

LA TELEDETECCIÓN EN LA INVESTIGACIÓN GEOHIDROLÓGICA. BOLSÓN DE MAZÁN. PROVINCIA DE LA RIOJA. ARGENTINA.

Nilda González¹; Jorge A. Gebhard¹ & Mario A. Hernández¹

Resumen - Se muestran ventajas de la aplicación de imágenes obtenidas por percepción remota y métodos aerofotogeológicos, para el desarrollo de planes eficaces y económicamente accesibles en la exploración hidrogeológica de ambientes áridos. Se emplearon aerofotografías monocromas escala 1:50000 e imagen satelitaria Landsat TM, procesándosela digitalmente para obtener una imagen RGB falso color compuesto (bandas 2,4 y 7). La zona de estudio se ubica en Mazán (Pcia. de La Rioja), en el ambiente árido del Noroeste argentino, con una precipitación media anual de 80 mm. Se aplicó un método deductivo en base a las características geológicas de la región y a los principios que rigen la dinámica geohidrológica. En base a la información obtenida, fueron seleccionadas áreas con perspectivas favorables para orientar las investigaciones de campo y la ejecución de perforaciones de exploración y eventualmente, de explotación. El criterio de selección se basó en la fotointerpretación y registro de rasgos significativos como: lineamientos, textura y líneas principales del drenaje, áreas vegetadas y posibles geoformas que representasen áreas de recarga, circulación y descarga de las aguas subterráneas. Esta contribución pretende reflejar una metodología para la generación de información básica y orientación de la búsqueda de agua subterránea, como primera etapa de la prospección.

Palabras clave - Teledetección, geohidrología, regiones áridas.

INTRODUCCIÓN

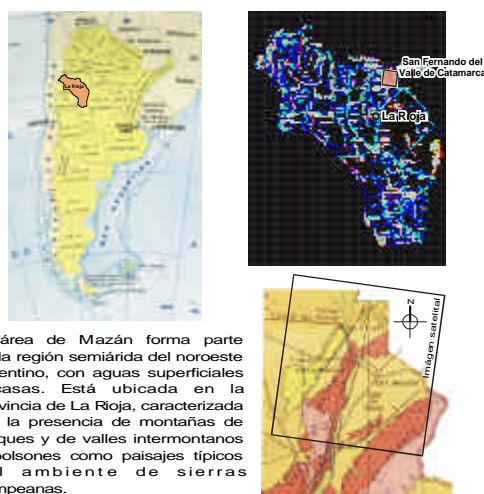
¹ Instituto de Geomorfología y Suelos-CISAUA. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. Calle 3 No 584 (1900) La Plata (BA) Argentina. Tel/Fax + 54 221 229923
E Mail: gebhard@ba.net; marioh@way.com.ar

Las regiones áridas en Argentina ocupan 1.710.000 km², aproximadamente el 61% de la superficie total del país, emplazadas al W y S de la isohieta media anual de 500 mm. Junto con las semiáridas (405.000 km²), superan las 2/3 partes del territorio. Se trata generalmente de comarcas con baja densidad poblacional y por ende, escasa información referente a la hidrología subterránea.

El objetivo de este trabajo es ofrecer un ejemplo de la aplicación de imágenes obtenidas por percepción remota y métodos de fotointerpretación geológica, para el desarrollo de planes eficaces y de bajo costo en la exploración de agua subterránea en estas regiones.

La zona estudiada (Figura 1) esta situada en el Norte de la Provincia de La Rioja (Departamento Arauco) y se caracteriza precisamente por sus condiciones áridas, con una media pluviométrica del orden de los 80 mm/año.

En primer lugar se hará una sintética referencia a las técnicas de teledetección, para luego de caracterizar el área objeto, describir los materiales y métodos utilizados y referir los resultados alcanzados.



Plano de ubicación

LAS TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

Las aerofotografías y los diferentes tipos de imágenes espaciales disponibles en la actualidad constituyen herramientas muy efectivas, especialmente en la prospección geohidrológica de las regiones áridas donde la información básica generalmente es escasa.

