Capítulo 4 - Análisis de las unidades de acumulación

4.1) Introducción

En el presente apartado mediante el análisis de los resultados obtenidos del capítulo precedente (fig. 3.1), sumado a los mapas y columnas estratigráficas de detalle (anexos I y II), se realizará una evaluación de las diferentes unidades de acumulación que integran el relleno precuyano y el Ciclo Cuyano basal. De esta manera, al finalizar este capítulo se obtendrá una idea acabada sobre los diferentes subambientes y ambientes del Jurásico Inferior en el área más austral de la Cuenca Neuquina. Es importante destacar que los depocentros de rift a menudo se muestran como estructuras alargadas conformadas por segmentos de fallas extensionales, internamente asimétricos, presentando una evolución compleja (Schlische y Anders, 1996). La compartimentalización de los depocentros, la interacción y activación o desactivación de determinados segmentos de fallas y cambios en la polaridad de los depocentros, son algunos de los procesos que pueden generarse a través de su evolución (Gawthorpe y Leeder, 2000). Estos factores, conjuntamente con el clima y el tipo de roca de base, ejercen un control fundamental sobre los tipos, distribución, organización y evolución de los ambientes sedimentarios dentro de los depocentros donde el volcanismo aparece de manera subordinada (Leeder, 1999). En cuencas con abundante actividad magmática el volcanismo se convierte en unos de los principales controles de los ambientes, por su capacidad de generar relieve, aportar gran cantidad de detritos en cortos periodos de tiempo y disminuir la cobertura vegetal, entre otros (Smith 1991; Smith y Lowe, 1991; Mc Phie *et al*., 1993; Orton, 2002; Németh y Ulrike, 2007). Estudios en las últimas décadas han puesto de manifiesto la relevancia del volcanismo en los depósitos iniciales precuyanos de la Cuenca Neuquina (Gulisano y Pando, 1981; Gulisano *et al*., 1984; Franzese *et al*., 2005; Franzese *et al*., 2007; Llambías *et al*., 2008; entre otros), sin ahondar en los diferentes ambientes y las relaciones existentes entre éstos. Con todo, el estudio de los ambientes iniciales de la cuenca presenta un panorama complicado. Para su abordaje fue necesario contar con una gran cantidad de datos concernientes no sólo a los diferentes procesos depositacionales puntuales, sino también en lo referente a la distribución lateral y vertical de los depósitos en toda el área de estudio.

4.2) ¿Qué es una unidad de acumulación y cómo se define?

En el presente trabajo se define a una unidad de acumulación como un conjunto de facies que presentan una relación genética en común (asociaciones de facies), un arreglo interno, una composición, una geometría y una distribución particular. Bajo esta definición las unidades de acumulación serán presentadas mediante mapas geológicos de detalle, en los cuales se podrá apreciar su distribución areal, columnas estratigráficas y paneles de correlación. De esta manera se realizará una interpretación sobre la evolución de los procesos depositacionales en el tiempo y en el espacio. De presentarse, serán utilizados los datos de paleocorrientes, previamente rebatidos a la horizontal. Cada unidad de acumulación tendrá una asociación de microfacies. Es importante destacar que las características composicionales de las unidades volcánicas y piroclásticas se obtuvieron a partir de los resultados del estudio litogeoquímico, conjuntamente con el análisis composicional fruto de las observaciones petrográficas.

4.3) Organización de las unidades de acumulación

Siguiendo con el esquema utilizado para el análisis de facies, las unidades fueron divididas en: **unidades de acumulación volcánicas**, **unidades de acumulación piroclásticas** y **unidades de acumulación sedimentarias**, las cuales en función de las asociaciones de facies y contenido fosilífero han sido subdivididas en unidades de **acumulación epiclásticas continentales**, **unidades de acumulación epiclásticas marinas** y **unidades de acumulación carbonáticas marinas**. Dentro de cada grupo mayor de unidades de acumulación las mismas fueron denominadas en función de nombres genéticos que aluden al tipo de ambiente o rasgos depositacionales (Ej. unidades de acumulación de coladas y coladas dómicas andesíticas, unidades de depósitos de corrientes piroclásticas alojados en depresiones o unidades de acumulación de sistemas fluviales de carga mixta). Hay unidades de acumulación en las cuales su denominación denota a depósitos de menor jerarquía dentro de un ambiente volcánico (Ej. unidades de acumulación de coladas y coladas dómicas andesíticas) y unidades que abarcan en su definición un ambiente sedimentario (Ej. unidades de acumulación de sistemas fluviales de carga mixta). Estas diferencias en la discriminación se fundan en la relevancia que las mismas tienen, desde el punto de vista de la distribución lateral y vertical dentro del relleno precuyano. Esto se debe a que unidades jerárquicas menores de un ambiente volcánico pueden llegar a ser más abundantes y ampliamente distribuidas en un depocentro que una unidad que integra un ambiente sedimentario.

El análisis del relleno precuyano y el Ciclo Cuyano basal para el área de Sañicó y Piedra del Águila arrojó un total de 21 unidades de acumulación: 6 volcánicas (fig. 4.1), 6

piroclásticas (fig. 4.17), 8 sedimentarias epiclásticas continentales, 1 sedimentaria epiclástica marina y 1 sedimentaria carbonática marina (fig. 4.28). A continuación se realizará una descripción e interpretación de las unidades de acumulación, comenzando por las generadas por procesos volcánicos primarios.

4.4) Unidades de acumulación de rocas volcánicas y volcaniclásticas asociadas

4.4.1) Unidades de acumulación de rocas volcánicas andesíticas

Bajo esta denominación se han agrupado a todas las unidades resultado de erupciones magmáticas superficiales no explosivas e intrusiones someras que fueron clasificadas petrográfica y litogeoquímicamente como de composición andesítica. A excepción de algunos cuerpos de composición andesita basáltica no se han encontrado términos más máficos dentro del relleno precuyano del área de estudio.

4.4.1.1) Coladas y coladas dómicas

Dentro de esta unidad de acumulación se agrupan coladas y coladas dómicas de composiciones andesíticas. Aparecen de manera frecuente en la parte inferior y superior del Ciclo Precuyano. Yacen conformando sucesiones potentes desde decenas hasta 200 m de espesor y gran distribución areal. Esta unidad se compone de litofacies de lavas andesíticas coherentes (LAC), lavas andesíticas autobrechadas (LAA), lavas andesíticas con fracturación hidráulica (LAFH) y lavas andesíticas pseudobrechadas (LAPB) (fig. 3.1). Las facies mencionadas se encuentran asociadas entre sí conformando sucesiones lávicas dominadas por lavas coherentes, generalmente de geometría tabular y minoritariamente dómica (donde las facies de lavas autobrechadas participan de manera escasa) y sucesiones dominadas por lavas autobrechadas (LAA) con geometrías dómicas a tabulares interpretadas como “lavas en bloque” (Kilburn, 2000). Minoritariamente, intercalando en las secuencias lávicas, se encontraron depósitos de flujos de bloques y cenizas (mlBri), depósitos de flujos de detritos (Gmm(a)) y depósitos arenosos originados por flujos hiperconcentrados (SGh) (fig. 3.1). Es importante destacar que en el mapeo de las unidades de acumulación de las unidades de coladas y coladas dómicas no se ha hecho una separación entre unidades que están dominadas por lavas coherentes y las que están dominadas por lavas en bloques. El motivo fundamental de haberlas mapeado de manera conjunta radica que en determinados sectores no existe un límite preciso entre las mismas en sentido lateral y vertical. Las coladas y coladas dómicas con abundancia de lavas en bloque se presentan como cuerpos de lava de entre 10 m y 50 m de espesor y gran distribución lateral, en ocasiones sin límites definidos (fig. 4.2 y 4.3). Se muestran con núcleos de lavas coherentes (LAC) y bordes autobrechados (LAA) o totalmente constituidas por facies

