

REPUBLICA



ARGENTINA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIA
Avenida Pellegrini 250

INSTITUTO DE FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA
"Dr. ALFREDO CASTELLANOS"

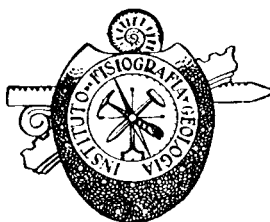
Directora Dra. PIERINA PASOTTI

PUBLICACIONES
LXIII

ESTUDIO DE LA LLANURA PAMPEANA CON IMAGENES LANDSAT

POR

PIERINA PASOTTI – CARLOS A. CANOBA



ROSARIO
REPUBLICA ARGENTINA

1979

ESTUDIO DE LA LLANURA PAMPEANA CON IMAGENES LANDSAT

NOMBRES CLAVE

Paleomodelo; cañadas; llanura pampeana; semihorst; geofractura; imágenes Landsat.

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es presentar una experiencia en la evaluación de las posibilidades y limitaciones de las imágenes LANDSAT en su interpretación visual para el estudio tectónico de un sector de la llanura pampeana en la provincia de Santa Fe, aproximadamente limitado al norte por una línea que pase por Gálvez y por el arroyo del Medio al S, o sea el área cubierta por la imagen satélite (figura 1), principalmente un sector de la pampa levantada, y el área de la laguna Melincué ubicada en la pampa hundida.

Su clima es templado subhúmedo, disminuyendo las precipitaciones desde la ribera del Paraná hacia el W. Corresponde a la región pampeana de gran importancia por su producción agropecuaria, la que posee también una buena infraestructura de transportes y un sector industrial bien desarrollado, especialmente sobre la margen del río Paraná.

Los estudios de carácter geológico-geomorfológico de la llanura fueron iniciados por uno de los autores en 1958, y a través de sucesivos trabajos se logró dar las bases del cuadro tectónico mediante la interpretación de los numerosos lineamientos (Pasotti, 1974). Se utilizó como información de apoyo cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000 y 1:100.000, levantamientos de las décadas del 30, 40 y 50; aerofotografías a escala 1:35.000 y 1:45.000 relevadas en la década del 50 por el I.G.M. y una parte ejecutada para el INTA en 1965 a escala 1:20.000 y mosaicos al 1:50.000.

Dada la dificultad de expresar gráficamente a la llanura con los métodos comunes de mapeo, se ideó uno que dio excelentes resultados; trabajando sobre mosaicos aerofotográficos se registran fielmente sobre transparentes las zonas bajas inundables, las lagunas temporarias y permanentes. Los tintes del gris se hacen más intensos (negro) para los sectores con agua permanente hasta descender a un gris esfumado para las áreas embebidas por aguas superficiales en correspondencia con los sectores que se inundan por desbordamientos de cursos de agua a causa de la horizontalidad, y tanto en el fondo de los valles como en las divisorias (Pasotti, 1974) (figu-

ra 2). Los resultados obtenidos fueron inesperados y alentadores ya que los rasgos observados han permitido esbozar una hipótesis sobre la neotectónica de la llanura pampeana, que es fundamental para interpretar su evolución estructural y morfológica.

Se dispuso de imágenes en blanco y negro a escala 1:1.000.000, bandas 5 y 7 obtenidas el 10 de noviembre de 1972, una ampliación de la banda 7 a escala 1:250.000, negativos en 70 mm. a escala 1:3.369.000 de las bandas 4, 5, 6 y 7 a escala 1:1.000.000 de las mismas bandas registradas el 23 de setiembre de 1976, fotografías en blanco y negro y transparencias positivas.

El procedimiento adoptado para analizar las imágenes fue el normal para las aerofotográficas, siguiendo los criterios básicos correspondientes. Sin embargo, dadas las características propias de la escala de las imágenes, se utilizaron distintas formas de observación.

- I Examen de las imágenes positivas en papel a escala 1:1.000.000 sin auxilio óptico, empleando lentes de aumento.
- II Examen de las transparencias a escala 1:1.000.000 en mesa iluminada, sin auxilio óptico, o con lentes de aumento.
- III Examen de las imágenes ampliadas, obtenidas fotográficamente o proyectando diapositivas.
- IV No se pudo realizar visión estereoscópica; sin embargo se utilizó el esteresoscopio de espejos con imágenes de diferentes bandas.
- V Positivas a escala 70 mm. se estudiaron en un "*Additive Colour Viewer I² S*" propiedad del International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences ITC de Enschede, Holanda, y posteriormente se registraron las composiciones de color con una cámara común y película diapositiva color de 35 mm.

LA LLANURA PAMPEANA

La llanura pampeana es el resultado de colmatación de una cuenca intracrónica de plataforma, con dos direcciones tectónicas dominantes expresadas por fracturas y ondulaciones de gran radio de curvatura. Pertenece a un área estable de plataforma cuyo zócalo se ha hundido. El basamento consta de rocas cratonizadas, fracturadas y dislocadas que ascienden hacia el sur hasta aflorar en la isla Martín García en el río de La Plata. Su profundidad alcanza los 4.000 m., el ancho es de unos 300 kilómetros, y el fondo de pendientes débiles.

El reconocimiento de la tectónica se ha realizado fundamentalmente basándose sobre la morfología. La casi carencia de afloramientos naturales o artificiales y el número insuficiente de perforaciones para un área tan vasta, no permiten apoyarse sobre la estratigrafía. Los afloramientos naturales se tienen en las márgenes de contados arroyos y no se puede pensar en los artificiales ya que la relativa insignificancia de las pendientes no requiere la ejecución de cortes importantes en el trazado de caminos y ferrocarriles. Si se agrega el valor que posee la región en la producción agrícola-ganadera y el laboreo mecanizado de los campos, disminuyen más aún las posibilidades de hallar una buena base estratigráfica. Además, por ser el

subsuelo del área presuntivamente estéril en yacimientos de hidrocarburos, no hemos contado con información de investigaciones geofísicas, a excepción de Volponi (1962) y de Huerta (1972). Todo esto hace difícil la clasificación de nuestra cuenca sedimentaria.

De las observaciones realizadas surgió un importante elemento de juicio: la existencia de la última red hidrográfica de edad pleistocénica a la que se reconoció valiéndose de aerofotografías. Tal como se definiera en trabajos anteriores (Pasotti, 1971), consta de incontables cañadas (paleocañadas) paralelas y rectas, que con dirección SW-NE surcaban toda la llanura desde el pie de la región montañosa occidental hasta el río Paraná. Cañada es un término de la Argentina colonial (Núñez 1965). Unas definiciones son: "depresión entre elevaciones"; "cauce de una corriente temporal". Se reconocieron, hasta ahora, desde el N del valle del río Salado de la provincia de Buenos Aires hasta penetrar en el Chaco (unos 600 Km.). Su modelo es una variedad del básico paralelo, el colinear que, por definición, escurre en terrenos permeables y en zonas de marcada pendiente (Howard, 1967). Si consideramos ese modelo y los valores de los gradientes que tenemos hoy en la pampa, debemos admitir:

1. Que ésta era de muy grande regularidad pues permitió tanto la formación de ese modelo como de su excepcional extensión.
2. Que la pendiente era muy marcada y toda ella hacia el NE.

En las paleocañadas las aguas escurren como subterráneas, subsuperficiales o bien superficiales; pueden estar jalonadas o no por lagunitas alineadas, pero es común no percibir las ni siquiera caminando sobre ellas. Donde la tectónica provocó movimientos de los bloques, se pueden ver en sus taludes suaves hondonadas. Cuando las aguas llegan a escurrir como superficiales, pueden labrar zanjas o cárcavas. Esto se tiene en el área de influencia de un río como por ejemplo sobre ambos márgenes el Carcarañá, en especial modo en el sector sur del bloque de Armstrong. En las otras partes hay que valerse de aerofotografías en las que, de acuerdo con la profundidad de los cauces, el período o la intensidad de las lluvias en el momento del relevamiento aerofotográfico, se presentan como delgadas franjas, de rumbo SW-NE, de tono gris más oscuro que los terrenos que atraviesan. Los diámetros de las lagunitas oscilan de 150 m. por 100 m. a 50 m. por 25 m., las que alcanzan 1.000 m. por 150 m. revelan corresponder a cauces de la paleorred. El ejemplo más claro es el sector comprendido entre el arroyo Monje al N y un tramo del río Carcarañá al S (figura 2). Así debía ser *toda* la llanura pampeana a fines del Pleistoceno.