En tanto las primeras aportan información de carácter local, las segundas lo hacen sobre grandes superficies. El uso de imágenes multitemporales y multispectrales enriquece la técnica de fotointerpretación. La posibilidad de analizar los datos en forma

analógica y digital por computadora facilita el manejo de un volumen muy grande de información. Su aplicación es tan difundida en las investigaciones geológicas, que la mayor parte de la cartografía temática se realiza en base a estas técnicas, confiriéndole mayor precisión y reduciendo sensiblemente los tiempos y costos de las tareas de campo.

Son muy empleadas las imágenes satelitarias en el estudio de los paisajes de gran extensión y en especial de las áreas desérticas, ya que por la escasez o ausencia de cobertura vegetal y la baja densidad de ocupación espacial, es factible una mayor observación .

Es en estos ámbitos donde se advierten buena cantidad de rasgos geomórficos, las rocas aflorantes exponen sus fracturas y estratificación, se delimitan con facilidad las acumulaciones sedimentarias y geoformas correspondientes (que en determinadas condiciones pueden configurar reservorios de aguas subterráneas) y la vegetación adquiere importancia como indicador de condiciones ambientales.

El análisis de los lineamientos complementa la información geológica y contribuye a orientar la exploración. El principio sobre el cual se basa su registro es de carácter morfológico. Son rasgos lineales naturales rectos o ligeramente curvos, a veces bien marcados, en otros casos sólo identificables mediante un detenido examen. Pueden ser trazos rectilíneos de barrancas, ríos, arroyos, lagunas, alineaciones de salinas, pantanos, dolinas, surgentes, centros volcánicos, crestas o depresiones topográficas elongadas, alineamiento de vegetación, cambios tonales, etc. Aunque no todos los lineamientos mapeables pueden ser atribuidos a un control estructural, se acepta que son líneas significativas de la superficie terrestre que dan una idea de la arquitectura del basamento.

La percepción remota de la vegetación natural brinda elementos de juicio de valor y se constituye en un indicador de condiciones ambientales. Su especialización, por adaptación al medio, puede brindar evidencias sobre profundidad de la zona no saturada, afloramiento de agua, procesos de salinización, etc. En las comarcas áridas, las asociaciones de vegetación con sistemas radiculares que se nutren de las aguas subterráneas (freatófitas) se concentran muy cerca de las zonas de descarga, almacenamiento y cursos de agua, siendo entonces un hidroindicador directo.

Este patrón de distribución contrasta con el de dispersión de la vegetación dominante (xerófitas), adaptada a la conservación del agua procedente de las escasas precipitaciones a través de mecanismos sequío-resistentes.

En general, los rasgos hidrológicamente demostrativos en las imágenes Landsat están relacionados, además de los lineamientos, con la textura de drenaje, líneas

principales de drenaje, áreas vegetadas, geoformas típicas, áreas de recarga, conducción y descarga del agua subterránea.

Finalmente, es de destacar que las imágenes satelitarias y las aerofotografías aportan información de superficie, pero en función del tamaño, forma y disposición de algunos rasgos, pueden reflejar condiciones subsuperficiales.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AREA

El valle de Mazán forma parte de la región árida del Noroeste argentino, con aguas superficiales escasas. Está caracterizada por la presencia de montañas de bloques y valles intermontanos o bolsones, como paisajes típicos del ambiente de las Sierras Pampeanas noroccidentales. La gran mayoría de los bloques, que constituyen los alargados cordones montañosos de la región, muestran regularmente un abrupto flanco oriental y una suave inclinación hacia el Oeste. Estos rasgos representan la zona de escarpa de falla y la pendiente de inclinación del bloque.

La conformación geológica incluye un complejo ígneo – metamórfico, valles cubiertos por sedimentos de gravas, arenas y limoarcilitas, algunos afloramientos de rocas sedimentarias en el W y en el sector pedemontano oriental de la sierra de Mazán y sedimentos de origen eólico en el sector nororiental.

Las pendientes superiores del bloque montañoso occidental (Sierra de Mazán) tienen escasa vegetación pero las inferiores y valles la contienen en forma muy dispersa. El oriental (Sierra de Ambato) ofrece evidencias tonales que reflejan mejores condiciones de humedad para la vegetación.