fig 4.1

Unidades de acumulación volcánicas

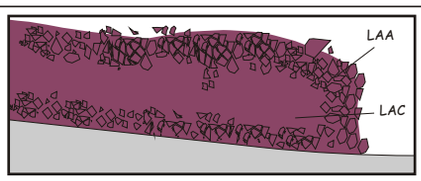
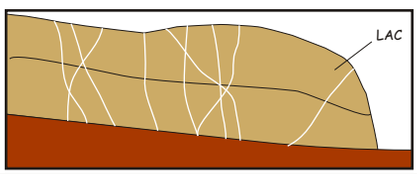
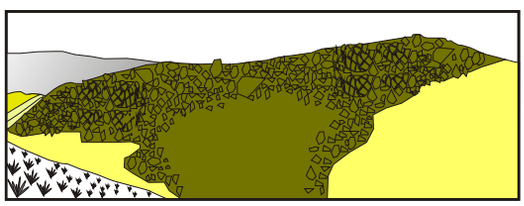
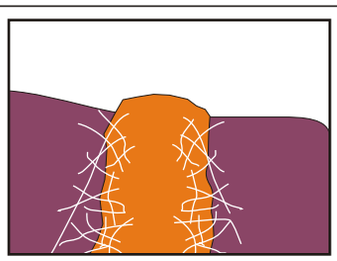
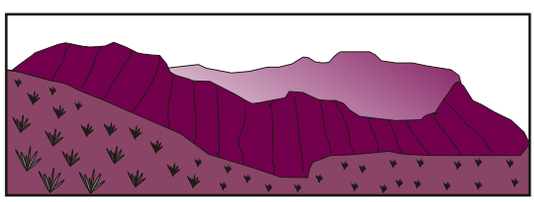
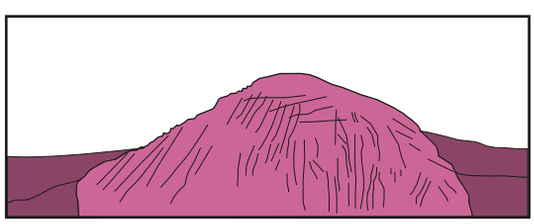
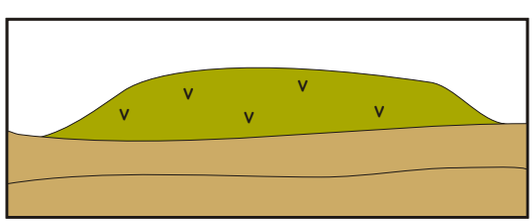
Unidad de acumulación	Asociaciones de facies y microfacies	Ilustración
Coladas y coladas dómicas andesíticas	Asociaciones de facies: LAC / LACf +LAC / LAC + LAPB + Gmm(a) ± mlBr(i) / LAC + LAA / LAC + LAFH + Gmm(a) ± mlBr(i) Asociaciones de microfacies: RVA(lavas) + REMA (Gmm(a)) ± /± DBFyC (mlBri)	 
Domos andesíticos	Asociaciones de facies: LAA / LAC + LAA Asociaciones de microfacies: RVA	
Diques andesíticos	Asociaciones de facies: LAC / LAC + LAFH Asociaciones de microfacies: RVA	
Conductos alimentadores	Asociaciones de facies: LDC Asociaciones de microfacies: RVD	
Criptodomos riodacíticos	Asociaciones de facies: LRC + LRCf Asociaciones de microfascies: RVR	
Coladas dómicas riodacíticas	Asociaciones de facies: LRC Asociaciones de microfascies: RVR	

Figura 4.1. Unidades de acumulación volcánicas identificadas para este estudio.

de lavas autobrechadas (LAA). En muchos casos las facies de lavas coherentes aparecen con texturas pseudobrechadas (LAPB) producto de diferentes fases de alteración que actúan sobre fracturas previamente formadas (Mc Phie *et al*., 1993; Gifkins *et al*., 2005). Las coladas y coladas dómicas con predominio de lavas coherentes (fig. 4.4, 4.5 y 4.6) generalmente se expresan como cuerpos tabulares de entre 2 m y 20 m de espesor y gran distribución areal. Habitualmente se muestran masivas aunque en ocasiones se han encontrado estructuras de foliación por flujo paralela a los bordes y disyunción columnar. En determinadas situaciones las lavas que componen esta unidad se presentan con litoclastos accidentales de esquistos de formas angulosas, provenientes del basamento (fig. 4.5). Otra característica sobresaliente es el importante grado de fracturación hidráulica que desarrollan los cuerpos de lavas cuando yacen sobre unidades de acumulación piroclástica y sobre unidades de acumulación sedimentaria. En el último caso, además de las facies de fracturación hidráulica (LAFH) se presentan con un importante desarrollo de vesículas y amígdalas en las partes basales (fig. 4.6).

Las unidades de coladas y coladas dómicas son un importante elemento agradante y de gran distribución areal que modeló el paisaje en diferentes etapas del Ciclo Precuyano. Tanto las unidades con predominio de lavas coherentes como las unidades con predominio de lavas en bloques son asociaciones de facies subaéreas (Mc Phie *et. al.*, 1993; Németh y Ulrike, 2007). El análisis de la composición y asociaciones de estas unidades indica que su expansión areal fue el resultado de sucesivos eventos efusivos desarrollados dentro del mismo periodo eruptivo (Kilburn, 2000). Entre los factores más importantes que controlan la evolución de los flujos de lavas se destacan la tasa efusiva, las propiedades físicas de las lavas (temperatura, composición, cantidad de volátiles y cantidad de fenocristales) y las características geomorfológicas del ambiente (Mc Phie *et al*., 1993; Kilburn, 2000). Tratándose de lavas que presentan similares características composicionales (fig. 4.11A), el relieve y la tasa de aporte habrían sido las variables que controlaron la abundancia de facies coherentes o autoclásticas dentro del relleno precuyano.

