

ESTUDIO DE LA FISIOGRAFIA Y LOS SUELOS EN EL SURESTE DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO, MEDIANTE EL EMPLEO DE IMAGENES "LANDSAT"

por JOSE MANUEL SAYAGO*

SUMMARY

Physiography and soils of the SE Santiago del Estero province by means of "Landsat" imagery.- In this work major attention is devoted to a general description of the physiography and soils in the southeastern region of Santiago del Estero province (Argentina). Subsequently, some suggestions about methodological aspects of thematic cartography at small scales through LANDSAT imagery are made. Advantages and limitations of such images for physiographic and edaphic interpretation are evaluated.

Introducción

En un mundo jaqueado por la crisis alimentaria, nuestro país debería encontrar en el incremento de su producción primaria un objetivo prioritario. Alcanzar el mismo lleva implícito, entre otros, aspectos tales como el incremento de los rendimientos en las actuales áreas productivas y/o la incorporación de las aún extensas superficies sub-explotadas o improductivas.

El desarrollo de las tierras marginales exige una planificación cuidadosa, uno de cuyos pre-requisitos esenciales, es el inventario sistemático de los recursos naturales. En tal sentido, es cada día mayor la importancia asignada por los planificadores a la cartografía temática en pequeña escala, en aspectos geológicos, geomorfológicos, edáficos, fitogeográficos, ecológicos,

hidrogeológicos, etc., que, analizados íntegramente, permiten definir la aptitud productiva de las tierras, elegir áreas de desarrollo prioritario, o establecer el tipo e intensidad de los estudios de mayor detalle.

La aparición en los últimos años de las imágenes satelitarias, merced a la gran superficie que abarcan, aceptable exactitud planimétrica y posibilidad de repeticiones, ha contribuido a transformar la cartografía esquemática o de reconocimiento, en un documento técnico-científico exacto, expeditivo y barato. Lamentablemente existe una notoria falta de información sobre las características técnicas, posibilidades interpretativas y limitaciones prácticas de tales imágenes, para nuestras condiciones ambientales, a lo cual se agrega la carencia de criterios metodológicos sobre su empleo en pequeña escala.

En el presente trabajo se efectúa una contribución al conocimiento de la fisiografía y los suelos en un área que tipifica las condicio-

* Facultad de Ciencias Naturales - Univ. Nac. de Tucumán, Fundación Miguel Lillo.

nes de la extensa región del chaco semi-árido y sub-húmedo, y al propio tiempo, se proponen criterios metodológicos para la ejecución de estudios regionales mediante imágenes LANDSAT, de cuya interpretabilidad, ventajas y limitaciones cartográficas, se efectúa una evaluación.

I – DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

Situada en la transición entre las regiones pampeana y chaqueña, el área incluye cinco grandes unidades fisiográficas*, cuya denominación indica un carácter morfogenético distintivo unido a su toponimia tradicional. El mapa incluido en el presente trabajo constituye una síntesis esquemática del mapeo de reconocimiento a escala 1:500.000.

I.a. – La planicie eólica pampeana

Como prolongación septentrional de la llanura pampeana, esta unidad presenta elementos geomórficos característicos de la misma, coexistiendo esporádicamente con formas propias del ambiente chaqueño.

Morfogénesis

La génesis y evolución de la unidad está dominada por la influencia de un período sub-actual de erosión-sedimentación loésica, cuyos paleorasgos, aunque enmascarados por la ocupación agrícola, caracterizan el paisaje actual.

Los materiales loésicos que con marcada homogeneidad cubren toda la unidad, expresarían condiciones formacionales áridas a semi-áridas cuya edad, a partir de las investigaciones de TRICART (1971), debería atribuirse al último período glacial**. Sin embar-

go, las evidencias de la existencia de un acontecimiento holoceno árido —posterior al pluvial post-glacial de GROEBBER (1958)— surgen al comparar en la llanura chaqueña, la menor pedogénesis de los suelos de loess en relación a los desarrollados sobre las formas paleofluviales atribuidas a dicho período pluvial.

El modelado eólico se manifiesta fundamentalmente por una dinámica de deflación, expresada en planos ondulados, cubetas y dunas parabólicas, en gran parte enmascaradas por la vegetación natural o cultivada. Las cubetas de deflación aparecen transformadas en cubetas hidro-eólicas a consecuencia de un período húmedo post-deposicional, también manifiesto en las características edáficas.

Los procesos morfodinámicos actuales están representados por la erosión mantiforme y remoción de masa lenta, provocados por la deforestación y el sobrepastoreo, situación reiterada en toda el área en estudio.

Relaciones relieve-suelo

En la distribución regional de los suelos, se comprueba una estrecha relación entre el gradiente de precipitaciones y el desarrollo edáfico. Paralelamente con el incremento de precipitaciones, los suelos adquieren mayor desarrollo en dirección noroeste a sureste, pasando de Haplustoles típicos y arídicos en la porción noroccidental a Argiustoles típicos y údicos en el sureste.

Las unidades fisiográficas menores y suelos predominantes en esta unidad, son las siguientes:

- Aa. Suelos de los planos suavemente ondulados, bien a moderadamente bien drenados, de texturas medias, moderadamente erosionados (Haplustoles típicos).
- Ab. Suelos de los planos con patrón dunario antiguo poco manifiesto, bien drenados, de texturas medias, moderadamente erosionados (Haplustoles típicos).
- Ac. Suelos de los planos ondulados con cubetas hidroeólicas, bien a imper-

* El término "fisiografía" se emplea como sinónimo de "geomorfología", indicando la parte del paisaje natural que coincide con un patrón característico de suelos.