Los cultivos bajo riego y el uso del suelo con fines agropecuarios se desarrollan lo largo de ambos márgenes del río Salado. Este colector tiene sus nacientes en la Cordillera de los Andes y Sierras de Buenaventura y Fiambalá. Luego de experimentar bruscos cambios de dirección, ingresa en el valle o bolsón de Mazán después de orillar el Salar de Pipanaco. Su alimentación es pluvio-nival y el régimen perenne, finalizando su recorrido en unos bañados próximos a la ciudad de La Rioja, a unos 70 km al Sur del lugar. Experimenta crecidas torrenciales en los meses de Enero-Febrero, con caudales mínimos desde Agosto a Noviembre. El módulo anual para una estación de aforos al Norte de la zona es del orden de 2,5 m³/seg.

La precipitación media anual en la localidad de Mazán, situada en el valle, es de 80mm, con una máxima de 174mm/año y mínima de 20mm/año. La concentración es estival, propia de un régimen atlántico, con una alta variabilidad tanto anual como intranual. Existe una media anual de 11 días con precipitación mayor a 0,3mm. Los

valores pluviales son algo más altos en las cumbres serranas, especialmente en las de Ambato, situadas al naciente. El déficit hídrico anual supera a los 1000mm y la temperatura media anual es de 20° C.

La localidad de Mazán utiliza el agua subterránea para suministro público, reconociéndose prácticas de riego para la producción hortícola y de olivares. El único acuífero importante está en el aluvio del valle aunque ciertas cantidades de agua subterránea también pueden obtenerse de rocas fracturadas y falladas en las áreas montañosas y en las bajadas o conos aluviales coalescentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron fotografías aéreas en emulsión blanco y negro a escala 1:50.000 y subimagen o ventana obtenida a partir de una imagen Landsat TM (Thematic Mapper) de 30 m de resolución espacial, 7 bandas de resolución espectral y 8 bits de resolución radiométrica. Se seleccionó una imagen RGB en falso color compuesto, lograda con las bandas 2,4 y 7 correspondientes a las longitudes de onda del verde, rojo e infrarrojo reflejado, luego de ensayar distintas combinaciones hasta hallar aquella que ofrecía mejor nivel de información. Se obtuvo así una nueva imagen de 24 bits visualizable en el monitor de una PC en 16 millones de colores. Sobre la imagen así formada (Figura 2) fueron aplicadas las funciones: expansión lineal del contraste, selección manual de la intensidad, tono y saturación de color.

Las características del equipo utilizado fueron: Soporte de la imagen, CD Rom; Hardware, PC con procesador Pentium II 300 MHz; Tarjeta gráfica Matrox, Mileniun de 8 MB; 128 MB de memoria Ram; Impresora Hewlett Packard Deskjet 820 Cxi: Papel H.P. satinado, calidad fotográfica; Software, TITUS , Adobe Photoshop 4.1. Corel Draw 7.

Imagen Landsat realizada mediante procesamiento digital.