El grado de fracturación hidráulica que desarrollan las secuencias lávicas en determinados sectores del relleno cuando éstas se apoyan sobre unidades piroclásticas, se puede explicar por la circulación de soluciones calientes a altas presiones (Mc Phie *et al.*, 1993), probablemente provenientes del enfriamiento de las unidades piroclásticas. En cambio, el desarrollo de facies de fracturación hidráulica y la vesicularización cuando éstas se apoyan sobre sucesiones sedimentarias se adjudica al aporte de agua procedente de los sedimentos húmedos (López y Bellos, 2007). La presencia de fragmentos de roca de caja evidencia contaminación cortical durante el ascenso del magma a través de fracturas (Ej. diques) (Llambías, 2008).

Las facies no volcánicas que aparecen interdigitadas dentro de esta unidad (depósitos de flujos de bloques y cenizas) son de composición andesítica y están constituidos por materiales

primarios densos o escasamente vesicularizados. Tales características sugieren un origen a partir del colapso gravitatorio de las unidades de coladas y coladas dómicas (Mc Phie *et al*., 1993; Cas y Wright, 1987). Los depósitos de flujos de detritos (Gmm(a)) y/o depósitos de flujos hiperconcentrados (SGh) se muestran monomícticos, con espesores delgados y poca continuidad lateral y se originaron por la erosión y retrabajo de los cuerpos de lavas.

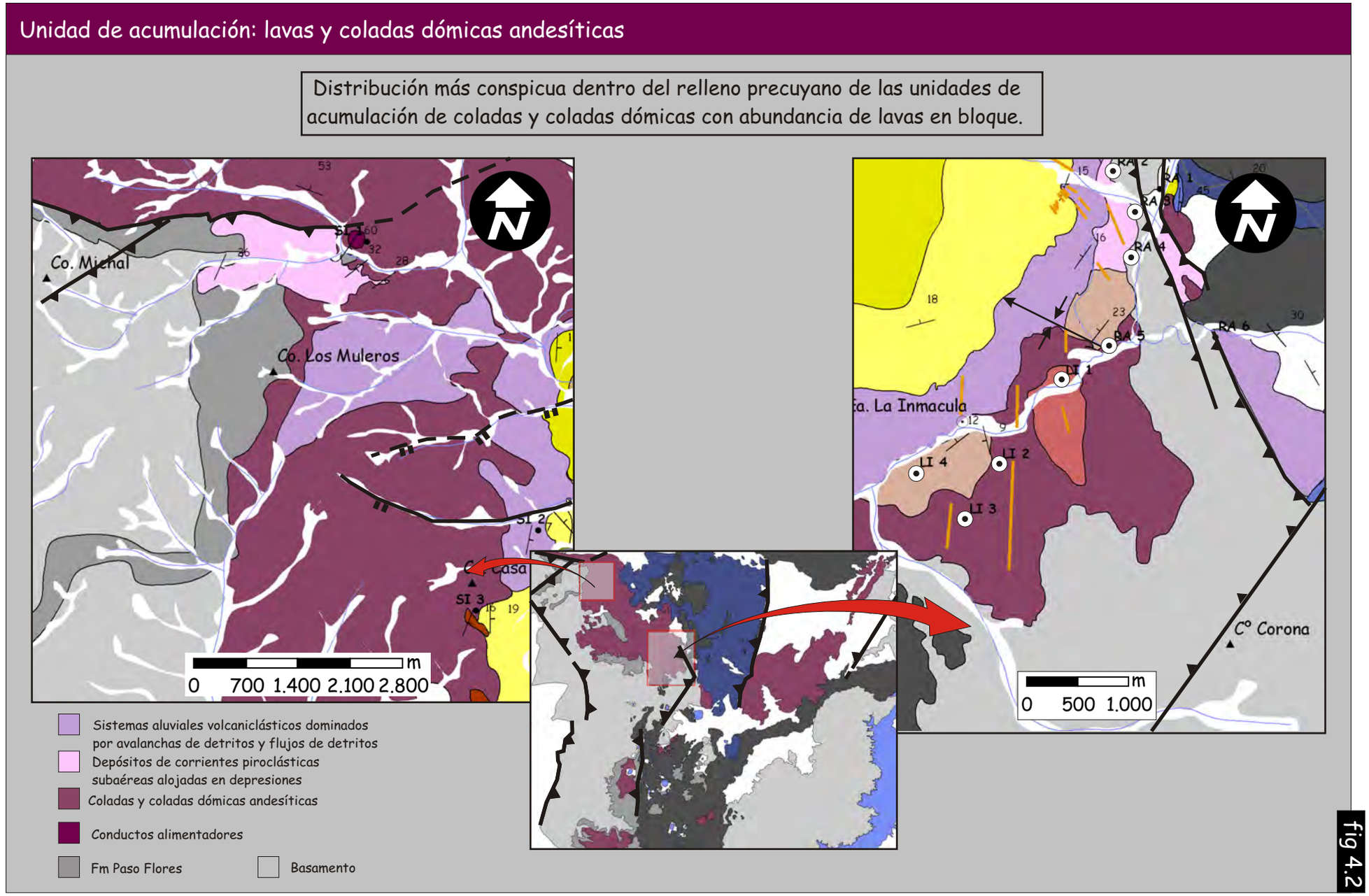


Figura 4.2. Distribución de las unidades de acumulación de lavas y coladas dómicas andesíticas dominadas por lavas en bloques.

