



Teledetección y SIG aplicados a la Exploración Geológico-Geofísica en el Altiplano Nariñense - Colombia

Remote Sensing and GIS applied to Geological and Geophysics Exploration of the Nariño High Plateau - Colombia

BIBIANA PAOLA RODRÍGUEZ-RAMOS¹

FRANCISCO VELANDIA²

RAFAEL CARDENAS³

¹Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia – Bogotá

E-mail: lolapab@yahoo.com

²INGEOMINAS Diag. 53 No. 34 - 53. Bogotá

E-mail: fcovelan@ingeominas.gov.co

³INGEOMINAS OVSP

E-mail: rcardenas@ingeominas.gov.co

RODRÍGUEZ-RAMOS, B., VELANDIA, F. & CARDENAS, R. (2008): Teledetección y SIG aplicados a la Exploración Geológico-Geofísica en el Altiplano Nariñense - Colombia.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 33, pp. 79-90, 15 Figs., Bogotá.

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica se han constituido durante los últimos años en una importante herramienta de trabajo para la integración de datos espacio-temporales, facilitando la organización, análisis y modelamiento de resultados obtenidos durante las diversas fases de una investigación. Los estudios del Programa de Exploración de Aguas Subterráneas (PEXAS) que INGEOMINAS adelanta en el Altiplano Nariñense, en cooperación con la Universidad Nacional de Colombia, se han organizado en un Sistema de Información Geográfica. Se parte de una plataforma de teledetección que utiliza imágenes Landsat TM y ETM, Radarsat, fotografías aéreas, modelos digitales del terreno y cartografía base, que son procesadas e integradas para obtener productos básicos como sinergismos y mapas de pendientes y de sombras, entre otras, así como para planear el trabajo de campo para geofísica, geología e hidrogeología. Con base en la interpretación digital se genera una cartografía geológica inicial, especialmente estructural. Cada cobertura está soportada en datos de campo que se integran al SIG con sus respectivos mapas, tablas y respaldo gráfico. Se aprovecha el SIG como herramienta de integración para analizar las diversas temáticas en forma conjunta con el fin de evaluar el potencial de aguas subterráneas en el Altiplano Nariñense.

Palabras Clave: *Altiplano Nariñense, SIG, Teledetección, Geología, Geofísica.*

ABSTRACT

In the last years, the Geographic Information Systems have been recognised as an important working tool in the integration of spatio-temporal data, facilitating the organization, analysis and modelling of the diverse results of the research phases. GIS are used as the platform of the thematic studies of the Ground Water Exploration Program that INGEOMINAS carries out in the Nariño High Plateau, under agreement with the National University of Colombia. This is based on remote sensing imagery, as TM and ETM Landsat, Radarsat, aerial photographs, digital elevation model and topographic mapping, which are processed and merged to get basic products (as synergisms and slope and shadow maps), and to be used in planning geology, geophysics and hydrogeology field work. Digital interpretation allows obtaining primary geological mapping, specially a structural geology frame. Field data support each thematic layer, that are integrated as well to GIS, with its corresponding

maps, tables and graphics. GIS are considered as important integration tools to analyze together different technical information to evaluate the ground water potential of the Nariño High Plateau.

Key words: *Nariño High Plateau, GIS, Remote sensing, Geology, Geophysics.*

INTRODUCCION

El Programa de Exploración de Aguas Subterráneas del INGEOMINAS (PEXAS) incluyó como área prioritaria de estudio al Altiplano Nariñense, debido a la necesidad del recurso hídrico para el desarrollo de la región y con el fin de generar nuevo conocimiento del subsuelo en un ambiente geológico de depósitos volcánicos, relativamente poco estudiados para el aprovechamiento de aguas subterráneas. El altiplano se localiza al sur del Departamento de Nariño (Figura 1), desde el municipio de Guaitarilla al norte, hasta la Frontera con Ecuador; entre las coordenadas planas $Y = 620000$ N, $Y = 580000$ N y $X = 910000$ E, $X = 950000$ E (Origen Pacífico).

Se recurre a la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para manipular, generar y organizar información cartográfica de las diferentes actividades temáticas. Mediante el uso de esta herramienta, se busca plasmar en diferentes coberturas cartográficas la información vectorial y raster para ser empleada con fines de investigación geológica y su aplicación práctica. Se presenta en forma resumida la aplicación de los SIG con base en los procesos y resultados de diversas actividades de geología, geofísica e hidrogeología que adelantan en la zona el INGEOMINAS en convenio con la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá y CORPONARIÑO.

TELEDETECCIÓN

La fase inicial de los estudios en el Altiplano Nariñense consistió en el uso de imágenes satelitales Landsat TM (1986 y 1989), con resolución espacial de 30x30 m y ETM (2000 y 2001), las cuales cuentan con una resolución espacial de 15x15 m en la banda pancromática; estas imágenes se procesaron para obtener diferentes composiciones en falso color. También se usaron imágenes Radarsat, fotografías aéreas georreferenciadas y modelos digitales del terreno (Fig. 2 y 3).

El objetivo principal del procesamiento de las imágenes es permitir la identificación, extracción y análisis de datos, teniendo como resultado escenas con la información específica requerida para la interpretación de rasgos geológicos y estructurales. Para las imágenes Landsat TM y ETM se extrajo además el índice de componentes principales, se aplicó un remuestreo matemático con el fin de mejorar las escenas espacialmente, así como realce radiométrico y de bordes. Después de procesar las imágenes se procedió a la georreferenciación y elaboración del mosaico a partir de escenas consecutivas.

Las imágenes de Radarsat empleadas tienen una resolución espacial de 12.5 x 12.5 m por píxel, la imagen se georreferenció en X, Y y ortorrectificó en X, Y, Z. Tanto para las imágenes Landsat y Radarsat fueron procesadas digitalmente con el programa Erdas Imagine 8.7.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

En la implementación de la plataforma SIG para la cartografía geológica del Altiplano Nariñense se emplearon como base los estándares de INGEOMINAS, a partir de esta normativa se desplegaron las capas de información bajo la misma definición temática y simbólica, consiguiendo una sola unidad de representación en los mapas temáticos y por consiguiente se logró una imagen estandarizada para su oficialización.

Una vez digitalizada la información cartográfica análoga tomada en la fase de campo por INGEOMINAS, la Universidad Nacional de Colombia y CORPONARIÑO, se procedió a su edición y estructuración, empleando para ello software AutoCad 14, ArcCad 11.3 y ArcGis 9.1. A partir de la manipulación de datos vectoriales y utilización de imágenes raster se georreferenciaron los mapas utilizando las herramientas ofrecidas por estos programas (Fig. 4). Las bases de datos de polígonos, líneas y puntos se almacenan como una serie de coordenadas X y Y y de acuerdo con la necesidad temática se asignaron a estas coberturas códigos, teniendo en cuenta sus atributos como tipos de fallas, unidades geológicas y características de muestreo (Fig. 5).

