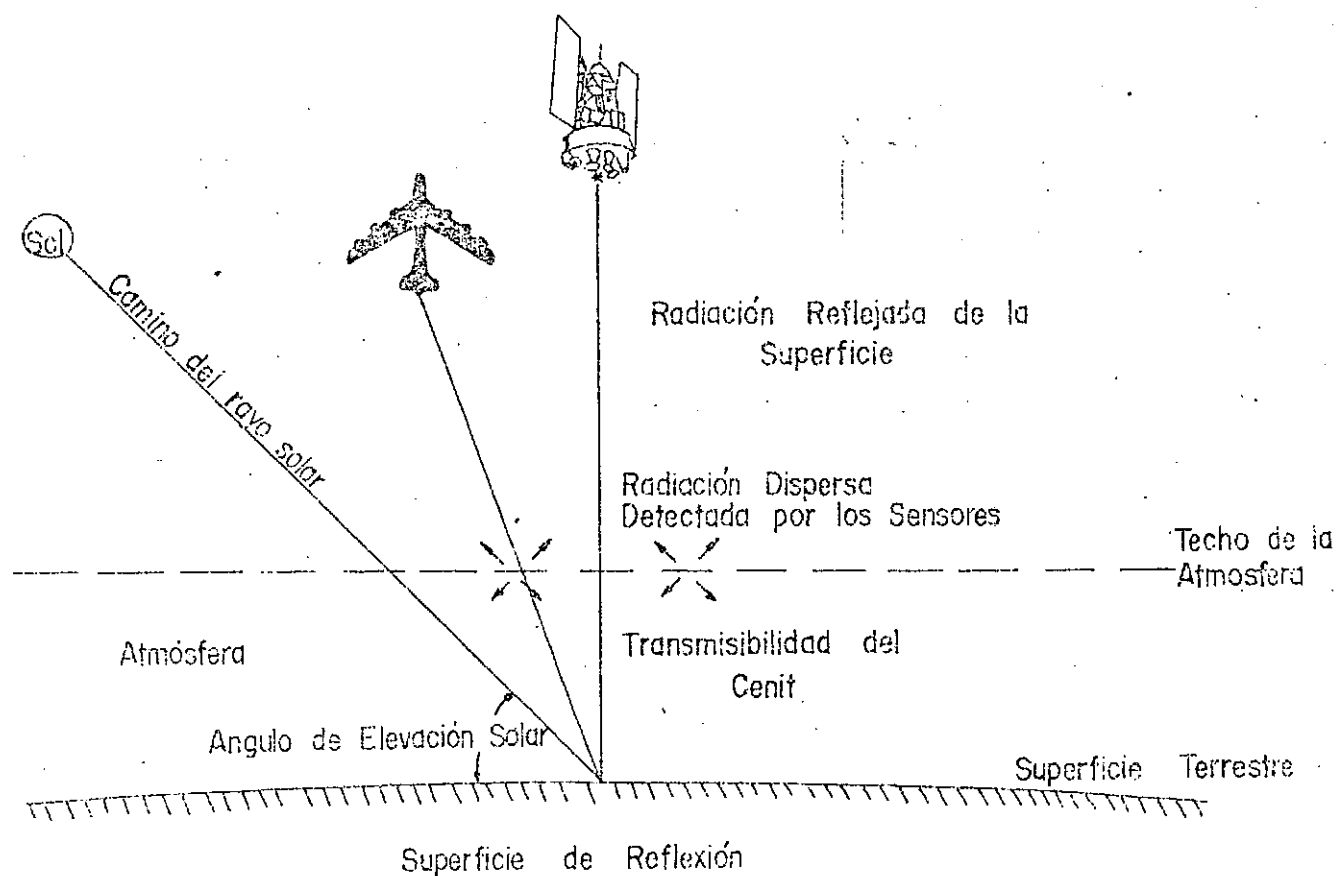


FIGURA N° 8 TRAYECTORIA DE LA RADIACION SOLAR A TRAVES DE LA ATMOSFERA HASTA EL SENSOR REMOTO. (USGS)



Debido a que los distintos tipos de sensores remotos registran en diferentes bandas de energía y con diferentes resoluciones, sensibilidades y distorsiones, el analista puede generalmente reconocer el proceso de formación de las imágenes y determinar el significado de los rasgos contenidos en las mismas.

Reducido a sus elementos fundamentales, el proceso de formación de imágenes (ver figura N° 7), incluye:

- 1) una fuente de energía electromagnética
- 2) transmisión de esa energía desde la fuente a la superficie terrestre
- 3) reflexión o re-emisión de la energía desde la superficie terrestre
- 4) transmisión de la energía desde la superficie al sensor remoto
- 5) registro de la energía por el detector
- 6) procesamiento del registro efectuado por el detector para formar una imagen visible.

Así por ejemplo las dos bandas infrarrojas son sensibles a la reflectancia de los rayos solares en objetos y condiciones terrestres en un alcance fuera de la sensibilidad del ojo humano. Uno de los materiales más reflectivos es la vegetación sana, al que se le asigna el color rojo de la imagen. El agua absorbe los rayos solares y aparece negra cuando ella es clara o profunda. Colores intermedios muestran las aguas contaminadas, sedimentadas, mezcladas, etc. Ciudades, caminos, etc., aparecen en un color azul-gris borroso.

La figura N° 9 grafica el espectro de reflexión de una hoja verde típica y el espectro de absorción del agua entre longitudes de onda de 0.4 μm y 2,6 μm . La figura N° 10 grafica el pronóstico de tonos fotográficos obtenidos del análisis espectral. Estos tonos se grafican en función de la reflectancia, la intensidad de la luz dispersada, la sensibilidad y el porcentaje de transmisión. En función de estos conocimientos se establece el tono pronosticado en las placas positivas.

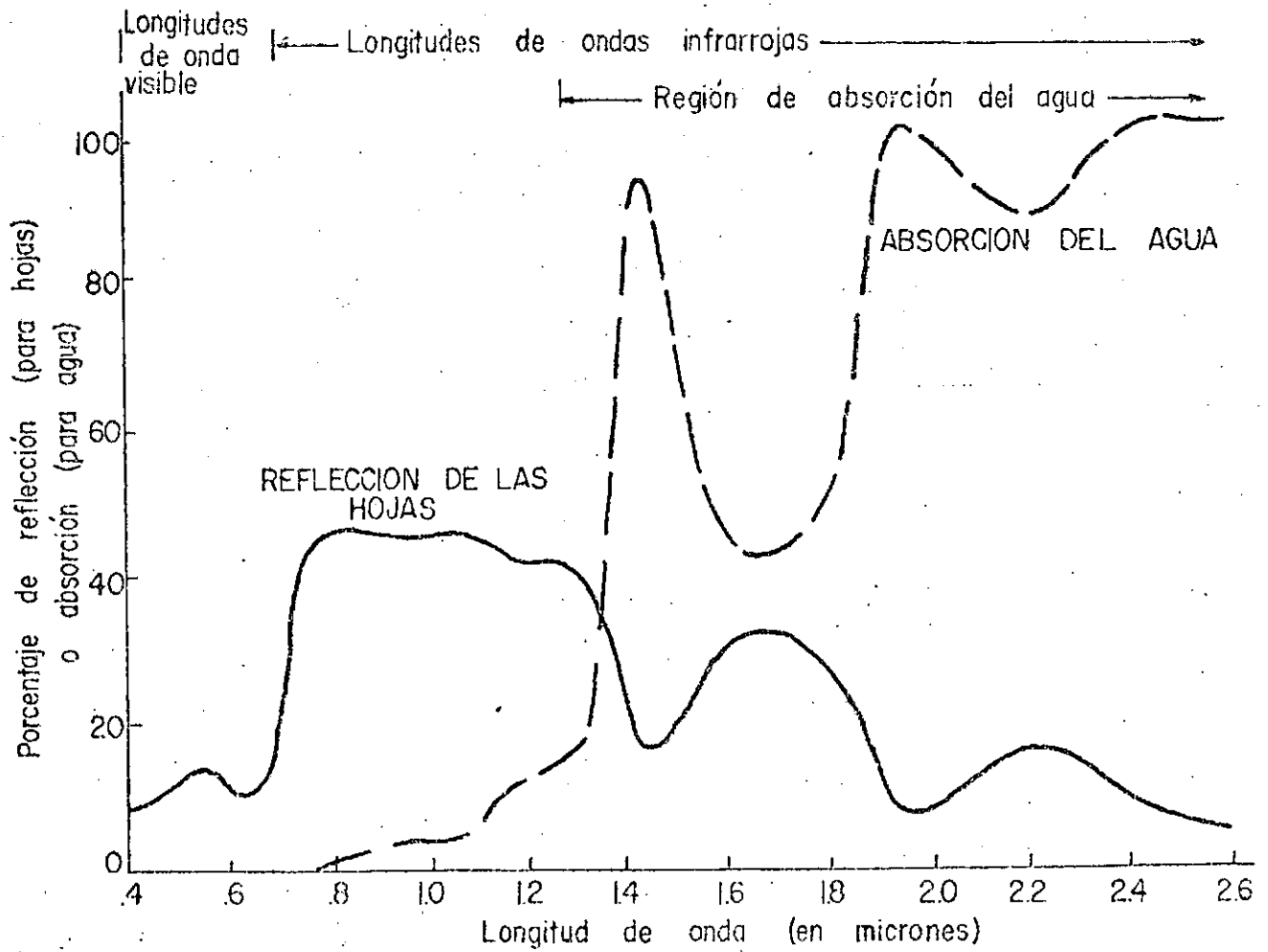
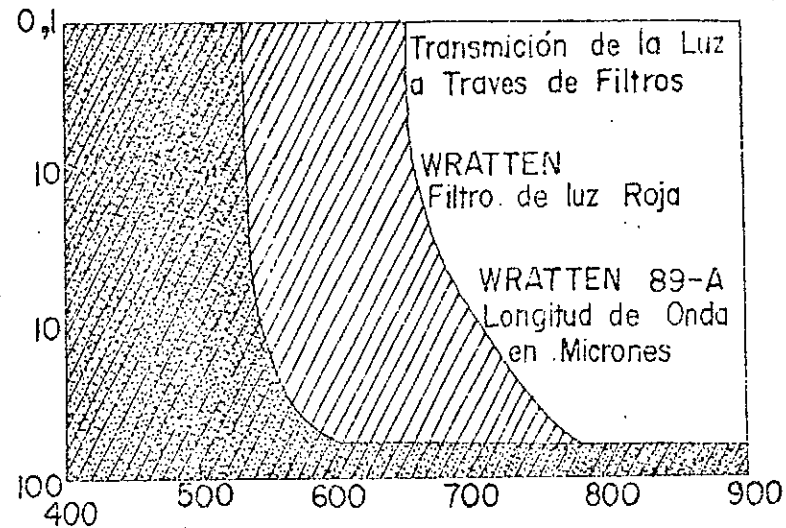
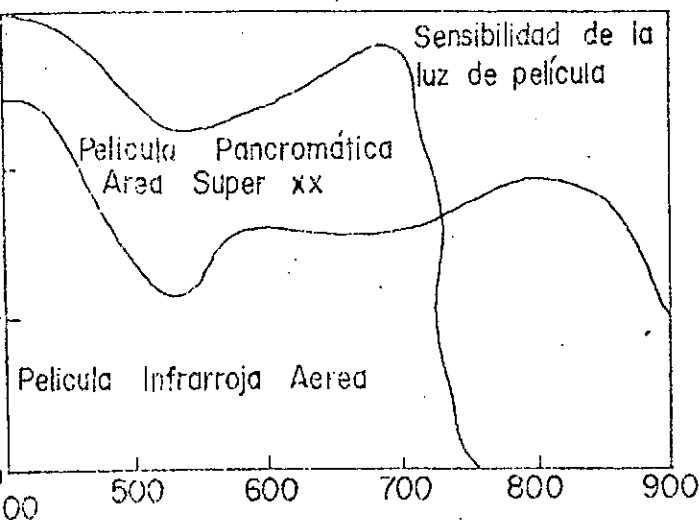
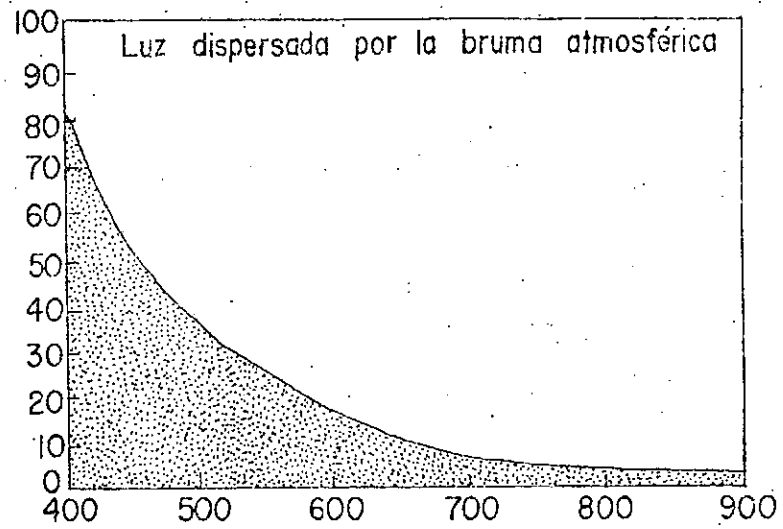
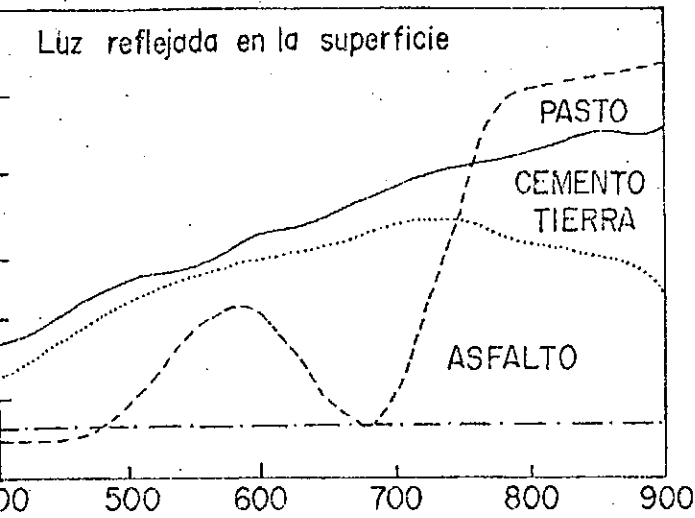


FIGURA Nº 9 ESPECTRO DE REFLECCION DE UNA HOJA VERDE TIPICA, Y ESPECTRO DE ABSORCION DEL AGUA ENTRE LONGITUDES DE ONDA DE 0.4 μm y 2.6 μm .

FIGURA Nº 10 PRONOSTICO DE TONOS FOTOGRAFICOS OBTENIDOS DEL ANALISIS ESPECTRAL



TIPO DE SUPERFICIE.	TONO PRONOSTICADO EN LAS PLACAS POSITIVAS	
	PAN - 25 - A	INFRARROJO - 89 - A
PASTO	OSCURO	CLARO
CEMENTO	CLARO	CLARO
ASFALTO	OSCURO	OSCURO
TIERRA	CLARO	OSCURO

3.5. UTILIZACION ESPECIFICA DE LAS DISTINTAS BANDAS ESPECTRALES SATELITARIAS.

En las distintas secciones de este informe es ampliada la descripción de la metodología utilizada en la interpretación multispectral multidisciplinaria de las imágenes satelitarias analizadas para obtener los correspondientes inventarios a escala 1:250.000.

En el "COMPENDIO DE TELEDETECCION SATELITARIA APLICADA A LOS RECURSOS NATURALES Y EL MEDIO AMBIENTE", que se provee por separado, se aclara y completa aquellos conceptos básicos que han sido tenidos en cuenta para lograr los resultados alcanzados. Este compendio especialmente preparado y adaptado por AEROTERRA S.A. constituye un valioso aporte a la transferencia tecnológica y capacitación del personal, y es uno de los primeros en su clase en idioma español.

Ejemplos de la técnica de análisis en cuanto a la utilidad específica de cada banda espectral del barredor MSS del LANDSAT pueden apreciarse en las diversas imágenes satelitarias que ilustran el presente informe, y en los datos que se consiguen en los respectivos cuadros de interpretación satelitaria comparativa, secuencial, etc.

Para coadyuvar al logro de los conceptos expresados anteriormente se ha creído conveniente resumir a continuación las ventajas y desventajas más significativas para cada una de las bandas espectrales del barredor MSS teniendo en cuenta su sensibilidad espectral.

BANDA 4 (Azul-espectro visible) 0.5 a 0.6 micrones

- El contraste tonal es pobre.
- Los cuerpos de agua no son claramente perceptibles. Los límites son ambiguos y muchas veces no pueden ser diferenciados de la vegetación.
- El diseño de avenamiento es borroso.
- Los límites de las unidades litológicas no son claros.
- Los lineamientos topográficos no están definidos.
- Los centros poblados y las vías de comunicación se identifican parcialmente.

BANDA 5 (Verde-espectro visible) 0.6 a 0.7 micrones.

- Contraste tonal regular.
- El límite de los cuerpos de agua no es muy definido.
- El diseño de avenamiento y de las llanuras aluviales son muy buenos.
- Los límites de las unidades del uso de la tierra son más evidentes y pueden ser más fácilmente separadas.
- Los lineamientos topográficos se observan claramente.
- Los centros poblados y las vías de comunicación son mejores identificadas.

BANDA 6 (Rojo-infrarrojo cercano) 0.7 a 0.8 micrones.

- Contraste tonal pobre.
- Los cuerpos de agua están bien definidos.
- Los diseños de avenamiento son borrosos.
- Las unidades no pueden ser claramente identificadas.
- Se pueden verificar correctamente los lineamientos topográficos.
- Los centros poblados y vías de comunicación se ven borrosos.

BANDA 7 (Rojo-infrarrojo cercano) 0.8 a 1.1 micrones.

- Contraste tonal pobre.
- Los cuerpos de aguas y los ríos principales aparecen muy bien delineados.
- El diseño de avenamiento es muy bueno.
- Las unidades identificadas son medianamente diferenciadas.
- Los límites topográficos pueden verificarse.
- Los centros poblados y las vías de comunicación no se observan, salvo casos excepcionales.

De igual manera el Cuadro N° 2 ejemplifica la interpretación multiespectral comparativa de las imágenes LANDSAT (Bandas 4, 5, 6 y 7), realizado por AEROTERRA S.A. en relación con los principales rasgos hidrológicos por ellas detectadas.

CUADRO N° 2

EJEMPLO UTILIZACION HIDROLOGICA BANDAS ESPECTRALES MSS

	BANDAS			
	4	5	6	7
Ríos y Arroyos	MM	M	R	MB
Anastomamiento	M	R	R	MB
Meandros abandonados	MM	B	B	MB
Zonas de inundación actuales	M	R	MB	B
Zonas de inundación potenciales	B	MB	R	R
Características Litohidrológicas	M	R	B	MB

MM: Muy mal. M: Mal. R: Regular. B: Bueno. MB: Muy bueno.

3.6. EL PROCESO DE INTERPRETACION.

La importancia de la interpretación de las fotografías aéreas y recientemente el de las imágenes satelitarias al estudio y evaluación de los recursos naturales y del ambiente geográfico, es reconocido mundialmente desde hace varios años, al punto que ninguno de los estudios del terreno pueden o deben iniciarse sin su utilización (Fred W. FOSTER).

Aunque sus aplicaciones son tan variadas y numerosas como los científicos y técnicos que las emplean, ellas sirven fundamentalmente para tres propósitos: a) como fuente de información general. b) Como base para levantamientos o estudios detallados. c) Como base para el planeamiento y programa de desarrollo y/o inversión.

Lógicamente, la extracción de información útil no es una fácil tarea. La misma, para ser realizada en forma satisfactoria, requiere ciertas condiciones indispensables que deben ser tenidas en cuenta y que puedan resumirse en las siguientes fundamentales:

- a) Las imágenes deben tener una aceptable calidad, para poder permitir extraer la información deseada.
- b) El personal, cumpliendo la tarea de interpretación, debe poseer el necesario entrenamiento, experiencia y respaldo profesional.
- c) Los equipos usados en observar, medir e interpretar, deben contar con una aceptable calidad.
- d) Los medios y técnicas empleados por el fotointérprete deben permitirle extraer eficiente y oportunamente la información deseada.

La interpretación de imágenes puede definirse como el proceso de reconocer, detectar e identificar rasgos y/o condiciones del terreno contenidas en ellas, a los efectos de evaluarlos o interpretarlos de acuerdo con los objetivos del estudio.

El análisis e interpretación de las imágenes satelitarias, se basó principalmente en los siguientes principios básicos:

- 1º) Al constituir las imágenes registros permanentes de la escena abarcada, imprimen en el momento el resultado de los fenómenos naturales que intervienen en el desarrollo de los distintos modelos o patrones terrestres.
- 2º) Al reflejar los rasgos de la superficie, permite la conformación de un patrón o modelo compuesto por diversos elementos y fenómenos que imprimen los componentes físicos, biológicos y culturales del paisaje.
- 3º) Al conocer los patrones y modelos determinados y correlacionarlos con los reflejados por las imágenes permite su traslado y relación a otros distintos ambientes.

El procedimiento conveniente para interpretar una imagen comprende cinco pasos básicos: 1) búsqueda, 2) detección, 3) análisis, 4) delineación, 5) evaluación, definidos como:

"Buscar" significa el proceso de familiarizarse con la escala, observar la calidad de la imagen y cubrimiento de nubes, y, en general observar los rasgos físicos y actividades humanas que ella muestre.

"Detectar" es identificar áreas homogéneas, su desarrollo y factores, áreas urbanas, sistemas de transportes, rasgos físicos, etc.

"Analizar" significa observar cuali-cuantitativamente las características salientes de los particulares rasgos y modelos existentes en la imagen.

"Delinear" es diseñar sobre transparencias o bien sobre la misma imagen, los rasgos y áreas observadas a través de los pasos previos.

"Evaluar" es el paso final y significa la revisión de los rasgos identificados, correlacionando esos rasgos con otras actividades conocidas en la región considerada.

Empíricamente y prácticamente está demostrado que cierta clase de información deseada es mejor obtenida cuando se usa la energía de una banda o porción del espectro electromagnético, mientras que otra es mejor obtenida al usar otras diferentes bandas del espectro.

Estas consideraciones, aplicadas al método de reconocimiento, son las conocidas como reconocimiento espectral multibanda, por medio del cual, dos o más cámaras u otros sensores remotamente situados y cada uno de ellos útiles para registrar la energía de su propia banda espectral, pueden ser usados para proveer la información que ningún sensor podría por sí solo proporcionarla. Tal es el caso de las de las distintas bandas espectrales del sensor MSS del programa ERTS/LANDSAT, cuyas imágenes han constituido la base del presente estudio.

Efectuando comparaciones en las distintas imágenes de las bandas, que corresponden a una combinación determinada de película filtro por correlación de similares rasgos del terreno, es posible extraer interesantes conclusiones en cuanto a las necesidades de información que requiere cada inventario realizado.

La experiencia multispectral de banda angosta y realce de información seleccionada, realizada por vez primera en nuestro País por AEROTERRA S.A., constituye un verdadero aporte al proceso de interpretación y precisión de los resultados obtenidos y los conceptos vertidos en este informe.

En la Reunión de Investigadores Forestales de 1971 CHARLES OLSON (USA) en su artículo "Colección y Procesamiento de Imágenes Multiespectrales", establece que:

- a) La experiencia ha demostrado que un intérprete puede integrar e interpretar solamente tres imágenes separadas. Cuando son dadas más de 3 imágenes para trabajar, él selecciona conciente e inconcientemente las 3 imágenes que él piensa le van a dar una información, y concentra su atención en las 3.
Esto no quiere decir que él ignora todas las otras imágenes, pero en la interpretación de blancos específicos, él elige casi exclusivamente en estas 3.
- b) Si él busca una diferente clase de blanco, él puede elegir un diferente juego de 3 imágenes, pero el intérprete humano es esencialmente un sistema de 3 canales, cuando opera la máxima capacidad.
- c) Así, cuando desea integrar e interpretar efectivamente más de 3 imágenes simultáneamente, se debe reemplazar el intérprete humano con alguna máquina de decisión automática.

Entre las numerosas características de una imagen que permiten al intérprete alcanzar los resultados adecuados y detectar, delinear, identificar, analizar y/o evaluar su contenido, se encuentran la forma, tamaño, tono, textura, sombra, modelo, color, situación, asociación, convergencia de evidencias, etc.

Así por ejemplo el patrón o modelo de las formas terrestres están basadas en los eventos que ocurrieron sucesivamente en un área dada desde el momento de su depósito original hasta el presente. Entre ellos deben mencionarse:

- 1) Las formas de terreno o morfología.
- 2) El sistema de drenaje.
- 3) La erosión.
- 4) El tono del color del suelo.
- 5) La vegetación.
- 6) Los rasgos especiales (geológicos, estructurales, etc.).
- 7) Los rasgos artificiales o culturales.
- 8) Los rasgos espectrales.

De la misma manera el patrón de drenaje de un área es el modelo, plan o trama particular que forman en conjunto los cursos individuales de los ríos, y constituye uno de los elementos más importantes del patrón de suelos; pues proporciona los indicios de muchos rasgos físicos de la superficie así como también la posibilidad de predecir la presencia de roca subyacente de acuerdo a las variaciones del drenaje superficial.

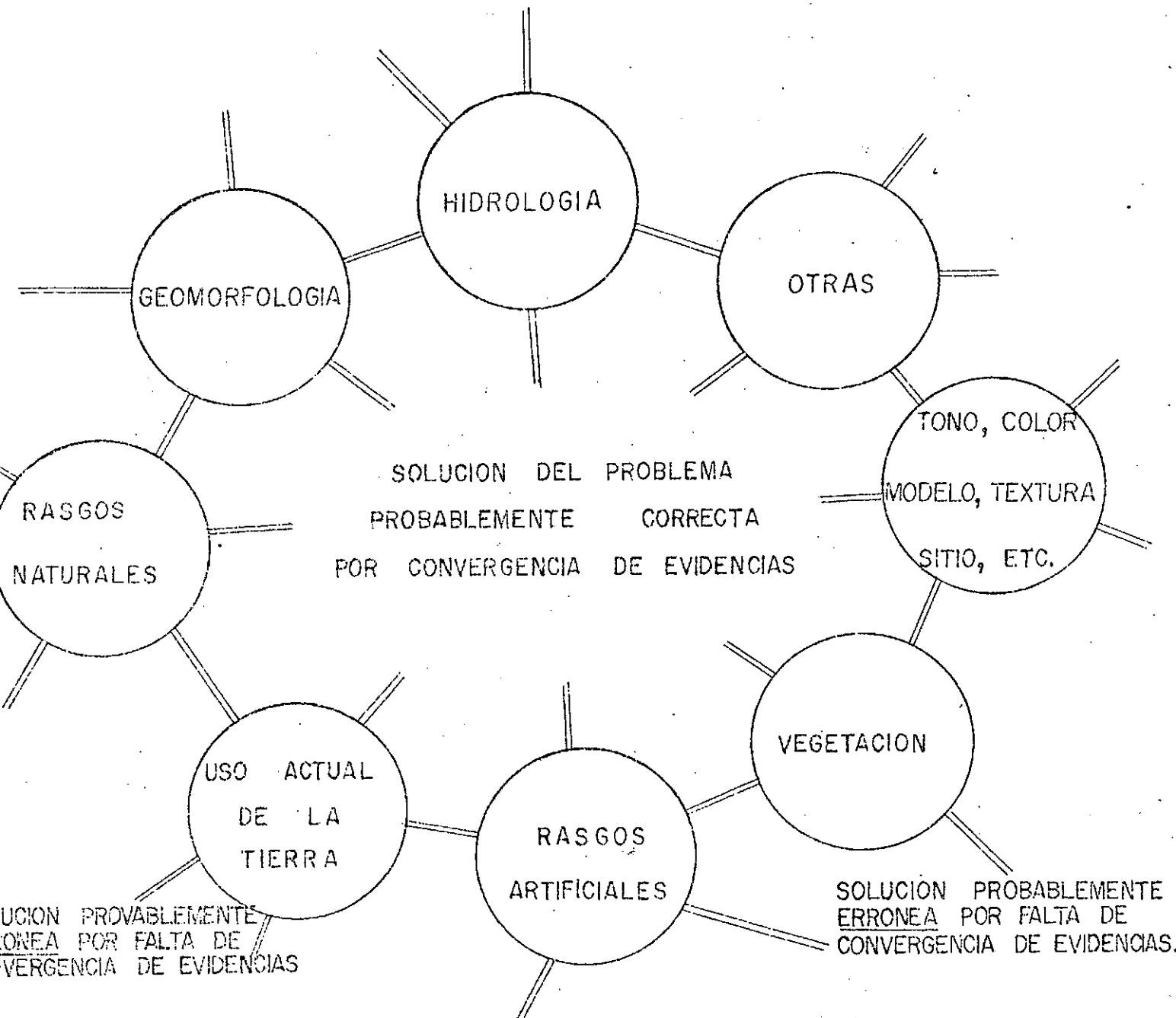
El mapa del drenaje y su densidad constituye una de las fundamentales ventajas de la aplicación práctica de las imágenes LANDSAT, especialmente en sus bandas 7 (infrarroja cercana) (0.8 a 1.1 micrones) e infrarroja color compuesto (bandas 4, 5 y 7), como ha sido aplicado en el inventario correspondiente.

La adecuada integración de los distintos elementos mencionados proporcionó la información detallada de la región, la naturaleza de su composición física, el proceso de su desarrollo, etc. Cada uno de dichos elementos contribuye a la información total del contenido (ver figura N° 11).

De la misma manera existen diversos factores que afectan directa o indirectamente la identificación, análisis e interpretación de las imágenes sensoriales, tales como: a) las características de sensibilidad; b) exposición y procesamiento; c) estación del año; d) hora del día; e) efectos atmosféricos; f) escala de la imagen; g) características de resolución del sistema fotográfico; h) movimiento de la imagen; i) paralaje estereoscópico; j) agudeza mental y visual de los intérpretes; k) equipos y técnicas de interpretación; l) práctica del intérprete, etc.

FIGURA Nº II

DIAGRAMA INTERPRETACION SATELITARIA ASOCIATIVA INDICANDO ASOCIACIONES LIGADAS UTILIZADAS EN LA INTERPRETACION MULTIESPECTRAL - MULTIDISCIPLINARIA.



En síntesis, las principales técnicas de análisis utilizadas en la interpretación secuencial-comparativa-multiespectral-multidisciplinaria de las imágenes satelitarias pueden sintetizarse en las siguientes:

1. Análisis de las características espectrales.
2. Análisis del modelo y/o patrones de diseño.
3. Análisis de las variaciones tonales y/o color.
4. Análisis de los rasgos naturales y/o artificiales.
5. Análisis de la asociación.
6. Integración de las técnicas.

3.7. LA ANALOGIA Y CONVERGENCIA DE EVIDENCIAS EN LOS ESTUDIOS REGIONALES.

Es conocida la importancia de la analogía y convergencia de evidencias en el análisis y estudio de las características del medio ambiente, al constituir una de las principales técnicas utilizadas en el proceso de interpretación de las imágenes aerofotográficas y/o satelitarias.

Científicos como RINKER y FROST del Laboratorio de Ingeniería e Investigaciones de Regiones Frías del Ejército de los EE.UU., han desarrollado este tema en un trabajo titulado ANALISIS DEL MEDIO AMBIENTE, PERCEPCION REMOTA Y EDUCACION, en el Primer Curso de Sensores Remotos llevado a cabo en 1972, por feliz iniciativa del Servicio Geodésico Americano.

Así se expresaron concretamente al decir ... "que estamos confrontando un problema de magnitud sin precedentes. Un problema que influirá en toda la humanidad ya que pasará por alto las fronteras políticas, las alianzas militares y las divisiones étnicas. Surge el de la superabundancia de la población, que a su vez está creando una explosión paralela en el medio ambiente, para satisfacer las necesidades y los deseos de una población que se va expandiendo cada vez más" ...

Estos acontecimientos, como es lógico se desarrollan en un medio ambiente restringido, cuyos recursos no son inagotables y cuyas partes están tan relacionadas mutuamente, que la correcta utilización de una, puede resultar en el mal uso o de aprovechamiento de las otras. De ahí la importancia de estos estudios al planea-

miento y desarrollo armónico e integral no solo del territorio provincial sino de su vinculación e integración regional.

La Nación en su artículo de fondo del 2 de noviembre de 1976, se refiere al trabajo encarado por el Superior Gobierno de la Provincia de FORMOSA y realizado recientemente con esta metodología por AEROTERRA S.A. como iniciativa plausible, al decir ... "La iniciativa resulta plausible en todo sentido ya que demuestra una inquietud por contribuir al progreso de la provincia y, al mismo tiempo, marca un rumbo a seguir en cuanto al correcto aprovechamiento de los recursos proporcionados por los avances científicos y tecnológicos de la humanidad ... " Concluye esta reseña expresando "Los estudios enunciados y otros complementarios incentivarán, entonces, dichas perspectivas. Todo ello como producto de un espíritu de iniciativa que merece ser considerado e imitado" ...

Estos importantes conceptos han sido tenidos especialmente en cuenta en los objetivos de estos trabajos fijados por el CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (CFI) y desarrollados por AEROTERRA S.A. con el amplio apoyo de las autoridades intervinientes, al compatibilizar los mismos con otros análogos ya realizados y/o por realizar en la región o País, en cuanto especialmente a la uniformidad de escala de los inventarios y metodología aplicada; y tendiente a permitir una adecuada y fácil integración y/o complementación, bases fundamentales para un adecuado diagnóstico cualicuantitativo.

Es que la percepción remota, que existe solamente debido a las actividades humanas, tiende mediante la información suministrada a acentuar la importancia del hombre en el medio ambiente en estudio y al poder visualizar sinóptica y uniformemente el desarrollo histórico y evolutivo de una región, determinar el estado actual y predecir su potencial futuro.

1. Qué hace el hombre en ese medio ambiente y por qué?
2. Cuáles son los efectos actuales y futuros de esas actividades y cómo influyen en el medio ambiente?
3. Cómo por medio de sus antecedentes culturales, el medio ambiente obliga al hombre a adoptar ciertas normas de conducta?
4. Cómo se adapta el medio ambiente a la intrusión humana?
5. Cuál es el potencial de explotación y en que forma se pueden obtener mejores resultados?
6. Cuáles son los recursos y cuáles son los mejores métodos de utilizarlos?

7. Qué aspectos de esa actividad podrían influir desfavorablemente en el futuro, cuáles se pueden corregir, prevenir y cómo se puede ello lograr?

Hay muchas correlaciones que pueden ser efectuadas entre la actividad del hombre y su medio ambiente físico. Estas relaciones están también influenciadas por factores económicos, políticos y sociales (G. R. HEATH). Las actividades del hombre pueden ser interpretadas por medio de imágenes aerofotográficas y/o satelitarias sobre amplias extensiones del terreno dentro de las regiones geográficas. Estas correlaciones ayudan a deducir las actividades que, en escalas pequeñas, sólo pueden ser visibles en forma parcial.

El hombre se considera a sí mismo como un agente libre, pero aún en la era del aire está restringido en sus acciones por la conformación de la tierra que lo rodea. Por ejemplo, no podemos desplazarnos desde un punto a otro distinto sin someternos a las limitaciones de los caminos, puentes, etc. Pero, como acertadamente se ha expresado tal vez por primera vez en la historia, y debido en gran parte a nuestra avanzada tecnología, el hombre se encuentra en una situación por su capacidad, de poder alterar el medio ambiente que lo rodea. Ello nos obliga hoy, a realizar, cada vez más, un científico y oportuno análisis de los recursos naturales y del medio ambiente, y para ello la percepción remota, está dando clave, tal como la aplicada por CFI-AEROTERRA S.A. en el presente estudio.

Es que los diversos componentes físicos, biológicos y culturales del medio ambiente se relacionan entre sí y responden a elementos de tensión, individualmente y como unidad, ajustando sus reacciones en formas apenas percibidas. La naturaleza no reconoce nuestros esfuerzos de dividirla en geología, biología, ecología, geofísica, hidrología, etc. Ellas son divisiones hechas por el ser humano, que aunque útiles en la educación y en ciertas discusiones, tienden a crear confines artificiales que muchas veces suprimen la investigación y oscurecen las sutilezas y complejidades que por cierto ya existen en las actividades mutuas.

Dentro de cualquier región, la delineación, contextura, cromaticidad y configuración de los elementos del paisaje, forman un grupo característico propio "de ese lugar en ese momento". El viento, el agua, los hielos, la gravedad, los acontecimientos geofísicos, el desarrollo biológico, etc., sólo pueden actuar recíprocamente con ciertas materias y en ciertas formas y series -de ahí nuestras ideas sobre el análisis del medio ambiente. En los conceptos hasta aquí ya mencionados, los de analogía, claves análogas regionales, convergencia de las evidencias, etc., guardan un especial interés.

La analogía ha sido referida como el corazón de la interpretación de las imágenes. La analogía está siempre presente, directa o indirectamente en todos los procesos de la misma. El fotointérprete constantemente compara y analiza la imagen que él cree haber

visto, reconocido o interpretado en anteriores fotografías, claves de fotointerpretación o estudios en el terreno. La analogía por consiguiente está presente en todos y cada paso del proceso de interpretación de las imágenes satelitarias. La figura N° 11 ilustra en forma diagramada el proceso de interpretación satelitaria asociativa y de las "asociaciones ligadas" para producir la correcta solución por convergencia de evidencias, utilizadas por los equipos multidisciplinarios de AEROTERRA S.A. en la interpretación satelitaria multiespectral realizada.

3.8. RESOLUCION, COORDENADAS GEOGRAFICAS, ETC.

La información contenida en las imágenes utilizadas del sensor MSS del LANDSAT, se basa en dos factores fundamentales: la respuesta espacial y la respuesta espectral:

- a) La respuesta espacial se define por las diferencias monocromáticas de tono, diferentes matices de color, etc. El término, consistencia espectral es usado para evaluar la imagen LANDSAT en términos relativos de las respectivas respuestas espectrales. Los objetos son definidos en las imágenes por diferencia en densidad registrada con diferentes tonos de grises. Los fotomosaicos logrados con las imágenes satelitarias son pues altamente dependiente de la consistencia espectral de la imagen.
- b) La respuesta espectral es medida como el tamaño mínimo de los objetos de respuestas uniformes y similares que son únicamente registradas bajo ciertas condiciones y pueden ser identificados como una escena real.

La detectabilidad del objeto se usa para evaluar la imagen LANDSAT de acuerdo con la respuesta espacial. La resolución se emplea como un parámetro de medida de la respuesta espacial para los productos fotográficos pero relacionado el espacio mínimo observable entre los objetos.

En términos ópticos, resolución es la capacidad para distinguir entre dos objetos cercanos. En fotografías aéreas o imagen satelitaria se debe entender como resolución del terreno (ground resolution) la distancia mínima entre los objetos considerando la altura de vuelo y su relación con la resolución en líneas por milímetros y la distancia focal también en milímetros.

La pregunta más usual en relación con las imágenes de los satélites LANDSAT se refiere a la resolución espacial. La resolución como es lógico depende de muchos factores, y siempre constituye un límite práctico a la interpretación. Algunos ob-

jetos son excesivamente pequeños o, aunque sean grandes, no contrastan suficientemente con el fondo para que se les pueda reconocer en una imagen.

Resolución de identidad es el número de niveles en los cuales se capta la energía y es expresado generalmente por una potencia de 2 en que el exponente representa el número de bits. En cambio la resolución temporal se refiere al número de días entre vuelos sucesivos para una misma área. Esta resolución puede ser inferior al ser afectada por la cobertura de nubes.

Al diseñar los sensores del satélite LANDSAT fue necesario mantener un equilibrio razonable entre la necesidad de una resolución espectral y utilizar una órbita que permitiese observaciones repetidas. El compromiso óptimo entre estas exigencias contradictorias resultó en una resolución espacial de aproximadamente 80 m, basada en las dimensiones en la superficie de los elementos constitutivos de las imágenes ("pixels"). Sin embargo es posible detectar hasta rasgos lineales de sólo 15 m, siempre que su contraste y extensión sean suficientes y que estén desprovistos de vegetación.

Los rasgos lineales que se distinguen con más facilidad son las fallas geológicas que dislocan formas topográficas, las carreteras rectas cuya superficie ofrece un marcado contraste con las zonas colindantes, los canales de riego, los cursos de los ríos (cuyo contraste espectral se pone de relieve en las bandas del infrarrojo próximo) y los límites de superficies contrastes.

En virtud de su cobertura en las bandas del infrarrojo próximo del espectro, de 0.7-0.8 y 0.8-1.1 micrones, el MSS refuerza especialmente por ejemplo los contrastes entre diferentes clases de vegetación y entre tierras y aguas.

El Cuadro N° 3 nos ilustra sobre la resolución terrestre del LANDSAT en líneas por milímetro, referida a cada una de las "generaciones" de los distintos productos:

ETAPA DE REPRODUCCION	RESOLUCION
Generación)	1 p/mm)
Producto de salida del detector (Generación 0)	38
Positivo primera generación	34
Negativo segunda generación	30
Positivo tercera generación	26

En su informe anual de 1974 ("Annual Report on Research and Developments in Topographic Mapping"), la División Topográfica del Servicio Geológico Norteamericano (USGS), efectuó un resumen sobre la evaluación de las imágenes LANDSAT-1, desde el punto de vista de su aptitud cartográfica-geométrica.

Para tales fines se analizaron las características geométricas de las imágenes del sensor MSS, correspondientes a tres escenas representativas de las costas orientales de los ESTADOS UNIDOS, y obtenidas en diferentes épocas del año con el fin de que estuvieran registrados los cambios estacionales y fueron examinadas todas las bandas de cada imagen. Los puntos de control fueron medidos con un comparador de precisión y en coordenadas UTM. Un análisis posterior mediante computadora mostró los siguientes errores principales:

1. Que el error posicional de una imagen respecto de siete o más puntos medidos oscilaba entre 143 y 279 metros.
2. Que la escala de la imagen variaba de 1:3.363.000 a 1:3.376.000.

En este trabajo las coordenadas geográficas que han sido colocadas en los mapas respectivos a escala 1:250.000, al ser obtenidas de las imágenes satelitarias de granel y no efectuarse las transformaciones a nuestro sistema Gauss Krugger y no haber establecido una red o serie de puntos de control terrestre con el exacto conocimiento de sus coordenadas y otros requisitos necesarios, que escapan al alcance y objetivos de este trabajo, sólo deben tomarse y utilizarse como referencia general. De ahí las variaciones que pueden y deben encontrarse en las coordenadas geográficas.

De igual manera las diferencias de ajuste existentes entre los mosaicos satelitarios e inventarios resultantes en la hoja inferior, son producidas no sólo por el concepto antes expresado sino por las variaciones de estiramiento encontradas en los papeles fotográficos utilizados para confeccionar el fotomosaico banda 5 (pancromático) y el banda 7 (infrarrojo), que han constituido de acuerdo con sus características espectrales particulares las bases respectivas para obtener los inventarios (base-planimétrico; uso actual de la tierra-vegetación, desarrollo evolutivo áreas de frontera, polos de desarrollo) versus (hidrológico, geológico-estructural, geomorfológico, edafológico); y conforme con lo explicado en las secciones respectivas de este informe.

3.9. PRINCIPALES DEFECTOS DE PROCESAMIENTO.

A continuación y complementando lo ya expresado en el apartado anterior, se ha creído conveniente mencionar algunas de las principales anomalías o defectos que pueden aparecer en las imágenes LANDSAT después del procesamiento, en base a la experiencia adquirida y las observaciones previstas por NASA. Ellos son:

- a) Las transparencias en blanco y negro pueden tener una alta densidad. Ella se debe al gran esfuerzo que es necesario realizar para duplicar acertadamente la escala de densidades del "master" reoriginal reproducible.
- b) El grado bajo de densidad en la escala de grises se aproxima a 0.40, el alto a 2.40. La densidad interna de la escena variará dentro de estos valores debido a las diferencias de los valores de reflectividad existentes en los distintos elementos que conforman la misma, la estación del año, etc.
- c) Algunas escenas pueden aparecer carentes de contraste. Esto es típico de la banda 1 del sensor RBV y de la 4 (verde) del MSS.
- d) Algunas escenas pueden contener una mayor o menor porcentaje de nubosidad que está indicado en la planilla base de información. Ello es debido a que la cla-sificación original fue asignada por los evaluadores en el momento de obtener los originales (ver aclaración fotoíndice satelitario de AEROTERRA S.A.).
- e) Algunas imágenes presentan pequeños puntos negros espaciadamente distribuidos. Estos se deben a microdefectos en la emulsión del "master" reproducible y no pueden ser totalmente eliminados.
- f) En algunas imágenes también aparecen los ruidos electrónicos, los cuales se han registrado en la escena. Ellos pueden aparecer en la imagen en la forma de puntos o líneas blancos o negros entre las líneas de barrido. Generalmente, las es-cenas conteniendo ruidos sustanciales, se catalogarán como regulares (5) o Por-bres (3). Sin embargo, la imagen puede no ser catalogada correctamente, ya que la clasificación se basa en un juicio subjetivo.
- g) Algunas imágenes contienen rayaduras que a menudo aparecen como líneas blan-cas o negras, normales respecto del modelo de barrido líneal.

h) Los sistemas de ampliación utilizados para obtener reproducciones más grandes que el tamaño de contacto, se optimizan para lograr una mayor claridad en la imagen. Desafortunadamente, una consecuencia de ésto es que las pequeñas rayaduras se fotografían aún en el lado de la base del film. Las películas se manejan con extremo cuidado por el que produce el original, pero cualquier uso de la película, incluso en los equipos más perfeccionados, produce sutiles rayaduras de la base del film. Sin embargo estas imperfecciones son preferibles antes de sacrificar la claridad total de la imagen.

3.10. COMPROBACION AERO-TERRESTRE ("Ground-Truth").

La interpretación final es oportunamente verificada en campaña de acuerdo con cronogramas de trabajo previamente establecido. Dicha comprobación se realizó después de la fotointerpretación preliminar mediante una comprobación aeroterrestre descrita en las secciones respectivas y tendiente fundamentalmente a:

- a) Completar la interpretación preliminar satelitaria con la visualización de los diferentes tipos de uso de la tierra, condiciones hidrológicas, etc.
- b) Familiarizarse en forma visual y objetiva desde el aire y tierra con las unidades identificadas que conformarían los distintos inventarios de los recursos naturales.
- c) Obtener una mayor precisión en la interpretación final.
- d) Comprobar la interpretación preliminar realizada.
- e) Ilustrar adecuadamente los principales usos de la tierra, condiciones hidrológicas, etc., de los informes finales correspondientes.

Las secciones correspondientes a Hidrología, Uso Actual de la Tierra, etc., del presente informe amplían los conceptos de este importante paso conocido como "ground-truth" en la interpretación satelitaria y que constituye una de las etapas del ciclo metodológico desarrollado y aplicado por AEROTERRA S.A.



3.11. FOTOINDICE SATELITARIO, FOTOMOSAICOS Y ESCENA NOMINAL LANDSAT.

El fotoíndice satelitario que se entrega conjuntamente con este informe ha sido es pecialmente diseñado por AEROTERRA S.A. y confeccionado con el total de las imágenes LANDSAT-1 y 2, empleadas en la interpretación multiespectral-secuencial-comparativa de los inventarios producidos.

Del total de las imágenes que figuran en dicho fotoíndice, son finalmente seleccionadas las mejores correspondientes al LANDSAT-1 y 2, que conforman los mosaicos definitivos, habiendo sido descartado el resto, dado que por distintas razones (exceso de nubes, pobre resolución, calidad fotográfica), no contribuían en la mejor medida a la precisión deseada. Sin embargo, dichas imágenes también fueron utilizadas en la interpretación.

El fotoíndice constituye así una expresión de la metodología empleada en cuanto a la búsqueda del material satelitario base. En efecto, dicha actividad se desarrolló durante varios meses, mediante un permanente trabajo de actualización de los catálogos e informaciones producidas por la NASA, hasta que se logró confeccionar un mosaico de la mejor calidad que pudo permitir la disponibilidad de imágenes.

Cada hoja contiene las reproducciones a escala 1:3.369.000 y/o 1:1.000.000 de la imagen satelitaria de que se trata, en cada una de sus respectivas bandas espectrales (4, 5, 6 y 7) para el sensor Multiespectral MSS de LANDSAT.

En algunos casos falta en la hoja correspondiente una o varias imágenes de las bandas espectrales. Ello es debido a que por la baja calidad que presentaban no fueron procesadas en el Centro EROS, o no fueron utilizadas en la confección de los fotomosaicos y/o en la interpretación satelitaria multiespectral por AEROTERRA S.A.

En la figura N°3 (m) se ha diagramado el cubrimiento satelitario y la localización de las principales imágenes utilizadas en la confección de los mosaicos ERTS/LANDSAT pancromático (Banda 5), infrarrojo (Banda 7), que han sido los básicos para la obtención de los inventarios y con las aclaraciones ya expresadas en el apartado anterior de este capítulo.

La columna de "DATOS TECNICOS" del fotoíndice corresponde a la imagen reproducida. Algunos de estos datos se extraen de la simbología que figura al pie de la imagen (fecha, hora de toma, coordenadas del centro, azimut, ángulo de elevación solar, antena receptora, procedimiento de transmisión, número del LANDSAT y

de la imagen, número de órbita, sensor, etc.).

El resto de los datos, calidad de la imagen, superposición, porcentaje de nubosidad, escala, altura de vuelo de la nave espacial en el momento de la toma, y las coordenadas del centro de la imagen, ha sido extraído de las planillas especiales obtenidas por AEROTERRA S.A.

Respecto del porcentaje de nubosidad, el fotoíndice transcribe el dato proporcionado por los catálogos. En algunos casos, AEROTERRA S.A. ha atribuido otro porcentaje (figura a la derecha del de la NASA), porque ha advertido, de acuerdo a su propia experiencia, que el primero no refleja la realidad. Cuando en el rubro "calidad" se advierta que falta la calificación correspondiente a una o más bandas, ello no constituye una omisión, sino que es debido a que esa o esas bandas no han sido procesadas, o bien a que el catálogo anteriormente referido no contenía el dato respectivo.

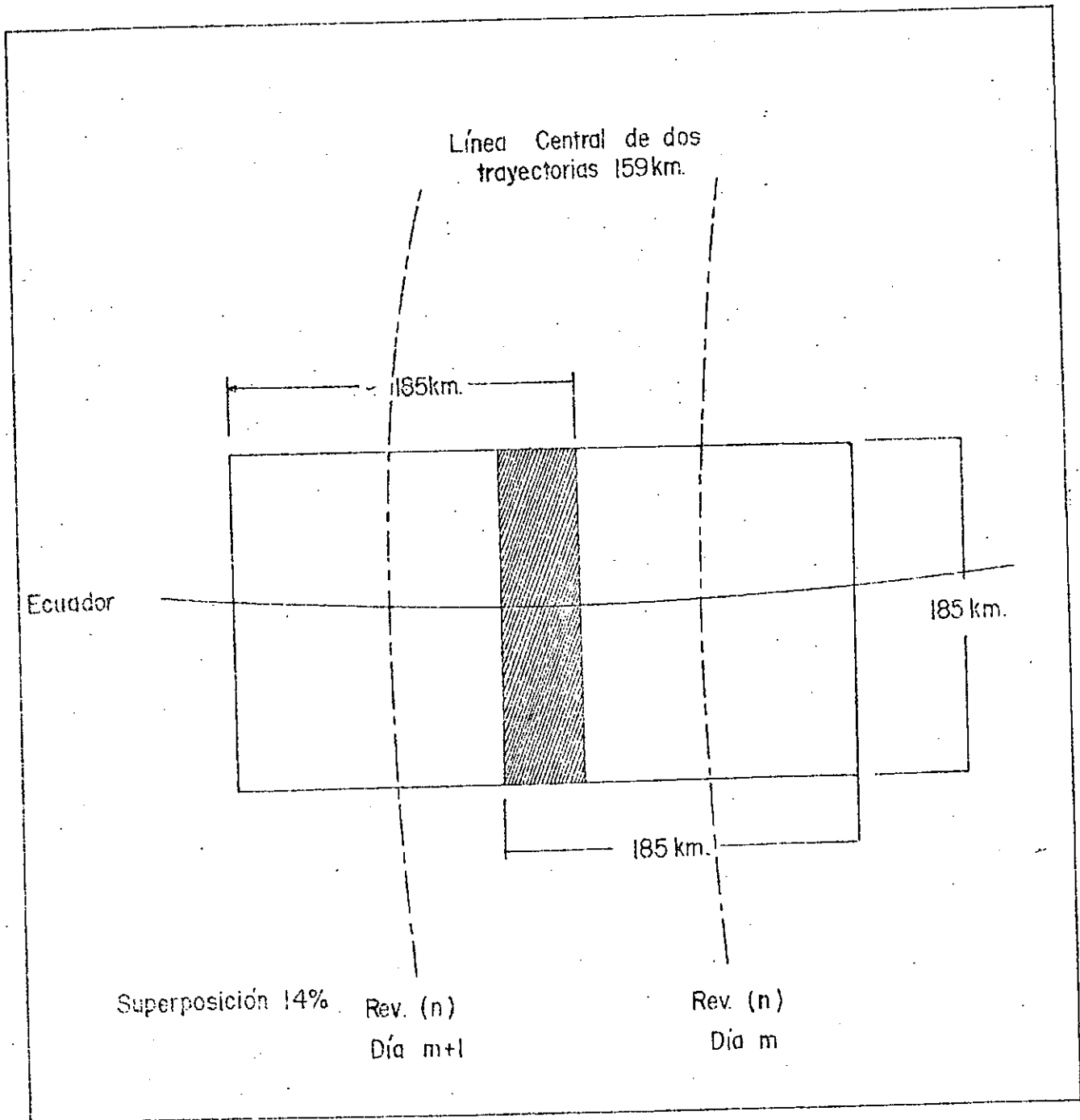
En la confección de los fotomosaicos satelitarios no apoyados se ha tratado de ajustarlo al máximo con la cartografía disponible, y cuidando las distorsiones y/o estiramiento de los papeles fotográficos utilizados, subsistiendo sin embargo errores y/o diferencias que son en cada caso explicadas, y compatibles con los objetivos de trabajo y los medios técnicos disponibles y ya explicado en el apartado anterior.