La paleorred puede aportar sugerencia al conocimiento de la vida de nuestra gran cuenca sedimentaria, y más exactamente a su clima en tiempos platenses (Formación La Plata). De acuerdo con lo observado en "mallines" de la pampa elevada (Córdoba), los sedimentos son en un comienzo eólicos, lo que indica un clima estepario; le sucede un tiempo lluvioso que dio nacimiento a un vasto sistema de cañadas (paleorred); con posterioridad, por otro período de clima estepario la llanura fue cubierta y los cauces de las cañadas rellenados por sedimentos típicamente eólicos (Cordobense o Formación Junín). En la pampa levantada (sector oriental) se carece casi de cortes. En éstos, los lechos suelen estar rellenados por capas holocénicas recientes. En general, los sedimentos son más típicamente eólicos

en el SW y W, fluvioeólicos y cada vez más limosos y arcillo-limosos hacia el NE y E. Por su porosidad son portadores de agua y favorecen el escurrimiento, pero mientras en aquellas zonas pueden ser fácilmente erosionables, hacia el NE y E la cohesión no da lugar a aquel tipo de arrastre, pero sí a la formación de cárcavas que pueden originarse cuando las aguas de las paleocañadas escurren como superficiales. Ejemplos son las que pueden verse en el área que rodea al Morrito de Monasterio, el sector SW del bloque de Armstrong, según estudios de Bellon y otros (1957). Este hecho no es lo normal en la pampa levantada.

La paleorred es fundamental para la interpretación de otro factor que condiciona la morfología de la pampa: la tectónica. Por la dinámica del manto superior, la cubeta fue deformada por un pliegue de gran radio de curvatura que generó dos máximos y un mínimo intercalado, separados por geofracturas (Pasotti, 1974). El máximo oriental es la "pampa levantada", el mínimo la "pampa hundida" y el otro máximo (occidental) "pampa elevada" (Pasotti, Castellanos, 1966). Constituye un pliegue de jerarquía dimensional continental que modificó la pendiente pues se levantó la parte oriental y hundió la parte central. Se trataría de una sinusoide suave (figura 3), con distensión en los máximos y compresión en el mínimo. Dado el gradiente que posee hoy la llanura en la que hay pendientes de hasta centímetros por kilómetro, por ejemplo 0,05‰, se explica lo anómalo del modelo. El límite entre la pampa levantada y la hundida es una geofractura, o fractura abisal, Selva-Melincué (Pasotti, 1974) que se reactivó en el Holoceno generando uno de los rasgos más notables de la llanura, tanto donde el salto es morfológicamente visible como donde para captarlo hay que valerse del comportamiento de las redes hidrográficas actuales. Es una divisoria de aguas en plena pampa, tiene varios centenares de kilómetros de largo, es mapeable con toda nitidez, lo que permite deducir que es profunda y que atraviesa la corteza; la profundidad de los focos sísmicos (600 Km. en Selva) apoyan esta idea; es una expresión de tectónica global de la placa sudamericana. En el N tiene dirección NNE-SSW, luego N-S, para girar al SSE y SE. Paralelamente a ella se formaron fallas que por basculamiento generaron semihorsts a los que anteriormente se clasificara como bloques tectónicos o escalones. Son todos angostos y alargados (ejemplo 10 Km. por 40 Km.). El de mayores dimensiones y altitud es el de Armstrong limitado al W por la geofractura y al E por una de las dislocaciones que le son paralelas (figura 3). El basculamiento se produjo según la falla occidental de cada uno, o sea del lado más largo; la evidencia es una sucesión de áreas anegadizas situadas al pie del talud del poniente. El desnivel entre ambos lados, W y E, raramente llega al metro, se trata siempre de pocos decímetros. Se atribuye la inclinación a que las fallas directas se vuelven curvas en profundidad.

No todos los bloques al oriente y occidente del de Armstrong son semihorsts, algunos son fosas tectónicas por haberse elevado menos que los lindantes, entre éstas las hay también hundidas ligeramente hacia el S (que es el lado más corto) en estilo de tecla de piano. Ejemplos: las "cañadas" de San Antonio (Córdoba) y Carrizales y Arce (Santa Fe), ésta dividida en dos segmentos por un pliegue de jerarquía dimensional regional de dirección SW-NE (Pasotti, 1975). Las delimitan taludes de unos 10-15 m. de alto, y en su piso por estancamiento de las aguas los suelos se han enriqueci-

do de sales por lo que son aptas sólo para la explotación ganadera. Consideramos necesario aclarar que cuando empleamos el término “cañada” (entre comillas) no se trata del “cauce de una corriente temporaria”; lo hacemos respetando una impropia terminología tanto lugareña como oficial, para lo que en realidad es una fosa tectónica.

En cuanto a las fallas y fracturas ortogonales, son ejemplo la recorrida por el río Carcarañá entre Arteaga y Berreta (delimita al S al bloque de Armstrong), la del arroyo Monje sobre cuya margen izquierda terminan bruscamente las “cañadas” de Carrizales y Arce, y el último tramo del Pavón. Todo ello se debe a la distensión en el máximo de la sinusoide.

Tanto la geofractura como los horsts y fosas han interrumpido a las paleocañadas resultando un valioso elemento de juicio en el estudio de la tectónica. Los hundimientos están evidenciados en el piso de las fosas por surcos de rumbo SW-NE paralelos entre sí y con lagunas, que son tramos de paleocañadas entrecortadas por ese proceso. Como dijimos, antes de que esto aconteciera la llanura debía poseer la morfología que se conserva entre el arroyo Monje y el último tramo del río Carcarañá (figura 2). Referiremos ejemplos ilustrativos que se suceden de W a E (figura 2).

- En el piso de la fosa de Carrizales ese rasgo es nítidamente visible, especialmente porque recibe el aporte de ocho arroyos, uno de 60 Km. de largo. Los sedimentos aportados por uno de ellos han cubierto a las paleocañadas de un sector (figura 4 - tonos claros).
- Separada por un horst (bloque de Gálvez) y con rasgos similares pero atenuados, se tiene la “cañada” o graben de Arce, a la que llega un aporte mucho menor de agua (figura 5).

En fosas y bloques que bascularon del lado más largo, la morfología es otra. Ejemplo es la “cañada” de Malaguíes, que integra la zona ribereña del Paraná y está separada de la de Arce por un horst. En ella las manifestaciones de los antiguos lechos se deducen de las hileras de lagunas dispuestas en rosario (moniliformes) de rumbo SW-NE. Son de contorno circular, más amplias que las de Arce y Carrizales, unos 270 m. (figura 6). Las diferencias entre las tres “cañadas” se debe a que la primera (Carrizales) recibe el caudal de varios cursos de agua y las lluvias, mientras que las otras dos se alimentan sólo con las precipitaciones.

Una fosa que no basculó es la que denomináramos “Cinco Cuencas”. Presenta cinco áreas anegadizas bien definidas que integran otras tantas cuencas hidrográficas que de N a S son los arroyos San Lorenzo, Ludueña, Saladillo, Frías y Seco. Las aguas avenaron y avenan hasta el Paraná valiéndose de algunas de las paleocañadas o de posibles cursos de mayor importancia. Es de unos 60 Km. de largo y unos 10 Km. de ancho (figura 2). El Bañado de Quirno (Santa Fe) es otra manifestación de tectonismo, se debe a que una falla de rumbo NW-SE de unos 12 Km. de largo y casi 6 m. de salto endica ocho paleocañadas; las del NW giraron al SE y las del SE lo hicieron hacia el NW, las aguas llegan a la paleocañada central que pudo mantener su escurrimiento hacia el NE formando el arroyo Cabral, afluente del arroyo Pavón (figura 2).

Desde éste hacia el SE, penetrando en territorio bonaerense, no se tienen más zonas hundidas, sino que aparece otro rasgo puesto en evidencia por los cursos de agua actuales que se superponen, a veces, a las paleoca-

ñadas. Asumen modelo en emparrado o emparrillado (*trellis*). Lo consideramos reflejo en superficie de la fracturación del basamento que asciende hacia el S.