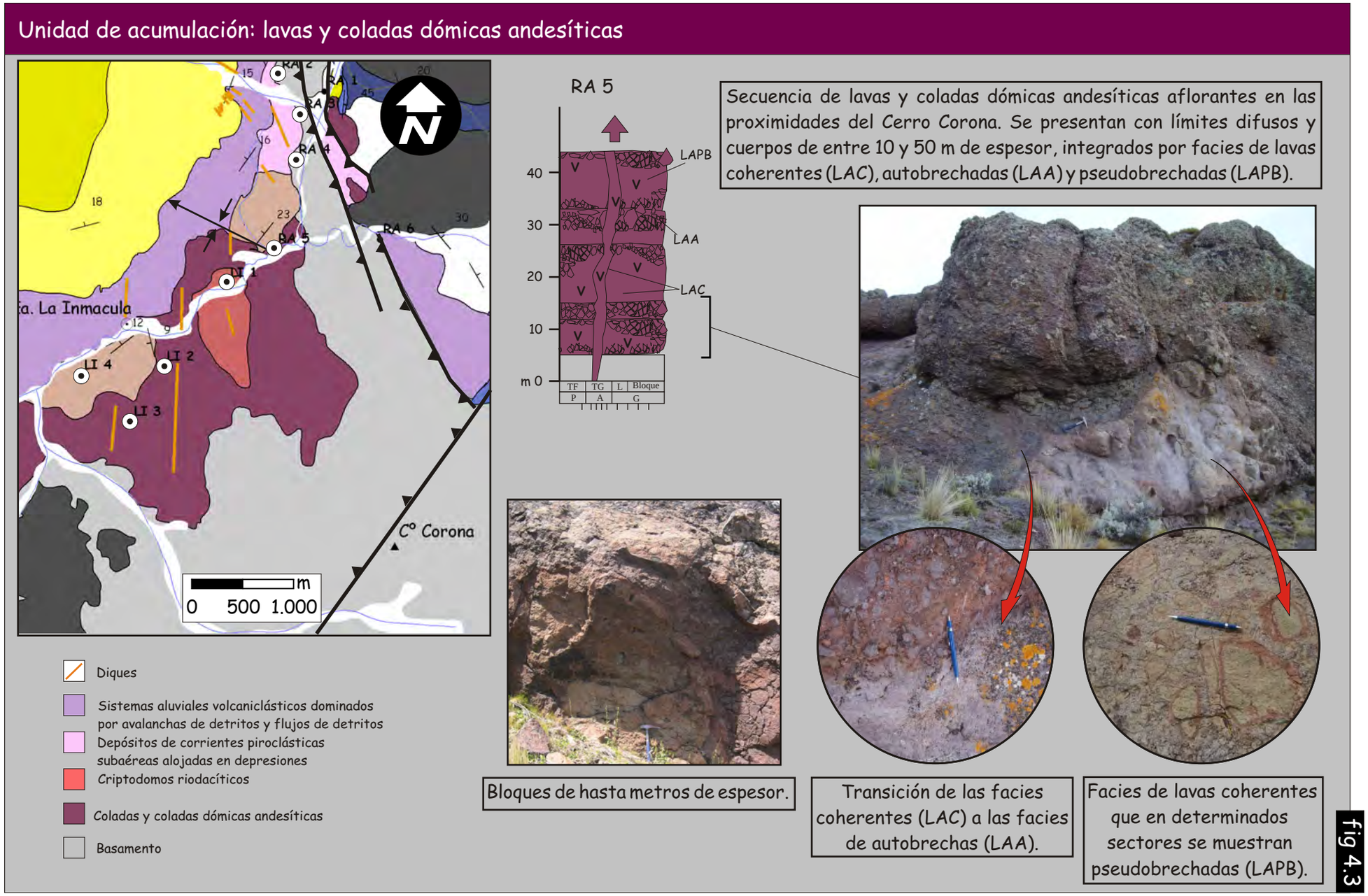


Figura 4.3. Unidad de acumulación de lavas y coladas dómicas andesíticas dominadas por lavas en bloques.

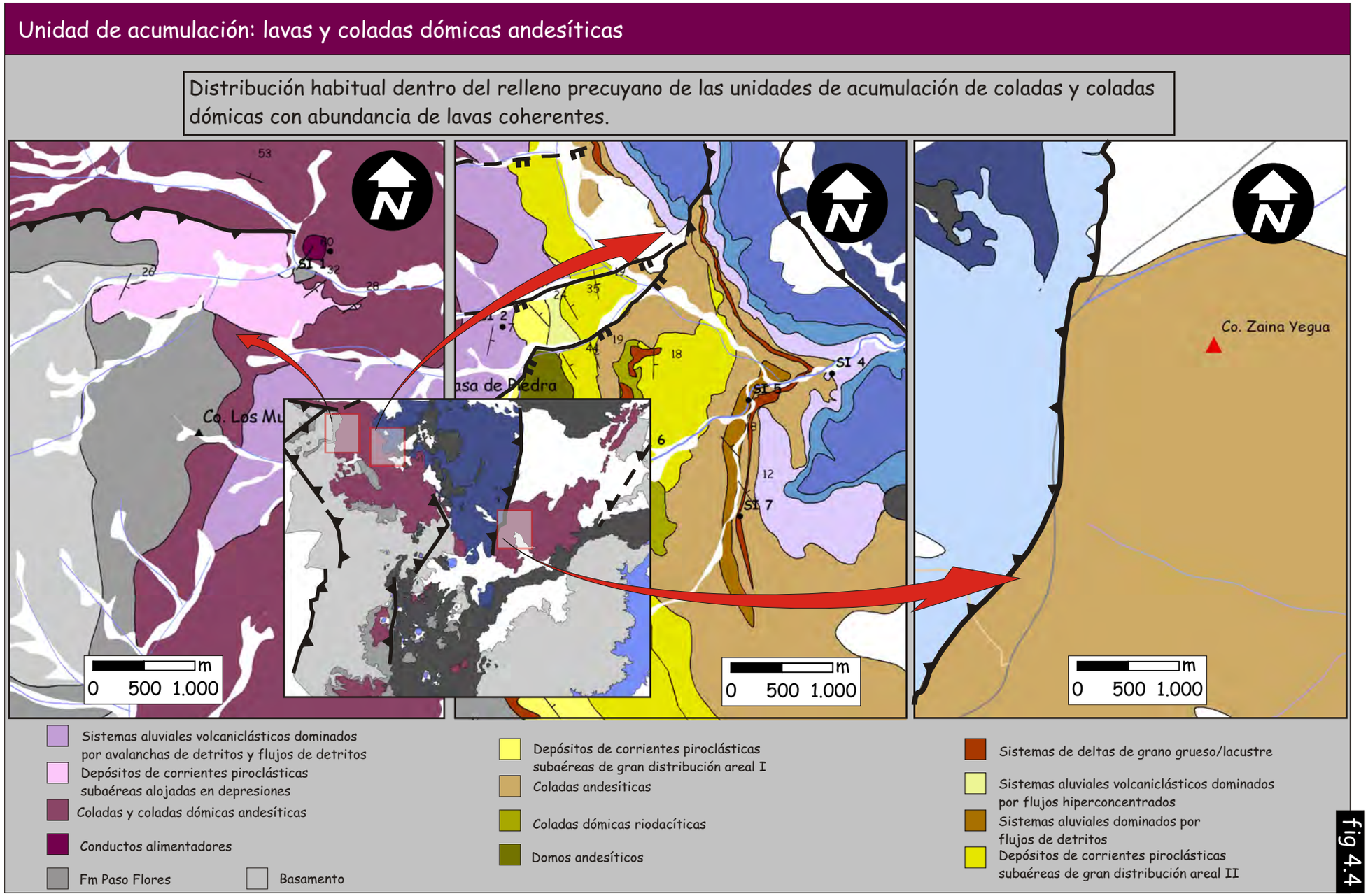


Figura 4.4. Distribución de las unidades de acumulación de lavas y coladas dómicas andesíticas dominadas por facies coherentes.