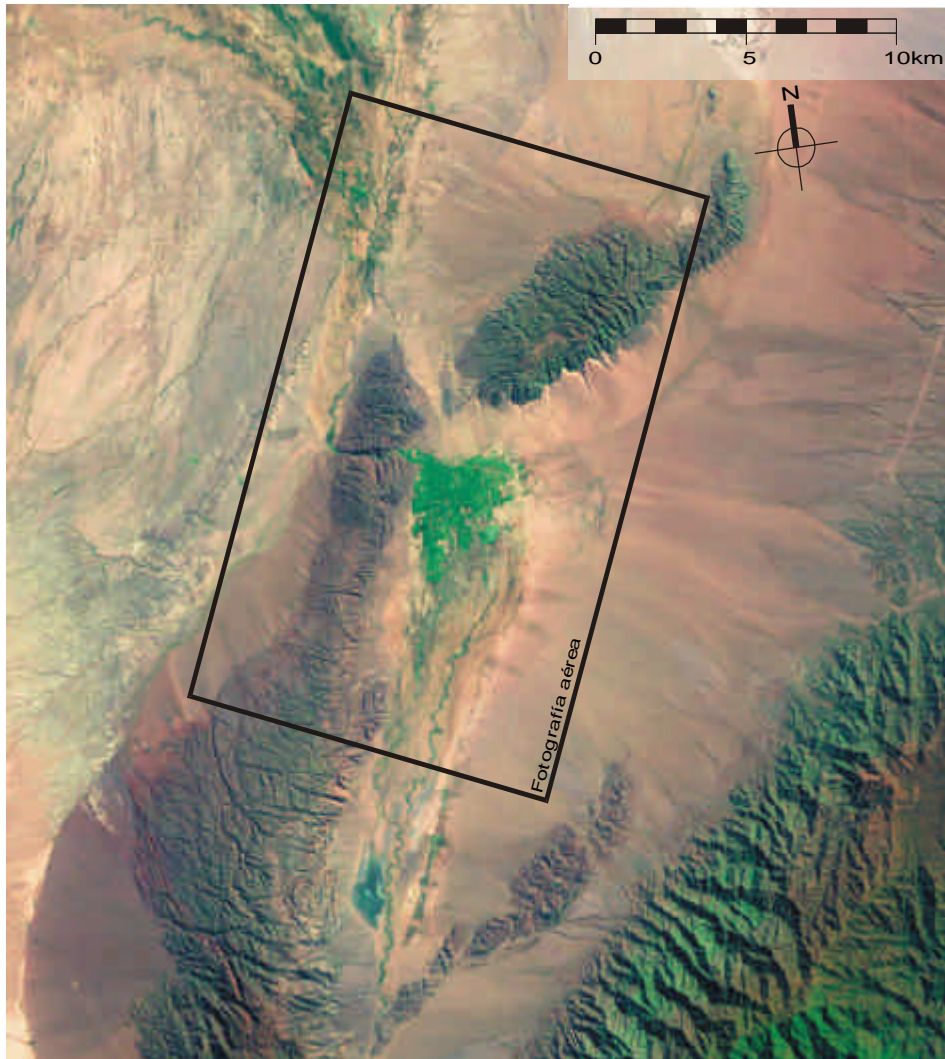
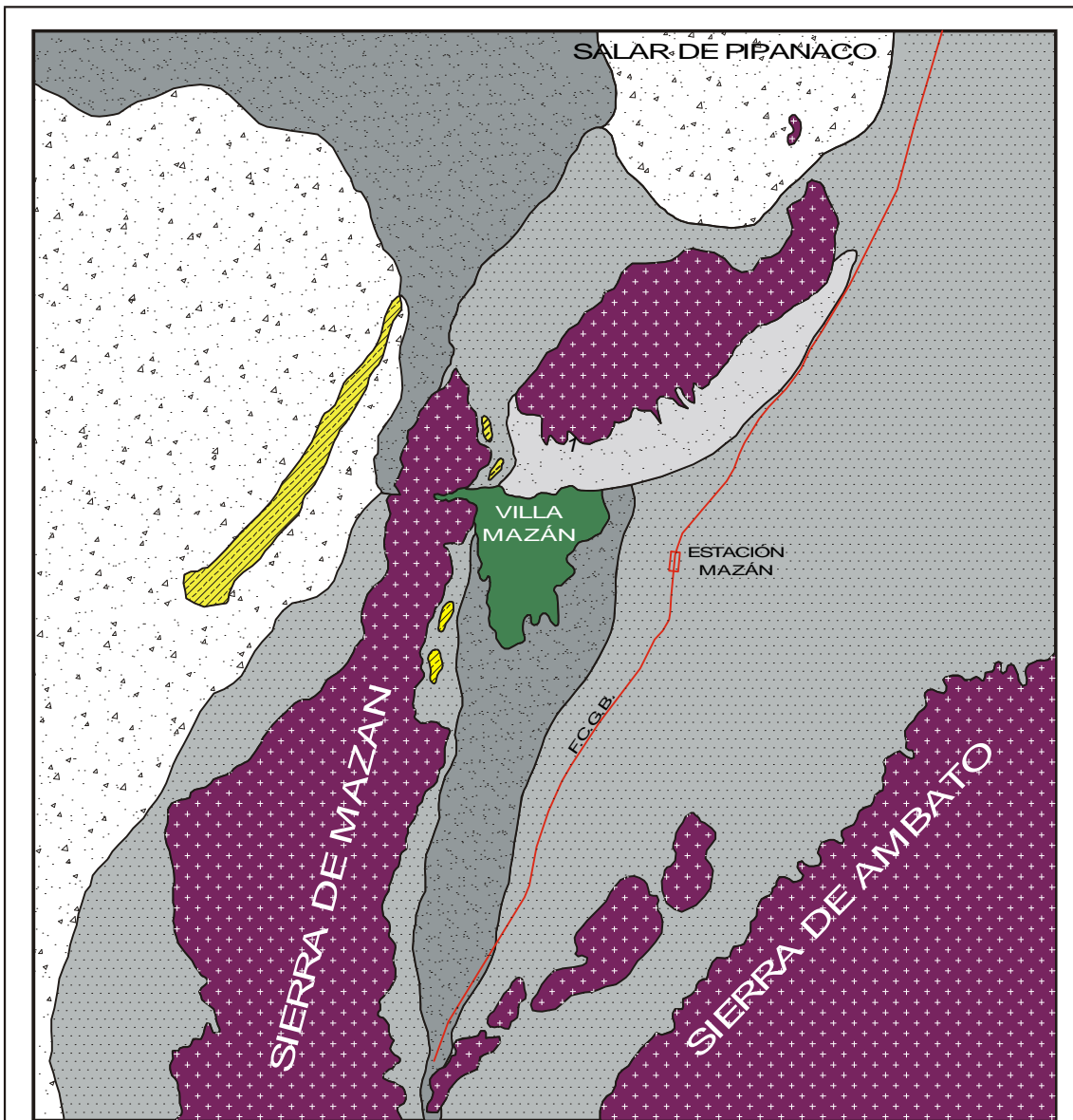


