

REPUBLICA



ARGENTINA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIA
AVENIDA PELLEGRINI 250

INSTITUTO DE FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA
"Dr. ALFREDO CASTELLANOS"

Directora Dra. PIERINA PASOTTI

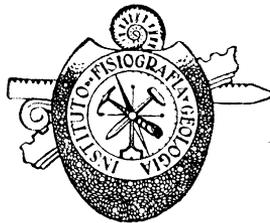
PUBLICACIONES

LXI

UTILIZACION EN GEOLOGIA DE LAS IMAGENES LANDSAT

POR

CARLOS CANOBA



ROSARIO

REPUBLICA ARGENTINA

1977

SUMMARY

The object of the paper is an evaluation about the potential application of Landsat Mss Images in geology, particularly in surveying and mapping.

Three areas of different physiografic characteristics are considered with a good geologic information through bibliography, studies and fieldworks made by the author with colleagues. An area of Sierras Pampeanas de Catamarca Province (Ambato, Gracián and Ancasti); part of the Pampa plain between Arroyo Monje and Arroyo del Medio at North and South respectively and part of the Delta Entrerriano including the alluvial valley of Paraná River and Gualeguay city. They are a montaineous area with strong amplitude and energy of relief, and semiarid climatic features; a plain with small slope and subhumid–temperate climate and the third is an area with the particular Delta characteristics associated with climatic features analogous to the second area.

Finally, positive aspects and limitations in the use of the images are considered. From the pragmatic point of view, the geologist has an objective image of the terrestrial surface with a synoptic view of his working area and a useful information source for regional mapping, particularly at small scales.

UTILIZACION EN GEOLOGIA DE LAS IMAGENES LANDSAT

RESUMEN

El objeto del presente estudio es una evaluación sobre aplicaciones potenciales de las imágenes MSS obtenidas del satélite ERST-1 ahora LANDSAT, en el campo de la geología y en particular a aspectos del levantamiento y mapeo.

Para ello se consideraron tres sectores de características fisiográficas distintas, contrastantes (de las que felizmente se pudieron conseguir imágenes ERTS gracias a la gentileza del señor Sven A. Kruse de Rosario), de las que además se disponía una buena información geológica a través de bibliografía, estudios y recorridos de campo realizados por el autor conjuntamente con colegas.

Se tomó un sector de las Sierras Pampeanas de Catamarca —Ambato, Gracián y Ancasti—, un sector de la llanura pampeana en la Provincia de Santa Fe —entre el arroyo Monje y el arroyo del Medio al N y al S aproximadamente— y un sector del Delta Entrerriano —comprendiendo el valle aluvial del río Paraná frente a la ciudad de Gualeguay—. Se trata de un sector montañoso, de gran amplitud y energía de relieve, con rasgos climáticos de semiaridez, un sector llano con escasa pendiente y clima templado subhúmedo y el tercero es un área dominada por los rasgos morfológicos particulares del Delta del Paraná, con características climáticas similares al segundo sector.

Finalmente se consideran aspectos positivos y limitaciones en la utilización que se hizo de las imágenes ERTS. Desde un punto de vista pragmático, ningún geólogo debe privarse de la visión sinóptica de su área de trabajo que le brinda esa imagen completamente objetiva de la superficie terrestre, además de ser una fuente de información sumamente útil para el mapeo regional, a escalas pequeñas.

INTRODUCCION

El 23 de julio de 1972 fue puesto en órbita polar sincrónica con el sol, el satélite ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite). El mismo es capaz de cubrir con su instrumental la mayor parte de la tierra, en un ciclo repetitivo de dieciocho días. El sensor MSS instalado registra simultáneamente en cuatro diferentes longitudes de onda, por lo que brinda cuatro imágenes del área explorada. Las bandas se denominan así: verde, banda 4 ($0.5\mu - 0.6\mu$); rojo cercano, banda 5 ($0.6\mu - 0.7\mu$); rojo lejano - infrarrojo cercano, banda 6 ($0.7\mu - 0.8\mu$); infrarrojo, banda 7 ($0.8\mu - 1.1\mu$). NASA (1972).

Se dispuso de las imágenes en blanco y negro, 18 centímetros de lado a escala 1:1.000.000 que se indican, N° 1042 - 13446 registrada el 3 de setiembre de 1972, bandas 4, 5 y 7 para las Sierras Pampeanas de Catamarca -Ambato, Gracián y Ancasti-; N° 1110 - 13230 registrada el 10 de noviembre de 1972, bandas 5 y 7 para un sector de la "llanura pampeana" en la Provincia de Santa Fe aproximadamente entre el arroyo Monje y el arroyo del Medio, y N° 1217 - 13173 registrada el 25 de febrero de 1973, banda 7 para el sector del Delta Entrerriano, comprendiendo el valle aluvial del río Paraná frente a la ciudad entrerriana de Gualeguay. Se trata de tres áreas de características fisiográficas distintas, contrastantes. Se tiene de las mismas una buena información geológica a través de material cartográfico y aerofotográfico, bibliografía, estudios y recorridos de campo realizados por el autor con otros colegas. Se analizan un sector montañoso de gran amplitud y energía de relieve con rasgos climáticos de semiaridez, otro es llano con escasa pendiente y clima templado-subhúmedo y un terreno dominado por los rasgos morfológicos particulares del Delta del Paraná con características climáticas similares al sector anterior.

Del sector montañoso se cuenta con mosaicos de excelente calidad, escala 1:50.000 del Plan NOA (1971), áreas parciales con aerofotografías a escala 1:50.000 y 1:20.000 y otras con cartas topográficas fotogramétricas del IGM a escala 1:50.000.

Del sector de la llanura, aerofotografías a escala 1:35.000 a 1:45.000 realizadas en la década del 50 y una parte a escala 1:20.000 relevadas en 1965 y cartas topográficas del IGM a escala 1:50.000 y 1:100.000. Del sector del Delta, cartografía del IGM a escala 1:50.000 y una parte con aerofotografías a escala 1:20.000 y mosaicos al 1:50.000 relevados durante 1965 para el INTA.

De esta manera se cuenta con elementos suficientes para cumplir con el objeto del presente trabajo, una evaluación sobre aplicaciones potenciales de las imágenes MSS obtenidas con el LANDSAT en el campo de la Geología y en particular a aspectos del levantamiento y mapeo.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento adoptado para analizar las imágenes siguió esencialmente el camino normal que se utiliza en la interpretación de imágenes aerofotográficas, con los criterios básicos correspondientes.

Sin embargo, dadas las características particulares y la escala de las imágenes, se utilizaron diferentes formas de observación.

- I. Examen visual de las imágenes a escala 1:1.000.000, sin ningún auxilio óptico, o solamente utilizando lupas de aumento.
- II. Examen visual de las imágenes aumentadas. Se utilizaron aumentos obtenidos fotográficamente o proyectando diapositivas de las mismas
- III. No se pudo realizar visión estereoscópica; sin embargo se utilizó el estereoscopio de espejos con las imágenes de diferentes bandas.

SECTOR DE LAS SIERRAS PAMPEANAS DE CATAMARCA

Las Sierras Pampeanas son bloques tectónicos que se deben a fallamiento o reactivación de fallas, lo que se produjo en el lapso que se extiende desde el comienzo del Pliopleistoceno a nuestros días.

Las fallas regionales son longitudinales y de rumbo general NNW-SSE y se las considera de tipo inverso con su frente abrupto al W mientras que al E los planos son suaves, lo que implica basculamiento o vuelco.

Constan principalmente de rocas precámbricas con diferente alcance del metamorfismo, principalmente filitas y micacitas que buzcan con distinto grado, encierran cuerpos intrusivos en general de granito de grano fino a mediano y filones de pegmatita. González y Toselli (1974) establecen tres ciclos magmáticos —cambro-ordovícico, devónico y carbonífero—; según lo graficado por ellos, el magmatismo de la ladera oriental de Ancasti tiene manifestaciones de las dos últimas edades; no se hacen referencias sobre Gracián; para Ambato, en su extremo N, la edad del magmatismo sería del Carbonífero.

