



Estratigrafía de los Depósitos Volcánicos del Altiplano Nariñense, Colombia

Volcanic Deposits Stratigraphy of the Nariño High Plateau, Colombia

FRANCISCO VELANDIA¹

EDWARD SALAZAR²

BERNARDO PULGARÍN³

HUGO FORERO⁴

GLORIA HINCAPIE⁴

¹INGEOMINAS, Bogotá

E-mail: fcovelan@ingeominas.gov.co

²Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá

E-mail: edwsalazar@gmail.com

³INGEOMINAS, OVSP Popayán, email:

E-mail: bpulgarin@ingeominas.gov.co

⁴INGEOMINAS, Bogotá

E-mail: hforero@ingeominas.gov.co, hincapie@ingeominas.gov.co

VELANDIA, F., SALAZAR, E., PULGARÍN, B., FORERO, H. & HINCAPIE, G. (2008): Estratigrafía de los Depósitos Volcánicos del Altiplano Nariñense, Colombia.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 33, pp. 89-100, 8 Figs., Bogotá.

RESUMEN

El basamento del Altiplano Nariñense está conformado por rocas de los grupos Diabásico y Dagua de edad Cretácica, las cuales están suprayacidas por depósitos volcánicos aflorantes como ignimbritas, lavas y depósitos piroclásticos del Neógeno Superior – Holoceno, provenientes esencialmente de los complejos volcánicos del Azufral, Cumbal, Chiles-Cerro Negro, Pajablanca y algunos volcanes de la Cordillera Real Ecuatoriana.

Este trabajo presenta la descripción litológica y análisis estratigráfico de los depósitos volcánicos a partir del levantamiento de 880 m distribuidos en nueve (9) columnas estratigráficas en afloramientos localizados en los municipios de Ipiales, Guachucal, Carlosama, Ospina y Túquerres. En general se interpretan cinco secuencias con distintas características litológicas, las cuales presentan una distribución regional a pesar de los cambios laterales producto de la actividad antigua y reciente de los diversos centros eruptivos.

Palabras Clave: *Altiplano Nariñense, Depósitos Piroclásticos, Estratigrafía, Vulcanismo.*

ABSTRACT

The geological basement at the Altiplano Nariñense, in the SW of Colombia is conformed by Cretaceous rocks of the Diabásico and Dagua Group; they are overlain by Holocene volcaniclastic deposits of ignimbrites, lava and piroclastic deposits coming mainly from the volcanic complexes of Azufral, Cumbal, Chiles-Cerro Negro, Pajablanca and other volcanoes from Ecuadorian Cordillera Real.

This paper describes the lithology and stratigraphic analysis of these deposits, based on nine stratigraphic columns measured along 880 m of outcrops distributed through the towns of Ipiales, Guachucal, Carlosama, Ospina and Tuquerres. Five sequences with distinctive lithological characteristics were interpreted, showing a regional distribution despite its lateral changes due to old and recent activity of the different eruptive centers.

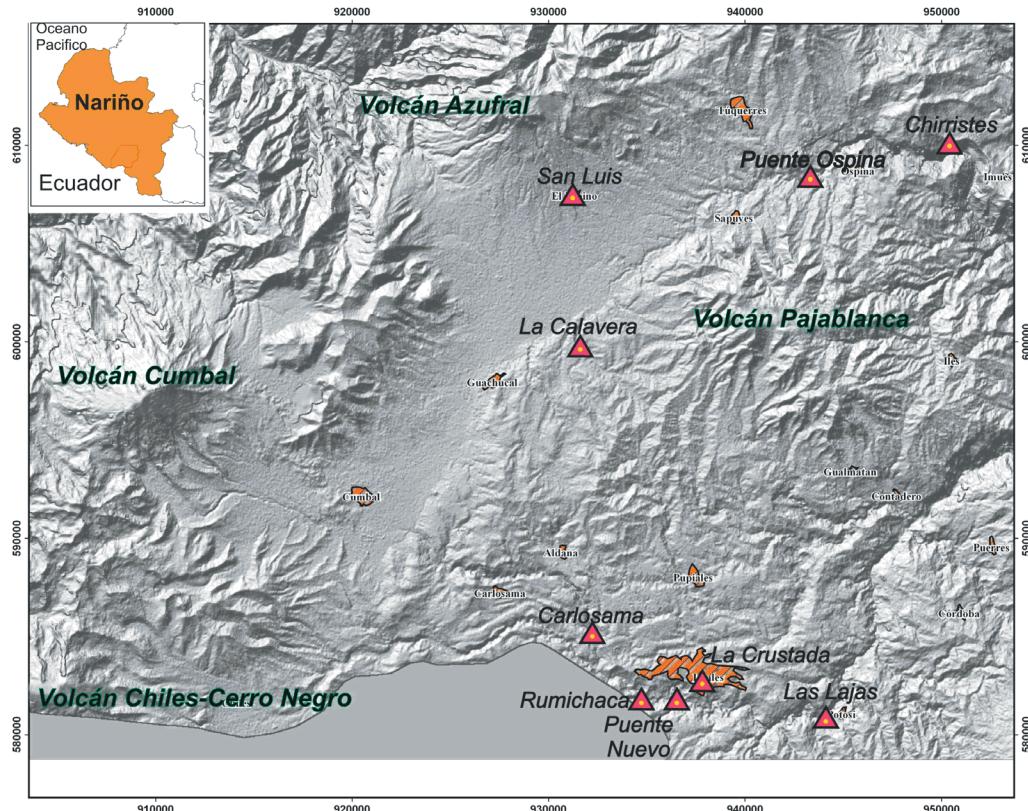
Key words: *Nariño High Plateau, Pyroclastic Deposits, Stratigraphy, Vulcanism.*

INTRODUCCION

Dentro del Programa de Exploración de Aguas Subterráneas desarrollado por INGEOMINAS, se seleccionó el Altiplano Nariñense, como área prioritaria en los estudios hidrogeológicos, por la escasez del recurso hídrico y por ofrecer nuevas posibilidades en el estudio de rocas volcánicas y su potencial hidrogeológico. El área es de especial interés, pues suministrará importante información acerca de las metodologías que han de aplicarse en regiones con condiciones y ambientes geológicos semejantes a los del Altiplano Nariñense. En este trabajo se muestra y analiza de manera sintética la estratigrafía de los depósitos volcánicos que fueron estudiados por VELANDIA et al. (2006) como parte de la exploración de aguas subterráneas, donde se presentan en forma amplia las columnas estratigráficas levantadas con su respectivo análisis. La zona de estudio se encuentra en la parte suroccidental

del Departamento de Nariño (Fig. 1), donde se localizan los municipios de Ipiales, Tuquerres, Cumbal, Aldana y Guachucal, entre otros.