Se generaron mapas geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos a escalas 1:25000 y 1:100000, cada uno diseñado para trabajar de manera independiente las diversas coberturas creadas referentes a la cartografía base y mapas temáticos con todas sus características, incluidas anotaciones, leyendas, perfiles geológicos entre otras. Los resultados obtenidos en el proyecto de implementación de plataforma SIG, se encuentran en formatos digitales e00, coberturas ArcInfo y Pdf, con el fin de optimizar su consulta y posterior edición.

SIG DEL ALTIPLANO NARIÑENSE

El SIG empleado para los estudios en el Altiplano Nariñense permite optimizar el análisis de elementos puntuales (sondeos eléctricos verticales, Puntos de inventario de agua), lineales (perfiles) y de superficie (geomorfología y unidades geológicas) de cada una de las actividades realizadas en las diversas fases de campo de este proyecto, así como la integración de las diversas coberturas para

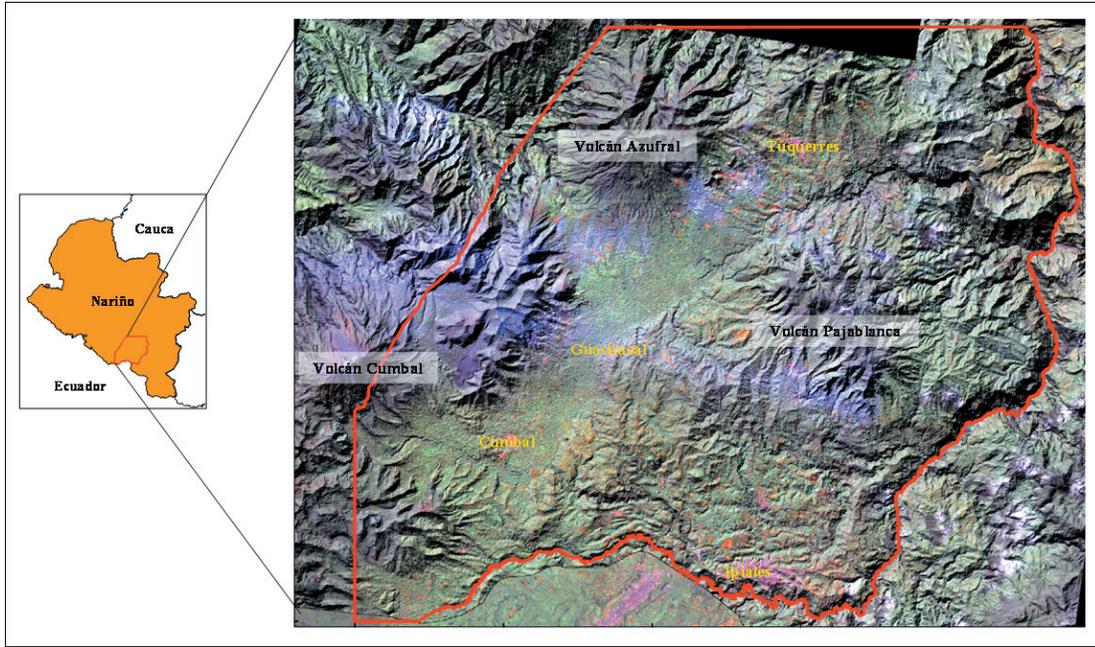


Fig. 1. Mapa de localización del área de estudio.

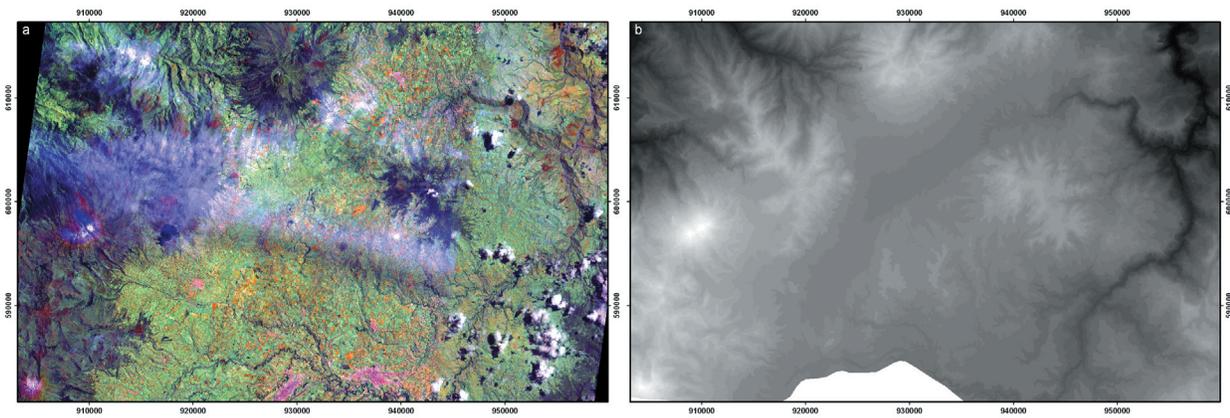


Fig. 2. a. Imagen Landsat en falso color (753) b. Imagen Radarsat ortorrectificada.

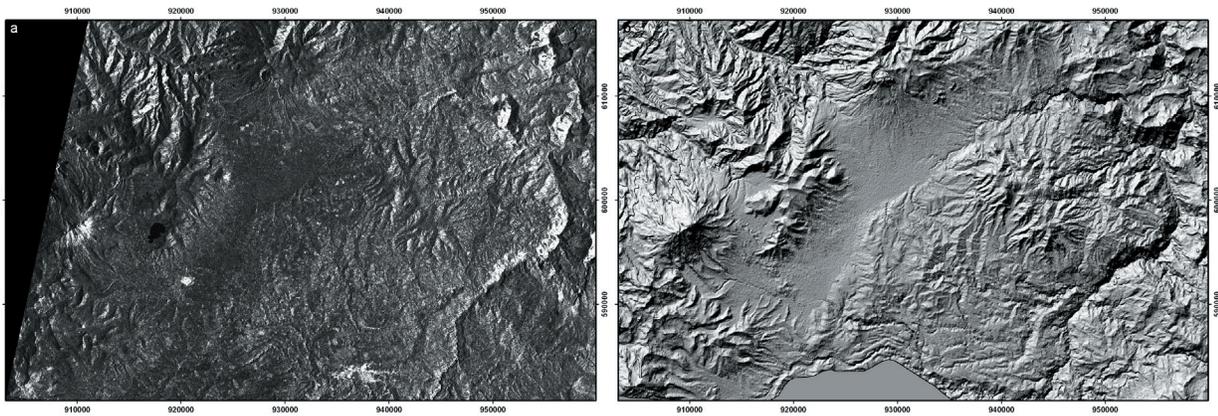


Fig. 3. a. Modelo Digital del Terreno de 30 m (NASA) b. Mapa de sombras generado a partir del modelo digital del terreno.