Figura 2 Thematic Mapper 30 m de resolución espacial

En la fotointerpretación se siguió la secuencia siguiente:

- a) Observación estereoscópica de las aerofotografías y monocular en la imagen Landsat TM mejorada digitalmente de: formas del relieve (geoformas), red hidrográfica, cursos de agua, áreas de afloramientos, materiales geológicos, zonas de fracturas, áreas con tonalidades más oscuras (por su relación con el contenido de humedad) etc.

- b) Delimitación de fotounidades tales como áreas de afloramientos, valle aluvial del río Salado, áreas pedemontanas y sedimentos eólicos (Figura 3).



Plano geológico

REFERENCIAS	
	Sedimentos indiferenciados
	Area de cultivos
	Sedimentos eólicos
	Llanura aluvial
	Pie de monte
	Rocas sedimentarias
	Basamento ígneo-metamórfico

Figura 3

- c) Trazado de la red principal de drenaje (Figura 4)
- d) Marcado de los lineamientos en áreas afloradas (el máximo posible) diferenciando los prominentes de los menos evidentes. (Figura 5)



Figura 4



Figura 5

- e) Extensión de los lineamientos significativos dentro del valle conectándolos con los segmentos rectos de corrientes que se alinean con ellos. Las diaclasas y fallas principales en el basamento de los valles pueden haberse propagado hacia la superficie a través del aluvio actual.
- f) Delimitación de las áreas de suelo húmedo, áreas de piedemonte, rasgos lineales, campos irrigados (matices verdes y grisáceos a tonos rosados) Fig. 6.