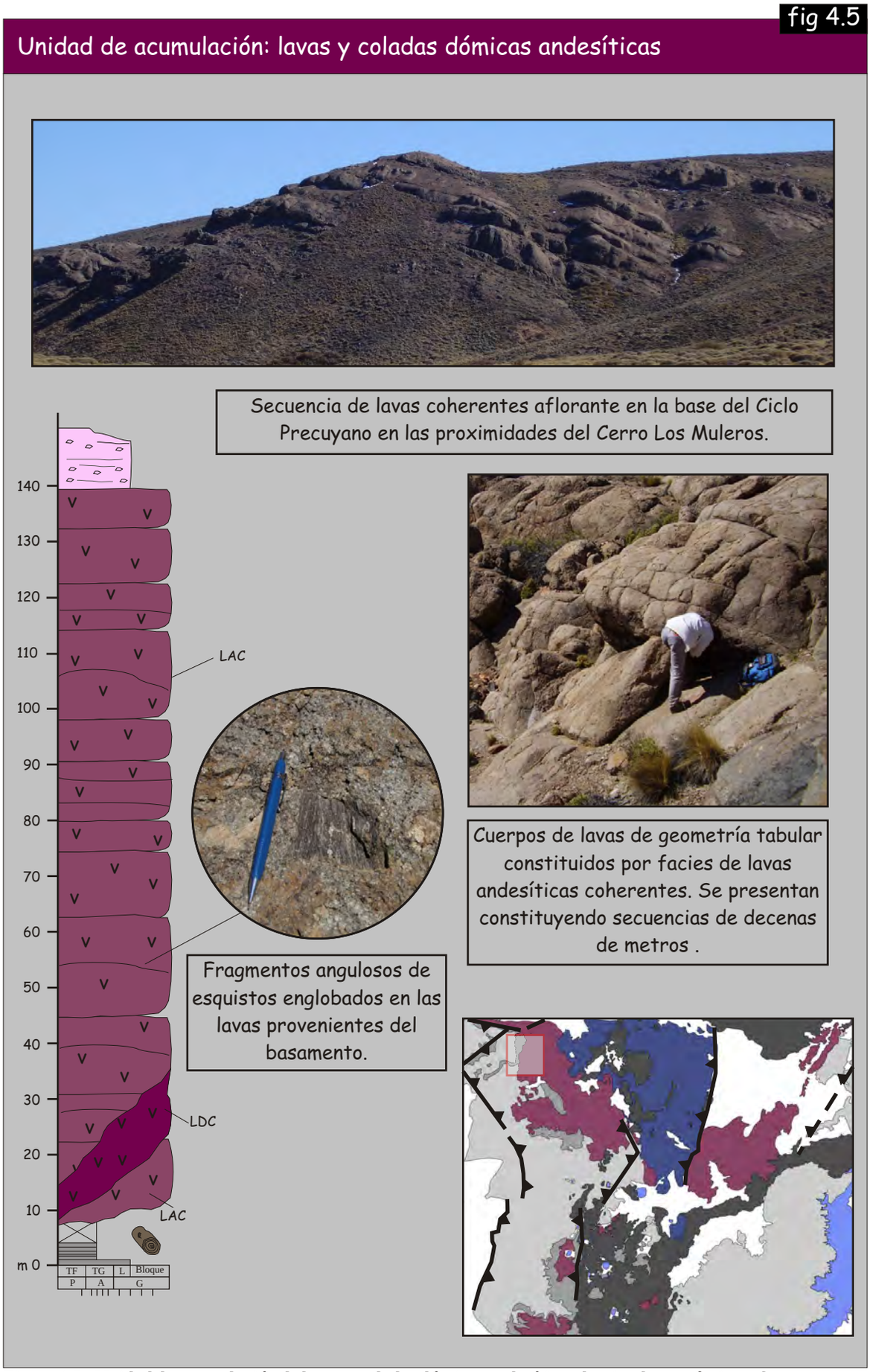


Figura 4.5. Unidad de acumulación de lavas y coladas dómicas andesíticas dominadas por facies coherentes.

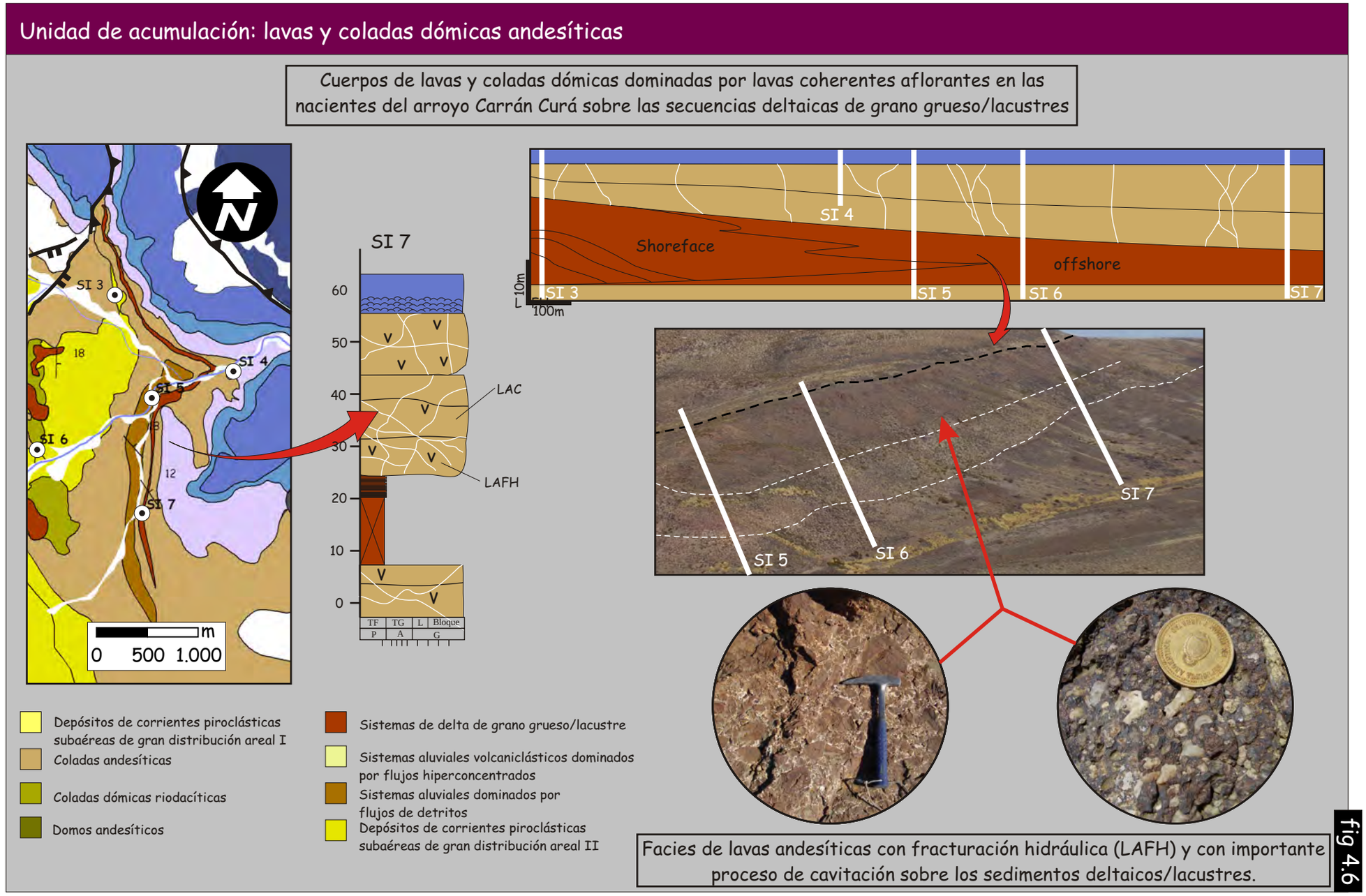


Figura 4.6. Unidad de acumulación de lavas y coladas dómicas andesíticas dominadas por facies coherentes.