** Tricart caracterizó las condiciones ambientales de los períodos glaciales del Cuaternario en la llanura pampeana, como frías y secas, alternantes con períodos cálidos y húmedos en los interglaciales.

fectamente drenados, texturas medias, moderadamente anegables (Argiustoles típicos y uftálficos).

- Ad. Suelos de los planos deprimidos, bien a moderadamente bien drenados, texturas medias, moderadamente anegables (Haplustoles ácuicos).

I.b. La antigua planicie de divagación del Salado-Juramento

El área en estudio constituye la prolongación meridional de la planicie chaqueña occidental, cuyo rasgo geomorfológico distintivo son las formas relictuales de un antiguo sistema fluvial del Salado-Juramento, que divagó sobre gran parte del territorio de las provincias de Santiago del Estero y Chaco.

Prácticamente sobreimpuesta a la planicie eólica pampeana, la morfología de esta unidad muestra la coexistencia de un relieve típicamente eólico, junto a formas paleofluviales sepultadas o inactivas.

Morfogénesis

El desarrollo de dicho sistema se encuentra relacionado a un período húmedo del Holoceno, caracterizado por una dinámica fluvial de gran competencia, susceptible de trasladar materiales a largas distancias, favorecida por la existencia de una cubierta loésica más antigua, que al impermeabilizar el terreno, facilitaba el escurrimiento.

El patrón morfológico es el de cauces o encauzamientos, en parte sepultados o invadidos por la vegetación natural, que alternan con planos interfluviales eolizados. El diseño de escurrimiento es irregular, a veces rectilíneo, otras meandriforme o entrelazado, lo que evidencia una dinámica construccional de corrientes relativamente potentes pero efímeras, al carecer de recurrencia deposicional.

Se distinguen dos paleoformas características, los paleocauces típicos y las expansiones de derrame. Los paleocauces presentan un albardón de altura variable, con un cauce que aún mantiene los rasgos distintivos del primitivo

perfil convexo. Las expansiones de derrame, desarrolladas a consecuencia de los cambios locales de gradiente topográfico, se asemejan a un abanico aluvial, tanto por sus caracteres morfográficos como granulométricos.

Relaciones relieve-suelo

Se observa también en esta unidad una estrecha relación a nivel regional entre desarrollo pedogenético, y gradiente de precipitaciones. En tal sentido, los Haplustoles típicos del límite norte de la llanura pampeana, dan paso a Haplustoles arídicos y Salortids en el occidente de la unidad. A nivel local se evidencia la influencia de los paleocauces en el mayor desarrollo pedogenético, expresada por la presencia de Haplustoles énticos en un área con predominio de suelos arídicos.

Las unidades fisiográficas menores y suelos predominantes, son los siguientes:

- Ba Suelos de los planos interfluviales con cubierta loésica, bien drenados, de texturas medias, ligeramente alcalinos (haplustoles típicos).
- Bb Suelos de los planos interfluviales con paleocauces sepultados, bien a algo excesivamente drenados, de texturas medias a gruesas (Haplustoles énticos y arídicos).
- Bc Suelos de los planos interfluviales con expansiones de derrame degradadas a algo excesivamente drenados, ligera a moderadamente salinos (Haplustoles típicos y salortídicos).
- Bd Suelos de los planos interfluviales con expansiones de derrame mantiforme, bien a algo excesivamente drenados, de texturas medias (Haplustoles arídicos y énticos).

I.c. La planicie aluvial de derrame del Salado

La baja cuenca del río Salado, en la parte sureste de Santiago del Estero, muestra las condiciones típicas de los ríos que discurren por la chata llanura chaqueña; recurrencia de inundaciones estacionales, periódicamente in-

crementadas a un grado catastrófico por influencia de la ocupación de las tierras a lo largo y ancho de su cuenca.

Morfogénesis

La epigenia del curso actual del río Salado es un punto aun no esclarecido. Una hipótesis interpreta que el mismo se instaló en un período muy reciente del Holoceno como culminación de su divagar hacia el sureste, integrando el sistema paleofluvial del Salado-Juramento. Otra posibilidad es que el mismo haya coexistido contemporáneamente con el desarrollo de dicho sistema, formando parte de la baja cuenca del río Dulce, para posteriormente ocupar la traza actual por transfluencia o captura.

Cualquiera sea su origen, en la evolución morfogenética del cauce actual se destacan dos períodos claramente expresados en sus elementos geomórficos internos. El primero, previo a la ocupación antrópica, caracterizado por el desarrollo de la faja de meandros, los albardones y depresiones de pantanos fluviales, indicios de un típico régimen construccional de derrame. El restante período se inicia con la tala de las extensas masas forestales situadas en el área de influencia del río, que provocaron la degradación de los suelos y el transporte de los materiales denudados, iniciando un proceso de colmatación que se vio acelerado al producirse la ocupación agrícola.

La progresiva colmatación del cauce, unido al aumento del escurrimiento por deterioro de la infiltración de los suelos, intensificaron las inundaciones normales o extraordinarias cubriendo extensas superficies anteriormente no anegables, con sus efectos perjudiciales sobre los suelos, la vegetación y el agua subterránea.

Relaciones relieve-suelo

Como consecuencia del proceso descripto, la morfogénesis no solamente ha condicionado la primitiva pedogénesis, sino que también los procesos geomórficos actuales están trans-

formando aceleradamente los caracteres endógenos de muchos suelos. En los planos interfluviales no anegables aun subsisten suelos bien drenados, sin problemas hidromórficos (Haplustoles), que han dado lugar en las áreas transformadas en inundables, a suelos hidromórficos y alcalinos (Argiustoles uftálficos y Natracualfs).