Rasgos propios de la pampa levantada en territorio santafesino, a excepción de la zona de los Saladillos, son la carencia de lagunas permanentes, y que los arroyos que la surcan les son totalmente propios pues nacen en el borde oriental de la geofractura, morfológicamente visible o no, llevan rumbo al NE o ENE y desaguan en el río Paraná. Toda dirección que no sea la indicada ha sido forzada por la tectónica; es pues de gran trascendencia por cuanto también sobre ella puede basarse la interpretación del basamento.

Rasgos notables asume la franja adosada al W de la geofractura Selva-Melincué. En la parte N un bloque descendió generando la fosa de San Antonio emplazada en el límite de las Provincias de Santa Fe y Córdoba. Su estructura está expresada por el comportamiento de las paleocañadas y de las aguas superficiales que demuestran un marcado tectonismo puesto que hay tanto fracturas paralelas a dicha geofractura como transversales. Por eso las aguas durante los períodos de máximas precipitaciones, o bien de excepcional abundancia, se estancan formando una malla, y el arroyo de Las Tortugas cambia dos veces de improviso el ancho de su cauce, sucesivamente 10 a 30 a 10 m. El bloque que formó la fosa, además, se ha inclinado hacia el S y SW. El Tortugas tiene un modelo típicamente angular (figura 7). El hundimiento ha sido comprobado por investigaciones geofísicas (Huerta, 1972). Al S de la fosa se eleva un pequeño escalón tectónico con un desnivel de 10 m. que la cierra por ese lado; se le adosa al sur un pequeño horst de unos 10 Km. de lado, el Morrito de Monasterio, al que rodea por el W y el S el río Carcarañá. En su cumbre ostenta el punto más alto del territorio santafesino, 133,60 m.

Al meridión de éste, el reconocimiento tanto de la geofractura como de la franja adosada es factible valiéndose del comportamiento de los arroyos actuales cuyas nacientes están emplazadas sobre una faja continua y angosta de rumbo SE. Hallamos primero una zona hundida e inundable que también ha basculado hacia el SE, La Blanqueada, cuyas aguas canalizadas llegan al canal San Urbano que termina en el arroyo del Sauce que integra la red del arroyo Pavón. En esa franja está alojado el Bajo de Bombal, zona en hundimiento de unos 15 Km. de W a E por 8 Km. de N a S, en la que las aerofotografías evidencian la interrupción de las paleocañadas por el descenso del área. La franja pasa al NE de la laguna Melincué, visible en el borde inferior de la figura 1, y penetra en territorio bonaerense; está pues al W de la geofractura y en la pampa hundida. Perfiles de prospección sísmica realizados por Yacimientos Petrolíferos Fiscales demuestran la existencia de una dislocación, y prospecciones gravimétricas de A. Introcaso, permitieron reconocer la presencia de otra dislocación paralela a la anterior. La más occidental puede corresponder a la continuación de la falla de San José del Salteño (Pasotti, 1963). El perfil corre a la latitud de Firmat.

La pampa hundida, o mínimo de la sinusoide, también se fracturó en bloques, pero con otra morfología por cuanto en ella hubo compresión y a medida que descendía se colmataba con sedimentos más recientes, lo que permitió mantener mayor altimetría topográfica con respecto a la pampa

levantada. También en ella se pueden reconocer diferencias entre un sector N y otro S; éste pasa a la provincia de Buenos Aires. El primero soportó fracturación que dio bloques alargados, angostos y de rumbo al SE a su vez fracturados según las direcciones dominantes de nuestra llanura (NW-SE y NE-SW), con intercalados tramos, N-S y W-E. Los bloques han basculado del lado más largo originando valles cuyas laderas occidentales son suaves y extensas; las opuestas asumen un mayor gradiente. Además, todo el sector ha soportado de conjunto un descenso hacia el SE. El vuelco obligó a las aguas a escurrir en dicha dirección (SE) pasando en ocasiones a integrar la red del río Salado de la Provincia de Buenos Aires. Al comienzo lo hacían siguiendo las fracturas internas de cada semihorst al pie de las laderas de mayor gradiente; posteriormente, debido a las condiciones climáticas reinantes, se generó el "relieve eólico postpampeano" (Gollán 1939), se formaron médanos a los que clasificáramos como longitudinales por cuanto la mayoría tiene el rumbo del viento pampero (SW-NE), y margina cauces de paleocañadas (Pasotti, 1974).

En síntesis, en ese sector a ambos lados de la geofractura tenemos: al oriente cursos bien organizados que vuelcan todos al río Paraná, no hay lagunas permanentes; al occidente se carece de redes hidrográficas organizadas y hay incontables lagunas sea temporarias que permanentes. El contraste es muy llamativo, en especial si se tiene en cuenta que en el terreno no hay rasgos que hagan morfológicamente visible a la frontera. Las lagunas más extensas son Mar Chiquita (Córdoba) y Melincué (Santa Fe). Esta última, que como dijimos se halla al SW de la falla de San José del Salteño, está alojada en un bloque tectónico hundido de unos 30 Km. de SW a NE por unos 15 Km. de NW a SE, tiene por lo tanto su mayor desarrollo en dirección ortogonal al de los bloques de la pampa levantada. En su hundimiento ha interrumpido al paleomodelo de un modo fuera de toda discusión.

Todo el tectonismo que hemos brevemente expuesto, estaría en parte desligado, independiente del que, según Russo et al. (1979) y Zambrano (1974), afectó al basamento. El haber ellos reconocido un menor número de fracturas que nosotros, puede explicarse considerando que las escalas empleadas por dichos autores hace imposible su representación. Además, las no coincidencias pueden responder al hecho de que los escudos por su mayor convexidad que la curvatura media de la tierra están en tensión y de ahí que hundimientos según líneas de fractura suelen ser independientes de direcciones tectónicas anteriores (Perrodon, 1971). Según Blanchet (1957), en una cuenca sedimentaria pueden reconocerse dos principales clases de fracturas a las que clasifica en microfracturas y macrofracturas. Estas se generan a nivel del basamento; las otras al de la cubierta sedimentaria. Arbitrariamente las diferencia por la longitud y denomina "subsistema axil" a un par y "subsistema de cizallamiento" al otro.

Siguiendo a Blanchet la geofractura Selva-Melincué representaría un subsistema axil por hallarse a nivel de basamento. Las otras fracturas y fallas posiblemente estarían vinculadas con la cubierta sedimentaria. No contamos con datos suficientes para establecer la relación entre la potencia de los sedimentos (que en la cubeta pampeana varía y llega a unos kilómetros) y las numerosas fracturas y dislocaciones que hemos reconocido al oriente de dicha geofractura.

INTERPRETACION VISUAL DE LAS IMAGENES MSS LANDSAT

Se aplicaron los mismos criterios válidos para la interpretación de las fotografías aéreas, teniendo como base las variaciones de tono y textura para distinguir los rasgos naturales y culturales. El criterio seguido para el análisis de los lineamientos fue trazar todos aquellos detectables en la imagen y que tuvieran más de 1 cm. a la escala 1:1.000.000. Posteriormente se verificaron y eliminaron todos aquellos correspondientes a la infraestructura ferroviaria, como asimismo a las divisorias de grandes parcelas y sus caminos secundarios. El paso siguiente consistió en comparar los lineamientos detectados con la red hidrográfica ejecutada en las imágenes LANDSAT; finalmente se seleccionaron y correlacionaron las interpretaciones volcándolas a la escala 1:250.000.