De igual manera se ha tratado de utilizar al máximo la porción conocida como escena nominal de la imagen LANDSAT y graficada en la figura N° 12. Aquí también es necesario considerar la superposición de pasos adyacentes o laterales que varían como es lógico suponer de acuerdo con la latitud del lugar (Cuadro N° 4).

Los centros nominales de las imágenes son fijados en función de la precisión de la órbita de la nave espacial, y las líneas trazadas equidistantemente de los centros de dichas imágenes definen la escena nominal.

Los centros nominales de imágenes repetidas pueden variar. Pero como el área abarcada por cada imagen es lo suficientemente grande (185 km x 185 km), la escena nominal se puede siempre cubrir mediante alguna superposición entre las imágenes adyacentes.

Figura Nº 12 Superposición de Imágenes en el Ecuador. El Patrón de cubrimiento permite una superposición del 14% entre imágenes adyacentes en el Ecuador.



CUADRO N° 4

VARIACIONES (LATITUD-SUPERPOSICION) PASOS ADYACENTES

LATITUD (Grados)	SUPERPOSICION LATERAL %
0	14,0
10	15,4
20	19,1
30	25,6
40	34,1
50	44,8
60	57,0
70	70,6
80	85,0

SECCION 4

HIDROLOGIA

4.1. AMBIENTE GEOGRAFICO.4.1.1. Generalidades.

La percepción multiespectral satelitaria aplicada y relacionada con las distintas disciplinas geográficas, geológicas y geomorfológicas constituye al presente una herramienta básica en el planeamiento y/o inventario de objetos y condiciones del terreno que pueden ser identificados y analizados sobre la base de las informaciones de los datos proporcionados por las radiaciones reflejadas o emitidas.

Como ha sido explicado en la Sección precedente (Metodología) el tono y/o color es una propiedad de superficie y no de la línea de separación entre zonas diferentes. Por esta razón la Percepción Multiespectral (PME) es una técnica empleada para la identificación y clasificación de áreas homogéneas.

En el caso específico de MISIONES las aplicaciones más descollantes se reflejan en el área del estudio de la geomorfología, suelos y vegetación por la información que suministra el tono y/o color del paisaje que la conforman. La experiencia y resultados obtenidos en la zona estudiada mediante el "realce temático y la multiespectralidad de banda angosta" descrita en la Sección correspondiente, complementa estos importantes conceptos.

La Percepción Multiespectral puede efectuarse en varias partes del espectro electromagnético: ultravioleta (UV), visible (VIS), infrarrojo cercano (IRC), infrarrojo medio (IRM), Infrarrojo lejano (IRL) y micro-ondas (MO). La mayoría de los equipos empleados hasta el momento sólo han utilizado parte del rango VIS y del IRC (0,5 a 1,1 micrones LANDSAT 1 y 2) pero también pueden incluir otros rangos (IRM o IRL, LANDSAT 3, etc.).

El número de bandas de la percepción Multiespectral que se puede emplear varía entre 4 y 24. Sin embargo, ningún número cercano de los extremos parece ser muy apropiado para un sistema operacional. El número más pro

bable pareciera estar comprendido entre 6 y 10 canales que cubrirán los siguientes alcances:

- VIS + IRC, que continuará llamándose Percepción Multiespectral (PME)
- IRM + IRL, que podrá llamarse Termografía Multiespectral (TME)

En relación con la energía solar reflejada por la tierra, el límite para levantamiento de vegetación y suelos a escala regional se aproxima a los 0,5 micrones y 0,4 ó 0,44 micrones para penetración del agua, a pesar de la dispersión que se produce en la atmósfera para las bandas correspondientes al verde y al azul (ver Figuras N° 7 y N° 9, Sección 3) y los conceptos de resolución mencionados en el apartado 3.8., Sección 3.

Sintéticamente y en relación con la importancia de la técnica empleada por AEROTERRA S.A. en los inventarios regionales proporcionados, y en base a lo ya experimentado por la comunidad científica mundial, podemos resumir que un sistema de Percepción Multiespectral proporciona las siguientes ventajas fundamentales con respecto a los métodos tradicionalmente empleados hasta el presente:

- Debido a la gran altura de la nave espacial (600 Km, 950 Km) no se requieren correcciones geométricas para realizar interpretaciones visuales. Si el campo angular también permanece pequeño ($\pm 10^\circ$) tampoco se requieren correcciones radiométricas para compensar los cambios en el ángulo de observación.
- Si se emplea una órbita sincrónica con el sol, la hora de paso por cada punto es la misma todos los días. Sólo cambia ligeramente la elevación del sol y en consecuencia la longitud y dirección de las sombras son prácticamente las mismas durante un período.
- Con satélites de órbita circular se logran imágenes de escala casi constante como sucede con las del LANDSAT 1 y 2.
- La gran capacidad de cobertura de un sistema con instrumental correctamente diseñado permite registrar extensas áreas, si en los breves minutos en que pasa el satélite las condiciones atmosféricas son favorables. Para cubrir la misma superficie con un avión se necesitarían muchas horas o días de vuelo en condiciones atmosféricas adecuadas, lo cual es difícil de lograr.

- Finalmente una de las ventajas más notable del satélite LANDSAT es su alta resolución temporal, que le permite obtener imágenes en un ciclo de 18 días, al igual que la multiespectralidad de las mismas.

En síntesis, la aplicación de las técnicas de teledetección, consisten en el reconocimiento de los distintos parámetros enunciados precedentemente sobre la fisonomía de una región determinada, en este caso la provincia de MISIONES, en la que se determinan las distintas unidades fotomórficas diferenciadas por la morfología terrestre, el clima, la vegetación y la actividad humana.

Aunque es cierto que son rasgos diferentes por su naturaleza, son solidarios por sus funciones; pues al localizarse en una comarca determinada se encuentran relacionados entre sí recíprocamente a través de varias circunstancias, en un circuito cerrado, configurando de tal manera, paisajes o regiones geográficas (Ver Sección 3).

Una región geográfica, en el sentido genérico del término, es un área definida de la superficie terrestre (unidad fotomórfica), caracterizada por su relieve, vegetación y clima sin tomar en consideración las condiciones humanas en sí misma. Sólo se toman en cuenta el relieve y la estructura. Integran áreas homogéneas y no responden a la imposición; de un sólo criterio determinante para todas las regiones, por el contrario se adopta una unidad conceptual predominante en cada región. Los límites, por consiguiente, nunca son líneas, sino fajas de ancho variable, consideradas como áreas de transición, sobre todo cuando se trata de rasgos fitoclimáticos.

Una región geográfica, es en esencia, la región natural más la influencia del hombre, comprendida en nuestro caso dentro del ambiente de meseta y fajas costaneras (concepto geomorfológico), en la que se sitúan tres grandes sistemas hídricos correspondientes a las subcuencas de los ríos PARANA, URUGUAY e IGUAZU, en la provincia de MISIONES.

Desde el punto de vista climatológico, la provincia de MISIONES ocupa una posición eminentemente subtropical con clima que varía entre húmedo seco el 33% del año en los meses de verano, y húmedo el 67% en otoño, invierno y primavera. Respecto a la temperatura es cálido durante el 92% del año y tórrido el 8% restante (Knoche, W.).

Las diferencias altimétricas ejercen su influencia, sobre todo en ciertos sectores de la planicie de BERNARDO DE IRIGOYEN hasta el límite inferior de los 500 metros, en tanto que las zonas ribereñas de los grandes ríos quedan fuera del radio de esta influencia.

Sin embargo, las fajas ribereñas presentan características climáticas definidas, en la que participa primordialmente la masa de serranías interpuesta entre los ríos PARANA y URUGUAY.

Así es que la zona marginal del río PARANA está sometida a la acción directa de los vientos del norte, lo que le imprime caracteres netamente tropicales; en tanto que en la faja del río URUGUAY, prevalecen los vientos del ATLANTICO con clima más moderado.

De todos modos la provincia de MISIONES en su conjunto se halla situada dentro del centro subtropical de altas presiones del hemisferio sur, lo que determina constantes vientos alisios del este, con el consiguiente aporte de aire húmedo tropical que se traduce en copiosas y abundantes lluvias, en particular en la parte oriental más elevada.

La Paleollanura de BERNARDO DE IRIGOYEN, con 2.000 mm anuales, es la de mayor precipitación, al tiempo que se registran caídas de temperaturas de bastante consideración con los avances invernales de aire frío proveniente del sector ATLANTICO. Se producen heladas fuertes y, en ocasiones hasta nevadas.

La Llanura de APOSTOLES, en cambio, por su escasa elevación, soporta más rigurosamente las consecuencias de su posición subtropical; las lluvias son las menores de la provincia y como consecuencia de ello la red hidrográfica es también menor y falta la selva, que es reemplazada por la sabana subtropical.

Cuadro N° 5: TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES EN LA PROVINCIA DE MISIONES DURANTE EL DECENIO 1951-1960

Promedios Anuales	Localidad	
	POSADAS	IGUAZU
Temperatura media	20° 9	20° 6
Temperatura máxima absoluta	39° 6	39° 2
Temperatura mínima absoluta	-4° 4	-2° 5
Precipitación media	1.755 mm	1.700 mm
Precipitación máxima	2.564 mm	
Precipitación mínima	888 mm	

4.1.2. Ubicación y Superficie que Abarca el Estudio.

La región que comprende el presente estudio está delimitada por las coordenadas geográficas $53^{\circ} 44'$ - $56^{\circ} 00'$ longitud oeste y $25^{\circ} 30'$ - $28^{\circ} 11'$ latitud sur respectivamente, totalizando una superficie de 28.502 kilómetros cuadrados.

Este valor areal, calculado por AEROTERRA S.A., difiere del señalado en el ATLAS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, publicado por el INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR en el año 1965. El porcentaje de dicha diferencia es del orden del 4,36%, por debajo de la superficie total calculada por el I.G.M. (29.801 Km²).

La provincia de MISIONES está delimitada geográficamente por los ríos SAN ANTONIO, PEPIRI GUAZU y URUGUAY al este; por el río PARANA al oeste; por el río IGUAZU al norte y por los ríos ITAEMBE y CHIMIRAY al sur. En las tres cuartas partes de su perímetro territorial limita con ESTADOS UNIDOS DEL BRASIL y la REPUBLICA DEL PARAGUAY (véase mapa de ubicación, figura N° 13).

4.1.3. Fisiografía.

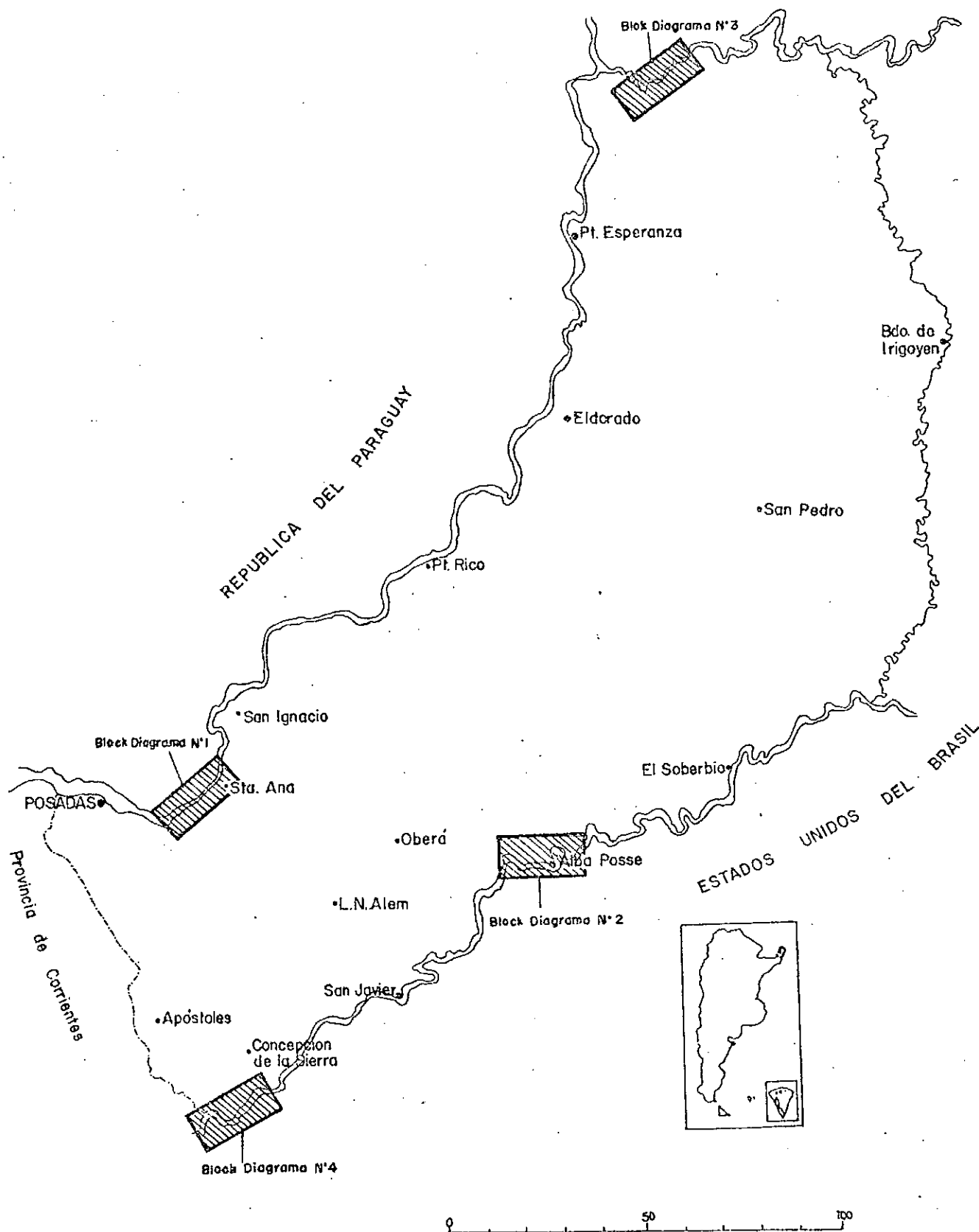
El sistema fisiográfico de la provincia de MISIONES se caracteriza en gran parte por el de una meseta (Kühn, 1922), cuyo relieve actual se generó a través de varias etapas a partir de la efusión del magma basáltico (Schmidt et al. 1963) que constituye el elemento litológico principal. Una vez consolidados los elementos efusivos tienen plena vigencia los procesos meteóricos, principalmente erosivos que nivelan la morfología basáltica en la que ya se habrían insinuado incipientemente un sistema de avenamiento solidario con los intensos lineamientos tectónicos dominantes.

Sin embargo, es por efecto de los Movimientos Andicos que se producen los más singulares ascensos y descensos en bloque de la meseta brasileña lo que trae aparejado la acentuación de las características hidrológicas dominantes en el paisaje de la meseta misionera actualmente.

Dentro del ambiente así generado, tienen marcada persistencia los procesos geomórficos de degradación (nivelación hacia abajo) de las unidades eminentemente positivas del paisaje.

De los procesos de degradación conocidos: meteorización, erosión y remoción en masa, los de mayor ingerencia sobre la morfología basáltica son los dos prime-

FIGURA Nº 13 MAPA DE UBICACION GENERAL Y LOCALIZACION DE LOS BLOCK DIAGRAMAS



ros. Aunque actualmente la erosión mantiene una actividad restringida en relación a períodos geológicos precedentes. La meteorización como proceso estático no involucra la captura y remoción del material por un agente transportador. Actúa relativamente cerca de la superficie terrestre reduciendo masas de rocas sólidas al estado clástico.

Los factores condicionantes incluyen tanto la estructura de la roca, como composición mineralógica, y caracteres físicos tales como diaclasas, superficies de estratificación, fallas, fracturas y minúsculos vacíos intergranulares (amigdalas de basalto, por ejemplo). Las determinantes físicas tales como diaclasas, fracturas menores, superficies de estratificación y fallas coadyuvan en grado mayor la facilidad con que puede penetrar la humedad en la roca.

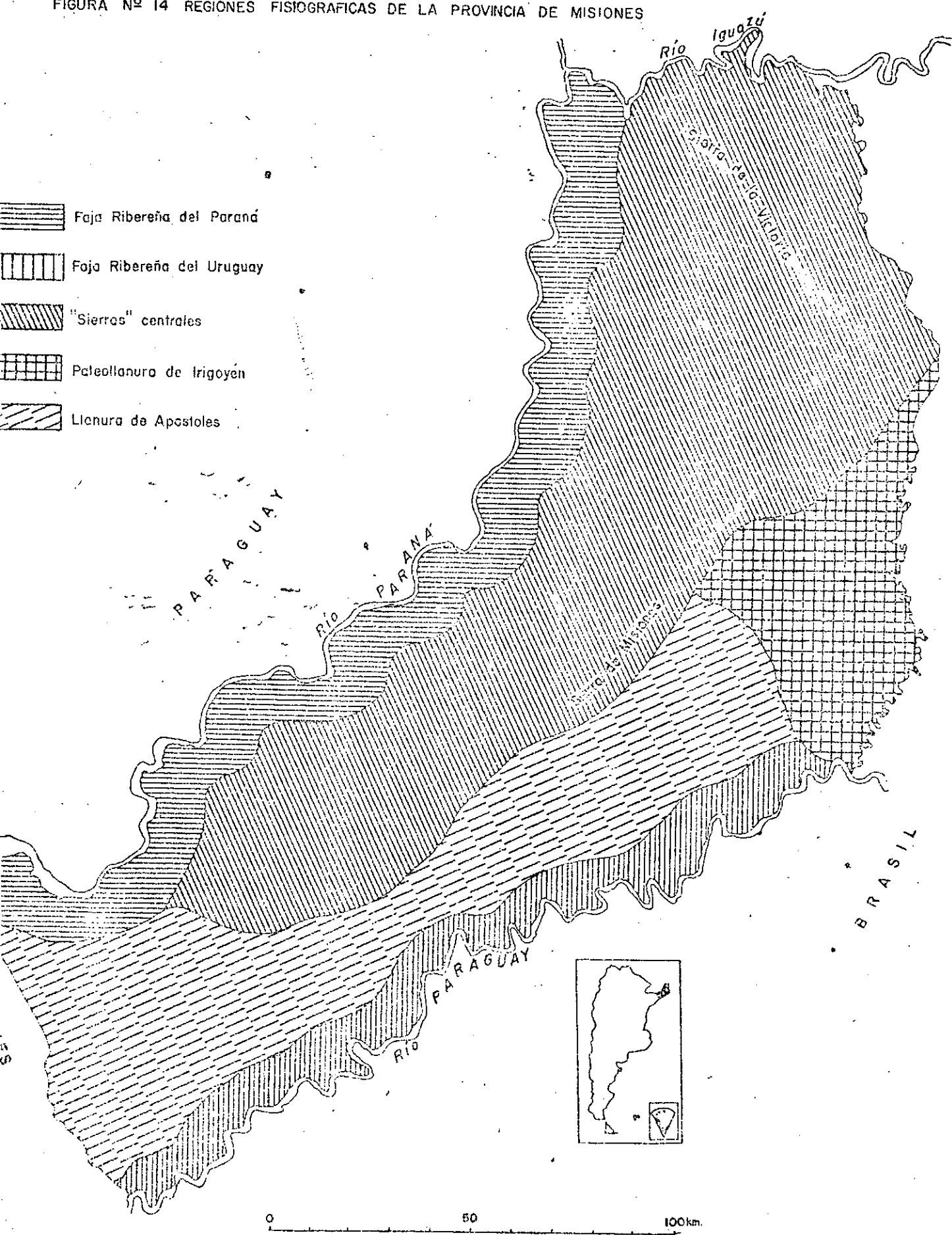
Los principales factores climáticos, temperatura y humedad de la región, no solamente determinan el grado de meteorización sino también el grado de predominio de los procesos químicos o de los físicos. La topografía, aunque suave, afecta los afloramientos "in situ" o los redepositados y tiene importantes efectos sobre factores tales como cantidad y tipo de precipitación, temperatura y tipo y cantidad de vegetación.

4.1.3.1. Regiones Fisiográficas de la Provincia de MISIONES (véase Figura N° 14).

Los procesos descriptos precedentemente, conjuntamente con los factores climatológicos y fitogeográficos, convergen para permitir una división esquemática de las regiones fisiográficas de la provincia de MISIONES en cinco grandes porciones a saber:

- a. FRANJA RIBEREÑA DEL PARANA.
- b. FRANJA RIBEREÑA DEL URUGUAY.
- c. SIERRAS CENTRALES.
- d. PALEOLLANURA DE IRIGOYEN.
- e. LLANURA DE APOSTOLES.

FIGURA Nº 14 REGIONES FISIOGRAFICAS DE LA PROVINCIA DE MISIONES



a. FRANJA RIBEREÑA DEL PARANA.

La Franja Riberena del PARANA conforma una estrecha alineación de perfil irregular implantada con rumbo norte-sur y definida por las características texturales marcadas, diferencias tonales y alto grado de acumulación fluvial. El límite oriental coincide aproximadamente con la curva de nivel de los 200 metros, mientras que al límite occidental lo constituye el río PARANA. El ancho de la faja puede estimarse en unos 15 a 20 kilómetros (véase Foto N° 1, correspondiente a una porción de la imagen satelitaria LANDSAT-1).

La reflectividad de la imagen es de carácter especular-difusa, debida esencialmente a la combinación del cuerpo áqueo (río PARANA) con la superficie semi-plana del terreno.

En la Fotografía N° 1 se toma el sector sur de la franja, es decir desde el límite natural con la provincia de CORRIENTES (río ITAEMBE) hasta unos 80 Km. al norte. Desde el punto de vista climático esta Franja se caracteriza por un clima cálido estable, típico de una valle encajonado y con alto porcentaje de humedad relativa.

El relieve gradúa paulatinamente desde las suaves colinas orientales hacia el nivel de base en el río PARANA, donde bruscamente yerguen empinados taludes constituidos principalmente por rocas fenobasálticas. En efecto, el fenobasalto incide directamente en las características tanto del río PARANA como la de sus afluentes, ya que sus cursos de características meándricas irregulares, tienden a una gran estabilidad lateral de los valles. Los ríos fluyen así confinados estrechamente en sus valles, sin aportar mayormente un alto porcentaje de materiales de acumulación, a excepción del sector sur donde se forman llanuras aluviales de escaso desarrollo y madurez.

En estos casos, al generar los mencionados valles o llanuras aluviales, el material constitutivo es normalmente de una granulometría comprendida en los términos de arenas, limos, arcillas y suelos orgánicos rojos, dispuestos en zonación normal de elementos gruesos en las zonas altas orientales de la Franja, hacia limos arcillosos y arenosos al occidente, sobre el río PARANA. Esta disposición está regida esencialmente por la capacidad de transporte del agua y es variable según la estación climática predominante.

Del cotejo y/o comprobación de campo realizado, surge que en la generalidad de los casos en las barrancas terminales se presenta una estratificación diagonal o torrencial, típica de la sedimentación fluvial.

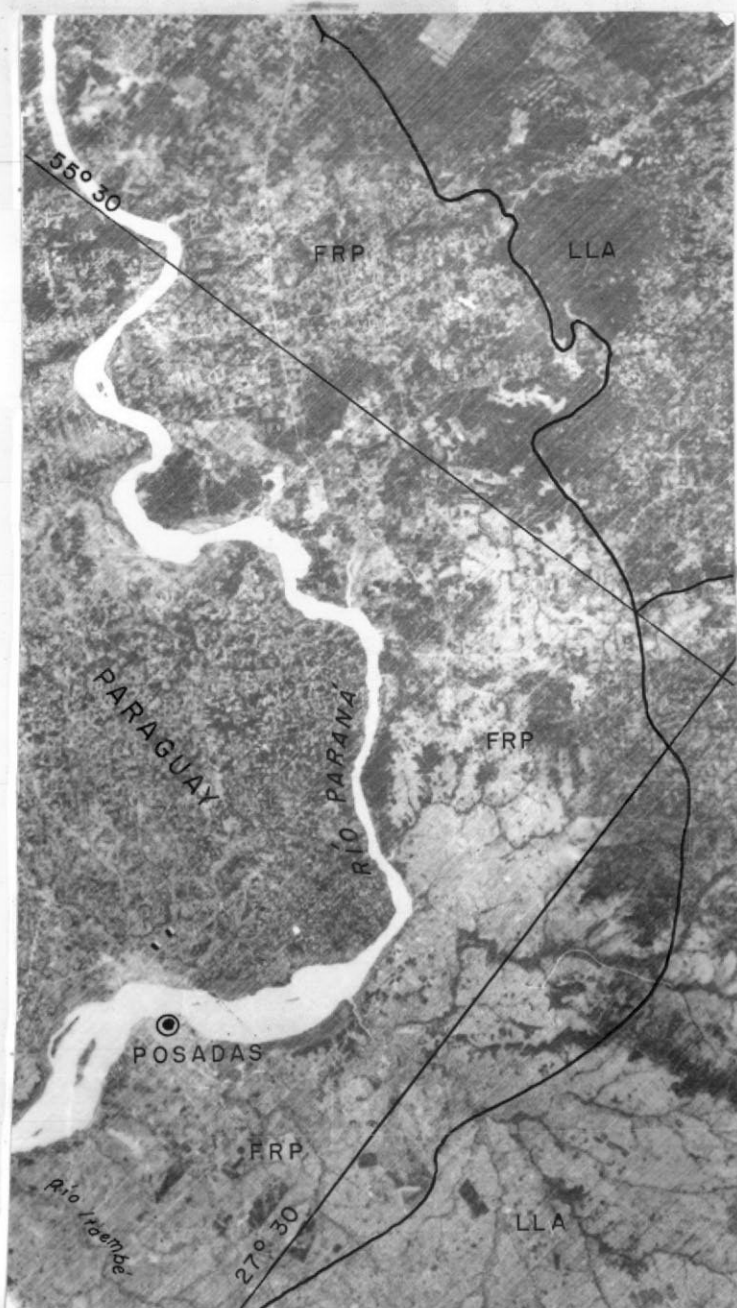


Foto N° 1. Porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13042-5 - Banda 5, pancromática, escala 1:500.000 (FRP: tramo austral de la Franja Ribereña del PARANA; LLA: sector correspondiente a la Llanura de APOSTOLES).

b. FRANJA RIBEREÑA DEL URUGUAY.

La Franja Ribereña del URUGUAY se caracteriza desde el punto de vista fotomórfico

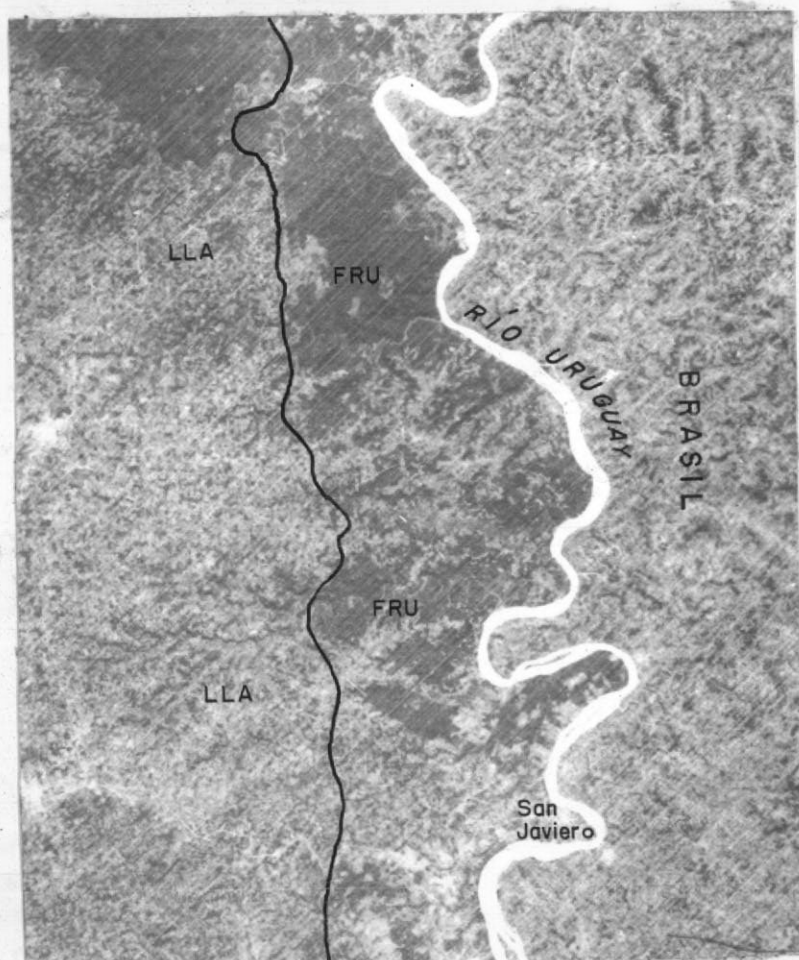


Foto N° 2. Porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13042-5 - Banda 5, pancromática del barredor multiespectral MSS, escala 1:500.000 (FRU: Franja Ribereña del URUGUAY; LLA: Llanura de APOSTOLES; N: cobertura de nubes pseudoaborregadas dispuestas en mayor parte en el territorio brasileño).

por presentar una marcada degradación. Es una angosta lonja de unos 100 Km de largo por unos 10 Km de ancho, implantada sobre la margen derecha del río URUGUAY. Se extiende desde el paralelo de 27° hasta el límite con la provincia de CORRIENTES (véase Foto N° 2).

La Foto N° 2 representa la parte austral de la franja y corresponde a una porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13042, banda 5, pancromática. Con particular singularidad se refleja en la imagen mencionada un fototono gris claro y una textura rugosa acentuada por los procesos erosivos y la intensa actividad antrópica; adoptando muchas veces las características de una Franja depresiva intersecada por una hidrografía profusa, de predominio meándrico ajustada a la intensa actividad tectónica del sector de neto predominio NO-SE.

Los suelos rojos arcillosos rellenan las depresiones de la meseta elevada gradualmente como bloque a partir de los dos grandes lineamientos que la conforman: el río PARANA y el río URUGUAY.

La Franja Ribereña del URUGUAY constituye en esencia, una unidad definida dentro de la provincia de MISIONES, y con particular importancia al sur de SAN JAVIER donde comienza el ensanchamiento conjuntamente con la gradual acumulación de sedimentos. Estos provienen de aportes de las laderas de la Sierra de MISIONES a través de la acción fluvial.

c. SIERRAS CENTRALES.

Constituyen las Sierras Centrales la región de mayor significación areal. Se extiende desde las márgenes izquierdas de los ríos IGUAZU y SAN ANTONIO hasta aproximadamente el paralelo de POSADAS. Conforman una figura tabular, implantada como arco cóncavo al poniente, en la zona central de la provincia.

Quizá el nombre de "Sierra" no sea el más adecuado, ya que las así denominadas en la provincia no son fruto de una génesis orográfica, sino más bien corresponden a una meseta degradada diferencialmente, según planos de bloques elevados y arrasados. Las divisorias de agua de este modo se ajustan a la topografía irregular de la meseta basáltica central.

En la Fotografía N° 3, que corresponde a una porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13042-5, Banda 5, pancromática del barredor multispectral MSS, se observa detalladamente la parte culminante de la Sierra CENTRAL. Su traza irregular, serpentea sinuoidalmente hasta desaparecer insensiblemente en la zona septentrional de la provincia. Los tonos claros de la faja corresponden a los mayores desniveles topográficos.

El vulcanismo fisural, de mayor incidencia aparente en la región central de la provincia de MISIONES, ha generado los efectos topográficos directos y ha perturbado las

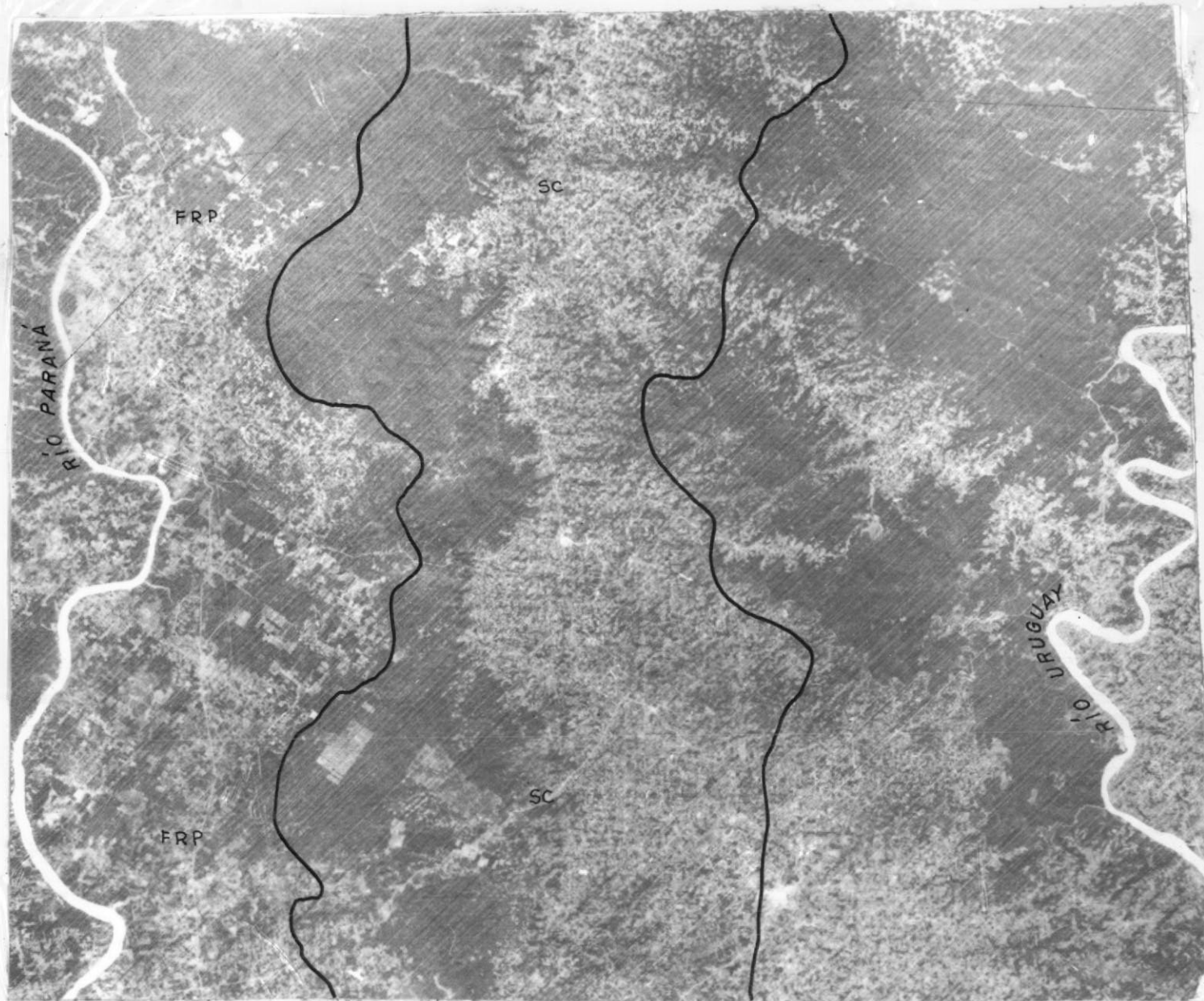


FOTO N°3: Porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13042-5, banda 5 (pancromática). SC: Sierras Centrales; FRP: Franja Ribereña del PARANA.

rocas sedimentarias preexistentes. De igual manera la intensa meteorización que afectó posteriormente las extensas coladas basálticas dio lugar a la formación de suelos de color rojo intenso, tipo laterítico, muy ricos en componentes ferromagnésicos.

d. PALEOLLANURA DE IRIGOYEN.

La Paleollanura de IRIGOYEN, así denominada por presentar un relieve de escasa elaboración superficial por los procesos geomórficos. El basamento basáltico muestra un relieve escasamente ondulado, atravesado longitudinalmente por un sistema de ríos de características meándricas.

Esta región fisiográfica adopta la forma de un triángulo con vértice en la localidad de BERNARDO DE IRIGOYEN y base en el arroyo YABOTI GUAZU, a lo largo de unos 60 Km al noroeste, desde su confluencia con el río URUGUAY.

En la fotografía N° 4, correspondiente al sector sur de la Paleollanura, se observan las características fotomórficas de la unidad. El fototono gris claro uniforme, denuncia la escasa explotación antrópica en relación con lo observado en territorio brasileño, donde los tonos grises oscuros, algo puntuales señalan la intensa explotación a que fue sometido el bosque.

La fotografía N° 4, corresponde a una porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1106-12582-7, Banda 7, infrarroja blanca y negro, a escala 1:250.000 y la interpretación corresponde a la Paleollanura de IRIGOYEN; FRU: Franja Ribereña del URUGUAY; LLA: Llanura de APOSTOLES; RR: rasgo redondeado. Por el cotejo de campo se comprobó que los valles de los ríos son encajonados y en la mayoría de los casos se emplazan directamente sobre afloramientos basálticos.

El límite oriental de la región está señalado por el río PEPERI GUAZU, mientras que el occidental corresponde a la línea divisoria de aguas.

La actividad tectónica es muy marcada y se delinearon rasgos típicos de estructura dómica de gran singularidad en la región.

Obsérvese en los casos del río PEPERI GUAZU y del arroyo YABOTI GUAZU, el marcado encajonamiento de los valles y el intrincado diseño de avenamiento adoptado, en virtud del ajustado control estructural.



PI

PI

RR

PI

LLA

FRU

RÍO URUGUAY

A. Yaboti' Guazú'

A. Pepiri' Guazú'

e. LLANURA DE APOSTOLES.

La Llanura de APOSTOLES es una franja tabular que se extiende desde el arroyo YABOTIGUAZU hasta el límite con la provincia de CORRIENTES. Alcanza una longitud de 200 Km por un ancho de 30 Km aproximadamente. Hacia el oriente limita con la Faja Ribereña del URUGUAY y hacia el poniente con las laderas bajas de las Sierras CENTRALES.

En la fotografía N° 5, correspondiente a una porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13042-5, Banda 5, pancromática, se puede observar el tramo sur de la Llanura de APOSTOLES. Esta presenta dos características fototonales diferentes; el sector norte un tono de gris oscuro avanzado, debido a una densidad mayormente boscosa y el sector sur, en el que se traduce una intensa degradación acelerada por la actividad antrópica, los tonos predominantes son claros y los suelos ligeramente grises amarillentos con alto porcentaje de la fracción limo-arcillosa.

Los valles de los arroyos y ríos de esta región, en especial los del sur presentan un gran desarrollo dando lugar a acumulaciones fluviales laterales en las estructuras meandricas.

La Llanura de APOSTOLES es relativamente baja en relación con las otras unidades fisiográficas. El relieve es suavemente ondulado con predominio de algunas colinas en la porción septentrional de región. Las riberas de los ríos que la surcan son suaves albardones, denotando la madurez de los valles.

La intensa degradación y el transporte fluvial ha decapitado la cubierta húmica, acarreando serias dificultades a la intensificación de la actividad agrícola.

4.1.4. Comprobación de Campo ("GROUND TRUTH").

El cotejo de campo es una necesidad imprescindible en la tarea del fotointérprete, especialmente si se consideran las complejas características de la región de estudio. Las imágenes satelitarias muestran solamente características de la superficie terrestre, pero las medidas, formas y ajuste de algunas de ellas pueden reflejar condiciones sólo comprobables en el campo unida con la experiencia de los equipos multidisciplinarios.



Foto N° 5. Porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13042-5, Banda 5, a escala 1:500.000 del barredor multispectral MSS. (LLA: Llanura de APOSTOLES; FRU: Franja Ribereña del URUGUAY; SC: Sierras CENTRALES; FRP: Franja Ribereña del PARANÁ).

La provincia de MISIONES, enclavada en un ambiente predominantemente boscoso y selvático, atravesado por una densa red de arroyos y ríos y afectada por una intensa preci-

pitación fluvial anual, no es accesible fácilmente durante gran parte del año.

Por esta razón el cotejo de campo, correspondiente al presente estudio, se proyectó en dos etapas:

a. Vuelo Regional.

b. Perfiles terrestres.

a. Vuelo Regional.

Tuvo por finalidad el reconocimiento aéreo regional de la provincia de MISIONES, poniendo especial énfasis en aquellos sectores con inconvenientes en la interpretación hidrográfica, geológica y estructural, imposibles de salvar por vía terrestre, especialmente dadas las características del inventario.

El vuelo se realizó en un avión BEECHRAFT -TWIN-BORANGER D 50 C - LVGM1, comandado por los pilotos ANDRES WELLS y HECTOR DOS SANTOS, de la provincia de MISIONES (véase Foto N° 6).

El operativo se inició desde la localidad de ELDORADO, el vuelo partió con rumbo NE, hasta la localidad de SAN ANTONIO (véase mapa de recorrido, figura N° 15), atravesando las sierras MORENA y la culminación austral de la VICTORIA.

Desde la localidad de SAN ANTONIO se tomó rumbo sur en dirección a BERNARDO DE IRIGOYEN, ingresando alternativamente en vuelos circulares hasta las divisorias de agua, para retomar luego el rumbo del río PEPIRI GUAZU hasta confluencias con el río URUGUAY, pasando por SAN PEDRO, ALBA POSSE, SAN JAVIER, OBERA, etc.

También se sobrevoló el río URUGUAY hasta poco al sur de los SALTOS de MOCONA, desde donde se partió con rumbo SO hasta la ciudad de POSADAS para efectuar el reabastecimiento de combustible, y reiniciar nuevamente el vuelo, alternativamente sobre territorio paraguayo y argentino a ambos lados del río PARANA, para decolar en el aeropuerto de Cataratas del IGUAZU.

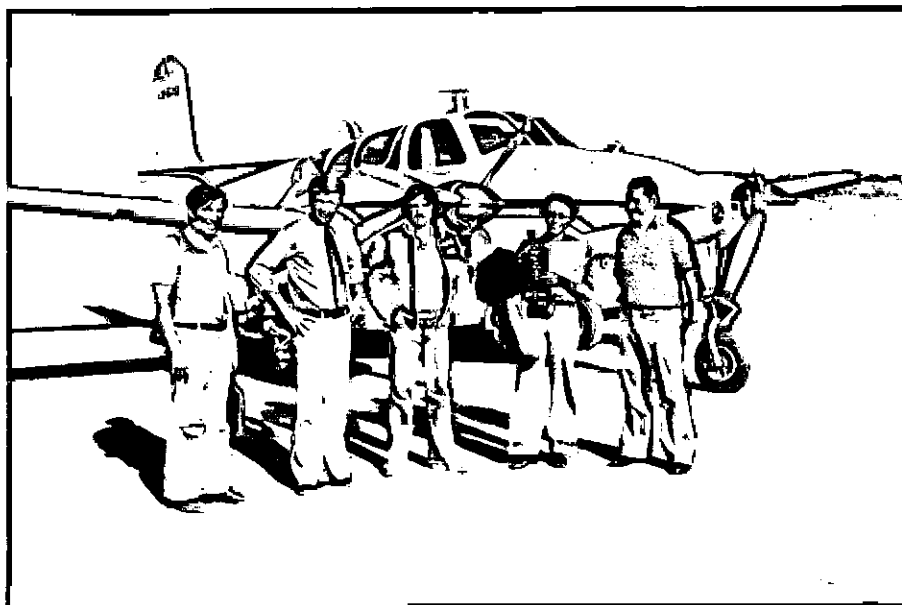


Foto N° 6 . Equipo de trabajo multidisciplinario de AEROTERRA S. A. en el aeropuerto ELDORADO.

b. Perfiles terrestres.

El control de campo terrestre se inició desde el aeropuerto de Cataratas del IGUAZU.

Se recorrió la Ruta N° 101, atravesando el Parque Nacional del IGUAZU, SAN ANTONIO, hasta llegar a BERNARDO DE IRIGOYEN. Desde allí se realizó un perfil hasta la zona de divisorias de aguas, unos 10 Km al O de MANDOVÍ.

Desde el punto anteriormente mencionado se cambió de rumbo en dirección a GRAMADOS (véase Foto N° 6bis pasando por las nacientes del río PIRAY GUAZU).

Desde los pinares de SAN PEDRO se accedió a la ruta N° 14 en dirección a OBERA, hasta intersectar más tarde la ruta N° 12 que conduce a la ciudad de POSADAS, punto culminante del viaje.



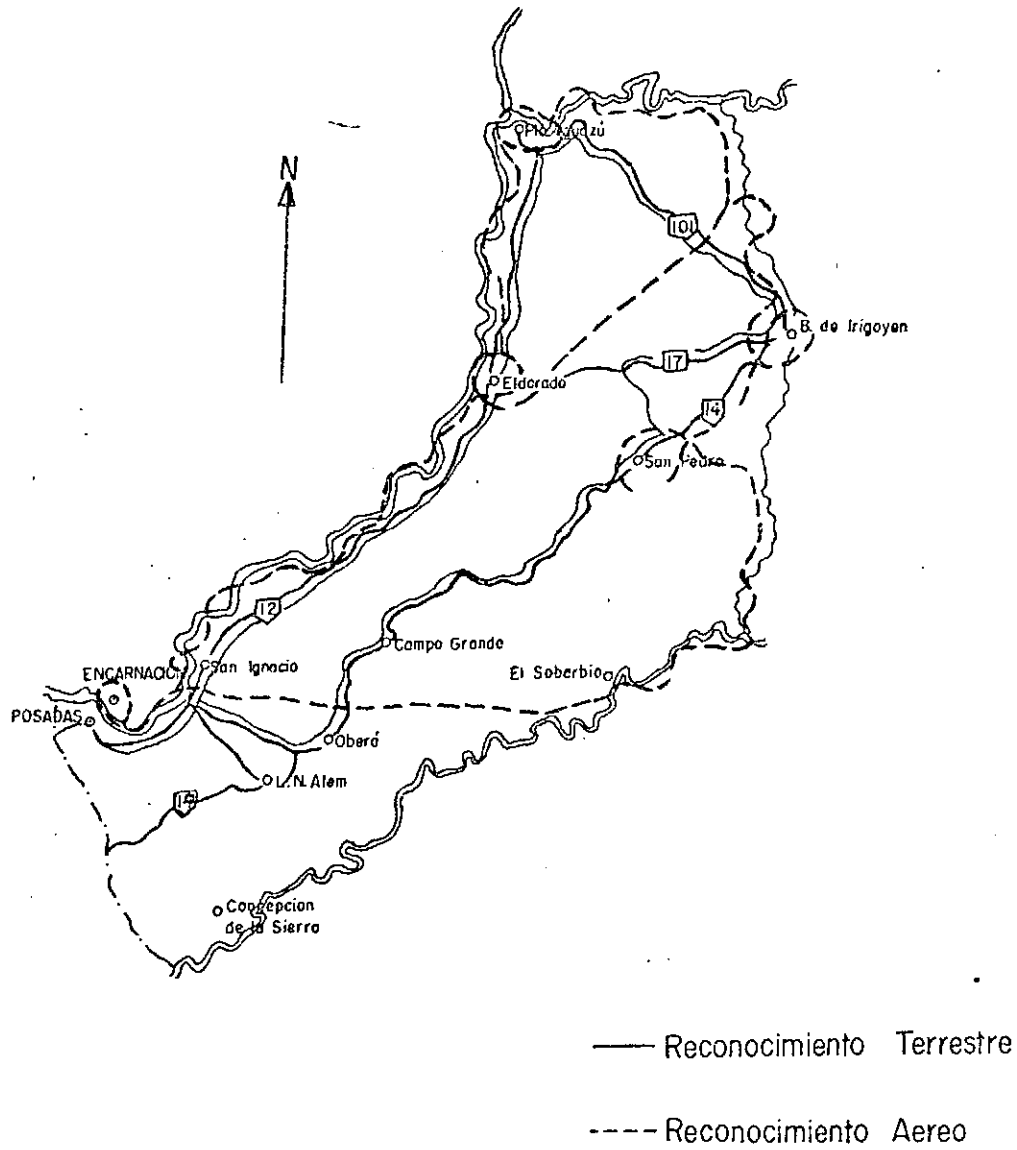
Foto N° 6 bis Equipo de trabajo multidisciplinario próximo a la intersección de la RUTA N° 20 con las nacientes del río PIRAY GUAZU.

Como ya ha sido expresado en la Sección 3 (Metodología), cada objeto de la superficie terrestre tiene su propia y única respuesta espectral (signatura espectral), producida por la luz reflejada y registrada en el respectivo sensor (MSS). Dichas respuestas espectrales varían aún dentro de la misma especie (cursos secos, con agua, cultivos maduros, poco maduros, etc.). Por ello entre otras razones es necesario realizar el cotejo de campo o comprobación terrestre ("groundtruth"), para familiarizarse con el pronóstico de tonos, la reflectividad de los objetos y su apariencia tonal en la imagen satelitaria a utilizar.

La más pequeña área para la cual es válida una signatura específica o respuesta espectral y registrada en la imagen del LANDSAT es 1,1 Acres (0,4 Ha), y se denomina PIXEL o PICTURE ELEMENT, equivalente a 79 x 56 m en el terreno.

En síntesis, el reconocimiento aeroterrestre facilitado por el CFI-PROVINCIA, permitió a pesar de algunos efectos limitantes (distintas fechas de obtención de las imágenes, nubosidad, etc.), lo siguiente:

FIGURA Nº 15 GRAFICO DEL RECONOCIMIENTO AEREO - TERRESTRE



1. Ahorrar tiempo en áreas densamente cubiertas.
2. Mayor accesibilidad.
3. Mejor reconocimiento de modelos, textura, apariencia tonal, etc.
4. Más completa información de campo y mayor alcance panorámico.
5. Más frecuentes respuestas con soluciones correctas.

4.1.5. Hidrografía.

Las imágenes satelitarias que cubren la provincia de FORMOSA muestran detalladamente las características hidrográficas de los principales ríos y arroyos, los que constituyen sin lugar a dudas, el diseño de avenamiento más denso de los conocidos en la REPUBLICA ARGENTINA; a nivel regional.

En la foto N° 7 se puede apreciar un marcado diseño de avenamiento en el ángulo inferior derecho, especialmente el correspondiente a los ríos y arroyos de tercer orden. El conjunto se difunde tenuemente a medida que penetran en la zona de cobertura marginal, a lo largo de los ríos PARANA e IGUAZU. Aún pese a lo acotado, puede verse que en los sectores señalados con A, persiste nítidamente el valle estrecho de los arroyos, si se observa con detenimiento.

Otra característica definida es la adaptación sinuosa del río IGUAZU, que corta transversalmente estructuras preexistentes de rumbo norte sur; en tanto que el río PARANA, fluye paralelo al rumbo de las estructuras, razón por la que su traza suavemente sinuosa en tramos amplios, adopta una morfología muy diferente.

Los numerosos cursos fluviales que fluyen por la meseta Misionera, están ajustados a tres sistemas conocidos a saber: SUB CUENCA IMBRIFERA DEL RIO IGUAZU, SUB CUENCA IMBRIFERA DEL RIO PARANA y SUB CUENCA IMBRIFERA DEL RIO URUGUAY.