En el fondo de los valles, y en discordancia erosiva, yacen sedimentos del Terciario aplanados (glacis); se trata principalmente de areniscas de variada granulometría y grado de cementación, limos y arcillas, a veces depósitos tobáceos blanquecinos y algunas intercalaciones yesosas. Tapia atribuye a estos sedimentos edad miocénica. La potencia puede alcanzar a varias decenas de metros. Según observaciones de campo, las capas buzcan en general entre 15° a 30° E (valle del Paclín) de lo que se deduce que acompañaron al basculamiento.

En el fondo de los valles se encuentran los mejores afloramientos del Cuaternario, corresponden al Pleistoceno superior de Castellanos (Platense o formación La Plata) y el Holoceno: son limos amarillento-pardos, algo endurecidos pero no por CO₂ Ca, a veces suelen presentar intercalaciones de cenizas. Un limo loessoide pulvurulento, cubre vastas áreas del fondo de los valles, incisiones en el Terciario y nivela ondulaciones en laderas y partes encumbradas de las sierras. Su mayor potencia se tiene en Loma Atravesada donde descansa sobre el Terciario y en puntos aislados sobre el basamento metamórfico; corresponde al Cordobense de Doering o Formación Junín de Mauriño (Holoceno) (Pasotti, 1972).

Desde el punto de vista litológico, es difícil detectar diferencias en las

imágenes, más aún a simple vista y considerando que utilizando mediciones densitométricas debe contarse con la respectiva información de campo sobre las características de reflectancia y emisión de cada tipo de roca.

La mole de Ambato con características de batolito, presenta tonos más claros en las bandas 4, 5 y 7. Los depósitos Terciarios y Cuaternarios, no se distinguen en la imagen, salvo que los relacionemos a la particular asociación con la vegetación y mayor humedad de los fondos de valle (imágenes 5 y 7); tampoco se pueden delinear quizás vinculado a la baja resolución del sistema (orden de 100 m).

Se puede concluir que, en general, el delineamiento de unidades litostratigráficas en las imágenes ERTS-1 tiene considerables limitaciones.

Los "dominios tectónicos" que se exponen en la figura 1 han sido extraídos de un trabajo en impresión (Pasotti et al. 1975). Se aplicó ese concepto, sistematizado por Hepworth, con el que se designa un área en la que predominan estructuras formadas durante un tectonismo particular determinante, estudiada con métodos fotogeológicos (megascópicos). Han sido pocas veces aplicado entre nosotros (Teruggi et al. 1973, 1974 y Pasotti et al. 1973). La figura 2b que presenta los rasgos estructurales interpretados en la imagen ERTS (foto 1) servirá de comparación.

El dominio tectónico Ancasti (en sentido amplio) posee como rasgo fundamental un típico bandeo, que se destaca por las distintas tonalidades en las aerofotografías; su rumbo no es del todo constante. El buzamiento (Fernández et al. 1969) varía desde unos 70° hasta la vertical, dado por capas paralelas entre sí, de distinto espesor, el cual en escala megascópica varía de unos 100 a 200 m lo más frecuentemente y alcanza los 500 m como máximo.

El bandeo y su buzamiento sugieren que este dominio tectónico responde a plegamiento de rocas sedimentarias esencialmente arcillo-arenosas dispuestas en capas cuyo aspecto fue acentuado por recristalización metamórfica; se originaron numerosos pliegues paralelos entre sí (isoclinales y monoclinales) que fueron luego intruídos por rocas magmáticas. Por una posterior erosión y peniplanización que cortó los anticlinales y sinclinales generóse el típico bandeo.

El que se denominó dominio tectónico Gracián presenta una textura muy bien definida por numerosos lineamientos, más densos en la parte meridional del bloque de la Sierra; los correspondientes a las fallas de dirección NNW-SSE que limitan bloques se observan claramente.

El dominio tectónico Gracián se apoya sobre la Sierra de Ambato, orográficamente forma varios bloques debido a dislocaciones relativamente cortas y de reducido rechazo; de E a W los bloques corresponden a Gracián propiamente dicho, al cordón de Fariñango y a la Sierra del Colorado.

El dominio tectónico Ambato corresponde a la poderosa mole Ambato-Manchao; se observa una textura típica de grandes masas intrusivas que en afloramientos alineados ocupan la parte más encumbrada y a lo largo del mayor desarrollo del bloque. Ellas generaron metamorfismos de vasto alcance, no sólo areal sino en su esencia regional; las rocas encajantes a pesar de esto, permiten reconocer trazos de grandes pliegues. Los relativamente pocos lineamientos están bien distanciados, siguen la dirección NNW-SSE.

Lineamientos Estructurales

El término estructura implica el control litológico y tectónico, y con el de lineamiento siguiendo a Lattman (1958) el trazo lineal natural determinado por rasgos topográficos (incluyendo sectores de cursos de agua) vegetacionales o alineamientos tonales, visibles en fotografías aéreas o mosaicos, expresadas de modo continuo por lo menos por un Km, o bien discontinuamente por varios Km.

La orientación de los ejes fluviales de mayor jerarquía responde a las fallas de rumbo NNW–SSE. Se destaca entre las mismas la geofractura del valle del río Paclín que sería una “mega traza de fractura” en el sentido de Figuerola (1974) a cuyo largo se elevaron Ancasti, Guayamba, Potrerillo y Quico. Las otras fallas que siguen el mismo rumbo están recorridas por cursos de agua subsecuentes cuyas longitudes son menos extensas. Fracturas de magnitud en dirección aproximadamente ortogonal a las anteriores son escasas; se destacan las de los valles de los ríos Rodeo-Ambato y Las Trancas-Las Juntas (WSW–ENE).

El dominio tectónico Ambato se caracteriza por presentar intrusiones graníticas típicas de batolito. Su ladera occidental está definida por el plano erosionado de la considerada falla inversa que la separa de la depresión tectónica de Pipanaco. Su ladera oriental se presenta dislocada por fallas paralelas siempre de rumbo NNW–SSE de menor jerarquía; ellas dieron origen a una sucesión de bloques escalonados alargados y angostos que degradan al E.

El dominio tectónico Gracián presenta numerosas fallas que siguen las direcciones regionales, las que delimitan pequeños bloques alargados NNW–SSE volcados hacia el E, cortados casi normalmente por fracturas muy numerosas igualmente definidas y continuas a través de todos los bloques. También se presentan numerosas fracturas de dirección NW–SE y NE–SW todo lo cual conforma un enrejado que determina una morfología particular denominada en “cloqué” (Pasotti, 1972).

El dominio tectónico de Ancasti, como se indicó, se caracteriza por su bandeado, más notorio en la parte oriental del bloque y menos claro hacia el W y S, al ser reemplazado gradualmente por algunos rasgos del dominio tectónico Gracián; posee como rasgos propios lineamientos de fracturas transversales al bandeado y con distintos rumbos.

De acuerdo a las observaciones megascópicas se puede intentar una interpretación sobre la sucesión de la fracturación y fallamiento en el área del Anfiteatro de Catamarca. Las fracturas de menor jerarquía que aparecen como un sistema conjugado que facilitara la formación del “cloqué” en la Sierra de Gracián serían las primeras; esto puede haberse producido previo al proceso de levantamiento del bloque dado que los mismos rumbos se observan en la franja del dominio Gracián sobrepuesto al de Ancasti.

Posteriormente se originaron las fracturas de mayor trascendencia WSW–ENE y las E–W ya que cortan a las anteriores y a las que se las puede seguir a través del dominio Gracián no pasando a la Sierra de Ancasti.

Por las evidencias del carácter compresivo de los esfuerzos, es probable que las fracturas de mayor longitud de rumbo NNW–SSE, casi perpen-

dicular a las anteriores, les sean sincrónicas. Estas últimas fueron reactivadas en el Terciario y dieron origen a los sucesivos cordones que comprenden el dominio tectónico Gracián s l (del Colorado, Gracián s s, Fariñango, etc.).

La fracturación que se observa en Ancasti, de rumbo variado y transversal al bandeado puede ser contemporánea a las últimas citadas, cuando reactivadas y respondiendo sus rasgos a la estructura y litología del actual bloque de la Sierra de Ancasti (Pasotti et al. 1975).