Se observaron cada una de las bandas a escala 1:1.000.000 individualmente, en copias positivas o en transparencias utilizando una mesa iluminada. La banda 4 ha sido de escasa utilidad ya que muestra pocas variaciones de tono y textura; es la de menor definición y no se distinguen bien diseños (pattern). Las ciudades más grandes tienen buena reflexión, las zonas inundables mayores, por ejemplo la "cañada" de Carrizales, poseen tonos claros pero pobremente definidos. La banda 5 presenta mejor contraste y definición. Dado que esta zona está cubierta en su mayor parte por vegetación, los tonos reflejados son esencialmente una expresión de las características y estados de desarrollo de los cultivos y la vegetación natural; la vegetación arbórea tiene un tono que contrasta bien en la ciudad de Rosario (el Parque Independencia). No se observan claramente diseños de tono y textura, pero tonos grisáceos claros se asocian con los sectores bajos e inundables. Las ciudades y las vías de transporte aparecen con tonos claros tendiendo al blanco producto de la buena reflectancia de las construcciones en esta banda. Los cursos de agua menores no tienen buena definición pero el río Paraná se muestra con tonos de gris asociados a la presencia de sedimentos; se detectan algunas variaciones. Las bandas 6 y 7 se consideran conjuntamente ya que muestran poca diferencia entre sí, aunque es superior la definición y el contraste de la segunda. Se notan claramente los límites de los cuerpos de agua, que se presentan negros dada la elevada absorción que tienen las aguas en la irradiación infrarroja; por ello permite mapear los cursos de agua con más facilidad. Los valles aparecen definidos con tonos de gris más oscuros cuanto mayor es el contenido de humedad; esto tiene validez también para las zonas bajas e inundables. Aún se perciben pequeñas lagunas alineadas relacionadas con el paleomodelo de cañadas cuya edad se atribuye al Pleistoceno Superior; se las ve en las áreas de la laguna Melincué, en la depresión de Bombal y en la "cañada" de Malagües sobre la ribera del Paraná. La vegetación arbórea se presenta con tonos de gris claro, dada la buena reflectancia en el infrarrojo.

La división de la tierra se manifiesta claramente permitiendo percibir algunos "pattern" en las variaciones de tono y testura; ejemplo el Morrito de Monasterio. El valle aluvial del Paraná se diferencia notablemente; se distinguen los sectores cubiertos por las aguas, algunos diseños característicos de las llanuras de inundación y otros rasgos geomorfológicos en cierta medida anómalos. Este es el caso de los surcos paralelos retrabajados por las riadas, y que fueron interpretados como restingas formadas en las are-

nas Puelchenses aflorantes resedimentadas, dejadas por el Mar Querandino durante su regresión (Siragusa, comunicación verbal y epistolar, 1975). Un modelo análogo fue detectado claramente en el sector correspondiente al Delta Entrerriano frente a la ciudad de Gualeguay (Pasotti et al., 1976).

Los lineamientos se perciben mejor en esta imagen, los que coinciden con los reconocidos por otros medios están vinculados fundamentalmente con la redes de avenamiento y los sectores inundables descriptos; otros lineamientos se asocian a las variaciones de tono y textura dadas por la subdivisión de la tierra (figura 1). También se examinaron las imágenes positivas transparentes en escala 1:1.000.000 sobre la mesa iluminada, superponiéndolas. Este procedimiento de adición de tonos puede acentuar algunos rasgos, pero naturalmente atenuar o esfumar otros. La superposición de las bandas 5 y 7 si bien permite percibir los límites de los valles de inundación, no agrega ningún elemento favorable para la interpretación de lineamientos.

El estudio de las imágenes se realizó a simple vista y también utilizando lentes de aumento, pero la técnica más favorable comprendió el uso del estereoscopio de espejos en las copias positivas en papel y en transparencias. Se obtiene a veces un efecto de pseudoscopia que facilita la extracción de la información deseada y su graficación. Las combinaciones utilizadas fueron la 5 con la 7 y la 6 con la 7; resultó muy cómoda para el mapeo trabajar simultáneamente con la transparencia de la banda 7 y la copia en papel de la misma banda, no fue tan fatigante como, por ejemplo, la observación de las imágenes correspondientes a las bandas 5 y 7.

Otra forma empleada en el análisis de las imágenes fue el de observar diapositivas en 35 mm. de las imágenes positivas y negativas de las bandas 4, 5, 6 y 7 con un proyector común llevándolas a una escala aproximada al 1:250.000. En general se pierden detalles, pero las unidades principales se mantienen. Ayuda a percibir variaciones de tono y textura que dan diseños y destacan lineamientos que no se detectan fácilmente en la escala 1:1.000.000.

Compuestos en falso color

Las imágenes positivas transparentes en 70 mm. de las distintas bandas en blanco y negro pueden ser observadas simultáneamente aplicando la teoría de la adición de colores. Se utilizó un "*Additive Colour Viewer I² S*" que permite asignar a cada imagen a través de filtros los colores verde, rojo y azul; además se puede variar la intensidad luminosa de cada uno.

Se probaron distintas combinaciones que se estudiaron directamente sobre la pantalla del instrumento a una escala aproximada al 1:1.000.000. Se tomaron fotografías con cámara de 35 mm. y película diapositiva color, utilizando un soporte suplementario que con ese fin trae el instrumento; posteriormente esas imágenes se analizaron proyectándolas a escala 1:250.000.

La interpretación de cada compuesto color se registró en papel transparente colocado sobre la base de proyección; lo mismo se hizo con las distintas bandas blanco y negro, para finalmente comparar todas entre sí superponiéndolas convenientemente.

Compuesto color a) banda 5: azul; banda 6: verde; banda 7: rojo. Un cambio de textura, determinado en parte por la diferencia en el uso y subdivisión de la tierra, ayuda a percibir un lineamiento de dirección NW-SE sobre el bloque de Armstrong, que corresponde a la separación entre el bloque más alto y el semihorst siguiente. Otros lineamientos no guardan relación con los conocidos. Los valles de inundación y zonas bajas están poco definidos. La vegetación arbórea se destaca con color marrón más intenso en las plantaciones destinadas a elaborar papel para Celulosa Argentina; también con parecido nivel se observan los bosques de la llanura aluvial del río Paraná.

Compuesto color b) banda 4: azul; banda 5: verde; banda 6: rojo. La vegetación arbórea se presenta con color marrón intenso; las ciudades se distinguen bien, con un color verde pálido. Hay buena definición de los valles de inundación, lo que ayuda al trazado de la red.

Claramente se observan los lineamientos que corresponden al bloque de Pujato-Uranga, como también los de las “cañadas” de Carrizales, Arce y Malagüés. La zona de fractura del río Carcarañá aparece también bien definida.

Compuesto color c) banda 5: verde; banda 7: rojo. En esta combinación se detectan las ciudades más importantes, las áreas inundables y los lineamientos citados anteriormente; en el sector inferior de la imagen se insinúan los lineamientos conjugados de rumbo NW-SE y SW-NE en correspondencia con el modelo trellis de la red hidrográfica.

Compuesto color d) banda 4: verde; banda 5: azul; banda 7: rojo. Se distinguen los mismos rasgos expresados para el compuesto b); además sobre el bloque de Armstrong notoriamente se percibe el valle del arroyo Cañada de Gómez y también los valles de los cursos resecentes que con modelo paralelo llegan a la “cañada” de Carrizales.

Cartografía de la interpretación

La interpretación de las imágenes a escala 1:1.000.000, utilizando el estereoscopio de espejos, permitió elaborar sobre material transparente apoyado directamente, tres mapas: el primero contiene las ciudades y vías de transporte discernibles en las imágenes (figura 8); el segundo muestra el trazado de la red hidrográfica y detalles de los cuerpos de agua correspondientes al momento en que se registró la imagen (figura 9); el tercero corresponde a los valles de inundación y zonas bajas e inundables, a los que se agregaron los lineamientos detectados (figura 10). La interpretación proveniente de la proyección de las distintas diapositivas se volcó sobre la imagen de la banda 7 a escala 1:250.000 del 10 de noviembre de 1972. Finalmente la comparación de conjunto se realizó a la escala 1:250.000, elegida como mapa base para la cartografía final.

SINTESIS

La palabra lineamiento se utilizó “como un rasgo lineal de la superficie, simple o compuesto, mapeable... que presumiblemente refleja un fenó-

meno subterráneo" (O'Leary et al. 1976). Los rasgos lineales percibidos incluyen la mayoría de los atribuidos a fracturas conocidas y a lineamientos topográficos. El único que presenta reflectancia y contraste definido corresponde al talud oriental de la "cañada" de Carrizales (figura 1).