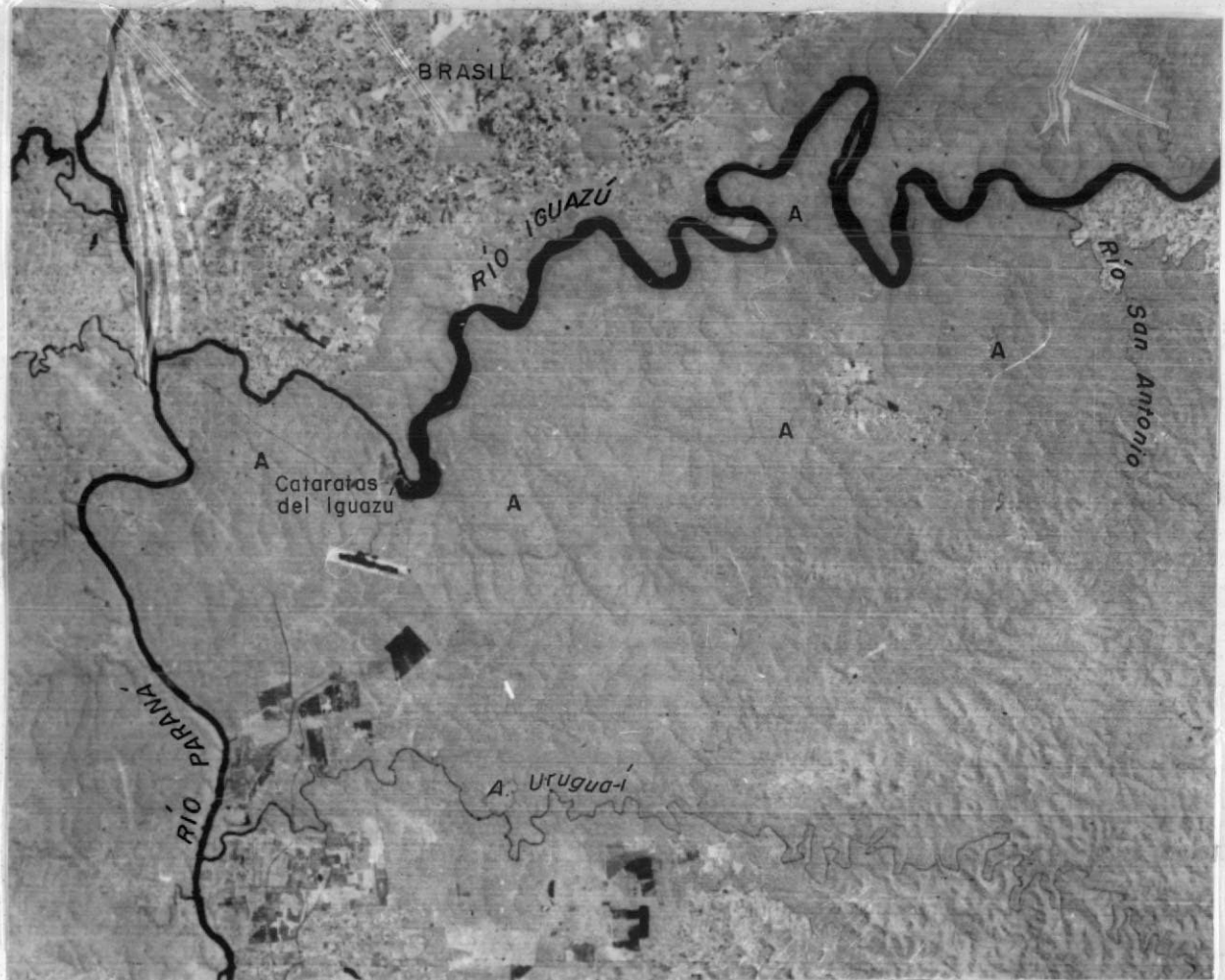


Foto N° 7. Porción de la imagen satelitaria LANDSAT 1215-13040-7, Banda 7, infrarroja blanco y negro, correspondiente a la región norte de la provincia de MISIONES en la que se observan ríos de primer orden (IGUAZU, PARANA) y ríos de segundo orden (A. URUGUA-I, SAN ANTONIO), dispuestos perpendicularmente a los ríos de tercer orden.

Los principales arroyos correspondientes a la subcuenca del río IGUAZU son: SAN ANTONIO, TACUARAS, SAN FRANCISCO, YACUY, IBICUI, CENTRAL, etc.

Los ríos y arroyos de la subcuenca del río PARANA son: URUGUA-I, PIRAY MINI, AGUARAY GUZU, PIRAY GUZU, PARANAY GUZU, CUÑAPIRU, GARUAPE, TABAY, ÑACANGUAZU, Y ABEBIRI, GARUPA, ITAEMBE, AGUARAY MINI, etc.

La subcuenca del río URUGUAY está integrada principalmente por los siguientes cursos fluviales: PEPIRIGUAZU, YABOTI, PARAISO, SOBERBIO, SALTÑO, PINDAITI, ALEGRE, ACARAGUA, RAMON, ONCE VUELTAS, ITACARUARE, SANTA MARIA, PERSIGUERO, CHIMIRAY, etc.

Todos los cursos fluviales responden a tipos morfológicos definidos, valles estrechos, vertientes de pendientes empinadas, de fondo perfilado surcado por cauces activos de ancho reducido y proporcionales a la amplitud del valle, formando complicados meandros irregulares unas veces o fluyendo sobre fallas o zonas de cizalla otras, ordinariamente encajonados, entre barrancas basálticas verticales, en un principio poco marcadas y luego aumentando considerablemente a medida que se acercan a su nivel de base.

Los ríos que atraviesan la meseta Misionera son activos, continuos, serpentean vivazmente sobre un paisaje de onduladas colinas. Durante la estación lluviosa y en especial en la zona sur de la provincia, salen de madre inundando levemente zonas de cultivos, participando constantemente en la construcción de la llanura.

Sus cargas de suelos lateríticos, fangos, limos y detritos de arena fina, acarreados desde las altas cabeceras son redistribuidas sobre las franjas marginales de los ríos PARANA, IGUAZU y URUGUAY.

La riqueza de la profusa red hidrográfica, contrasta con la casi ausente presencia de cuerpos de agua estancados en charcos temporales, pantanos y lagunas.

En el interior de la meseta Misionera se forman espacios llanos compuestos por suelos húmicos, lateríticos, arcillosos, los que generalmente son protegidos por la densa flora selvática. Sólo los efectos antrópicos, se hacen sentir marcadamente mediante la irracional explotación del bosque, facilitando la lenta degradación de los suelos (el "rozado", topadoras, motosierras) en un pseudo alarde de progreso.

La erosión hídrica debida a las intensas precipitaciones que alcanzan hasta los 2.000 mm anuales o más, es acelerada por el desmonte masivo, poniendo en superficie el basamento basáltico, en el que los procesos meteóricos son más lentos.

4.1.6. CICLO HIDROLOGICO.

Con el propósito de integrar la concepción del inventario del recurso natural considerado, es altamente indispensable tener en cuenta un conjunto de fenómenos que acontecen en la Hidrósfera (envoltura discontinua de agua dulce, salada, sólida)

da, que forma parte de la superficie terrestre), como el denominado CICLO HIDROLOGICO.

La circulación atmosférica determina que un considerable volumen de agua en forma de vapor, ascienda desde las superficies marinas en un porcentaje diferencial, según sea el efecto local o regional de las marcas térmicas ambientales. Al llegar a la alta atmósfera se producen condensaciones originando precipitaciones que devuelven a los mares parte de las aguas evaporadas. Una porción restante de la humedad atmosférica circula sobre los océanos la que es transportada por los vientos para precipitar luego sobre los continentes en estado líquido o sólido.

Es norma aceptada que el agua evaporada no puede mantenerse en el aire más de dos o tres días. El agua precipitada sobre la tierra firme puede evaporarse o bien infiltrarse en la corteza terrestre, donde circula como agua subterránea buscando salida al mar o a la superficie; pero gran parte pasa a integrar las redes de avenamiento fluvial, que incorporan también las aguas subterráneas salidas a las superficies y vierten su caudal en el mar.

El constante intercambio de agua entre los continentes y los océanos es lo que se define como se indicó precedentemente, esto es el CICLO HIDROLOGICO (véase Figura N° 16). En este ciclo participan también las aguas juveniles liberadas de las rocas magmáticas.

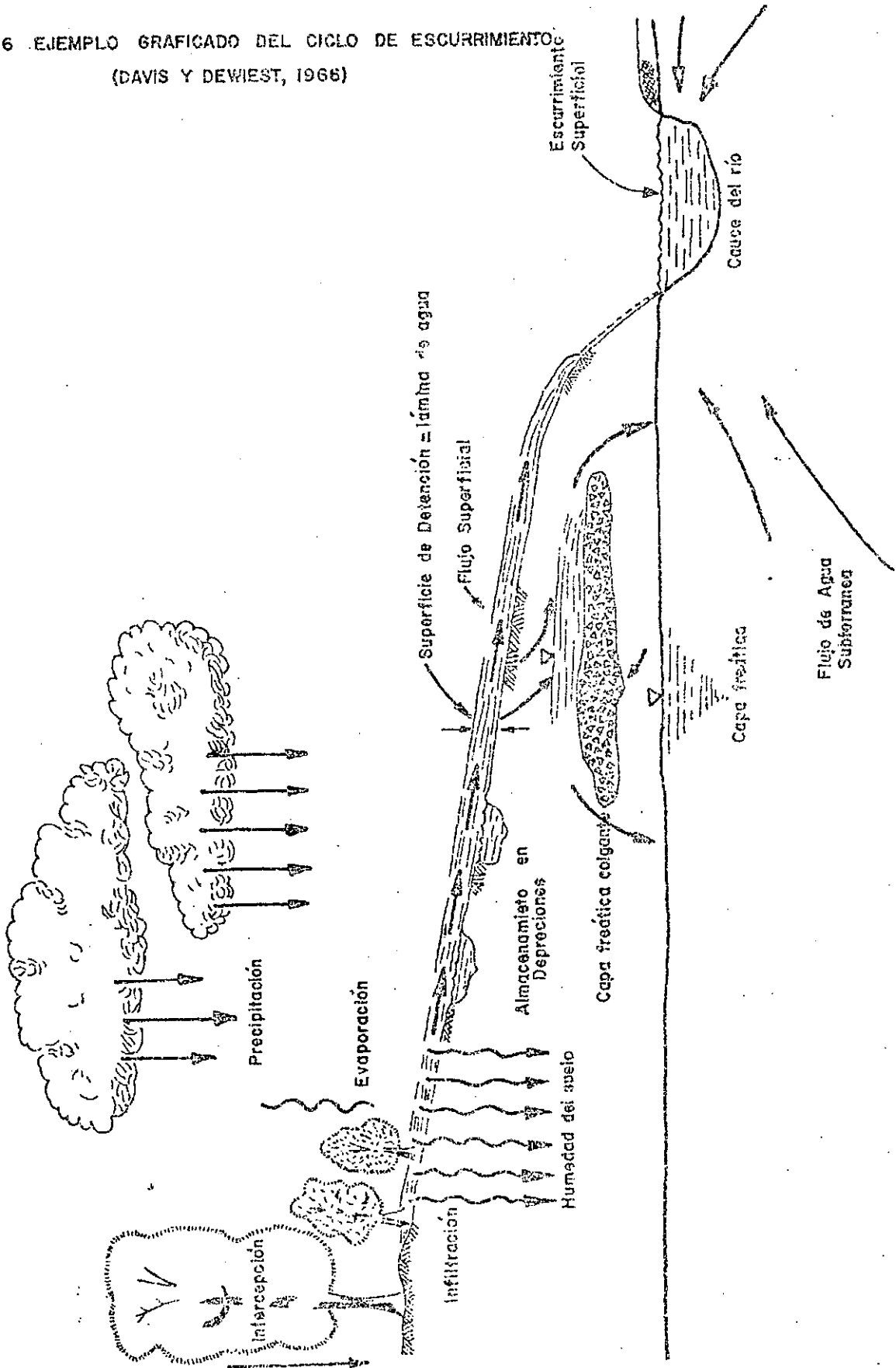
4.1.6.1. Derrame Superficial.

La adecuada interpretación de las imágenes LANDSAT permiten determinar las características superficiales favorables para la presencia de la capa freática; el límite superficial de los acuíferos; el estudio de algunas fases de la operación de acuíferos, tales como la recarga y la descarga. Las características mencionadas pueden ser mejor determinadas si utilizamos el auxilio de una imagen de color compuesto (Moore, G. K. U. S. Geological Survey, Congreso Mundial del Agua, Mar del Plata, 1977). Con este criterio se aplica al estudio del derrame superficial.

El deslizamiento superficial de las aguas pluviales, junto con las que proceden de los manantiales y de la licuación de las nieves y de los glaciares, se efectúa según dos modalidades distintas: El derrame no concentrado y el derrame concentrado o avenamiento.

El derrame no concentrado ocurre tras una lluvia copiosa sobre relieves aplanados que facilitan el flujo laminar (tal el caso de las fajas ribereñas del

FIGURA Nº 16 EJEMPLO GRAFICADO DEL CICLO DE ESCURRIMIENTO
(DAVIS Y DEWIEST, 1966)



PARANA y del URUGUAY) o mantiforme del cuerpo ácueo. Las aguas se desplazan lentamente pendiente abajo, hasta que un relieve acentuado tiende a captarlas y concentrarlas en los cauces fluviales.

Derrame encauzado o concentrado, se produce a través de los canales de una red de avenamiento por cuya pendiente se desplazan las aguas.

La inclinación de un cauce fluvial y la velocidad de flujo de las aguas varía desde el nacimiento hasta la desembocadura del río. En las nacientes de arroyos o ríos situados en áreas de mucho relieve, el curso es torrencioso, de gradiente empinado y escalonado por saltos (tales como IGUAZU, MOCONA) que contribuyen a que la corriente sea turbulenta y rápida. En el curso medio del valle, el caudal aumenta merced a los aportes de las corrientes tributarias, pero disminuye el gradiente y la velocidad del flujo ahora más tranquilo a pesar de algunos resaltos.

Finalmente en el curso de la llanura, curso inferior, el gradiente disminuye a valores cercanos a la unidad o menores, pero el caudal puede ser considerable cuando no hay pérdidas por radiación o infiltración excesivas. El flujo de las aguas en este último curso es muy lento y apenas perceptible a simple vista.

El derrame oceánico o centrífugo vierte las aguas pluviales, en definitiva en el mar, y el derrame continental o centrípeto, en lagunas, esteros, bañados, lagos y bolsones sin salida.

La totalidad de una red de avenamiento existente en un territorio determinado, integrado por un colector principal y sus tributarios de primer, segundo y tercer orden, constituyen un sistema fluvial, el que recibe el nombre del colector principal, por ejemplo SUBCUENCA DEL RIO PARANA. La superficie avenada por un río y delimitada por las divisorias de agua constituye una cuenca fluvial o imbrífera.

El carácter hidrológico de los ríos está determinado por el caudal o volumen de agua que pasa durante un determinado lapso por el perfil transversal de su cauce. Los caudales, varían en relación con los factores climáticos imperantes durante el estiaje (nivel más bajo o caudal mínimo que en ciertas épocas del año tienen las aguas de un río, estero, laguna, etc.) y sus valores máximos durante la crecida (término utilizado como antónimo de estiaje, que no debe confundirse con creciente).

4.1.6.2. Hidrometría.

La Hidrometría es una rama importante de la investigación hidrológica y forma parte de la hidrodinámica. Trata del modo de medir el caudal, la velocidad o la fuerza de los líquidos en movimiento.

Esta disciplina ha cobrado importancia debido a la creciente demanda de agua dulce para satisfacer las necesidades de la población. Estas necesidades son cada vez mayores en función directa al crecimiento demográfico, en tanto que los caudales se mantienen más o menos fijos. De este desequilibrio trasunta que solo a partir de una exacta evaluación del volumen disponible y mediante una utilización racional de los recursos se podrá mantener el delicado equilibrio del balance en los países o regiones que soportan un déficit hídrico; aunque éste no sea precisamente el caso de la provincia de MISIONES, se debe tener en cuenta el concepto, porque la premisa es válida para el futuro.

Frente a hechos de esta naturaleza es de suma importancia prever la instalación y control de estaciones Hidrométricas por lo menos en los ríos y arroyos principales de la provincia de MISIONES, a fin de lograr una evaluación más o menos exacta del volumen superficial disponible.

El caudal de cualquier río puede calcularse indirectamente a partir del monto de las precipitaciones, reducido por la evaporación, el desgaste provocado por los procesos biológicos y la infiltración. Pero los cálculos de este tipo presentan inexactitudes ausentes de los resultados obtenidos por medio de mediciones directas. Por ello es que actualmente se utilizan estaciones de aforo para medir los caudales por lo menos cuatro veces al día. La profundidad se determina por medio de sondeos, y para medir la velocidad de la corriente fluvial se usan molinetes hidráulicos. Los valores obtenidos son casi exactos y la medida de caudal expresada en metros cúbicos por segundo, puede utilizarse sin reservas.

4.1.6.3. La Variación de Caudal y sus Efectos.

Las mediciones obtenidas en las estaciones de aforo ponen de manifiesto las considerables variaciones diurnas estacionales y anuales, del caudal de los ríos, cuya investigación constituye el estudio del régimen fluvial; en él tiene esencial importancia la consideración de los diferentes factores que actúan en las variaciones de caudales: la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración en sus relaciones mutuas, el suelo, el relieve, la vegetación y la intensidad variable de la agricultura.

Para citar un ejemplo tomaremos el caso del río YABEBIRI, estudiado por Agua y Energía Eléctrica y referido a las variaciones por crecientes anuales, registrando los siguientes módulos:

1952	Módulo	11,86 m ³ /seg
1953	"	12,51 m ³ /seg
1954	"	21,63 m ³ /seg
1955	"	15,47 m ³ /seg
1956	"	12,59 m ³ /seg
1957	"	11,30 m ³ /seg

A juzgar por las variaciones, considerables en algunos casos, los factores de mayor incidencia fueron los climáticos aperiódicos y posiblemente locales. El mismo informe expresa que las crecientes coinciden las precipitaciones de otoño y primavera. El estiaje tiene sus fuentes en las acumulaciones formadas por las sucesiones terrosas de sedimentos que cubren el basalto poco permeable, especialmente cuando el mismo no está alterado ni meteorizado; por lo que al prolongarse los períodos de sequía por encima de lo normal, se aprecia una sensible disminución del caudal.

Las crecientes de cierta magnitud adoptan en pocas horas sus valores picos. El color de las aguas varía desde el claro al rojo pardo, se estabiliza por cortos períodos en este último color, para adquirir finalmente el color claro en coincidencia con el máximo pico de la bajante.

El aumento de los caudales se produce comúnmente después de las caídas de lluvias copiosas en la cuenca imbrífera y pueden causar inundaciones, que se caracterizan por comenzar con un ascenso paulatino del pelo de agua del río, y continúan con su desbordamiento gradual, especialmente en las franjas ribereñas donde predominan acumulaciones de suelos lateríticos.

Diversos términos pueden utilizarse para referirse a las variaciones de caudal, en especial a las provocadas por crecientes: crecientes del río, crecidas, aguas salvajes, avalanchas, etc.; se refieren siempre a flujos breves pero muy veloces de aguas turbias, sumamente turbulentas y cargadas de detritos.

Las crecientes nacen en las tierras altas, cuando un corto aguacero satura rápidamente el suelo y provoca un momentáneo deslizamiento de las aguas pendiente abajo hacia los colectores que se unen al colector principal para salir con gran energía al pedemonte, en el cual pueden desbordarse sobre amplios conos de deyección o bajadas aplanadas. Al perder velocidad debido a su extensión, la avalancha deposita una carga de elementos aluviales de considerable espesor capaz de sepultar los cultivos.

4.1.6.4. Tipos de Régimen Fluvial.

Desde el punto de vista geográfico, la clasificación de los regímenes fluviales ha experimentado algunas modificaciones a partir de la clasificación elaborada por WOEIKOF (1887), basándose en el criterio del aporte sólido o álcueo recibido por el río.

De acuerdo a ello el régimen puede ser pluvial, nival o mixto (combinación de los dos). Esta primitiva clasificación fue ajustada por MARTONNE (1964) al nivel de las actuales investigaciones con la eliminación del régimen nival y la definición del nivel pluvial, térmico y mixto.

a. Régimen Pluvial.

Regulado esencialmente por las precipitaciones, el régimen pluvial se presenta en la zona muy lluviosa de la calma ecuatorial pero sufre considerables modificaciones en las áreas cercanas a la franja subtropical de alta presión, donde la intensa evaporación y la escasez de precipitaciones durante la estación seca reducen el caudal de los ríos intermitentes temporariamente.

De esta manera el régimen típicamente pluvial impera en las periferias de la calma ecuatorial solamente en la temporada lluviosa. El régimen pluvial se encuentra también en áreas dilatadas de clima templado marítimo y en los sistemas de grandes ríos alóctonos cuyos nacimientos se ubican en la zona pluvial ecuatorial, como acontece en el río de LA PLATA.

b. Régimen Térmico.

Está regulado por la temperatura del aire. De acuerdo con MARTONNE, conviene discriminar dos tipos, que se relacionan con las precipitaciones pluviales y nivales que caen por lo menos durante la mitad del año.

En los ríos del primer tipo, los caudales disminuyen con la evaporación veraniega, de modo que los caudales mínimos se registran sólo desde el comienzo del otoño y los máximos en la estación invernal. Los caudales fluviales crecen o disminuyen pues, en relación inversa a la temperatura.

El tipo nival, por otra parte, se vincula a la abundancia de precipitaciones de los ríos que se hallan en las montañas.

Durante el invierno, la nieve acumulada ofrece a los ríos escasísimos aportes de agua, pero durante el apogeo del verano los caudales crecen rápidamente a causa del derretimiento de la nieve y de los hielos.

4.1.6.5. Balance Hidrológico de la Tierra.

La tarea de calcular el balance hidrológico anual no es sencilla. De acuerdo con GEOTIMES (1958) y DAVIS y GAY (1954), de las superficies marinas del planeta, se evaporan anualmente 320 a 334.000 Km³ de agua y de los continentes (lagos, ríos, pantanos, suelos) unos 62.000 Km³.

En total se incorporan a la atmósfera no menos de 384.000 Km³ de agua en estado gaseoso; sin embargo el nivel del espejo oceánico no revela variaciones apreciables, lo que permite suponer que la pérdida por evaporación está equilibrada por alguna recarga. Al respecto se calcula que el monto de las precipitaciones caídas sobre las superficies marinas durante un año asciende a 297.000 Km³ aproximadamente, y el del derrame de los continentes a unos 37.000 Km³; en total al océano retornan 334.000 Km³ del agua evaporada.

Para equilibrar el balance faltan, pues, unos 50.000 Km³ de agua continental. Con todas las reservas del caso, para dar cuenta del déficit del balance conviene recordar que las impresiones que afectaban al cálculo del volumen de agua almacenada en las capas subterráneas, en los glaciares y en los extensos campos nevados.

Tampoco es posible saber con exactitud cuál es el volumen absorbido por la vegetación, por los animales y por la población humana y retranspirado a la atmósfera, y el retenido en el proceso de hidratación de los minerales.

No debe descartarse por último, la posibilidad de que el déficit sea, al menos parcialmente, sólo el resultado de la falta de mediciones sistemáticas en las dilatadas superficies desérticas y polares y que con el avance de la investigación se descubra que en realidad es mucho menor.

Reiterando el concepto sobre las recargas de aguas continentales (calculada en 37.000 Km³ anuales), es interesante tener en cuenta los datos proporcionados

por HEINSHEMER (1962). De sus estudios se desprende que los quince ríos más caudalosos del planeta aportan al océano entre 14.364 y 15.242 Km³ de agua por año, o sea el 50% del derrame total. Estos ríos son por lo tanto, los principales conductos visibles del balance de aguas marinas.

4.1.6.6. Cantidades Relativas de Agua Almacenada en los Ambientes Mayores del Ciclo Hidrológico.

Dentro de la dimensión que le corresponde por su magnitud a cada uno de los componentes que integran la discontinua envoltura hidrosférica, sin duda que los océanos acaparan las mayores superficies (véase Figura N° 17), ya que cubre un área de 361×10^6 Km², o sea un 78% de la superficie terrestre. Tomando como punto de partida la profundidad media de 3.800 m, el volumen de las aguas oceánicas es de 1.372×10^6 Km³.

Es difícil obtener una medida exacta en otras partes de la hidrósfera, según lo adelantamos. GOLDSCHMIDT estimaba que existen 273 litros de agua bajo todas sus formas, por cada centímetro cuadrado de superficie terrestre, distribuidos como sigue:

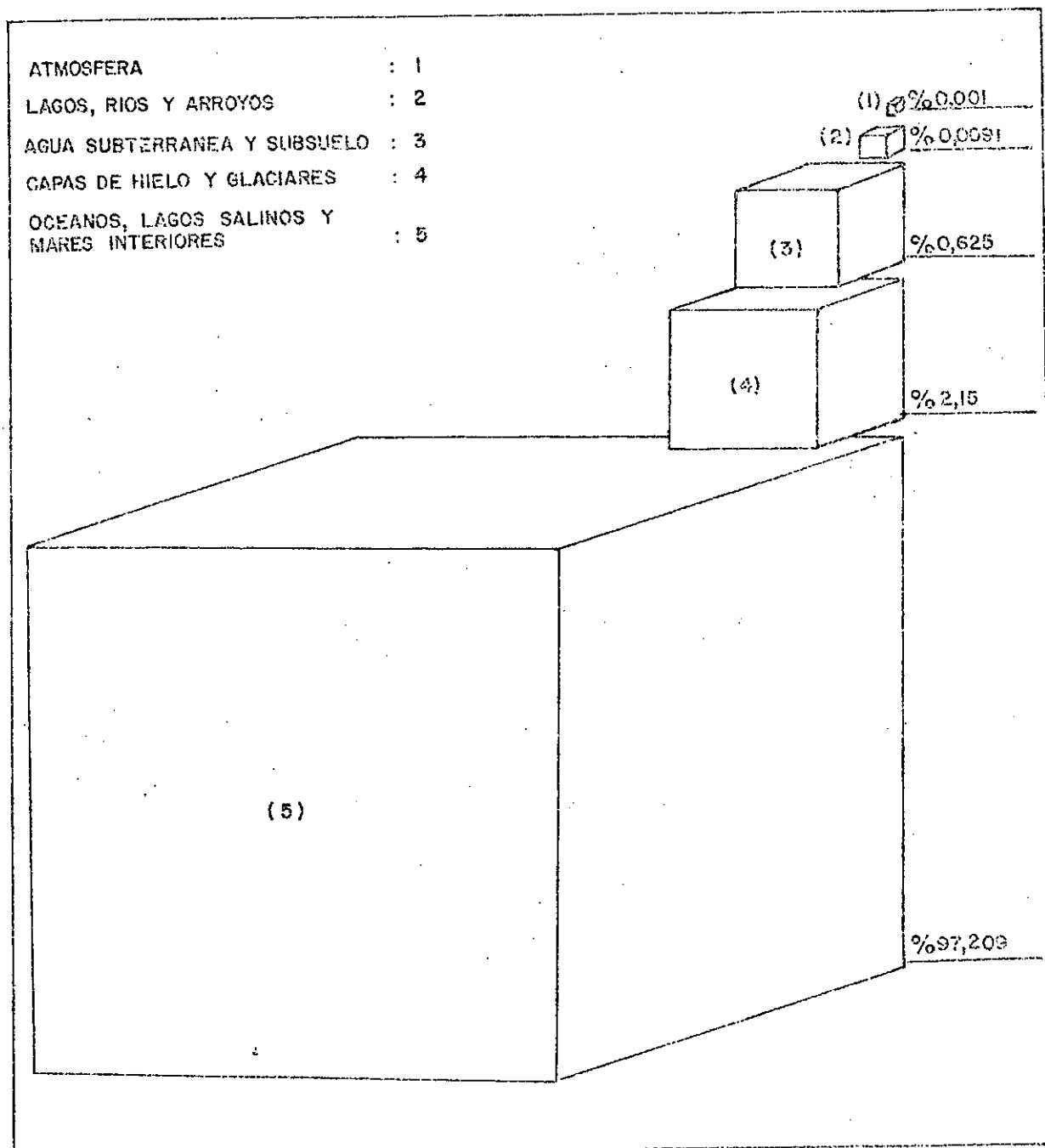
	<u>Litros</u>	<u>Kilogramos</u>
Agua de mar	268,45	278,11
Agua dulce	0,1	0,1
Hielo continental	4,5	4,5
Vapor de agua	0,003	0,003

Según estas cifras, la masa de agua dulce y de hielo continental resultante, es de $0,51 \times 10^{21}$ g, y $22,83 \times 10^{21}$ g, respectivamente.

De modo que el agua de mar comprende aproximadamente, el 98% de la masa de la hidrósfera. Por consiguiente su composición sin grave error, se puede tomar como promedio de la composición de la hidrósfera, puesto que las pequeñas cantidades de agua dulce y de hielo continental no pueden afectar los resultados de un modo significativo.

FIGURA Nº 17 CANTIDADES RELATIVA DE AGUA ALMACENADA EN LOS AMBIENTES MAYORES
DEL CICLO HIDROLOGICO (PORCENTAJES DEL TOTAL MUNDIAL)

(Obtenido de Vincent V. Salomonson y Albert Rango: "Water Resources" - 1973--)



DISTRIBUCION DE LOS RECURSOS MUNDIALES DE AGUA

4.1.6.7. Disponibilidad de Aguas para el Consumo Mundial.

Datos recientemente aportados (junio-julio de 1977) por el Banco Interamericano de Desarrollo indican que sobre la disponibilidad de agua entre los casi 2.000 millones de habitantes de los países del mundo en desarrollo (excluida CHINA), permiten constatar que apenas 763 millones de personas (el 30% de esa población) disponen de un normal abastecimiento de aguas el 77% de los habitantes de las ciudades y el 22% de la población rural. El 23% de la población urbana y el 78% de la población rural carecen de un adecuado aprovisionamiento de este elemento vital.

Los datos sobre disponibilidad de agua para la agricultura a nivel mundial son también inquietantes. Sólo el 18% de la tierra cultivada cuenta con irrigación y sin embargo, esas tierras producen del 40% al 50% del total mundial de alimentos. El factor financiero (decisivo en el riego agrícola) es el mayor factor limitante: el riego de una hectárea demanda un gasto de aproximadamente 2.000 dólares.

A los problemas derivados de la disponibilidad de agua para consumo personal y riego, hay que sumar el peligro de las enfermedades provenientes de la utilización de aguas contaminadas, tifoidea, cólera, disenteria, amebiasis y enteritis, que afectan cada año en el mundo a 250 millones de personas. En este sentido puede decirse que el problema del agua tiene dos facetas: la provisión de agua y la existencia (y utilización) de aguas contaminadas.

4.1.7. Vegetación.

Este apartado al igual que el siguiente de suelos, son indicados únicamente a manera de un sintético complemento, ya que cada uno de ellos ha sido ampliamente desarrollado en las secciones respectivas (Sección 7: Uso Actual de la Tierra-Vegetación; y Sección 9: Edafología) del presente informe.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el aspecto fitológico general de la Provincia es el de una selva, casi tropical. Debido a un clima, con temperaturas altas y muy lluvioso, sin invierno ni estaciones sin precipitación y a su suelo laterítico, producto del mismo clima, y a las condiciones de agua retenida en el suelo, los árboles son de gran talla y la vegetación muy tupida.

En su mayor parte el suelo desaparece debajo de una exuberante vegetación, en la impenetrable espesura de la selva misionera. Es la selva tropical, alta, densa, enmarañada de arbustos, lianas, epífitas, helechos y tacuaras tupidos, que

se extiende al PARAGUAY y el BRASIL.

Los caracteres de la vegetación son: formación siempre verde, árboles grandes acompañados por arbustos, lianas, enredaderas y plantas parásitas, determinando el total un conjunto denso. La altura general de los árboles es de 30 a 40 m., con frondosa copa y revestidos con colgaduras de epífitas y variadas, entre ellas preciosas orquídeas, helechos arbóreos y lianas.

El paisaje de los pinares, que se presenta principalmente en la margen oriental de la región, con asociaciones de pino paraná o pino misionero, pino de MISIONES, pino de BRASIL (Araucaria angustifolia) que llegan a contar 200 ejemplares en una sola hectárea y hasta 40 m de altura, se aloja arriba de los 500-600 m de altitud, sobre lomas de suelo profundo y rojo (laterítico). En esos "cuchillones" los árboles son más altos y corpulentos, pues disponen de un suelo bien avenado y al pie de las pendientes donde hay disponibles espesas deposiciones de acarreos humíferos, crece al estado silvestre la yerba mate, de modesta talla (Ilex paraguayensis).

Debajo de los pinares, una selva espesa, con abundancia de especies umbrosas y altas, de las cuales se han contado hasta 150 distintas en una sola hectárea, cubre la meseta con cedro misionero, lapacho negro, guayaibí, ambay y palmeras, en combinación con comunidades de bambúes casi impenetrables.

Una alfombra de musgos da una idea de esta tropicalidad que está representada acentuadamente, como se dijo, por un tapiz vegetal exuberante. A la vegetación higrófila mencionada se mezcla la xerófila del tipo chaqueño: urunday, lapacho amarillo, algarrobo negro y blanco y otras especies.

La explotación de los bosques y en especial del cedro, que es una madera muy apreciada, ha sido intensiva y constituye la base de una industria desarrollada. Muchas maderas finas son de utilidad para ebanistería.

4.1.8. Suelos.

Los suelos residuales (productos de la descomposición del basalto) están circunscritos en gran parte a las superficies interfluviales planas, en las tierras altas.

Exceptuando los perfiles rocosos desnudos de estos relieves y de los acantilados verticales de los ríos, toda la superficie de la región está cubierta por un espesor de suelo arenoso-arcilloso, rojo, de tenor laterítico más o menos elevado.

La corteza superficial de la meseta misionera está constituida por una espesa capa arenoso-arcillosa de color rojizo, el suelo laterítico, promovido por el clima húmedo y caluroso.

4.1.9. Fauna.

El carácter tropical de esta región se refleja en su fauna: yaguar, tapir, jabalí, oso hormiguero, aguará, gato montés, puma, monos de distintas especies, víboras, serpientes de todas clases y diferentes especies de lagartijas e iguanas. Existen en los ríos diferentes clases de pescados: pacú, dorado, surubí, etc. También gran cantidad de aves, tales como: tucanes y gran variedad de loros y picaflores.

Además existen insectos de todas clases: mosquitos, tábanos y mariposas multi colores pululan en cantidades considerables sobre zonas húmedas.

4.1.10. Parámetros Hidrológicos.

Complementando la definición y determinación conceptual de los distintos tipos o sistemas de avenamiento, desde el punto de vista geomórfico, existen cinco parámetros de singular e indiscutible importancia. Ellos están relacionados directamente con la morfología y los diferentes tipos de particularidades que tanto del punto de vista geológico como estructural caracterizan una región.

a. TEXTURA.

Espaciamiento relativo de las líneas de desagüe.

b. DENSIDAD.

Expresión determinada por la sumatoria de las longitudes de los ríos, dividida por la superficie de la cuenca o subcuenca a la que dichos ríos pertenecen.

$$D = L/S$$

Donde: D = densidad

L = longitud

S = superficie de cuenca o subcuenca.

c. FRECUENCIA.

La frecuencia es un parámetro determinado por la suma total de los ríos de una cuenca o subcuenca, dividido por la superficie total de la misma.

$$F = \text{ntr/st}$$

Donde: F = frecuencia

ntr = número total de ríos

st = superficie total de cuenca o subcuenca.

d. RELIEVE DISPONIBLE.

Relación entre la distancia vertical desde las tierras altas iniciales y el nivel de los valles equilibrados adyacentes. El relieve disponible influye directamente en la textura del avenamiento.

e. FACTOR MEANDRO.

Es la relación entre la distancia visible del meandro en la foto o imagen satelitaria y la línea recta dada por un segmento del río.

$$F_m = \frac{\text{Dm en la foto}}{\text{Lr en la foto}}$$

Donde: F_m = factor meandro

D_m = distancia del meandro en la foto

L_r = línea recta dada por un segmento del río.

Este factor es aplicable en los trabajos de detalle en áreas donde el diseño meándrico es predominante. Especialmente en aquellos casos cuyo objetivo es la recuperación de tierras litorales para la planificación urbana local o agropecuaria regional.

El procedimiento para la determinación de la distancia del meandro en la foto, consiste en trazar una fina línea recta sobre una faja o banda de papel transparente y luego superponer esta línea a cortos segmentos del río. Lógicamente que para ello antes se debe determinar la escala de la foto o imagen satelitaria y conocer a qué longitud equivale el segmento de recta trazado sobre el transparente, a los efectos del cálculo final.

Una vez realizado lo anterior, se seleccionan dos puntos situados en línea recta y separados unos 300 metros en el terreno, los que posteriormente son identificados en la foto. El papel transparente es colocado así sobre la imagen, de modo que uno de los extremos de la línea trazada sea colocada sobre uno de los puntos seleccionados, se atraviesa con un alfiler el punto del papel y el de la imagen. El papel es pivotado luego de modo que la línea trazada cubra una corta sección del curso del río.

Un segundo alfiler es colocado en el punto donde el río se desvía de la línea trazada. Luego el alfiler es quitado y el papel pivotado para coincidir con la próxima sección o segmento del río.

Este procedimiento es repetido hasta que el punto recorre los 300 metros. Se mide luego la cantidad de segmentos o líneas rectas determinadas y se calcula el factor meandro.

Por ejemplo, si tenemos que el factor meandro de un río es igual a 1,47 y un desajuste de la longitud mapeada de 8,6 Km; tendrá una corrección de la longitud de $8,6 \times 1,47 = 12,64$ Km.

4.2. DESCRIPCION DE LAS SUBCUENCAS HIDROLOGICAS DE LA PROVINCIA DE MISIONES.

Considerando los conceptos previos en relación con los procesos geológicos y geomorfológicos constructivos y destructivos, se establecerán las principales características hidrológicas e hidrográficas correspondientes a los sistemas de los ríos PARANA, URUGUAY e IGUAZU. En conjunto, estos ríos poseen sesenta y dos (62) subcuencas que han sido identificadas, clasificadas y agrupadas mediante el análisis e interpretación multiespectral satelitaria realizado estudios similares y la experiencia de AEROTERRA S.A. En cada una de ellas además de los conceptos expresados se la describe estableciéndose el o los tipos de diseño de avenamiento, las anomalías principales y el cálculo de la longitud de los ríos que la conforman, el área y la densidad del avenamiento.

La evaluación, esencialmente basada en la interpretación satelitaria multiespectral mencionada, transferida y dibujada en el inventario hidrológico-hidrográfico realizado, en algunos casos aprovechó los antecedentes provinciales existentes, especialmente los de CARTA y en aquellos sectores donde la definición y/o resolución de la imagen satelitaria no era la óptima deseable, pero siempre referida fundamentalmente a los cursos de segundo y tercer orden de ríos y arroyos de escaso desarrollo.

Para simplificar la terminología y no tornarla confusa y para que a la vez el presente trabajo constituya un elemento dinámico de consulta, se eligió como patrón de cada una de las subcuencas, la unidad más representativa, esto es, el sistema hidrográfico más importante, tal como los arroyos YACUY, SANTO DOMINGO, SAN ANTONIO, PEPIRI GUAZU, PIRAY MINI, SAGREDO, etc. (véase mapa hidrológico).

Cada una de las subcuencas de primer orden fueron identificadas en el mapa hidrológico con una sigla compuesta por la primera letra del nombre propio, correspondiente al colector principal. Por ejemplo: Subcuenca del río PARANA = P; subcuenca del río URUGUAY = U; subcuenca del río IGUAZU = I. Para referirnos a las subcuencas de segundo y tercer orden se utiliza la sigla correspondiente al colector principal con un subíndice numérico, el que es correlativo en sentido norte sur y de este a oeste. Por ejemplo: P₄ = Subcuenca del río PARANA y corresponde a la subcuenca de segundo orden del río PIRAY GUAZU.

4.2.1. Aclaraciones al Mapa Hidrológico.

Las características de valles encajonados contribuye como un factor decisivo, pese a las características de intensa precipitación de la provincia, a que no existan tierras inundables, por lo menos de importancia en los últimos años.

Respecto a los caudales temporarios de los ríos y arroyos de la provincia, a través de los cotejos de campo realizados se comprobó que los flujos que avenan tanto ríos como arroyos son permanentes. Por cierto que determinar esta característica a través de las imágenes satelitarias no es tarea fácil, en especial por la gran densidad de la vegetación, que enmascara estas regiones. No se puede decir lo mismo cuando se presenta un monte bajo; zonas desérticas; o regiones de la llanura pampeana.

Además se debe destacar que las diferencias de escala existentes en la región sur de la provincia de MISIONES, entre los inventarios HIDROLOGICO y GEOLOGICO-ESTRUCTURAL, con la de los inventarios PLANIMETRICOS Y USO DE LA TIERRA, son debidos principalmente a que la base de los dos primeros se obtuvo del fotomosaico satelitario banda 7, infrarrojo blanco y negro, mientras que la base de los dos últimos se la obtuvo del fotomosaico satelitario banda 5 pancromático. En la Sección 3: Metodología, se ha considerado y desarrollado también estos aspectos al igual que los del párrafo siguiente.

Con referencia a las coordenadas geográficas de los inventarios realizados, las mismas han sido obtenidas de las imágenes satelitarias a granel y de las cartas del IGM a escala 1:500.000 y son indicadas únicamente como referencia general.

Los límites internacionales, no se consignan en los inventarios HIDROLOGICO y GEOLOGICO-ESTRUCTURAL, por cuanto la superposición de dichos rasgos restan información a la expresión gráfica de los símbolos adoptados y a otros elementos geográficos tales como la delimitación de los ríos e islas, dispersas especialmente en los grandes cursos fluviales.

4.2.2. Características Generales Regionales de los Colectores Principales desde el Punto de Vista Morfológico e Hidrográfico.

- a. Morfología: la provincia de MISIONES está delimitada por los ríos más caudalosos del país e incrustada profundamente entre BRASIL y PARAGUAY, mostrando caracteres propios y únicos dentro del conjunto de nuestros paisajes, si bien participa en cambio de las características propias de las regiones li-

mítrofes de estos países.

El río PARANA la separa del PARAGUAY en su límite noroeste. Del BRASIL se halla separada por el río IGUAZU, SAN ANTONIO y el PEPIRIGUAZU, afluente del río URUGUAY en su borde oriental y finalmente, en su límite sudeste por el curso del río URUGUAY. Su límite sudoeste con la Provincia de CORRIENTES está determinada por los arroyos ITAEMBE, afluente del ALTO PARANA y el CHIMIRAY, afluente del río URUGUAY.

Forma indiscutiblemente una región de rasgos típicos y peculiares en el conjunto de los paisajes argentinos, por sus caracteres geográficos generales y en especial, por su morfología, clima y vegetación.

Su morfología de meseta rocosa, con barrancas abruptas, elevadas de 50 a 80 m o más de los grandes ríos periféricos, con rellano ondulado y ascendiendo, con doble pendiente, desde los bordes laterales hacia el eje longitudinal de la región. A lo largo de este eje hay, entonces, un divortium aquarum (véase Foto N° 8) que, en partes, alcanza 750 m.s.n.m., que divide las aguas que fluyen al río PARANA de aquellas que lo hacen al río URUGUAY. Bajo un clima muy lluvioso, numerosos cursos de agua se desprenden de este dorso mediano y se dirigen transversalmente a los respectivos colectores surcando poco la superficie por la resistencia opuesta por las rocas duras (fenobasaltos y areniscas, en gran parte endurecidas por metamorfismo de contacto) que forman el bloque misionero.

Por la razón anteriormente mencionada especialmente sobre el río PARANA, ellos caen bruscamente con saltos rápidos y grandes cascadas, entre ellas las grandiosas y únicas del IGUAZU y las de MOCONA en el río URUGUAY.

En la imagen satelitaria pancromática a escala 1.000.000 ilustrada en la foto N° 8 se puede observar como varía de intensidad el diseño meándrico del río URUGUAY, en relación al que presenta el río PARANA. En el primero, los diseños meándricos son más apretados y de formas completamente irregulares; en tanto que en el segundo los meandros presentan una amplitud mayor y el grado de sinuosidad es mucho menor. En el caso de la banda 5, pancromática, de la imagen, los tonos correspondientes a los ríos se presentan gris claro a blancos; en la banda 7, infrarroja blanco y negro sus tonos son oscuros o negros.

La topografía actual tiene en sus divisorias interfluviales principales mesetas chatas cubiertas de lava. Los cursos de agua han cortado cañadones y desfiladeros profundos y poseen rápidos y cascadas. La topografía está, por consiguiente, en su estado juvenil.

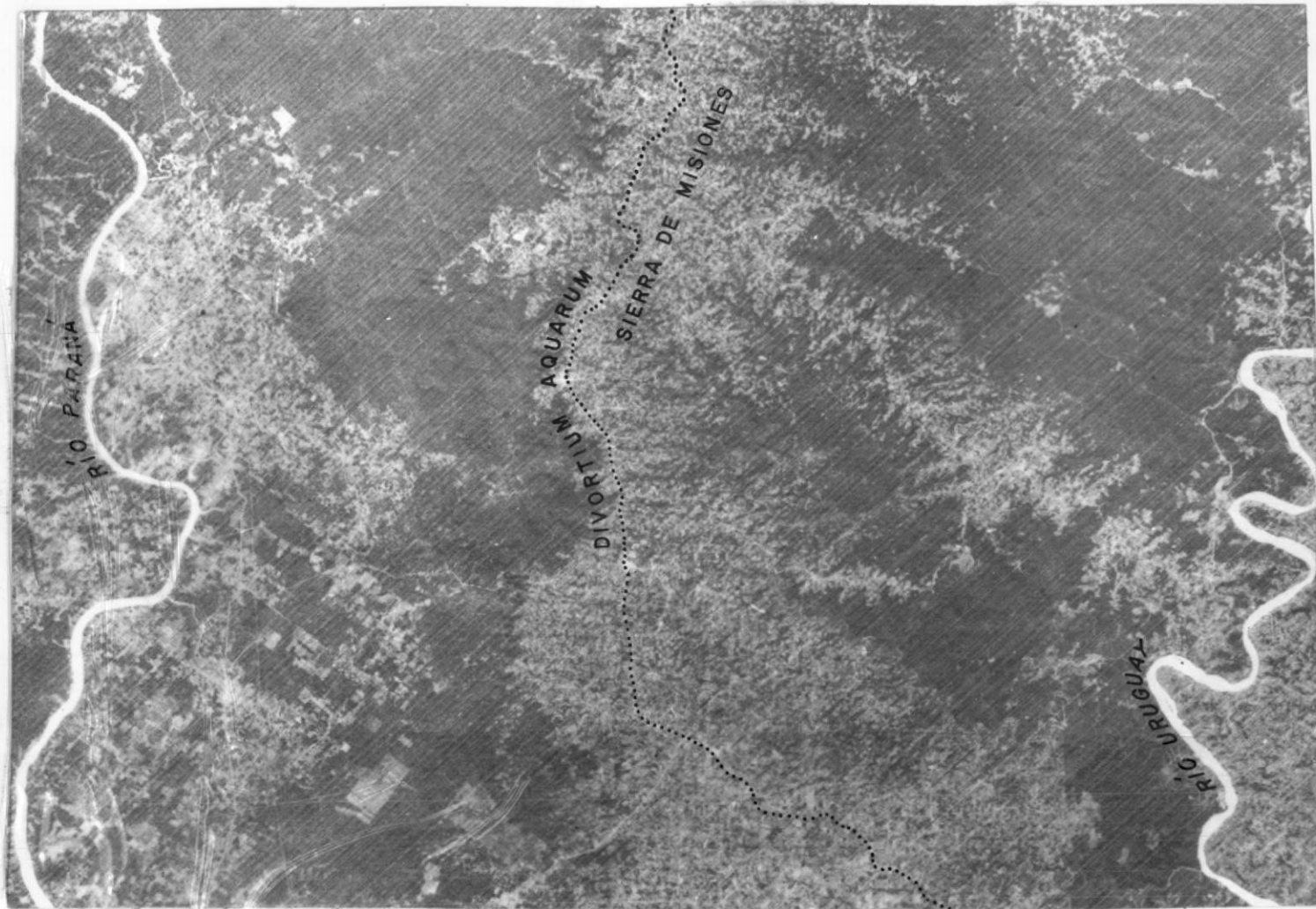


FOTO N°8: Imágen satelitaria LANDSAT 1215-1304 3-5. BANDA 5 Pancromática a escala 1: 1.000.000. En esta imágen se observa definidamente el DIVORTIUM AQUARUM. El río PARANÁ y el Río URUGUAY se muestran como dos "enrolladas" cintas blancas. En el caso particular del río URUGUAY, el índice de irregularidad meándrico es mayor, a lo largo de un tramo aproximadamente similar.

Hacia el extremo austral de la región, los valles fluviales se ensanchan y ahondan, creando relieves de aspecto montañoso, como los de las sierras del IMAN, al sudoeste de POSADAS, de perfiles elevados y abruptos. Pasa a un terreno ondulado que más al sur se transforma en una llanura de pocos abovedamientos.

- b. Hidrografía: Los dos grandes ríos delimitantes fluyen encajonados entre las altas barrancas rocosas de 50 a 80 metros de altura. A partir de entonces el relieve mesetiforme corresponde a la de una meseta rocosa y abovedada, formando a lo largo del eje longitudinal el divortium aquarum (ilustrado en la Foto N° 20) de los dos grandes ríos: PARANA y URUGUAY. La divisoria de agua no ofrece una cresta definida y neta pues en realidad se dibuja sobre una serie de lomadas suaves. La cresta de la divisoria se halla situada en diferentes partes a más de 700 m de altitud.

El río PARANA fluye a lo largo de un cañón con paredes de fenobasalto. Este largo cañón ha sido labrado al encajarse profundamente en los mantos fenobasálticos, debido a una intensa e incisiva erosión retrocedente. Este fenómeno se observa, desde más agua arriba de las cataratas del IGUAZU (los saltos de GUAYRA o SETE QUEDAS, que deben considerarse como el punto hasta donde ha llegado la erosión retrocedente del río PARANA), hasta unos 20 Km aguas abajo de POSADAS.

Por este encajamiento lineal del PARANA, sus afluentes en MISIONES quedaron fluyendo a un nivel superior; y para volcar sus aguas al río PARANA lo deben hacer por medio de una caída, dado que fluyen a un nivel más alto que el valle del río principal, por ejemplo el río ÑACUNDAY.

Es decir, el encajonamiento general del río PARANA, en su erosión lineal, bajó el nivel de base de todos sus afluentes agua arriba de POSADAS. A su vez, los afluentes han experimentado también un encajonamiento lento y progresivo.

Las areniscas intercaladas en las coladas de fenobasalto, son menos resistentes; las coladas vesiculares se desagregan y erosionan más fácilmente que las lavas más compactas; la estructura columnar, local, ayuda también a la erosión. El resultado ha sido la formación de perfiles de escalones y terrazas a lo largo de los valles, tanto longitudinal como transversalmente, y de un sinnúmero de rápidos y cascadas, con trechos intermedios de aguas perezosas y tranquilas.

En el punto donde el PARANA o el URUGUAY cruza la margen sur y sudoeste de la lava, se formaron cataratas o rápidos. Allí la lava constituye un nivel de base local para el avenamiento de los ríos PARANA y URUGUAY por arriba de ese punto. Sobre el río URUGUAY están los saltos de MOCONA. El río IGUAZU, al cortar la sierra de la VICTORIA (reborde lávico) forma las cataratas del IGUAZU, para luego

continuar por un lecho muy profundo. Los fenobasaltos duros producen en los ríos turbulencias peligrosas (correderas: YACIRETA?), cataratas (IGUAZU), y saltos (APIPE). Son ejemplos muy conocidos a causa de las perturbaciones que ocasionan a la navegación. En la meseta, los lechos de todos los ríos ofrecen saltos de agua donde aparecen desniveles en el lecho de roca volcánica, y donde las aguas fluyen a veces entre grietas gigantescas abiertas en el fenobasalto.

En la parte austral de la comarca, la acción de las aguas ha conseguido erosionar en mayor grado el suelo, formándose corrientes más profundas y anchas, que dan a la morfología, en la sierra del IMAN, un relieve más movido y pintoresco.

El avenamiento es consecuente (a la estructura). La cuenca buza hacia el sudoeste y el río principal, el PARANA y sus tributarios en las cabeceras ocupaban el seno de la cuenca.

4.2.3. Subcuenca del río IGUAZU : I

La Subcuenca del río IGUAZU, designada como "I", se divide en ocho subcuencas de segundo y tercer orden a saber:

1. SUBCUENCA SAN ANTONIO: I₁
2. SUBCUENCA SAN FRANCISCO: I₂
3. SUBCUENCA YACUY: I₃
4. SUBCUENCA SANTO DOMINGO: I₄
5. SUBCUENCA CENTRAL: I₅
6. SUBCUENCA CATARATAS: I₆
7. SUBCUENCA LAS ISLAS: I₇
8. SUBCUENCA EL TRIANGULO: I₈

Presenta formas semilunar-irregular con vértices próximo a la divisoria de agua entre el río SAN ANTONIO y el río PEPIRI IGUAZU al oriente, y en la intersección de los ríos PARANA e IGUAZU. La subcuenca está delimitada por el río que da nombre a la misma (IGUAZU) y el río SAN ANTONIO al norte y oeste respectivamente; mientras que al sur dicho límite está dado por la línea

divisoria de agua que la separa de la subcuenca del río PARANA.