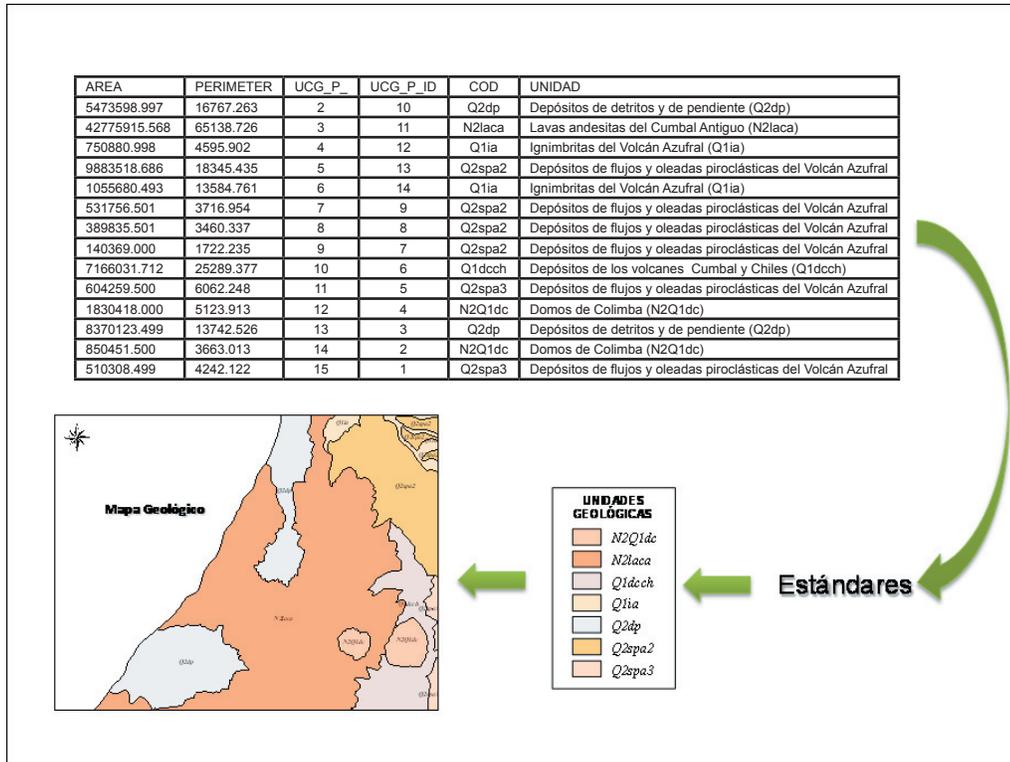


Fig. 4. Estructura de unidades geológicas y estándares utilizados por INGEOMINAS.

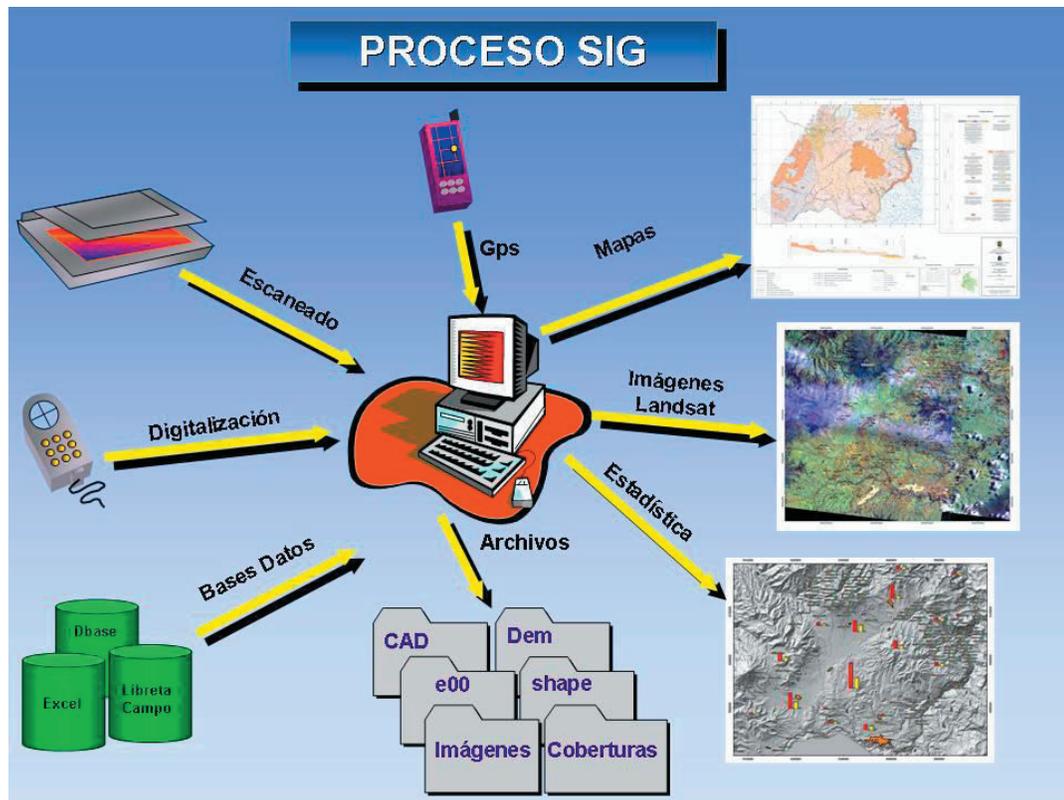


Fig. 5. Estructura del Sistema de Información Geográfica.

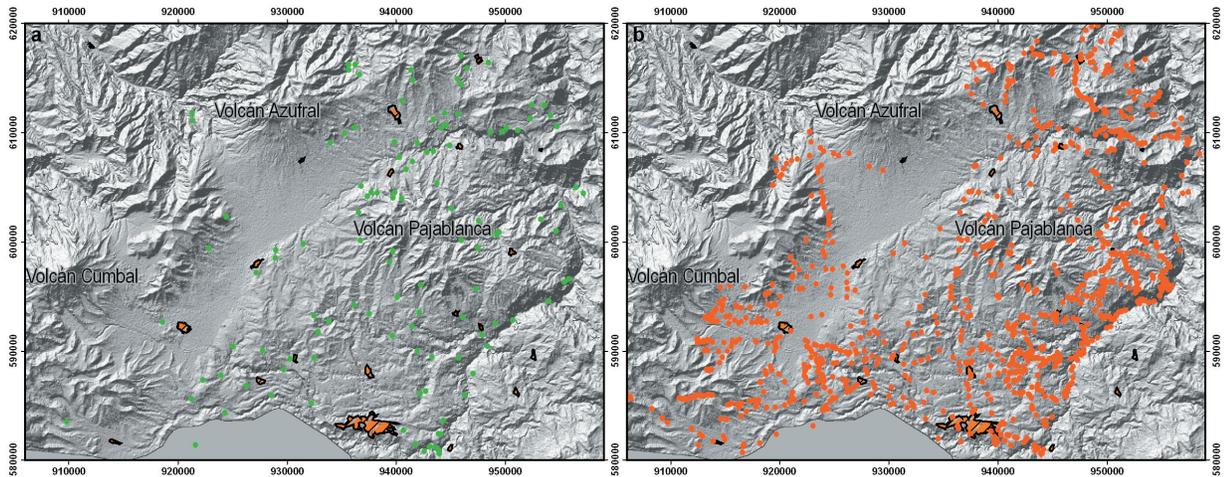


Fig. 6. a. Localización estaciones de campo de geología estructural (VELANDIA *et al.* 2006) sobre mapa de sombras. b. Localización estaciones campo de cartografía geológica (PINILLA *et al.* 2006).