La interpretación de las imágenes satélite, figura 2b, y la comparación con lo que se puede considerar como “el control” de toda la información que se dispone, parcialmente expuesta en la figura 1 expone lo siguiente:

- Estructuras menores de 1 Km se hacen muy difíciles de distinguir como para mapearlas con cierta precisión.
- Los diseños de diaclasas visibles en aerofotografías a escala 1:20.000 no se distinguen en la imagen LANDSAT. Lo mismo ocurre con lineamientos de fracturas menores, observables en mosaicos y aerofotografías a escala 1:50.000.
- Los lineamientos de fracturas NNW–SSE son perfectamente identificables al igual que los mayores de rumbo WSW–ENE.
- Los lineamientos menores de dirección conjugada NW–SE y NE–SW no se aprecian, quizás por la baja resolución de la imagen (orden 100 m).
- Los lineamientos que caracterizan al bandeado de Ancasti son claramente discernibles, aunque con menor densidad; lo mismo acontece con los lineamientos transversales al bandeado.
- La imagen satélite realiza un aporte de interés en la sugerencia de intrusiones, por trazos arqueados envolventes y en Ambato son un buen ejemplo ya que en los mosaicos no se habían detectado.
- Los “dominios tectónicos” quedan perfectamente definidos en las imágenes LANDSAT.

Redes hidrográficas

La utilidad que prestan las redes hidrográficas en la interpretación de la tectónica, es ampliamente reconocida, sin desdeñar su importancia como indicadores de la litología y la morfología. Para este caso, por las escalas de las imágenes (1:1.000.000) y la resolución de las mismas, los diseños de la red se corresponden a los cursos de mayor jerarquía, colectores principales o sus afluentes más importantes; aunque están regidos por la tectónica no reflejan las estructuras de cada dominio de una manera realmente expresiva (figura 2a).

En Ambato la falda occidental posee una red desarrollada sobre el plano de falla erosionado, no hay disposición estructural y se insinúan los rasgos típicos de torrentes que dan un modelo de red asociados al de abanico aluvial; la red de Pomán y Rosario de Colana así lo expresan.

En la falda oriental los ejes fluviales siguen las direcciones principales NNW–SSE, insinuándose los arcos vinculados a las intrusiones que originan

un esbozo de modelo anular. La red del río Ambato sigue la dirección de los escasos lineamientos WSW—ENE.

En Gracián los cursos fluviales muestran los rasgos asociados al fracturamiento que dan una red ortogonal.

La “sierra de Ancasti” en su ladera occidental, aparecen los cursos numerosos y de cortos recorridos que corresponden al frente de falla disecado; la falta de resolución no permite reconocer los otros componentes, para trazar la red que corresponde a los típicos torrentes. Las redes del flanco oriental muestran los diseños de un modelo angular, determinado por el control estructural de los lineamientos de fractura y, el bandeo y la influencia de éste. Sin embargo, se debe reconocer que el modelo no queda perfectamente definido dado la resolución de la imagen la que no permite detectar los numerosos pequeños afluentes que se corresponde con el típico bandeo que caracteriza el “dominio Ancasti”. De la comparación surge:

- Los diferentes modelos de avenamiento se detectan perfectamente, siendo la imagen 7 la que brinda la mejor información, la combinación de las bandas 5 y 7 es la que permite obtener los mayores detalles (trabajando con estereoscopio de espejo).
- Claramente se distinguen los torrentes y los correspondientes conos de deyección de Miraflores, Capayán y Huillapina, bandas 5 y 7.
- La combinación de las bandas 4, 5 y 7 permitió trazar vías férreas y caminos principales, aunque no fue posible separarlos cuando corren paralelos y a cortas distancias.
- La ubicación de localidades es efectiva, sin distinguir detalles de las mismas; algo similar acontece con la división de la tierra, que solamente muestra tenues rasgos en los grandes conos de deyección.
- Los “oasis” al W de Ambato se distinguen bien en la imagen 5, como resultado de la vegetación, con tonos oscuros.
- La coalescencia de conos de deyección, no distinguibles en la imagen, en su mayoría, se denota por una franja con límite tonal bien definido en las tres bandas.
- Los embalses se aprecian claramente, Las Pirquitas y el pequeño El Jumeal que abastece de agua a la ciudad de Catamarca; también aparecen sobre Ancasti, como ser Ipizca y otros como de Icaño.

SECTOR DE LA LLANURA PAMPEANA

El sector de la llanura pampeana que se considera, ha sido estudiado sistemáticamente por Pasotti (1958, 1961, 1964, 1968, 1971). Las investigaciones básicamente geomorfológicas de un área con poca amplitud de relieve, la llevaron a plantear un método de representación de ese relieve con desniveles a veces de magnitud insignificante (a veces del orden de pocos decímetros).

“El método consiste en armar un mosaico de aerofotografías, aplicar sobre el mismo transparente y con lápiz registrar fielmente las zonas ba-

jas que son anegadizas, las aguas superficiales, lagunas, esteros, cañadas, etc. La intensidad del tinte gris es tanto mayor cuanto más superficiales son las aguas, o sea desde el negro para las permanentes (lagunas, ríos, arroyos) hasta descender a un gris apenas esfumado para las áreas embebidas por aguas superficiales que corresponden a las que se inundan por desbordamiento de cursos de agua o por estancamiento de las de lluvias a causa de la horizontalidad y tanto en el fondo de los valles como en las divisorias" (Pasotti, 1974).

Los resultados obtenidos fueron inesperados y alentadores ya que los rasgos observados le han permitido esbozar una hipótesis sobre la neotectónica de la llanura pampeana que es fundamental para interpretar su evolución estructural y morfológica.

La imagen satélite (foto 2) comprende en su mayor parte un sector de la denominada "pampa levantada" y corresponde a una bóveda de un pliegue de gran radio de curvatura que por su fracturación en pequeños bloques es mayor, siendo las más largas paralelas a la geofractura, las menores le son ortogonales; por eso aquellos son rectangulares y alargados de N a S en el Norte y de NW a SE en el Sur (Pasotti, 1974). Ellos se movieron y mueven diferencialmente elevándose unos, hundiéndose otros; como referencia se describen los ubicados al N del río Carcarañá. De los elevados el de mayores dimensiones es el "bloque de Armstrong" (Pasotti, Castellanos, 1963). Su ladera occidental es el labio levantado de la falla Selva-Melincué, en el oriente baja con dos escalones, que han basculado con leve descenso del lado del poniente, hacia la fosa tectónica conocida como "cañada de Carrizales" (de unos 36 Km de largo, 9 a 11 Km de ancho, 20 m de profundidad -Pasotti, 1966-). Un bloque de apenas 6 ó 7 Km de W a E, la separa de la "cañada" de Arce que es similar a aquella pero de menor hundimiento y longitud (Figura 3).

Lo expuesto al comienzo, hace que el trazado de las redes hidrográficas haya sido otro de los elementos de juicio para reconocer los elementos de la tectónica que influyeron sobre sus diseños.

Solamente un tramo del río Carcarañá está presente —imagen ERTS— procede de un sector montañoso, todos los otros nacen en el borde occidental del bloque de Armstrong y al Sur del Carcarañá de la faja plana que lo separa de la Pampa hundida; los cursos van hacia el NE y terminan en el Paraná.

El Carcarañá penetra en la Pampa levantada por la dislocación que limita al S el bloque de Armstrong; ésta es una de las más evidentes pues su salto es de 26 a 30 metros; varios kilómetros aguas abajo, gira de imprevisto de ENE a casi NNW, y siguiendo una fractura corre paralelo en dirección contraria al escurrimiento del río Paraná del que dista unos pocos Kms hasta desembocar en él. Su trazado responde a la tectónica (Figura 3).

Más al Sur, otra clara expresión de la neotectónica a través del diseño de las redes hidrográficas: el emparrado (trellis) que se manifiesta a partir del arroyo Saladillo hasta el N de la divisoria del valle del río Salado de la Provincia de Buenos Aires; es el sector donde es más evidente la repercusión de la fractura ortogonal del zócalo.