El río IGUAZU atraviesa transversalmente la parte septentrional de la provincia de MISIONES, formando típicos diseños meándricos. El ancho de este río hasta las cataratas del mismo nombre, es uno de los mayores conocidos entre los colectores principales de la Provincia, el promedio se mantiene en un kilómetro. A partir de las cataratas disminuye sensiblemente y se mantiene constante en los 500 metros hasta su confluencia con el río PARANA (Véase Fotos Nos. 9, 10 y 11).

Las imágenes satelitarias ilustradas en las Fotos Nos. 9, 10 y 11, corresponden a las bandas 4 y 5 (pancromática) y 7 (infrarroja) del barredor multiespectral MSS del LAND SAT 1. Ellas ilustran la interpretación multiespectral realizada y muestran el tramo correspondiente al sector argentino.

Un análisis multiespectral de las distintas bandas de la imagen satelitaria LANDSAT 1 N° 1215-13040 ilustrada en las fotos y basado en la metodología de la Sección 3 de este informe nos muestra:

- a. En la foto N° 9, correspondiente a la banda 4 pancromática, los tonos de gris son bastante homogéneos, los ríos principales, PARANA e IGUAZU se caracterizan por el tono gris blanquecino. La sigla A, indica con rasgos apenas perceptibles la ruta que atravesando el PARQUE NACIONAL DEL IGUAZU une las localidades de CATA-RATAS DEL IGUAZU y BERNARDO DE IRIGOYEN, la B, señala la ubicación de un tramo del río SAN ANTONIO, prácticamente no se percibe; y la C, señala la posición de una isla, no detectable en esta banda.
- b. En la foto N° 10, correspondiente a la banda 5, pancromática, los ríos principales se muestran como franjas irregulares blancas; los tonos de gris son más heterogéneos de manera que permiten la individualización de más elementos o unidades fotomórficas (zonas de cultivos, caminos, aeropuertos, etc.).
- c. La foto N° 11, correspondiente a la banda 7, muestra los ríos principales definitivamente delimitados, dicha banda corresponde al INFRARROJO BLANCO Y NEGRO, razón por la que todos los cuerpos de agua y las zonas húmedas muestran tonos de grises oscuros, esencialmente negros. En tanto que otras unidades fotomórficas como A, por ejemplo que en la banda 5 está perfectamente definida en la banda 7 si bien se observa, la traza es muy discontinua. El modelo de la sigla C está perfectamente definido como una isla, caso que no se puede apreciar en las dos bandas anteriores (4 y 5). Finalmente la sigla B, muestra una traza continua y marcada que corresponde al río SAN ANTONIO y que en las bandas 4 y 5 es difícil su visualización. Otra característica

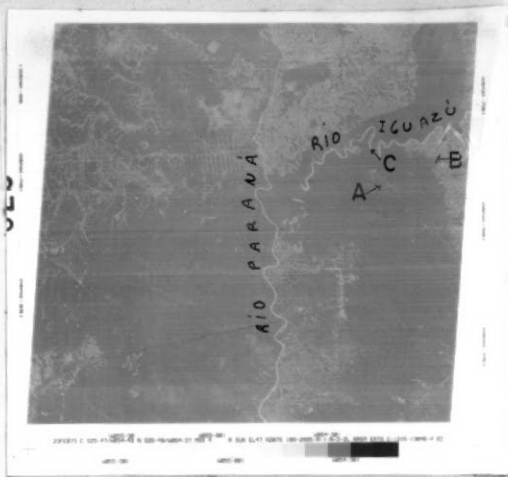


Foto N° 9. Imagen LANDSAT MSS 1215-13040. Banda 4. Tonos de gris homogéneos, enmascaramiento de estructuras.

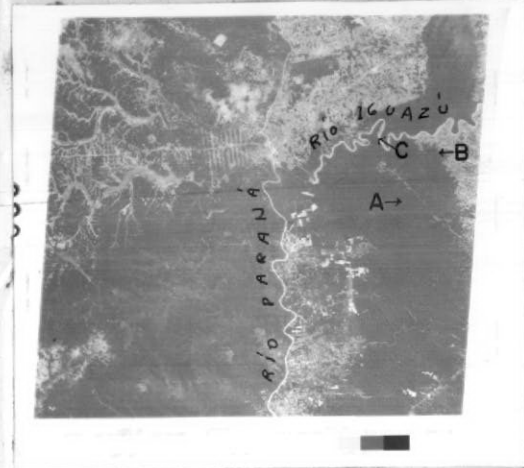


Foto N° 10. Imagen LANDSAT MSS 1215-13040, Banda 5. Tonos de gris heterogéneo, mayor gama de diferenciación.

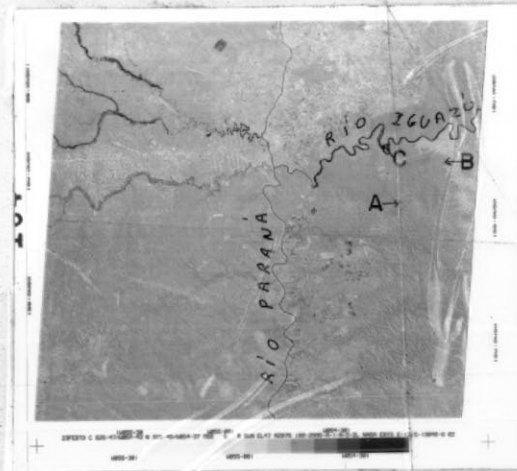


Foto N° 11. Imagen LANDSAT MSS 1215-13040. Cuerpos de agua y zonas húmedas bien contrastadas.

mejores definidas en la banda 7 son las estructuras, especialmente si se observa el detalle del diseño de avenamiento conformado sobre el basamento fenobasáltico.



Foto N° 12. Porción de la imagen satelitaria LANDSAT 2121-12513-7, infrarroja a escala 1:500.000. Obsérvese como varía en ancho el río IGUAZU a partir de las cataratas del mismo nombre. (1: Aeropuerto; 2: Ruta N° 12; 3: Cataratas; 4: Islas).

El BLOCK DIAGRAMA de la Figura N° 18 muestra gráficamente el tramo que comprende las cataratas del IGUAZU, que como ya se expresó precedentemente, es formado como consecuencia de un proceso de erosión retrocedente elaborado directamente sobre el basamento fenobasáltico. Al finalizar las cataratas, se forma una curva muy sinuosa, a partir de la cual el río se encajona, reduciendo marcadamente su ancho y manteniéndose constante hasta su desembocadura en el río PARANA.

Las fracturas que afectan la estructura, si bien han sido mapeadas superficialmente por estar bien definidas en la imagen satelitaria, su proyección en el subsuelo es una interpretación, en lo que respecta a la inclinación de la superficie de fracturación.

La foto N° 12, corresponde a una porción de la imagen satelitaria LANDSAT-2 2121-12513, banda 7, infrarroja, que corrobora las características de la morfología del río IGUAZU indicadas anteriormente. Una rápida interpretación nos señala en 1, al aeropuerto de la loca

BLOCK DIAGRAM N°. 3

Subcuenca del río Iguazú

Localidad Cataratas del Iguazú (Misiones)



Escala 1:250 000

lidad de CATARATAS DEL IGUAZU; en 2, la Ruta N° 12 que une dicho aeropuerto con PUERTO IGUAZU; en 3, la posición ocupada por las cataratas y el punto a partir del cual, el río IGUAZU reduce sensiblemente su ancho, y por último en 4, algunas de las islas presentes en este tramo del río.

4.2.3.1. SUBCUENCA SAN ANTONIO (I₁)

Subcuenca de forma irregular que contiene como afluentes más importantes los arroyos PESADO, Y ERBALITO, DE LAS ANTAS, TACUARAS y DESEADO, los que desaguan en el río SAN ANTONIO, que da nombre a esta unidad fotomórfica. Dicho río, demarca el límite oriental de la REPUBLICA ARGENTINA con BRASIL, en este tramo de la provincia de MISIONES.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SAN ANTONIO.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico en pinzas
3. Anomalías principales	:	fracturación y diaclasamiento
4. Longitud de los ríos	:	690 Km
5. Area de la subcuenca	:	671,9 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	1,02 (media)

4.2.3.2. SUBCUENCA SAN FRANCISCO (I₂)

Subcuenca de forma tabular, la principal corriente fluvial, la constituye el río SAN FRANCISCO, que da nombre a la subcuenca.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SAN FRANCISCO

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico - angular
3. Anomalías principales	:	fracturación y diaclasamiento

- | | | |
|----------------------------|---|-----------------------|
| 4. Longitud de los ríos | : | 197 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 212,5 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,92 |

4.2.3.3. SUBCUENCA YACUY (I₃)

Subcuenca de forma subtrapezoidal, integrada principalmente por el río del mismo nombre.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA YACUY.

- | | | |
|----------------------------|---|-----------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico - angular |
| 3. Anomalías principales | : | basamento eruptivo |
| 4. Longitud de los ríos | : | 192 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 211,3 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,90 |

4.2.3.4. SUBCUENCA SANTO DOMINGO (I₄)

Está constituida por el río del mismo nombre y es de forma tabular irregular.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SANTO DOMINGO.

- | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|
| 1. Orden de subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico - paralelo |
| 3. Anomalías principales | : | no observables |
| 4. Longitud de los ríos | : | 125 Km |

5. Area de la subcuenca : 153,3 Km²
6. Densidad de avenamiento , : 0,81

4.2.3.5. SUBCUENCA CENTRAL (I₅)

Presenta características fotomórficas bien definidas y similares a las adyacentes. Está integrada por los arroyos CENTRAL e IBICUI.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA CENTRAL.

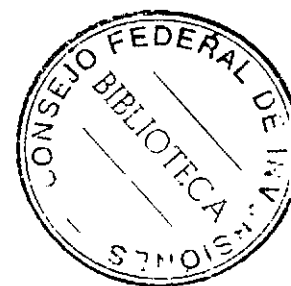
1. Orden de la subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : dendrítico en pinza
3. Anomalias principales : basamento fenobasáltico
4. Longitud de los ríos : 166 Km
5. Area de la subcuenca : 192,8 Km²
6. Densidad de avenamiento : 0,86

4.2.3.6. SUBCUENCA CATARATAS (I₆)

Esta subcuenca está formada principalmente por el arroyo ÑANDU y otros pequeños que desaguan directamente en el río IGUAZU.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA CATARATAS.

1. Orden de subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : paralelo
3. Anomalias principales : basamento fenobasáltico
4. Longitud de los ríos : 103 Km
5. Area de la subcuenca : 143,1 Km²



6. Densidad de avenamiento : 0,73

4.2.3.7. SUBCUENCA LAS ISLAS (I₇)

Está constituida por un conjunto de pequeños arroyos, dispuestos aisladamente que desaguan directamente en el colector principal de la subcuenca.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA LAS ISLAS.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo
3. Anomalías principales	:	basamento fenobasáltico
4. Longitud de los ríos	:	71 Km
5. Area de la subcuenca	:	104,7 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,67

4.2.3.8. SUBCUENCA EL TRIANGULO (I₈)

Es una pequeña subcuenca integrada por arroyos de escaso desarrollo que desaguan directamente sobre el río IGUAZU.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA EL TRIANGULO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo
3. Anomalías principales	:	no observables
4. Longitud de los ríos	:	32 Km
5. Area de la subcuenca	:	58,1 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,55

RESUMEN: LONGITUD TOTAL DE LOS RIOS: 1.576 Km

SUPERFICIE TOTAL DE LA SUBCUENCA: 1.745,7 Km²

DENSIDAD PROMEDIO: 0,90

4.2.4. SUBCUENCA DEL RIO PARANA : P

La subcuenca del río PARANA, se designa con la letra "P" y se divide en veintisiete subcuencas de segundo y tercer orden a saber:

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1. SUBCUENCA URUGUA-I | 2. SUBCUENCA AGUARAY GUAZU |
| 3. SUBCUENCA PIRAY MINI | 4. SUBCUENCA PIRAY GUAZU |
| 5. SUBCUENCA PARANAY GUAZU | 6. SUBCUENCA GARUHAPE |
| 7. SUBCUENCA CUÑAPIRU | 8. SUBCUENCA TABAY |
| 9. SUBCUENCA ÑACANGUAZU | 10. SUBCUENCA YABEBIRY |
| 11. SUBCUENCA GARUPA | 12. SUBCUENCA ITAEMBE |
| 13. SUBCUENCA MBORAY | 14. SUBCUENCA YAZU ARGENTINO |
| 15. SUBCUENCA BONITO | 16. SUBCUENCA YARARA |
| 17. SUBCUENCA AGUARAY MINI | 18. SUBCUENCA CARAGUATAY |
| 19. SUBCUENCA ITACURUZU | 20. SUBCUENCA 3 DE MAYO |
| 21. SUBCUENCA MBORICUA | 22. SUBCUENCA FRANCES CUA |
| 23. SUBCUENCA ORATORIO | 24. SUBCUENCA SANTA ANA |
| 25. SUBCUENCA SAN JUAN | 26. SUBCUENCA ZAIMAN |
| 27. SUBCUENCA MARTIRES | |

La subcuenca del río PARANA es la de mayor desarrollo de la provincia de MISIONES, tanto por la longitud total de los ríos que la integran, como por la superficie que los mismos abarcan. Los ríos que integran esta subcuenca fluyen por lo general con dirección este-oeste y avanan al oeste en el colector princi-

pal: el río PARANA. Presenta una morfología tabular y está controlada estructuralmente por el basamento fenobasáltico.

Las imágenes satelitarias ilustradas en las Fotos Nos. 13 y 14, muestran las características del diseño de avenamiento y las unidades fotomórficas de la región austral de la subcuenca. El sector septentrional está representado en las Fotos Nos. 9, 10 y 11.

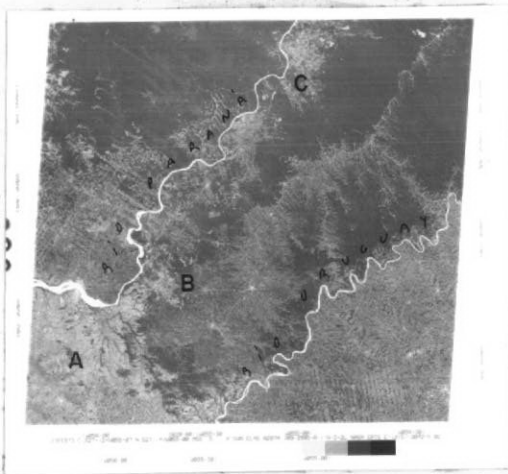


Foto N° 13. Imagen LANDSAT MSS 1215-13024-5. Banda 5, pancromática. A: en esta banda se distinguen los valles aluviales; B y C: ríos poco delineados.

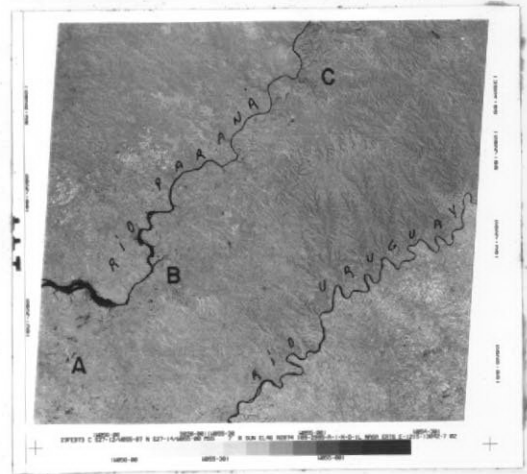


Foto N° 14. Imagen LANDSAT MSS 1215-13042-7. Banda 7, infrarroja. A: en esta no se diferencian los valles aluviales; B y C: los ríos se diferencian perfectamente.

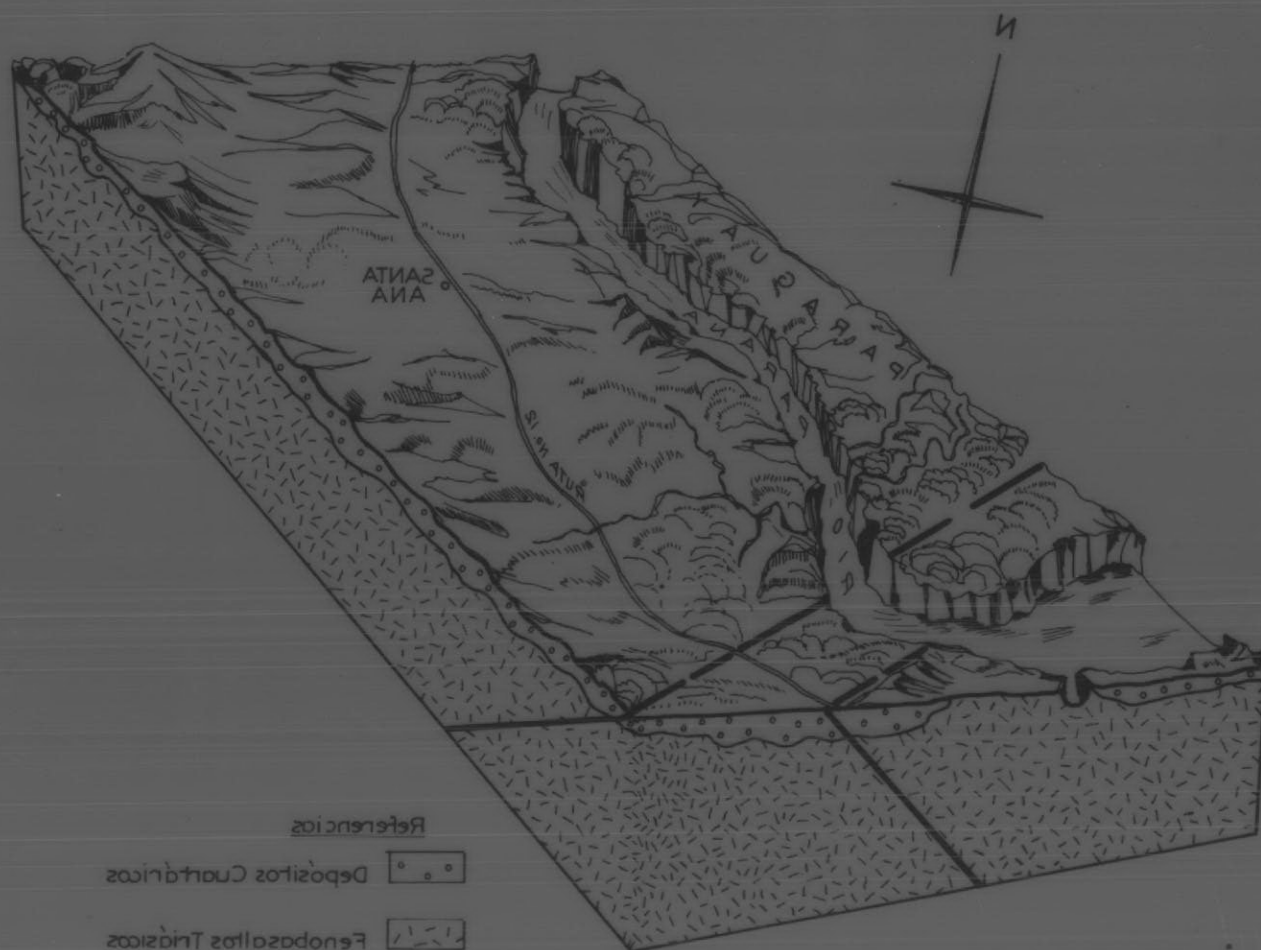
En la figura N° 19, se puede observar el BLOCK DIAGRAMA N° 1, correspondiente a un tramo del río PARANA próximo a la ciudad de POSADAS. El valle del río adopta en este caso un perfil de barrancas bastantes verticales. Las coladas fenobasálticas dan al paisaje formas suavemente ondulantes muchas veces escalonadas en el detalle. La erosión es lineal en coladas horizontales de fenobasaltos de bastante dureza. La corriente del río PARANA ocupa todo el valle y las orillas se precipitan directamente al agua, lo que le da el carácter de un gran cañón. Sin embargo, se nota en parte, la presencia de escalones o terrazas formadas en roca firme y a diversos niveles, como ocurre en las cercanías del PUERTO SANTA ANA.

En algunos casos, las rocas fenobasálticas constituyen islas de notable importancia, tal el caso de la isla de CORPUS (Véase foto N° 15).

BLOCK DIAGRAM N° 1

Subcuenca del río Paraná

Localidad Santa Ana (Misiones)



- Referencias
- Depósitos Cuaternarios
 - Fenoposolitos Tridicos
 - Fallas
 - Arroyos



Foto N° 15. Vista oblicua baja obtenida durante el reconocimiento aéreo desde el sudoeste. En el centro del río PARANA, se observa la isla de CORPUS, remanente de rocas basálticas, con acumulaciones de finas lenguas de arena blanco grisáceas hasta amarillentas.

Un análisis multispectral comparativo de la imagen satelitaria ilustrada en las fotos Nos. 13 y 14 permite determinar las siguientes características:

<u>Unidades Fotomórficas</u>	<u>Foto N° 25 - Banda 5</u> (pancromática)	<u>Foto N° 26 - Banda 7</u> (infrarroja)
<u>Ríos y arroyos</u>	poco perceptibles	bien delineados
<u>Areas de cultivo</u>	bien definidas	poco perceptibles
<u>Llanuras aluviales</u>	bien definidas	poco o nada perceptadas
<u>Rutas y caminos</u>	muy bien delineados	poco o nada visibles

4.2.4.1. SUBCUENCA URUGUA-I (P₁)

Esta subcuenca que atraviesa transversalmente la provincia de MISIONES tiene sus cabeceras en la culminación de las sierras de la VICTORIA y de MISIONES, próximo a las divisorias de agua de los ríos SAN ANTONIO y PEPIRI GUAZU.

Los afluentes más importantes son los arroyos SARITA, TALMA, EL 12 y URUZU entre otros numerosos pero sin nombre, en la margen derecha; y FALSO URUGUA-I, SUSLO y MORENO entre los afluentes de margen izquierda.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA URUGUA-I.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico arborescente y paralelo
3. Anomalías principales	:	meseta fenobasáltica fracturada
4. Longitud de los ríos	:	2.087 Km
5. Area de la subcuenca	:	2.562,2 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0.81

4.2.4.2. SUBCUENCA AGUARAY GUAZU (P₂)

Esta subcuenca se caracteriza por presentar unidades fotomórficas bien definidas. Los procesos erosivos degradaron intensamente la meseta fenobasáltica, de modo que la topografía de suaves colinas muestra casi en superficie la presencia de coladas. Próximo a la desembocadura en el río PARANA, el valle del arroyo AGUARAY GUAZU es muy encajonado y de paredes fenobasálticas.

Los afluentes más importantes son entre otros, los arroyos SAN JORGE y DORADO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA AGUARAY GUAZU.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico pinado-meándrico
3. Anomalías principales	:	basamento fenobasáltico
4. Longitud de los ríos	:	745 Km
5. Area de la subcuenca	:	872,8 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,85

4.2.4.3. SUBCUENCA PIRAY MINI (P₃)

Subcuenca de forma tabular de alta densidad hacia las cabeceras. Gran parte de sus arroyos carecen de nombre, entre los que lo poseen figuran DESPEDIDA y LEON. El colector principal, arroyo PIRAY MINI, presenta un diseño controlado por los factores tectónicos y litológico, de allí que su curso sea tan sinuoso e irregular.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PIRAY MINI.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico-angular-paralelo
3. Anomalías principales	:	control tectónico y litológico
4. Longitud de los ríos	:	1.672 Km
5. Area de la subcuenca	:	1.467,8 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	1,14

4.2.4.4. SUBCUENCA PIRAY GUAZU (P₄)

Es una subcuenca de regular dimensión, donde el colector principal denomina la unidad fotomórfica. Casi el 80% de la subcuenca presenta una marcada

densidad, especialmente en los sectores de cabecera, mientras que próximo a su confluencia con el río PARANA, la densidad de avenamiento es baja. Los principales tributarios que desaguan en la subcuenca son los arroyos SAN PEDRO, LAS ANTAS, SAN JOAQUIN, DEL NIÑO, EXPLORADO, CASCADA, MBORA, URULAU y AGUARA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PIRAY GUAZU.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	angular - paralelo
3. Anomalías principales	:	control tectónico
4. Longitud de los ríos	:	2.074 Km
5. Area de la subcuenca	:	780 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	2,65 (muy alta)

4.2.4.5. SUBCUENCA PARANAY GUAZU (P₅)

Esta subcuenca está muy controlada estructuralmente. Los distintos arroyos que la conforman tienen sus cabeceras en las laderas occidentales de la sierra de MISIONES, siendo los más importantes TARUMA, TIGRE, AZUL, MENSU, ALEGRIA, TAURUZU, YEGUA BLANCA, VICTORIA y el DORADITO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PARANAY GUAZU.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	angular - paralelo
3. Anomalías principales	:	control tectónico
4. Longitud de los ríos	:	1.240 Km
5. Area de la subcuenca	:	1.323 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,93

4.2.4.6. SUBCUENCA GARUHAPE (P₆)

Pequeña subcuenca, integrada principalmente por el arroyo que le da el nombre.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA GARUHAPE.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico arborescente
3. Anomalias principales	:	llanura de acumulación
4. Longitud de los ríos	:	418 Km
5. Area de la subcuenca	:	534 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,78

4.2.4.7. SUBCUENCA CUÑAPIRU (P₇)

Subcuenca de forma tabular-trapezoidal, tiene sus cabeceras al poniente de la sierra de MISIONES.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA CUÑAPIRU.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico-angular
3. Anomalias principales	:	llanura de acumulación-tectónica
4. Longitud de los ríos	:	359 Km
5. Area de la subcuenca	:	510 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,70

4.2.4.8. SUBCUENCA TABAY (P₈)

Subcuenca de forma tabular, controlada tectónicamente. Los arroyos más importantes son ORQUIDEA, JAZMIN y TULIPAN.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA TABAY.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	angular - paralelo
3. Anomalías principales	:	control tectónico y litológico
4. Longitud de los ríos	:	217 Km
5. Area de la subcuenca	:	381 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,56

4.2.4.9. SUBCUENCA ÑANCAGUAZU (P₉)

Subcuenca de baja densidad, integrada principalmente por los arroyos MACACO y HELVECIA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ÑANCAGUAZU.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	no observables
4. Longitud de los ríos	:	217 Km
5. Area de la subcuenca	:	381 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,56

4.2.4.10. SUBCUENCA YABEBIRI (P₁₀)

Subcuenca de regular desarrollo y baja densidad, en relación a las anteriores. Tiene sus cabeceras en las laderas occidentales de la sierra del IMAN. El arroyo YABEBIRI, colector principal de la subcuenca tiene sus nacientes próximo a OBERA. Un conjunto de arroyos desaguan en el colector principal, entre ellos los más importantes son: BONITO, LAS ANTAS, SOBERBIO, MBOTOVI, GUAVILUBA, GRANDE, SALTO, ENCANTADO, CHAPAS, TIGRE, MARTIRES GRANDE, MAGDALENA, CAZADOR y HORQUETA.

El relieve de la subcuenca muestra suaves colinas onduladas y una escasa cubierta edáfica, de modo que los afloramientos fenobasálticos son muy comunes. Dicha circunstancia hace que muchos de los arroyos fluyan por valles encajonados en la roca fenobasáltica, generalmente subordinados a los factores diastróficos.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA YABEBIRI.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	control tectónico y litológico
4. Longitud de los ríos	:	752 Km
5. Area de la subcuenca	:	1.905 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,39

4.2.4.11. SUBCUENCA GARUPA (P₁₁)

Subcuenca de forma subcircular. Asociadas a su sistema de avenamiento fluvial se presentan algunas lagunas de escasa importancia. La densidad del avenamiento es baja. La región es de suaves colinas, modeladas intensamente por un intenso ciclo de degradación y acumulación.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA GARUPA.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico-angular
3. Anomalías principales	:	control tectónico
4. Longitud de los ríos	:	668 Km
5. Area de la subcuenca	:	1.331 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,50

4.2.4.12. SUBCUENCA ITAEMBE (P₁₂)

Subcuenca de forma tabular, situada sobre el límite con la provincia de CORRIENTES. El colector principal es el arroyo ITAEMBE, la densidad de avenamiento es muy baja. Otros arroyos que desaguan en el colector principal son: ITAEMBE MINI y OJO DE AGUA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ITAEMBE.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	no observables
4. Longitud de los ríos	:	81 Km
5. Area de la subcuenca	:	100 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,81

4.2.4.13. SUBCUENCA MBORAY (P₁₃)

Subcuenca de densidad media, caracterizada principalmente por la presencia del río MBORAY, que tras corto recorrido desemboca en el río PARANA. Un conjunto de pequeños arroyuelos desaguan directamente en el río PARANA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA MBORAY.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico-paralelo
3. Anomalías principales	:	no observables
4. Longitud de los ríos	:	140 Km
5. Area de la subcuenca	:	157 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,89

4.2.4.14. SUBCUENCA YAZU ARGENTINO (P₁₄)

Pequeña subcuenca integrada casi exclusivamente por el arroyo que la denomina.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA YAZU ARGENTINO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	basamento fenobasáltico
4. Longitud de los ríos	:	125 Km
5. Area de la subcuenca	:	157 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,79

4.2.4.15. SUBCUENCA BONITO (P₁₅)

Está integrado por el colector principal conocido como arroyo BONITO, en el cual desaguan otros menos importantes tales como CASUALIDAD y TUPI CUA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA BONITO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico en pinza
3. Anomalías principales	:	basamento fenobasáltico
4. Longitud de los ríos	:	133 Km
5. Area de la subcuenca	:	219 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,60

4.2.4.16. SUBCUENCA YARARA (P₁₆)

Caracterizada por un conjunto de arroyos de corto recorrido entre los que se cuentan: YARARA, YERBAL, SAN MARTIN e ISTUETA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA YARARA.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo
3. Anomalías principales	:	fenobasalto fracturado
4. Longitud de los ríos	:	87 Km
5. Area de la subcuenca	:	148 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,58

4.2.4.17. SUBCUENCA AGUARAY MINI (P₁₇)

Subcuenca integrada por arroyos de escasa longitud, desplazados sobre un relieve bastante fracturado, erosionado y con sectores de acumulación.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA AGUARAY MINI.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	angular
3. Anomalías principales	:	fenobasalto fracturado
4. Longitud de los ríos	:	90 Km
5. Area de la subcuenca	:	218 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,41

4.2.4.18. SUBCUENCA GARAGUATAY (P₁₈)

Esta subcuenca presenta una total uniformidad fotomórfica, quizá debido a la intensa acumulación predominante. Pero aún así se destaca la influencia que ejercen las coladas fenobasálticas en el relieve y diseño de los cursos principales. Los arroyos más importantes son: ATERRADA, GUATAMBU, CARAGUATAY y BONITO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA GARAGUATAY.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	angular
3. Anomalías principales	:	llanura aluvial y fracturación
4. Longitud de los ríos	:	100 Km
5. Area de la subcuenca	:	208 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,48

4.2.4.19. SUBCUENCA ITACURUZU (P₁₉)

Subcuenca de forma trapezoidal, escaso desarrollo y ambiente de neto carácter ribereño desde el punto de vista fisiográfico y con gran actividad la

acentuación de los procesos geomórficos de acumulación.

Los arroyos más importantes son: BLANCO, PEDREGOSO e ITACURUZU. Este último es el colector principal.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ITACURUZU.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	llanura aluvial
4. Longitud de los ríos	:	178 Km
5. Area de la subcuenca	:	273 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,62

4.2.4.20. SUBCUENCA 3 DE MAYO (P₂₀)

Subcuenca de ambiente netamente litoral y gran predominio de los procesos de acumulación. Los arroyos más destacables son: PARANAY MINI, YATETAY y 3 DE MAYO. Este último es el que designa el nombre a la subcuenca.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA 3 DE MAYO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo - angular
3. Anomalías principales	:	estructuras de fracturación
4. Longitud de los ríos	:	120 Km
5. Area de la subcuenca	:	196 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,61

4.2.4.21. SUBCUENCA MBORICUA (P₂₁)

Subcuenca de escaso desarrollo, con cursos fluviales compuestos por arroyos aislados que avenan directamente en el río PARANA. Los arroyos más destacados son: LEON, COPIOVI y MBORICUA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA MBORICUA.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico - paralelo
3. Anomalías principales	:	estructuras de fracturación
4. Longitud de los ríos	:	162 Km
5. Area de la subcuenca	:	260 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,62

4.2.4.22. SUBCUENCA FRANCES CUA (P₂₂)

En esta subcuenca predominan los procesos geomórficos de acumulación aunque no intensa por el gran predominio de los afloramientos fenobasálticos. Los arroyos más importantes son: OASIS, FUKI KAWA y FRANCES CUA. Este último es el de mayor desarrollo. En general los pocos cursos fluviales presentes no son importantes.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA FRANCES CUA.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo
3. Anomalías principales	:	zona de acumulación
4. Longitud de los ríos	:	80 Km
5. Area de la subcuenca	:	179 Km ²

6. Densidad de avenamiento : 0,44

4.2.4.23. SUBCUENCA ORATORIO (P₂₃)

Escaso desarrollo y cursos fluviales aislados. Los arroyos más destacados son: SANTO PIPO y ORATORIO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ORATORIO.

- | | | |
|----------------------------|---|---------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | tercero |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico |
| 3. Anomalías principales | : | zona de acumulación |
| 4. Longitud de los ríos | : | 65 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 209 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,31 |

4.2.4.24. SUBCUENCA SANTA ANA (P₂₄)

Esta pequeña subcuenca está constituida exclusivamente por el arroyo SANTA ANA. El ambiente es de suaves colinas en las que los cuerpos de rocas fenobasálticas ejercen un marcado control.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SANTA ANA.

- | | | |
|--------------------------|---|-------------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | tercero |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico |
| 3. Anomalías principales | : | basamento fenobasáltico |
| 4. Longitud de los ríos | : | 40 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 76 Km ² |

6. Densidad de avenamiento : 0,52

4.2.4.25. SUBCUENCA SAN JUAN (P₂₅)

De características fotomórficas similares a la subcuenca anterior.

El arroyo SAN JUAN es prácticamente el único curso fluvial de importancia. Le sigue el arroyo ANSELMO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SAN JUAN.

- | | | |
|----------------------------|---|-------------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | tercero |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico |
| 3. Anomalías principales | : | basamento fenobasáltico |
| 4. Longitud de los ríos | : | 83 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 198 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,41 |

4.2.4.26. SUBCUENCA ZAIMAN (P₂₆)

Quizá por razones estructurales, en esta subcuenca se experimenta un notable cambio de rumbo de los cursos fluviales. Los arroyos ESTEPA y ZAIMAN son los más importantes.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ZAIMAN.

- | | | |
|---------------------------|---|--------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | tercero |
| 2. Tipo de diseño | : | angular - paralelo |
| 3. Anomalías principales | : | fracturación |
| 4. Longitudes de los ríos | : | 76 Km |

- | | | |
|----------------------------|---|---------------------|
| 5. Area de la subcuenca | : | 171 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,44 |

4.2.4.27. SUBCUENCA MARTIRES (P₂₇)

Los escasos cursos fluviales mantienen el mismo rumbo que la subcuenca anterior.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA MARTIRES.

- | | | |
|----------------------------|---|----------------------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | tercero |
| 2. Tipo de diseño | : | paralelo |
| 3. Anomalías principales | : | zona de acumulación-fracturación |
| 4. Longitud de los ríos | : | 37 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 101 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,36 |

RESUMEN: LONGITUD TOTAL DE LOS RIOS: 12.033 Km

SUPERFICIE TOTAL DE LAS SUBCUENCAS: 14.912 Km²

DENSIDAD PROMEDIO: 0,80

4.2.5. SUBCUENCA DEL RIO URUGUAY : U

La subcuenca del río URUGUAY, se designa con la letra "U" y se divide en veintisiete (27) subcuencas de segundo y tercer orden a saber:

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1. SUBCUENCA PEPIRI GUAZU | 2. SUBCUENCA YABOTI |
| 3. SUBCUENCA PARAISO | 4. SUBCUENCA SOBERBIO |
| 5. SUBCUENCA SALTIÑO | 6. SUBCUENCA PINDAITI |
| 7. SUBCUENCA ALEGRE | 8. SUBCUENCA ACARAGUA |
| 9. SUBCUENCA RAMON | 10. SUBCUENCA ONCE VUELTAS |
| 11. SUBCUENCA ITACARUARE | 12. SUBCUENCA SANTA MARIA |
| 13. SUBCUENCA PESIGUERO | 14. SUBCUENCA TUNAS |
| 15. SUBCUENCA CHIMIRAY | 16. SUBCUENCA ALEGRE |
| 17. SUBCUENCA GRANDE | 18. SUBCUENCA CHAFARIZ |
| 19. SUBCUENCA TARARIRA | 20. SUBCUENCA DORADO |
| 21. SUBCUENCA SAGREDO | 22. SUBCUENCA ALFEREZ |
| 23. SUBCUENCA ALIPIO | 24. SUBCUENCA GUERRERO |
| 25. SUBCUENCA PORTERO | 26. SUBCUENCA BARRERO |
| 27. SUBCUENCA CONCEPCION | |

La subcuenca del río URUGUAY, adopta la forma de una larga faja con rumbo aproximado NE-SO. Esta faja presenta las irregularidades propias derivadas principalmente de las formas contorsionadas y sinuosas de su colector principal el río URUGUAY, cuyo flujo mantiene el rumbo general NE-SO. Todos los afluentes que desaguan en el río URUGUAY, atraviesan perpendicularmente la faja mencionada con rumbo NO-SE.

En general, los cursos fluviales son de menor longitud que los correspondientes a la subcuenca del río PARANA, menos en aquellos casos en que las inflexiones de la sierra de MISIONES penetra más profundamente hacia el poniente,

ya que la divisoria de agua se desplaza solidariamente con la estructura. En consecuencia, los arroyos y ríos alcanzan longitudes similares en estos únicos casos.

En la foto N° 16 se destaca una de las características más sobresalientes que afecta a la subcuenca del río URUGUAY, desde el punto de vista geológico-estructural y que se traduce directamente en el aspecto hidrográfico e Hidrogeológico.

En la foto mencionada, que corresponde a la imagen satelitaria LANDSAT-2, N° 2156-12463-7, se puede observar el marcado control estructural del basamento fonobasáltico, especialmente siguiendo la dirección de los lineamientos y de la fracturación principal. A lo largo de dichas trazas fluyen los arroyos y ríos de la comarca, ajustados a valles estrechos elaborados directamente en la masa basáltica que actuó como un zócalo rígido frente a los procesos de degradación y por ende acumulación. Si bien esta última está presente en un grado muy atenuado. Sumados a los factores descriptos, la gran cubierta boscosa y la menor actividad humana, la respuesta es una mayor protección frente a los procesos erosivos y conexos.

En esta imagen (foto N° 16) se destacan los arroyos y ríos más importantes de esta porción de la comarca con la correspondiente dirección del flujo fluvial (H) para cada sistema: el río PEPIRI GUAZU (A), que delimita en esta región a las REPUBLICAS de ARGENTINA y BRASIL. Un poco al poniente los cursos más importantes de los arroyos PEPIRI MINI y YABOTI MINI (B) con su intrincado diseño meándrico irregular; el arroyo SOBERBIO (C) de diseño de avenamiento algo más regular y el arroyo CHAFARIZ (D), de menor expresión que los anteriores. En la región correspondiente a BRASIL se destaca la intensa acción antrópica a través de la explotación forestal y agrícola (E) y en el vértice superior derecho una masa nubosa (F) y sus respectivas sombras (G).

Además se puede observar que el río URUGUAY presenta valles encajonados, elaborados directamente sobre las lavas fonobasálticas y la razón de los diseños meándricos de mayor amplitud parece esta relacionada con un mayor grado de diastrofismo del sector.

El valle del río URUGUAY se implanta en una depresión transversal a subtransversal respecto al rumbo norte sur de las estructuras de la región.

A esta depresión concurren los flujos de los avenamientos fluviales tanto de territorio argentino como brasileño (H). los que avenan en el río URUGUAY el que se transforma así en el colector principal. Puede verse asimismo sobre el río URUGUAY, que los mayores desplazamientos en sentido horizontal de los meandros corresponden a la dirección del distrofismo principal, quizá esta sea una de las causas que determine este marcado control estructural.

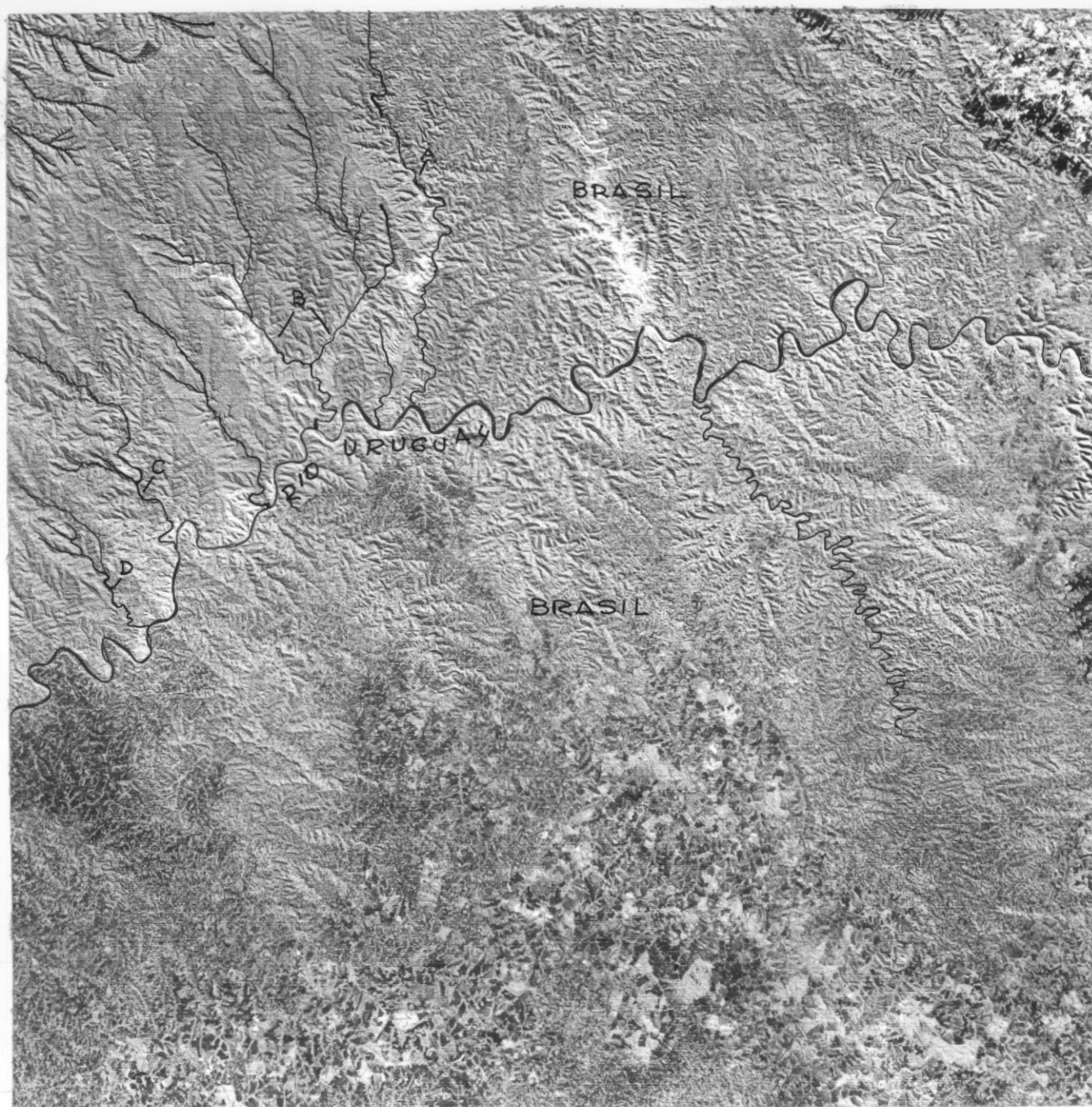


FOTO N°16: Imágen LANDSAT 2156-12464-7. BANDA 7 Infrarroja a escala 1:1.000.000. Gran parte de la imágen muestra territorio brasileño, intensamente explotado, en tan to que en el sector correspondiente a la ARGENTINA no sucede el mismo fenómeno. Las letras indican: A= Río Pepiri Guazú; B= arroyos Pepiri Miní y Yaboti Miní; C= arroyo Soberbio; D= arroyo Chafariz; E= Zonas de intensa explotación forestal y agrícola; F= Nubes; G= sombras de nubes; H= Dirección del flujo fluvial.

Sin duda que el control de todos los cambios geomorfológicos experimentados constantemente por este sector de la subcuenca, incluso aquellos provocados por el hombre y la adecuada interpretación y correlación de las imágenes satelitarias secuenciales, han de permitir no sólo detectar la dinámica de los procesos naturales, sino proveer eficazmente las bases reales para una correcta planificación de las medidas de protección necesarios a adoptar por las autoridades de decisión y/o ejecución.

Las corrientes del río URUGUAY elaboran lentamente el valle encajonado, proceso que en ciertas ocasiones se ha visto favorecido por las características litológicas del fenobasalto que facilitan en consecuencia la erosión retrocedente con la formación de numerosos saltos escalonados (véase Foto N° 17) o en otros, dan lugar a la formación de pequeñas islas e islotes en los que por lo general se da lugar a la acumulación de arenas. Uno de los saltos más notables observados en el curso del río URUGUAY son los del MOCONA.



Foto N° 17. Obtenida durante el reconocimiento aéreo. Obsérvese el escalón de fenobasalto, producidos por erosión retrocedente sobre el cual se originan los SALTOS DE MOCONA; sobre el curso del río URUGUAY.

En el caso específico de los saltos de MOCONA, es probable que a la acción de los procesos erosivos se le sume la actividad diastrófica, por cuanto el gran escalón fenobasáltico mantiene la misma dirección de la fracturación principal, es decir norte-sur.

Las figuras Nos. 20 y 21, corresponden a los blocks diagrams elaborados sobre el curso del río principal. Se detallan algunos aspectos estructurales que pueden considerarse como una interpretación en cuanto a lo que se representa como comportamiento de la estructura en el subsuelo, pero no así, en lo referente a las características morfológicas del río o los arroyos por corresponder a la misma escala (1:250.000) del mapa o inventario HIDROLOGICO respectivo. Con el mismo criterio los lineamientos y fracturaciones mapeados son perfectamente determinados en las imágenes satelitarias estudiadas.

El block diagrama de la figura N° 20, muestra un tramo del río URUGUAY afectado por una fractura. La dirección de la superficie de fracturación es una interpretación, adoptando los elementos de juicio que se reflejan a través de las características geológicas y geomorfológicas (depresiones, ondulaciones, arqueamiento, diferencias topográficas, etc.).

En el block diagrama de la figura N° 21, con más elementos de juicio se ha interpretado un movimiento diferencial de bloques que se traduce en el paisaje ondulado, y en algunos casos, depresiones recientes que conforman las distintas subcuencas de segundo y tercer orden; por ejemplo la de los arroyos TUNAS, CHIMIRAY (límite entre las provincias de MISIONES y CORRIENTES) y GARABI (en la provincia de CORRIENTES).

4.2.5.1. SUBCUENCA PEPIRI GUAZU (U₁)

Ocupa la porción más septentrional. Está caracterizada por arroyos de escaso desarrollo cuyas aguas fluyen con rumbo N-S a NO-SE, destacándose como más importantes INOCENTES, DOS HERMANAS y TORO.

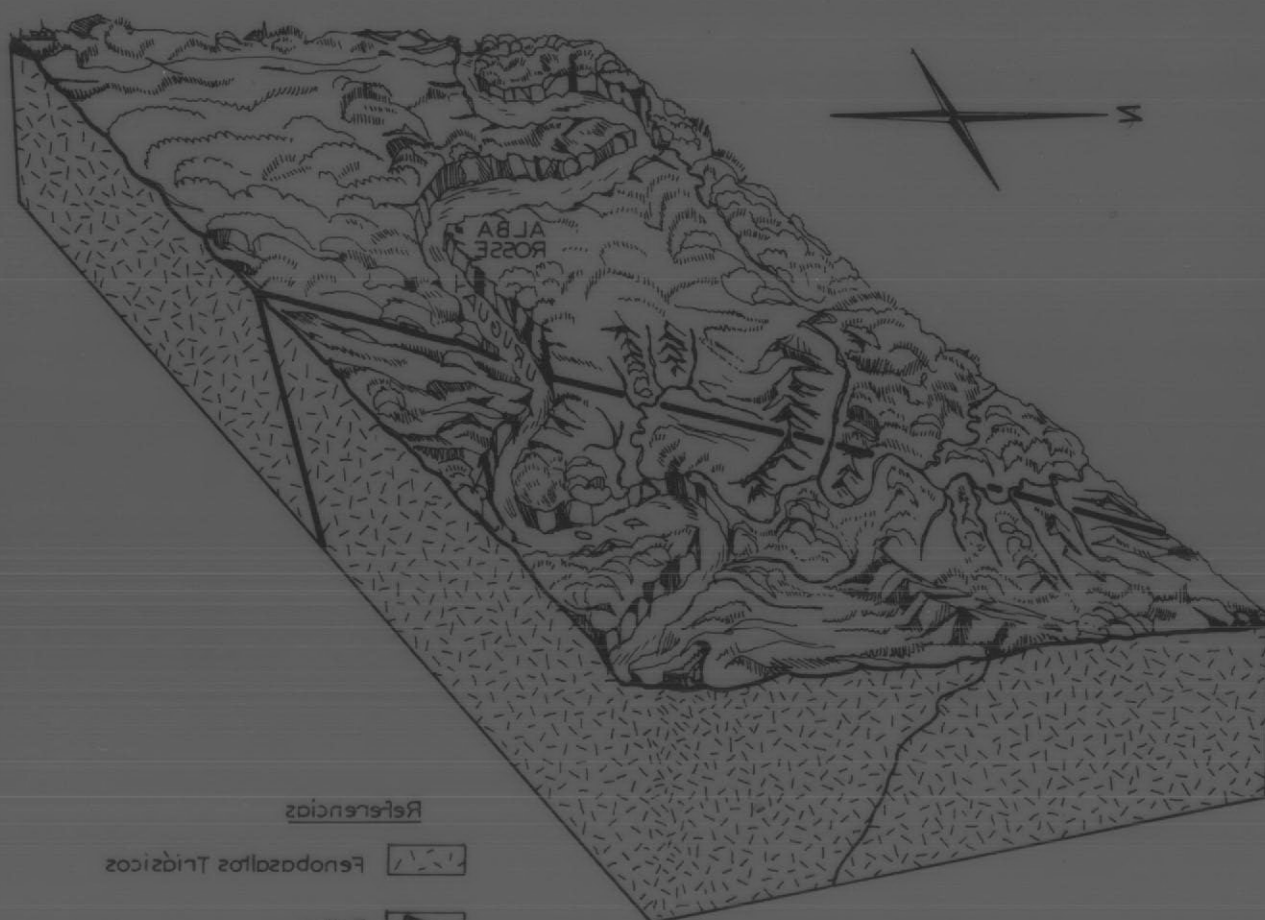
ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PEPIRI GUAZU.




1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico-paralelo-meándrico
3. Anomalías principales	:	basamento fenobasáltico fracturado
4. Longitud de los ríos	:	1.140 Km
5. Area de la subcuenca	:	847 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	1,34 (alta)

BLOCK DIAGRAM N° 2

Subcuenca del río Uruguay

Localidad Alta Rosse (Misiones)



- Referencias
-  Fenopasajos Tridísticos
 -  Fallas
 -  Arroyos

Escala 1:520.000

4.2.5.2. SUBCUENCA YABOTI (U₂)

Es la mayor subcuenca del río URUGUAY, las características fotomórficas permiten una detallada separación. El colector principal es el arroyo YABOTI MINI y en él desaguan los arroyos INVERNADA, LISO, GARIBALDI, YABOTI GUAZU (ESTE), Y ABOTI GUAZU (OESTE), FORTALEZA, COMPETIDOR y FLORIDA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA YABOTI.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico-paralelo
3. Anomalías principales	:	coladas volcánicas
4. Longitud de los ríos	:	1.979 Km
5. Area de la subcuenca	:	2.039 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,97

4.2.5.3. SUBCUENCA PARAISO (U₃)

Subcuenca de forma tabular, constituida esencialmente por el arroyo PARAISO o IPANE, que denomina a la subcuenca. Las aguas fluyen con decidida dirección N-S.