Se aprovecharon los mejores afloramientos del área para el levantamiento de columnas estratigráficas. En la parte suroriental del altiplano, en zona rural del Municipio de Ipiales, sector de Las Lajas (Fig. 1), se localiza la sección más completa y de mayor espesor de la zona de estudio. Secciones aledañas se encuentran cerca al puente fronterizo de Rumichaca y la cantera Puente Nuevo, además de la sección La Crustada, en el casco urbano de Ipiales. Más hacia el occidente se localiza la columna de Carlosama. En la parte septentrional se encuentran las columnas estratigráficas de El Espino, Puente Ospina, Chirristés y La Calavera (Fig. 1). Sin embargo por las limitaciones de espacio, para este trabajo sólo se presentan las columnas de Las Lajas y Rumichaca; el detalle de las



| Columna Estratigráfica | Norte | Este | Columna Estratigráfica | Norte | Este |
|------------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| Las Lajas | 580519 | 943981 | El Espino | 607289 | 931341 |
| Rumichaca | 582879 | 936451 | Puente Ospina | 580843 | 944156 |
| Puente Nuevo | 582412 | 936850 | Chiristés | 610227 | 951220 |
| La Crustada | 582727 | 937843 | La Calavera | 599738 | 931609 |
| Carlosama | 585135 | 932262 | | | |

Fig. 1. Ubicación de las Columnas Estratigráficas levantadas por INGEOMINAS en el Altiplano Nariñense.

demás se encuentra en Velandia et al. (2006).

El levantamiento estratigráfico se realizó con énfasis en la composición y textura de los materiales, especialmente en la granulometría, la redondez y la selección. A los tamaños de grano de los depósitos volcánicos, se les busca la equivalencia en los tamaños de grano en la nomenclatura sedimentaria y se obtiene las siguientes equivalencias: ceniza fina con el rango arcilla a arena media, ceniza gruesa con arena gruesa y lapilli con grava (Tabla 1). Para la medición de los espesores en las columnas estratigráficas se usó el bastón de Jacob y cinta métrica. El análisis estratigráfico permitió la identificación y separación de varias secuencias en cada columna estratigráfica, teniendo en cuenta las características litológicas de los depósitos como granulometría, geometría, tipo de acumulación, relación fracción gruesa/fina y composición de la matriz, entre otros.

MARCO GEOLÓGICO

Los estudios geológicos desarrollados en el sur del país se han enfocado en la caracterización y evaluación de la amenaza volcánica generada por Cumbal y Chiles – Cerro Negro (MÉNDEZ & MONSALVE 1988, CORTES & CALVACHE 1997). Sumado a estos trabajos, se ha realizado la cartografía del Departamento de Nariño a escala 1:100000 por geólogos de INGEOMINAS como VELÁSQUEZ & PARRA (2002), GONZÁLEZ et al. (2002) y MURCIA & CEPEDA (1991). Además, el mapa geológico departamental de Nariño realizado por ARANGO & PONCE (1982) en escala 1:400.000, describe de manera general la configuración geológica del Altiplano Nariñense. La morfología del área corresponde a colinas suaves y relieves ondulados, producto de la acumulación y denudación de depósitos volcánicos y volcanoclásticos emitidos por focos activos como el Chiles–Cerro Negro, Cumbal, Azufral y volcanes extintos como el Pajablanca.

Las rocas más antiguas aflorantes en la región corresponden principalmente a rocas volcánicas básicas y sedimentarias de edad Cretácica pertenecientes al Grupo Diabásico y Dagua, respectivamente. Les suprayace de manera inconforme potentes depósitos volcánicos de ignimbritas y flujos de lavas andesíticas, suprayacidas por depósitos de tipo explosivo como flujos piroclásticos, caídas de ceniza y oleadas piroclásticas producidos desde el Plioceno hasta la actualidad. Los rasgos estructurales principales corresponden las fallas Cali – Patía, que ha

sido relacionada con los focos volcánicos de Azufral, Cumbal y Chiles-Cerro Negro, Falla Río Guáitara que controla en parte el cauce del río y que está relacionada con las fallas del borde occidental de la Cordillera Central como la Fallas Silvia-Pijao. Cruzando el altiplano en sentido NE se distingue también la Falla Guachucal como una estructura activa que limita los depósitos de vulcanismo antiguo al oriente, de los más recientes al occidente.

MARCO TEÓRICO

Los depósitos y productos volcánicos son el resultado directo de la fragmentación del magma y la roca circundante en las explosiones volcánicas. Estos productos dependen, del tipo y composición del magma, viscosidad y cantidad de volátiles, además del ambiente geotectónico en el que se encuentre el sistema eruptivo. La topografía y el régimen climático son factores dominantes en la dirección de flujo y dispersión de los materiales volcánicos. De acuerdo con el tipo de transporte, los depósitos volcánicos se pueden agrupar de manera general en tres grupos: depósitos de caídas (de cenizas, bombas volcánicas y bloques) depósitos de flujos piroclásticos y depósitos de oleadas piroclásticas. En las caídas de ceniza las partículas de vidrio, cristales y líquidos, son proyectados desde la fuente y elevados a la atmósfera en una columna de erupción. La geometría, distribución y tamaño de las partículas, esta relacionada, con la altura de la pluma eruptiva y la velocidad y dirección de los vientos. Este tipo de depósitos tienden a cubrir la topografía preexistente con amplias distribuciones. Los bloques y bombas volcánicas son proyectados balísticamente y los vientos influyen menos en su distribución. Los flujos piroclásticos corresponden a nubes con alta concentración de fragmentos con una interfase gas – sólido en dispersión, se movilizan a lo largo de las pendientes del terreno y son controlados por la topografía y la gravedad, lo que produce un direccionamiento a través de valles y depresiones. Poseen un amplio rango granulométrico y son pobemente seleccionados. Las oleadas piroclásticas son flujos turbulentos con baja concentración de partículas y predominio de la fase gaseosa (Fig. 2). Estos depósitos son también controlados por la topografía y la gravedad, aunque en menor grado que los flujos piroclásticos y pueden presentar estratificación cruzada planar y en artesa de bajo ángulo.