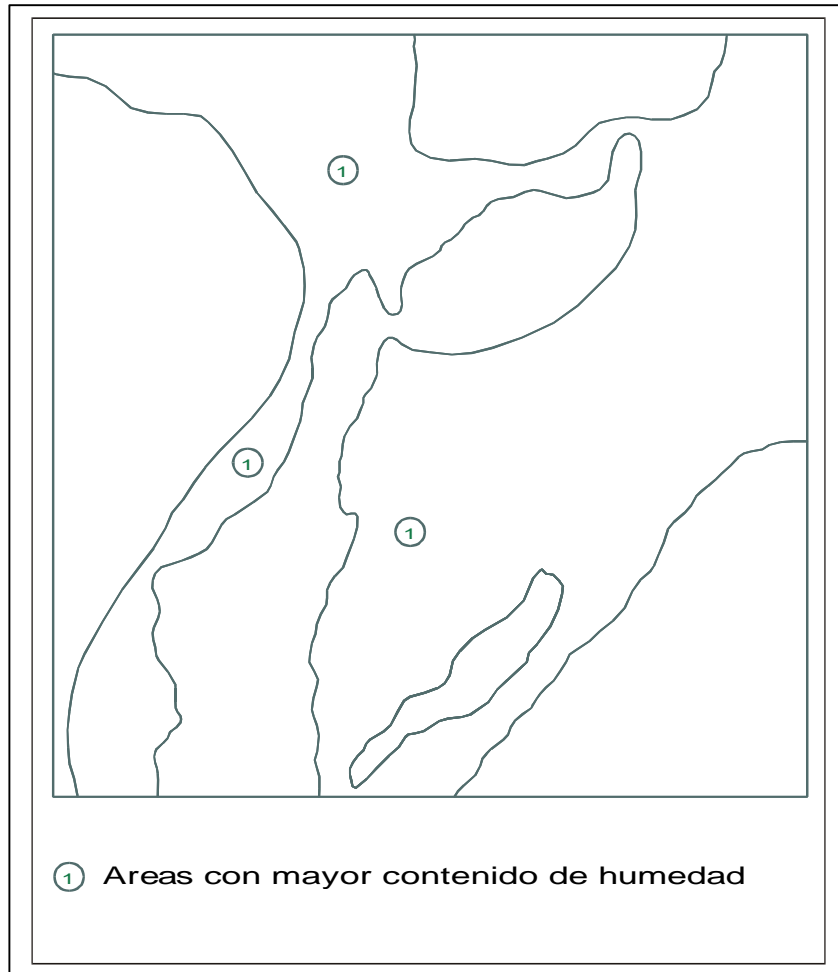


Figura 6

- g) Indicación de las direcciones probables del movimiento del agua subterránea, desde las áreas de recarga hacia las de descarga (Figura 4).
- h) Superposición de la información lograda en los pasos anteriores.
- i) Selección de las áreas que presentan mejores condiciones hidrogeológicas (potencialmente acuíferas), con el fin de orientar la prospección por métodos geofísicos (geoelectrica) y la ubicación de futuras perforaciones de exploración (Figura 7).