Las unidades fisiográficas menores y suelos predominantes son los siguientes:

- Ca. Suelos de la faja de meandros, bien a imperfectamente drenados, de texturas medias a finas, ligera a moderadamente alcalinos (Salortids Haplustoles énticos).
- Cb. Suelos de los planos interfluviales no anegables, bien drenados, de texturas medias, ligera a moderadamente alcalinos (Haplustoles típicos y salortídicos).
- Cc. Suelos de los bajos de anegamiento periódico, moderadamente bien a imperfectamente drenados, de texturas medias a finas, ligera a moderadamente alcalinos (Argiustoles údicos y uftálficos).
- Cd. Suelos de los bajos de inundación estacional, imperfectamente drenados, texturas finas, moderada a a fuertemente alcalinos (Natracualfs y Argiustoles uftálficos).

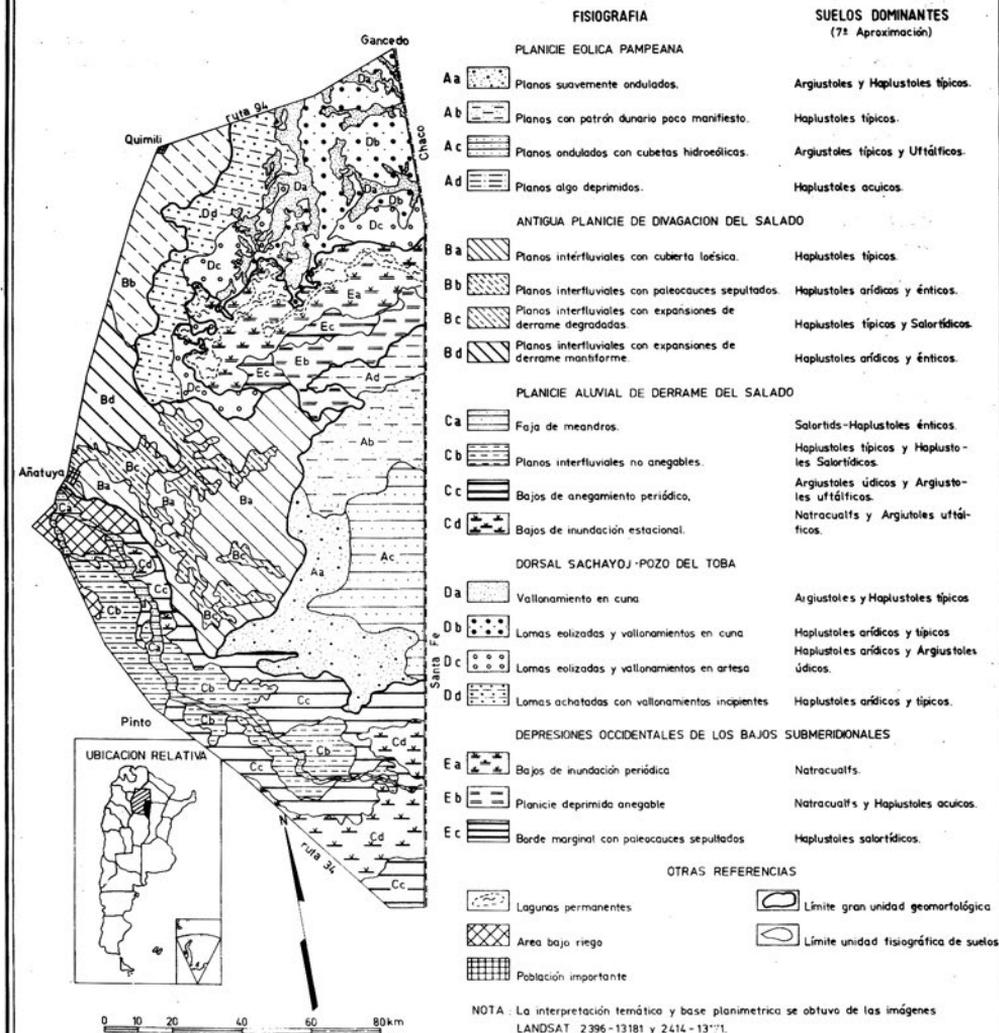
I.d. El dorsal Sachayoj-Pozo del Toba

Alterando la extrema uniformidad de la llanura chaqueña occidental, en el centro-este de la provincia de Santiago del Estero aparece un conjunto de suaves elevaciones y valles someros, que se extiende de suroeste a noreste con ancho decreciente, en una extensión de aproximadamente 150 kilómetros.

Se le denomina dorsal por la evidente influencia estructural de su estilo geomorfológico, manifiesto en la posición regional más elevada, el rumbo meridiano del borde oriental que lo separa de los bajos sub-meridionales, y la recurrencia de elementos geomórficos internos.

MAPA FISIOGRAFICO DE SUELOS DEL SURESTE DE SANTIAGO DEL ESTERO

(REPUBLICA ARGENTINA)



Morfogénesis

El modelado de esta unidad —posterior a la tectogénesis primitiva— está dominado por una dinámica erosiva, claramente expuesta en los vallamientos en cuna y en artesa. Las suaves explanadas que confluyen en talwegs someros sin escurrimiento encausado, indican una evolución bajo clima árido a semi-árido en que la arroyada mantiforme llanurizaba el relieve y transportaba los materiales finos hacia los talwegs.