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LAS LAJAS

Esta sección corresponde a la mejor exposición de los

TABLA 1. Equivalencia de los rangos granulométricos entre rocas volcánicas y sedimentarias. Modificado de FISHER & SCHMINKE (1984).

| Términos | Tamaño | Equivalente Sedimentario |
|----------------|------------|--------------------------------|
| Ceniza Fina | ≤1/16mm | ≤ Arena muy fina a arena media |
| Ceniza Gruesa | 1/16 – 2mm | Arena gruesa a muy gruesa |
| Lapilli | 2 – 64 mm. | Gránulo a Guijos |
| Bomba y Bloque | >64mm | ≥ Cantos |

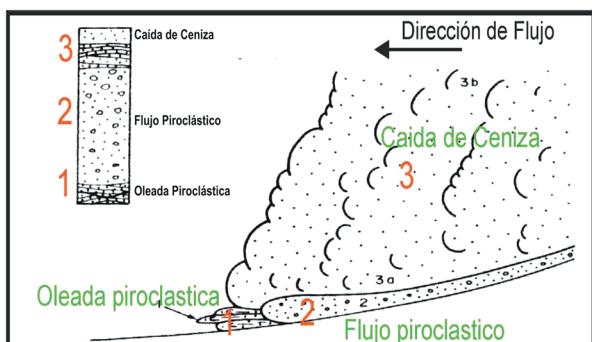


Fig. 2. Esquema generalizado de la geometría y posición en el terreno de los distintos depósitos piroclásticos, producto de actividad volcánica explosiva. Modificado de Cas & Wright (1988).

depósitos volcánicos en el Altiplano Nariñense. Se ubica sobre la vía al Santuario de las Lajas, donde se midieron 390 m de espesor y se identificaron cinco secuencias litológicas que se muestran en una columna generalizada (Fig. 3), las cuales fueron diferenciadas y discriminadas a partir de las características, faciales y composicionales descritas en el levantamiento de la columna estratigráfica detallada (VELANDIA et al. 2006) y para este trabajo se muestran parcialmente en las figuras 4 y 5. A partir de estas características se identifica el proceso que originó cada depósito, que para el caso de depósitos volcánicos es más claro para la diferenciación de secuencias. Las convenciones usadas para la descripción estratigráfica se muestran en la Tabla 2.

De base a tope la columna de Las Lajas está compuesta por potentes depósitos de ignimbritas (Secuencia 1 – Fig. 3) que corresponden a flujos piroclásticos soldados, con intercalaciones de paquetes con granulometría de gruesos y finos, aunque predominan los de tamaños gruesos hasta los bloques. Suprayaciendo a estos depósitos, se encuentran en contacto discordante lavas andesíticas afaníticas y porfiríticas (Secuencia 2 – Fig. 3)

producto de eventos efusivos de composición intermedia con un gran volumen de emisión, que se caracterizan por el fracturamiento semicircular debido al enfriamiento rápido (Fig. 6 A). Esta secuencia presenta intercalaciones de brechas, de base y de techo.



Fig. 3. Columna esquemática generalizada de Las Lajas donde se señalan las secuencias litológicas volcánicas y el basamento del Altiplano Nariñense.

TABLA 2. Convenciones empleadas en las columnas estratigráficas.

| CONVENCIONES | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|----------------|
| TIPO DE DEPOSITO | ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS | CONTACTOS | SELECCIÓN | |
| Oleada Piroclástica | Granodecrecimiento hacia el tope | — Neto | Mb | Muy Buena |
| Flujo Piroclástico | Estratificación cruzada en artesa | ---- Transicional | B | Buena |
| Caída de Ceniza Gruesa | Lentes con laminación cruzada | ~~~~ Discordante | R | Regular |
| Caída de Ceniza Fina | Nódulos de hierro | \\\\\\\\ Fallado | M | Mala |
| Paleosuelo | Lentes conglomeráticos polimícticos | | R | Redondeado |
| | | | Sr | Sub-redondeado |
| | | | A | Angular |
| | | | Sa | Sub-angular |