La red hidrográfica, el trazado de los valles de inundación y la determinación de sectores anegadizos se realizan de manera precisa. La paleored sólo se distingue parcialmente, se detectan claramente los tramos de cursos que sufren desviaciones forzadas. Por tanto los rasgos estructurales están definidos en gran medida por la red hidrográfica y los sectores anegadizos asociados.

La interpretación visual de las imágenes 5 y 7 en especial, permite el mapeo de los centros urbanos y de la infraestructura ferroviaria; de esa manera se evita la confusión con los lineamientos relacionados con la tectónica.

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 o cultivos. Son importantes limitaciones: la baja resolución y la falta de recubrimiento estereoscópico de las imágenes, por ello las imágenes LANDSAT son un complemento y no un sustituto de las fotografías aéreas.

Los lineamientos tectónicos dominantes de mayor jerarquía corresponden a la dirección NW-SE; los lineamientos ortogonales son de menor longitud y menos frecuentes, dando así bloques angostos y alargados en aquella dirección. Los rumbos de los lineamientos detectados en las imágenes LANDSAT, aproximados a los $\pm 5^\circ$ fueron reunidos en sectores de 10° en 10° asignándoseles en cada caso el mismo azimut. La suma del largo de todos los lineamientos comprendidos en cada sector de 10° se volcó a escala en relación con la longitud total; de esta forma se ponen en evidencia con más claridad las direcciones predominantes (figura 11). Se puede considerar que si los lineamientos no respondieran a un control estructural, el gráfico asumiría necesariamente una forma menos aguzada, no mostrando tampoco máximos acentuados.

El límite entre "pampa hundida" y "pampa levantada" está expresado por un lineamiento NW-SE y por la red hidrográfica que está bien definida en el bloque oriental. A partir del lineamiento correspondiente con el valle del río Carcarañá, límite meridional del bloque de Armstrong, aparece sugerida una diferencia geotectónica importante dentro de la "pampa levantada", reflejada por las redes hidrográficas y una mayor densidad de lineamientos.

El aporte de las imágenes LANDSAT es de singular importancia en relación con la rapidez con que se captan lineamientos tectónicos que fueron reconocidos paulatinamente con aerofotografías, mosaicos y cartas en un trabajo a nivel regional que demandó prolongado tiempo. Además, otros lineamientos que no se habían detectado, surgen para consideración y estudio. La experiencia indica que la utilización de las imágenes LANDSAT en el estudio de la llanura es una herramienta efectiva, pero que debe integrarse con el uso de fotografías aéreas y apoyarse sobre trabajos de campo. Ellas brindan excelente información para la cartografía geológica a pequeña escala ya que permite reconocer indicaciones de megadiseños difíciles de reconocer por otros medios. Es también eficiente y económico para la actualización de aquélla.

ABSTRACT

The evaluation of possibilities and limitations of the Landsat images to one sector of the pampas in the territory of Santa Fe is showed.

The geomorphologic features and the value of a paleo-pattern of a hydrographic net for the interpretation of tectonics is treated.

RESUME

On présente l'évaluation des possibilités et des limitations des images Landsat appliquées sur un secteur de la pampa dans le territoire de Santa Fe.

Les traits géomorphologiques et la valeur d'un paléo-modèle de réseau hydrographique pour l'interprétation de la tectonique, sont étudiés.