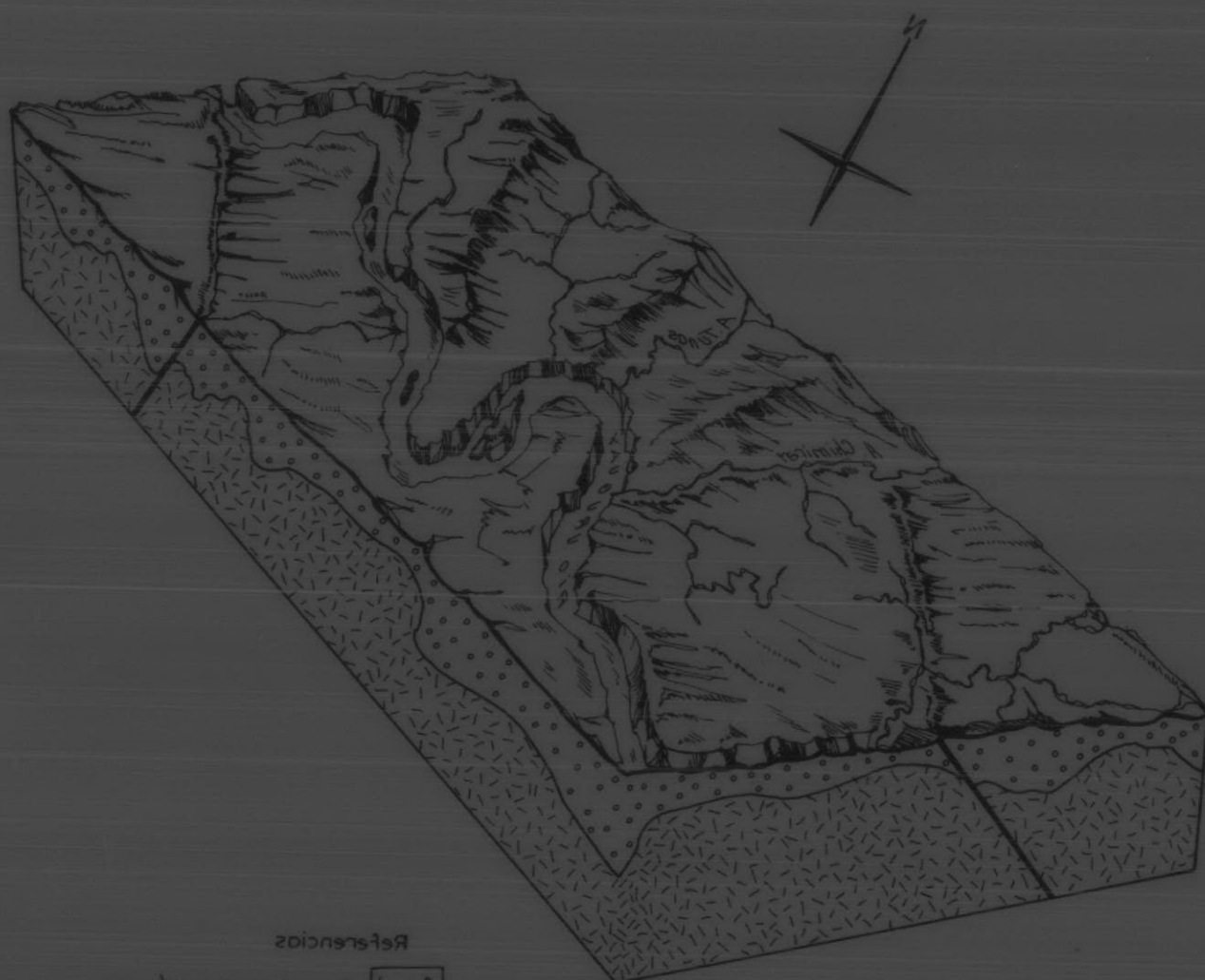
ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PARAISO.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Tipo de anomalías	:	no observables
4. Longitud de los ríos	:	592 Km
5. Area de la subcuenca	:	653 Km ²

BLOCK DIAGRAMA N° 4

Subcuenca del río Uruguay

(Provincia de Misiones)



- Referencias
- Depositos Cuaternarios
 - Fenopelitas Triásicas
 - Folios
 - Arroyos

6. Densidad de avenamiento : 0,89

4.2.5.4. SUBCUENCA SOBERBIO (U₄)

Subcuenca de forma tabular integrada por el arroyo SOBERBIO como colector principal y un denso conjunto de otros pequeños arroyos tales como IGUANUPIA y GUARANAIBA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SOBERBIO.

- | | | |
|----------------------------|---|------------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico - paralelo |
| 3. Anomalías principales | : | coladas fenobasálticas |
| 4. Longitud de los ríos | : | 1.024 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 1.098 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,93 (alta) |

4.2.5.5. SUBCUENCA SALTÑO (U₅)

Subcuenca de forma triangular donde las aguas de sus arroyos fluyen con marcada dirección N-S y siguiendo las líneas de fracturación. De allí la angularidad de los diseños de avenamiento. Los arroyos más importantes son: MACUCO, SALTÑO CHICO y SALTÑO. Este último denomina a la subcuenca.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SALTÑO.

- | | | |
|--------------------------|---|------------------------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | angular - dendrítico |
| 3. Tipos de anomalías | : | coladas fenobasálticas fracturadas |
| 4. Longitud de los ríos | : | 650 Km |

5. Area de la subcuenca : 902 Km²
6. Densidad de avenamiento : 0,72

4.2.5.6. SUBCUENCA PINDAITI (U₆)

Subcuenca integrada principalmente por el arroyo PINDAITI y sus pequeños afluentes. Las aguas fluyen con marcada dirección N-S hasta su desembocadura en el río URUGUAY.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PINDAITI.

1. Orden de la subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : dendrítico - paralelo
3. Anomalías principales : coladas fenobasálticas fracturadas
4. Longitud de los ríos : 368 Km
5. Area de la subcuenca : 493 Km²
6. Densidad de avenamiento : 0,74



4.2.5.7. SUBCUENCA ALEGRE (U₇)

Subcuenca de forma tabular, formada por el arroyo ALEGRE, colector principal y los arroyos SAN LUIS y TAMANDUA. La subcuenca tiene sus nacientes en las laderas orientales de la sierra de MISIONES.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ALEGRE.

1. Orden de la subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : dendrítico - paralelo
3. Anomalías principales : coladas fenobasálticas fracturadas
4. Longitud de los ríos : 664 Km

5. Area de la subcuenca : 779 Km²
6. Densidad de avenamiento : 0,85

4.2.5.8. SUBCUENCA ACARAGUA (U₈)

Subcuenca integrada por los arroyos GRAPIA, DEL MEDIO, LA CRUZ, ACARAGUA y otros pequeños cursos. El arroyo ACARAGUA es el colector principal.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ACARAGUA.

1. Orden de la subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : dendrítico - angular
3. Anomalías principales : coladas fenobasálticas
4. Longitud de los ríos : 554 Km
5. Area de la subcuenca : 805 Km²
6. Densidad de la subcuenca : 0,68

4.2.5.9. SUBCUENCA RAMON (U₉)

Subcuenca integrada por los arroyos PARDO, GUAY AVERA, GUARAYPU, ZACARIAS, SELVA y RAMON. Este último es el colector principal. A partir de esta subcuenca cambian paulatinamente de rumbos las subsiguientes hasta tomar dirección NO-SO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA RAMON.

1. Orden de la subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : dendrítico
3. Anomalías principales : zona de fracturación

- | | | |
|----------------------------|---|---------------------|
| 4. Longitud de los ríos | : | 207 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 346 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,59 |

4.2.5.10. SUBCUENCA ONCE VUELTAS (U₁₀)

Subcuenca integrada por un conjunto de pequeños arroyos como el ZAMAM-BAYO y el ONCE VUELTAS, que denomina a la subcuenca.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ONCE VUELTAS.

- | | | |
|----------------------------|---|----------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico |
| 3. Anomalías principales | : | zona de fracturación |
| 4. Longitud de los ríos | : | 262 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 403 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,65 |

4.2.5.11. SUBCUENCA ITACARUARE (U₁₁)

Subcuenca integrada por el arroyo que denomina a la misma y el arroyo DEL MEDIO. El arroyo ITARARUARE, es el colector principal y tiene sus cabeceras en las laderas orientales de la sierra del IMAN o ITACUARA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ITACUARARE.

- | | | |
|--------------------------|---|----------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico |
| 3. Anomalías principales | : | zona de fracturación |

4. Longitud de los ríos	:	283 Km
5. Area de la subcuenca	:	498 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,56

4.2.5.12. SUBCUENCA SANTA MARIA (U₁₂)

Pequeña subcuenca integrada por el arroyo que la denomina.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SANTA MARIA.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	zona de fracturación
4. Longitud de los ríos	:	112 Km
5. Area de la subcuenca	:	267 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,54

4.2.5.13. SUBCUENCA PESIGUERO (U₁₃)

Subcuenca de forma tabular constituida principalmente por el arroyo PESIGUERO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PESIGUERO.

1. Orden de la subcuenca	:	segundo
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	zona de fracturación
4. Longitud de los ríos	:	192 Km



5. Area de la subcuenca : 373 Km²
6. Densidad de avenamiento : 0,51

4.2.5.14. SUBCUENCA TUNAS (U₁₄)

Subcuenca de forma triangular integrada por los arroyos PEDREGOSO, TUNITAS, CHANCHO, LEON y TUNAS. Este último es el colector principal de la subcuenca.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA TUNAS.

1. Orden de la subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : dendrítico
3. Anomalías principales : zona de acumulación
4. Longitud de los ríos : 257 Km
5. Area de la subcuenca : 430 Km²
6. Densidad de avenamiento : 0,59

4.2.5.15. SUBCUENCA CHIMIRAY (U₁₅)

Esta subcuenca comparte su sistema de avenamiento con la provincia de CORRIENTES. Los arroyos más importantes del sector correspondiente a la provincia de MISIONES son: ANGICO y HORQUETA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA CHIMIRAY.

1. Orden de la subcuenca : segundo
2. Tipo de diseño : dendrítico
3. Anomalías principales : zona de acumulación
4. Longitud de los ríos : 152 Km

- | | | |
|----------------------------|---|---------------------|
| 5. Area de la subcuenca | : | 229 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,66 |

4.2.5.16. SUBCUENCA ALEGRE (U₁₆)

Subcuenca de escasa dimensión integrada por pequeños arroyos entre los que se destaca el ALEGRE.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ALEGRE.

- | | | |
|----------------------------|---|----------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | tercero |
| 2. Tipo de diseño | : | paralelo |
| 3. Anomalías principales | : | zona de fracturación |
| 4. Longitud de los ríos | : | 69 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 110 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,62 |

4.2.5.17. SUBCUENCA GRANDE (U₁₇)

Pequeña subcuenca integrada por los arroyos GRANDE, TARARIRA y BATISTA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA GRANDE.

- | | | |
|--------------------------|---|------------------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | tercero |
| 2. Tipo de diseño | : | paralelo |
| 3. Anomalías principales | : | zona de intensa fracturación |
| 4. Longitud de los ríos | : | 33 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 70 Km ² |

6. Densidad de avenamiento : 0,47

4.2.5.18. SUBCUENCA CHAFARIZ (U₁₈)

Subcuenca alargada con rumbo NO-SE. Está integrada por los arroyos CHAFARIZ CHICO y CHAFARIZ GRANDE. Ambos confluyen algunos kilómetros al sur para constituir el arroyo CHAFARIZ, el que luego desagua en el río URUGUAY.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA CHAFARIZ.

- | | | |
|----------------------------|---|----------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | dendrítico pinnado |
| 3. Anomalías principales | : | zona de fracturación |
| 4. Longitud de los ríos | : | 281 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 375 Km ² |
| 6. Densidad de avenamiento | : | 0,74 |

4.2.5.19. SUBCUENCA TARARIRA (U₁₉)

Subcuenca integrada por el arroyo TARARIRA. La franja rectangular de esta subcuenca está afectada por un intenso diastrofismo.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA TARARIRA.

- | | | |
|--------------------------|---|----------------------|
| 1. Orden de la subcuenca | : | segundo |
| 2. Tipo de diseño | : | angular |
| 3. Anomalías principales | : | zona de fracturación |
| 4. Longitud de los ríos | : | 104 Km |
| 5. Area de la subcuenca | : | 174 Km ² |

6. Densidad de avenamiento : 0,59

4.2.5.20. SUBCUENCA DORADO (U₂₀)

Pequeña subcuenca integrada por los arroyos DORADO y MACACOS.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA DORADO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	no observables
4. Longitud de los ríos	:	110 Km
5. Area de la subcuenca	:	194 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,56

4.2.5.21. SUBCUENCA SAGREDO (U₂₁)

Subcuenca integrada por unos pocos arroyos de diseño paralelo que confluyen independientemente en el río URUGUAY.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA SAGREDO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo
3. Anomalías principales	:	zona de intensa fracturación
4. Longitud de los ríos	:	37 Km
5. Area de la subcuenca	:	73 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,50

4.2.5.22. SUBCUENCA ALFEREZ (U₂₂)

Esta subcuenca está integrada por los arroyos ALFEREZ y YACUTINGA.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ALFEREZ.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	no observables
4. Longitud de los ríos	:	49 Km
5. Area de la subcuenca	:	113 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,43

4.2.5.23. SUBCUENCA ALIPIO (U₂₃)

Subcuenca integrada por dos arroyos principales entre los que se destaca el ALIPIO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA ALIPIO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo
3. Anomalías principales	:	zona de acumulación y fracturación
4. Longitud de los ríos	:	25 Km
5. Area de la subcuenca	:	89 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,28

4.2.5.24. SUBCUENCA GUERRERO (U₂₄)

La subcuenca está integrada por los arroyos LOPEZ y GUERRERO, este último es el colector principal.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA GUERRERO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	paralelo
3. Anomalías principales	:	zonas de acumulación y fracturación
4. Longitud de los ríos	:	100 Km
5. Area de la subcuenca	:	173 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,28

4.2.5.25. SUBCUENCA PORTERO (U₂₅)

Subcuenca de escaso desarrollo, integrada principalmente por el arroyo PORTERO.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA PORTERO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	zona de acumulación
4. Longitud de los ríos	:	42 Km
5. Area de la subcuenca	:	105 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,40

4.2.5.26. SUBCUENCA BARRERO (U₂₆)

Esta subcuenca está situada en una zona de intensa acumulación y sus integrantes son de muy escaso desarrollo.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA BARRERO.

1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico
3. Anomalías principales	:	zona de intensa acumulación
4. Longitud de los ríos	:	39 Km
5. Area de la subcuenca	:	103 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,39

4.2.5.27. SUBCUENCA CONCEPCION (U₂₇)

Subcuenca de forma tabular. Todos los cursos fluyen con dirección N-S hacia el río URUGUAY. El colector principal es el arroyo CONCEPCION.

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA SUBCUENCA CONCEPCION.

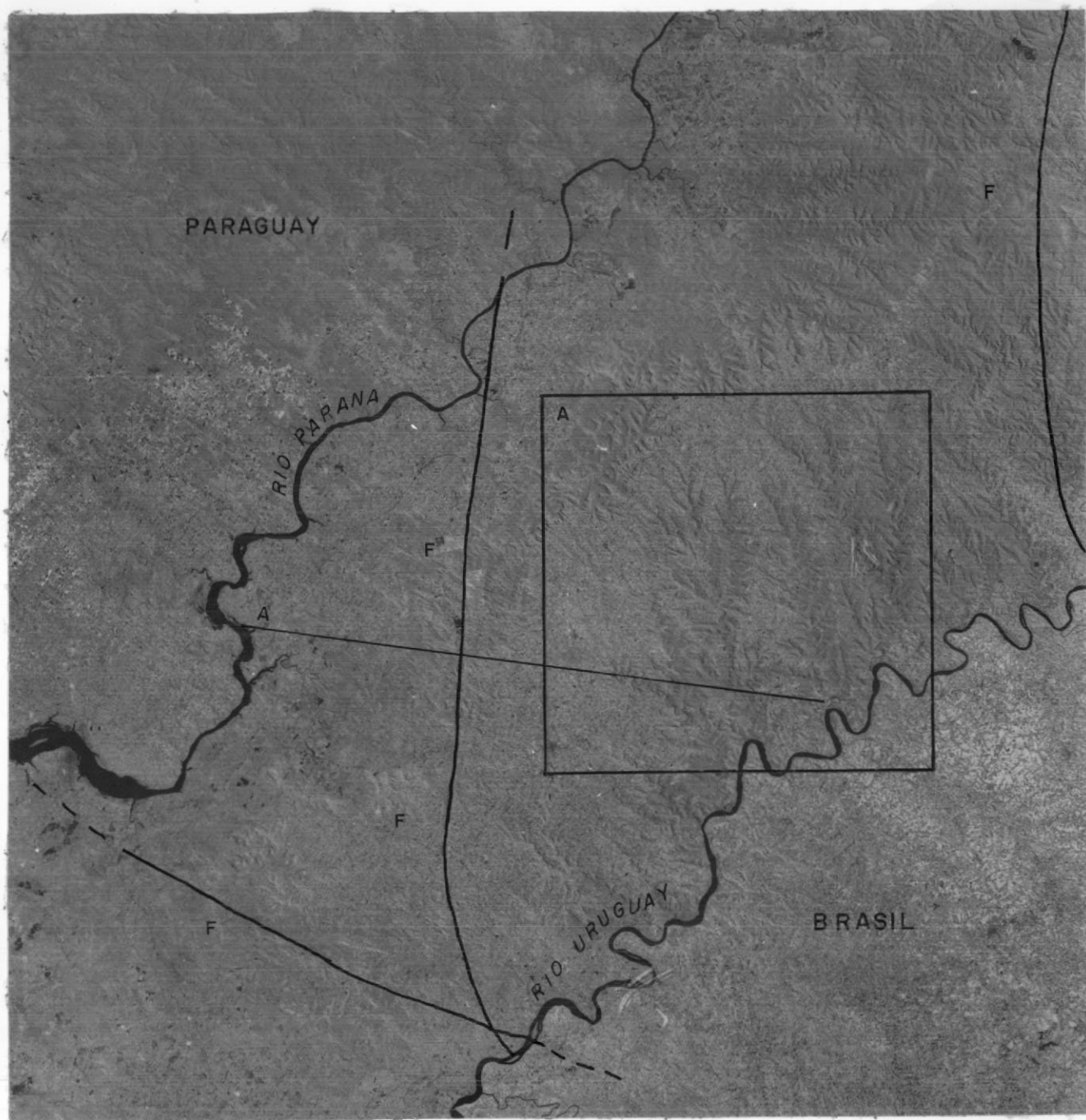
1. Orden de la subcuenca	:	tercero
2. Tipo de diseño	:	dendrítico pinnado
3. Anomalías principales	:	zona de acumulación
4. Longitud de los ríos	:	84 Km
5. Area de la subcuenca	:	155 Km ²
6. Densidad de avenamiento	:	0,54

RESUMEN: LONGITUD TOTAL DE LOS RIOS: 9,409 Km

SUPERFICIE TOTAL DE LAS SUBCUENCAS: 11.845 Km²

DENSIDAD MEDIA: 0,79

La imagen satelitaria banda 7 infrarroja a escala 1:1.000.000 que ilustra la foto N° 18 nos señala algunas de las características que ejercen un control definido sobre las subcuencas de avenamiento, las que principalmente están gobernadas por el intenso grado de fracturación de la meseta fenobasáltica.



OTO N°18: Imágen satelitaria LANDSAT 2139-12522-7. BANDA 7 Infrarroja, en Escala 1:1.000.00. En el recuadro señalado, se indica el sector con mayor índice de fracturación y que ha sido estudiado en detalle. Pese a estar cubierto por una densa vegetación las características dia tróficas se observan nítidamente. Las letras indican: N= formación de nubes; F= en el sentido N-S una fractura regional, quizá la más importante; F= en el sentido NO-SE las flechas indican una fractura que corta oblicuamente la anterior; A-A'= perfil geológico realizado.

4.3. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL CALCULO DE LAS SUPERFICIES DE LAS SUBCUENCAS.

Para calcular las superficies de las cuencas se usó un planímetro polar marca CO RADÍ de fabricación suiza. En todos los casos se trabajó por el método de "polo exterior", de modo que a algunas de las cuencas mayores (por ejemplo la P₁) fue necesario subdividir las previamente en dos o tres sectores y medirlos separadamente.

La longitud del brazo barredor del instrumento fue ajustada previamente para que de las lecturas se obtenga directamente la superficie expresada en centímetros cuadrados, o sea que la constante K del planímetro fue:

$$K = \frac{\text{superficie del plano}}{\text{número de divisiones}} = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{división}}$$

por lo tanto:

$$1 \text{ división del tambor} = 1 \text{ cm}^2$$

La lectura del tambor mediante el nonius permitió alcanzar la precisión de 0,1 cm². Además los valores obtenidos son resultado de promediar no menos de tres mediciones sucesivas.

Finalmente se aplicó el siguiente factor de escala:

$$1 \text{ cm}^2 \text{ en el plano} = 6,25 \text{ Km}^2 \text{ en el terreno}$$

redondeando los valores obtenidos al décimo de kilómetro cuadrado.

A continuación se dan algunos ejemplos.

Cuenca	Lecturas del tambor	Promedio de lecturas	Superficie en el plano	Superficie de la cuenca
I ₄	24, 1 div. 24, 3 div. 24, 2 div.	24, 2 div.	24, 2 cm ²	151, 3 Km ²
U ₁₀	64, 4 div. 64, 5 div. 64, 7 div. 64, 4 div.	64, 5 div.	64, 5 cm ²	403, 1 Km ²
P ₈	61, 2 div. 61, 0 div. 60, 9 div.	61, 0 div.	61, 0 cm ²	381, 3 Km ²

4.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Sobre la base de las distintas características estudiadas y analizadas en las unidades fotomórficas presentes en las imágenes satelitarias que han permitido realizar los fotomosaicos, mapa hidrológico e informe final respectivo, se han podido determinar las siguientes conclusiones y recomendaciones principales:

- a. La percepción multiespectral orbital aplicada a la técnica de teledetección, en relación con la variada gama de disciplinas que comprenden las ciencias naturales, permite incorporar un nuevo y valioso instrumento para el inventario de los recursos naturales.
- b. La visión regional actualizada que proporciona el inventario hidrológico realizado y adecuadamente complementado con los controles estructurales, lineamientos y geomorfología de los mapas respectivos realizados por AEROTERRA S.A., constituirán valiosas herramientas para los planificadores, autoridades de decisión y/o técnicos en la selección de áreas donde deberán intensificarse los estudios para futuros emplazamientos de centrales hidroeléctricas y otras obras de ingeniería.
- c. Mediante el análisis efectuado de las imágenes satelitarias se han ajustado las regiones fisiográficas de la Provincia de MISIONES, teniendo en cuenta el amplio panorama regional resolutivo que reflejan los procesos geomórficos, geológicos y estructurales.
- d. El sistema hidrográfico de la Provincia de MISIONES, presenta por primera vez un análisis cabal de su morfología real, expresada en las imágenes satelitarias e inventariada en el respectivo mapa hidrológico.
- e. Se han establecido pautas generales sobre el ciclo hidrológico; derrame superficial; hidrometría; variación de caudal y sus efectos; tipos de régimen fluvial y balance hidrológico.
- f. Se determinaron tres subcuencas de primer orden: RIO IGUAZU; RIO URUGUAY y RIO PARANA.
- g. Se determinaron SESENTA Y DOS (62) SUBCUENCAS DE SEGUNDO Y TERCER ORDEN en toda la provincia.

h. Las subcuencas correspondientes al río IGUAZU son las siguientes:

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. SUBCUENCA SAN ANTONIO | 5. SUBCUENCA CENTRAL |
| 2. SUBCUENCA SAN FRANCISCO | 6. SUBCUENCA CATARATAS |
| 3. SUBCUENCA YACUY | 7. SUBCUENCA LAS ISLAS |
| 4. SUBCUENCA SANTO DOMINGO | 8. SUBCUENCA EL TRIANGULO |

i. Las subcuencas correspondientes al río PARANA son las siguientes:

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. SUBCUENCA URUGUA-I | 15. SUBCUENCA BONITO |
| 2. SUBCUENCA AGUARAY GUAZU | 16. SUBCUENCA YARARA |
| 3. SUBCUENCA PIRAY MINI | 17. SUBCUENCA AGUARAY MINI |
| 4. SUBCUENCA PIRAY GUAZU | 18. SUBCUENCA CARACUATAY |
| 5. SUBCUENCA PARANAY GUAZU | 19. SUBCUENCA ITACURUZU |
| 6. SUBCUENCA GARUHAPE | 20. SUBCUENCA 3 DE MAYO |
| 7. SUBCUENCA CUÑAPIRU | 21. SUBCUENCA MBORIGUA |
| 8. SUBCUENCA TABAY | 22. SUBCUENCA FRANCES CUA |
| 9. SUBCUENCA ÑACANGUAZU | 23. SUBCUENCA ORATORIO |
| 10. SUBCUENCA YABEBIRI | 24. SUBCUENCA SANTA ANA |
| 11. SUBCUENCA GARUPA | 25. SUBCUENCA SAN JUAN |
| 12. SUBCUENCA ITAEMBE | 26. SUBCUENCA ZAIMAN |
| 13. SUBCUENCA MBORAY | 27. SUBCUENCA MARTIRES |
| 14. SUBCUENCA YAZU ARGENTINO | |

j. Las subcuencas correspondientes al río URUGUAY son las siguientes:

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. SUBCUENCA PEPRI GUAZU | 15. SUBCUENCA CHIMIRAY |
| 2. SUBCUENCA YABOTI | 16. SUBCUENCA ALEGRE |
| 3. SUBCUENCA PARAISO | 17. SUBCUENCA GRANDE |
| 4. SUBCUENCA SOBERBIO | 18. SUBCUENCA CHAFARIZ |
| 5. SUBCUENCA SALTIÑO | 19. SUBCUENCA TARARIRA |
| 6. SUBCUENCA PINDAITI | 20. SUBCUENCA DORADO |
| 7. SUBCUENCA ALEGRE | 21. SUBCUENCA SAGREDO |
| 8. SUBCUENCA ACARAGUA | 22. SUBCUENCA ALFEREZ |
| 9. SUBCUENCA RAMON | 23. SUBCUENCA ALIPIO |
| 10. SUBCUENCA ONCE VUELTAS | 24. SUBCUENCA GUERRERO |
| 11. SUBCUENCA ITACARUARE | 25. SUBCUENCA PORTERO |
| 12. SUBCUENCA SANTA MARIA | 26. SUBCUENCA BARRERO |
| 13. SUBCUENCA PESIGUERO | 27. SUBCUENCA CONCEPCION |
| 14. SUBCUENCA TUNAS | |

k. En las tres subcuencas de la provincia de MISIONES se determinó:

	<u>LONGITUD DE LOS RIOS</u>	<u>AREA</u>	<u>DENSIDAD</u>
1. SUBCUENCA IGUAZU	1.576 Km	1.745 Km ²	0,90
2. SUBCUENCA PARANA	12.033 Km	14.912 Km ²	0,80
3. SUBCUENCA URUGUAY	9.409 Km	11.845 Km ²	0,79
TOTAL	23.018 Km	28.502 Km ²	0,83 (1)

- l. Cada una de las subcuencas fue cartografiada y descripta con los tipos de diseño, anomalías principales; longitud de los ríos que la integran, áreas de la subcuenca y densidad de avenamiento que las integran.
- m. Sin lugar a dudas el conocimiento y características que controlan y gobiernan las distintas 62 subcuencas provinciales determinadas y analizadas, constituyen un valioso aporte para el manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos y la selección de áreas prioritarias para estudios detallados y/o ampliatorios.
- n. El estudio de la textura de los diseños de avenamiento que conforman el mapa hidrológico permitirá a las áreas responsables inferir la capacidad de infiltración del terreno y establecer así pautas vinculadas con futuros planes de desarrollo, colonización, etc.
- ñ. La adecuada correlación e interpretación de las imágenes satelitarias secuenciales deberá ser ampliada para permitir el conocimiento y detección de la dinámica de los procesos naturales en zonas críticas, y proveer así de bases reales y oportunas para una correcta planificación de la protección necesaria a adoptar en tiempo por las autoridades respectivas.
- o. En relación con lo anteriormente expresado, estudios satelitarios secuenciales y multiespectrales son recomendados para realizar y debidamente complementados

(1) Esta cifra corresponde al valor promedio de la densidad total de la provincia.

con la técnica de realce temático, mapas de computadoras, etc., en las zonas seleccionadas como puede ser, las directamente vinculadas con el aprovechamiento compartido de los ríos.

- p. Por último, un valioso aporte complementario a este inventario lo constituye su fácil integración con los de igual tenor y metodología recientemente realizados por AEROTERRA S.A. y que abarcan las completas provincias de CORRIENTES, FORMOSA y Cuenca del PILCOMAYO en la República del PARAGUAY, regiones donde al presente constituyen áreas geopolíticas críticas vinculadas con el futuro, desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos por nuestro País.

SECCION 5

GEOMORFOLOGIA

5.1. INTRODUCCION.

La constitución geomorfológica de la Provincia de MISIONES está desarrollada en el neto predominio de un ambiente fluvial donde son observables una completa gama de procesos morfológicos. Es por ello que se ha creído conveniente, previamente a las consideraciones específicas reconocidas mediante el análisis e interpretación multiespectral satelitario realizado, enunciar algunos de los postulados básicos que caracterizan la evolución de un ciclo fluvial.

Es necesario destacar que a pesar de los numerosos inventarios con que disponía la provincia, realizados por medios convencionales, es éste el primer mapa geomorfológico confeccionado para su territorio. MISIONES se convierte así, en una de las primeras provincias en contar con un mapa geomorfológico integral de su territorio a escala 1:250.000, basado en la tecnología satelitaria.

AEROTERRA S.A., al destacar este valioso aporte al adecuado conocimiento aplicado de los recursos naturales y al proceso de transferencia tecnológica, lo hace con verdadero orgullo de poder contribuir a ello con este trabajo, realizado por técnicos argentinos y con metodología propia adoptada de la aplicada en problemas similares por la comunidad científica mundial.

5.1.1. Ciclo Geomorfológico Fluvial.

El ascenso diferencial de la corteza terrestre es el que aporta indirectamente a través de los diferentes procesos de la naturaleza, las unidades iniciales de los materiales geológicos, los que están sujetos al modelado y a la reducción.

Estas unidades materiales, están dotadas de sus aspectos litológicos, estructurales y geomórficos. Ellas pueden ser: porciones de la plataforma continental recientemente ascendidas, domos y cuencas; alternancia de anticlinales y sinclinales en la estructura de montañas plegadas; estructuras falladas; estructuras de montañas complejas; mesetas volcánicas, como la

misionera; planicies limadas por el hielo; llanuras lacustres; áreas de acumulación de arenas y loess; áreas reducidas previamente a un relieve bajo por erosión fluvial.

De esta forma, en el ciclo fluvial, el modelado y la reducción de la masa inicial de materiales tienen lugar esencialmente por la acción combinada de la meteorización, la remoción en masa y la erosión, así como el escurrimiento de aguas encauzadas y libres.

El proceso de reducción está sujeto muchas veces a las condiciones diastróficas y sus consecuentes variaciones. Puede ocurrir antes, durante o después de un ascenso. Respecto al modelado y la reducción, ellos sólo pueden ser completados parcialmente durante un período de quietud, antes que el ascenso inaugure un nuevo ciclo.

A medida que un ciclo fluvial progresa sobreviene una sucesión sistemática de formas de relieve y cada estado está caracterizado por un grupo de formas en armonía con su ubicación en el ciclo (véase Figura N° 22).

Otro concepto fundamental es el relacionado con el desgaste, casi completo, de una parte elevada de la corteza terrestre generado por los fenómenos combinados de meteorización, remoción en masa y erosión por las aguas en escurrimiento; para dar luego origen a una superficie topográfica suave de relieve bajo, denominado peneplanicie (THORNBURY, 1966).

La estructura geológica es un factor dominante de control en la evolución de las formas del relieve y se refleja en ellas. En este caso el término de estructura está referido a las distintas morfologías que se esculpen en el relieve de acuerdo a las propiedades físicas y químicas (véase Figura N° 22). Entre los fenómenos comprendidos figuran principalmente la disposición de las rocas; presencia o ausencia de diaclasas, superficies de estratificación, fallas, susceptibilidad a la alteración química de los minerales componentes, permeabilidad, porosidad.

En general, los caracteres estructurales de las rocas son anteriores a las formas geomórficas desarrolladas sobre ellos. De modo entonces que a medida que los diferentes agentes erosivos actúan sobre la superficie terrestre, se produce una sucesión en las formas del relieve con características distintivas en los estados posteriores de su desarrollo. La idea básica es que, comenzando con un tipo dado de superficie inicial y con una estructura geológica subyacente de cierto tipo, la actuación de los procesos geomórficos sobre esta masa es más bien el resultado de un desarrollo secuencial de las formas del terreno antes que del azar.

5.1.2. Erosión Fluvial.

Uno de los procesos modeladores del relieve en el ambiente fluvial, es la acción denudadora de los ríos, a la que se conoce como erosión fluvial. Esta comprende una serie de etapas parciales que conducen al desgaste de las geoformas a través de los siguientes procesos:

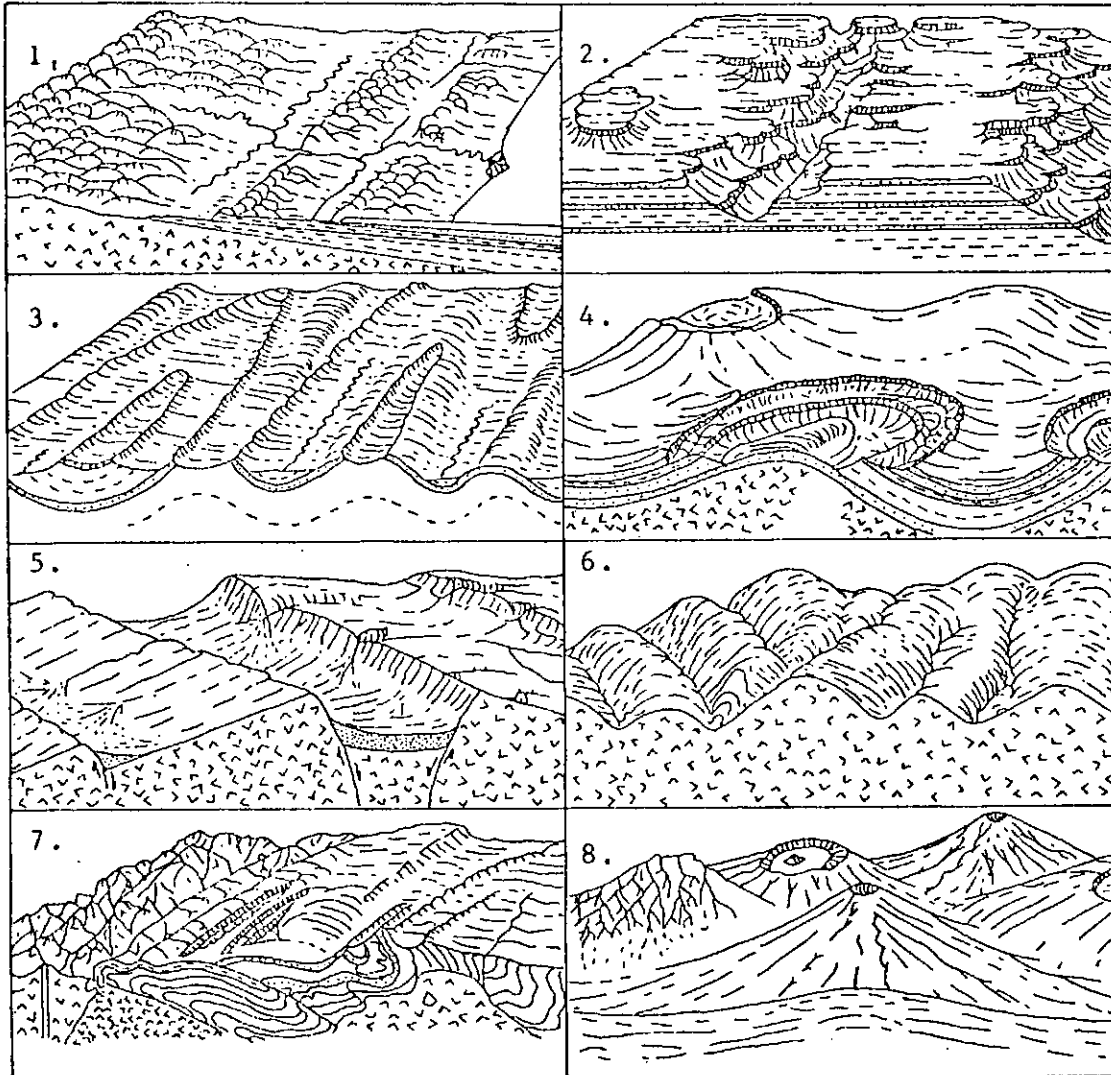
- Levantamiento y ablación de los materiales sueltos en el lecho del río. A estos se incorporan el material deslizado, reptado o captado de las laderas del valle.
- Desplazamiento y transporte de partículas y clastos finos por el lecho del río. Esto produce la erosión del material transportado y del lecho del río.
- El material más fino se transporta en suspensión, llevando en estado coloidal y por disolución las sustancias solubles.
- La formación y remodelación del lecho según su ancho y la profundidad es en sentido restringido lo que se considera como erosión fluvial propiamente dicha.
- Ante condiciones de energía determinadas, se produce la acumulación de los materiales transportados que llevan a la formación de los depósitos fluviales.

Estas etapas descriptas comprenden los procesos principales de erosión fluvial, prescindiendo de las condiciones climáticas y de la naturaleza del sustrato, las que se discutirán oportunamente.

La labor erosiva fluvial se compone de dos elementos: la energía del agua y la de las sustancias firmes movidas. El efecto erosivo o energía erosiva depende bajo condiciones iguales externas de la masa y de la velocidad de su movimiento, la que a su vez está controlada por la pendiente. Estos tres factores se hallan interligados en una relación mutua. A la energía se opone la carga de las sustancias firmes que deben ser transportadas. Cuando la energía del río es mayor que la carga, el río no sólo puede transportarla, sino también por medio de ésta atacar su lecho, es decir, ejercer una actividad erosiva. Cuando la energía del río es igual a su capacidad de carga se presenta un equilibrio entre la erosión y la acumulación, lo que condiciona el transporte del material con pobre poder erosivo. Cuando la energía es menor

FIGURA N°22 FORMAS DEL TERRENO SEGUN STRAHLER, 1960

DIAGRAMAS ILUSTRANDO LAS DISTINTAS CLASES DE TERRENO



1. Planicies costeras o costaneras
2. Estratos horizontales
3. Pliegues
4. Domos

5. Bloques fallados.
6. Masas cristalinas homogéneas
7. Estructuras complejas
8. Volcanes

produce la depositación de la carga transportada y mediante esta descarga un aumento transitorio de la erosión.

Es así que a lo largo del curso de un río se pueden reconocer etapas sucesivas de interacción entre la energía y la capacidad de carga, a saber:

- En las nacientes, el río presenta su máxima pendiente, con su consiguiente aumento de velocidad, lo que lleva a convertir la energía potencial en cinética. Esta alta condición de energía producirá una notable erosión y carcavamiento de su lecho con una acumulación escasa a nula.
- En el tramo medio, la pendiente y la velocidad disminuyen, alcanzándose un equilibrio entre la energía del medio y la capacidad de carga. Esto produce el desarrollo de un curso medio que es característico de estos tramos del desarrollo longitudinal del río.
- En el sector inferior o distal, la pendiente es ínfima y la energía decididamente menor que en los tramos superiores, por lo que el río se descarga de la mayor parte del material transportado. El lecho se ensancha mediante la formación de una extensa llanura aluvial.

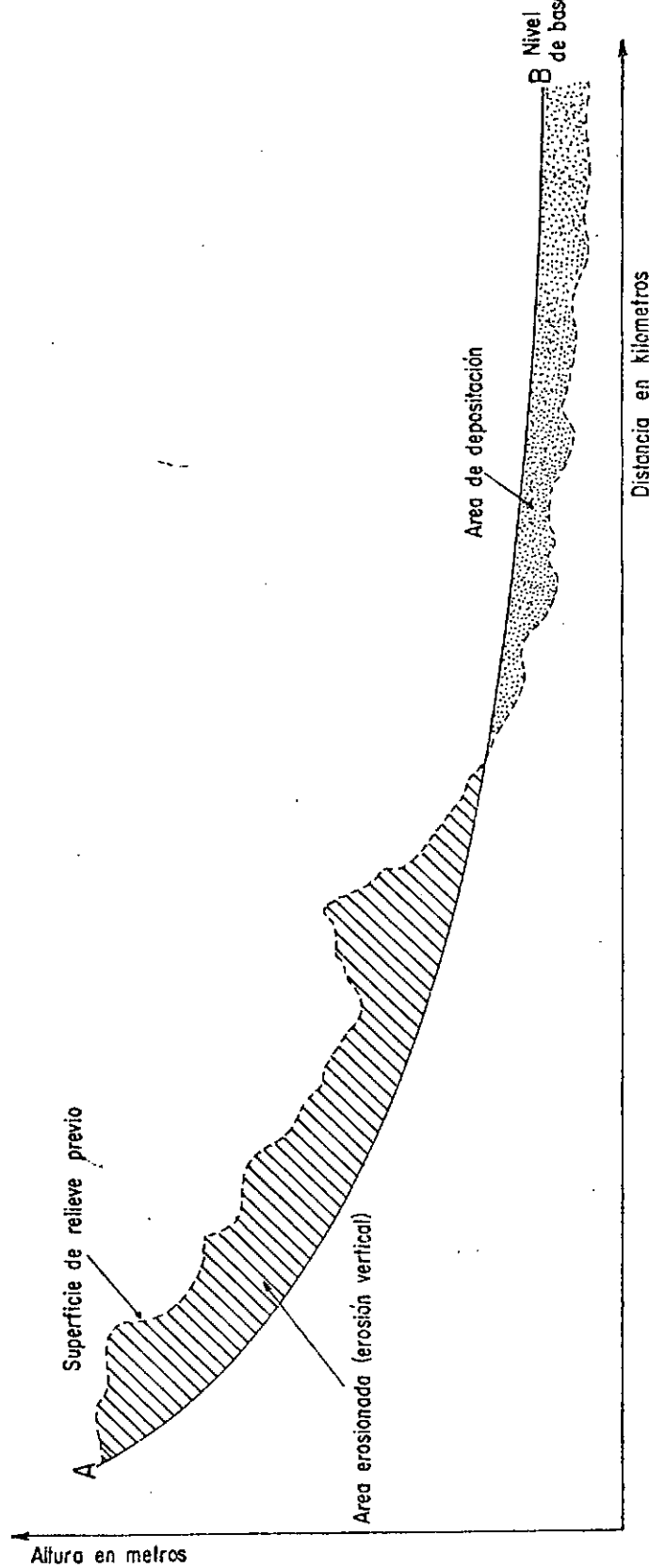
5.1.3. Tipos de Erosión Fluvial.

Si el curso de un río es rectilíneo la velocidad de una sección transversal será homogénea y constante. Pero dado que esto raramente ocurre, o sólo en cortos tramos de su recorrido, la existencia de curvas o desvíos en su desarrollo producirá inhomogeneidades en su velocidad. Se alcanza la máxima velocidad en una curva sobre el lado cóncavo, con mayor energía cinética. Por ello es aquí donde la ribera es socavada y destruída desplazándose el lecho en esa dirección.

En el lado convexo, a causa de la menor velocidad se depositan en la ribera bancos de arena o grava en forma de media luna que se conoce como espiras de meandro. Este socavamiento de las riberas ubicadas en el lado cóncavo de la curva se conoce como erosión lateral.

Concomitantemente a lo anterior, se produce la erosión vertical por los procesos anteriormente descriptos y que están controlados por el nivel de base del río. Se entiende como tal a la altura relativa a la cual desemboca el río. La diferencia entre la altura de un punto y la del nivel de base nos indicará la capacidad de erosión

FIGURA Nº 23 PERFIL LONGITUDINAL DE EQUILIBRIO DE UN RÍO



La curva AB representa el perfil de equilibrio entre la erosión y la deposición de un río. Este es un perfil ideal al que tiende la evolución del río, pero que las modificaciones del nivel de base por cambios climáticos o tectónicos difícilmente se logra.

vertical que presenta el río en un determinado lugar. Sin embargo es necesario tener presente el perfil longitudinal de equilibrio que controla la máxima erosión vertical (véase Figura N° 23).

Una modificación del nivel de base producirá una alteración del perfil de equilibrio iniciándose un nuevo ciclo de erosión. Este ciclo avanzará sobre el anterior mediante erosión retrocedente.

El frente de erosión retrocedente generará una onda erosiva que se denomina pulso de erosión activa, cuyo conocimiento es de vital importancia para la localización de la zona de erosión crítica, donde se observan los máximos procesos, de remoción en masa, deslizamientos, asentamientos, etc. (Ver Figura N° 24).

5.1.4. Concepto de Valle.

En relación con los procesos de agradación y degradación, es importante tener en cuenta un concepto fundamental dentro del ciclo geomorfológico fluvial, de amplio predominio en la provincia de MISIONES, cual es el VALLE.

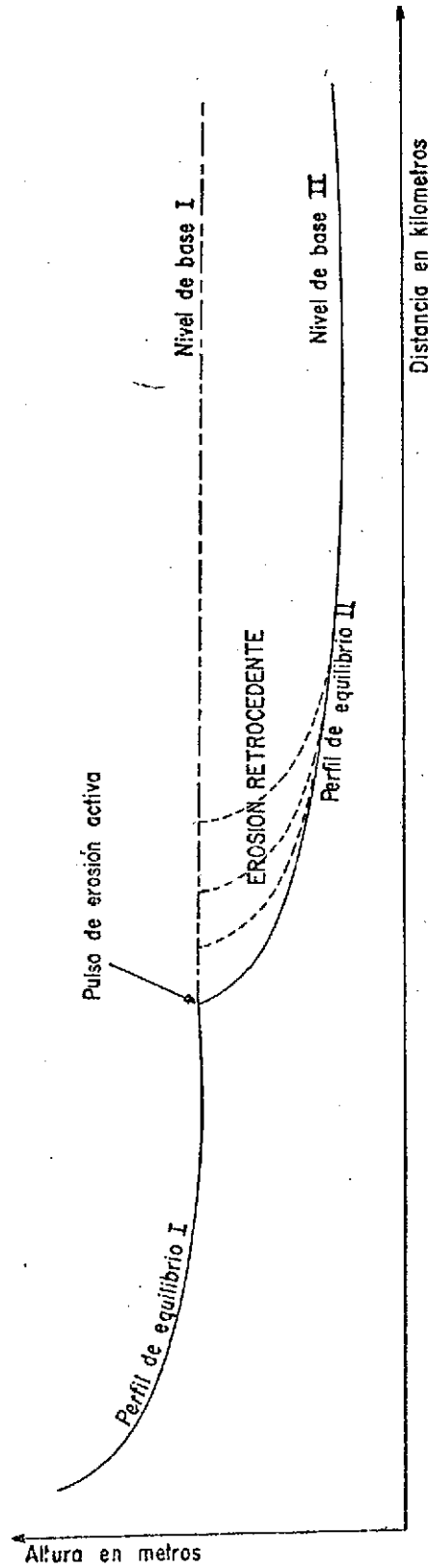
Por lo general se asocia el término a un paisaje de topografía heterogénea, tipificada por un ceñido y abrupto sistema orográfico. Sin embargo, cuando nos referimos a los términos "cárcava", "cañada", "caños", "quebrada", "barrancos", "arroyos", etc., nos estamos refiriendo a verdaderos valles, en virtud de haber sido elaborados por el flujo diferencial de las corrientes fluviales.

Un valle se puede definir como una forma de relieve negativa, de dimensión y aspecto variable, ocupado por ríos, arroyos o quebradas, en forma permanente o transitoria. De acuerdo con ello, toda vez que se utilice el término "VALLE" en este informe, nos estaremos refiriendo a los derivados de esas características genéticas.

En igual sentido, tampoco es adecuada la sinonimia utilizada muchas veces entre los términos "valle" y "río"; especialmente, cuando nos referimos a "ríos jóvenes", "ríos maduros", y "ríos viejos" o "seniles". En estos casos, en realidad lo que se quiere implicar en la acepción es: "VALLE JOVEN"; "VALLE MADURO", "VALLE VIEJO".

En coincidencia con lo expresado precedentemente, al hablar del sistema de avenamiento de la provincia de MISIONES, estamos en presencia de verdaderos va-

FIGURA Nº24 PULSO DE EROSION ACTIVA



Un cambio de nivel de base puede producir un nuevo pulso de erosión activa el que avanza por erosión retrocedente sobre el anterior perfil de equilibrio. El cambio del nivel de base I a II puede deberse a variaciones climáticas, modificaciones tectónicas o controles litológicos locales.

lles por los que fluyen los ríos, arroyos y riachos, con sus típicas características y estado hidrográfico.

En el desarrollo de un valle participan tres procesos en apretada concomitancia:

- a. profundización: en la que interviene la acción hidráulica; la corrosión o desprendimiento de partículas del subyacente; perforaciones de pequeños pozos o depresiones en el piso del valle; la disolución de material y la meteorización del lecho del río.
- b. ensanchamiento: se produce por erosión lateral efectuado por el flujo de un río, determinando así una distancia lineal entre los costados del valle, de expresión variable, por lo general de mayor desarrollo en la parte superior. La meteorización y la remoción en masa son dos procesos que tienen gran influencia en el ensanchamiento.
- c. alargamiento: este proceso se puede producir por erosión retrocedente, es decir la extensión de un río o arroyo por efectos de flujos laminares de agua penetrantes, con la meteorización y el consecuente desmoronamiento aguas arriba hasta producir una cabecera de valle abrupta; por aumento de tamaño de las vueltas de los meandros o por un ascenso o descenso del nivel de base.

Desde el punto de vista genético y con ciertas reservas, a los valles de la provincia de MISIONES se los puede definir como CONSECUTENTES, si partimos de la base de que los cursos fueron determinados por la pendiente inicial del terreno, por lo menos a partir del emplazamiento de la masa fenobasáltica. Especialmente en este caso, ya que es uno de los pocos en que se puede tener cierta razonable seguridad, por la estabilidad misma que el proceso efusivo le confiere.

No se debe descartar por supuesto, que sobre el complejo fenobasáltico se desarrollen también valles SUBSECUTENTES, pues aquellos cuyos cursos consecuentes originales se han desplazado sobre franjas de cizalla, aprovechando que el comportamiento de la roca era el de ser más fácilmente erosionable. Es decir, muy ajustados a la estructura.

5.2. EL SIGNIFICADO DE LOS DISEÑOS DE AVENAMIENTO.

El ambiente geomorfológico de un área, determinado por su constitución geológica, características estructurales y el clima, es el responsable de los diseños de avenamiento.

Se entiende por diseño de avenamiento el plan o trama particular que forman en conjunto, los cursos individuales de los ríos (véase Figura N° 25).

Los diseños de avenamiento normalmente reflejan la influencia de factores tales como las pendientes iniciales, desigualdades en la dureza de las rocas, controles estructurales, diastrofismo reciente, y la historia geológica geomórfica de la cuenca de desagüe.

El estudio del sistema o diseño de avenamiento a través de las imágenes satelitarias permite establecer los indicios sobre la capacidad de infiltración del terreno, del que depende en primer lugar como ya se dijo de las características físicas de los materiales que lo constituyen. Así por ejemplo las arcillas, a causa de su fina textura, son relativamente impermeables. Las grandes precipitaciones pluviales en terrenos de esta naturaleza dan como consecuencia sistemas de avenamiento muy densos (véase Figura N° 28), como sucede en gran parte de la provincia de MISIONES.

Elementos como conglomerados o arenas, con marcado contraste derivado de la textura gruesa y por lo tanto de alta permeabilidad, da como resultado un sistema de avenamiento menos denso, tal vez de densidad media (véase Figura N° 27). Este proceso se observa en los alrededores de la llanura de APOSTOLES.