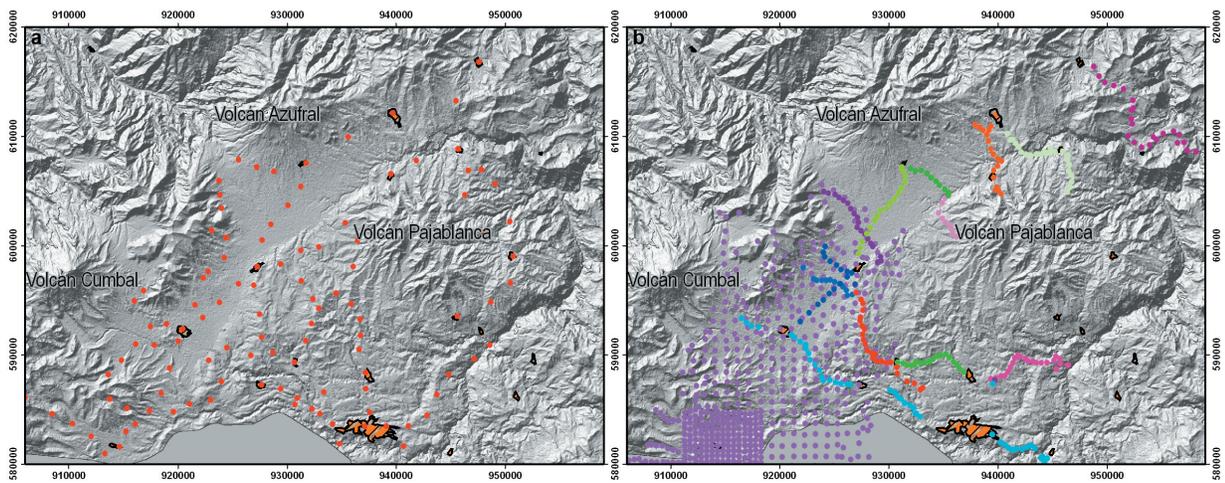


Fig. 7. a. Localización datos de gravimetría (GARZÓN 2006). b. Localización líneas y datos de magnetometría (VÁSQUEZ 2006).

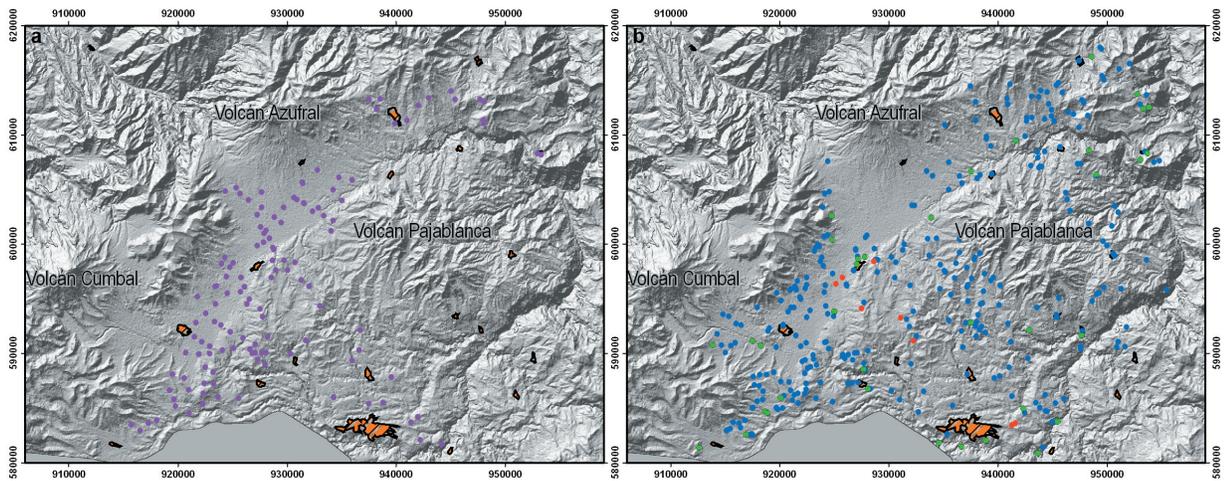


Fig. 8. a. Localización Sondeos Eléctricos Verticales – SEVs – (FRANCO 2006) b. Inventario puntos de agua: pozos -rojo-, manantiales -verde-, Aljibes -azul- (DE BERMOUDES *et al.* 2006).

realizar interpretación temática.

A partir de imágenes Landsat, Radarsat, fotografías aéreas y modelos digitales del terreno, se generaron sinergismos, mapas de pendientes y de sombras, así como mapas temáticos de geología estructural y cartografía geológica; además se usaron para la planificación de recorridos y actividades de campo de geofísica (gravimetría, magnetometría, sísmica y sondeos eléctricos verticales), geología (cartografía, estructural y columnas estratigráficas), hidrogeología (inventario de puntos de agua e hidroquímica), caracterización de arcillas y detalle de alteración hidrotermal en el Volcán Azufra (Fig. 6, 7, 8, 9 y 10). Cada cobertura con soporte de campo se integró al SIG con sus respectivos mapas, tablas de datos y respaldo gráfico, lo que permitió catalogar, sobreponer y analizar las diversas variables geológicas, geofísicas e hidrogeológicas que se presentan en el Altiplano Nariñense (Fig. 11, 12 y 13).

Con base en los estudios de geofísica de métodos potenciales realizados en el área, se lograron modelos de anomalías de gravimetría y magnetometría (Fig. 14 y 15), generados a partir de programas especializados que permitieron su integración al SIG. Con la unión de estas herramientas se analizan y comparan los resultados entre

estos modelos y las coberturas vector como fallas geológicas, lineamientos y cartografía geológica. A esto se le suman los elementos puntuales y lineales como sondeos eléctricos verticales, columnas estratigráficas y líneas sísmicas, en donde se dispone de sus bases gráficas que permiten modelar y correlacionar el subsuelo y la superficie al evaluar de forma integral las variables geológicas presentes en la zona para determinar espesores, profundidad del basamento y cuencas.