Las imágenes LANDSAT se observaron con lupas de aumento; ambas imágenes con el estereoscopio de espejos y también diapositivas de ellas

sobre mesa luminosa combinando con filtros verdes y azules (Figuras 4 y 5). Ha sido muy importante la información que ha brindado la imagen satélite en la determinación de la red hidrográfica en especial la banda 7; la combinación con la banda 5 permitió no sólo precisar la red sino también indicar los sectores de inundación, por los tonos de gris asociados. La comparación con la Figura 3 (Pasotti, 1974), exime de mayores comentarios. Considerando la importancia del trabajo realizado en etapas sucesivas con aerofotografías, mosaicos y cartas para caracterizar las redes, el aporte de las imágenes ERTS en este aspecto es de singular importancia. Es menor en lo que permite observar con respecto a algunos lineamientos (sólo se marcaron los que se juzgaron insinuados en las imágenes), ya que los descriptos por Pasotti están basados en minuciosas observaciones de campo y trabajo de detalle en mosaicos y planialtimetrías. Juega en esto un rol importante la resolución del MSS utilizado, la escala, el relieve del área y la intensa división y uso de la tierra que seguramente enmarcara rasgos útiles para la interpretación.

De la comparación se puede establecer:

- Las imágenes de bandas 5 y 7 permiten determinar con toda precisión la red hidrográfica, delinear los valles de inundación y señalar las áreas anegadizas.
- Los lineamientos de fractura de rumbo submeridional se detectan en las imágenes, pero salvo los mayores, son discontinuos.
- Los rasgos estructurales están definidos por la red hidrográfica y los sectores anegadizos asociados.
- La división de la tierra se detecta claramente en la banda 7; está muy pobremente expresada en la banda 5, quizás en relación a la capacidad de esta última para registrar influencias de la vegetación y/o cultivos.
- La imagen 5 permite reconocer los agrupamientos humanos de cierto tamaño (escala); se detectan por su tono blanco.
- Los caminos se detectan, en muchos casos parcialmente, señalándose en el calco los sectores definidos en cierta medida, para que al compararlo con los tramos vacíos se pueda tener una impresión visual de la eficacia de las imágenes satélite en este aspecto.

SECTOR DEL DELTA

El área considerada comprende el valle aluvial del río Paraná, frente a la ciudad entrerriana de Gualaguay, limitada muy aproximadamente por el río del mismo nombre y la confluencia con el río Uruguay, que no aparece en la imagen; al sur el río Paraná Ibicuy.

La zona en conjunto se puede considerar como un gran sector encharcado o plano, hundido, con sus bordes ligeramente más elevados (ya sea por rasgos naturales o artificiales) con una pendiente de NW a SE, siendo el río Paranacito el colector de las aguas que ingresan desde el NW. La depresión se encuentra entrecruzada por arroyos y esteros y se halla sometida a la influencia de las crecientes de los ríos Paraná y Gualaguay.

Los rasgos geológico-estructurales del Delta del Paraná corresponden, según Borello (1969), como un aulacodelta, lo que significa que se originó por fallas póstumas de plataforma; su fracturación es neógena-Cuartaria y está en evolución. Debido a ello, al elevarse el bloque mesopotámico, hizo aflorar no sólo las arenas del Puelchense, sino hasta las arcillas verdes, correspondientes a la ingesión del mar Paranense. Más al N la barranca está coronada por sedimentos del Ensenadense (limos compactos con algo de tosca) y Bonaerense (Groeber, 1961).

La historia geológica puede sintetizarse de la manera siguiente (Pasotti et al. 1975 b):

1. Sobre las arenas del Puelchense (Plioceno Medio) se acumulan limos del Ensenadense (Plioceno Superior).
2. Se produjo la falla cuyo labio levantado es la barranca muerta en la que aflora el Ensenadense marcadamente calcáreo, con bancos de tosca en algunas partes.
3. Ingresan los mares Samborombonense y Querandino que cubre en discordancia erosiva al Ensenadense (que forma el piso del lecho del río Paraná) y en parte al Puelchense (arenas). Los sedimentos de las dos ingresiones tienen gran similitud, se trata de depósitos areno-arcillosos de colores grisáceos, rico en sustancias orgánicas, sapropélicas, muy plásticos y pertenecen al Pleistoceno Superior.
4. Se inicia la formación del Delta de nuestros días.
5. Los vientos formaron una cadena de médanos de dirección NW al NE (en ligero arco convexo al SW) que se emplazó en la parte mediana del área de afloramiento de las arenas dejadas por el río Paraná del Terciario, dividiéndola en dos sectores, en el septentrional las aguas de lluvia y las encauzadas escurren al S y SW y asumen modelo dendrítico hasta alcanzar los médanos en los que se infiltran, pasando sólo en mínima parte al sector Sur en que el modelo es totalmente diferente.
6. Las divagaciones del río Paraná en su amplio valle evolucionan hacia las características actuales de acuerdo a los modelos de redes que se pueden distinguir. Se trata de limos arcillosos, limos arenosos, arenas limosas, arenas arcillosas, arenas finas y medianas, que expresan claramente las fases y variabilidad de los ambientes en los que se produjo la sedimentación.

El estudio geomorfológico fundamental del Delta se debe a Bonfils (1962) y en él suele distinguir tres zonas de diferente edad que expresan el crecimiento del Delta en su totalidad y que denomina Delta Antiguo, Bajo Delta y Predelta.

En esta última división se encuentra el sector que se analiza; se encuentra adosado el bloque mesopotámico y lo separa el Paraná Ibicuy del Delta Antiguo, lindando el SE con el Bajo Delta; su altitud oscila entre 4 y 12 m.s.n.m.

Es un área inundable por los desbordamientos de los cursos de agua y por las lluvias a causa de su poca pendiente, a los que se agrega la penetración de la vegetación acuática debida a la poca escorrentía; todo ello facilita la acumulación sedimentaria y de ahí su cegamiento.

El relieve es relativamente más enérgico que en el Delta Antiguo y Bajo Delta, y está formado por extensas áreas planas limitadas por albardones y médanos. Estos últimos en la zona de estudio constituyen un cordón que se inicia en la margen derecha del río Uruguay y dibujando un arco cóncavo al N termina cerca de Gualeguay, siendo discontinuo en su último tramo; actualmente está fijada por la vegetación. Ha sido interpretada como dunas costeras del mar Querandino.

En el sector que se analiza, dentro del Predelta se detectaron unos diseños particulares en las redes de escurrimiento (Pasotti et al. 1975 b).

Las denominaciones que se han utilizado para los modelos de redes no responden exactamente a los modelos básicos ni a sus variedades que figuran en la clasificación de varios autores (Howard, Thornbury, Lueder, Parvis, etc.). Se han tomado los tipos que aún ligeramente se asemejan pero por no reunir los caracteres típicos requeridos, se los escribe entre comillas; ejemplo: "colinear" (Pasotti et al. 1975 b).

Dendrítrico: El modelo comprende una zona inundable que se extiende hasta los médanos desde la dislocación Pto. Ruiz — Puerto Ramos. Es una red tanto mejor organizada cuanto más se va hacia el SE entre sectores de esteros y pantanos. Al acercarse a los médanos son más anchos (200 a 250 m) de fondo plano y márgenes indefinidas con numerosos meandros abandonados.

Colinear: En el área se trata de surcos paralelos bien definidos desde su iniciación hasta su finalización contra los médanos. Es el sector en que influyeron las sucesivas riadas del Paraná; el que formara este diseño particular donde el fondo es menos profundo y disminuye el gradiente hacia el NE a medida que se va hacia los médanos sobre los que no se inflexionan, lo que sugeriría que desde el río Paranacito hasta los médanos en el curso de las inundaciones las fuerzas erosivas y de arrastre menguan en esa dirección (NE). Se trata del plano elaborado sobre las arenas (puelchense) en el que aparecen depresiones en las que se deposita material fino cuando se retiran las aguas. Una vez que cesa el escurrimiento mantiforme de las crecientes y se normaliza el escurrimiento, se tiene un retroceso en dirección contraria, como lo evidencian cárcavas orientadas de NE a SW que terminan en la margen izquierda del río Paranacito.

Malla: Es una denominación provisoria, en edad es anterior al "colinear" puesto que éste lo corta netamente en el N.

Los colectores principales trazan amplios surcos notablemente paralelos entre sí con la concavidad hacia el S, con uniformidad y regularidad en la distribución. Hacia cada arco avenan las aguas que drenan las áreas delimitadas entre ellos y lo hacen con surcos planos y rectilíneos con tendencia a disponerse ortogonalmente a los arcos con los que en conjunto dibujan un abanico.