4.4.1.2 Domos andesíticos

Dentro de esta unidad de acumulación se agruparon los exodomos y cuerpos lávicos de composición andesítica, en parte intrusivos y en parte extrusivos, que conforman entidades volcánicas denominadas como endodomos (Fink y Anderson, 2000). Esta unidad se desarrolla asociada a las unidades de acumulación de coladas y coladas dómicas (fig. 4.7) o se puede encontrar de manera aislada intercalada con unidades de acumulación piroclástica (fig. 4.8). Presenta geometría marcadamente dómica, con límites externos curvados o irregulares, espesores de entre 3 m y 30 m y una distribución areal que varía desde metros a cientos metros (fig. 4.7 y 4.8). Internamente esta unidad se compone de lavas con abundantes fenocristales de plagioclasa que conforman litofacies de lavas andesíticas coherentes (LAC) y litofacies de lavas andesíticas autobrechadas (LAA) (fig. 3.1), las cuales constituyen la caparazón externa de estos cuerpos. También se pueden presentar totalmente constituidas por litofacies de lavas andesíticas autobrechadas. En muy pocos casos se ha encontrado la vinculación de estos cuerpos con los diques alimentadores.

Esta unidad de acumulación representa acumulaciones de lavas en forma intrusiva/extrusiva en fracturas cercanas a la superficie. Las partes extrusivas reflejan asociaciones de facies típicas de domos subaéreos de composiciones andesíticas (Mc Phie *et. al.*, 1993; Németh y Ulrike, 2007).

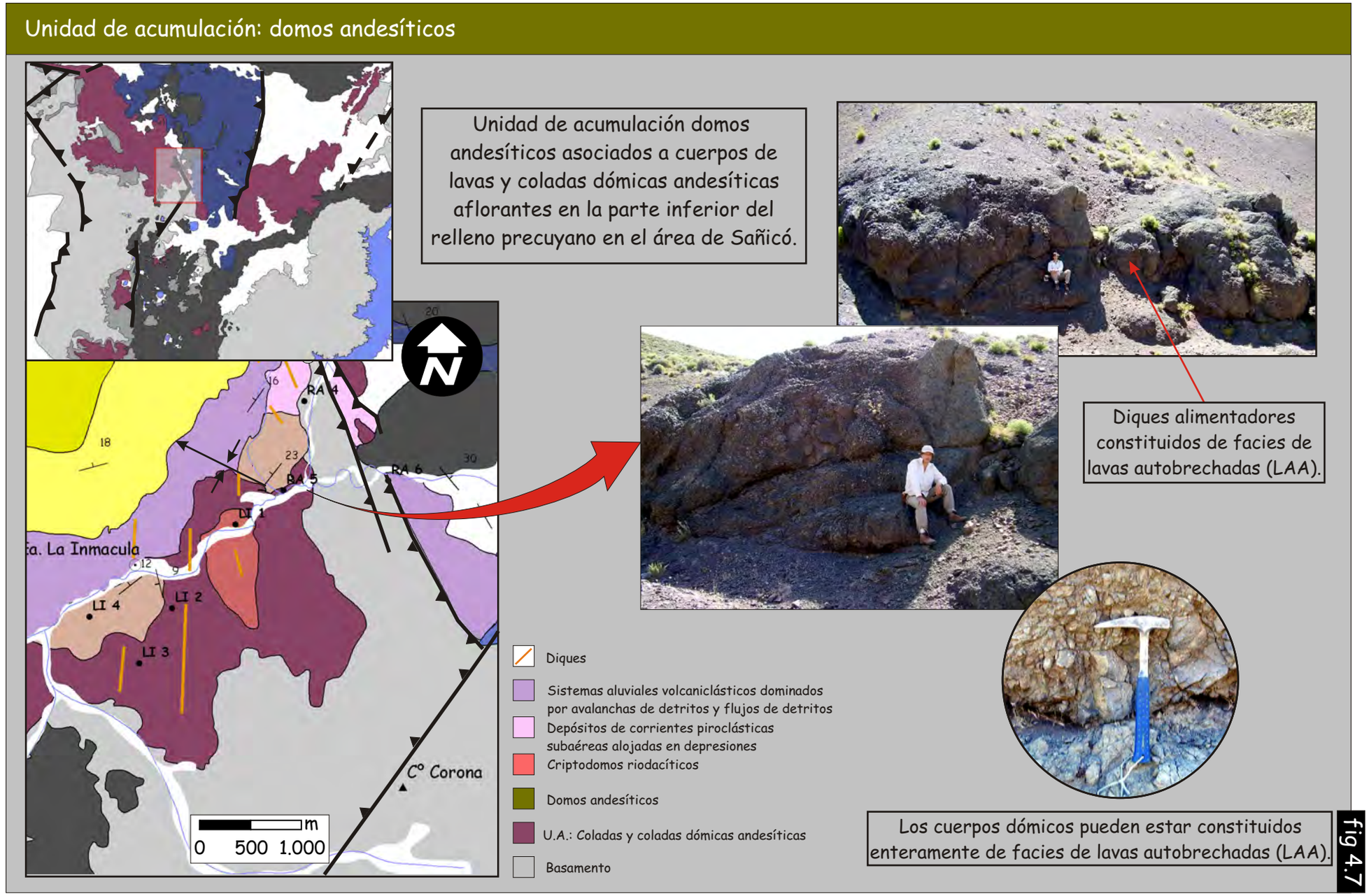


Figura 4.7. Unidad de acumulación de domos andesíticos.