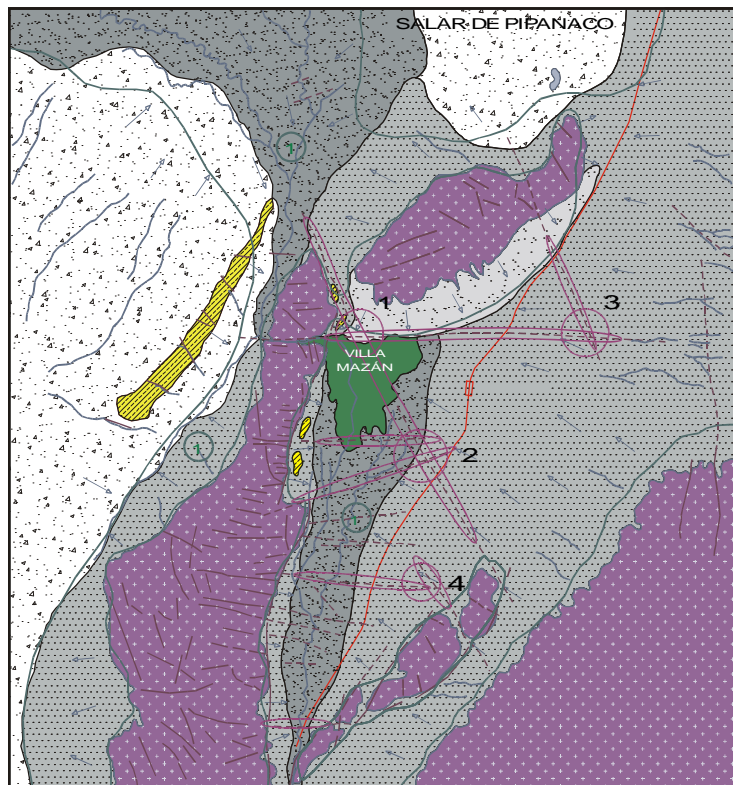


Figura 7

El procedimiento de trabajo hasta aquí descrito parte de la base que la exploración del agua subterránea exige una comprensión del significado geológico de los rasgos del paisaje y el empleo de un patrón que explique los límites, el funcionamiento y la dinámica de los acuíferos.

Como hipótesis de trabajo se puede asumir que en esta área los volúmenes interesantes de agua subterránea deberán estar disponibles donde: a) los sedimentos aluviales son relativamente gruesos b) estos se presentan tanto en superficie como en el subsuelo c) existe un espesor considerable. En estas condiciones, los volúmenes disponibles podrían ser relativamente interesantes. Cantidades menores podrían obtenerse en posiciones donde el espesor aluvial es más reducido o la granometría más fina.

Desde el punto de vista metodológico y al desarrollar un patrón para evaluar la presencia de agua subterránea y su posible movimiento, es importante cuando se determinan los rasgos hidrogeológicos significativos en las imágenes distinguir los **hechos** y los **supuestos**. (Taranik, J.M, et al, 1976)

Entre los **hechos** se puede mencionar:

- 1- La estructura de los macizos rocosos y de valle corresponde a áreas que fueron ascendidas y descendidas por fallamiento normal de la época terciaria.
- 2- El clima regional era más húmedo en el Pleistoceno que en la actualidad.
- 3- Los valles han sido parcialmente cubiertos con grava, arena, limo y arcilla aluviales, desde comienzos del Pleistoceno hasta la actualidad.
- 4- Los depósitos de cauce de los arroyos son más gruesos y menos seleccionados que los de planicies de inundación .
- 5- El espesor de los depósitos en los cauces depende generalmente de la pendiente.
- 6- Las áreas con suelo húmedo se hallan generalmente vegetadas y se relacionan con una posición alta de la superficie freática.
- 7- Los conos aluviales son áreas de especial interés desde el punto de vista de la prospección. Habitualmente contienen buenos acuíferos.
- 8- Otras geoformas a considerar son las dunas, debido a la mayor selección que ofrecen los sedimentos eólicos.

Los **supuestos** principales son:

- 1- Las diaclasas y las fallas en el lecho rocoso facilitaron el desarrollo de los patrones de drenaje a principios de la historia geomórfica de los valles. El escurrimiento fluvial tendió a seguir las fracturas principales a fines del Terciario y en el Pleistocénico, llevando importantes cantidades de sedimentos gruesos (debido al clima más húmedo), que por lo tanto se presentan cubriendo a las diaclasas y fallas principales.
- 2- Los lineamientos corresponden a las diaclasas y fallas.
- 3- En las áreas afloradas a ambos lados del valle, los lineamientos principales y los alineados originalmente, se extienden a través del valle marcando la ubicación de depósitos en antiguos cauces enterrados.
- 4- Los materiales de grano grueso están muchas veces cubiertos por otros de grano fino, depositados bajo el clima árido actual.
- 5- Los sedimentos gruesos presentan un drenaje de baja densidad, opuesto a los finos, que se evidencian por una textura de igual carácter.
- 6- Las pendientes de los cauces en el Pleistoceno disminuyeron aguas abajo, por lo cual los depósitos del subsuelo pueden ser más finos en esa dirección.
- 7- Existiría una correspondencia general entre el relieve y la morfología de la superficie freática, exceptuando la inversión que puede procurirse en coincidencia con cursos influentes.