Fig. 1

0 10 30 50 km

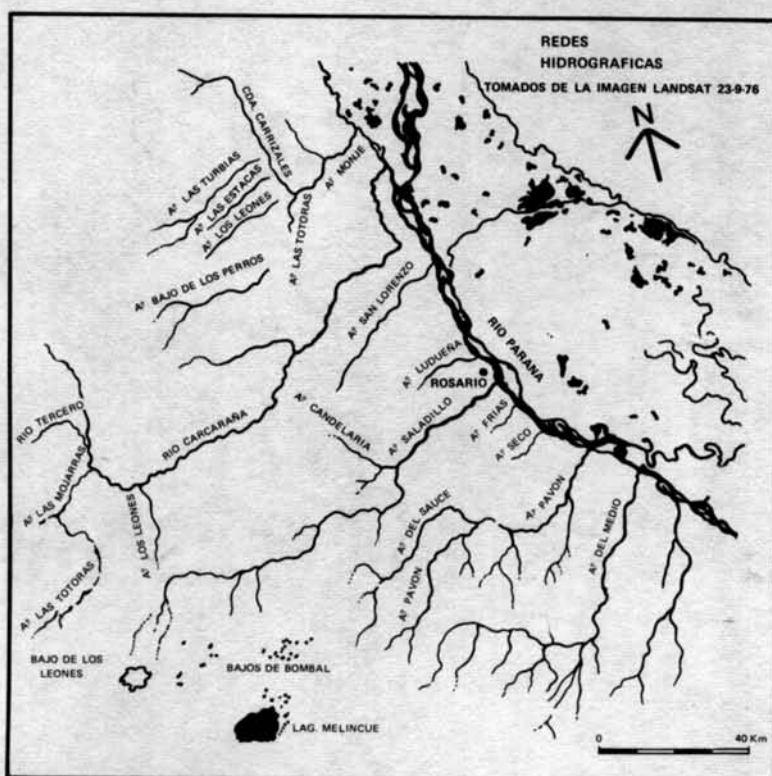


Fig. 9

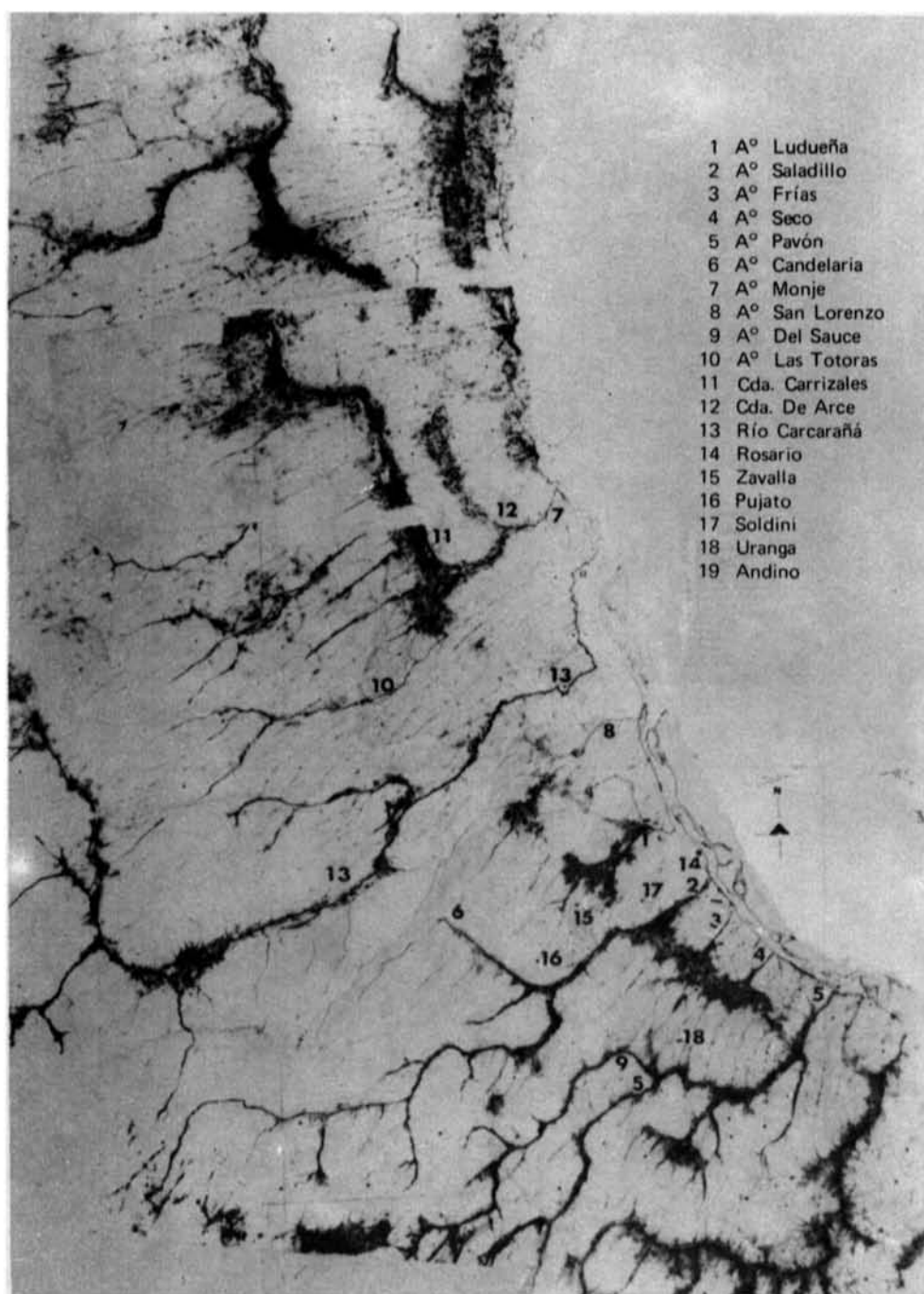


Fig. 2

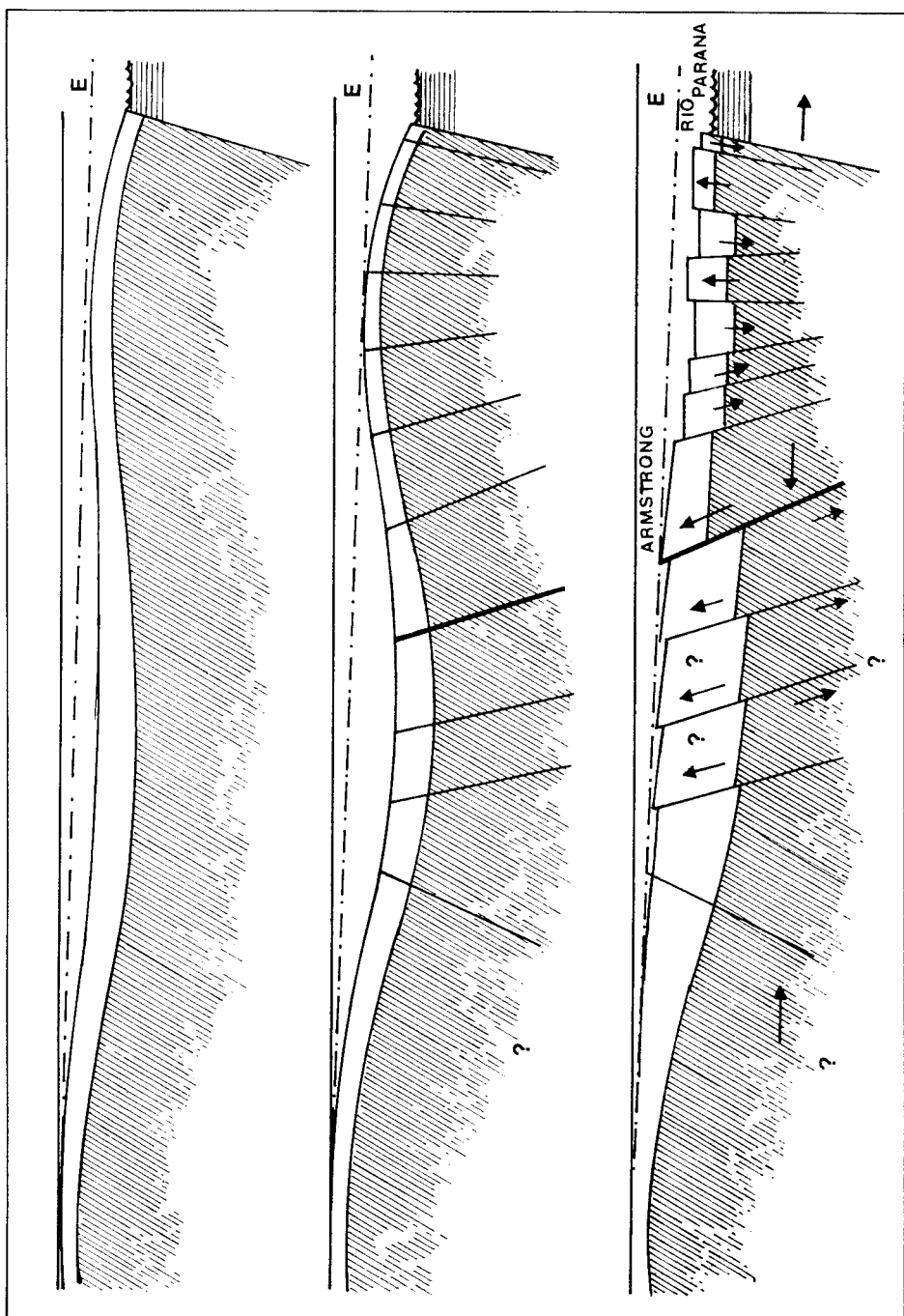
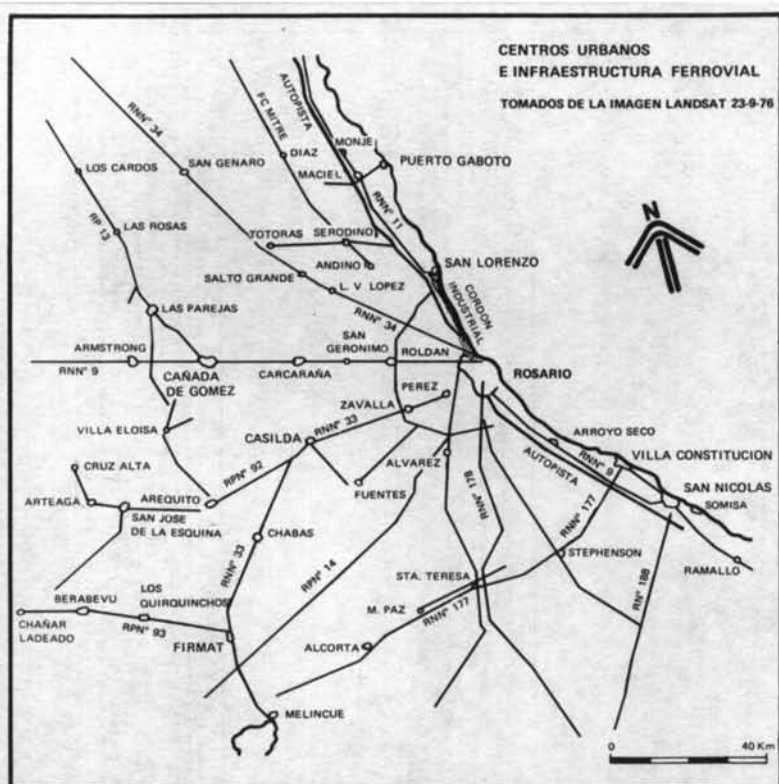