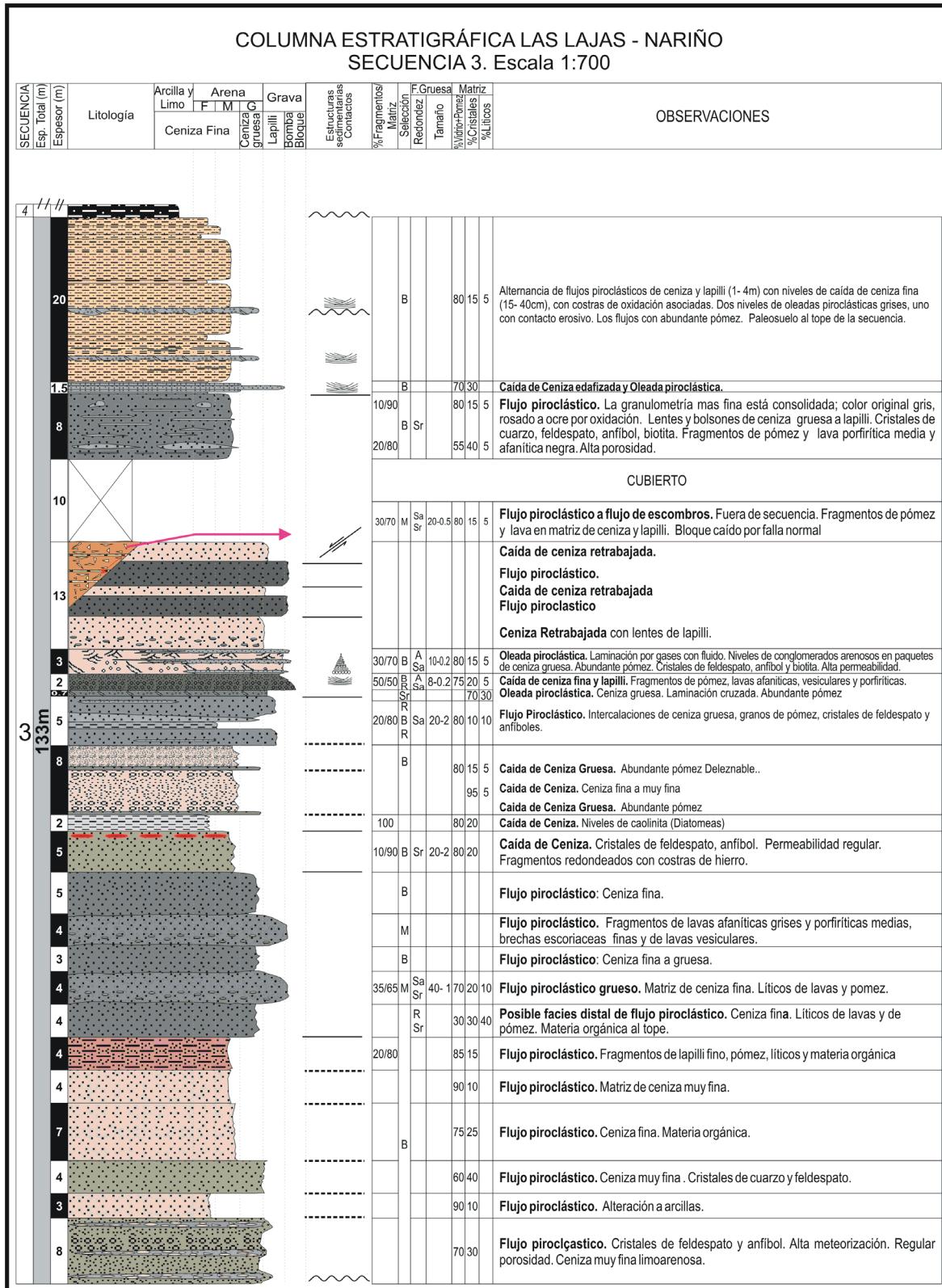


Fig. 4. Columna estratigráfica de la Secuencia 3 Escala 1:700. Las Lajas - Nariño. Ver secuencias 1 y 2 en Columna Generalizada de la figura 3.

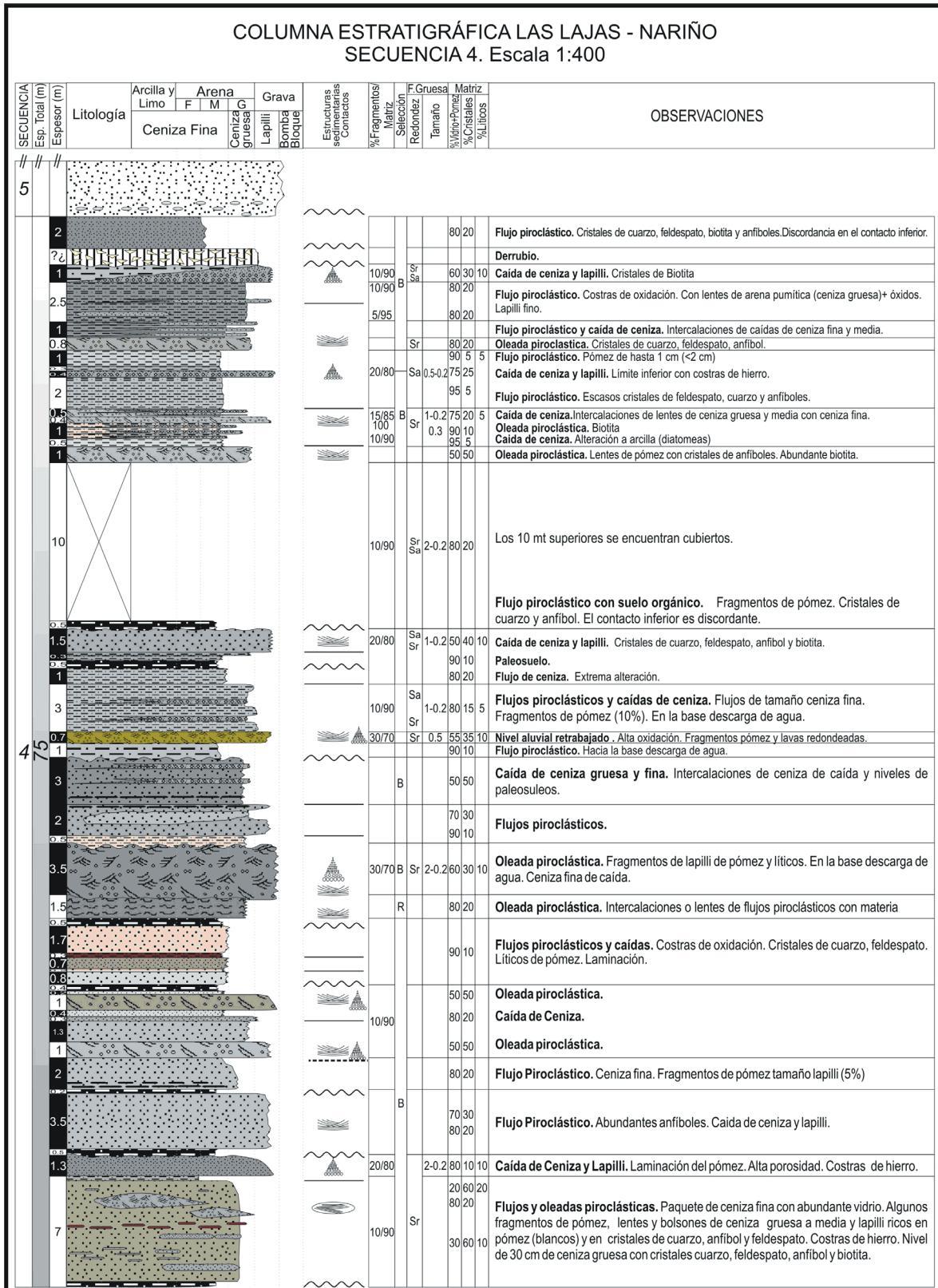


Fig. 5. Columna estratigráfica de la Secuencia 4 Escala 1:400. Las Lajas - Nariño.