Un período árido más reciente (¿Holoceno?), precedido por un acontecimiento húmedo que no afectó el estilo geomórfico anterior, cubrió el área con un manto loésico relativamente potente que “fossilizó” el relieve y obstruyó la red de drenaje, cuyo reordenamiento se realiza dificultosamente en las condiciones ambientales actuales.

Particular importancia en la evolución geomorfológica del área, adquiere un período sub-actual de intensa erosión hídrica, provocada por la desaparición de las masas forestales que cubrían la región. Favorecidos por las mayores pendientes y la alta erodibilidad de los materiales loésicos, los procesos de erosión hídrica en surcos y aún en cárcavas, alcanzaron un grado severo. La regeneración de la vegetación natural posterior al obraje, facilitó la estabilización de las formas erosivas, aunque la etapa agrícola ya iniciada probablemente contribuya a reiniciar el proceso, a menos que se apliquen las prácticas conservacionistas adecuadas.

Relaciones relieve-suelo

El concepto de que “todo suelo es un paisaje” se evidencia en esta unidad con gran claridad. En los vallamientos la pendiente condiciona el escurrimiento y el consecuente desarrollo edáfico, encontrando Argiustoles údicos en los talwegs y Haplustoles típicos en las pendientes medias y altas. Los planos interfluviales eolizados, cubiertos con materiales loésicos poco modificados, presentan suelos con menor desarrollo genético (Haplustoles arí-

dicos). Aunque supeditado a la influencia del relieve local o regional, también es perceptible en el desarrollo edáfico la disminución de precipitaciones hacia el oeste, que se manifiesta en la presencia creciente de suelos arídicos.

Las unidades fisiográficas menores y suelos predominantes son los siguientes:

- Da. Suelos de los vallamientos en cuna, bien drenados, de texturas medias, ligeramente erosionados (Argiustoles y Haplustoles típicos).
- Db. Suelos de las lomas eolizadas con vallamientos en cuna, bien a algo excesivamente bien drenados, de texturas medias, ligeramente alcalinos y moderadamente erosionados (Haplustoles arídicos y típicos).
- Dc. Suelos de las lomas eolizadas con vallamientos en artesa, bien drenados, de texturas medias a finas, ligeramente alcalinos y moderadamente erosionados (Haplustoles arídicos y Argiustoles údicos).
- Dd. Suelos de las lomas achatadas con vallamientos incipientes, bien a algo excesivamente drenados, texturas medias a gruesas, ligeramente alcalinos y moderadamente erosionados (Haplustoles arídicos y típicos).

I.e. Depresiones occidentales de los Bajos Sub-meridionales

Al sur del dorsal Sachayoj-Pozo del Toba, contrastando con el estilo morfoestructural del mismo, aparecen un conjunto de depresiones de concentración salina que se prolongan hacia el este de los Bajos Sub-meridionales santafecinos.

Morfogénesis

Los elementos geomórficos internos más conspicuos son las lagunas saladas, los planos deprimidos anegables y el borde marginal colineado. Las primeras, constituyen los colec-



Imágenes LANDSAT (banda 7) obtenidas el 22 de febrero y 11 de marzo de 1978.

tores principales de los escurrimientos provenientes de las áreas circunvecinas. Sujetas a las fluctuaciones estacionales y multianuales, la dinámica hídrica tiene un carácter irregular que se manifiesta en la variabilidad del área ocupada por los cuerpos lénticos. En la actualidad han perdido su diseño primitivo por colmatación y aumento del área de inundación periódica, confundiendo con la extensa planicie deprimida anegable, que se prolonga al oriente en los Bajos Sub-meridionales y hacia el sureste en la planicie eólica pampeana.

Un conjunto de lomadas achatadas con aspecto de albardones, flanquea las depresiones por el sur y suroeste. El carácter salino de sus materiales indicaría que se formaron durante un período árido en que las lagunas —constituidas en verdaderas salinas— transformaban los materiales finos en micropoliedros y/o pseudoarenas, que el viento depositaba en las áreas periféricas. Cuando estas lomadas disminuyen su altitud, aparecen aisladamente paleocauces del antiguo sistema del Salado, lo que encierra implicancias morfoevolutivas de interés.

A pesar de haber sido afectadas por las fluctuaciones paleoclimáticas ya citadas para las restantes unidades, son los procesos morfoevolutivos actuales los que adquieren mayor relevancia en el modelado del relieve.

La degradación de las áreas más elevadas provocó el aumento del escurrimiento normal, por disminución de la infiltración de los suelos, y paralelamente, el transporte de los materiales denudados hacia las depresiones. El efecto más directo de su colmatación se manifestó en el extraordinario aumento de las áreas de inundación periódica y su incidencia sobre los suelos y la vegetación, anteriormente no sujetos a anegamiento. Asimismo, afectando una superficie mayor aún, la capa freática cercana, ha provocado la salinización y saturación de los suelos y la degradación de las comunidades no salinas.

Relaciones relieve-suelo

En esta unidad, el desarrollo de los suelos no sólo está condicionado por el relieve,

sino que los caracteres pedogenéticos confirman las etapas de la evolución geomorfológica descrita. Se observa así en los planos de anegamiento permanente, el predominio de suelos halo-hidromórficos (Natracualfs), mientras que en la planicie esporádicamente anegable y en el borde marginal, antiguos suelos de pradera (Haplustoles), aparecen hoy afectados por condiciones hidromórficas (Haplustoles ácuicos) o halomórficas (Haplustoles salortídicos).