Fig. 3



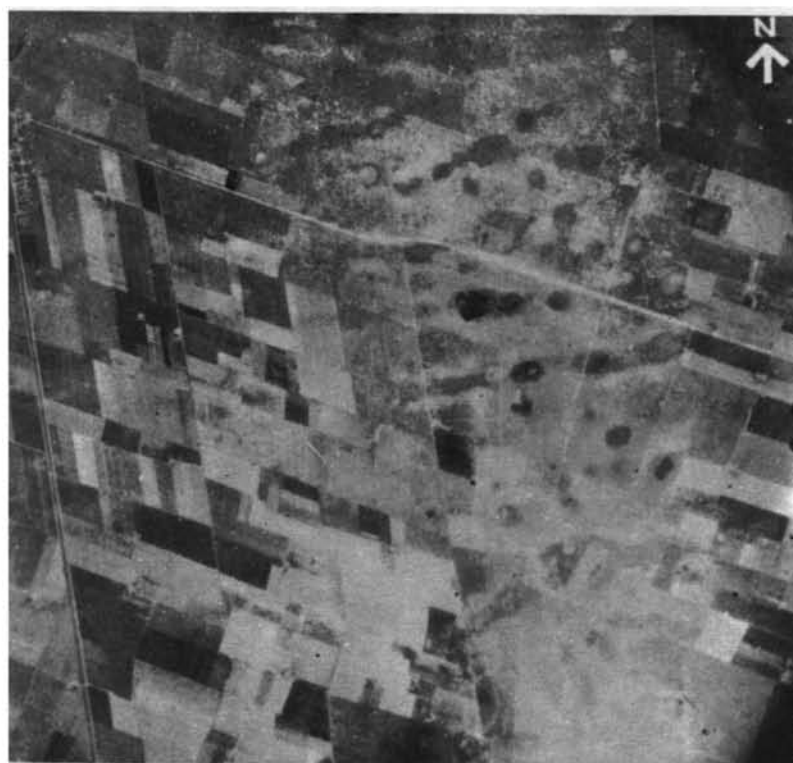


Fig. 5

0 1 2 3 km



Fig. 6

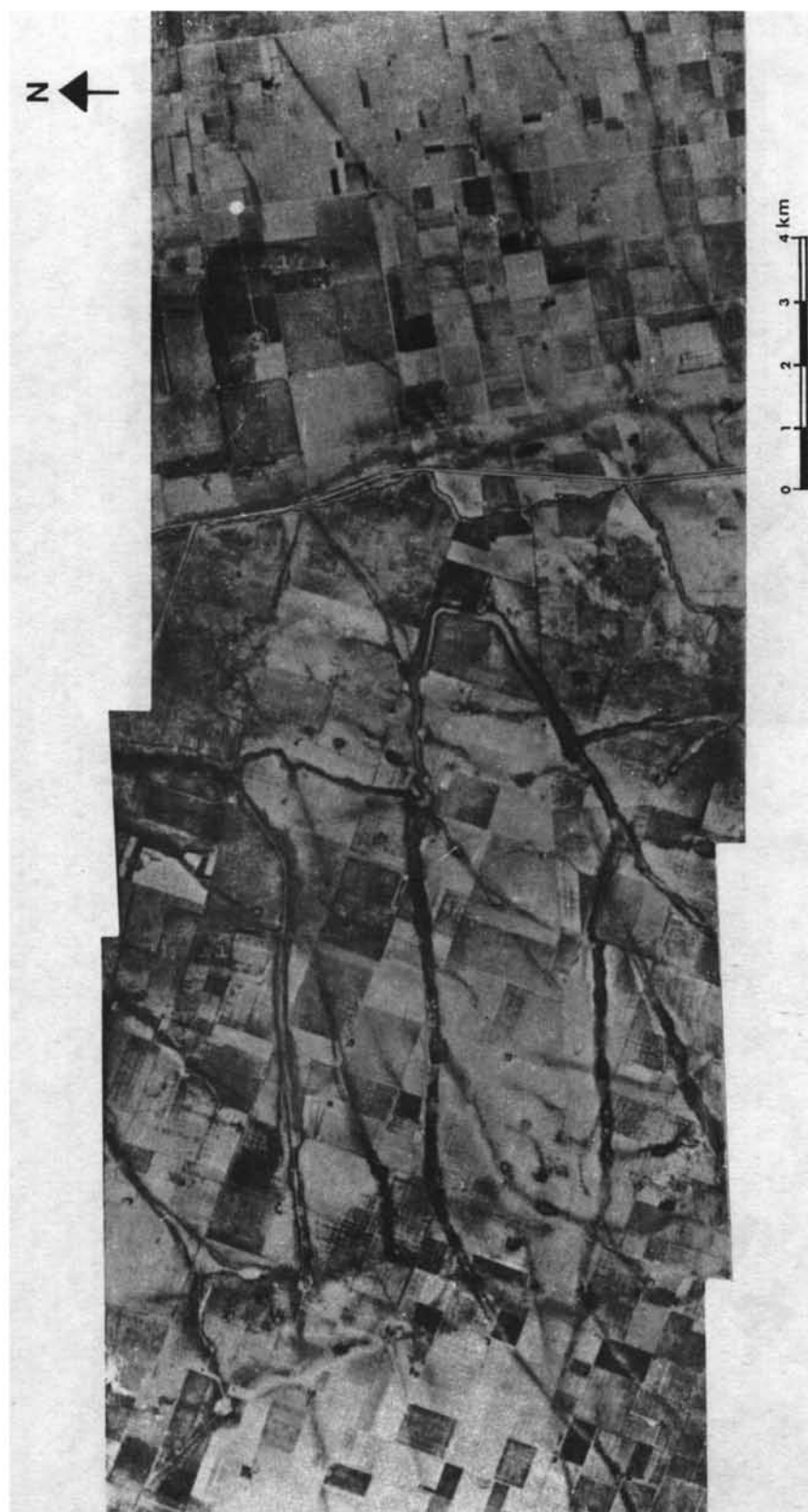


Fig. 7

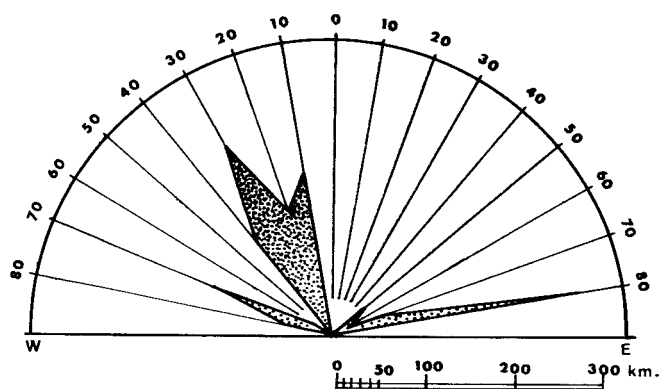


Fig. 11

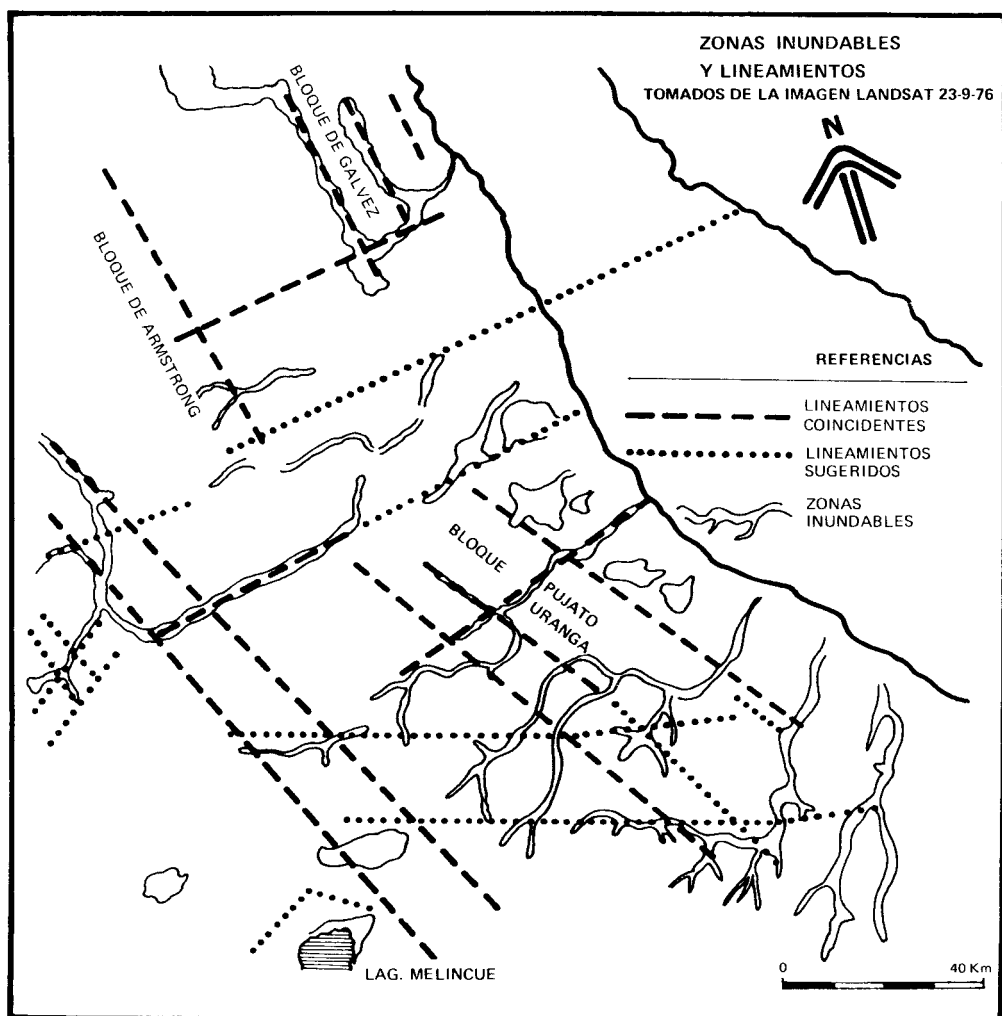


Fig. 10

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 1975. *Manual of Remote Sensing*. Vol. I y II. Falls Church, Virginia, EUA.
- BELLON Carlos A., CALCAGNO José E., IPUCHA AGUERRE Julio, PREGO Antonio J., QUEVEDO Casiano V., TALLARICO Luis A., 1957. *La erosión del suelo en la cuenca occidental del Carcarañá*. IDIA Nro. 120, Buenos Aires.
- BLANCHET P. H., 1957. *Development of fracture analysis as exploration method*. Bull. American Association of Petroleum Geologists. Vol. 41, Nro. 8, págs. 1748-1759. Tulsa, EUA.
- CANOBA Carlos, 1975. *Algunas aplicaciones de las imágenes ERTS-1, en el campo de la Geología*. II° Congreso Iberoamericano de Geología Económica. T. VI, págs. 129-146. Buenos Aires.
1977. *Utilización en Geología de las imágenes Landsat*. Publ. LXI, Instituto de Fisiografía y Geología. Rosario.
- HILWIG F. W., 1976. *Visual interpretation of Landsat Imagery for a reconnaissance soil survey of the Ganges River Fan, SW Hordwar, India*. ITC. Journal, págs. 26-41. Enschede, Holanda.
- HOWARD A.D., 1967. *Drainage Analysis in Geologic Interpretation: a summation*. The American Association of Petroleum Geologist. Bull Vol. 51, Nro. 11. Tulsa, EUA.
- HUERTA Eduardo, 1973. *Resultados gravimétricos obtenidos en una zona de la Cañada de San Antonio*. Esc. Ingeniería Geógrafa. Fac. Cs. Exactas e Ingeniería, UNR. Rosario.
- GOLLAN Josué y LACHAGA Dámaso, 1939. *Aguas de la Provincia de Santa Fe. Primera contribución a su conocimiento*. Inst. Experimental Investigación y Fomento. Publ. Técnica Nro. 12. Santa Fe.
- MEER MOHR v. d. H., REKSHIT A., BHATE V. and SHERMA R., 1974. *The use of ERST-1 multispectral imagery for geological mapping*. ITC Journal. Enschede, Holanda.
- MEER MOHR v. d. H., 1978. *An evaluation of the use of spaceborne camera and Multispectral Scanner Systems for Geology*. Notas del ITC. Enschede, Holanda.
- NASA ERTS. *Data Users Handbook*, Goddard Space Flight Center. Greenbelt, Maryland, EUA.
- NÚÑEZ Benjamín, 1965. *Términos topográficos en la Argentina Colonial (1516-1810)*. Inst. Panamericano de Geografía e Historia. Comité de términos geográficos. Publ. N° 2. Río de Janeiro, Brasil.
- O'LEARY D. W., FRIEDMAND D. and POHN H. A., 1976. *Lineament, Linear, Lineation. Some proposed new standards for old terms*. Geol. Society American Bulletin, V. 87, págs. 1463-1469.
- PASOTTI Pierina, 1958. *Vinculaciones de la tectónica con el recorrido de las redes hidrográficas en la llanura argentina en especial en la bonaerense*. Bol. Est. Geográficos. Univ. Nac. de Cuyo, Vol. V, Nro. 21, Mendoza.
- PASOTTI Pierina y CASTELLANOS Alfredo, 1963. *El relieve de la llanura santafesino-cordobesa comprendido entre los paralelos 32° y 33° 30' S y desde el 62° 45' W al río Paraná*. Publ. XLVII. Inst. de Fisiografía y Geología, Rosario.
- PASOTTI Pierina, 1963. *Algunos rasgos morfológicos de la llanura cordobesa entre la dislocación de San José del Salteño y el meridiano 62° 45' W*. Bol. Estud. Geográf. Univ. Nac. de Cuyo, Vol. X, Nro. 41. Mendoza.
1964. *La cuenca del arroyo Cañada de Gómez*. Publ. XLVIII. Inst. de Fisiografía y Geología. Rosario.