La integración de las diversas coberturas temáticas permite establecer por ejemplo, la correlación entre la distribución de las anomalías de gravimetría y magnetometría con el patrón estructural interpretado para la zona. Inclusive, la misma línea sísmica se programó para resolver problemas de continuidad estratigráfica y estilo estructural, con base en los análisis gráficos que permite el SIG. Para la interpretación de los sondeos eléctricos verticales también fue fundamental la distribución de las unidades geológicas y fallas cartografiadas que se observa fácilmente con ayuda del SIG. El despliegue de las coberturas del cubrimiento de campo de cada temática permite además establecer criterios respecto de su densidad para determinar el detalle de cada estudio y la posible programación de levantamiento complementario.

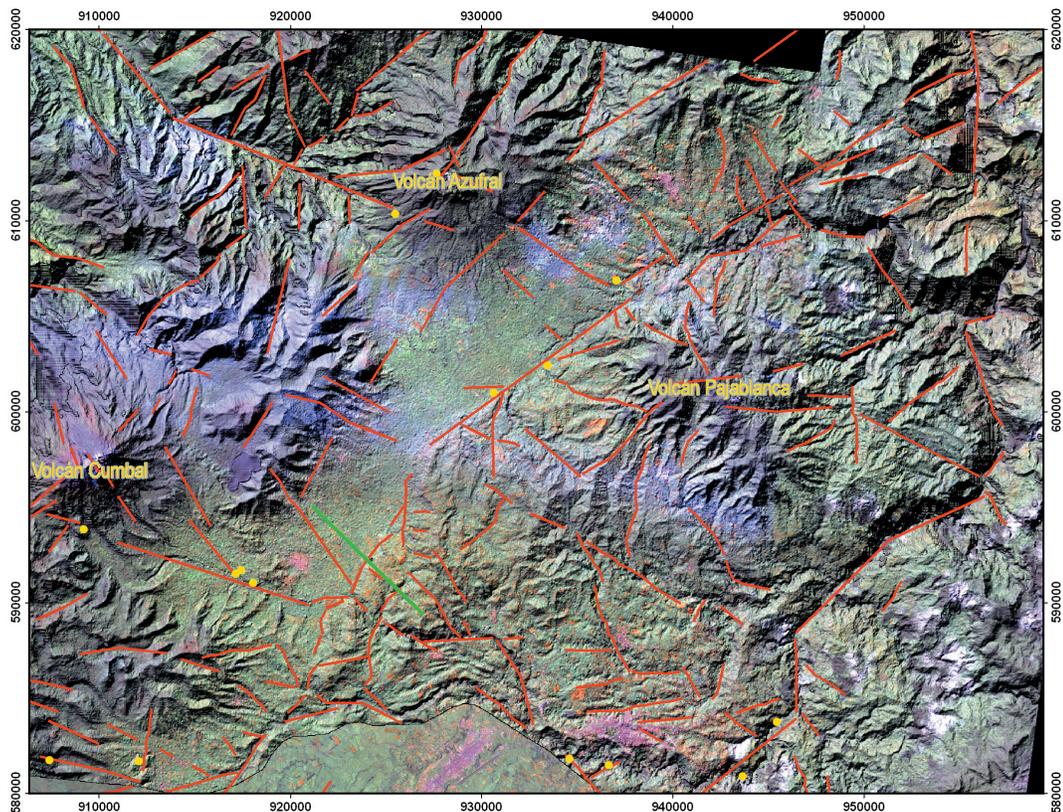


Fig. 9. Esquema estructural (VELANDIA *et al.* 2006) -rojo-, fuentes termales -amarillo- y línea sísmica (RESTREPO 2006) -verde- sobre Sinergismo (Mapa de sombras e imagen Landsat ETM (753)).

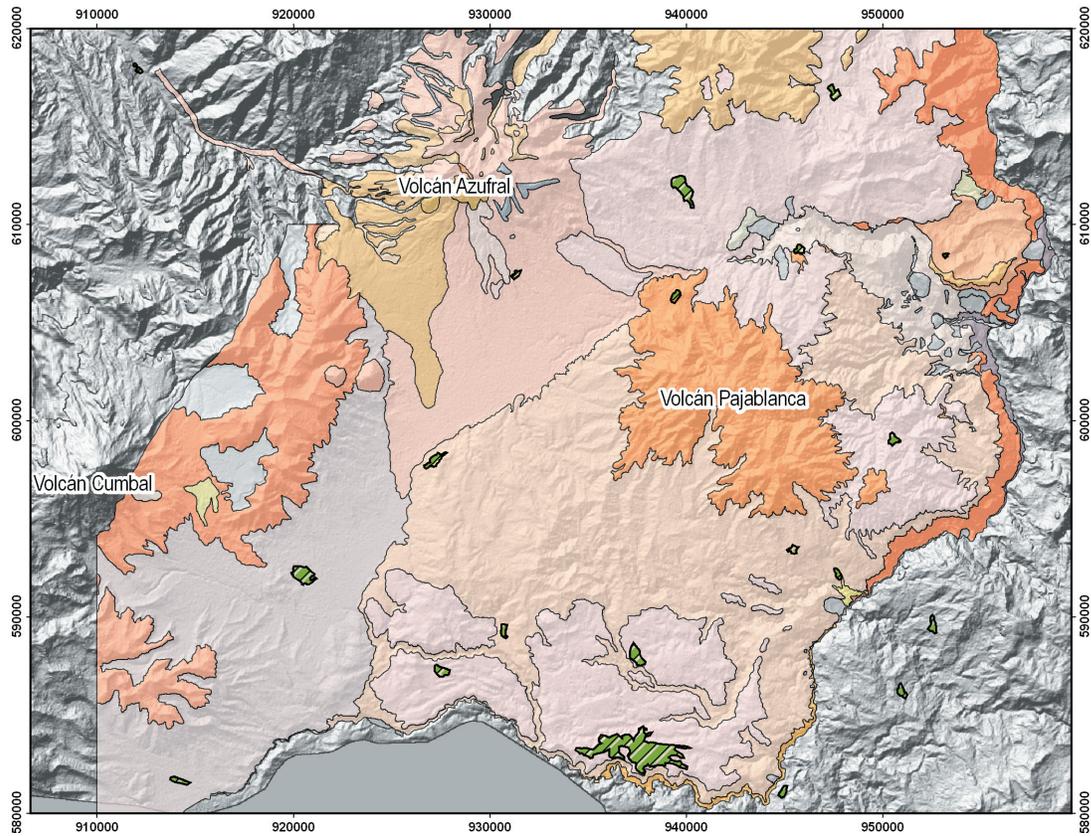


Fig. 10. Cartografía geológica levantada a escalas 1:25.000 (PINILLA *et al.* 2006) sobre mapa de sombras.

CONCLUSIONES

El SIG del Altiplano Nariñense se convirtió en una herramienta fundamental en la captura, edición, análisis y modelamiento de la información geológica, geofísica e hidrogeológica, así como la integración de las diversas coberturas temáticas para obtener un modelo geológico – geofísico soportado en la organización de los datos.

La integración de datos con distintos formatos y fuentes diferentes en un programa tipo SIG permitió catalogar los datos obtenidos en campo y a su vez facilitar la construcción de una base de datos con todos los elementos que componen el producto final del proyecto de investigación.