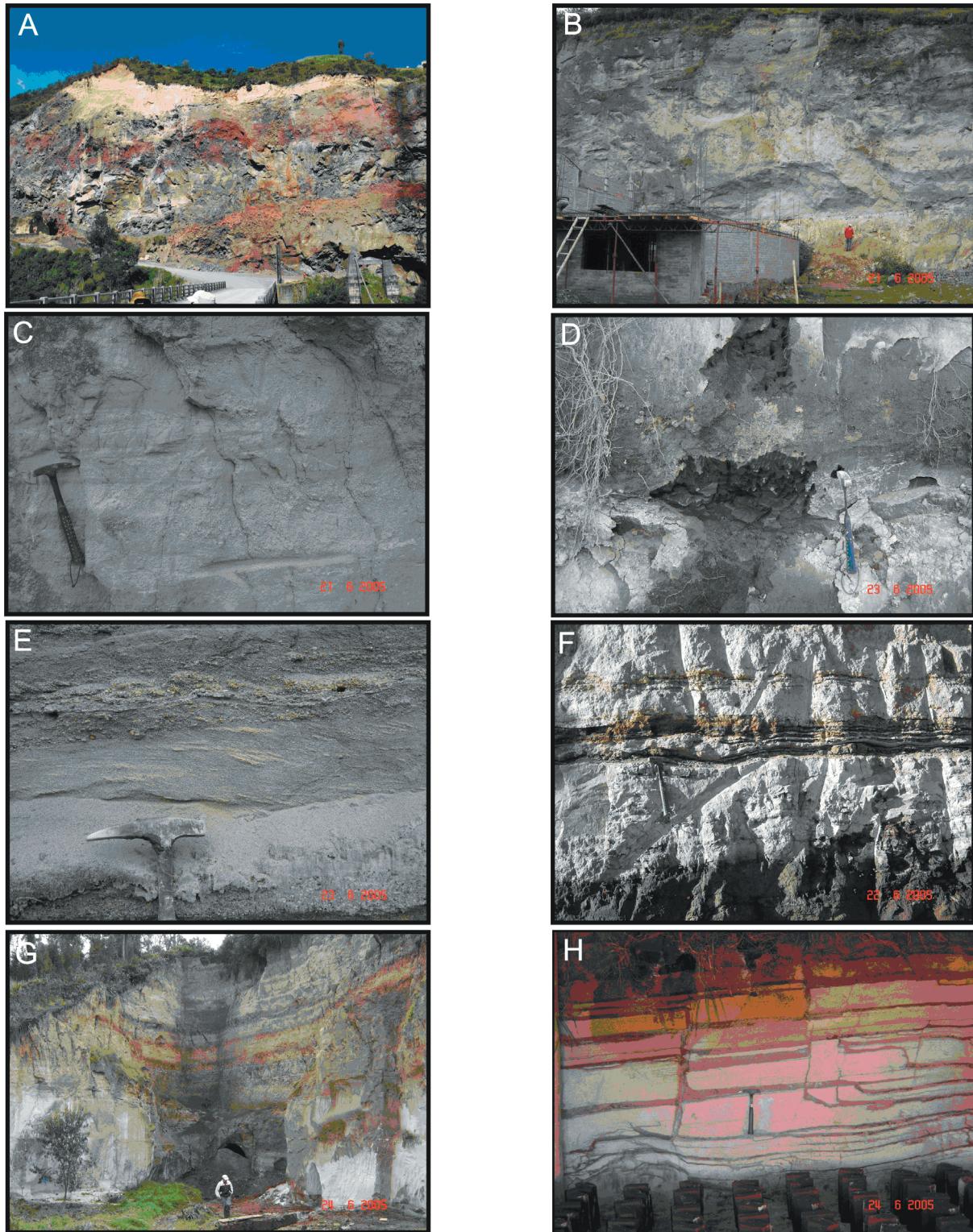


Fig. 6. Fotografías Columna Las Lajas A. Lavas andesíticas de la Secuencia 2. B. Flujos piroclásticos de la Secuencia 3. C. Oleada piroclástica con estratificación cruzada (Tope Secuencia 3). D. Paleosuelos que marca el inicio de la Secuencia 4. E. Oleada piroclástica con estratificación cruzada en artesa (Secuencia 4). F. Caida de ceniza fina con procesos de edafización y un nivel de paleosuelo al centro (Secuencia 4). G. Panoramica Secuencia 5. H. Caida de ceniza y lapilli del tope de la Secuencia 5.

Sobre las lavas, descansan de manera discordante potentes depósitos piroclásticos no consolidados que fueron divididos a su vez en tres secuencias: los materiales piroclásticos báseales (Secuencia 3) están constituidos esencialmente por flujos piroclásticos andesíticos con cuatro metros de espesor promedio (Fig. 6B) y oleadas piroclásticas que son más frecuentes hacia el tope de la secuencia (Fig. 4). En la parte media de la secuencia se presentan esporádicas caídas de ceniza fina con estratificación planoparalela, sumadas a oleadas piroclásticas con granulometrías de ceniza gruesa y estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo y granodecrecimiento al tope (Fig. 6C). En esta unidad SALAZAR & ZAPATA (2006) han reportado la aparición de diatomeas propios de ambientes lagunares fríos, las cuales inicialmente fueron descritas en la columna como niveles de caolinita por su apariencia y textura. En la parte superior se incrementa la ocurrencia de oleadas piroclásticas a manera de lentes y bolsones discordantes incluidos dentro de flujos piroclásticos. El tope de esta unidad fue definido con la aparición del primer paleosuelo, de espesor aproximado de 50 cm (Fig. 6D). A partir de este punto se identificó la Secuencia 4 (Fig. 5), constituida por intercalaciones rítmicas de flujos piroclásticos, caídas de ceniza y oleadas con espesores promedio que alcanzan un metro por capa (Fig. 6E). La característica principal de esta secuencia, es la aparición de paleosuelos cíclicos y el aumento de los procesos de edafización en flujos piroclásticos y caídas de ceniza de diversas granulometrías (Fig. 6F) debido al mayor tiempo de exposición al que han sido sometidos. Además, una capa de 50 cm se reportó a nivel meso como caolinita, pero posteriormente SALAZAR & ZAPATA (2006) la caracterizaron a nivel microscópico como un paquete de diatomeas bentónicas.

La Secuencia 5 está representada a la base por una capa blanca de caída de ceniza gruesa y lapilli con cristales de biotita, que alcanza un espesor de 10 m, suprayacida por intercalaciones de flujos piroclásticos y caídas de ceniza fina con avanzados procesos de edafización (Fig. 6G); al tope y como el evento más reciente del vulcanismo del área, se presenta un depósito blanco de caída de ceniza gruesa y lapilli semejante al de la parte basal de la secuencia, con un espesor de dos metros (Fig. 6H). Esta Secuencia 5 se levanta también en la Columna de Rumichaca (ver adelante) y para facilitad de la estratigrafía, se denomina “cangagua”, tomando en forma restringida el término que en Ecuador se usa para referirse a todo el conjunto de depósitos piroclásticos.