1968. *Geomorfología de las cañadas de Rosquín y de Carrizales y zonas aledañas*. Publ. L. Inst. de Fisiografía y Geología. Rosario.
- PASOTTI Pierina y CASTELLANOS Alfredo, 1966. *Rasgos geomorfológicos generales de la llanura pampeana*. Confer. Regional Latinoamericana. U.G.I., T. III, México.
- PASOTTI Pierina, 1967. *Las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo* en Estudios, GAEA, Rosario.
1968. *Evidencias morfológicas del levantamiento de la pampa levantada*. Publ. LIII, Inst. de Fisiografía y Geología, Rosario.
1969. *Interpretación de algunos rasgos morfológicos en el centro-oriente de la llanura pampeana en la Provincia de Santa Fe*. Notas Nro. 3, Instituto de Fisiografía y Geología, Rosario.

- 1971a. *El arroyo Pavón. Morfología de su cuenca y modelo de red hidrográfica*. Publ. LV. Inst. de Fisiografía y Geología, Rosario.
- 1971b. *Influencia de un paleomodelo de red hidrográfica en la llanura de la Provincia de Santa Fe*. 5to. Congreso Nac. del Agua, Santa Fe.
1973. *Sobre la presencia del último paleomodelo de red hidrográfica pleistocénica en la llanura de la Provincia de Santa Fe*. Publ. LVII, Inst. de Fisiografía y Geología, Rosario.
1973. *La Neotectónica en la llanura pampeana*. II° Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas, Venezuela. T. III, págs. 1837-59.
1974. *La Neotectónica en la llanura pampeana. Fundamentos para el mapa neotectónico*. Publ. LVIII. Inst. de Fisiografía y Geología. Rosario.
1975. *Nuevo aporte a la neotectónica de la llanura argentina*. II° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. T. IV, págs. 301-314. Buenos Aires.
1974. *El Morrito de Monasterio, rasgo excepcional en el relieve de la Provincia de Santa Fe*. Bol. Nro. 8. Filial Rosario. Soc. Arg. de Est. Geog. GAEA. Rosario.
- PASOTTI Pierina, CANOBA Carlos y CATALANI Wally R., 1976. *Aerofotointerpretación de un sector del delta entrerriano*. Publ. LX. Inst. de Fis. y Geol. Rosario.
- PASOTTI Pierina y CANOBA Carlos, 1976. *Neotectonics and lineaments in a sector of the Argentine Plain (Pampa)*. 2nd. International Conference on the New Basement Tectonics. Delaware, EUA. págs. 435-43.
- PASOTTI Pierina, 1978. *Evidence of present tectonic subsidence of the Southamerican plate*. 3rd. International Conference on Basement Tectonics. Durango (Co.), EUA.
- PASOTTI Pierina y CANOBA Carlos A., 1979. *Aporte de las imágenes LANDSAT al estudio de la llanura pampeana*. Resumen en I Simposio Nacional de Análisis de Información LANDSAT. Buenos Aires.
- PERRODON Alain, 1971. *Essai de classification des bassins sédimentaires*. Sciences de la Terre, T. XVI, Nro. 2, págs. 197-227. Nancy, Francia.
- RUSSO Anielo, FERELLO Roberto y CHEBLI Gualter, 1979. *Llanura chaco-pampeana*. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- SESOREN A., 1976. *Lineament analysis from ERTS (LANDSAT) imagery of the Netherlands*. Geologie an Minsbouw. Vol. 55 (-2), págs. 61-67.
- VOLPONI Fernando, 1962. *Aspectos sismológicos del territorio argentino*. Primeras Jornadas Argentinas Ingeniería antisísmica, San Juan.
- WILLIAMS R and CARTER W., 1976. ERTS 1. *A new window on our planet*. Geol. Survey Prof. Paper 924. Washington, EUA.
- ZAMBRANO Juvenal J., 1974. *Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes*. Revista Asociación Geológica Argentina. T. XXIX, Nro. 4, págs. 443-469, Buenos Aires.