Las unidades fisiográficas menores y suelos predominantes son los siguientes:

- Ea. Suelos de los bajos de inundación periódica, imperfectamente drenados, de texturas finas, fuertemente alcalinos (Natracualfs).
- Eb. Suelos de la planicie deprimida anegable, moderadamente bien a imperfectamente drenados, de texturas medias a finas, moderada a fuertemente alcalinos (Natracualfs y Haplustoles ácuicos).
- Ec. Suelos del borde marginal con paleocauces sepultados, bien drenados, de texturas medias, ligera a moderadamente salinos (Haplustoles salortídicos).

II. LA CARTOGRAFIA TEMÁTICA A PEQUEÑAS ESCALAS

A pesar de su utilidad en diversos aspectos del desarrollo regional, sólo en los últimos años se ha comenzado a prestar atención en nuestro país, a los levantamientos de tipo exploratorio o de reconocimiento. No fue ciertamente el desconocimiento de sus posibilidades aplicadas, causa de esta situación; limitaciones referidas a la pobre confiabilidad planimétrica y excesiva generalización de la información, contribuyeron a disminuir la utilidad práctica de tales trabajos.

La falta de una base planimétrica confiable, ha constituido un escollo importante para la obtención de cartas fidedignas. Las reducciones de mosaicos aéreos de mayor escala, trasladaban las distorsiones de las fotografías aéreas originales al mapa final. A su vez, la pla-

nialtimetría regular a pequeña escala, generalmente efectuada por compilación, no ofrecía fidelidad aceptable. En suma, "la realización de este tipo de levantamiento fue considerada difícil y extremadamente costosa, salvo en las regiones en que su confección era posible a través de la compilación de cartografía de mayor detalle, ya existente" (VAN BARNEWELD, 1971).

La aparición de las imágenes satelitarias (LANDSAT) abrió favorables perspectivas para eliminar tales obstáculos, pues la cobertura uniforme, confiabilidad planimétrica y la posibilidad de reproducción a diversas escalas, aumentaron su exactitud planimétrica, mientras que la mayor resolución y carácter multispectral, beneficiaron su interpretabilidad.

Tipos de levantamientos

Los levantamientos exploratorios y de reconocimiento de la fisiografía y los suelos pueden agruparse en: 1) los basados exclusivamente en las propiedades de los suelos, donde las unidades mapeadas se definen en términos convencionales de morfología y clasificación taxonómica; y 2) los multidisciplinarios o "levantamientos integrados" definidos en términos de relaciones paisaje-suelo.

Las exigencias del desarrollo económico justifican la necesidad del inventario multidisciplinario de los recursos naturales con sus ventajas en cuanto a rapidez, integralidad y economía. "Un cuidadoso trabajo integrado, con una buena información sobre los suelos y su relación con la fisiografía —obtenida con un adecuado estudio de campo, buena correlación taxonómica y determinación de las limitaciones de uso— puede resultar de tanta o mayor aplicación que cualquier método convencional" (ETCHEVEHERE, 1976).

Aspectos metodológicos

La ejecución de un mapeo de reconocimiento a escala 1:500.000 del sureste de la provincia de Santiago del Estero, mediante la intensa utilización de las imágenes LAND-

SAT, motivó la definición de algunos criterios, que permitirán adecuar los aspectos conceptuales conocidos al empleo de las imágenes satelitarias.

La metodología propuesta tal como se ve en el diagrama adjunto, se ha dividido en tres grandes etapas, cada una igualmente importante y de cuyo cumplimiento dependerá la calidad del producto final.

a) PLANEAMIENTO

En la fase inicial se deberá definir el propósito del levantamiento y establecer los objetivos que deberán alcanzarse para obtener el resultado deseado. Esto implica decisiones acerca de la escala y demás características del mapa final, lo cual, a su vez, requiere una cuidadosa elección de las imágenes satelitarias, mapa base y material de referencia.

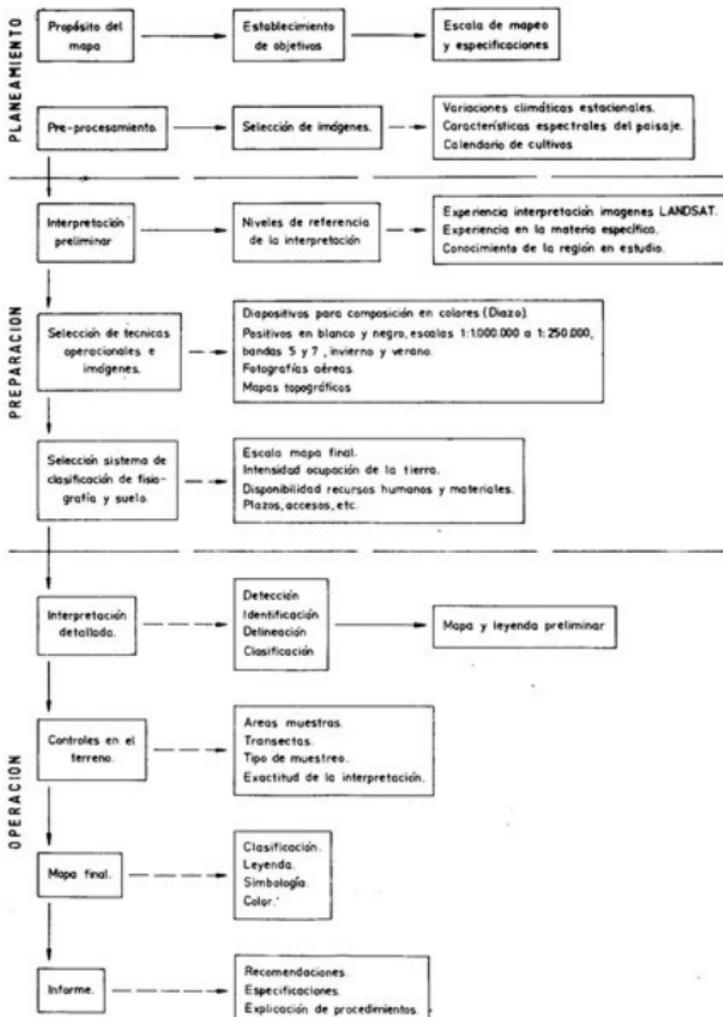
Particular atención deberá prestarse a la elección de las características que deberán presentar las imágenes. En áreas de ocupación agrícola será importante conocer el calendario de los cultivos predominantes para seleccionar el período más favorable para la delimitación de las unidades fisiográficas de suelos a través de las imágenes satelitarias. En áreas con vegetación natural, será importante conocer su respuesta a las variaciones climáticas estacionales y, particularmente, las características espectrales de las diversas fisonomías en relación a tales cambios.