SECCIONES ADICIONALES

Se levantaron otras secciones en sectores del Altiplano Nariñense (Fig. 1), las cuales se muestran en forma esquemática en la Figura 8. Las columnas estratigráficas de La Crustada (27 m) y La Calavera (43 m) muestran depósitos variados, con materiales desde ceniza fina a lapilli, asociados con depósitos de caída y de flujos piroclásticos en su mayoría, los cuales presentan avanza-

dos procesos de formación de suelos. Por sus características litológicas se relacionan con la Secuencia 5 de Las Lajas y en menor proporción con la Secuencia 4.

La Sección de Puente Nuevo (63 m), sitio cercano a Ipiales en el valle del río Guáitara, también presenta acumulaciones de flujos piroclásticos y caídas de ceniza en el tope de la columna, que se pueden relacionar con los depósitos de la Secuencia 5 de Las Lajas y Rumichaca, sin embargo la mayor parte de la litología identificada en la cantera de Puente Nuevo corresponde a depósitos de flujos de escombros y piroclásticos con abundante fracción gruesa (30% en promedio) subangular, en espesos paquetes con selección regular, que en general se distribuyen en forma restringida al cauce del río; es decir que no se trata de una secuencia con distribución regional correlacionable con otros depósitos del Altiplano, salvo los de la parte superior ya mencionados. Otra sección con características litológicas que indican ambiente restringido, en este caso al cauce del río Blanco, es la columna estratigráfica de Carlosama (26 m), que presenta una mezcla de depósitos con influencia fluvial como flujos de escombros, de lodo e hiperconcentrados, todos con geometría lenticular, y con intercalaciones de depósitos de caída de cenizas y lapilli y algunos depósitos piroclásticos. Hacia la parte superior de esta sección se encuentra litología similar a la Secuencia 5 de Las Lajas.

La Sección de Puente Ospina (110 m) muestra depósitos de flujos de escombros en mayoría y se interpreta también como una secuencia al cauce del río Sapuyes, sólo los 10 m superiores corresponden a flujos piroclásticos y caídas de ceniza, propios de la cobertura de inconsolidados que caracteriza la mayor parte del Altiplano Nariñense, incluso hacia las estribaciones del Volcán Pajablanca, como en este caso.

La columna más septentrional del área de estudio es la de Chirristés (73 m), donde se distinguen hacia la base, depósitos de lavas andesíticas y brechas de techo y báseales, las cuales no se asocian directamente con las lavas de la Secuencia 2 de Las Lajas, sino con eventos más recientes de las calderas colapsadas en los alrededores de Guitarrilla e Imués. En la parte superior afloran depósitos inconsolidados de flujos piroclásticos que por distancia y características litológicas tampoco se correlacionan con los depósitos de Las Lajas.

Respecto del vulcanismo más reciente, la exposición más completa de los depósitos del Volcán Azufral se encuentra en la Cantera de San Luis (El Espino) representada en la columna estratigráfica con un espesor de 36m (Fig. 8), donde aflora una espesa secuencia de flujos piroclásticos con tamaño de grano de ceniza gruesa a lapilli y con fracción gruesa que varía entre el 10% y 40% con respecto a la matriz. FONTAINE & STIX (1993) y FONTAINE (1994) promedian una edad de 3.650 años AP para los flujos piroclásticos de El Espino. Existen dataciones con edades mas recientes relacionadas con este deposito (OLADE

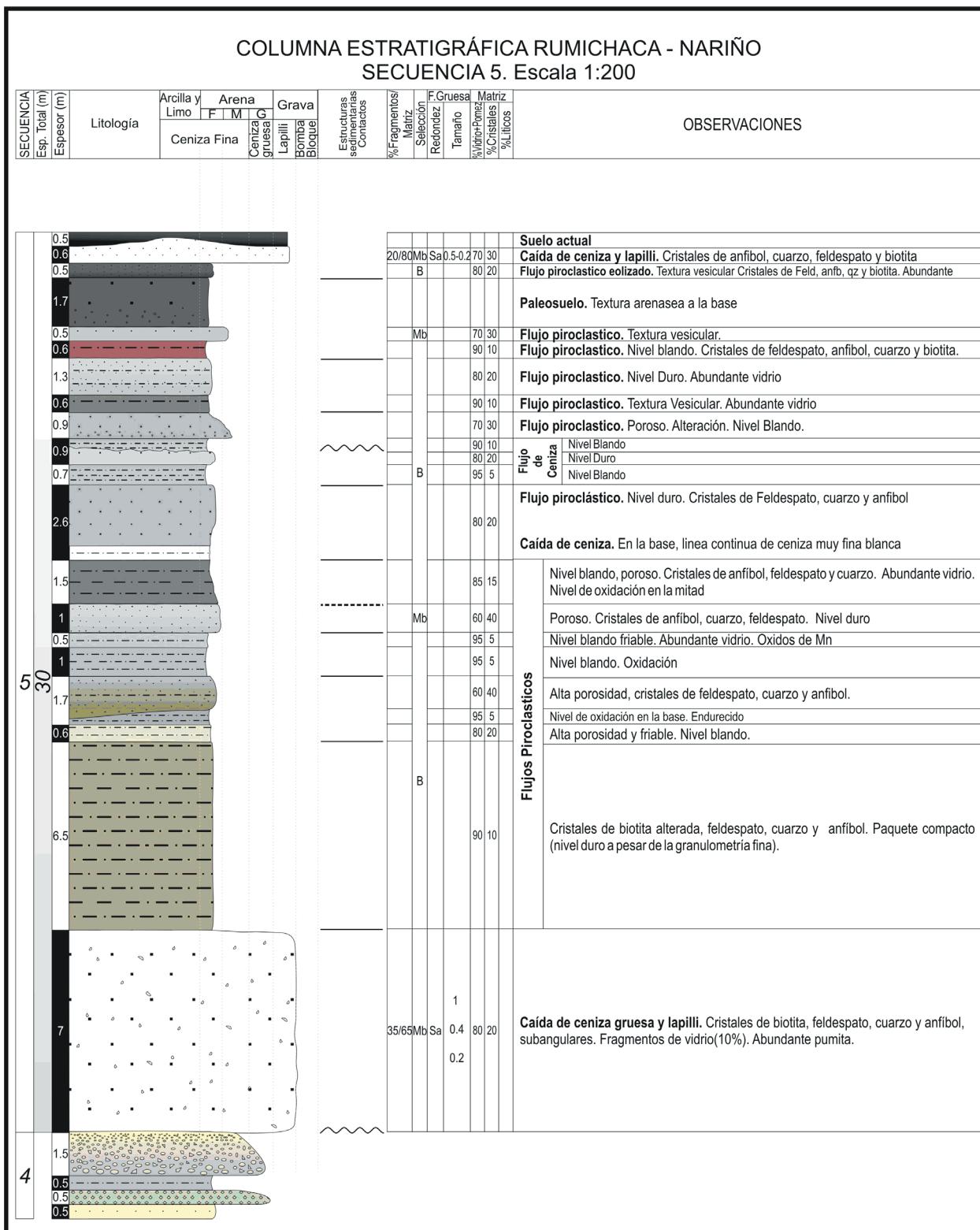


Fig. 7. Columna estratigráfica de la Secuencia 5 Escala 1:200. Rumichaca - Nariño.