Las imágenes obtenidas a partir de sensores remotos son útiles en este tipo de estudios para dar una visión regional de la geología, además su procesamiento permite obtener diversos productos de calidad según los objetivos de la investigación.

AGRADECIMIENTOS

A INGEOMINAS, la Universidad Nacional de Colombia y sus

grupos de trabajo que han desarrollado los estudios de geología, geofísica e hidrogeología en el Altiplano Nariñense. También a Henry Villegas por la ortorrectificación de las imágenes RadarSat, Edward Salazar por su participación en las labores de campo y apoyo al SIG y Héctor Mora por la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DE BERMOUDES, O.; MORALES, C. & BOBADILLA, L. (2006). Inventario de puntos de agua e hidroquímica en el Altiplano Nariñense. Exploración de Aguas Subterráneas en el Altiplano Nariñense. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.
- FRANCO, J.; (2006). Sondeos Eléctricos Verticales en el Altiplano Nariñense. Exploración de Aguas Subterráneas en el Altiplano Nariñense. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.
- GARZÓN, M.; (2006). Estudio gravimétrico en el Altiplano Nariñense. Exploración de Aguas Subterráneas en el Altiplano Nariñense. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.
- PINILLA, A.; RÍOS, P.; RODRÍGUEZ, B.; ROA, H. & LADINO, F.; (2006). Memoria explicativa de la cartografía geológica y geomorfológica del Altiplano Nariñense. Proyecto de investigación Geológica, Sísmica y Geotérmica en el Altiplano Nariñense. Tomo I, INGEOMINAS – Universidad Nacional de Colombia, Acuerdo Específico 046/05. Bogotá.

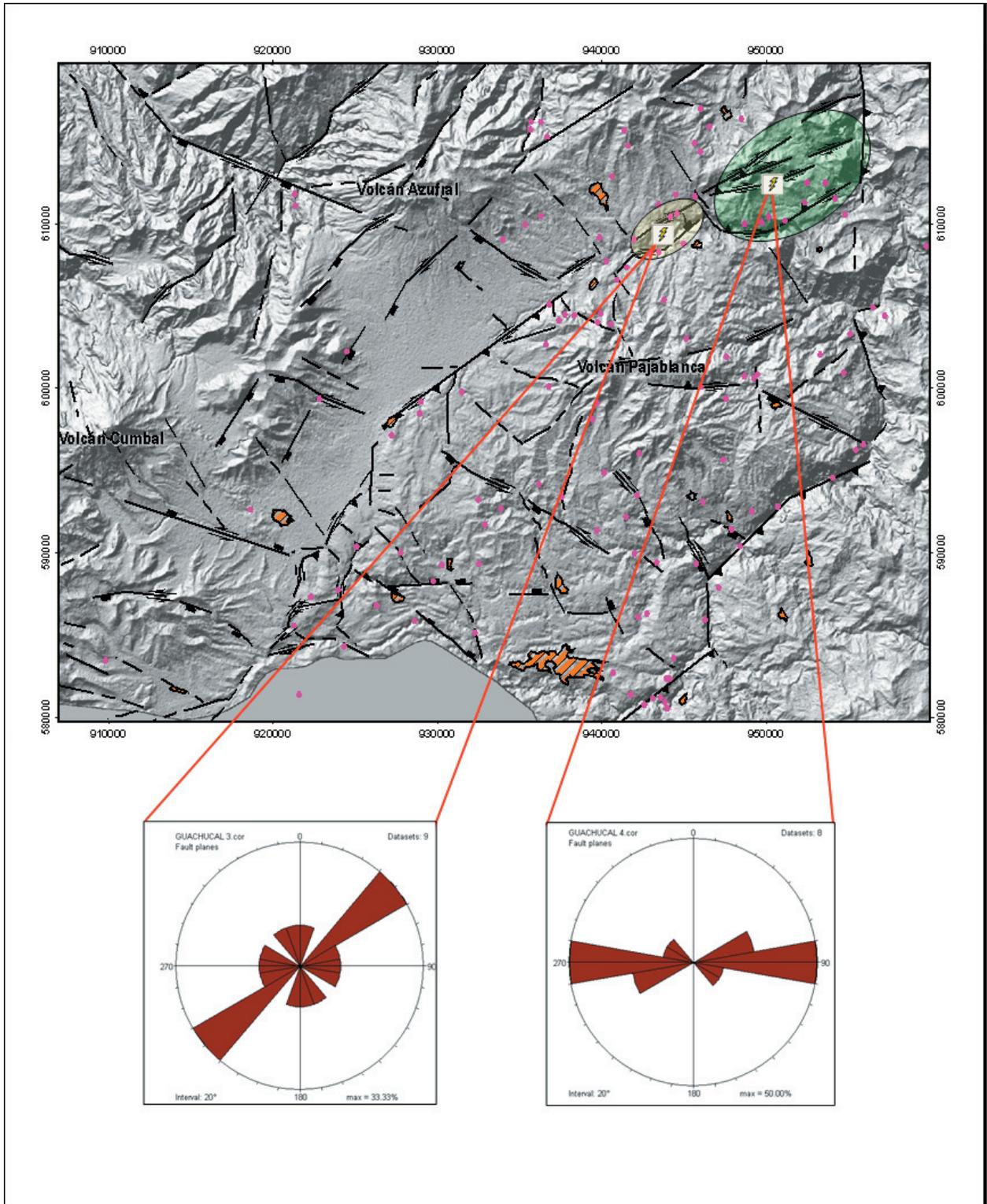


Fig. 11. Esquema estructural, localización estaciones de campo de geología estructural -verde-, respaldo gráfico diagramas rosa de los datos estructurales tomados sobre la Falla de Guachucal, área de distensión - polígono amarillo - y zona abanico transpresivo - polígono verde - (VELANDIA *et al.* 2006) sobre mapas de sombras.