5.2.1. Tipos de Diseños de Avenamiento.

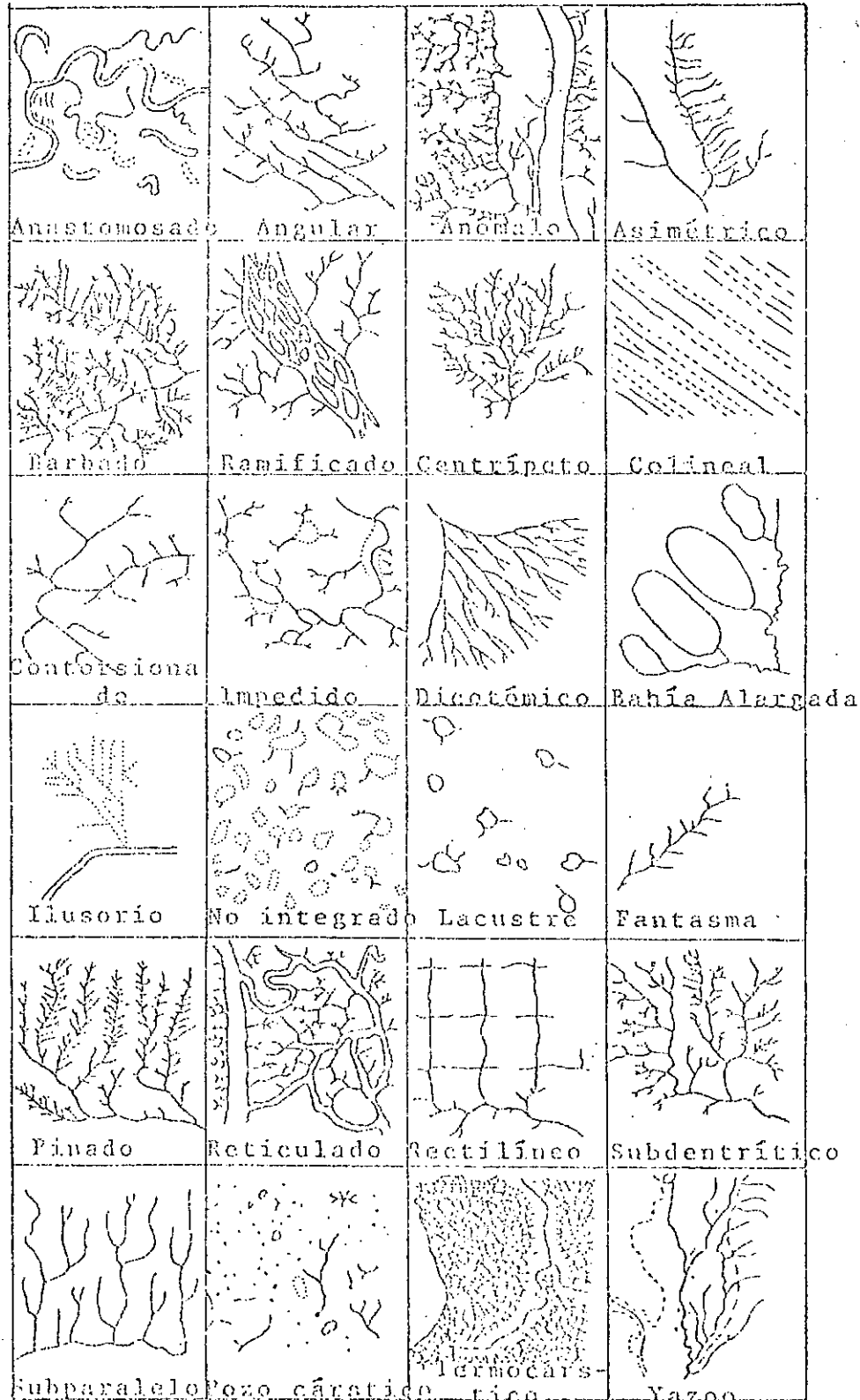
Los diseños de avenamiento más comunes son los que se ilustran en la Figura N° 26 y corresponden a los que se ha dado en llamar básicos. Pero comúnmente los diseños básicos sufren diversas modificaciones (véase Figura N° 28) generando una gama diversa de diseños.

Entre los diseños básicos, los más corrientes corresponden al DENDRITICO, ENREJADO, RADIAL, PARALELO, RECTANGULAR, etc., dependiendo la variedad de la heterogeneidad litológica y estructural de una determinada región.

5.2.1.1. Diseño Dendrítico.

Este diseño está definido por la ramificación irregular de los ríos tributarios en muchas direcciones y en cualquier ángulo, aunque por lo general éste sea menor que uno recto. Los ríos por lo general son insecuentes, porque no son controlados por ningún factor, topográfico o estructural. Según la cantidad de tributarios de un sistema se puede hablar de densidad de avenamiento alta, media, baja (véase figura N° 27).

FIGURA N° 25 MODELOS DE AVENAMIENTOS BASICOS MODIFICADOS
(Según PARVIS, 1950)



Las Figuras Nos. 29, 30, 31, 32, 33 y 34 ilustran los distintos tipos de diseños de avenamiento dendríticos modificados.

5.2.1.2. Diseño Enrejado.

Se caracteriza por una serie de tributarios conspicuamente alineados, formando ángulos rectos respecto al río principal. Este diseño refleja el notable control estructural de la mayoría de los cursos de los ríos. Es una variedad del diseño angular.

5.2.1.3. Diseño Rectangular.

En este caso, tanto el río principal como sus tributarios muestran recodos en ángulo recto. Por lo general reflejan el control ejercido por los sistemas de fallas o diaclasas. En las figuras Nos. 36, 37 y 38 se ilustran los casos más usuales tanto del diseño en enrejado como el rectangular.

5.2.1.4. Diseño Radial.

Caracterizado por ríos que divergen de un terreno central elevado. Por lo general se observa en los alrededores a estructuras volcánicas o dómicas (véase Figuras Nos. 37 y 38)

5.2.1.5. Diseño Anular.

Se caracteriza por una serie de cursos de agua de forma circular, concéntricos. Están asociados a estructuras dómicas, en la etapa de madurez, presentan alternancias, según sea la roca dura o friable (véase Figura N° 40).

5.2.1.6. Diseño Paralelo (Véase Figura N° 40).

Este diseño se caracteriza por una serie de cursos de agua que fluyen más o menos paralelos entre sí en una extensión relativamente grande. La presencia de este tipo de diseño revela la existencia de una pendiente regional unidireccional extensa.

FIGURA Nº 27 MODELOS BASICOS DE AVENAMIENTO (PARVIS, 1950)

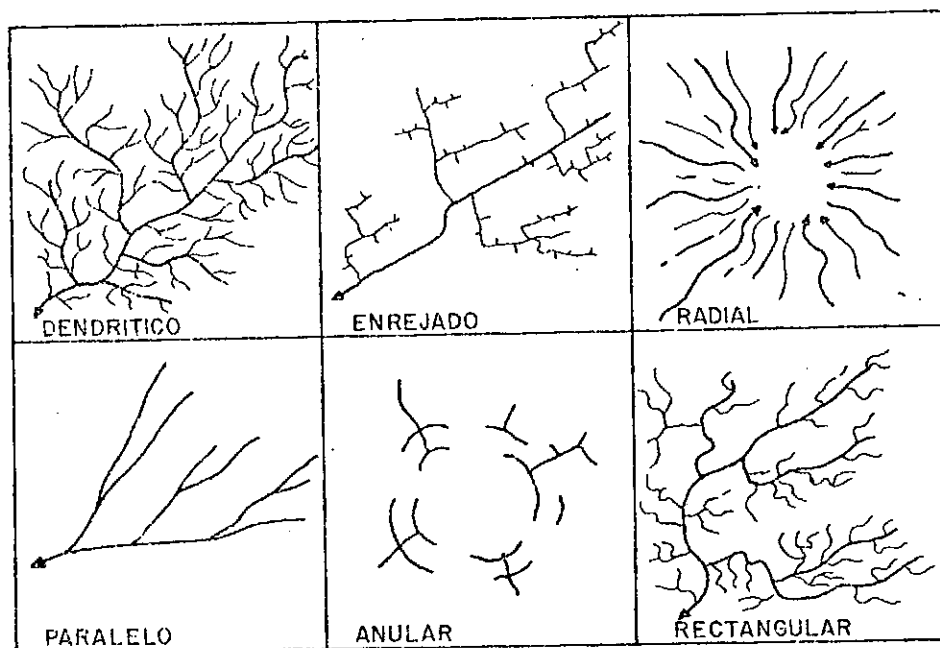
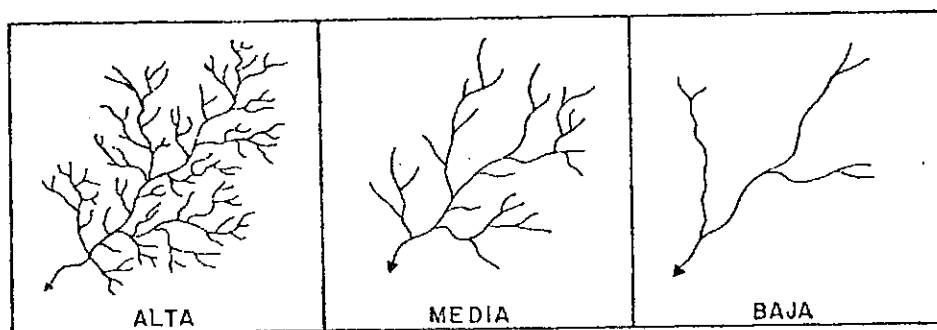


FIGURA Nº 28 MODELOS BASICOS DE DENSIDAD DE AVENAMIENTO (WAY, D.S., 1973)



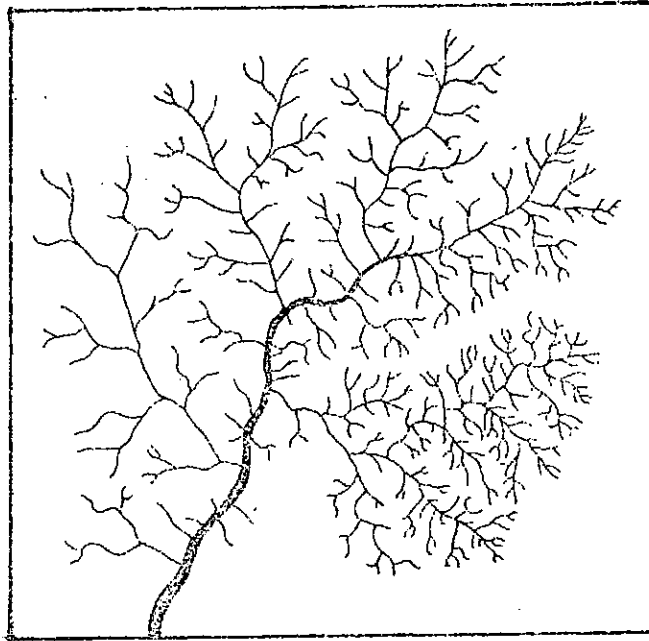


FIGURA N° 29: DISEÑO DENDRITICO TIPO ARBORESCENTE que es predominante en terrenos esencialmente arcillosos, en llanuras de acumulación, bolsones y mesetas. Es importante destacar que este tipo de diseño es el más usual en la provincia de MISIONES y la densidad varía de norte a sur. En el sur la densidad es baja a media; como respuesta al medio ambiente, intensa deposición de sedimentos arcillosos y arcillas limosas.

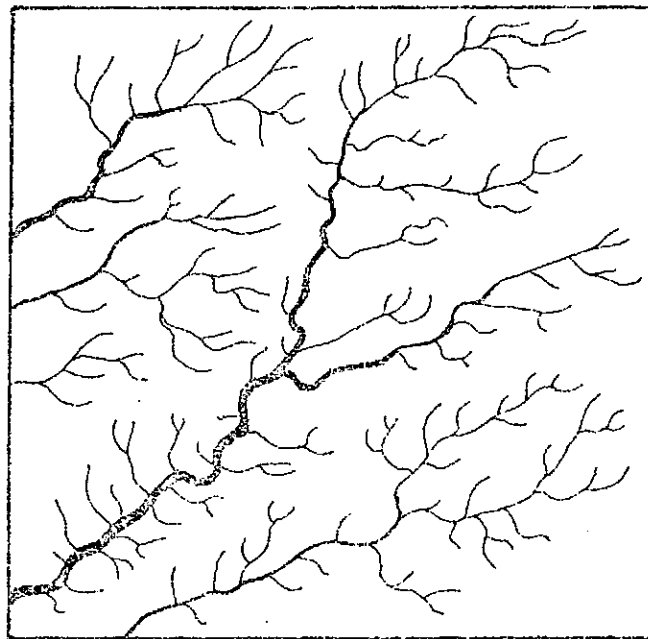


FIGURA N° 30: DISEÑO DENDRITICO EN PINZA: se desarrolla en ambientes de neto predominio de rocas ígneas.

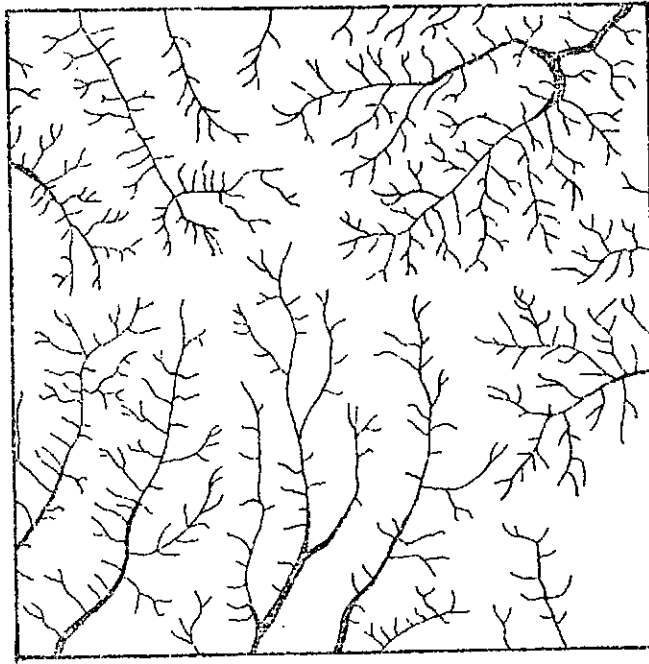


FIGURA N° 31: DISEÑO DENDRÍTICO MODIFICADO: las variaciones se deben a las diferentes características litológicas del terreno.

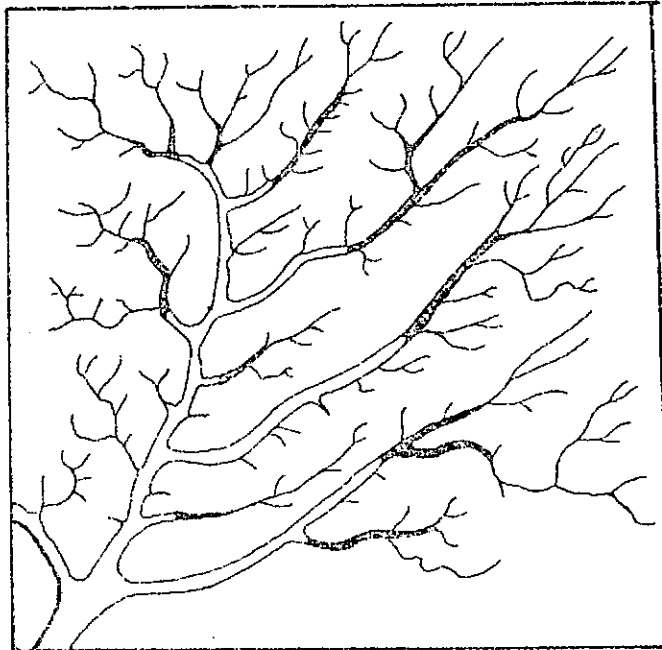


FIGURA N° 32: DISEÑO DENDRÍTICO-PARALELO: este tipo se presenta en las llanuras costeras.

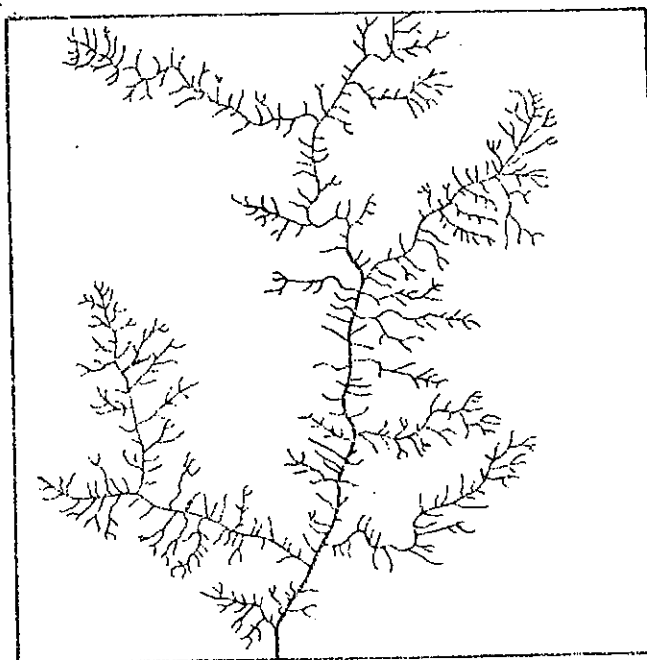


FIGURA N° 33: DISEÑO DENDRITICO PINADO: se presenta en llanuras de till.

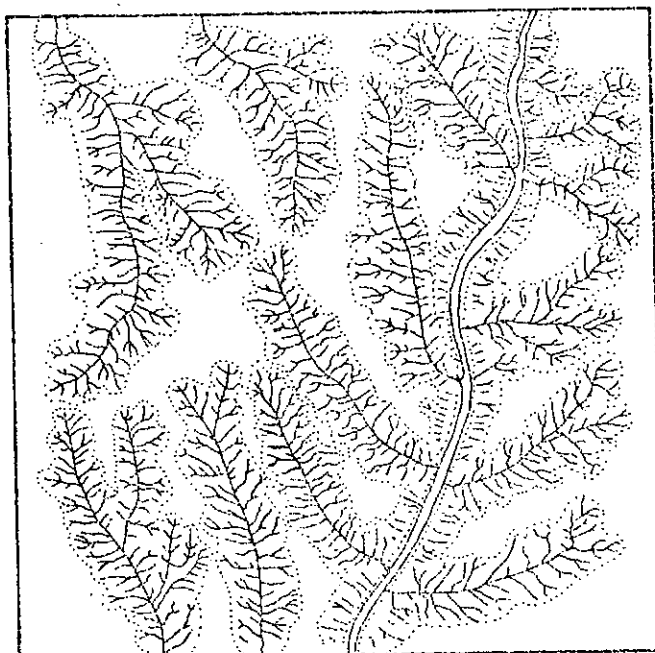


FIGURA N° 34: DISEÑO DENDRITICO PECTINADO: este tipo de diseño es característico de los terrenos con marcado predominio de suelos loessicos.

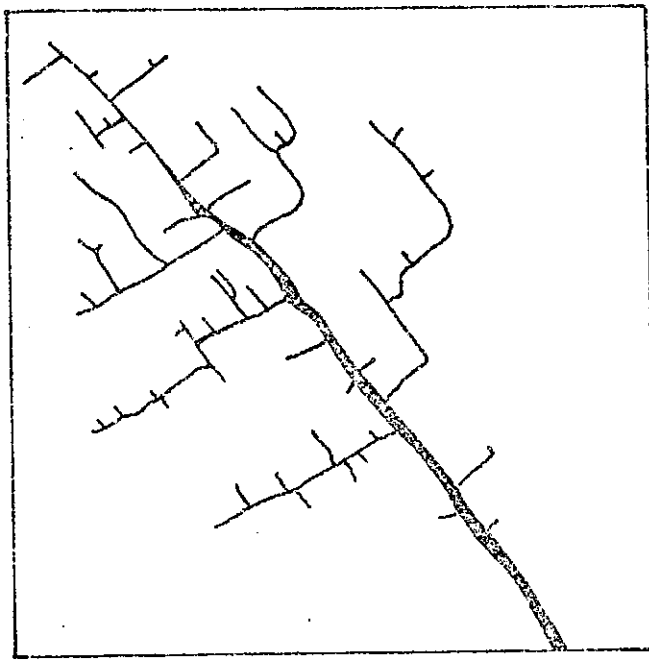


FIGURA N° 35: DISEÑO DE AVENAMIENTO ANGULAR O ENREJADO: que se presenta en terrenos cuya litología es de origen ígneo.

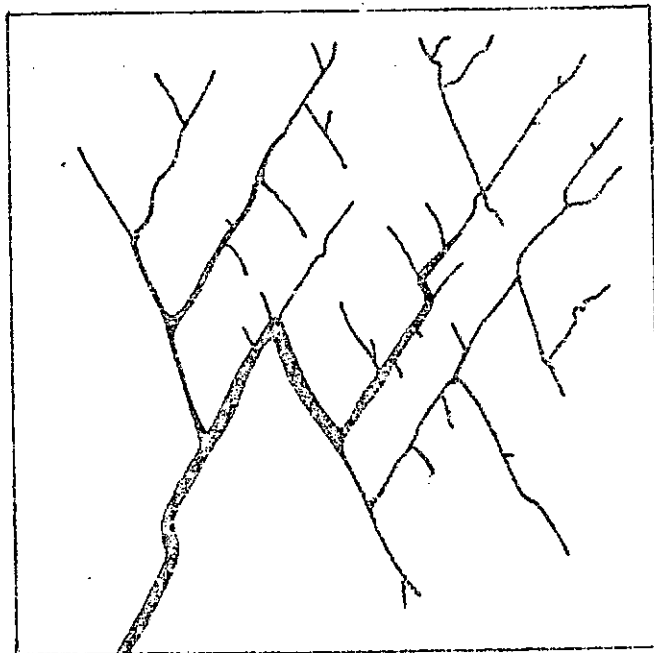


FIGURA N° 36: DISEÑO DE AVENAMIENTO RECTANGULAR: es una variedad del diseño de tipo angular o enrejado. Los tributarios menores son paralelos y confluyen con el colector principal en ángulos rectos.

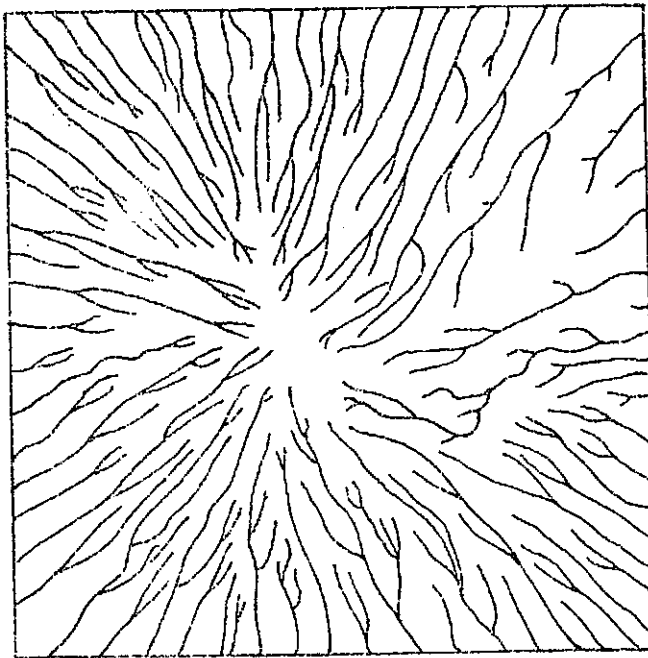


FIGURA N° 37: DISEÑO DE AVENAMIENTO RADIAL

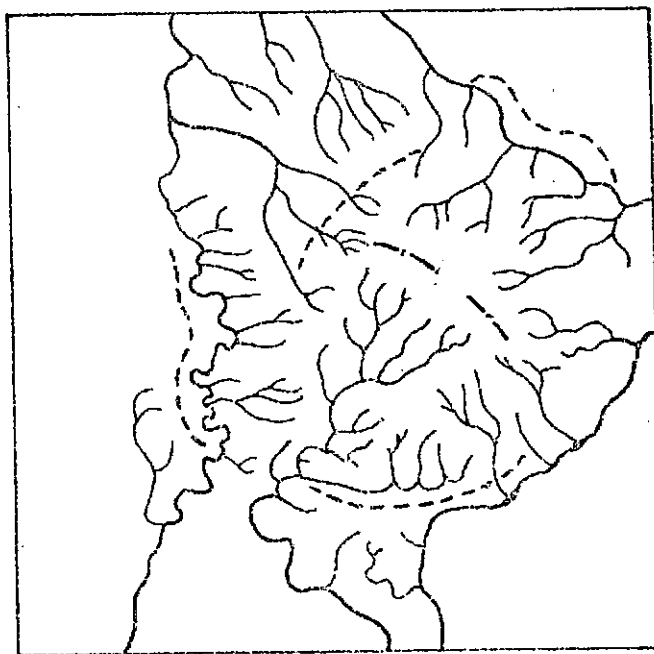


FIGURA N° 38: DISEÑO RADIAL, ANULAR Y DENDRÍTICO EN PINZA: estos modelos se combinan en una estructura dómica.

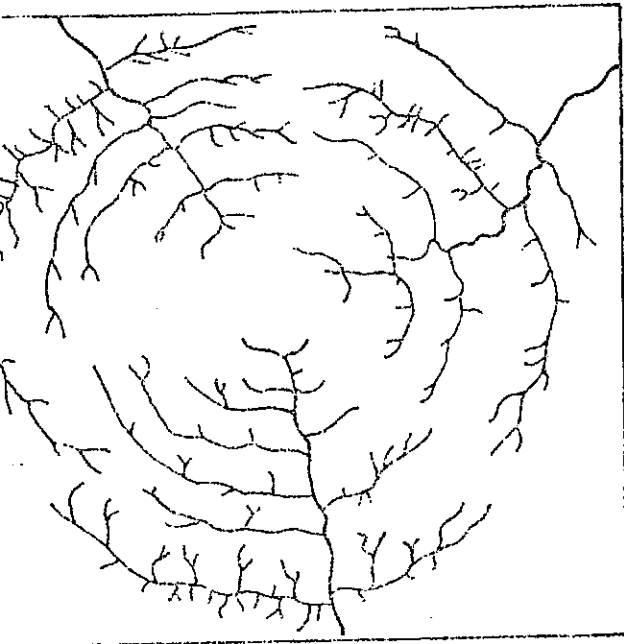


FIGURA N° 39: DISEÑO ANULAR

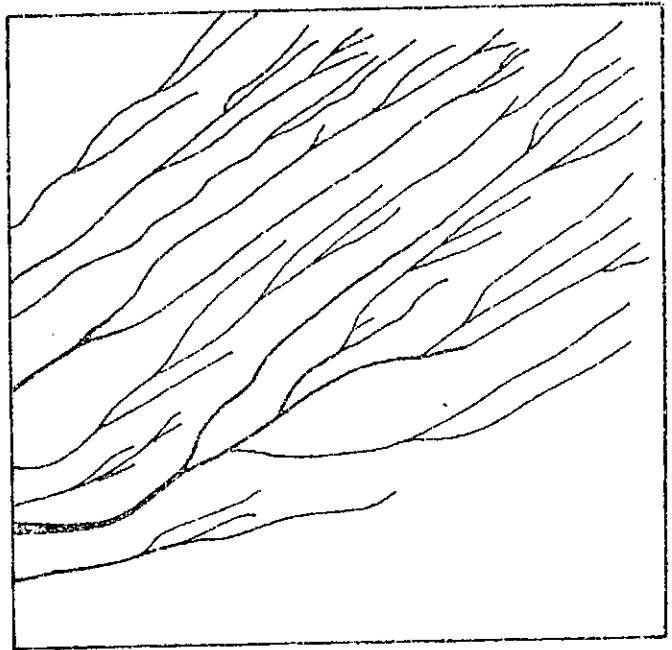


FIGURA N° 40: DISEÑO DE AVENAMIENTO PARALELO.

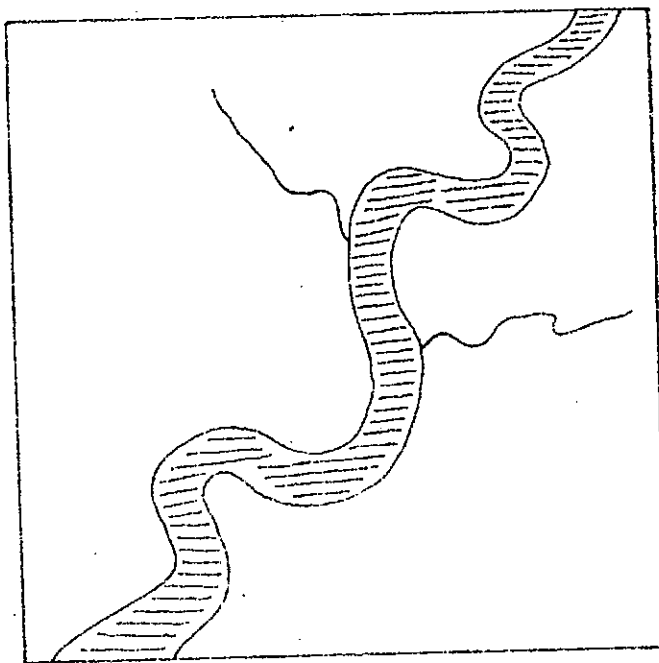


FIGURA N° 41: DISEÑO DE AVENAMIENTO MEANDRICO

5.2.1.7. Diseño Meándrico.

El diseño meándrico es un conjunto sinuoso de curvaturas regulares o normalmente regulares, elaboradas por la acción del flujo de una corriente fluvial. La corriente lleva en suspensión o arrastra materiales de los recodos convexos para depositarlos en los bordes cóncavos (véase Figura N° 41).

En el caso que nos compete específicamente la provincia de MISIONES, los meandros en su generalidad responden al calificativo de meandros encajonados, salvo excepción hecha de los ríos de los alrededores de APOSTOLES. Tales meandros encajonados, se caracterizan por mostrar en las curvas que generan los flujos fluviales, poco o nada de contraste entre las pendientes de los dos costados del valle. Este fenómeno responde esencialmente a las características litológicas del fenobasalto que compone mayormente el subsuelo de la provincia. En razón de esta circunstancia, los meandros atraviesan casi exclusivamente rocas duras, estables, sin llevar cargas excesivas, por lo que la excavación lateral es casi insignificante. Otro ingrediente que se suma a estas características es la considerable velocidad de los flujos que contribuye a una profundización más rápida.

Si bien es cierto que los colectores principales, presentan un marcado diseño meándrico el mismo es muy regular. En consecuencia, se puede inferir, que el proceso actual del avenamiento meándrico no responde a una tendencia al equilibrio del ciclo fluvial, sino que por el contrario, tanto el río PARANA, como el río URUGUAY incluso el río IGUAZU, entre los mayores, fluyen a lo largo de complejas superficies diástróficas que afectan el subsuelo fenobasáltico.

Hay que pensar que la gran cubierta lávica, sobreyace varios cientos de metros ocultando las formas de relieve preexistentes al cretácico y por ende producidas en los ríos, cronológicamente y sincrónicamente. La actual elaboración de todos los cursos fluviales de la provincia de MISIONES, tienden en definitiva hacia el equilibrio.

En definitiva, y siempre refiriéndonos a los tipos de diseños de avenamientos, podemos decir que algunos sistemas de desagüe presentan tantas variaciones entre sus componentes que es imposible describir el diseño, en conjunto. Normalmente acontece en los casos que predomina una falta total de control estructural. En ese caso, el diseño de avenamiento correspondiente es el denominado ANARQUICO. El mismo está indicado por cursos irregulares de ríos que fluyen hacia o fuera de lagunas, lagos, semejando hilos de agua a través de secciones pantanosas.

Otros diseños comunes de cursos de ríos son rectos, encorvados, divagantes, anastomosados, deltaico, etc., en los que se observan curvas sinuosas de diferente grado de serpenteo, meandros amplios o retorcidos, con canales intercomunicantes, tortuosos, con lagunas semi-lunares.

Los ríos anastomosados están ejemplificados por los ríos que se dividen en numerosos canales entrelazados y separados unos de los otros por islas o bancos. Por lo general se piensa que los diseños ANASTOMOSADOS se generan porque el río no está capacitado para transportar toda su carga. Esto puede resultar de la carga excesiva del río principal, de un decrecimiento súbito en el gradiente del río, con la consiguiente pérdida del poder de transporte o del volumen por infiltración, evaporación o desviación.

5.3. CONDICIONES CLIMATICAS.

La evolución del ciclo fluvial está condicionado por las condiciones climáticas de la cuenca hidrográfica donde se desarrolla. En reiteradas oportunidades los cambios climáticos acaecidos durante los últimos años del Pleistoceno ocasionaron una serie de alternancias entre condiciones áridas y húmedas que imprimen a la geoforma resultante condiciones características.

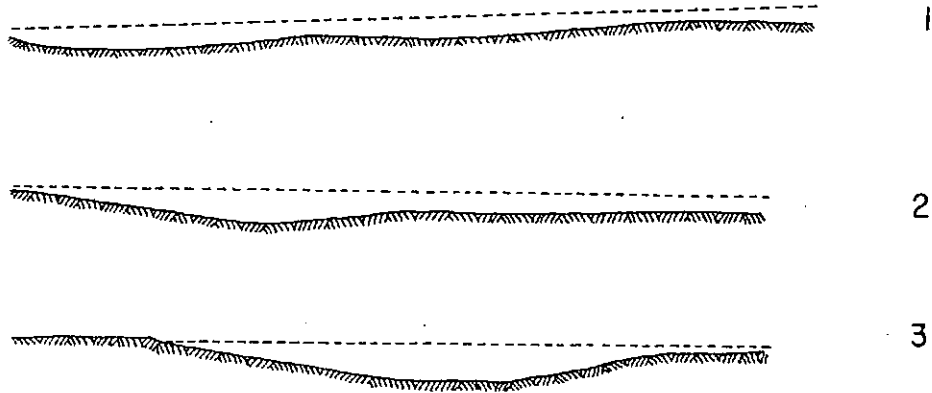
A pesar de que en el caso que nos ocupa hay evidencias de una morfogénesis desarrollada en parte en un clima árido anterior (como ser algunos carcavamientos en arco y la existencia de pequeños abanicos aluviales), el clima húmedo superimpuesto y que actualmente impera, ha obliterado prácticamente los vestigios más antiguos. Es así entonces que el clima cálido y húmedo que presenta la provincia de MISIONES, es uno de los factores controlantes de la evolución de este ambiente fluvial.

Ante estas características se desarrolla un equilibrio metaestable que es conocido como equilibrio biorhexistásico, entre la capacidad de erosión del ambiente y el desarrollo de suelos y vegetación. En estas condiciones la vegetación implantada en un suelo de escaso desarrollo, protege de la erosión laminar a los terrenos cubiertos por la selva tropical. La vegetación tiene además, una influencia geoquímica en la pedogénesis que concentraría los minerales lateríticos y a su vez protegería a los suelos de toda erosión.

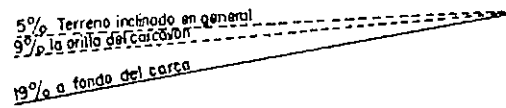
La acción antrópica, mediante el desarrollo de nuevas áreas de cultivo y forestación, al eliminar la cubierta vegetal, desplaza ese delicado equilibrio biológico iniciando un ciclo rhexistásico, que alterará la evolución fluvial del área. El incremento de la erosión laminar del suelo, aportará más sedimentos a la red flu-

FIGURA Nº 42 PERFILES DE LA EROSION EN LOS YERBALES

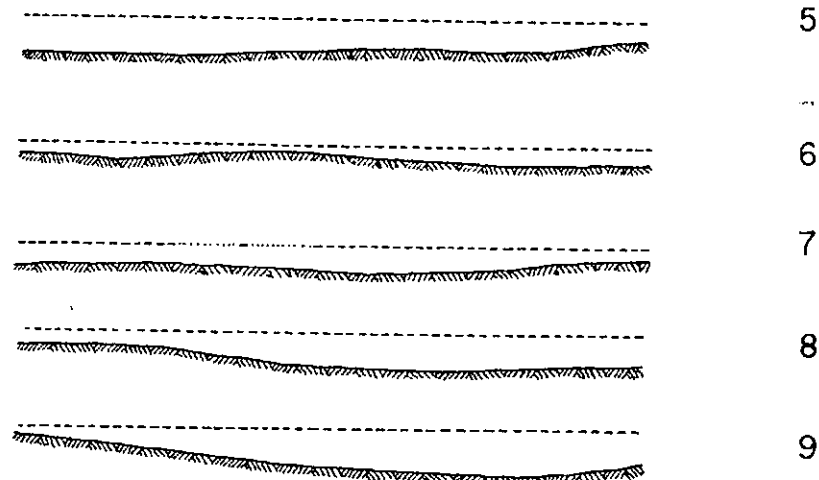
Perfiles Transversales.- suelo rojo suelto
1:20



Perfil Longitudinal esquemático
Alt. 1:100
Long. 1:1000



Perfiles Transversales.- suelo arenoso
1:20



vial, lo que aumentará su capacidad de erosión dada la gran energía fluvial que presentan los principales cursos de agua. De igual manera la erosión vertical a través de un mayor carcavamiento de la cabecera, acelerará también la erosión retrocedente.

La actual morfología de la provincia de MISIONES está mostrando el comienzo de un incipiente ciclo rhexistásico, por lo que se puede predecir la aceleración general de la erosión como se puede observar en los cultivos de yerbatales (véase Fig. 42) y en la formación de carcavones (véase Fig. 43).

5.4. CONTROL LITOSTRUCTURAL DEL SUBSTRATO.

Las condiciones geológico-estructurales de la provincia de MISIONES, controlan el desarrollo de las geoformas y la evolución morfogenética del paisaje. Como se describe en la sección Geología, el rasgo dominante es la existencia de mantos horizontales de basaltos que cubren la mayor parte del territorio de la provincia. Estos restos crean frentes de erosión retrocedente, desarrollados a partir de niveles de base locales, que controlan el desarrollo y presencia de los pulsos de erosión activa.

Asimismo la existencia de un complejo sistema de fracturación en los basaltos condiciona una adaptación de los diseños de avenamiento a estas petroestructuras. Es así como se ha enunciado en la descripción hidrográfica de las distintas subcuencas se desarrollan diversos diseños de drenaje desde el dendrítico, al angular, con o sin variaciones meándricas.

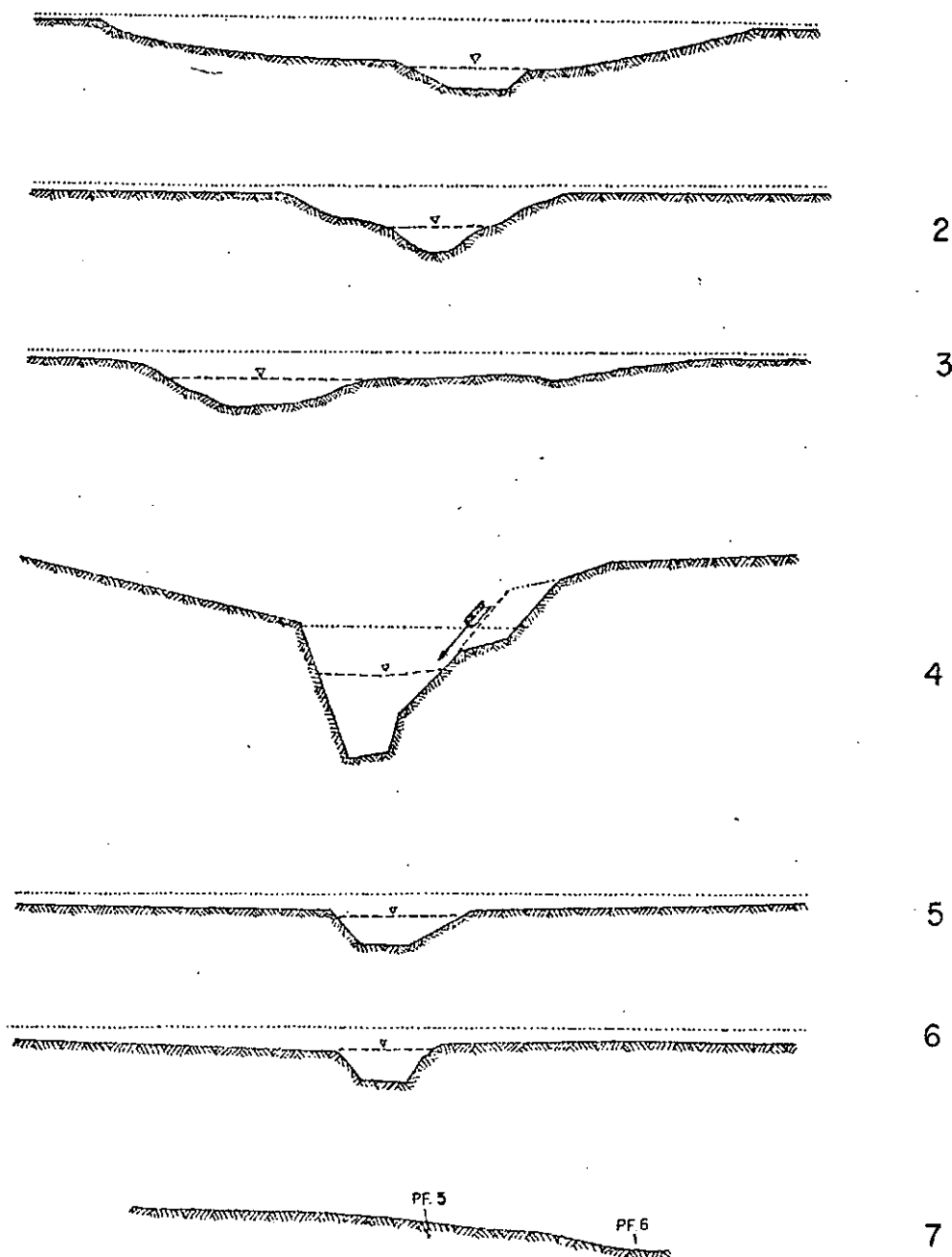
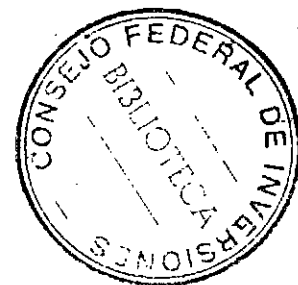
Otra característica importante es el tipo de meteorización que predomina en el substrato que condiciona la morfología superficial de las distintas geoformas, con el desarrollo de potentes acumulaciones lateríticas.

5.5. IMAGEN FOTOMORFICA.

Un nuevo concepto que de alguna forma integra parte sustancial del análisis geomorfológico regional mediante la teledetección satelitaria, es el de imagen fotomórfica, principalmente porque la imagen fotomórfica es la interrelación espacial de la distribución física y antrópica de los elementos en un paisaje determinado.

Cada una de las entidades censadas mediante el análisis e interpretación de las imágenes satelitarias LANDSAT (véase Foto N° 19), es lo que se conoce con el nombre de unidad fotomórfica: por ejemplo diseños de avenamiento, áreas de cultivo, cuerpos

---- Nivel de las aguas torrenciales
 Superficie antigua del terreno arrastrado



lacustres, serranías, anomalías estructurales, diques, canales, caminos, etc.

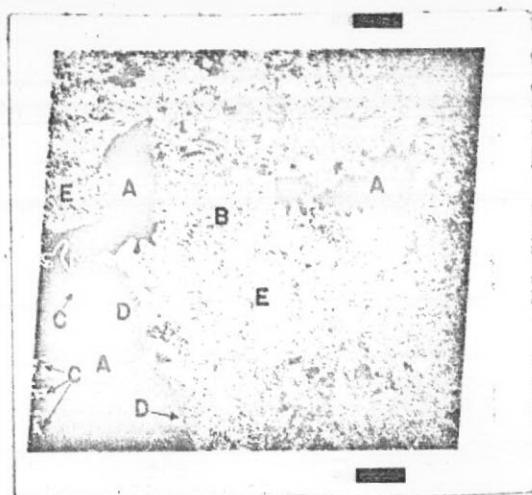


Foto N° 19: UNIDADES FOTOMORFICAS. A: Zona selvática; B: río IGUAZU; C: localidades y áreas de cultivo; D: caminos; E: regiones desmontadas. Imagen LANDSAT 1232-12582-5. Banda 5, pancromática escala 1:3.369.000.

La herramienta básica para la interpretación fotomórfica es la imagen satelitaria misma y su aplicación, en relación con la escala, banda adecuada tono o color, depende exclusivamente del tema a investigar (PEPLIES, R. W. y H. KEUPER).

5.6. AMBIENTES GEOGRAFICOS.

Con el objetivo de ubicar en su correcta dimensión geográfica los inventarios geológico-estructurales y geomorfológicos, se ha creído conveniente incorporar al mapa geológico estructural los grandes ambientes geográficos de la provincia de MISIONES. Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado, y sobre la base de los datos que aportaron al análisis las imágenes satelitarias LANDSAT en sus bandas infrarrojo blanco y negro y las de infrarrojo color compuesto, se realizó el mapeo de tres grandes ambientes geográficos a escala regional (1:250.000). Dichos ambientes son (véase Foto N° 20):

AMBIENTE DE MESETA

AMBIENTE DE LADERA

AMBIENTE COSTANERO



Foto N° 20. AMBIENTES GEOGRAFICOS. Esta vista está integrada por las imágenes satelitarias LANDSAT 1215-13042-7 y 12151-13040-7, Banda 7. M: Ambiente de Meseta; L: Ambiente de Ladera; C: Ambiente Costanero.

La Foto N° 20, es un mosaico a escala 1:3.969.000, compuesta por dos imágenes satelitarias consecutivas del barredor multiespectral MSS del LANDSAT 1, en infrarrojo blanco y negro. Como puede apreciarse, los fototonos y las fototexturas son excepcionales para la diferenciación de unidades fotomórficas.

5.6.1. Ambiente de Meseta.

La diferenciación está basada esencialmente en las características tectónicas y geomórficas. La presencia de un óvalo central se identifica claramente por el intenso diaclasamiento y la marcada fracturación.

La vegetación selvática que sobre este óvalo se adosa no enmascara el diastrofismo y seguramente fueron los movimientos de bloques ligeramente diferenciados los que determinaron el actual relieve, y su carácter de típica meseta obró pasivamente, frente a la acción de los procesos geomórficos, dándole un manifiesto carácter de estabilidad.

5.6.2. Ambiente de ladera.

Es una faja irregular que circunscribe al óvalo central. Desde el punto de vista litológico este ambiente de ladera está constituido principalmente por fenobasaltos, pero su posición de carácter transicional entre un alto y el bajo costanero, ha permitido que la acción de los procesos geomórficos sea muy activa. En razón de esta circunstancia el fenobasalto totalmente alterado de origen a perfiles edáficos más desarrollados con la natural implantación de las especies vegetales más exuberantes y de mayor desarrollo.

En las imágenes Falso Color Compuesto o Infrarrojo Color, obtenidas por combinación de las bandas pancromáticas 4 y 5 con la infrarroja 7, que forman parte de los mosaicos correspondientes que se entregan con este informe, los colores rojos intensos marcan la posición del ambiente de ladera.

5.6.3. Ambiente Costanero.

Circunscribe perimetralmente al ambiente de Ladera. Ocupa las posiciones más deprimidas del perfil, con niveles próximos al nivel de base de los ríos principales: PARANA, URUGUAY e IGUAZU.

Dentro de este ambiente, el control estructural lo ejerce el núcleo fenobasáltico, del mismo modo que en los dos ambientes anteriores. Sin embargo, desde el punto de vista geomórfico, el proceso más insinuado de su topografía es la AGRADACION, entendiendo por tal, todos aquellos fenómenos que tienden a nivelar la superficie de la litosfera a un nivel común hacia arriba.

De todos modos no se debe descartar el proceso de degradación (nivelación hacia abajo) que tiene lugar en algunos sectores del ambiente costanero y son los que dan lugar actualmente en los alrededores de SAN IGNACIO, APOSTOLES y POSADAS, a la formación de cañadas y cárcavas de mucha mayor amplitud que en los ambientes anteriormente descriptos.

5.7. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.

A fin de identificar adecuadamente las distintas unidades del proyecto, se realizó previamente a la interpretación de las imágenes satelitarias un reconocimiento de campo, con el objeto de seleccionar las unidades y/o subunidades de mapeo geomorfológico, y las consideraciones generales mencionadas en la Sección 3.

La delimitación de estas unidades fue realizada teniendo en cuenta las relaciones temporoespaciales de los distintos procesos morfogenéticos, que permitieron caracterizar unidades morfoestructurales según los criterios propuestos por Klimazetsky y las modificaciones postuladas por Tricart. De esta forma las distintas unidades pudieron ser ordenadas siguiendo una secuencia cronológica de los eventos geomorfológicos, que permitieron reconstruir la génesis y la evolución morfogenética de estas unidades, pudiendo de esta manera predecir su evolución futura.

A su vez, las unidades fueron divididas en distintas subunidades que reflejan la primacía de uno o más procesos morfogenéticos en determinadas áreas, que actúan sincrónicamente con otros dentro de la misma unidad geomórfica.

La aplicación de esta metodología en la percepción remota desde el espacio mediante la interpretación multiespectral de las imágenes satelitarias, ha permitido determinar la funcionalidad de estos elementos, así como discernir entre rasgos activos y fósiles, que ha facilitado la interpretación geofisiográfica actual, tanto como las predicciones de sus variaciones ante modificaciones antrópicas del paisaje.

5.7.1. Descripción de las unidades Geomorfológicas.

La caracterización de los tres grandes ambientes geomorfológicos de la Provincia de MISIONES ha sido la base para determinar las distintas unidades geomorfológicas reconocidas mediante la interpretación satelitaria multiespectral.

De las distintas imágenes y bandas disponibles, la imagen infrarroja (banda 7) del LANDSAT combinadas con las imágenes de falso color del mismo sensor, son las que han aportado la mayor cantidad de detalles para definir las fototexturas y fototonos de las distintas unidades, dada la estrecha relación que presenta el drenaje y la vegetación en la identificación geomorfológica.

Estos criterios han permitido reconocer las siguientes unidades y subunidades que figuran en el mapa geomorfológico a escala 1:250.000.

Planicie estructural remanente (Figura Nº 44)

- a) áreas de erosión incipientes
- b) áreas de erosión moderadas
- c) áreas de erosión avanzadas
- d) relictos aislados (erosión extrema)

Vertientes disectadas

- Vertientes disectadas de alta energía

- a) Vertientes con predominio de erosión
- b) Vertientes con relictos de acumulación

- Vertientes de baja energía

- a) Vertientes con predominio de erosión
- b) Vertientes con relictos de acumulación

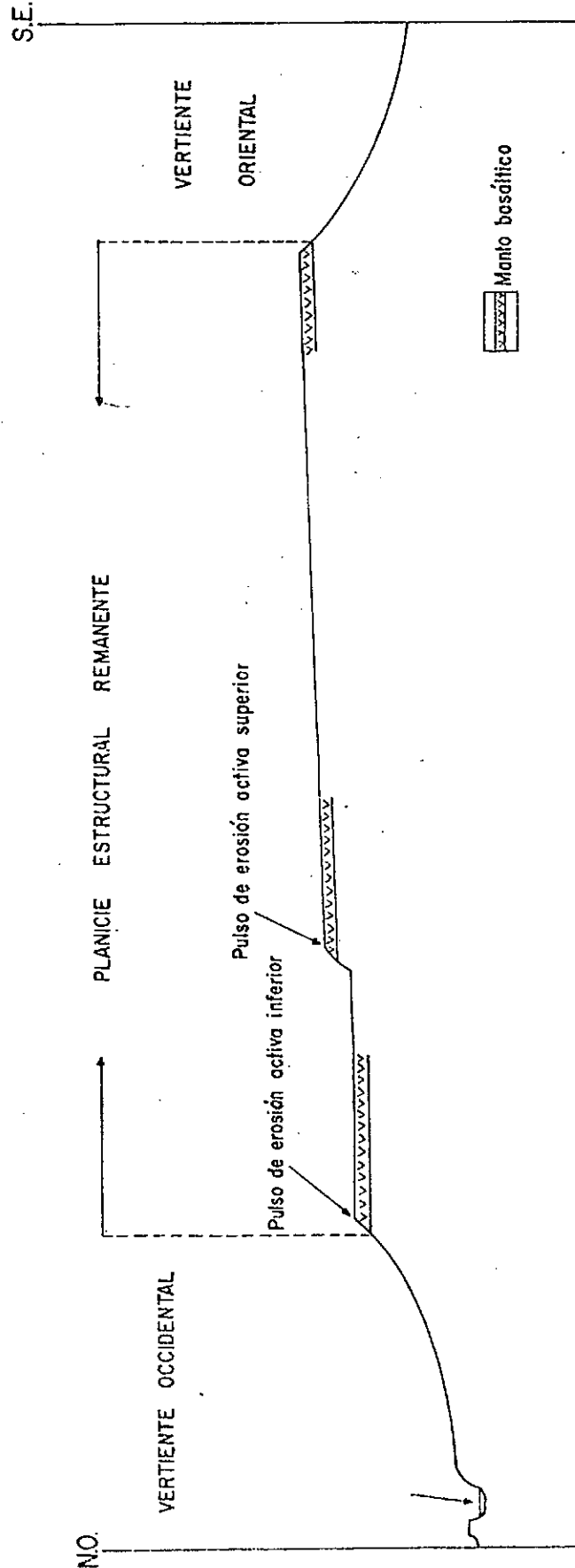
Planicies de inundación (*)

- a) Llanura aluvial del PARANA
- b) Llanura aluvial del URUGUAY
- c) Llanura aluvial del IGUAZU

Áreas de acción eólica.

(*) El término planicie empleado en este informe comprende tanto las formas de agradación (llanuras) como las de degradación.

FIGURA Nº 44 PERFIL DE LA PLANICIE ESTRUCTURAL REMANENTE



Perfil esquemático que ilustra la ubicación de los dos frentes de erosión retrocedente de lado occidental entre Corpus y Campo Veira. Los pulsos de erosión activa están controlados por los mantos basálticos que sirven de nivel de base local a la erosión.



5.7.1.1. Planicie estructural remanente.

Esta unidad se desarrolla con un rumbo sudoeste-noreste y atravieza en sentido transversal el territorio de la provincia constituyendo una unidad geomorfológica con características fisiográficas distintivas como ha sido establecido en el capítulo Fisiografía. Sus lineamientos principales coinciden con los del sistema orográfico conocidos como Sierra de MISIONES, por lo menos en su parte cuspidal.