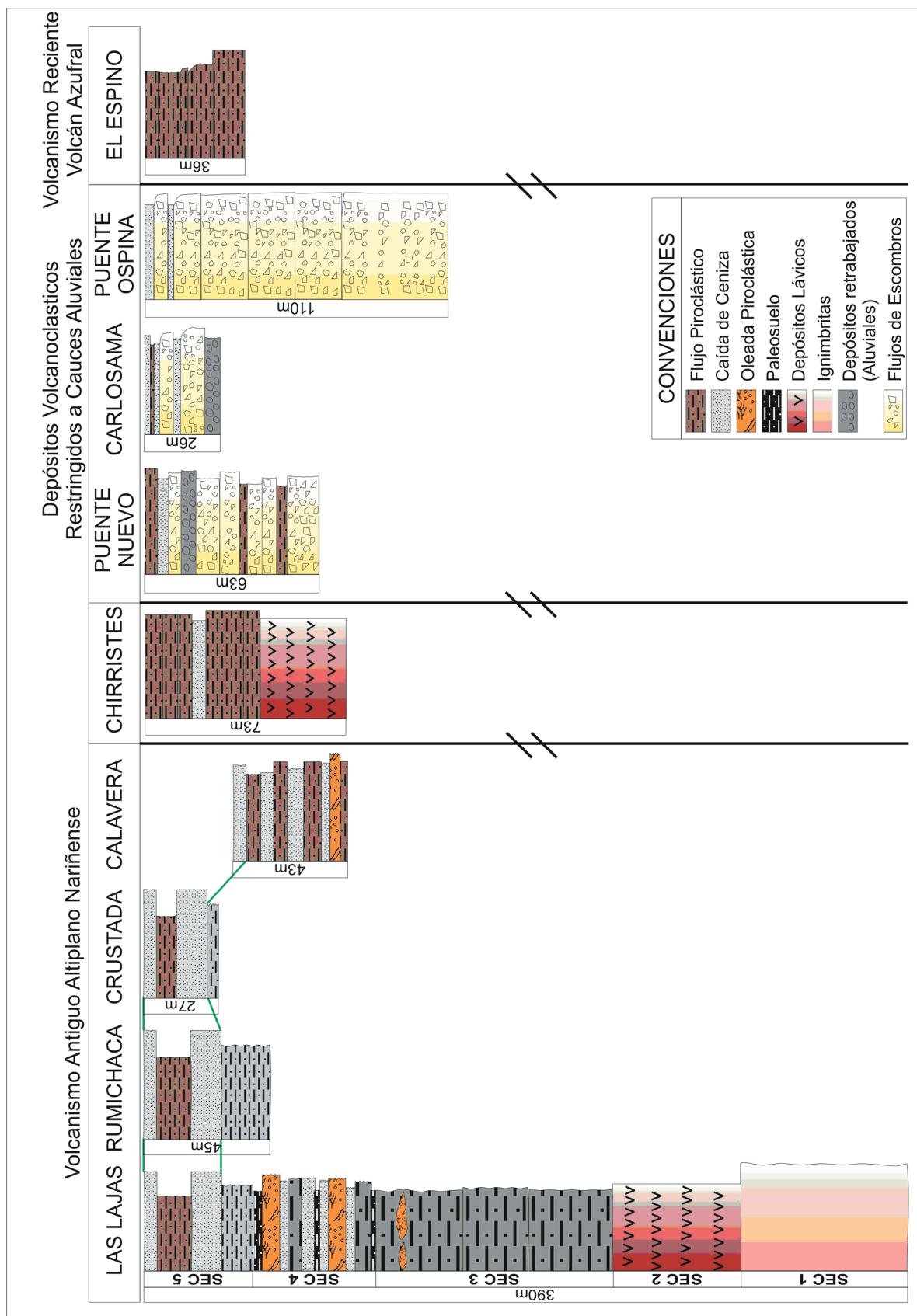


Fig. 8. Esquema y relación general de las columnas estratigráficas levantadas en el Altiplano Nariñense.

1982, CALVACHE *et al.* 2003)

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis facial, litológico y estratigráfico de los depósitos volcánicos y volcanoclásticos aflorantes en el Altiplano Nariñense, permitió discriminar dos zonas geográficas, donde los eventos efusivos y explosivos han sido el producto de diversos focos, tanto Colombianos como de la cordillera Real Ecuatoriana y que han sido controlados por barreras topográficas importantes como el extinto volcán Pajablanca. El volcanismo del sector más septentrional del área de estudio, representado en las columnas estratigráficas de El Espino, Puente Ospina y Chirristes está relacionado con la actividad y acumulación sucesiva de depósitos piroclásticos recientes provenientes del Volcán Azufral y de las calderas Quitasol e Imués (CALVACHE *et al.* 2003, PINILLA *et al.* 2006). La característica principal de estos depósitos es el alto grado de explosividad registrada en los potentes espesores observados en campo.