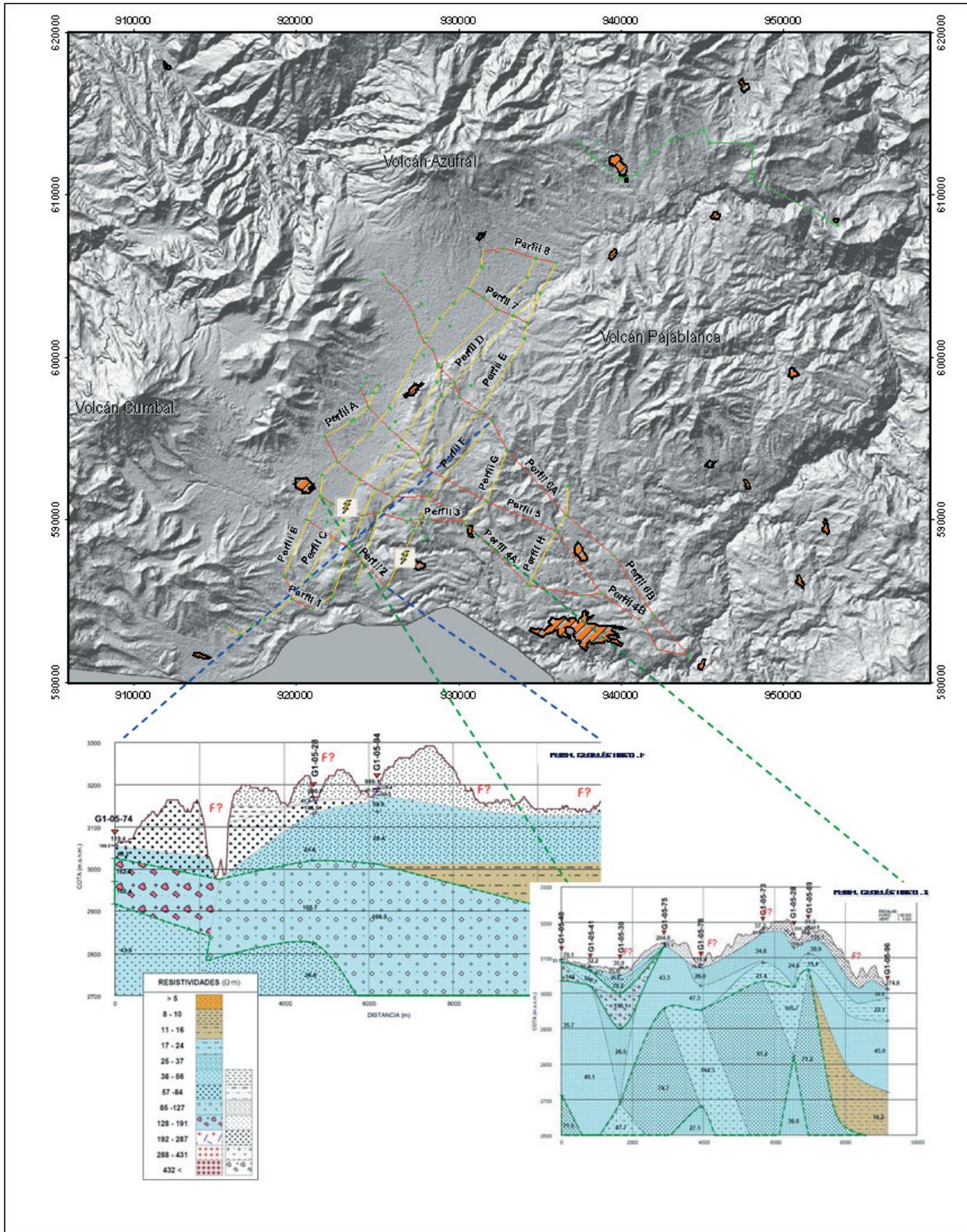


Fig. 12. Localización Sondeos Eléctricos Verticales - SEVs - verde -, perfiles geoelectrónicos longitudinales - amarillo -, perfiles geoelectrónicos transversales -rojo- y respaldo gráfico de dos perfiles que se entrecruzan - naranja - (FRANCO 2006) sobre mapa de sombras.

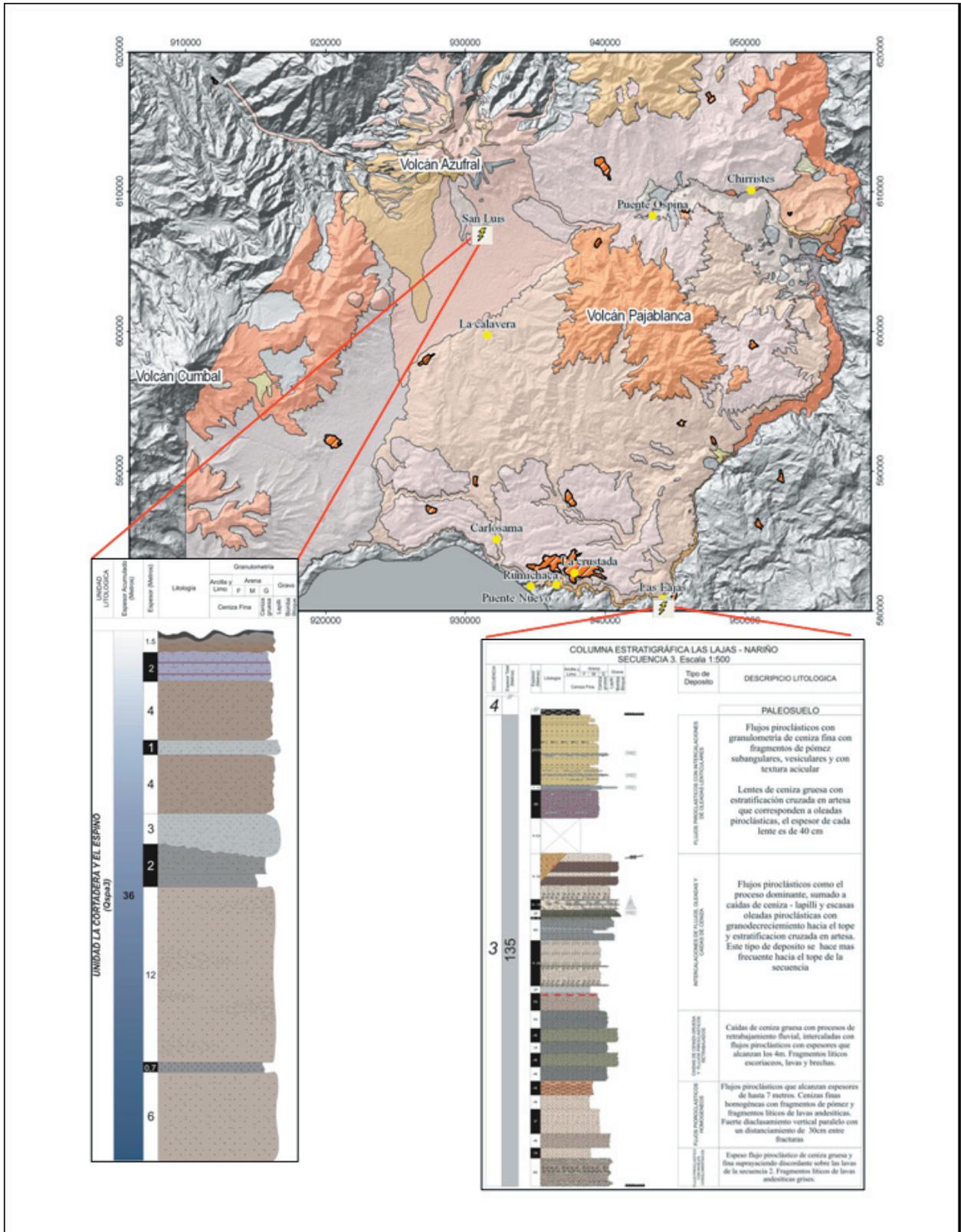


Fig. 13. Localización y respaldo gráfico de columnas estratigráficas (VELANDIA *et al.* 2006) sobre cartografía geológica (PINILLA *et al.* 2006) y mapa de sombras.