En todos los casos hay tendencia a desaguar en el arco que sucede hacia el sur lo que indicaría una tendencia a desplazarse hacia el E y SE debido a la pendiente general hacia el Paraná, o las inundaciones excepcionales a la que se puede atribuir la génesis del modelo.

Modelo meandroso—anastomosado: Corresponde con las “llanuras de meandros” originadas por la migración lateral de cauces. Son notorias las series de espiras relacionadas con albardones y depósitos semilunares en cuyas separaciones hay depresiones someras y lagunas semilunares, es frecuente observar series de espiras nuevas cortando a otras naturalmente más antiguas. Se diferencian claramente meandros con radios de curvatura similares al actual Paraná Ibicuy y otros de menor radio vinculado probablemente a condiciones diferentes de escurrimiento. Todo ello permite reconocer el límite N de este diseño. También se presentan rasgos del anastomosado asociado al meandroso, destacándose el primero al sur del afloramiento ensenadense Ibicuy—Holt, para superponerse sobre la Malla—Uruguay.

La imagen del satélite ERTS-1 corresponde a la banda 7 (foto 3), en comparación con las restantes es la que brinda el mejor contraste entre los cuerpos acuosos y el terreno circundante ya que en la banda infrarroja las superficies de agua absorben casi toda la radiación, mientras que los objetos adyacentes tienen altos valores de reflexión. Mejores resultados se obtienen utilizando las demás, en especial la banda 5.

Dentro de las limitaciones inherentes a la escala, la comparación de las dimensiones de los canales y valles aluviales tiende a mostrar un ancho un poco mayor que el ocupado por las aguas ya que en la banda 7 se registran en mayor grado las áreas húmedas adyacentes.

En la Figura 6 se han señalado lineamientos observados en la imagen, algunos coincidentes con fallas y líneas estructurales indicadas por Cordini y Groeber; al respecto es interesante observar el comportamiento del Paraná Ibicuy cuyo cambio en su meandrificación se asocia a la probable influencia estructural.

Se han señalado también distintos diseños vinculados al modelo fluvial de los ríos Paraná y Uruguay; surgen nítidos los rasgos físicos limitantes de modelos como la cadena de médanos (Dendríticos y “Colinear”) y el río Paranacito (Malla Paraná y Uruguay) y aunque no tan bien definido, pero perfectamente identificable la franja del modelo (meandroso anastomosado) vinculado a las divagaciones del Paraná Ibicuy y la influencia que sobre el mismo ejerce el afloramiento del Ensenadense (Groeber) (Figuras 6 y 7).

Por ser de interés se ha indicado con flechas el sector de notorio desborde actual del río Paraná Ibicuy adyacente a La Mazaruca por otra parte claramente distinguible en la imagen, en la que se observa el camino que durante las crecientes del río toman las aguas para invadir el área del modelado “colinear”, teniendo luego un flujo mantiforme que se extenderá incluyendo al río Paranacito para finalizar contra la cadena de médanos (Figuras 6 y 7).

El día que se realizó el registro, el río Paraná señalaba una altura (en Baradero + 2,62 m como referencia) correspondiente a aguas altas y creciendo lentamente sin haber llegado a su altura de derrame; por otro lado, la evapotranspiración es muy elevada en esta época. Es pues un momento muy favorable para observar los rasgos particulares que permiten distinguir elementos diferentes en relación a la dinámica fluvial.

El buen contraste que presenta la banda 7 permite distinguir los ele-

mentos geomorfológicos no cubiertos por las aguas en un área que se destaca por la poca amplitud del relieve como es el valle aluvial, aunque se trate en este caso de la magnitud del Paraná.

- Los diferentes “modelos de redes” se detectan con toda claridad.
- Hay excelente información sobre la dinámica fluvial.

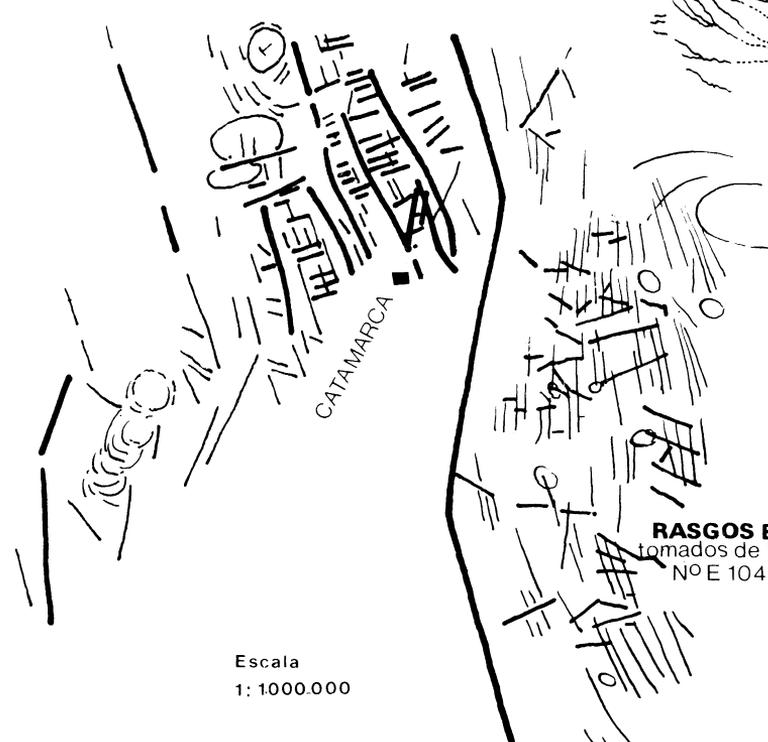
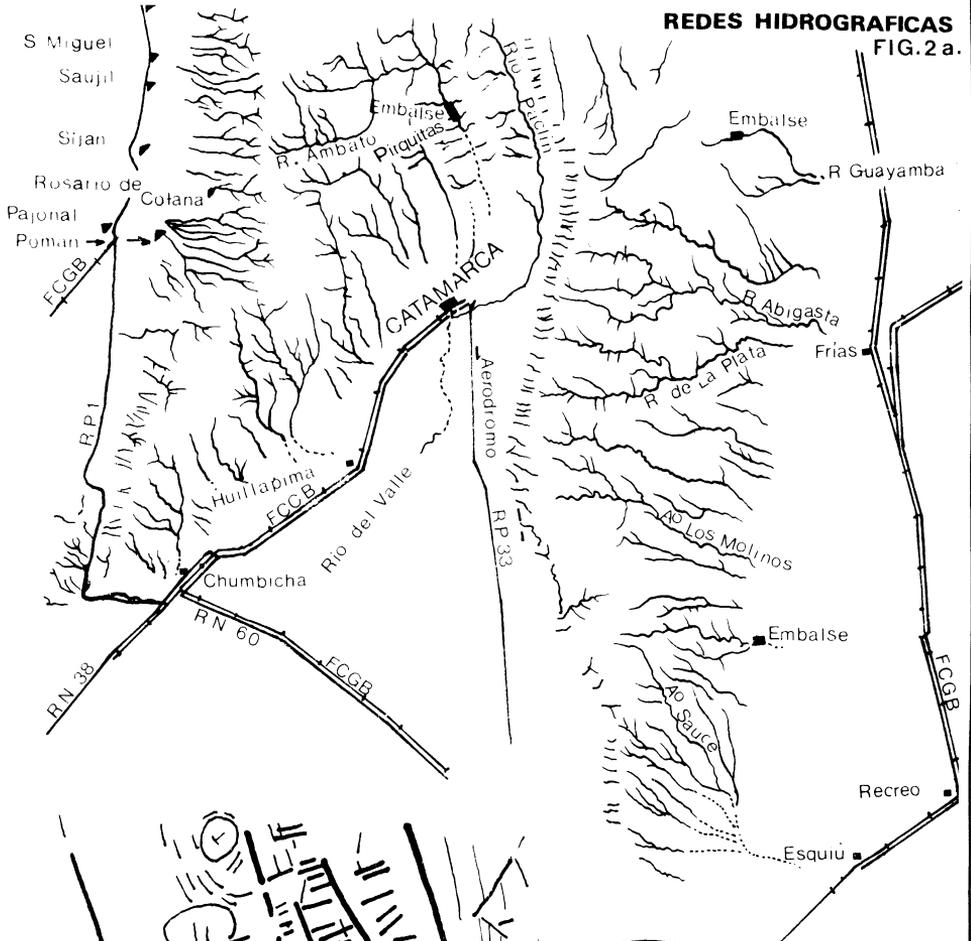
SINTESIS