La planicie estructural remanente presenta un paulatino aumento de sus alturas relativas hacia el noreste donde alcanza la curva hipsométrica de los 800 m sobre el nivel del mar. Esta planicie estructural si bien está en posición horizontal presenta en su perfil longitudinal una pendiente de 3,12 por mil hacia el sudoeste. En sentido transversal su pendiente es mayor alcanzando una media de 9,09 por mil en forma relativamente simétrica hacia el noroeste y sudeste respectivamente.

La existencia de estas pendientes controla los procesos morfogenéticos de esta planicie estructural. Es así que la erosión se produce en forma de flujo laminar, que pasa por un paulatino aumento de la pendiente a un flujo semiencauzado que es el que caracteriza la mayor parte del flujo de las vertientes.

La erosión laminar es la responsable del aplanamiento vertical del terreno, que junto con la intensa meteorización química del substrato son los dos agentes morfogenéticos más importantes. El substrato está constituido por camadas basálticas que brindan el control estructural de la planicie.

La interpretación satelitaria permitió detectar la presencia de por lo menos dos planicies estructurales. Una inferior ubicada unos diez kilómetros al este de CORPUS y SAN IGNACIO la que es atravezada por la ruta provincial N° 6; y otra superior comprendida entre CAMPO GRANDE y CAMPO VEIRA. Esta última alcanza el máximo desarrollo y es la que se continúa hasta BERNARDO DE IRIGOYEN. La Figura N° 44 ilustra el perfil transversal de ambas planicies.

Esta planicie se desarrolla sobre el flanco occidental principalmente y constituyen dos pulsos de erosión activa a diferentes niveles hipsométricos. Ambos frentes de erosión constituyen niveles de base locales a la erosión laminar. Asimismo dada la baja pendiente que presenta la planicie estructural, se desarrolla sobre la misma, una intensa meteorización química. La Foto N° 21 ilustra en los alrededores de BERNARDO DE IRIGOYEN un perfil vertical característico de esta planicie y visible por la acción antrópica.



FOTO N°21: Se observa un corte vertical de la planicie estructural remanente donde se destaca la roca alterada (1), la roca meteorizada (2) y el horizonte laterítico (3). BERNARDO DE IRIGOYEN.

Dentro de esta planicie estructural remanente se han distinguido las siguientes subunidades teniendo en cuenta su capacidad de erosión relativa. (Foto N° 45).

a) Áreas de erosión incipiente.

Esta subunidad de la planicie estructural se ha detectado exclusivamente en tres áreas.

- Cerro Azul. En las adyacencias de esta localidad se presenta un pequeño relictos de planicie delimitada por interfluvios de los ríos pertenecientes a los sistemas del PARANA y del URUGUAY.
- Leandro Alem. Es esta el área de mayor desarrollo de esta subunidad con una longitud de unos 15 Km y 112 Km² de superficie.
- Oberá. En los alrededores de esta población se preserva otro reducto de esta subunidad que con sólo tres kilómetros de ancho presenta un área de 28 Km².

La característica dominante de esta subunidad es su muy suave pendiente la que produce una débil erosión laminar ante condiciones naturales. La acción antrópica puede revertir el equilibrio biológico y produce en esta área el inicio de un ciclo rhexistásico.

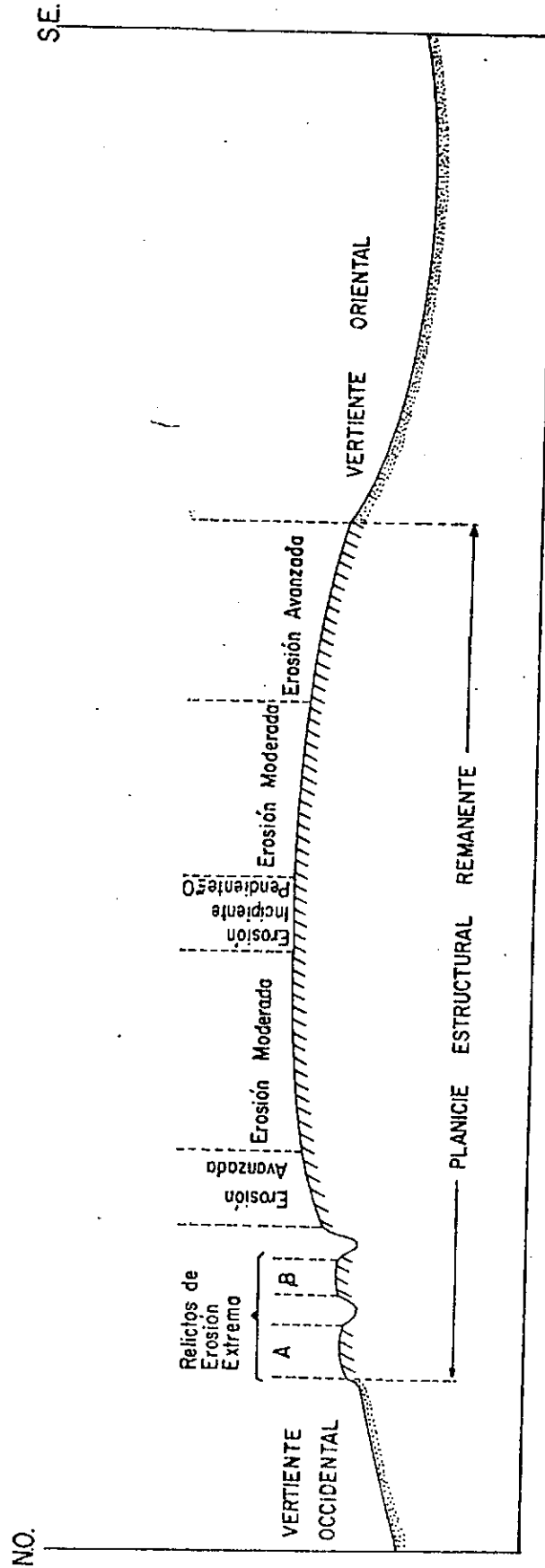
Estas áreas son las de menor erosión dentro de la provincia de MISIONES.

b) Áreas de erosión moderada.

Estas áreas se inician al oeste de CERRO AZUL continuando hacia el naciente hasta la latitud de SAN VICENTE.

Su distribución areal varía de oeste a este. En el sector occidental configura áreas de extenso desarrollo que flanquean a las áreas de erosión incipiente. Hacia el este sólo aparecen en forma de relictos cada vez más escasos el último de los cuales se observa a la latitud de SAN PEDRO.

FIGURA N°45 EROSION RELATIVA DE LA PLANICIE ESTRUCTURAL REMANENTE



Esquema que ilustra los tipos de erosión relativa condicionada por la pendiente de la planicie estructural remanente.

A su vez por un paulatino aumento de la pendiente a partir de la subunidad anterior se pasa a esta subunidad. La mayor velocidad del flujo laminar, incrementa la capacidad de erosión de esta área la que se clasifica como moderada en la presente escala de erosión relativa. En esta subunidad se agravan los problemas de erosión por acción antrópica.

c) Áreas de erosión avanzada.

Esta subunidad es la que alcanza el mayor desarrollo dentro de la planicie estructural remanente. Se extiende en sentido longitudinal desde la vertiente alledaña al río PARANA, hasta la localidad de BERNARDO DE IRIGOYEN.

Dentro de esta unidad se pueden distinguir dos tipos diferentes de relieve, a saber:

- En el sector occidental está caracterizado por un área de suave pendiente que se identifica como una zona de transición a la pendiente de las vertientes alledañas. El límite entre ambas unidades está dado por el pulso de erosión activa. En este tipo de relieve esta área se presenta como la de mayor pendiente de las subunidades de menor erosión relativa.
- El segundo tipo de relieve, que se observa dentro de esta unidad, está caracterizado por un perfil convexo donde se pasa de una pendiente cero, rápidamente a la pendiente típica de esta subunidad. El desarrollo areal de esta faja de pendiente cero es tan estrecho que no puede ser mapeada a escala 1:250.000. Estudios posteriores de detalle, en parte basados sobre fotografías aéreas, podría permitir una zonación más pormenorizada de este relieve convexo. La pendiente produce un flujo laminar de alto poder erosivo, que imposibilita el talado del área sin tener en cuenta técnicas especiales de roturado.

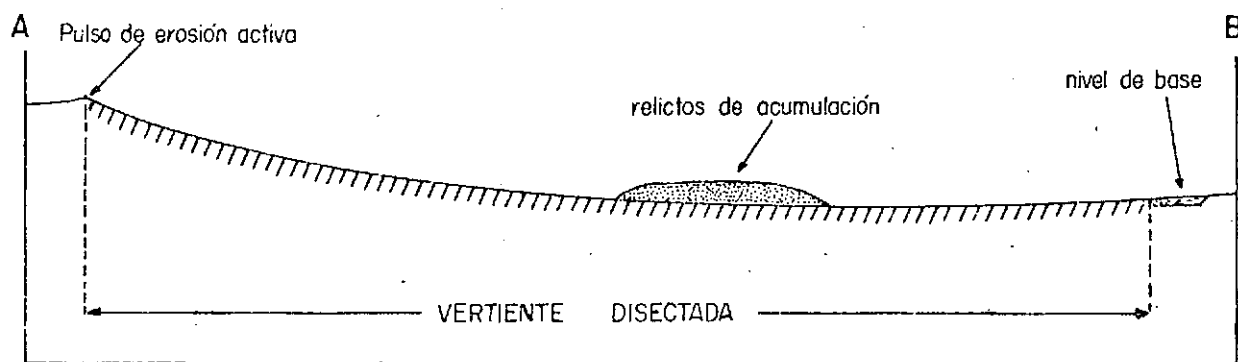
d) Relictos aislados (erosión extrema).

En esta subunidad se han reconocido áreas de erosión extrema en las siguientes localidades.

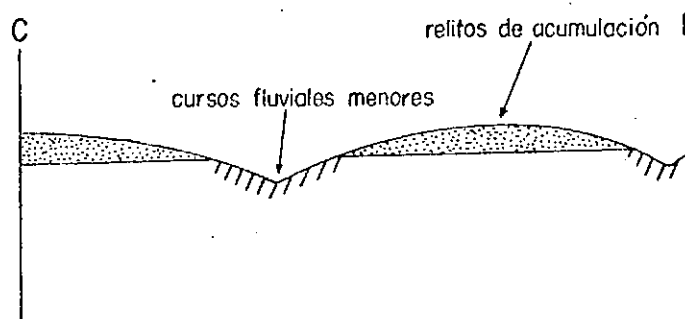
- Nacientes del arroyo GRUPA: En esta área se han constatado seis relictos principales de la planicie estructural que permanecen como islas del manto basáltico aisladas por la erosión retrocedente.

FIGURA Nº 46 PERFIL DE UNA VERTIENTE DISECTADA

Perfil Longitudinal



Perfil Transversal



- Norte de CONCEPCION DE LA SIERRA: En la zona adyacente al arroyo DURAZNO se conservan dos relictos de erosión de la planicie en avanzado estado de aplanación vertical y erosión retrocedente.
- Arroyo GARUHAPE: Se preservan algunas exposiciones residuales en las cabezas de este arroyo, así como en el adyacente hacia el este, el PARANA y GUAZU.
- Arroyo GUARANAYBA: Es esta el área más oriental donde se preservan relictos aislados de erosión. Hacia el naciente la fuerte erosión retrocedente, combinada con la pendiente alta del terreno ha eliminado completamente a éstos.

En las áreas anteriormente descriptas los dos procesos morfogenéticos que condicionan la morfología de estos relictos son una intensa aplanación vertical en la parte cuspidal de estas mesillas combinada con un fuerte retroceso de la escarpa producido principalmente por la acción de remoción de las cárcavas principales. El perfil convexo de estas mesillas junto con la presencia subsuperficial del basalto en las mismas, permiten prever una fuerte erosión que puede ser notablemente acelerada por la acción antrópica. (Véase Figura N° 46).

5.7.1.2. Vertientes Disectadas.

En forma periférica a la planicie estructural remanente se desarrollan una serie de vertientes disectadas, las cuales presentan una morfología distintiva de acuerdo con sus respectivos niveles de base.

La relación entre la altura de la planicie y la del colector principal, condicionada por la distancia al frente de erosión retrocedente controlará la pendiente regional de la vertiente y como consecuencia la energía de la unidad geomorfológica. Es así que se ha separado sobre la base de su actual morfología y densidad de avenamiento dos tipos básicos de vertientes, las que se han considerado como unidades geomorfológicas distintivas y se ilustran en la Foto N° 22.

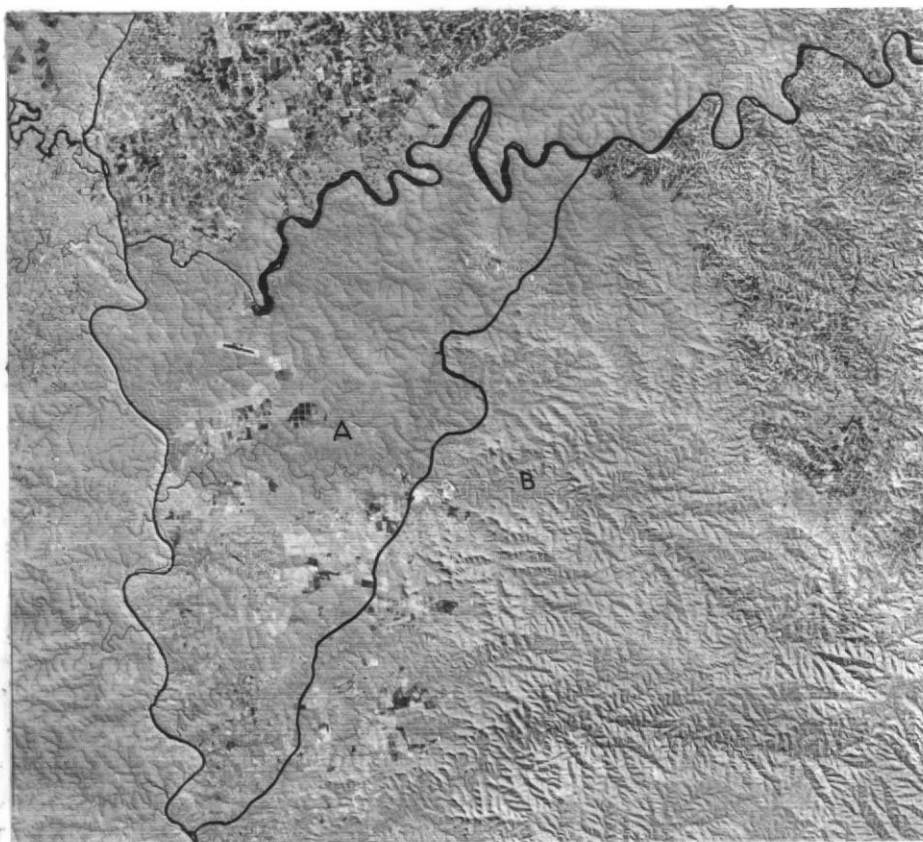


FOTO N°22: Obsérvese la expresión morfológica entre la vertiente de baja energía (A) y la de alta energía (B). En la primera la menor pendiente del terreno favorece el desarrollo de suelos lateríticos, mientras que en la segunda predomina ampliamente la erosión. Porción de la imagen satelitaria del LANDSAT - 2 (2121-12513) en banda infrarroja (7). Escala 1:1.000.000.

5.7.1.2.1. Vertientes disectadas de alta energía.

Esta unidad comprende las vertientes de mayor pendiente y por lo tanto de mayor potencial erosivo. Está distribuida principalmente en el sector noreste de la provincia teniendo como eje a la planicie estructural de los alrededores de BERNARDO DE IRIGOYEN. En la figura anterior se puede constatar un característico incremento de la densidad de drenaje, que se mantiene hasta alcanzar la planicie estructural, donde está ausente o presenta un desarrollo incipiente.

Dentro de esta unidad geomorfológica se han distinguido dos subunidades sobre la base de los principales agentes morfogenéticos actuantes.

a) Vertientes con predominio de erosión.

Esta subunidad es la dominante dentro de la vertiente de alta energía. Su desarrollo comienza a la altura de arroyo BLANCO y continúa periféricamente por las nacientes del Arroyo PIRAY GUAZU hasta el río SAN ANTONIO. El nivel de base está dado por este último río y el tramo superior del río IGUAZU.

Al sur de BERNARDO DE IRIGOYEN continúa hasta el arroyo SANTA MARIA, donde transicionalmente disminuye su energía y pasa a través de una disminución paulatina de la pendiente a la vertiente de baja energía. En este sector el nivel de base de erosión está dado por los ríos PEPIRI GUAZU y el URUGUAY.

En toda esta amplia subunidad predomina la erosión por flujo laminar a semiencauzado en los interflujos y una erosión vertical en los cursos fluviales. Esta es muy intensa y la vegetación presenta un equilibrio biológico metaestable que puede fácilmente ser alterado por la acción antrópica.

b) Vertientes con relictos de acumulación.

Dentro de la vertiente de alta energía se pueden observar relictos de acumulación, los que son escasos y se hallan preservados en los interfluvios de algunos arroyos como los que delimitan la SIERRA DE LA VICTORIA. En esta área por encima de la cubierta basáltica se desarrollan en forma

autóctona potentes espesores de acumulación laterítica por meteorización "in situ". Estas áreas si bien presentan una pendiente considerable hacia los niveles de base locales se hallan preservadas de la erosión activa como restos de la vertiente.

Dentro de la unidad de alta energía estas áreas son casi las únicas susceptibles de aprovechamiento para cultivo por su menor capacidad relativa de erosión.

5.7.1.2.2. Vertientes disectadas de baja energía.

Esta unidad geomorfológica se caracteriza por una compleja interacción entre las áreas con predominio de erosión y los relictos de acumulación. Su nivel de base está dado por el río PARANA principalmente y la morfología que presenta es suave. Los contactos dentro de sus subunidades son menos netas que en la unidad anterior y se caracterizan por ser en su mayor parte transicionales.

Su menor energía erosiva hace tener a esta vertiente un mayor potencial relativo de aprovechamiento agropecuario.

Su relieve está caracterizado por pendientes bajas, sólo localmente moderadas en la que en forma análoga a la unidad anterior ha sido posible distinguir dos subunidades diferentes, a saber:

a) Vertientes con predominio de erosión.

Estas presentan un desarrollo más limitado que en la unidad anterior. Es tan caracterizadas por un neto predominio de erosión en su parte superior y una incipiente acumulación coluvial en la parte distal de la pendiente, la que se ve minimizada por la cubierta vegetal existente.

En esta subunidad es visible una estrecha relación de la parte inferior con llanuras aluviales las que en este sector alcanza un considerable desarrollo.

La mayor parte del material acumulado sobre estas vertientes proviene de la meteorización "in situ", ya que el efecto filtrante (Erhart) de la vegeta-

ción impide el libre tránsito coluvial de las partículas menores. Sin embargo en ciertos sectores, en especial los destales, se puede constatar la removilización del material autoctono y un incipiente desarrollo coluvial.

b) Vertientes con relictos de acumulación.

Esta subunidad alcanza notable desarrollo constituyendo las suaves lomadas que se observan entre CONCEPCION DE LA SIERRA y la ciudad de POSADAS. De esta última se continúa dentro del ambiente costero hasta MONTE CARLO.

Estos relictos de acumulación autóctona de características lateríticas, presentan un suave perfil convexo que condiciona una menor erosión en comparación con las subunidades anteriores.

El proceso morfogenético dominante es la erosión laminar que produce una aplanación vertical del relieve. Sólo en los sectores periféricos presentan un flujo semiencauzado, que domina junto con la erosión vertical en la subunidad adyacente.

Estas áreas son las más aptas, desde el punto de vista morfológico para su aprovechamiento antrópico.

5.7.1.3. Planicies de inundación.

Estas se caracterizan por estar desarrolladas sobre los cauces principales del sistema fluvial de la provincia.

Sobre la base de sus características propias y ubicación se han distinguido las siguientes llanuras aluviales:

a) Llanura aluvial del PARANA.

Si bien este río se halla encajonado en latitud de la provincia de MISIONES, desarrolla una planicie de inundación en la que es posible reconocer sectores de acumulación y erosión. Los sectores de agradación constituyen en una

incipiente llanura aluvial de pobre extensión areal.

Esta llanura es visible en los alrededores de POSADAS, donde se destaca por sus tonos oscuros, que evidencia una baja reflectividad a la banda infrarroja. Ello se explica por el alto contenido de humedad de los sedimentos de la llanura, la que estaría constituida por arenas y limos en forma dominante.

Se ha podido determinar hasta agua abajo de la localidad de CORPUS. Hacia el este predomina ampliamente la erosión no observándose el desarrollo de llanuras aluviales.

b) Llanura aluvial del URUGUAY.

Esta presenta un desarrollo más pobre que la anterior. La etapa fluvial juvenil que tiene este río controla la falta de una aplanación lateral de su valle y por lo tanto la ausencia de una llanura aluvial conspicua.

En escasos lugares del curso inferior del URUGUAY dentro de la Provincia de MISIONES se ha podido constatar una orla de sedimentos arenosos, en parte más gruesos que bordean en forma irregular el lecho del río.

El pobre desarrollo areal no permite ningún aprovechamiento de esta llanura.

c) Llanura aluvial del IGUAZU.

Este río presenta una llanura aluvial agua arriba de las CATARATAS DEL IGUAZU.

Inmediatamente por encima de la GARGANTA DEL DIABLO comienza una extensa planicie de inundación labrada sobre los mantos basálticos que más hacia el este da lugar a relictos de acumulación que constituyen una llanura aluvial incipiente.

En esta área se observa una franja de hasta un kilómetro de ancho del lado argentino donde se depositan arenas y limos fluviales durante el período de crecientes.

d) Otras llanuras aluviales.

Los arroyos y cursos menores de agua presentan pequeñas llanuras de inundación en concordancia con la importancia de los mismos y su posición geomorfológica. Es así que por regla general todos aquellos cursos ubicados en las vertientes de baja energía presenta mayor desarrollo que en los de alta energía. En esta última están ausentes o presentan un desarrollo intermitente y localizado.

Su constitución sedimentológica está condicionada por la naturaleza del substrato sobre el que se desarrolla y a las condiciones de energía del medio. Sin embargo predominan ampliamente los limos y arcillas derivados de la erosión de los suelos por el intenso cárcavamiento de sus cabeceras.

5.7.1.4. Áreas de acción eólica.

En el sector sur de la provincia, cerca de la desembocadura del río PEPIRI GUAZU en el río URUGUAY se ha constatado la existencia de un desmonte natural de rumbo noroeste al que se ha interpretado como producido por la acción eólica de un tornado.

Las evidencias indirectas que apoyan esta posible interpretación se basan en:

- Orientación: El rumbo del desmonte es coincidente con el visible en el sector paraguayo donde son frecuentes las cicatrices de acción eólica producidas por los tornados.
- Textura: La textura periférica de sus bordes, los cuales son poco nítidos en partes transicionales permite descartar un origen antrópico, ya que estos rasgos son siempre netos.
- Forma: La forma alargada de ancho, bastante constante permite desechar una interpretación basada en una cicatriz de incendio, ya que estas presentan formas en abanicos desarrolladas a partir de un punto o foco de incendio.
- Alineación: Este desmonte está alineado con el río ALTO URUGUAY. Pareciese que el valle de este río encajonó la acción eólica y cuando el río cambia de rumbo penetró en la selva aledaña manteniendo el mismo rumbo original.

5.8. CONCLUSIONES.

Del estudio geomorfológico y de los mapas y perfiles que lo acompañan se pueden obtener las siguientes conclusiones fundamentales:

1. Las características geomorfológicas del área muestran a la erosión como un agente morfogenético muy activo en la provincia de MISIONES, siendo el principal agente modelador de su relieve.
2. Dentro de cada unidad predomina un tipo de erosión diferente que se puede resumir en:

Planicie estructural: erosión laminar.

Vertientes disectadas: erosión semiencauzada y vertical.

Planicie de inundación: erosión fluvial.

Este orden indica la capacidad relativa de erosión de las distintas unidades geomorfológicas. Es así que desde el punto de vista morfogenético las unidades en las que predomina la erosión laminar, serán las más aptas para su utilización agronómica, en contraposición con las que presentan un predominio de erosión semiencauzada o vertical.

3. La delimitación de los pulsos de erosión activa, ha de tenerse en cuenta para la realización de estudios más detallados, combinando el método satelitario con la interpretación convencional de aerofotografías, trabajos de campo, etc., pues son zonas de erosión crítica donde se observa la máxima intensidad de los procesos de remoción en masa, deslizamientos, asentamientos, etc.
4. El conocimiento de las características geomorfológicas del área tienen que condicionar el aprovechamiento agropecuario de la provincia si no se quiere desembocar en un período de re xistasia generalizado a todo su territorio.
5. Un manejo racional de futuras colonizaciones deberá tener en cuenta los límites y unidades geomorfológicas para un mejor aprovechamiento del potencial físico del territorio de la provincia de MISIONES.

6. La acción antrópica (al desarrollar nuevas áreas de cultivos, forestación, etc.), al eliminar la cubierta vegetal, base de la protección erosiva, desplaza el equilibrio biológico iniciando un ciclo rhexistásico. Este, al acelerar la erosión fluvial, debe ser tenido en cuenta para la planificación de los recursos naturales, a fin de tomar medidas que permitan preservar el equilibrio ecológico.
7. El estudio en detalle de la subunidad geomorfológica denominada: "vertientes con relictos de acumulación" guardan particular interés con el desarrollo provincial, ya que dichas áreas desde el punto de vista morfológico, se encuentran entre las más aptas para su aprovechamiento antrópico.
8. El análisis del drenaje efectuado ha mostrado el predominio de los ríos consecuentes con la estructura del substrato, combinados con la existencia de meandros encajonados que indican un reciente cambio del nivel de base de la provincia.
9. En síntesis, la utilización de las imágenes satelitarias del programa LANDSAT para el mapeo geomorfológico a escala regional en corto tiempo y económicamente, ha mostrado ser una herramienta indispensable para el mismo. La visión sinóptica y uniforme de las imágenes unida a la experiencia de los equipos de fotointérpretes y la adecuada utilización de la banda 7 (infrarrojo) y del infrarrojo color compuesto (bandas 4, 5 y 7), complementadas con la experiencia multispectral de banda angosta realizada, fueron una combinación correcta para la realización del inventario y estudio geomorfológico.

SECCION 6

GEOLOGIA - ESTRUCTURAL

6.1. GENERALIDADES.

Es indudable que si la provincia de MISIONES hubiera estado constituida por una columna geológica compleja en cuanto a la multiplicidad de las unidades litológicas que integran su territorio, la interpretación satelitaria multiespectral se hubiera tornado sumamente difícil, especialmente por la gran cobertura boscosa y selvática que enmascara las características geológicas de gran parte del territorio provincial.

Sin embargo, esto no sucede por obra de uno de los acontecimientos geológicos más espectaculares, cual es la presencia masiva de un finivulcanismo cratónico mesozoico, que ingresa en esta parte del territorio argentino desde el Brasil y trasciende a nivel continental como uno de los fenómenos volcánicos más importantes por su naturaleza, especialmente por su gran desarrollo areal.

Esta característica, permitió definir mediante el adecuado análisis y estudio de las imágenes satelitarias LANDSAT complementadas con las SKYLAB, el distinto comportamiento de la gran masa basáltica, sobre la base especialmente de los fototonos, modelos, texturas, rasgos tectónicos y procesos de meteorización bastante marcados; y completados con la experiencia de los equipos multidisciplinarios de AEROTERRA S.A.

Por supuesto que muchas de estas particularidades no se hubieran determinado sin el necesario auxilio del control y cotejo de campo adecuadamente planeado y, realizado. De allí que muchos rasgos geológicos puedan traducirse en esquema estratigráfico con cierta definición, en lugar de presentar un mapa de características fototonales y fototexturales, como suele realizarse en todos aquellos casos donde la variabilidad de las unidades litoestratigráficas conforman sólo rasgos regionales intrínsecamente relacionados con la estructura.

Salvo contadas excepciones (zona de SAN IGNACIO y sur de APOSTOLES, próximo al límite con la provincia de CORRIENTES), el complejo basáltico predomina casi absolutamente sobre las restantes sucesiones litoestratigráficas.

Es importante señalar aunque someramente, los más destacados trabajos geológicos llevados a cabo en la provincia de MISIONES:

- Las primeras observaciones geológicas corresponden a D'ORBIGNY (1842), quien se refiere a las asociaciones volcánicas y sedimentarias de la región austral de la provincia.
- MOUSSY (1860), comunica un supuesto hallazgo de carbón, próximo a la localidad de SAN JAVIER, dato recogido por STELZNER (1885) en un trabajo publicado en ALEMANIA.
- FOUROUS (1904) guiado por la mención hecha por MOUSSY trata en vano de ubicar los mencionados depósitos carbonosos.
- HAUSEN (1919), realiza uno de los trabajos más completos de la región. Describe las características petrográficas y geológicas, asignando a las areniscas de SAN IGNACIO una ubicación estratigráfica anterior al emplazamiento del complejo basáltico.
- BEDER (1921), hace una ligera referencia sobre los recursos ferríferos, en su trabajo de recopilación de los yacimientos de materiales explotables en la REPUBLICA ARGENTINA.
- FOSTER BAIN y BURCHARD (1925), realizan un estudio muy breve de los depósitos ferríferos de la provincia, definiendo la presencia por debajo de los depósitos ferríferos conocidos como TACURU de silicatos de hierro y alúmina.
- DU TOIT (1927), da un esquema estratigráfico para sudamérica en el cual ubica a las areniscas de SAN IGNACIO como pertenecientes al permo-triásico.
- BONARELLI y LONGOBARDI (1929), mencionan sucesiones litológicas que componen el substratum misionero, al realizar el conocido "mapa geológico-agrológico" de la provincia de CORRIENTES.
- GOLLAN, et alt. (1936). realizan un estudio edafológico de MISIONES.

- ANGELELLI (1937), publica su trabajo relacionado con el reconocimiento geológico del territorio misionero en búsqueda de bauxita.
- HARRINGTON (1950), en su estudio sobre la geología del Paraguay hace algunas consideraciones de la geología de MISIONES.
- DE ALBA (1953), aporta nuevos datos sobre la formación basáltica y realiza amplias consideraciones sobre la navegación en el tramo ITUZAINGO-POSADAS.
- BORRELLO (1950), hace una ligera referencia sobre unos depósitos carbonosos.
- FERNANDEZ LIMA y DE LA IGLESIA (1960), efectúan una breve exploración de los depósitos ferríferos de la provincia.
- CORDINI y RIGGI (1959), BATTAGLIA (1949), TABACCHI y BRODKORB (1961), SCHMID et al. (1963), PADULA (1972), y CARTA (1964), entre otros complementan de un modo casi integral el panorama geológico de la provincia de MISIONES.

Efectuada esta breve referencia, podemos decir que la región en estudio está enclavada en la porción septentrional de la provincia geológica o morfoestructural denominada MESOPOTAMIA ARGENTINA.

Desde el punto de vista geomórfico se caracteriza por ser una meseta de degradación-acumulación, con formas topográficas de suaves colinas y cobertura edáfica, a la que se ciñe una variada gama de especies vegetales, de modo que la geología queda expuesta a través de las carreteras que atraviesan longitudinal y transversalmente la provincia, huellas, arroyos y ríos. Este conjunto de obras antrópicas o naturales muestran un monótono paisaje de afloramientos basálticos o fenobasálticos y tierras rojas o suelos llamados lateríticos sin solución de continuidad.

Desde el punto de vista tectónico se caracteriza por un conjunto de dislocaciones tectónicas principales con rumbo norte-sur y otro conjunto subtransversal posterior con rumbo noreste-sudeste. A lo largo de las dislocaciones mencionadas se desplazaron los bloques cratónicos en conspicuos y suaves movimientos diferenciales, generando en las suturas de mayor insinuación los cauces principales de los ríos de la mesopotamia.

6.2. ESTRATIGRAFIA.

Sobre la base de los elementos geológicos de superficie, la columna estratigráfica está integrada por areniscas triásicas, fenobasaltos cretácicos y una sucesión de sedimentos cenozoicos de amplia difusión en la porción septentrional y austral de la provincia de MISIONES.

6.2.1. Triasico.

La sucesión triásica aflora en SAN IGNACIO, en el PEÑON DE LA REINA, sobre la costa del río PARANA y a unos 7 km al sudoeste de la ISLA DE CORPUS (véase Foto N° 23 de la imagen satelitaria LANDSAT 2265-12505-7).

6.2.1.1. Formación SAN IGNACIO.

La Formación SAN IGNACIO está integrada por un conjunto de afloramientos citados precedentemente. Son areniscas de grano mediano a fino, color rojo, algo masivas, estratificación cruzada. Se correlacionan con areniscas similares de la Formación BOTUCATU del BRASIL.

La mayor parte de los componentes de las areniscas de la Formación SAN IGNACIO están constituidas por granos de cuarzo con abundantes inclusiones fluídas irregulares y algunas sólidas de zircón, rutilo, apatita, turmalina y mica. Los minerales pesados más comunes en orden decreciente de abundancia son los siguientes: magnetita, hidróxidos de hierro; y turmalina entre otros de menor importancia.

La imagen satelitaria infrarroja LANDSAT-2 que ilustra la foto N° 23 destaca claramente los tres afloramientos principales de la Formación SAN IGNACIO. Los fototonos gris oscuros y la fototextura rugosa de los afloramientos mencionados son apenas perceptibles en la imagen, sin embargo presentan contrastes suficientes por su relieve esencialmente positivo respecto a la masa fenobasáltica que la circunda. La presencia de estos afloramientos corrobora de algún modo la dinámica del tectonismo registrada a lo largo del río PARANA.



Foto N° 23: Porción de la imagen satelitaria LANDSAT 2265-12505-7, Banda 7, infrarroja donde se puede apreciar: A: Afloramientos de SAN IGNACIO; B: Afloramientos de PEÑON DE LA REINA y Alrededores; C: Afloramientos del suroeste de la ISLA DE CORPUS.

En las fotos Nos. 24, 25 y 26, obtenidas durante la comprobación de campo realizado por el equipo multidisciplinario de AEROTERRA S.A., se visualizan aspectos parciales de la Formación SAN IGNACIO.

La gran cobertura boscosa en la foto N° 24 impide ver nítidamente las relaciones de contacto que guardan las areniscas de la Formación SAN IGNACIO con el fenobasalto. Las areniscas presentan un moderado grado de diaclasamiento, hecho que permite la fijación de vegetación sobre los planos de fractura. Este fenómeno es el que coadyuva la acción erosiva generando deslizamientos cuando se superan los ángulos críticos.

En la fotografía N° 25 se observa el mismo afloramiento desde un ángulo algo al suroeste del punto anterior. Obsérvense los planos de diaclasa y el aspecto masivo de la sucesión. Sin embargo en la Foto N° 26 puede apreciarse con suficiente detalle la estratificación de carácter torrencial en bancos de 80 a 100 cm, a su vez estos bancos presentan láminas densamente estratificadas de 5 a 10 cm.



Foto N° 24: Vista tomada de sur a norte. Se aprecia la densa cobertura vegetal que cubre los afloramientos correspondientes a las areniscas triásicas de la Formación SAN IGNACIO.

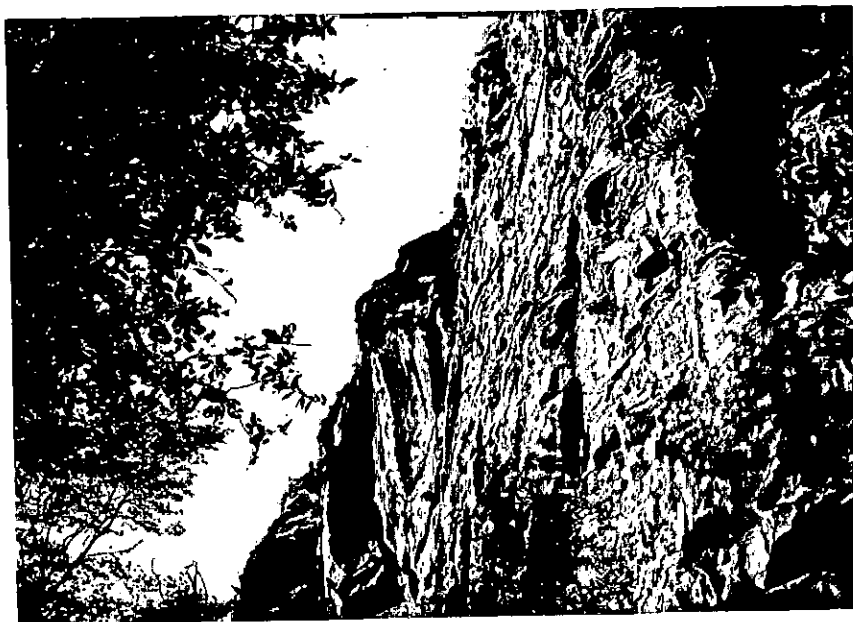


Foto N° 25: Vista tomada desde el sudoeste. Corresponden estos afloramientos a las areniscas del PEÑON DE LA REINA. La foto ilustra el carácter masivo de sucesión y los planos de deslizamientos. VICTORIA

Mediante el estudio microscópico realizado se pudo determinar que además de la estratificación entrecruzada primaria se presenta una estratificación finamente gradada. Quizá esto se deba al tipo de ambiente predominante en el momento de la deposición, de netas características continentales de región desértica. Los minerales que componen la roca son principalmente después del cuarzo y los accesorios ya referidos precedentemente; plagioclasa, ortoclasa y microclino.

El espesor de los afloramientos de areniscas es de 60 m, sin embargo los estudios de CARTA cita delgadas intercalaciones de areniscas en los fenobasaltos reconocidos a través de perforaciones en POSADAS y ZAIMAN.

Hasta el presente no se determinó la presencia de fósiles en la Formación SAN IGNACIO, por ello es que la cronoestratigrafía se basa en correlaciones y dataciones de edad absoluta mediante el método potasio-argón.



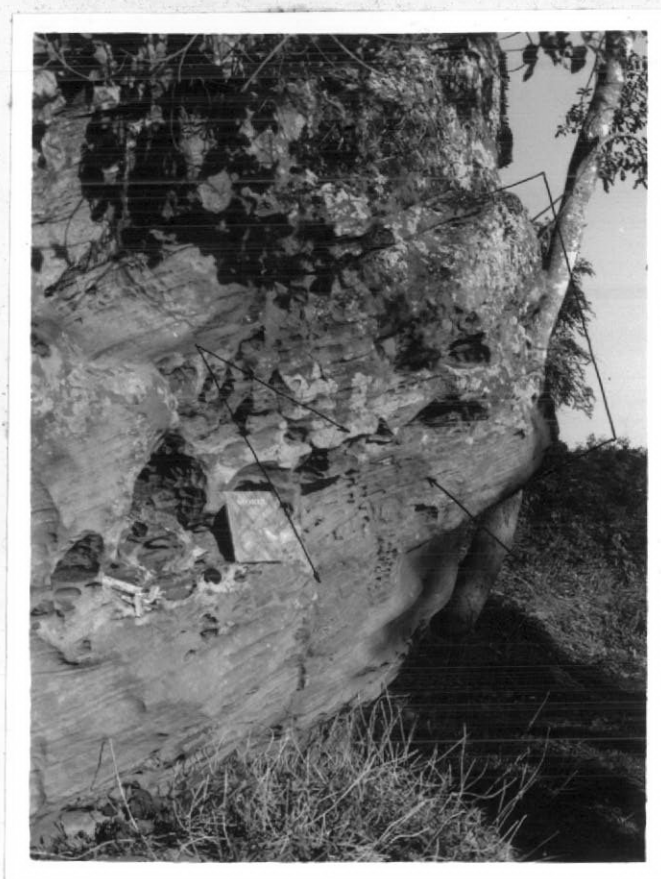


Foto N° 26: Vista parcial de las areniscas de la Formación SAN IGNACIO, tomada en dirección norte a sur. En ella se observa el carácter de la estratificación y laminación. Además puede apreciarse las líneas de diaclasamiento perpendicular a la superficie de estratificación.

Sin embargo se debe señalar con particular importancia que se ha comprobado la relación de intrusión existente entre las areniscas de la Formación SAN IGNACIO y las coladas de fenobasaltos (véase Foto N° 27) próximo a la intersección de la Ruta N° 12 con el Arroyo SANTA ANA.

En el contacto se forma una brecha en la que coexisten clastos angulosos de areniscas y fenobasaltos (véase Fotos No. 28 y 29).

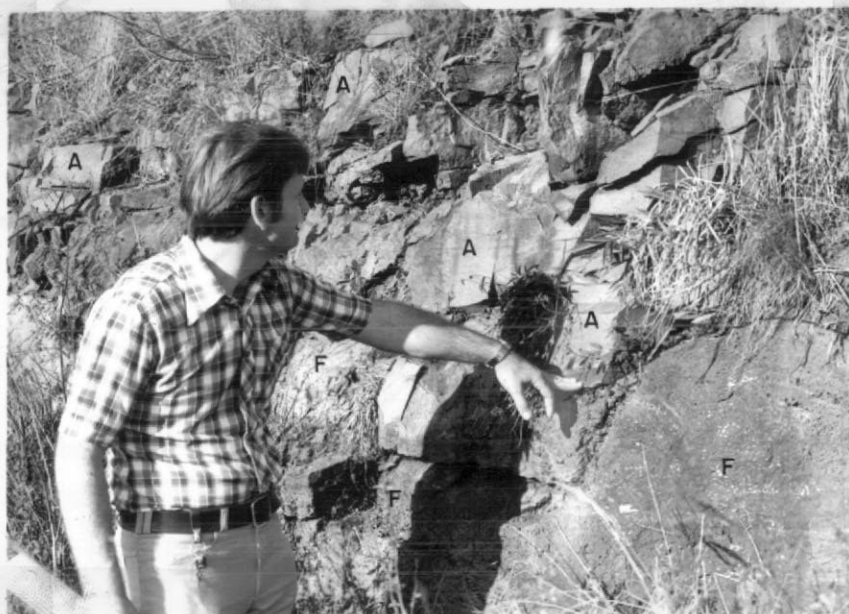


FOTO N°27: Vista tomada próximo al arroyo SANTA ANA. En ella se observa la relación de contacto intrusiva entre el fenobasalto y la arenisca de la Formación San Ignacio, preexistente. A= arenisca; F= fenobasalto.

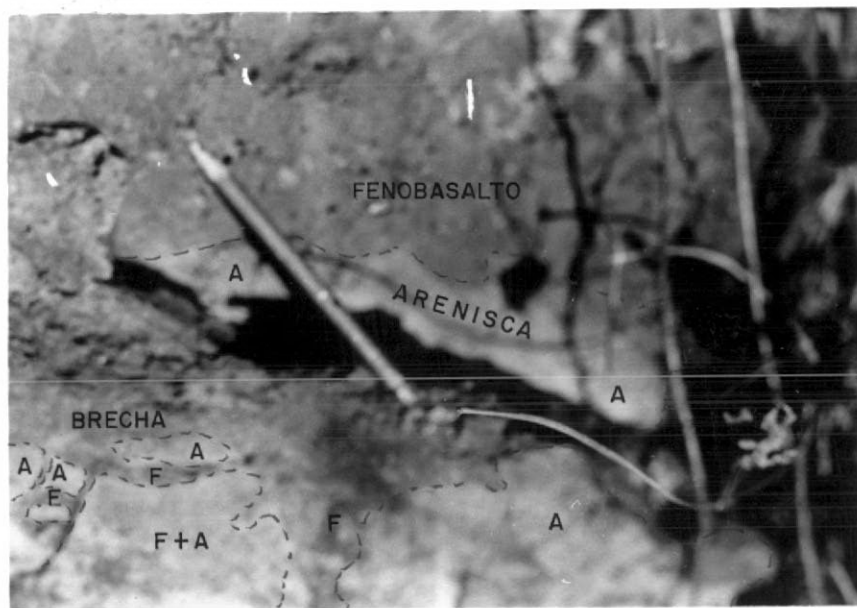


FOTO N°28: Vista de detalle que ilustra la relación intrusiva del fenobasalto sobre la arenisca de la Formación San Ignacio. A= arenisca; F= fenobasalto.

En la Foto N° 29 se ve claramente cómo el fenobasalto digiere la arenisca. Esta última no presenta un espesor muy grande, varía entre 1 a 4 metros. Pero el desarrollo areal es muy importante, ya que aflora algunos kilómetros a lo largo de la Ruta N° 12, como se observa en los cortes de las colinas o en las depresiones de los arroyos y ríos que cruzan la mencionada ruta.



Foto N° 29: Vista de la intrusión del fenobasalto a la arenisca de la Formación SAN IGNACIO. El carácter del contacto refleja los clastos brechosos de areniscas y fenobasaltos. A: arenisca; F: fenobasalto.

En la misma Foto N° 29 se puede observar el cambio gradual entre el cuerpo intrusivo propiamente dicho, de aspecto masivo en la parte inferior hasta "digerir" marcadamente a través de fracturas y venillas las areniscas preexistentes. Sobre la base de esta evidencia, la correlación con la Formación Botucatú y la datación de edad absoluta efectuada a los fenobasaltos, a la Formación SAN IGNACIO se le asigna edad triásica superior, y se correlaciona con la Formación BUENA VISTA (PADULA, 1972).

6.2.2. Cretácico Inferior.

De acuerdo a estudios realizados por Y.P.F., en el subsuelo de la MESOPOTAMIA ARGENTINA que comprende una superficie de unos 197.000 Km²., un 88% de dicha superficie está ocupada por una gran masa rocosa de carácter efusivo. En el caso particular de la provincia de MISIONES, estos cuerpos efusivos se manifiestan más superficialmente que en el resto de la región mesopotámica integrando eventualmente la casi totalidad del área provincial.

El mapeo de los cuerpos efusivos mediante técnicas sismográficas de refracción, geología de superficie y perforaciones permitió determinar que el fenómeno magmático sólo está ausente en la porción noroeste de la provincia de CORRIENTES y al sur de GUALEGUAY en la provincia de ENTRE RIOS.

6.2.2.1. Formación MISIONES (= Basaltos de Serra Geral = Lavas de Arapey).

En el presente trabajo se propone el nombre de FORMACION MISIONES, para el conjunto de fenómenos efusivos de carácter básico aflorante en la provincia de MISIONES, denominados BASALTOS DE SERRA GERAL en BRASIL y LAVAS DE ARAPEY en la REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY.

En el caso que nos ocupa, toda vez que nos refiramos a los "basaltos" de MISIONES, utilizaremos preferentemente el término FENOBASALTO, siguiendo a RITMANN, por entender que dicho término implica el conocimiento de la roca de campo más el pertinente estudio microscópico. En tanto que "BASALTO" es un término que debe ser utilizado cuando se dispone de un conocimiento integral de la roca, vale decir, exámen de campo, análisis petrográfico y análisis químico.

Efectuada esta aclaración, se debe destacar que la Formación MISIONES es sólo un apéndice austral de un fenómeno efusivo de trascendencia continental, desarrollado principalmente en territorio brasileño, acaecido en un ambiente netamente cratónico de predominio tectónico germánico en los umbrales del CRETACICO INFERIOR. Las áreas de influencia en BRASIL incluyen los estados de RIO GRANDE DO SUR, SANTA CATARINA, PARANA, SAN PABLO, GOIAZ, MINAS GERAIS y porciones del MATTO GROSSO. En la REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY abarca aproximadamente una franja de 30 Km de ancho por 200 Km de largo, extendiéndose desde

RINCON DEL BONETE hasta el límite con el BRASIL, siempre con dirección paralela a las costas del río URUGUAY. En la REPUBLICA DEL PARAGUAY ocupan la región oriental.

Tamaño difusión del proceso magmático básico implica la superficie de 1.000.000 de Km².

En territorio argentino, los fenobasaltos tienen desde el punto de vista topográfico un techo con rango próximo a los 193 m.s.n.m. en la localidad de IGUAZU y 715 m.s.n.m. en la localidad de ESTACION GENERAL RAMIREZ, provincia de ENTRE RIOS, de acuerdo a datos logrados mediante perforación.

Los intervalos máximos conocidos entre las coladas de base y techo incluyen las intercalaciones de sedimentitas que se interestratifican entre los diversos derrames, y alcanza los 647 m en el pozo NOGOYA en la provincia de ENTRE RIOS y 1.000 m en la perforación de SALTO 1 en la REPUBLICA DEL URUGUAY.

En un perfil normal, que tome parte de un afloramiento fenobasáltico cualquiera, como el caso ilustrado en la Foto N° 30, obtenida en el cotejo de campo a unos 5 Km al sudoeste de la localidad de BERNARDO DE IRIGOYEN, se puede observar que hacia profundidad es masivo, compacto, con superficies de diaclasas verticales. Luego le sigue un basalto totalmente meteorizado, disgregado, color rojo amarillento, en la generalidad de los casos de aspecto "amigdaloides" (véase Foto N° 31); por encima se le superpone un espesor variable de suelos lateríticos de intenso color rojo, bastante arcillosos, sobre la que se adosa la cobertura vegetal.

El fenobasalto compacto y pasivo es producto de un enfriamiento lento a gran profundidad. Sus componentes volátiles migraron hacia las zonas más superficiales a través de las múltiples fracturas y diaclasas de tensión. Sus componentes esenciales son plagioclasa, piroxeno augítico y magnetita.

El fenobasalto amigdaloides, según se ilustra en la Foto N° 31, es de formación superficial, las numerosas oquedades o amígdalas que presenta fueron producidas por escape de elementos volátiles o por meteorización de sus rellenos, por lo general de calcita, clorita, etc.

Sobre la base de dataciones radimétricas por el método potasio-argón, a los fenobasaltos de la Formación MISIONES se le asigna edad cretácica inferior.



Foto N° 30: Vista tomada sobre la Ruta N° 17, unos 5 Km al sudoeste de la localidad de BERNARDO DE IRIGOYEN. FC: fenobasalto compacto, masivo; FM: fenobasalto meteorizado; SL: suelo laterítico.



FOTO N°31: Vista de detalle del fenobasalto amigdaloido. Se pueden apreciar las oquedades dejadas por las inclusiones generalmente de calcita y también las provocadas por los escapes de los elementos volátiles.

6.2.3. Cuaternario.

6.2.3.1. Depósitos lateríticos.

Los depósitos lateríticos, comunmente denominados "tierras coloradas", abarcan una gran porción que se extiende a lo largo del río PARANA y que a partir de MONTE CARLO se ensancha notablemente para cubrir prácticamente casi toda la depresión que ocupan los tributarios de margen izquierda del río IGUAZU.

La segunda gran porción de afloramientos abarca franjas irregulares de notable desarrollo desde el norte de CAMPO GRANDE, OBERA, L. N. ALEM, para rematar en la llanura de APOSTOLES-CONCEPCION DE LA SIERRA y cubrir en forma masiva toda la franja limítrofe con la provincia de CORRIENTES.

Esta unidad reúne las características de los depósitos residuales producidos principalmente por meteorización y descomposición química de los fenobasaltos y con un espesor variable entre 1 a 25 metros.

La dispersión zonal de estos elementos, de alguna manera regida por la profundidad del basamento fenobasáltico, presenta variaciones notables hacia el sur de la provincia. En este aspecto son dos los parámetros que rigen el fenómeno de decoloración gradual de los depósitos lateríticos en la porción austral. El primero tiene que ver con el aporte eólico de las formaciones plio-pleistocenas situadas al sur y sudoeste de la región de trabajo, elementos limo-arenosos-arcillosos de colores predominantemente claros. El segundo, está relacionado con el proceso de redeposición de los suelos rojos formados "in situ".

Relacionados con estos depósitos y alojados por lo general en las partes más bajas, pantanos, pajonales y en ambientes de aguas estancadas, aparecen depósitos ferríferos residuales, de baja ley, denominados "TACURU". De distribución irregular y espaciada. Están integrados por concreciones de limonita terrosa de color pardo a rojizo, acompañada de goethita y hematita. La estructura del "Tacurú" es porosa, alveolar, con cavidades que corresponden a canalículos rellenos a veces por deposiciones húmicas.

Para una mayor explicación en cuanto a la génesis de estos depósitos ferríferos se debe consultar el trabajo de SCHMID, et al., denominado "Los depósitos de hierro de MISIONES" (1963).

6.2.3.2. Depósitos Fluviales Antiguos.

Los depósitos fluviales antiguos fueron varias veces erosionados y redepositados. Actualmente quedan afloramientos aislados, normalmente integran do terrazas de extensión limitada.

Los componentes de estos depósitos están constituidos por rodados silíceos con avanzado grado de redondeamiento, provenientes quizá del basamento. En proporción menor que los rodados silíceos, aparecen íntimamente asociados clastos de fenobasaltos. El conjunto está regularmente cementado por arcillas y sílice, proveniente de los depósitos lateríticos.

Los afloramientos se distribuyen al sudeste de POSADAS, a lo largo de las barrancas del río PARANA, conformando franjas de tres kilómetros de ancho por veinticinco kilómetros de largo y espesor hasta 10 metros. Esta sucesión de espesores muy variables, tipifica un ambiente de deposición continental-árido similar al que acontece actualmente en la región oeste de FORMOSA.

6.2.3.3. Depósitos Fluviales Recientes.

El intenso grado de degradación, las características del basamento fenobasáltico, el perfil encajonado de la mayoría de los ríos y el flujo dinámico de sus aguas, es uno de los factores que influye directamente en la escasa deposición.