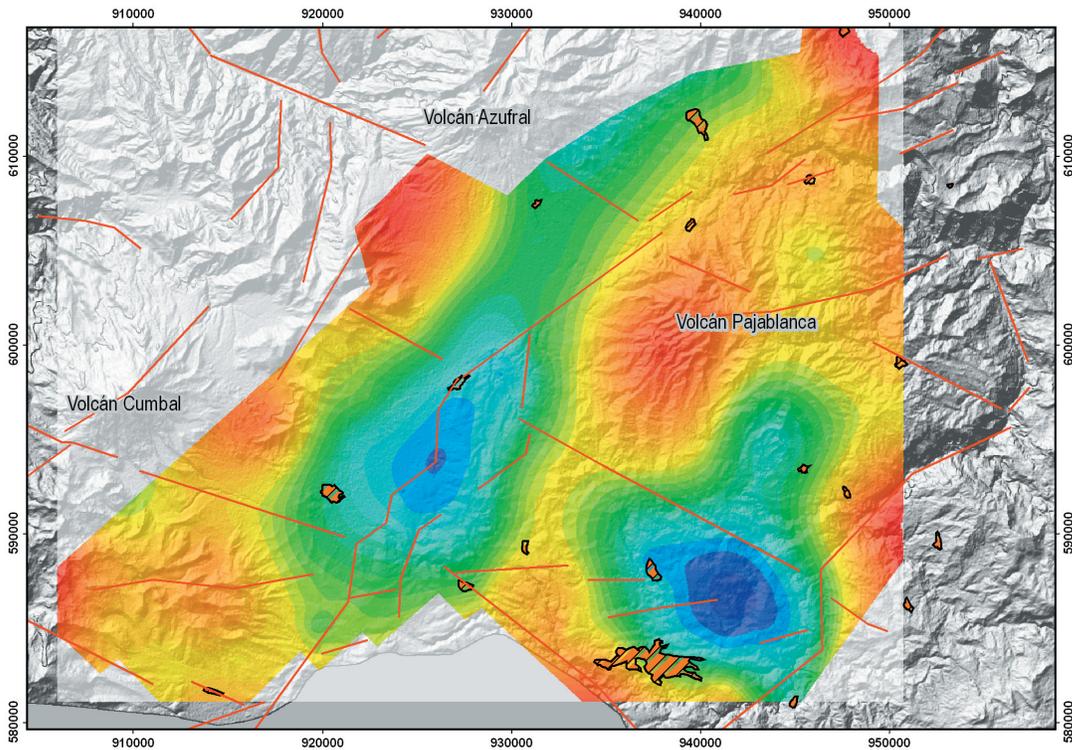


Fig. 14. Esquema estructural generalizado (VELANDIA *et al.* 2006) y modelo de la anomalía de gravimetría residual (GARZÓN 2006) sobre mapa de sombras.

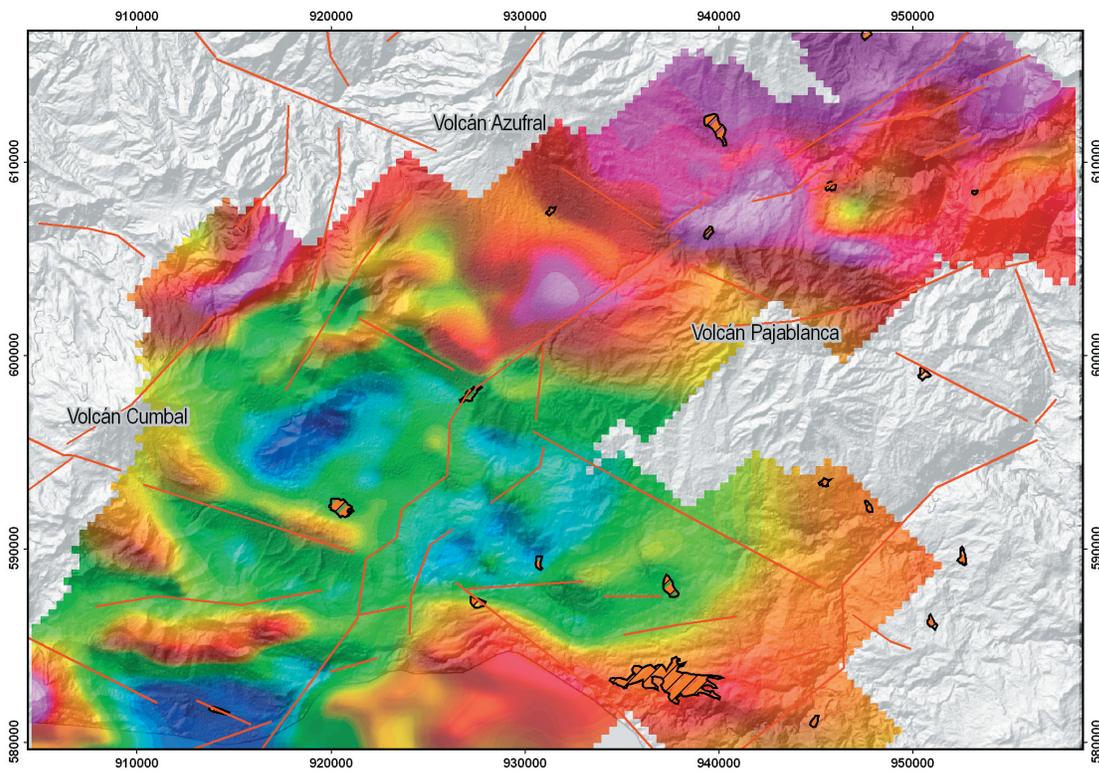


Fig. 15. Esquema estructural generalizado (VELANDIA *et al.* 2006) y modelo de la anomalía de magnetometría de campo total reducida al Ecuador (VASQUEZ 2006) sobre mapas de sombras.

RESTREPO, J.; (2006). Investigación Sísmica en el Altiplano Nariñense. Proyecto de investigación Geológica, Sísmica y Geotérmica en el Altiplano Nariñense. Tomo IV, INGEOMINAS – Universidad Nacional de Colombia, Acuerdo Específico 046/05. Bogotá.

VÁSQUEZ, L.; (2006). Magnetometría en el Altiplano Nariñense. Exploración de Aguas Subterráneas en el Altiplano Nariñense. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.

VELANDIA, F.; ROMERO, D.; RODRÍGUEZ, B. & HINCAPIÉ,

G.; (2006). Geología Estructural del Altiplano Nariñense. Exploración de Aguas Subterráneas en el Altiplano Nariñense. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.

VELANDIA, F.; SALAZAR, E.; PULGARÍN, B.; FORERO, H. & HINCAPIÉ, G. (2006). Estratigrafía del Altiplano Nariñense. Programa de Exploración de Aguas Subterráneas. INGEOMINAS Informe Interno. Bogotá.

Manuscrito recibido Noviembre 2008; aceptado Diciembre 2008.