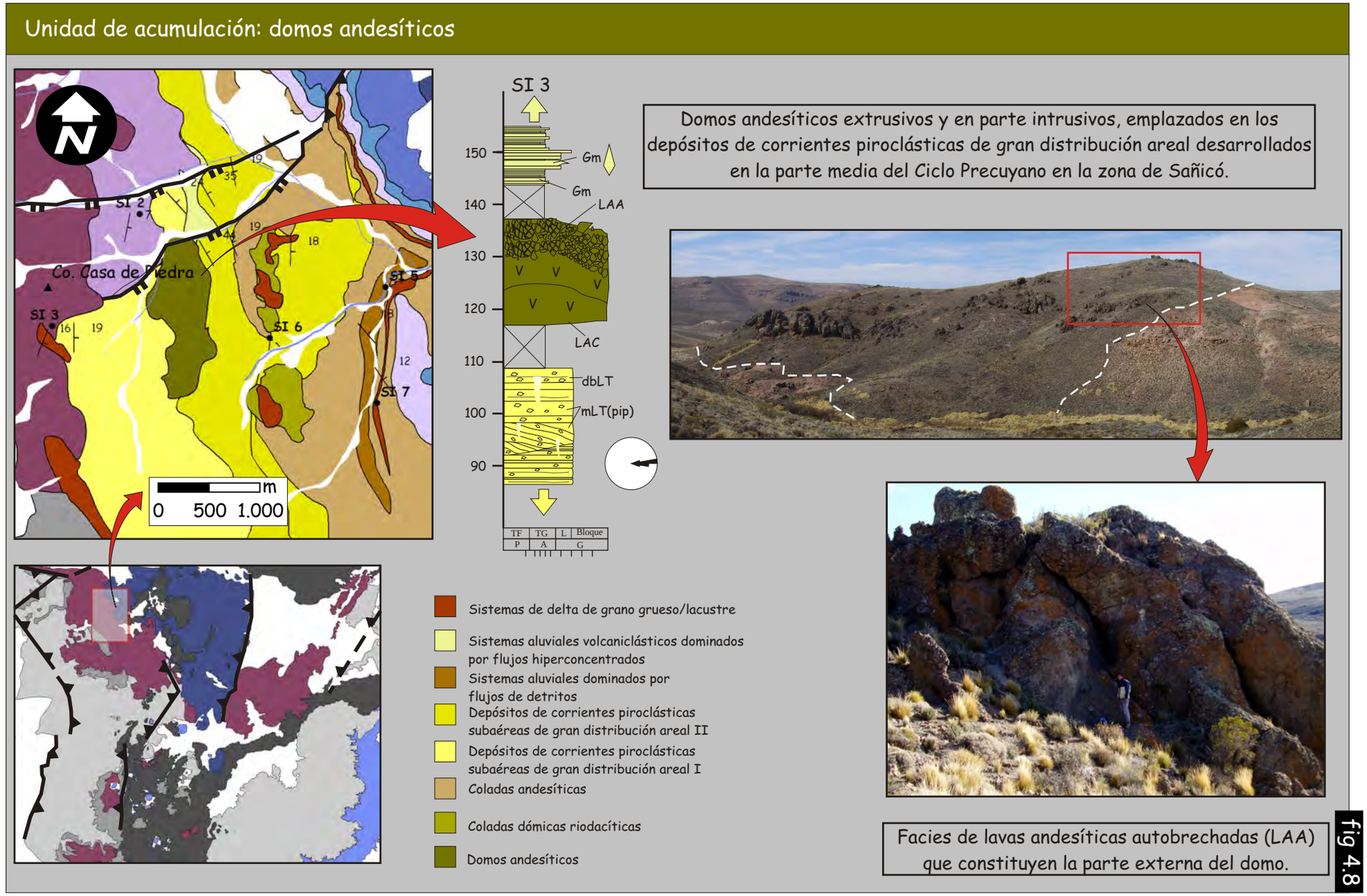


Figura 4.8. Unidad de acumulación de domos andesíticos.

4.4.1.3 Diques andesíticos

En esta unidad se incluyen los diques volcánicos de composición andesítica que se encuentran intruidos subverticalmente en diferentes secciones del relleno precuyano. Generalmente se muestran con relieve positivo con respecto a las unidades que los contienen, aflorando como cuerpos tabulares de entre 50 m y 1800 m de largo, con afloramientos continuos o discontinuos en el rumbo y espesores promedios de 2 m (fig. 4.9). Sólo en una ocasión se encontró un dique de composición andesítica de 56 m de espesor (fig. 4.10). Habitualmente yacen de manera aislada, aunque es importante destacar que en el área de Sañicó, al oeste del Cerro Corona, se encontraron 28 diques en un área de 8 Km^2, con espaciados del orden de decenas de metros (fig. 4.9). Los diques andesíticos se encuentran intruidos en las diferentes unidades de acumulación que componen el Ciclo Precuyano, encontrándose sólo en pocas ocasiones vinculados con las unidades volcánicas efusivas. Si se rebaten los diques teniendo en cuenta el rumbo e inclinación regional para las capas del Ciclo Precuyano en ese sector, se puede apreciar que los mismos se encuentran preferencialmente intruidos con rumbos N 180° a 160° y N 160° a 140°, e inclinaciones hacia el ENE y WSW (fig. 4.9).

Esta unidad está integrada por facies de lavas de andesitas coherentes (LAC) (fig. 3.1) con texturas microporfíricas y porfíricas, con pastas afaníticas pilotáxicas o traquíticas micro o criptocristalinas. Generalmente se presenta con un arreglo interno simple, con un borde de grano fino de 10 cm de espesor, desarrollando hacia el centro texturas porfíricas con pastas microcristalinas y fenocristales orientados. A menudo, las facies lávicas exhiben vesículas deformadas (< al 15 %), indicando flujo de lava paralelo a las paredes de los cuerpos. Minoritariamente, esta unidad se expone con contactos que presentan fracturación hidráulica (LAFH), desarrollando hacia el centro facies de lavas coherentes (LAC) o pseudobrechadas (LASB) (fig. 3.1).

En todos los casos esta unidad es el resultado de intrusiones volcánicas simples y monoepisódicas de lavas de composición andesítica (Marioni y Gudmundson, 2000). Las estructuras anisótropas (fenocristales orientados, las vesículas deformadas y la foliación por flujo) indican un gradiente de velocidad vertical en el flujo (Best y Christiansen, 2000). Los bordes de grano fino o vítreos, conjuntamente con los procesos de cavitación observados, evidencian niveles de emplazamiento someros con una roca de caja fría (Marioni y Gudmundson, 2000). Respecto a su modo de yacencia, su relieve positivo frente a otras unidades precuyanas denota periodos de alta tasa degradación, las cuales son características de muchos ambientes volcánicos (Thouret, 1999). A pesar que en muy pocas ocasiones se encontró a las unidades de diques relacionadas con otros cuerpos volcánicos, los niveles de emplazamiento someros sugieren que estas unidades constituyeron una vía de alimentación de magma hacia la superficie. La asociación de diques con similar orientación y el espaciado

encontrados en el área de Sañicó indican sistema de dique longitudinales de rumbo N-S/ NNW-SSE.