b) PREPARACION

La importancia de esta etapa surge de la íntima relación existente entre los diferentes pasos que la integran. La interpretación preliminar permite definir la metodología y tipo de clasificación, lo que a la vez condiciona las técnicas interpretativas.

La interpretación preliminar reposa sobre tres aspectos esenciales: experiencia en la interpretación de imágenes LANDSAT, conocimiento de la materia en estudio y de la región relevada. Considerando la notoria falta de información básica en extensas regiones del país, la

DIAGRAMA DE UN MAPEO DE SUELOS A PEQUEÑA ESCALA
MEDIANTE EL EMPLEO DE IMAGENES LANDSAT



interpretación será más eficientemente realizada por quien tenga un buen conocimiento del área en estudio.

La elección del sistema de clasificación en fisiografía y suelos, se basa en aspectos tan diversos como la escala del mapa final, el tipo e intensidad de la ocupación de la tierra, la disponibilidad de recursos humanos y financieros, las posibilidades de accesos, etc. En el estudio del sureste de Santiago del Estero se empleó el "análisis fisiográfico" de GOOSEN, basado en la interdependencia entre fisiografía y condiciones externas e internas de los suelos, por adaptarse perfectamente al empleo de imágenes LANDSAT. Respecto al material satelitario para relevamientos de pequeña escala en el Chaco semiárido y subhúmedo, nuestra recomendación es la siguiente: diapositivos a escala 1:1.000.000/banda (4,5 y 7) para la confección de imágenes "diao" en falsos colores; copias en blanco y negro a escala 1:500.000 (bandas 5 y 7) de los períodos secos y húmedos, dentro del ciclo anual normal y, eventualmente, una copia en blanco y negro a escala 1:250.000 (banda 5), para ser utilizada como base planimétrica y control de campo.

Las técnicas de mejoramiento óptico de la imagen ofrecen una amplia gama, adecuada a todas las posibilidades económicas, pudiéndose optar, entre otras, por magnificación monocular, magnificación binocular, estereoscopia, mezcla de imágenes, proyector de adición de colores, etc.

c) OPERACION.

Con los materiales y técnicas de mejoramiento óptico seleccionadas en la etapa anterior, se inicia la interpretación detallada mediante los criterios tradicionales de detección, identificación, delineación y clasificación, para producir la leyenda y mapa preliminar. La obtención de esta información preliminar implica definir el tipo de material a incluir, los colores y símbolos de las diferentes categorías, la integración de las unidades cartográficas, etc.

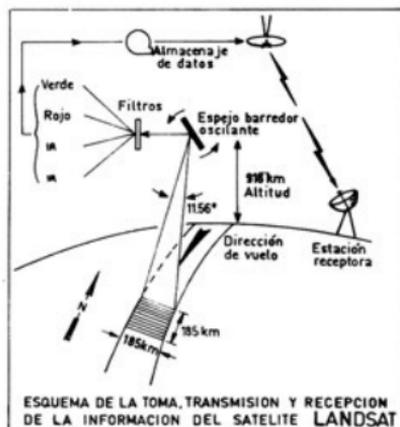
Los controles en el terreno dependen

también del método elegido, características topográficas, complejidad del patrón fisiográfico, accesos, etc. En el presente trabajo, aprovechando la buena infraestructura vial existente, se realizaron transecciones que permitieron un muestreo eficaz y un control expeditivo de la exactitud de la interpretación.

III - INTERPRETABILIDAD DE LAS IMÁGENES "LANDSAT"

El satélite LANDSAT

Desde el año 1972 (LANDSAT I) y 1975 (LANDSAT 2), (*) estos satélites han estado girando alrededor del globo, transmitiendo información relativa fundamentalmente a los recursos naturales y en menor grado sobre aspectos sociales y económicos.



El satélite LANDSAT pesa 950 kg y mide 3 m de alto por cuatro de ancho con sus paneles solares extendidos. Viaja a una altitud de 920 km en una órbita circular, casi polar. Efectúa 14 órbitas por día (103 minutos/ór-

* El 5 de marzo de 1978 fue lanzado el LANDSAT 3.

bita) y repite su paso por cualquier punto de la superficie terrestre cada 18 días, aproximadamente a las 9,30 horas A.M. en el Ecuador. En cada paso del satélite los aparatos de detección cubren una faja de 185 km de ancho; un día más tarde pasa por un punto a la altura del Ecuador, 170 km al oeste de la antedicha, cubriendo también una franja contigua de 185 km de ancho. Esto aporta un 14% de recubrimiento en el Ecuador, el que se incrementa a 19% a los veinte grados y 34% a los cuarenta.