No obstante, próximo a la ribera de los grandes ríos en especial la del PARANA, se presentan estrechas franjas de depósitos fluviales, constituidos principalmente por arenas blancas, amarillentas y grisáceas, con altos porcentajes de moscovitas y polvos ferruginosos. El afloramiento más representativo, es el situado poco al sur de la localidad de SAN IGNACIO. Por debajo de estos depósitos aparece un material limo-arcilloso, producto de la redeposición de los depósitos lateríticos, conocido localmente como "ÑAU"

y con espesor de 5 a 10 metros.

6.2.4. Cuadro Estratigráfico.

En el presente cuadro estratigráfico se utiliza la terminación oico para las ERAS geológicas, así por ejemplo: Paleozoico, Mesozoico, etc. En el caso de los PERIODOS se utiliza la terminación ico, por ejemplo: CUARTARICO, TERCARICO, CAMBRICO, etc., de acuerdo a las recomendaciones del Congreso Mundial de Geología, realizado en París en 1908. Con referencia a los movimientos diastróficos, se utiliza Fase Catanfílica como equivalente a la fase europea Nevádica y Fase Huárpica como equivalente a la Fase europea Palatínica, Turner y Méndez, 1975.

6.3. ESTRUCTURA.

La provincia de MISIONES pertenece desde el punto de vista estructural a la denominada provincia geológica o morfoestructural MESOPOTAMIA ARGENTINA. Caracterizada desde el punto de vista tectónico por un típico estilo de MONTAÑAS DE BLOQUE, desarrollado en oposición al orógeno ANDINO, dentro de la estructura cratónica del BRASIL, en la que se desarrollan con gran singularidad los fracturamientos verticales de la corteza terrestre, si bien no se descartan zonas de plegamientos muy subordinadas a las primeras.

La gran diferencia de estilo contrastante con el estilo ANDINO desde el punto de vista geotectónico fueron elementos muy importantes que indujeron a KOBER (1924) denominarlos TECTONISMO CRATONICO; más tarde KRAUS (1952), les llama EPIROGENESIS, al igual que BELOUSSOV (1965).

Nota: en la toponimia regional el término "TACURU" deriva del vocablo guaraní Ta-curú; de donde Ta es apócope de itá (piedra) y curú significa cosa o material descompuesto. De modo que integrando una de sus acepciones el término "tacurú" significaría "piedra rota" o "descompuesta". Una segunda acepción al término más conocido quizá regionalmente, es el que se aplica en las provincias de FORMOSA, CHACO, CORRIENTES y sur de MISIONES a los hormigueros. Dada las similitudes morfológicas de los depósitos de hierro con la de los hormigueros, se considera acertada la sinonimia.

Cuadro N° 6: CUADRO ESTRATIGRAFICO DE LA PROVINCIA DE MISIONES

ERA	PERIODO	FORMACIONES	ESPESOR EN METROS	DIASTROFISMO	
C E N O Z O I C O	<u>CUARTARICO</u>	<u>Depósitos fluviales recientes:</u> arenas y redepósitos (Ñaú)	5 - 10	ANDICO	
		<u>Depósitos fluviales antiguos:</u> rodados silíceos y de fenobasaltos.	10		
		<u>Depósitos lateríticos:</u> sucesiones residuales color rojo y concentraciones de hierro ("tacurú")	Variable de 1 hasta 25		
M E S O Z O I C O	CRETACICO INFERIOR	<u>Misiones = Basaltos de Serra Geral = Lavas de Arapcy:</u> fenobasaltos de área cratónica.		C I M E R I C O	Fase Catanfílica
	TRIASICO SUPERIOR	<u>San Ignacio:</u> areniscas rojas a rosadas con estratificación cruzada, muy diaclasadas.	60		Fase Huárpica

De acuerdo a las más modernas concepciones geotectónicas el tectonismo cratónico o germanotipo es de raíces profundas y tiene lugar a lo largo de grandes fallas regionales de cientos de kilómetros de extensión. Los magmas ascienden desde varios miles de metros de profundidad (véase figura N° 48) y son de carácter esencialmente básico, dando lugar a toda una secuencia gradual de procesos distróficos principales y secundarios tales como la formación de fajas de cizalla, formación de placolitos, abovedamiento de los estratos suprayacentes, extrusión lineal o focalizada, emplazamiento de diques anulares, diaclasamiento, etc.

El proceso precedentemente descrito se adopta para la provincia de MISIONES, en virtud de presentar notables coincidencias genéticas y tectónicas.

Sin ninguna duda en el análisis y evaluación estructural de la provincia de MISIONES, las imágenes satelitarias LANDSAT constituyen la herramienta más adecuada por las enormes ventajas que representa la definición, claridad de los sistemas de fallamiento (pese a la gran cobertura vegetal) y la definición geomórfica de los diferentes ambientes, según el grado de alteración y meteorización.

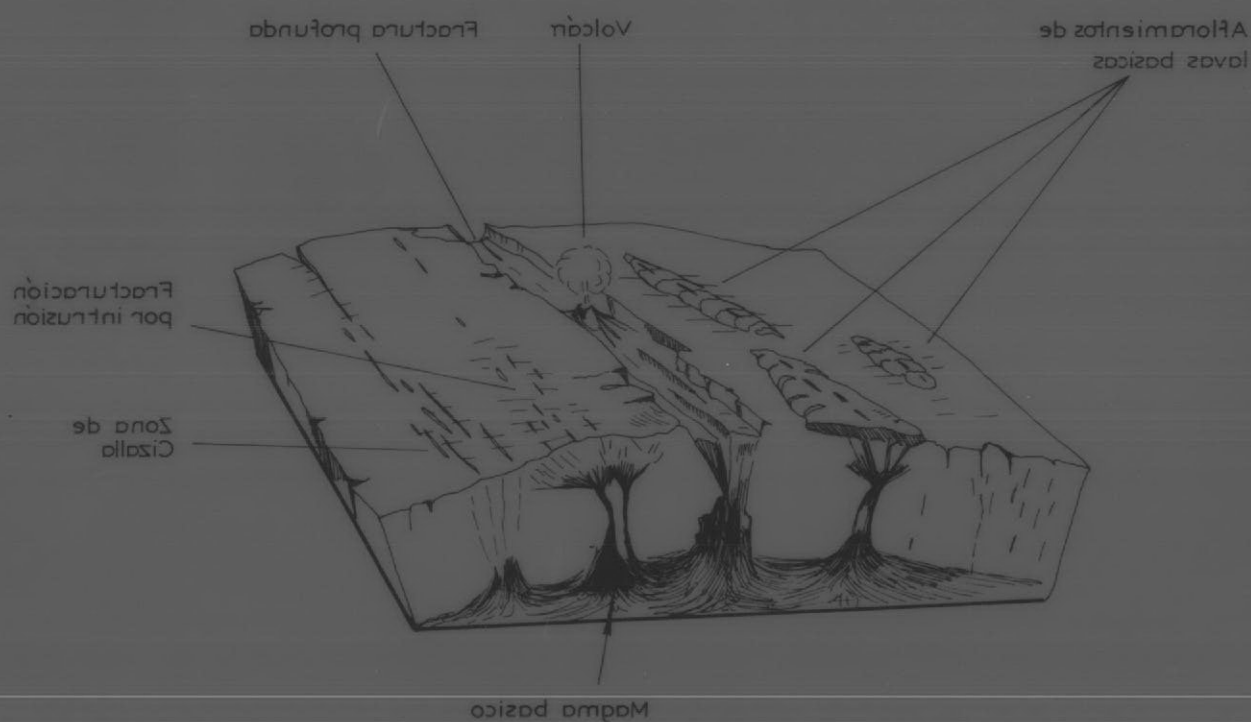
La más relevante ventaja de las imágenes LANDSAT, especialmente en su banda 7 infrarroja, para el caso de MISIONES, es la visión sinóptica regional de las fracturas y lineamientos de los modelos que adopta el basamento fenobasáltico y los depósitos superficiales.

El inventario geológico-estructural realizado por AEROTERRA S.A. muestra los principales efectos de los eventos diastróficos, plasmados a través de las grandes líneas de fracturación regional y de las entidades estratigráficas presentes.

Sin subestimar la importante contribución geológica realizada por CARTA (1964), el objetivo del presente trabajo desde el punto de vista estructural, fue determinar fehacientemente a la luz de la moderna tecnología de teledetección satelitaria, el RUMBO DE LOS LINEAMIENTOS Y FRACTURACIONES REGIONALES PRINCIPALES, como elemento básico para la consideración e interpretación real de los fenómenos tectónicos.

Los conceptos precedentes alcanzan un inestimable valor, si se tiene en cuenta que una imagen satelitaria compone unidades fotomórficas continuas, cubriendo superficies de 34.000 Km² aproximadamente, en las que elementos estructurales, tectónicos, geomorfológicos y geológicos, conforman una visión integral de los procesos naturales.

ESQUEMA DE LA TECTONICA CRATONICA O GERMANICA



Esquema de la tectonica cratonica o germanica que ilustra sobre los distintos procesos que gradualmente ocurren en algunas regiones de la corteza terrestre, según H. Cloos y que se aplica a la estructura de la provincia de Misiones.

Por el contrario, las fotograffas aéreas, con escalas de pequeño denominador, adolecen de grandes desventajas frente al mapeo regional, que se traduce principalmente en las mayores erogaciones económicas y de infraestructuras en un programa; mayor pérdida de tiempo por confección de mosaicos semicontrolados; restitución; deformación de los bordes debida al relieve; supresión de importantes accidentes topográficos en la confección de mosaicos; huecos; cambios bruscos de escala por topografía abrupta; desplazamiento de la línea de vuelo; etc.

Algunas de estas desventajas condujeron a que el mapa de "CAMPO DE LINEACIONES", elaborado por CARTA (GEOMAP, Firenze 1964) para la provincia de MISIONES, a escala 1:50.000 y posteriormente reducido a escala 1:500.000 no destacara como más importante el rumbo principal asignado a los lineamientos que se indican en sentido NO-SE, correspondiendo en realidad, como ya se dijo precedentemente a un rumbo N-S, claramente establecido y detectado en el presente estudio y discernibles en la visión sinóptica regional proporcionada por el fotomosaico satelitario infrarrojo blanco y negro.

De manera entonces, que, lograr mediante las imágenes satelitarias, la determinación del rumbo o dirección verdaderos de los lineamientos y fallamientos, es una contribución que coadyuva a una mejor y más sólida interpretación de los fenómenos estructurales para una correcta aplicación en la posterior etapa de estudio de detalle a encarar, tanto en obras hidráulicas, como camineras, estudios mineros, fundaciones, etc.

A su vez es necesario destacar con particular énfasis que en los trabajos de índole regional no es aconsejable el mapeo de una red densa de trazas de lineamientos, fallas o diaclasas, porque en conjunto, estos elementos no hacen nada más que "enmascarar" las características estructurales de una región, conduciendo al intérprete a perder la relación de qué es lo principal y cuál lo secundario. Esto último sucede en el mapa de "campo de lineaciones" realizado por CARTA. Para una mejor ilustración del concepto se aconseja comparar la Foto N° 32 (Sector de estudio de detalle) con la Figura N° 51, que corresponde a una porción del mapa elaborado por CARTA, sobre la base de mosaicos fotográficos.

De dicha comparación o cotejo, surge en consecuencia un factor muy subjetivo, cual es la posible interpretación como lineamientos del sentido de las líneas de vuelo recorrida por el avión con rumbo NO-SE, situación que se hace más compleja al advertirse la intervención de más de un fotointérprete, reflejada a través de la marcada diferencia de densidad de las trazas.

En síntesis, el inventario geológico-estructural a escala 1:250.000 elaborado por AEROTERRA S.A., debe ser complementado en lo particular, por los mapas geológicos a escala 1:50.000 realizados por CARTA, a fin de integrar la información disponible, y disponer así la de las necesarias informaciones básicas para el planeamiento y toma de decisiones correspondientes.

6.3.1. Estudio de Detalle.

Las fallas, lineamientos y rasgos redondeados que se observan en la porción de la imagen satelitaria LANDSAT 2535-12451-7 banda 7 (véase foto N° 32), se corresponden con una porción altamente tectonizada de la provincia, motivo por el cual se la solucionó como modelo para su estudio de detalle. Esta zona cubre una superficie de aproximadamente 4.200 Km².

Así, el análisis regional de esta porción permite deducir e interpretar la presencia de tres grandes sistemas de fallamiento: uno principal, de rumbo aproximadamente norte-sur compuesto por las fallas DEL MEDIO, ACARAGUA, ALEGRE, URUGUAY y SALTÍÑO; un segundo sistema de rumbo NE-SO solidario con un intenso diaclasamiento del mismo rumbo y por último un tercer sistema de rumbo NO-SE, constituido esencialmente por fallas de desplazamiento de rumbo generadas por efectos de las fases finales de los movimientos del ciclo ANDICO, ya que el fallamiento principal que le antecede presenta un singular y marcado desplazamiento. Las fallas de desplazamiento de rumbo más importantes son las denominadas MISIONES y SAN LUIS.

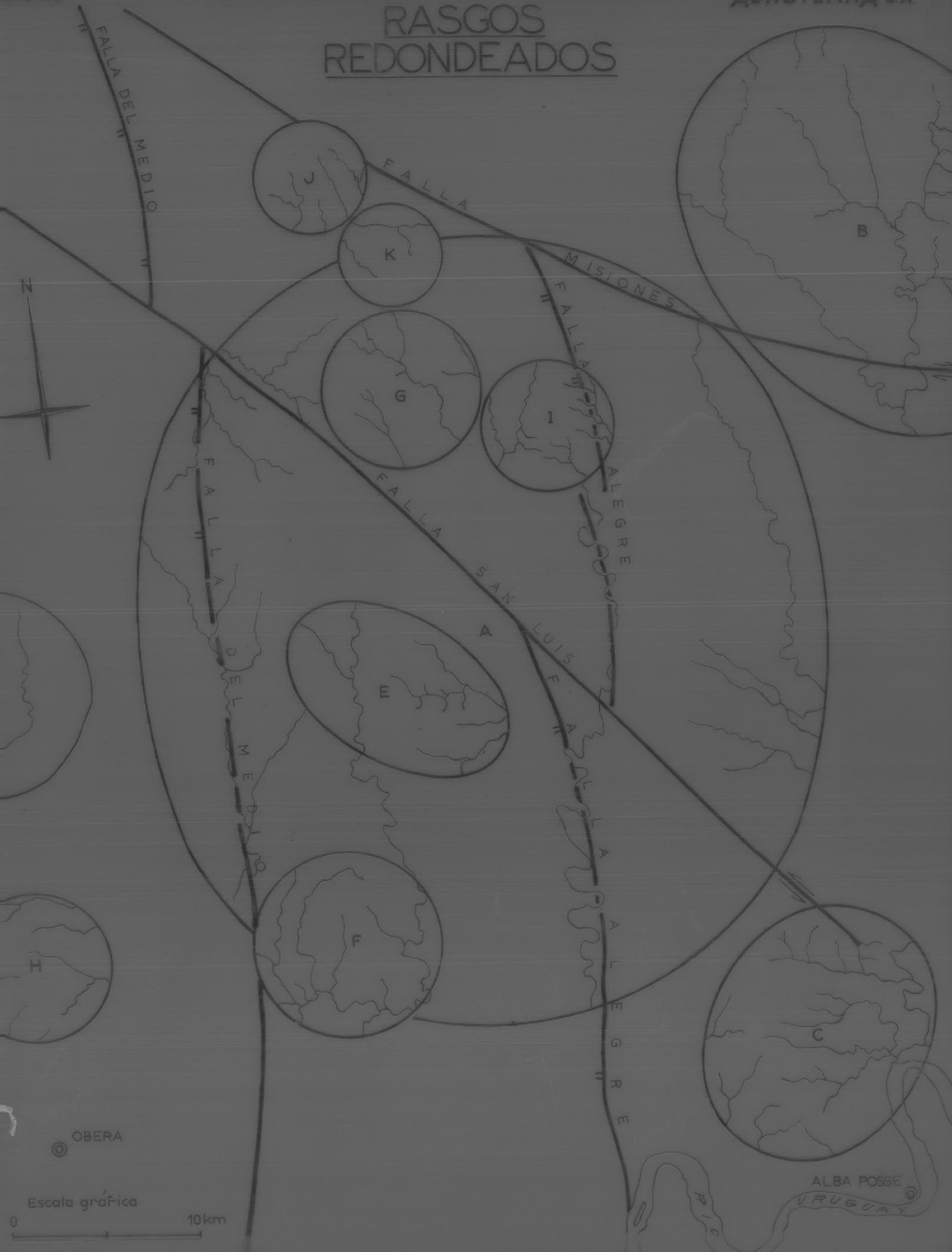
6.3.2. Rasgos Redondeados.

La compleja y densa red de fracturación realizada mediante la fotointerpretación estructural detallada en la imagen satelitaria de la figura N° 49, ha generado además con particular singularidad un conjunto de rasgos morfológicos-estructurales designados por orden de dimensión mayor a menor con las letras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y K.

Estos rasgos denominados RASGOS REDONDEADOS, fueron determinados en la imagen satelitaria por la marcada definición de las fallas, diaclasas, características fototonaes y fototexturales. Por lo general son de morfología anular, ovoidal o elíptica, a menudo compuesta por dos o más rasgos concéntricos, definitivamente identificables unas veces y apenas visibles otras (Véase Figura N° 50).

Aunque en ocasiones estos rasgos sean debidos a indefinidos módulos de la compleja naturaleza, por lo general coinciden con la presencia de cuerpos intrusivos o diferenciaciones póstumas de un ciclo magnético, actualmente aflorantes o muy próximos a la superficie, a los cuales podrían estar asociadas zonas mineralizadas.

RASGOS REDONDEADOS



6.3.3. Modelos de Fracturación.

La Figura N° 49, muestra las localizaciones de los RASGOS REDONDEADOS detectados en el sector correspondiente al estudio de detalle en la provincia de MISIONES.

Algunos de estos rasgos merecen ser tenidos en cuenta para ser cuidadosamente controlados en el terreno, en los programas de prospección geológica de detalle, ya que al corresponder a óvalos donde el diastrofismo fue más acentuado pueden coincidir con blancos adecuados para realizar estudios geoquímicos, geofísicos y estructurales.

Lógicamente que en la provincia de MISIONES no hay suficientes antecedentes de índole minera que permitan acotar conclusiones, pero sin embargo la imagen LANDSAT brinda nuevos elementos para encarar una exploración geológica, conociendo por supuesto el complicado panorama que el método geológico, geofísico y geoquímico implica, en una región como la del presente trabajo.

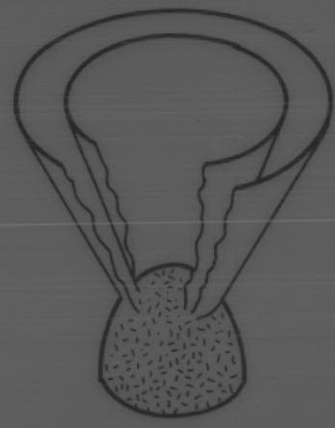
Lo anteriormente expresado de ningún modo quiere significar que el uso de las imágenes satelitarias sea un elemento exclusivo en la evaluación regional, sino solamente una parte de la estrategia para la determinación de potenciales blancos mineralizados.

Asumiendo que el magma fenobasáltico segregara flúidos ricos en minerales, el movimiento de esos flúidos mineralizantes, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura fue controlado directamente por la fracturación.

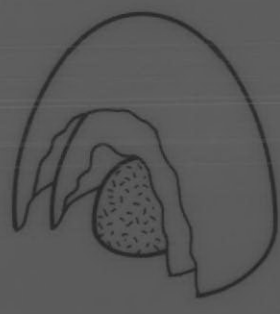
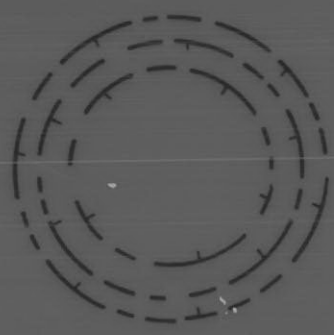
Por ello es que al analizar algunos de los rasgos redondeados, y relacionarlos con los modelos de FRACTURACION y la eventual presencia de intrusivos diferenciados, ellos pueden ajustarse a los siguientes procesos (Véase Figura N° 49):

1. Fuerte intrusión hacia arriba de un magma en fusión que al englobar rocas competentes produce fracturación cónica (casos: A, F e I).
2. Períodos intermitentes de reflujo magmático que producen fracturación dómica (B, C, E, G, H).

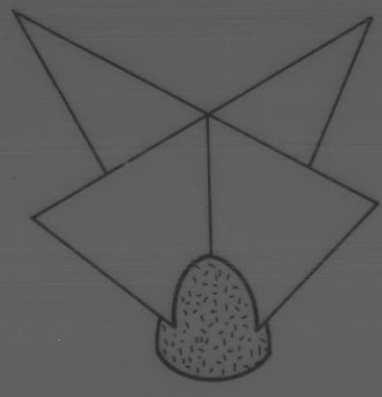
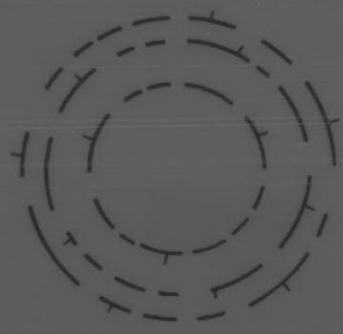
MODELOS DE FRACTURACION



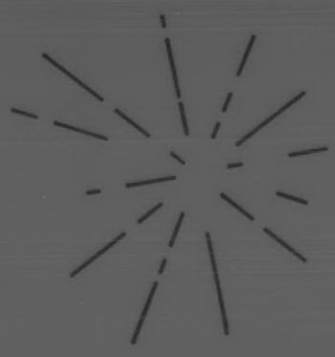
1. Modelo de Fracturación Cónica y vista de planta



2. Modelo de Fracturación Dòmica y vista de planta



3. Modelo de Fracturación radial y vista de planta



3. La intrusión de un magma en fase continua o intermitente pueden provocar conjuntamente fracturación radial, pero por lo general están asociadas a las fases de neto carácter intrusivo (casos D, J y K).
4. Desarrollo de grietas por enfriamiento de los magmas ígneos. En este caso la fracturación puede responder a modelos radiales o concéntricos, pero siempre están relacionadas a masas de origen magmático.
5. Emplazamiento magmático próximo a la superficie, bajo centros volcánicos. Pueden provocar hundimientos por gravedad englobando conjuntamente material nuevo a lo largo de antiguas fracturas concéntricas.

En el overlay de la Foto N° 32 se ilustran los casos más típicos de fracturación, observados en la porción de la imagen satelitaria LANDSAT descripta.

La presencia de profundas fracturas verticales de la corteza terrestre de dimensiones regionales, o hasta continentales ha sido reconocida desde hace mucho tiempo (VENING MEINESZ, 1947; BELOUSSOV, 1962, 1965), y variada ha sido la gama de nombres usada para designarlas: lineamientos regionales, continentales o globales, megalineamientos, megadiaclasamientos, geofracturas, geosuturas, etc.

En el presente trabajo se utilizará para cada caso: LINEAMIENTO, MEGAFRACTURAS CONTINENTALES, según corresponda. Se entiende por lineamiento, cada rasgo lineal natural discernible sobre las imágenes satelitarias u otro tipo de sensor. Por lo general, corresponden a líneas rectas o suavemente curvadas, en ocasiones bien definidas y rápidamente distinguibles; en otras, más frecuentemente, apenas delineadas o sólo identificables mediante un cuidadoso examen. La capacidad de detección de dichos rasgos se acrecienta con la experiencia del fotointérprete.

Suelen contribuir a definir estos lineamientos, segmentos rectos de un curso de agua; trazos rectilíneos de barrancas de un río; alineaciones de lagunas; pantanos; esteros; surgentes, dolinas o centros volcánicos; crestas o depresiones topográficas elongadas; y muchos otros elementos lineales análogos.

El principio elemental sobre el cual se basa la fotointerpretación de lineamientos, es, en buena parte de carácter morfológico. En general la erosión, sobre un terreno homogéneo, como en el caso de la provincia de MISIONES, tiende a modelarlo en formas curvilíneas, irregulares e interrumpidas y recortadas.

La posibilidad que se puedan formar rasgos lineales o rectilíneos o regular y suavemente curvos, sin ninguna causa específica que los controle, puede considerarse, estadísticamente hablando, prácticamente nula. Cada vez que se observan sobre las imágenes, indicios de rasgos lineales, estará justificado entonces, buscar la causa determinante en factores orientados. Por supuesto que no todos los fotolineamientos mapeables puedan ser atribuidos a un control estructural. La acción del agua a lo largo de pendientes pronunciadas; la acción del hielo en áreas afectadas por glaciaciones pasadas o recientes; la acción del viento, especialmente en áreas desérticas y cuando existen una o más direcciones de vientos regionales predominantes, pueden ser responsables de los lineamientos.

No exclusivamente los fotolineamientos interpretables como correspondientes a fracturas de la corteza terrestre son los que a través de un análisis cuidadoso y crítico, pueden ser seleccionados y registrados en investigaciones del tipo de la presente. Tales fotolineamientos suelen ser llamados trazas de fracturas, donde el término traza indica que los rasgos mapeados son, en su mayor parte, sólo la expresión superficial indirecta de fallas o diaclasas (LATTMAN, 1958).

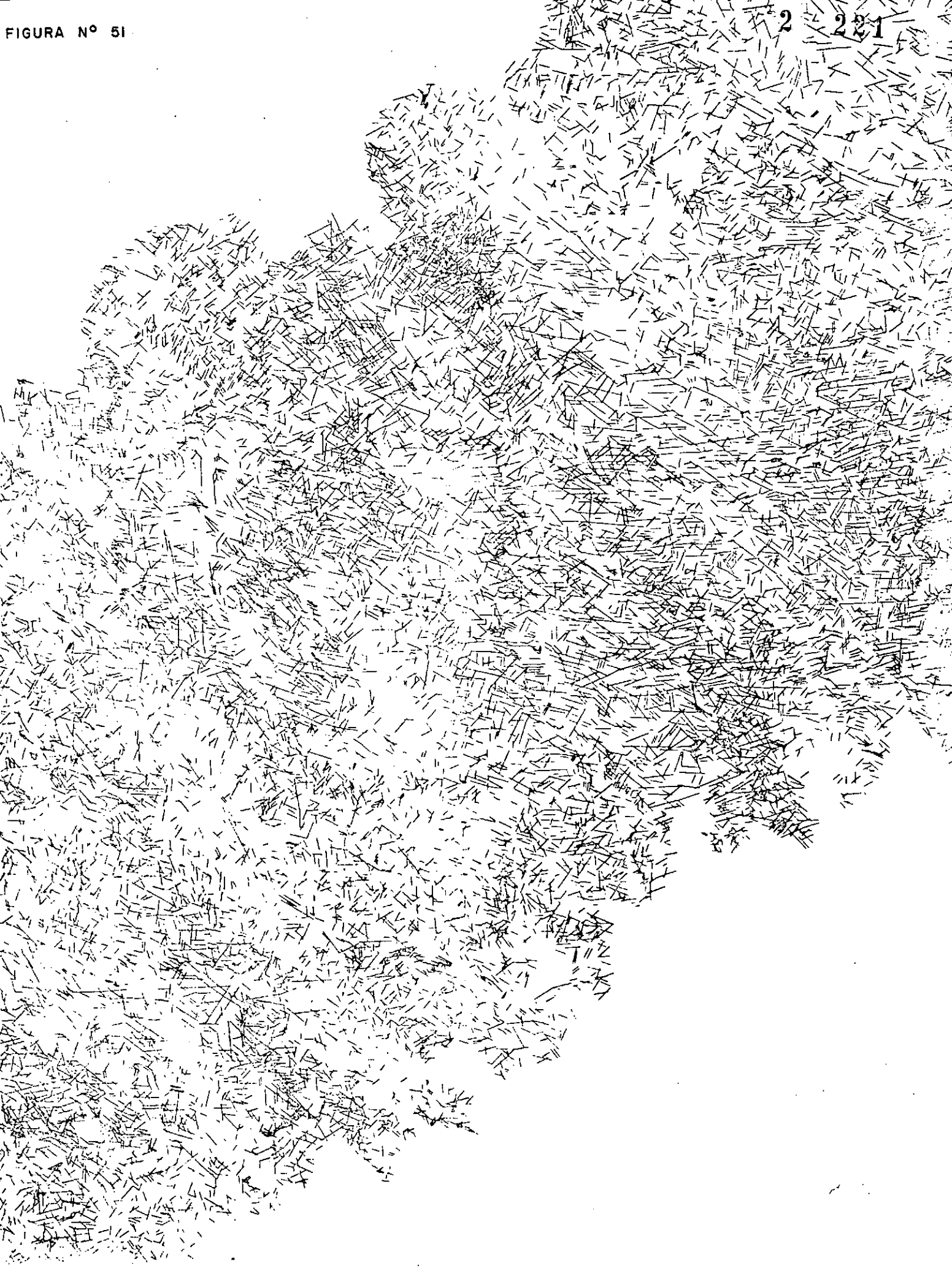
Si adoptamos las definiciones de escala de fracturas en relación a su dimensión (TURNER y WEISS, 1963), tendremos:

MESOFRACTURAS: trazas de fracturas expresadas en forma continua por menos de dos kilómetros y mapeables principales a escala superior a 1:30.000.

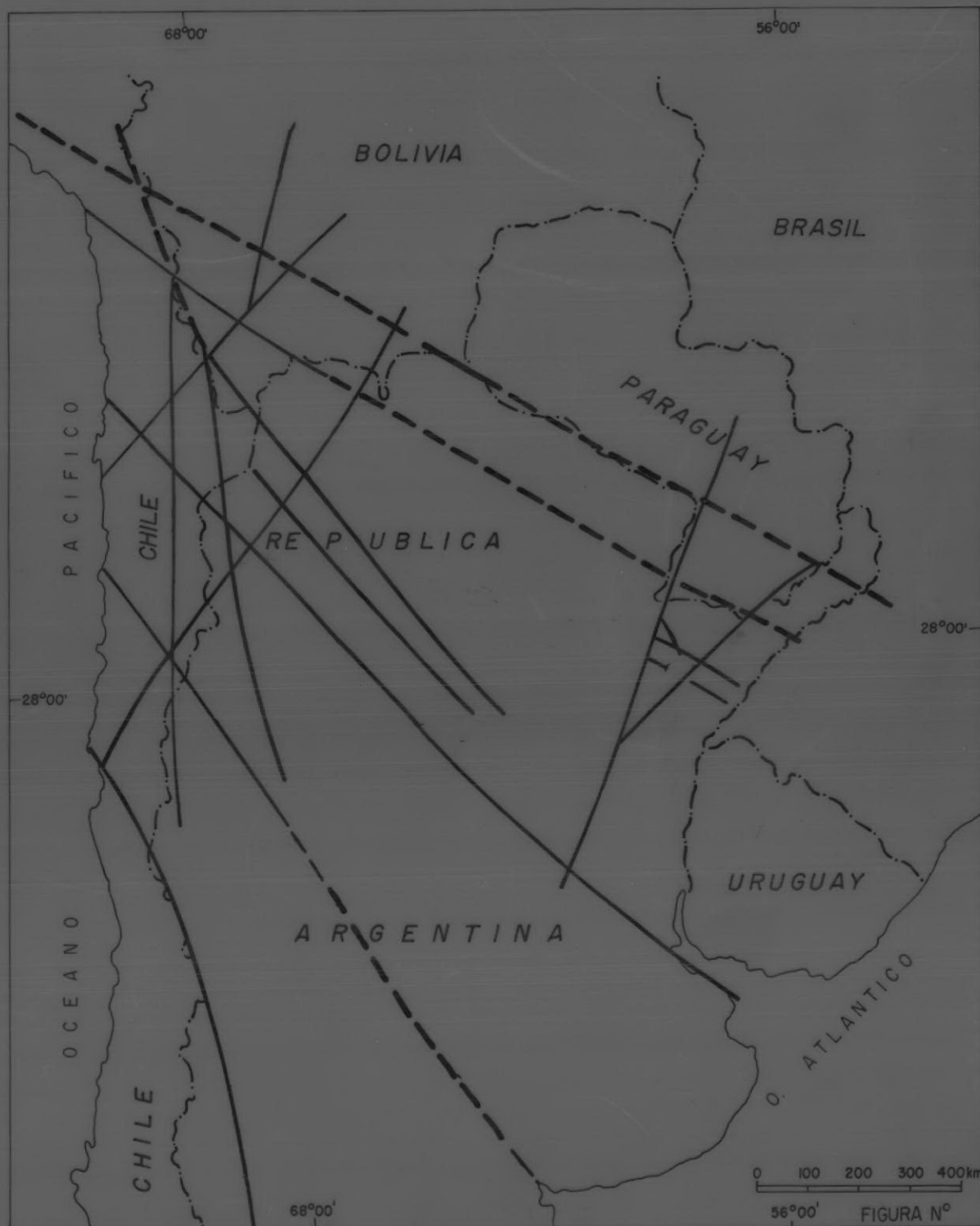
MACROFRACTURA: trazas de fractura expresadas de manera continua, por distancias mayores de dos kilómetros, pero que pueden ser identificables de manera continua o discontinua a lo largo de varios kilómetros.

MEGAFACTURAS: Trazas de fracturas a escala regional o hasta global (véase como ejemplo la figura N° 52). En orden de magnitud, podemos agrupar dentro de esta categoría a fracturas que van de varias decenas hasta centenas de kilómetros de largo. Especialmente si se adoptan las escalas de denominador mayor correspondientes a las imágenes satelitarias LANDSAT.

En el caso de la figura N° 52, obtenida directamente de imágenes satelitarias que integran geografías correspondientes a varios países latinoamericanos, tales como BOLIVIA, PERU, CHILE, BRASIL, URUGUAY y ARGENTINA, pueden verse a grandes rasgos las MEGAFACTURAS que afectan esta parte de la corteza terrestre, respondiendo a profundas fracturas verticales. De allí la importancia que ha cobrado los últimos años, el aprovechamiento de las imágenes satelitarias para este tipo de estudio estructural, síntoma, que en los futuros estudios debe transformarse en una herramienta de indudable aplicación.



MEGAFACTURAS CONTINENTALES



Esta contribución de la tecnología satelitaria, como ha quedado demostrada por los diferentes trabajos aplicados a casos como del presente trabajo por la comunidad científica mundial, está proveyendo nuevas visiones y comprensiones sobre el origen de casi todos los elementos tectónicos y el reconocimiento de nuevas grandes fracturas.

En la figura N° 52, se aprecia claramente la influencia continental de la MEGAFRACTURA PILCOMAYO-ARICA, en la conformación estructural de la MESOPOTAMIA ARGENTINA, de la que por supuesto no escapa la provincia de MISIONES, en especial si se considera su morfología de arco cóncavo según el eje MONTECARLO-TAPIRANGA (BRASIL).

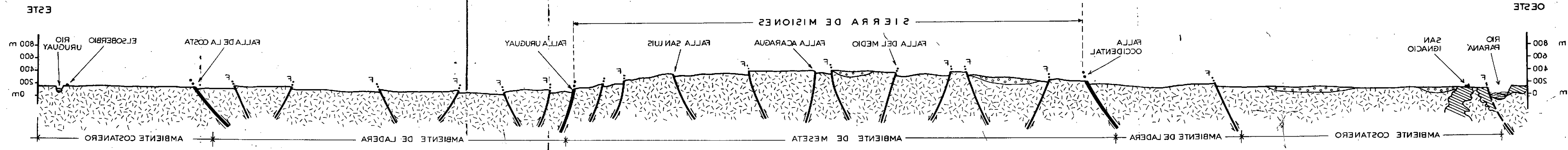
En general, desde el punto de vista estructural, las fracturas dentro de la dimensión que corresponda, tienen una significativa importancia en la exploración geológica minera, por lo que el investigador debe dirigir su atención, entre otras cosas, a la posibilidad de un control estructural regional en la formación de los depósitos minerales. Hay por cierto, serias bases para creer que muchas trazas de fracturas pueden afectar hasta las porciones más profundas de la corteza terrestre, llegando eventualmente hasta el manto y favoreciendo el ascenso de fluidos magmáticos mineralizantes.

Ello se hace más importante en el caso de la provincia de MISIONES debido especialmente a que la densa cubierta selvática impide, la mayoría de las veces, en el cotejo de campo, encontrar evidencias claras y continuas de grandes fallas, en correspondencia con los lineamientos, las megatrazas o las megafracturas.

Por último y en estrecha relación con la estructura de la provincia de MISIONES, se considera que las fracturas que la afectan corresponden a zonas de debilidad de la corteza terrestre (CLOSS, 1948; MOLLARD, 1957; HAMAN, 1961; BELOUSSOV, 1965; SCHMITT, 1968), y son de origen profundo, formadas en el precámbrico más antiguo, las cuales se proyectaron a través del tiempo geológico por repetidas o continuas reactivaciones, transmitiéndose hacia arriba a las formaciones geológicas suprayacentes. Tal proceso de reactivación y transmisión, provocó sistemas de fracturas necesariamente siempre muy intrincados.

Las zonas de fracturas continentales o propiamente dicho MEGAFRACTURAS, ilustradas en la Figura N° 51, no siempre podrán ser fácilmente apreciadas sobre las imágenes satelitarias, como líneas definidas, sino más bien como anchas franjas o zonas de debilidad de la corteza terrestre, a veces del orden de las centenas de kilómetros, comparables y talves análogas a las fallas oceánicas, atribuidas al proceso generado por efectos de la tectónica global o de placas o láminas (MENARD, 1964).

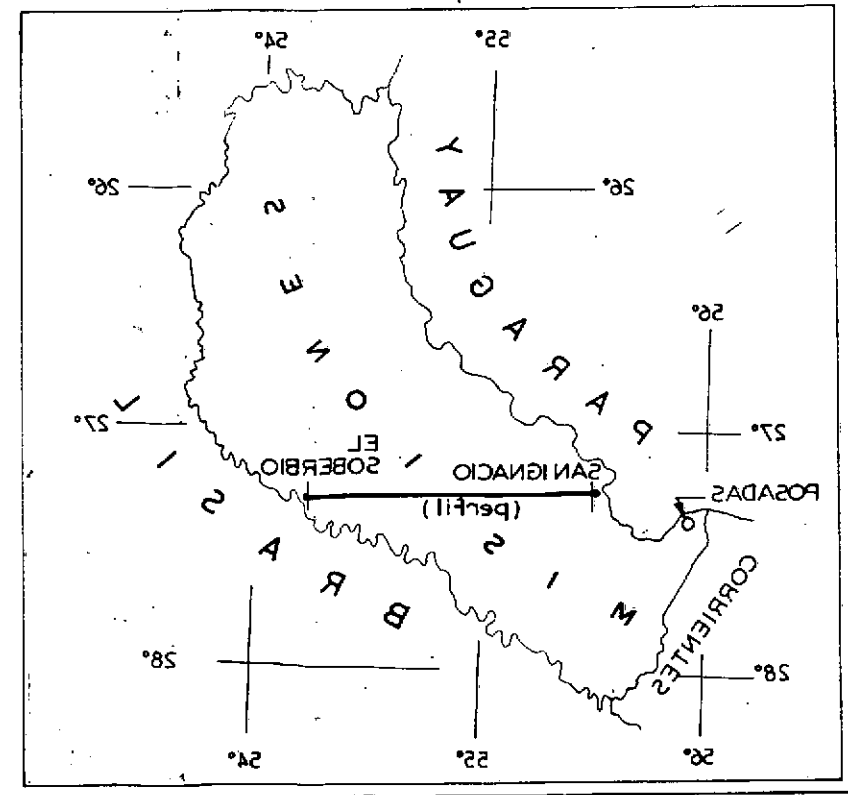
PERFIL SAN IGNACIO - EL SOBERBIO PROVINCIA DE MISIONES



REFERENCIAS

	Depósitos Cuaternarios
	CRETACICO INFERIOR
	TRIASICO SUPERIOR
	Fallas
	Fallas con desplazamiento relativo (interpretación)
	Fallas

Escala horizontal 1 : 250.000
Escala vertical 1 : 40.000



Con el objeto de ilustrar someramente sobre algunos aspectos estructurales de la provincia de MISIONES, en el perfil SAN IGNACIO-EL SOBERBIO y ESPERANZA-BERNARDO DE IRIGOYEN (Véase Figuras Nos. 53 y 54), se esquematizan los principales efectos tectónicos en relación con la conformación actual, generada además por derivación de la actividad geomórfica, cuyos rasgos principales se indican al pie del mismo perfil. Las fallas que afectan la estructura en gran parte son de carácter inverso y de alto ángulo, y se atribuyen a la efusión regional del fenobasalto, en su progresiva expansión ascendente. El rumbo de las fracturas principales N-Sa N26E y coincide con el esquema de reactivaciones provocado por efecto de los movimientos del ciclo CIMERICO y ANDICO.

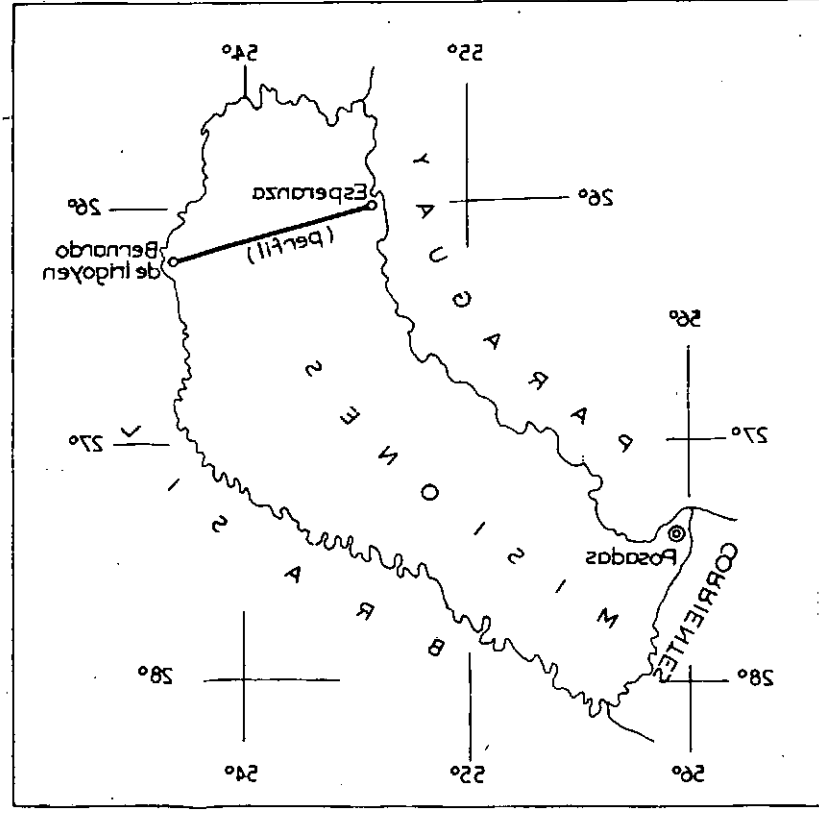
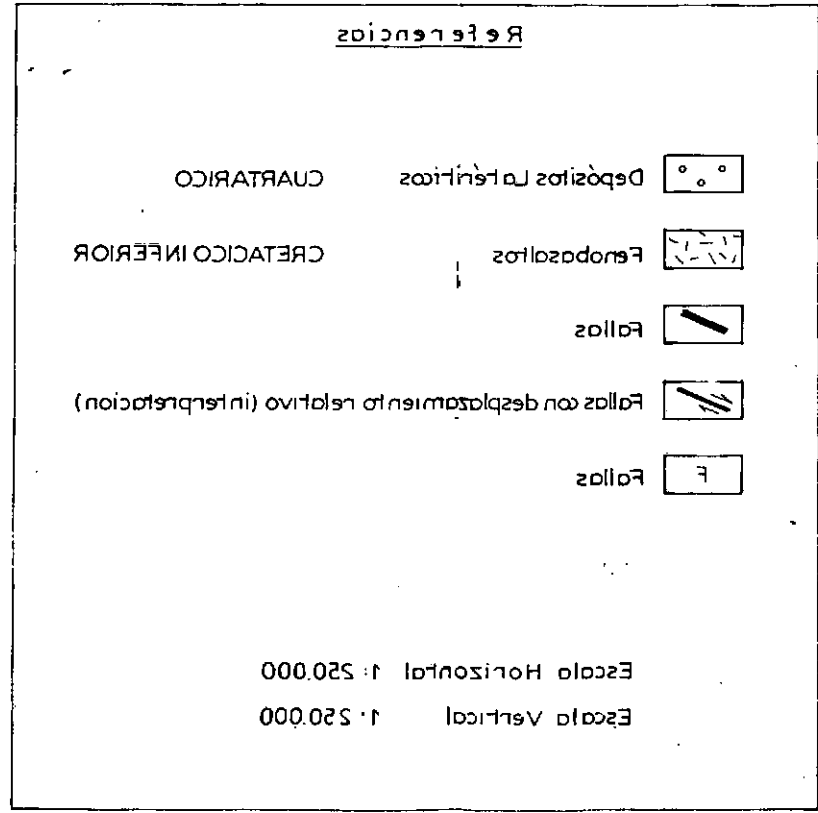
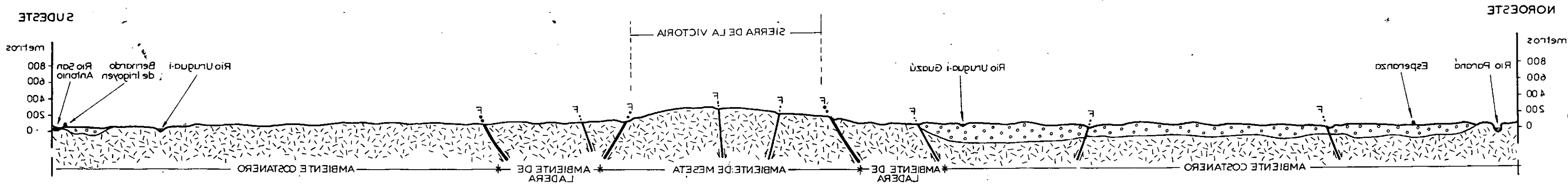
La tectónica de montañas de bloque, corridas diferencialmente entre sí y de magnitudes variables es de carácter preferencialmente tensional. De este modo, las fallas principales: OCCIDENTAL, URUGUAY y DE LA COSTA (Figura N° 53), han generado los más grandes y activos movimientos diferenciados, y así destacados actualmente a través de sus características morfológicas, en los ambientes geográficos COSTANERO, DE LADERA Y DE MESA (Ver Sección 5).

En igual sentido los distintos movimientos tectónicos que afectaron la PROVINCIA DE MISIONES, están traducidos a través de las discordancias existentes en la columna estratigráfica, por supuesto no muy polifacética, pero si bien representada. Debido al hecho que en la citada provincia los términos más representativos aflorantes son los que corresponden a las areniscas de la FORMACION SAN IGNACIO y a la FORMACION MISIONES (fenobasaltos), los movimientos tectónicos consecuentes no están integralmente representados.

La intensa erosión que prosiguió luego de la implantación de los movimientos de la fase CHANICA, contribuyó a la acumulación en el ambiente de la región MESOPOTAMICA de las sedimentitas continentales correspondientes a la FORMACION SAN IGNACIO por efectos de la tectónica hasta que irrumpen regionalmente los movimientos de la fase CATANILICA con la intrusión espectacular de los fenobasaltos de la Formación MISIONES (Basaltos de SERRA GERAL). Por último, la gran masa fenobasáltica es afectada por los distintos Movimientos del CICLO ANDICO. Se estima que fue durante el MICENO cuando se definen las características más activas de la tectónica andica, la que se pone de manifiesto preponderantemente por el rumbo N20°E de las estructuras de fracturación.

El perfil ESPERANZA-BERNARDO DE IRIGOYEN, tomado en sentido NO-SE, representa la culminación de la SIERRA DE MISIONES y el comienzo de la SIERRA DE VICTORIA. La posición de esta última (véase Figura N° 54) coincide con los niveles topográficos más pronunciados del sector (más o menos 500 a 600 m). Desde el punto de vista diastrófico el perfil traduce a juicio de la interpretación un esquema de fracturación similar al de toda la región; solamente que en este caso, el volumen de los depósitos lateríticos guarda mayores proporciones en relación con el perfil de la Figura N° 53.

PROVINCIA DE MISIONES PERFIL ESPERANZA-BERNARDO DE IRIGOYEN



6.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Sobre la base de las características geológico-estructurales del inventario realizado a partir de la interpretación de las imágenes satelitarias que cubren la provincia de MISIONES se destacan las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- a) Las imágenes satelitarias adecuadamente utilizadas se constituyen en herramientas de inestimable valor, en la evaluación geológica-estructural regional de áreas selváticas, en especial cuando la sucesión de unidades sedimentarias no es muy compleja, tal es el caso del comportamiento de la gran masa basáltica de la Provincia.
- b) De igual manera el estudio de las imágenes satelitarias han permitido la obtención de una considerable información acerca de los procesos intrusivos y efusivos corridos en la región selvática.
- c) El análisis multiespectral y la correspondiente comprobación de campo permiten confrontar una columna estratigráfica de la provincia de MISIONES que comprende las siguientes unidades:

. TRIASICO

Formación SAN IGNACIO

. CRETACICO INFERIOR

Formación MISIONES = Basaltos de S. GERAL.

. CUARTARICO

Depósitos lateríticos

Depósitos fluviales antiguos

Depósitos fluviales recientes

d) La provincia de MISIONES se caracteriza desde el punto de vista estructural por presentar un estilo tectónico de MONTAÑAS DE BLOQUE dentro de un ambiente predominantemente cratónico.

e) Desde el punto de vista geotectónico el cratonismo de la provincia de MISIONES es de raíces profundas y trasciende a lo largo de grandes fallas regionales de cientos de kilómetros de extensión. Sincrónicamente al emplazamiento de las coladas fenobasálticas tuvo lugar la intrusión localizada de diques anulares y grandes superficies de diaclasamiento.

f) El estudio de detalle en relación al desarrollo y ejecución de obras civiles de las áreas de las areniscas de la Formación SAN IGNACIO, debe ser ampliado, en virtud de que aquellas al presentar un moderado grado de diaclasamiento y permitir la fijación de vegetación sobre los planos de fractura, coadyuva a la acción erosiva generada en zonas de deslizamientos, al superar los ángulos críticos.

g) Es de particular importancia señalar que se ha comprobado la relación de intrusión existente entre las areniscas de la Formación SAN IGNACIO y la colada de fenobasaltos próxima a la intersección de la Ruta N° 12 con el arroyo SANTA ANA.

h) Las imágenes satelitarias utilizadas para realizar el inventario geológico estructural de la provincia de MISIONES se caracterizan por presentar unidades fotomórficas de gran definición y claridad, en especial las referidas a las estructuras de fracturación.

i) Las ventajas de mayor relevancia de las imágenes LANDSAT en su banda 7 es la visión sinóptica regional de las fracturas y lineamientos que adopta el basamento fenobasáltico y que han permitido obtener los reales lineamientos y estructuras de fallamiento regional de la Provincia, reemplazando y complementando el "Mapa de lineamientos" de detalle existentes, pero no reflejando los conceptos anteriormente mencionados.

j) El conocimiento adecuado de los reales lineamientos y estructuras de fallamiento, guarda especial interés a las autoridades de decisión y/o planeamiento, por ser aquellos elementos indispensables en su relación con la ejecución de grandes obras de infraestructura, emplazamientos, exploración minera, etc. El mapeo regional obtenido, complementado con el mapa de detalle existente, permitirá a la Provincia contar rápidamente con estos elementos básicos de trabajo.

k) En el análisis regional de las imágenes satelitarias se han determinado claramente que los sistemas de fracturación de dirección N-S son los de mayor importancia, y los sistemas de fracturaciones de dirección NO-SE y NE-SO. En igual forma pudo determinarse que

se un esquema de megafracturas continentales que corresponden a profundas fracturas verticales de gran importancia como control estructural a escala regional, especialmente en su relación con los eventuales ciclos de mineralización.

- l) Complementario al estudio regional se seleccionó un área de aproximadamente 4.200 Km² que corresponda a una porción altamente tectonizada de la Provincia, señalándose la presencia de los tres grandes sistemas de fallamiento y un conjunto de rasgos morfológicos-estructurales redondeados por orden de dimensión mayor a menor y que deberán ser tenidos en cuenta para tomarlos como áreas piloto y llevar a cabo los estudios complementarios geológico-mineros de detalle (geofísicos, geoquímicos, etc.) a encarar en el futuro.
- m) En síntesis el mapa geológico-estructural a escala 1:250.000 elaborado por AEROTERRA S.A. aplicando metodología propia de la adoptada con éxito por la comunidad científica mundial y basada en la adecuada interpretación de las imágenes satelitarias LANDSAT, constituye un valioso aporte al adecuado y real conocimiento regional provincial, y la base para la selección y planificación de los estudios en detalle y/o complementarios en directa vinculación con los programas de desarrollo en esta importante región de nuestro territorio.