El volcanismo del sector suroriental y occidental, representado en las columnas de Las Lajas, Rumichaca, Puente Nuevo, La Crustada, La Calavera y Chirristes, es el producto de la actividad de los volcanes Cumbal, Chiles – Cerro Negro y algunos focos ecuatorianos como la caldera de Chalpatán (VELÁSQUEZ & PARRA 2002 y PINILLA *et al.* 2006). Los niveles ignimbriticos y derrames lávicos pertenecientes a las primeras dos secuencias descritas en la columna de Las Lajas, así como los edificios y los fondos caldéricos de los volcanes Cumbal y Chiles – Cerro Negro, además de los extensos depósitos de lavas asociadas a la actividad del Pajablanca, permiten agruparlas de manera genérica en un volcanismo antiguo, sobre el cual reposan de manera discordante, depósitos piroclásticos que se encargaron de llenar y recubrir la paleotopografía. Respecto de las edades de estos depósitos, la única datación existente en el área fue realizada por OLADE *et al.* (1987) en lavas andesíticas del Panecillo de Tufiño en Ecuador, con resultado de 4,6 Ma. (K/Ar), con la cual se han correlacionado depósitos de lavas de composición similar que afloran en el cañón del Río Guaitara, Macas y el volcán extinto de Pajablanca (VELÁSQUEZ & PARRA 2002) y en el denominado Cumbal Antiguo (GONZÁLEZ *et al.* 2002).

La Secuencia 3 de los depósitos piroclásticos no consolidados, caracterizada por amplios espesores y un proceso dominante de flujos piroclásticos se asume como proveniente de los volcanes Cumbal y Chiles-Cerro Negro, en eventos altamente explosivos y veloces. La Secuencia 4, se expresa como discordante, con disminución en los espesores de las capas piroclásticas y aparición de paleosuelos cílicos, que marcan épocas de no deposición o inactividad volcánica. Los depósitos más recientes de la Secuencia 5 (9670 años ^{14}C - en CORTÉS & CALVACHE 1997), esencialmente dacíticos, cubren el sector sur del área y su procedencia se relaciona con fuentes volcánicas ubicadas en Ecuador, como lo sugieren VELÁSQUEZ & PARRA (2002) y PINILLA *et al.* (2006). Este hecho se ve sustentado

en el grado de evolución magmática que se requiere para que un foco volcánico sea capaz de emitir productos fuertemente ácidos o dacíticos, propios de estadios maduros o últimas fases de evolución, que son inexistentes en los volcanes Colombianos del Suroccidente como el volcán Cumbal y Chiles-Cerro Negro que se encuentran en una fase intermedia andesítica. El Volcán Azufral, aunque de composición actual dacítica no se puede considerar como origen de la Secuencia 5 debido a que el espesor de los depósitos disminuye hacia el Norte, en dirección al centro eruptivo además, la distancia del Volcán Azufral es mayor que aquella a los centros eruptivos más septentrionales de la Cordillera Real del Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Exploración de Aguas Subterráneas del INGEOMINAS. A las geólogas Gloria Hincapié y Bibiana Paola Rodríguez por la colaboración en el trabajo de campo y Carolina Tenjo por el apoyo en la edición de las columnas estratigráficas. También agradecemos a la geóloga Diana Montoya por la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUATER. (1987). Proyecto binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro. Modelo Geotérmico, Síntesis y Recomendaciones, 60p. Milán.
- ARANGO, J. & PONCE, Á. (1980). Reseña Explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Nariño. INGEOMINAS, Informe 1818, 40 p. Bogotá.
- ARANGO, J. & PONCE, Á. (1982). Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Nariño, Escala 1:400.000. INGEOMINAS. Bogotá.
- BECHON, F. & MONSALVE, M. L. (1991). Activité récente préhistorique du volcan Azufral (SW de la Colombie). C.R. Acad. Sci. Paris, 313(2):99-104.
- CALVACHE, M. (1999). Informe volcán Azufral. Proyectos B98G04 Y C98R06. Unidad Operativa Pasto. INGEOMINAS, informe interno, 44 p. Pasto.
- CALVACHE, M.; CORTES, G. P.; TORRES, P. & MONSALVE, M. L. (2003). Geovulcanología del Volcán Azufral. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.
- CAS, R.A.F. & WRIGHT, J.V. (1988) Volcanic Successions Modern and Ancients. Chapman y Hall.
- CORTÉS, G.P. & CALVACHE, M. L. (1997). Evaluación de la Amenaza Volcánica del Chiles y Cerro Negro. INGEOMINAS, Inés., 43p. Sanjuán de Pasto.
- FISHER, R.V.; & SCHMINCKE, H. (1984) Pyroclastic Rocks. 1ed. Berlin Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- FONTAINE, E. (1994). Evolution pétrologique et géoquímique du volcan Azufral, Colombie, Amerique du Sud. Tesis Master, U. Montreal, 215 p.
- FONTAINE, E. & STIX, J. (1993). Evolution pétrologique et

- géoquimique du complexe de domes du volcan Azufral (Colombie, Amerique du Sud).C.R. Acad. Sci. Paris, 317(2):1501–1508.
- GONZÁLEZ, H.; ZAPATA, G. & MONTOYA, D. (2002) Geología y Geomorfología de la Plancha 428 Túquerres. Departamento de Nariño. INGEOMINAS Medellín.
- MÉNDEZ, R. & MONSALVE, M.L. (1988). Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico del Cumbal – Memoria. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.
- MURCIA, A. & CEPEDA, H., (1991). Mapa geológico de Colombia, Plancha 429 – Pasto. Escala 1:100.000, INGEOMINAS. Bogotá
- OLADE. (1982). Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Colombia, informe final. INGEOMINAS, 1985. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia. (CEGOC) XXI, 455 p. Bogotá.
- OLADE – INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACIÓN (INECEL) – ICEL - AQUATER, (1987). Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño-Chiles-Cerro Negro. Estudio de Prefactibilidad. Geovulcanología. 77 p.
- 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
- SALAZAR, E. & ZAPATA, V. (2006) Estudio Estratigráfico, Mineralógico, Granulométrico y Micro morfológico del Altiplano Nariñense. Proyecto de investigación Geológica, Sísmica y Geotérmica en el Altiplano Nariñense Tomo III, INGEOMINAS – Universidad Nacional de Colombia, Acuerdo Específico 046/05 Bogotá
- VELANDIA, F., SALAZAR, E., PULGARÍN, B., FORERO, H. & HINCAPIÉ, G. (2006). Estratigrafía del Altiplano Nariñense. Exploración de Aguas Subterráneas en el Altiplano Nariñense. INGEOMINAS. Informe Interno. Bogotá.
- VELÁSQUEZ, M & PARRA, E. (2002) Geología de las planchas 447 Ipiales y 447 bis Tallambi departamento de Nariño. Escala 1:100000. Memoria Explicativa. INGEOMINAS Medellín.

Manuscrito recibido Noviembre 2008; aceptado Diciembre 2008.