Las imágenes satelitarias

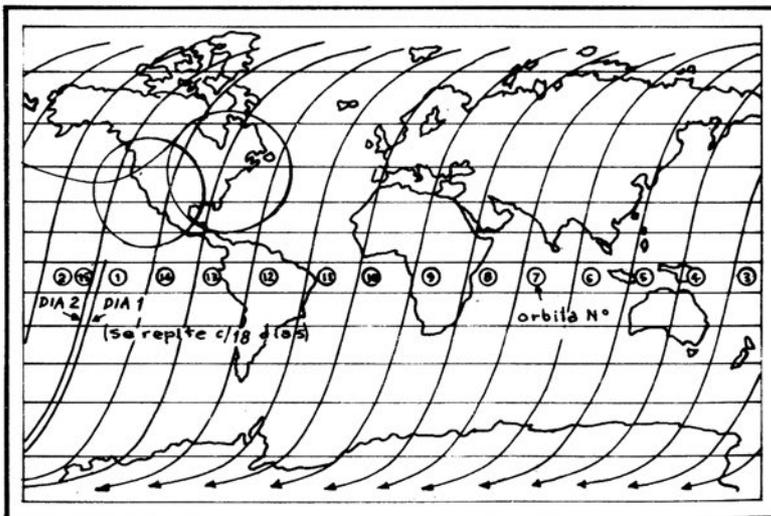
Las imágenes se obtienen mediante un detector multispectral constituido por un radiómetro de cuatro canales que "barre" la superficie terrestre en un ancho de 185 km, registrando la intensidad de energía reflejada por los diversos objetos y elementos del paisaje. El detector es sensible a la radiación dentro de la región visible y parte de la infrarroja del espectro electromagnético, entre las longitudes de onda de 0,5 a 1,1 micrómetros. En otras palabras, la energía reflejada con una distribución espectral o longitud de onda distintiva para ca-

da objeto, es selectivamente registrada por el detector en cuatro pequeñas porciones del espectro.

Cada señal individual es trasladada por banda radial hacia las estaciones receptoras en tierra y reproducida en una imagen LANDSAT como una célula gráfica o "pixel". Cada "pixel" cubre un área de aproximadamente 80 x 80 m de la superficie del terreno, que constituye la resolución de la imagen al no representar objetos menores a dicha superficie. Se requieren aproximadamente seis millones de "pixels" para completar una imagen que cubre una superficie aproximada a los 35.000 km².

El LANDSAT posee también el sistema llamado "return beam vidicon" constituido por tres cámaras de televisión que pueden fotografiar la misma porción de la superficie terrestre en tres diferentes bandas espectrales. Luego de funcionar correctamente durante las primeras semanas en el LANDSAT I, debido a un problema técnico, este sistema dejó de funcionar y, aunque en el LANDSAT 2 funciona normalmente, se lo reserva para tareas de prueba o situaciones de emergencia.

Adicionalmente a la capacidad de transportar aparatos de detección, el LANDSAT



Típico recorrido diario del Satélite LANDSAT

sirve como satélite de comunicaciones para transmitir datos hidrológicos, meteorológicos, sismográficos o ecológicos, desde remotas plataformas terrestres hasta las estaciones receptoras centrales.

Interpretabilidad de las imágenes LANDSAT

La falta de criterios objetivos relativos a la interpretación de aspectos fisiográficos y/o edáficos mediante imágenes satelitarias, en las condiciones ambientales de nuestro país, nos llevó a efectuar una evaluación de las diversas posibilidades de interpretación, que permitiera definir pautas aplicables en la extensa región conocida como el chaco semi-árido y sub-húmedo.

Se tomaron en consideración características espaciales, temporales y espectrales de las imágenes.

Características especiales: se emplearon copias en blanco y negro a escalas 1:1.000.000, 1:500.000 y 1:250.000 que constituyen el formato más común dentro de este tipo de material.

Características temporales: se emplearon imágenes tomadas en la estación más húmeda, más seca y de transición, considerando los marcados contrastes climáticos estacionales y su influencia en la interpretabilidad de las imágenes.

Características espectrales: se utilizaron las siguientes imágenes:

- banda 5 (0,6 a 0,7 micrómetros)
- banda 7 (0,8 a 1,1 micrómetros)
- en falsos colores (sistema "diazó")

Carácter de la información obtenible

Considerando la amplitud de la información obtenible sobre fisiografía y suelos, incrementada con las diversas combinaciones espaciales, temporales y espectrales, se decidió evaluar separadamente la aptitud de las imágenes para reflejar aspectos fisiográficos y edáficos en cuanto a su distribución, caracterización, dinámica y aptitud.

DISTRIBUCION (Ubicación planimétrica, extensión areal, homogeneidad o heterogeneidad, patrones distintivos, etc.)

Se comprobó respecto a las características espaciales, que las escalas 1:500.000 y 1:250.000 ofrecían mayores ventajas, siendo las primeras, más aptas, utilizadas como base topográfica y las segundas para la realización de los controles en campaña. En los aspectos temporales, se encontró mayor definición en las imágenes de verano, ya que durante la