Con los ejemplos presentados y procedimientos utilizados, las observaciones directas sobre las imágenes utilizando lupas de aumento ha sido la forma más adecuada para interpretarlas. La utilización del estereoscopio de espejos combinando las bandas 5 y 7 ha sido muy efectiva para delinear detalles sobre calco transparente, pero es relativamente fatigoso. La utilización de las imágenes, aumentadas fotográficamente es útil pero es indispensable un buen laboratorio fotográfico; la escala 1:250.000 ha probado ser la más efectiva tanto para la interpretación como para hacer las anotaciones correspondientes (Meer Mohr et al. 1974). La utilización de diapositivas es una forma de observación que en nuestro caso no aportó mucho a la interpretación. El trabajar con las transparencias originales de 70 mm o de 18 x 18 cm naturalmente aporta imágenes de mayor calidad. No se tuvieron imágenes para hacer visión estereoscópica ni aún parcialmente. Evidentemente de lograrse la observación del relieve se facilita el incremento de la calidad de interpretación.

- Las imágenes LANDSAT, de acuerdo a la escala utilizada, brindan información de gran importancia de carácter estructural; permiten observar grandes rasgos difíciles de obtener por otros medios. Zonas de diaclasas no se detectaron. Los rasgos estructurales observados globalmente dan sistemas integrados de lineamientos o macrodiseños que caracterizan el área (Behrens Sven, 1974). Así pueden surgir nuevas ideas para la interpretación estructural. La aplicación al concepto de “dominio tectónico” es un ejemplo.
- El delineamiento de unidades litoestratigráficas en las imágenes suministradas tiene considerables limitaciones.
- La imagen satélite brinda muy poca información directa sobre rasgos geomorfológicos, particularmente en áreas de pendientes suaves y relieves de poca amplitud cubiertos por vegetación y/o cultivos. Sin embargo hay que señalar el caso del Sector del Delta del Paraná, con los buenos resultados, debe considerarse dentro de la magnitud del mismo, y por ello con cierto carácter de excepción.
- Las redes hidrográficas se determinan fácilmente, permitiendo observar rasgos de diseños que caracterizan las diferentes áreas.
- Agrupamientos humanos y vías de comunicación son detectables con diferente precisión. Las dificultades en delinear caminos y vías férreas en el ejemplo de la llanura es buena referencia. Algo similar acontece con la división y uso de la tierra. La baja resolución de las imágenes es el factor limitante.

- La banda 5 presenta buenos contrastes tonales que aportan a la interpretación para detectar caminos, ciudades y también en la influencia de la vegetación.
- La banda 7 es la mejor para hidrología, los cuerpos de agua aparecen negros, bien definidos. La mejor combinación que aporta información es la de las bandas 5 y 7. Las bandas 4 y 6 aportan poco.
- Las imágenes satélite son perfectamente utilizables para el mapeo en pequeñas escalas (por ejemplo 1:250.000 Meer Mohr et al. 1974). Los mejores resultados se obtendrán para áreas expuestas, donde la cubierta vegetal y las condiciones atmosféricas sean favorables.
- Por la gran distancia entre el satélite y la Tierra se tiene un efecto de generalización (simplificación) que da una imagen única de la superficie terrestre. La objetividad de la imagen es completa por la reproducción fotográfica, ya que la selección subjetiva en la representación de los mapas comunes y la desproporción en las líneas y símbolos se eliminan totalmente. Desde el punto de vista pragmático es una herramienta que ningún geólogo o profesional vinculado a las Ciencias de la Tierra debe dejar de utilizar, ante la visión sinóptica que le brinda de su área de trabajo.

REDES HIDROGRAFICAS
FIG.2 a.



RASGOS ESTRUCTURALES
 tomados de la imagen **ERTS-1**
 Nº E 1042-13446.3 sep.1972
 bandas 5, 7

Escala
 1: 1000.000



FIG. 2 b.



Foto 1 - Sierras de Ambato, Gracián y Ancasti y el Valle de San Fernando de Catamarca; al extremo de las Salinas Grandes. Imagen ERTS - N° 1042 -13446 Sept. 3, 1972 banda 7 esc. 1:1.000.000

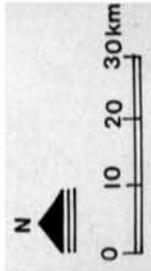


Foto 2 - Un sector de la llanura pampeana. Imagen ERTS N° 1110- 13230, Nov. 10, 1972; banda 5; escala 1:1.000.000.

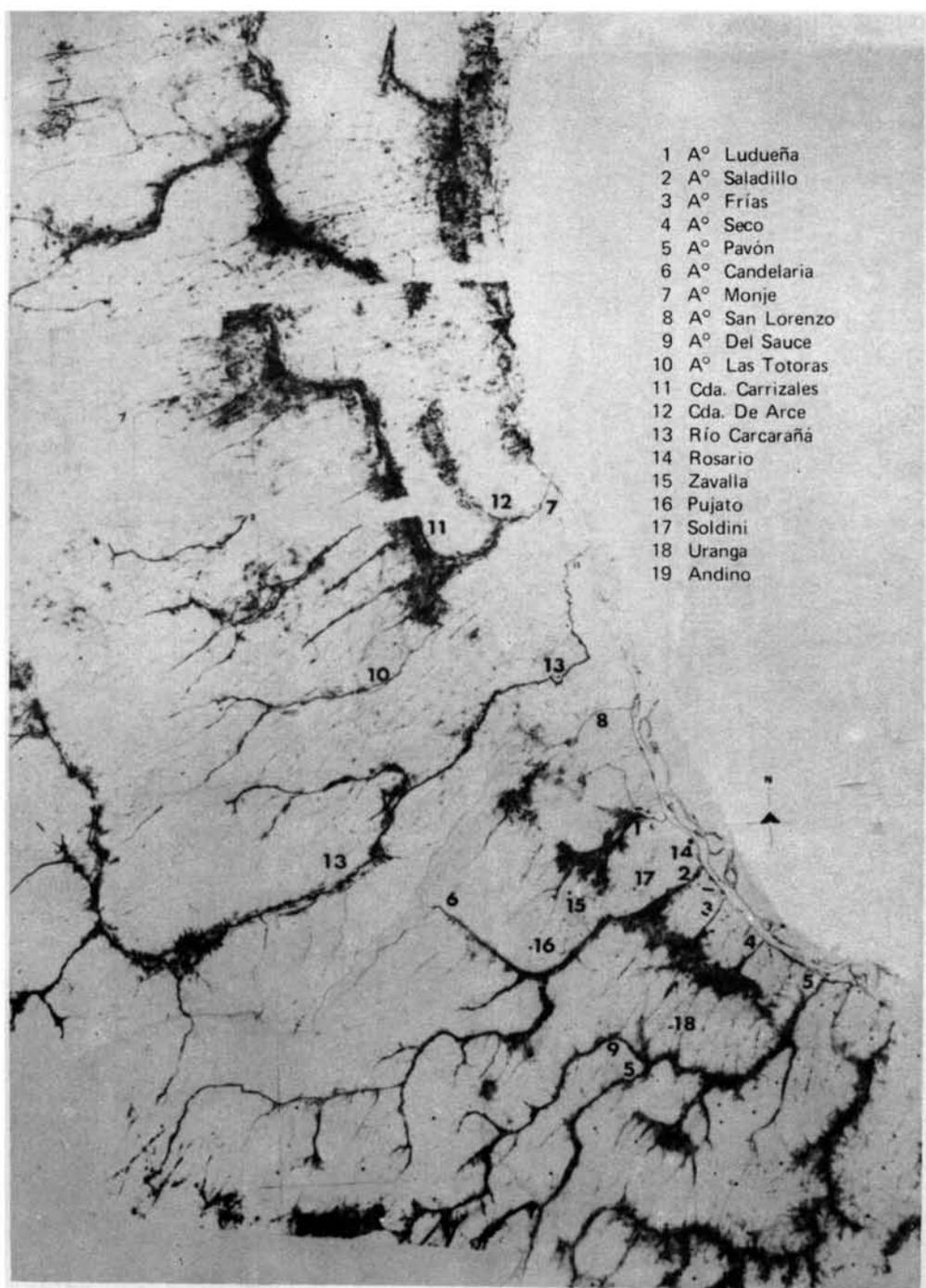


Fig 3

Fig. 3 - Sector de la llanura santafesina que se extiende desde la cañada de Rosquín al N, al A° del Medio al S y desde el río Paraná al E y la "cañada" de San Antonio al W, según Pasotti en "La Neotectónica en la Llanura Pampeana", 1974.