8- La vegetación indígena indicaría la proximidad de la superficie freática, ocurriendo en esos sectores el máximo de evapotranspiración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN GEOHIDROLÓGICA

Sobre la base de la elaboración de los materiales aerofotográficos y satelitales y del razonamiento metodológico precedentemente expuesto, puede plantearse una asociación entre los elementos emergentes de la técnica de teledetección y la ocurrencia de fenómenos geohidrológicos que caracterizan a las regiones áridas.

En los depósitos aluviales de los piedemontes, donde se ubican algunas áreas seleccionadas, ocurre el fenómeno de recarga por concentración rápida. Las escasas precipitaciones son concentradas como escurrimiento superficial hacia el sector proximal de los depósitos, a favor de las elevadas pendientes y de la relativa impermeabilidad del frente montañoso. Ya en los sedimentos aluviales, se produce la infiltración hasta una profundidad donde está sustraída al efecto de evapotranspiración, al menos en el área proximal.

Los campos de dunas son otras geoformas que, merced a su contenido de material eólico (buena selección), poseen una permeabilidad de moderada a moderadamente alta. Se facilita así la infiltración rápida de las ocasionales precipitaciones hasta la zona saturada, situada en general a una profundidad donde no actúa la solicitud atmosférica.

Los depósitos de paleocauce, evidenciados como ya se expresara a través de las lineaciones, experimentan también infiltración rápida por su elevada permeabilidad y además, el fenómeno de infiltración preferencial por contraste con la de los materiales del entorno. En este caso no sucede ya la sustracción al fenómeno de evapotranspiración, por encontrarse en general la zona saturada no muy distante de la superficie. Incluso, puede existir vegetación que colabora con las pérdidas consuntivas.

CONCLUSIONES

- La interpretación de la información aerofotográfica y satelital permitió la selección de áreas con perspectivas favorables para orientar las investigaciones geohidrológicas.
- Las características físicas de los paisajes bajo condiciones áridas y el condicionante impuesto por precipitaciones exiguas, benefician la utilidad de las técnicas de teledetección empleadas.

- Pudo reconocerse en las áreas seleccionadas la ocurrencia de fenómenos geohidrológicos, como los de concentración rápida, infiltración rápida e infiltración preferencial.
- La concentración rápida ocurre a expensas de las elevadas pendientes y relativa impermeabilidad de los frentes montañosos, facilitando la recarga de los depósitos aluviales de los piedemontes.
- La infiltración rápida ocurre en los campos de dunas y en los depósitos de paleocauces. En el primer caso, a expensas de la buena permeabilidad de los sedimentos eólicos y en el segundo, concurrentemente con infiltración preferencial respecto a los materiales geológicos del entorno.
- Este ejemplo toma como base trabajos de Taranik, J.V., et al ,1976, adaptándolo a la problemática del noroeste argentino. Podría considerarse como una metodología accesible para la generación de información básica y orientar la exploración de agua subterránea, constituyéndose en la primera etapa prospectiva.
- Necesariamente deberá ser adecuada según las características de la región y de las diferentes variables participantes, y corroborarse los resultados a través de otras técnicas de prospección, como las geofísicas (geoeléctrica) y las perforaciones de exploración y ensayo.

BIBLIOGRAFÍA:

- Gebhard, J. A. (1997) *Técnicas de teledetección*. Curso de Posgrado Hidrogeología de las Regiones Aridas. Facultad de Ciencias Nat. y Museo. UNLP. La Plata (inédito)
- Hernández, M.A., N. González y J.A. Gebhard (1999) *Hidrogeología de las regiones áridas*. En Apuntes del Curso de Posgrado. Departamento de Postgrado. Fac. de Cs. Nat. Y Museo UNLP. La Plata (inédito).
- Pinilla, C. (1995). *Elementos de Teledetección*. Edit. Rama Madrid. España.
- Scanvic, J. Y. (1989). *Teledetección Aplicada*. Edit. Paraninfo S.A. Madrid.
- Taranik, J. V., Moore, G. K. And Sheehan, C.A.,1976. Workshop exercise on groundwater exploration in South – Central Arizona using Landsat imagery, U.S. Geological Survey,