INTERPRETABILIDAD DE ASPECTOS EDÁFICOS A TRAVÉS DE LAS IMÁGENES LANDSAT

| CALIFICACION | |
|--------------|-----------|
| ++ Buena | □ Regular |
| + Aceptable | - Mala |

| INFORMACION OBTENIBLE | CARACTERISTICAS DE LAS IMAGENES | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|-----------|----|------------|----------|-------------------|-------------|---------|-------------|----------------|
| | ESPACIALES | | | TEMPORALES | | | ESPECTRALES | | | |
| | Escala | | | Verano | Invierno | Multiestacionales | Banda 5 | Banda 7 | Banda 5 y 7 | Falsos colores |
| 1:1.000.000 | 1:500.000 | 1:250.000 | | | | | | | | |
| DISTRIBUCION (ubicación, extensión, ordenamiento espacial) | □ | + | + | + | □ | ++ | + | + | ++ | ++ |
| CARACTERIZACION (textura, drenaje, permeabilidad, etc.) | - | □ | □ | + | □ | + | + | □ | + | + |
| DINAMICA (anegabilidad, inundabilidad, erosión, etc.) | □ | ++ | + | + | + | ++ | + | + | ++ | ++ |
| APTITUD (agrícola, pasturil, forestal) | □ | + | ++ | □ | □ | + | □ | + | + | ++ |

estación seca disminuyen los contrastes espectrales. En tal sentido, se obtuvieron buenos resultados mediante la comparación de la interpretación estival e invernal.

La mayor interpretabilidad desde la perspectiva espectral, se encontró en la combinación de las bandas 5 y 7 en blanco y negro, que por su menor variación tonal homogeneiza los patrones y facilita la definición de unidades, mientras que en la interpretación detallada, la riqueza tonal de la imagen en falsos colores permite advertir cualquier anomalía o elemento de interés a los fines cartográficos.

CARACTERIZACION: (Textura, fertilidad, drenaje, permeabilidad, etc.).

Las características endógenas de los suelos fueron pobremente expuestas. Las distintas escalas no ofrecieron mayor diferencia salvo la mayor limitación de la escala 1:1.000.000.

Las observaciones multiestacionales y especialmente las efectuadas sobre las imágenes estivales, permitieron una mejor definición de las condiciones del drenaje interno, por el aumento de los contrastes espectrales derivados de las diferencias de humedad edáfica.

La combinación de bandas 5 y 7 y las imágenes en falsos colores, aportaron una mayor información acerca de la textura y el drenaje, particularmente mediante los indicios indirectos de la vegetación, pero con una sensible limitación en la interpretabilidad de dichos aspectos.

DINAMICA: (Inundabilidad, erosión, anegabilidad, acción antrópica, etc.).

La variabilidad de la reflectancia espectral y particularmente la posibilidad de obtención de imágenes secuenciales en cortos períodos, asigna a los aspectos de la dinámica ambiental las mayores posibilidades de interpretación a través de las imágenes satelitarias.

Dentro de las características espaciales, la escala 1:500.000 aparece como más conve-

niente debido a que permite el análisis de conjunto, bastante atenuado en las escalas mayores.

La secuencia multiestacional aportó la mejor combinación en respuesta a la variabilidad espectral del área en estudio, derivada de su considerable irregularidad climática.

Una combinación de bandas 5 y 7 facilita el análisis de los aspectos dinámicos del paisaje por su sensibilidad espectral a los cambios de la vegetación y las condiciones hídricas del terreno respectivamente.

APTITUD (agrícola, pasturil, forestal, uso actual de la tierra).

La aptitud de uso del suelo "sensu stricto" es un factor de difícil estimación a través de las imágenes LANDSAT. Solo los aspectos de la ocupación actual de la tierra presentan mayores posibilidades de determinación.

Conclusiones

La interpretabilidad de los aspectos edáficos a través de las imágenes LANDSAT es detallada en el cuadro adjunto, del cual se infieren las siguientes conclusiones:

- 1.— Los aspectos relativos a la dinámica ambiental (inundabilidad, erosión, evolución de la vegetación natural o cultivada) presentan la mayor interpretabilidad.
- 2.— La distribución espacial (ubicación, extensión, homogeneidad, etc.) de las unidades edáficas y fisiográficas admiten aceptable definición.
- 3.— Los caracteres endógenos de los suelos (textura, estructura, drenaje, grado de desarrollo, etc.) y la aptitud productiva de las tierras, son muy pobremente manifiestos.
- 4.— El empleo de imágenes multiestacionales, al resaltar los contrastes espectrales, aumenta considerablemente la información aportada.

- 5.- La combinación de imágenes bandas 5 y 7 y/o en falsos colores, a escala 1:500.000 y 1:250.000, ofrecen las mejores condiciones de interpretación.

BIBLIOGRAFIA

- ETCHEVEHRE P. 1976. Normas de reconocimiento de suelos. 2da. Edición actualizada - Unidad reconocimiento de suelos INTA - Castelar.
- HILWIG, F. W. 1976. Visual interpretation of Landsat imagery for a reconnaissance soil survey of the Ganges river fan, south west of Hardwar, India. *ITC Journal*, 1.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1977. Resource Sensing from space. Washington.
- GROEBER P. 1958. Bosquejo geológico y climatológico de Formosa, Boln Acad. nac. Cienc. 40.
- SAYAGO, J. M. 1976. Utilidad de las imágenes orbitales (LANDSAT) en el inventario de los recursos naturales. IDIA. INTA N° 337-342.
- TRICART, J. 1971. Geomorfología de la pampa deprimida.- Publicación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Buenos Aires.
- VAN BARNEWELD, G. W. 1971. Levantamientos de suelo de reconocimiento. Estación Experimental INTA - Paraná (Inédito).
- VAN GENDEREN, J. L., VASS, P., FLOCK J. 1978. Guidelines for using LANDSAT data for rural land use surveys in developing countries. *ITC Journal*, 1.

JOSE MANUEL SAYAGO

Fundación Miguel Lillo
Miguel Lillo 251
4000 - San Miguel de Tucumán
República Argentina