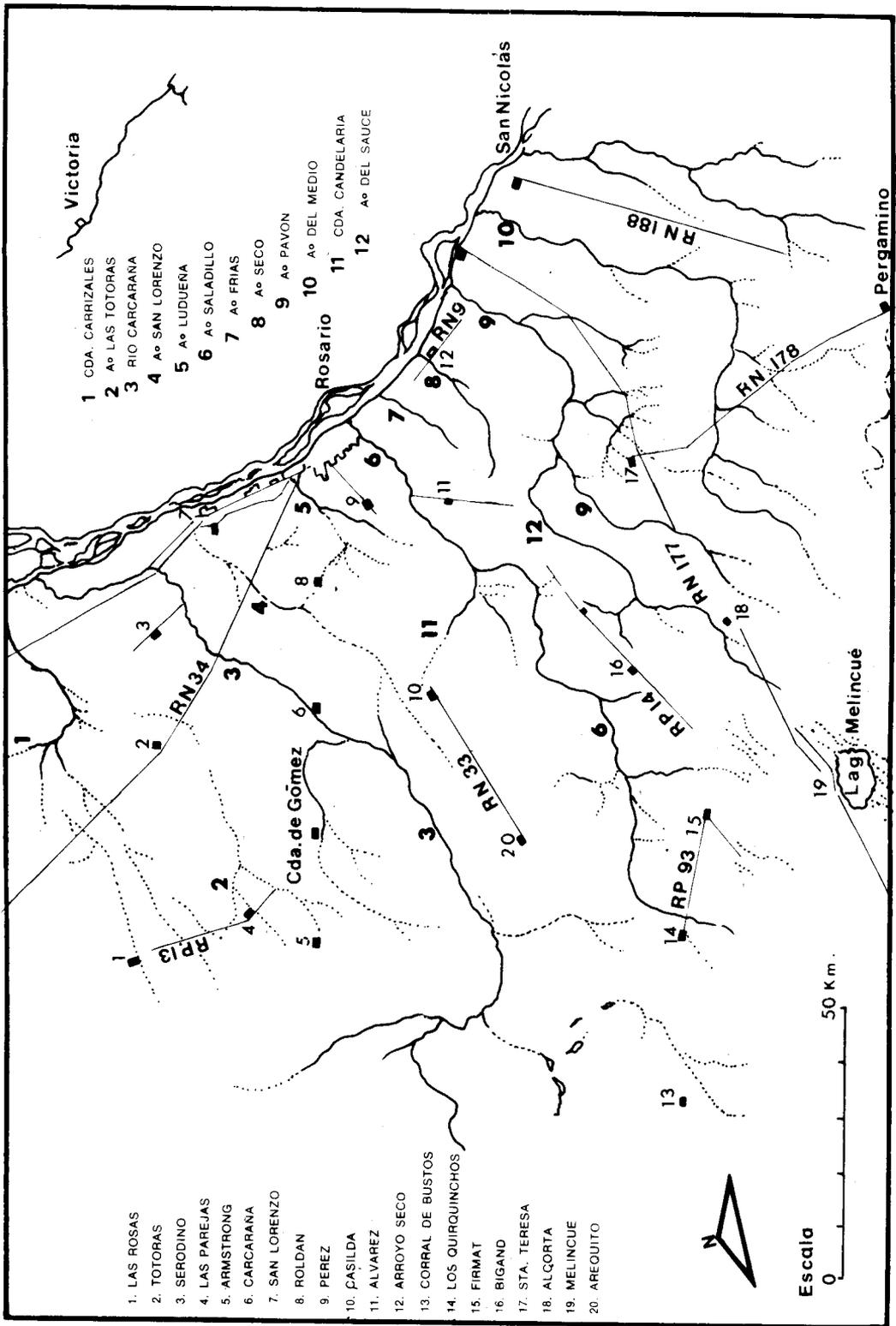


Fig. 4 - Redes hidrográficas tomadas de imágenes ERTS N° 1110-13230, Nov. 10, 1972 bandas 5 y 7

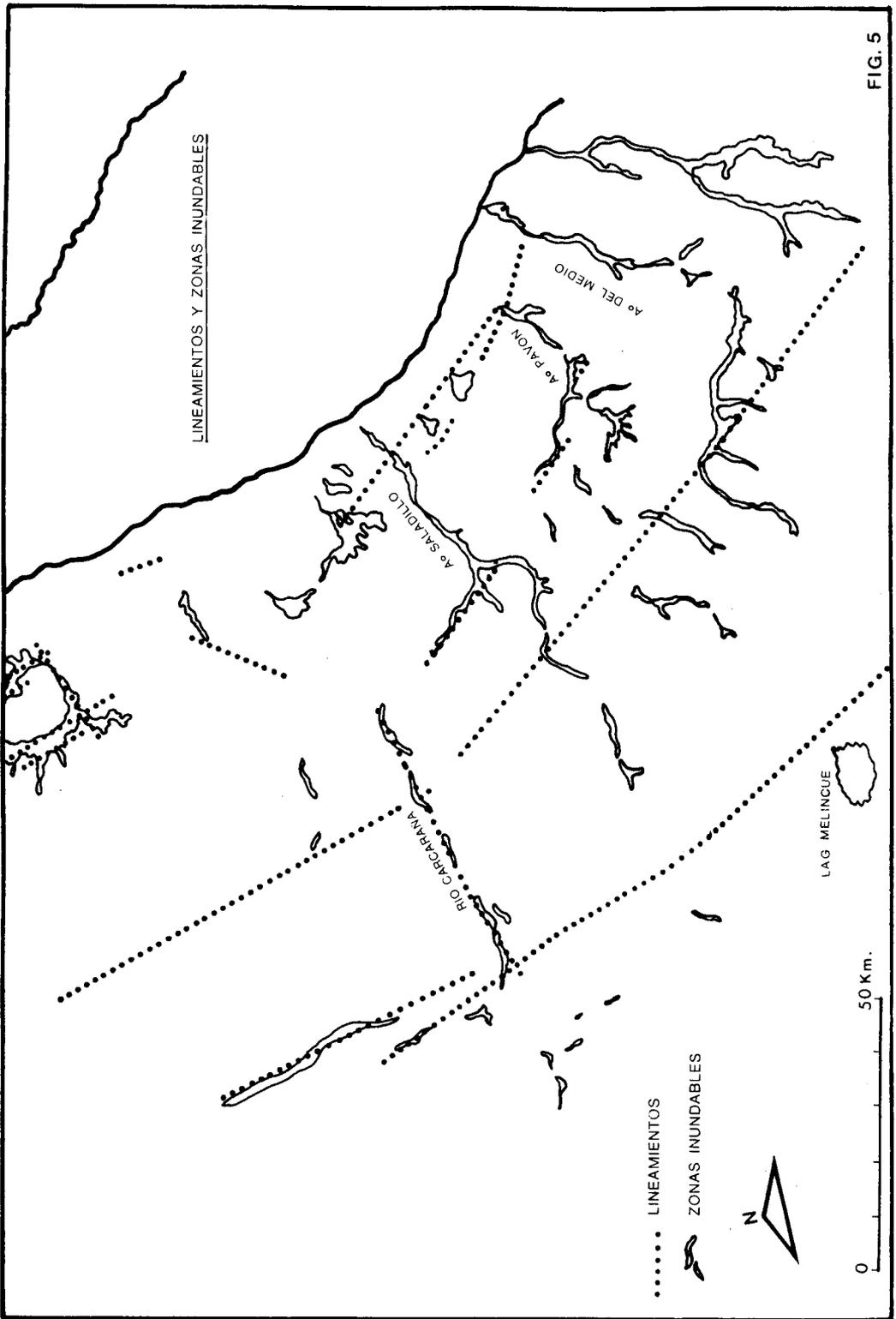
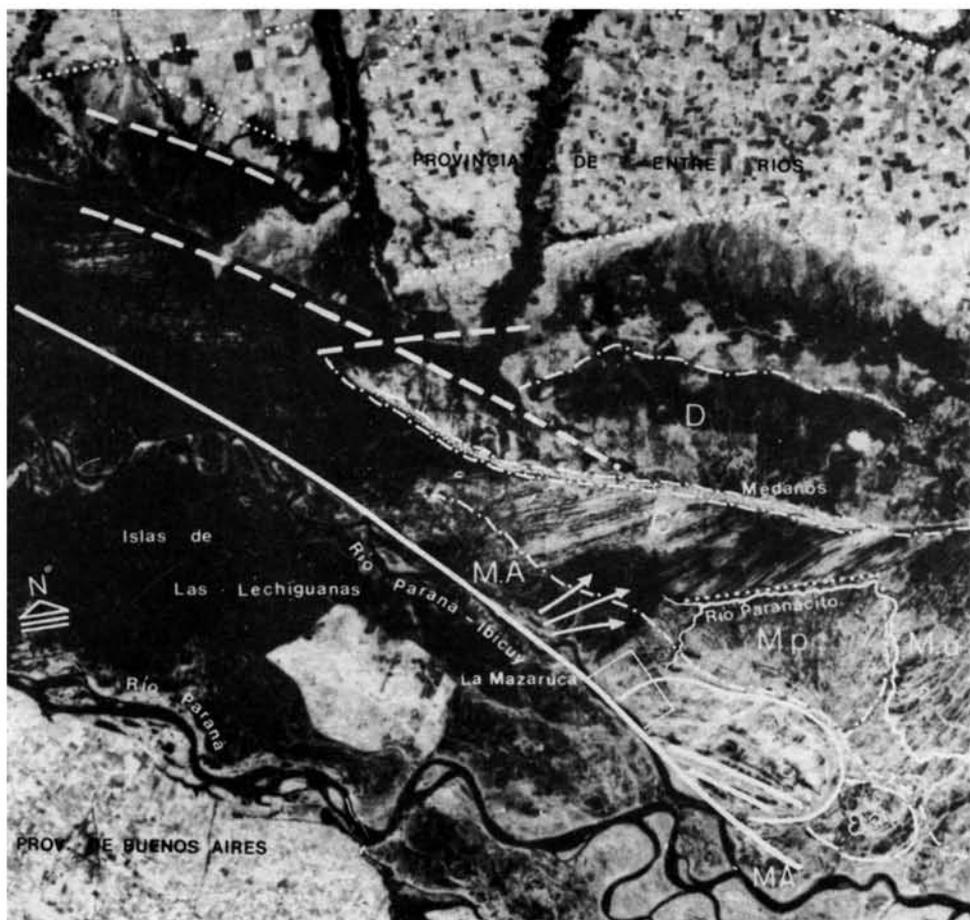


Fig. 5 - Lineamientos y zonas inundables tomadas de imágenes ERTS N° 1110-13230 Nov. 10, 1972 bandas 5 y 7.



PARTE DE LA IMAGEN
NASA ERTS. 1217

- FALLAS
- SUGERIDAS EN LAS FOTOS AEREAS
- LIMITES LITOLÓGICOS
- DE MODELOS
- MEDANOS

- PLANO DE DESBORDE
- MODELO DENDRITICO
- COLINEAR
- MEANDROSO ANASTOMOSADO
- MALLA - PARANA
- MALLA - URUGUAY

IMAGEN REGISTRADA 25 DE FEB. 1973

POSICION { S 32° 56' } SOL { ELEV. 30° }
 CENTRO IMAGEN { W 59° 40' } { AZ. 15° }
 BANDA 7 (0.8 MU a 1.1 MU)

ESCALA APROXIMADA
 0 3 6 12 18 24 34 36 42 50 km

FIG. 6

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 1975. Manual of remote sensing. Vol. 1, II. Falls Church — Virginia.
- BEHRENS, S., 1974. Analysis of the physiography of SCANIA and Sealand interpreted by means of ERTS-images. Experiences of ERTS-1. Imagery in Geographical Studies. Serie A Physical Geography N° 55. Royal Univ. of Lund. Sweden.
- BERYSTRÖM, K.L., 1974. Tectonic analysis of South Western Sweden by means of ERTS images. Experiences of ERTS-1 Imagery in Geographical Studies. Serie A Physical Geography N° 55. Royal Univ. of Lund. Sweden.
- BONFILS, C., 1962, "Los suelos del Delta del río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso" I Jornadas Geológicas, T. II, págs. 25-36. Bs. As.
- CANOBA, C., 1975, Algunas aplicaciones de las imágenes ERTS-1 en el campo de la Geología. II° Congreso Iberoamericano de Geología Económica. Bs. As., 1975.
- FIGUEROLA, L., 1971, Fotolineamientos y mineralización en el NW Argentino. Primer Simposio Nacional de Geología Económica, T. I, págs. 107-124, Bs. As.
- GONZALEZ, R., TOSELLI, A., 1974, Radimetric dating of Rocks from Sierras Pampeanas, Argentina. Revista Brasileira de Geociencias, Vol. 4, págs. 137-140.
- GROEBER, P., 1961, "Contribución al conocimiento geológico del Delta del Paraná y alrededores". An. Com. Invest. Cient. de la Pcia. de Bs. As., Vol. II, págs. 9-54, La Plata.
- LATTMAN, L., 1958, "Techniques of mapping geologic fracture trace and lineaments on aerial photography", Photogrammetric Engineering, Vol. 24, N° 4, págs. 568-576.
- MARTIN, J., RATH, D. and ALLEN, W., 1973, Geologic ground and drainage patterns from ERTS-1. Imagery in northern Missouri. Proceedings Management and Utilization of remote sensing data. Sioux Falls, Dakota. American Society of Photogrammetry.
- MEER MOHR, v.d.H., REKSHIT, A., BHATE, V. y SHERMA, R., 1974, The use of ERTS-1 multi-spectral imagery for geological mapping. ITC Journal — 1974-3. Enschede. Holanda.
- NASA — ERTS, Data Users Handbook, Goddard Space Flight Center. Greenbelt. Maryland 20771. USA.
- PASOTTI, P., y CASTELLANOS, A., 1963, El relieve de la llanura santafecino-cordobesa comprendida entre los paralelos 32° y 33° 30' S y desde el 62° 45' W al río Paraná. Public. XLVII. Instituto de Fisiografía y Geología, Rosario.
- PASOTTI, P., 1971 a. El arroyo Pavón. Morfología de su cuenca y modelo de red hidrográfica. Public. LV. Instituto de Fisiografía y Geología, Rosario.
1972. Génesis y evolución de la red hidrográfica del río Paclín, Catamarca. Public. LVI. Instituto de Fisiografía y Geología, Rosario
1973. La neotectónica en la llanura pampeana. II° Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas (en impresión).
- PASOTTI, P., CANOBA, C. y ALBERT, O., 1975 a. Aporte a la Geología de las Sierras Pampeanas de la Provincia de Catamarca Ambato, Gracián, Ancasti. Public. LIX. Instituto de Fisiografía y Geología, Rosario.
- PASOTTI, P., CANOBA, C. y CATALANI W. 1975. "Aerofotointerpretación de un sector del Delta Entrerriano". Informe para la Dirección de Construcciones Portuarias y Vías Navegables (inédito). Inst. de Fisiografía y Geología.
- TERUGGI, M., KILMURRAY y DALLE SALDE. 1973. "Los dominios tectónicos de la región de Tandil". Anales de la Soc. Cient. Arg. T. CXCV I-II págs. 81-84. Bs. As.
1974. "Los dominios tectónicos de la región de Balcarce". Revista Asoc. Geol. Argentina T. XXIX N° 5 págs. 265 - 276. Buenos Aires.