En general las unidades de acumulación de rocas volcánicas andesíticas muestran variaciones composicionales dentro de este campo, desde el límite de andesitas basálticas hasta el límite con lavas dacíticas (fig. 4.11A). Respecto a las características petrográficas, se presentan con microfacies de rocas volcánicas andesíticas (RVA) con variaciones de texturas seriadas, porfírica, glomeroporfírica, con pastas micro/criptocristalinas pilotáxicas (fig. 4.11 y 4.12). En ocasiones se encontraron cumulatos de composición diorítica. Estos atributos texturales indican el crecimiento de fenocristales producto de eventos de cristalización dentro de una cámara magmática (Mash, 2000; Best y Christiansen, 2000). Las texturas glomeroporfíricas y cumuláticas evidencian estadios avanzados de cristalización dentro de la cámara magmática (Best y Christiansen, 2000). Las variaciones texturales en la pasta, desde seriadas, pilotáxicas microcristalinas, pilotáxicas criptocristalinas hasta vitrofíricas, sugieren diferentes tasas de enfriamiento que controlaron la elevada nucleación y variación en el ritmo de crecimiento para el caso de las texturas cristalinas y la nucleación para el caso de las texturas vitrofíricas (fig. 4.11 y 4.12). Asociados a las texturas vitrofíricas se han encontrado fenocristales fracturados producto del rápido enfriamiento (*quenching*) (Mc Phie *et al*., 1993; Allen y Mc Phie, 2003). Es importante destacar que las unidades efusivas andesíticas presentan texturas de desequilibrio que indican diferentes velocidades de ascenso de los magmas. Por un lado los fenocristales de plagioclasa con textura cribada gruesa (*coarse sieve-texture*) y bordes reabsorbidos indican rápida tasa de descompresión y ascenso, del orden de los 10 m/s (Stephen y Montana, 1992; Best y Christiansen, 2000). Sin embargo, los cristales de hornblenda manteados por minerales opacos sugieren un ascenso lento los magmas del orden de metro /día (Best y Christiansen, 2000; Rutherford y Gardner, 2000). Las variaciones de andesitas con pseudomorfos de olivina y cristales de clinopiroxeno y hornblenda indican diferentes condiciones de composición, temperatura, presión y presión de fluidos (fig. 4.11 y 4.12). De tal forma, los pseudomorfos de olivina en las andesitas basálticas indican una fuente poco evolucionada, de composiciones más básicas y de mayor temperatura (Askren *et al*., 1997). Por otro lado, las andesitas piroxénicas y andesitas hornbléndicas indican diferentes condiciones de T°, presión de fluidos y presión de confinamiento, necesarias para estabilizar termodinámicamente los fenocristales de hornblenda o clinopiroxenos. La presencia de fenocristales de hornblenda en las microfacies de andesitas y dacitas indica composiciones hidratadas de los magmas, con concentraciones de H_2O mayores o iguales al 5% en peso y presiones de confinamiento de 1 Kb a 3 Kb (entre 4 km y 10,5 km) (Best y Christiansen, 2000).

Con respecto a la alteración, en las microfacies andesíticas y de andesitas basálticas no se desarrolla de manera penetrativa (fig. 4.12 y 4.13). Exceptuando las zonas de fracturas, en

donde se pueden presentar de manera avanzada, los grados de alteración van de débiles a moderados, destacándose la alteración clorítica-sericítica, la alteración potásica y la carbonatación (Gifkins, 2005). A su vez se han encontrado estructuras de disolución y de disolución y reemplazo por argilominerales y sílice.

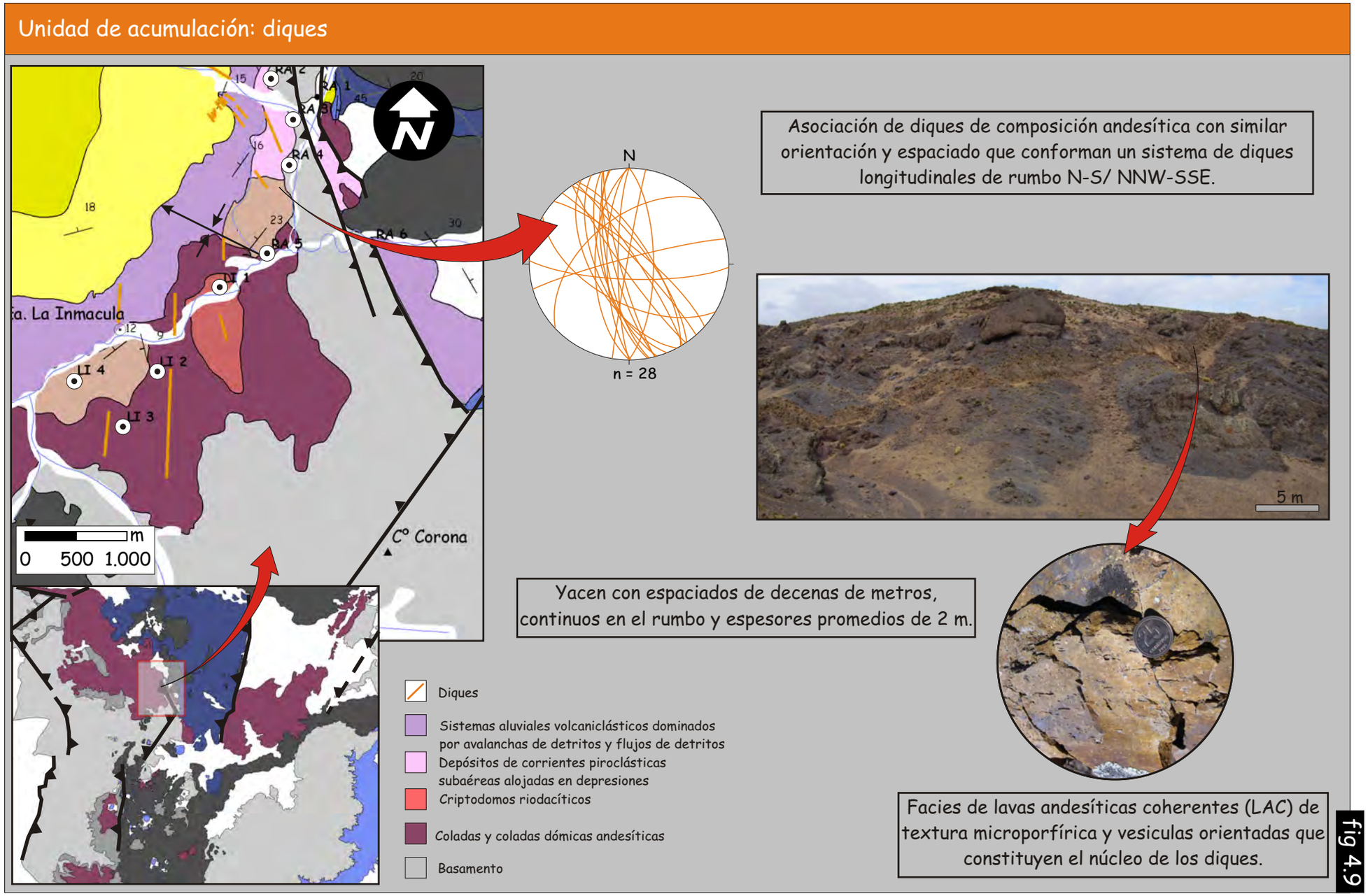


Figura 4.9. Unidad de acumulación de diques.

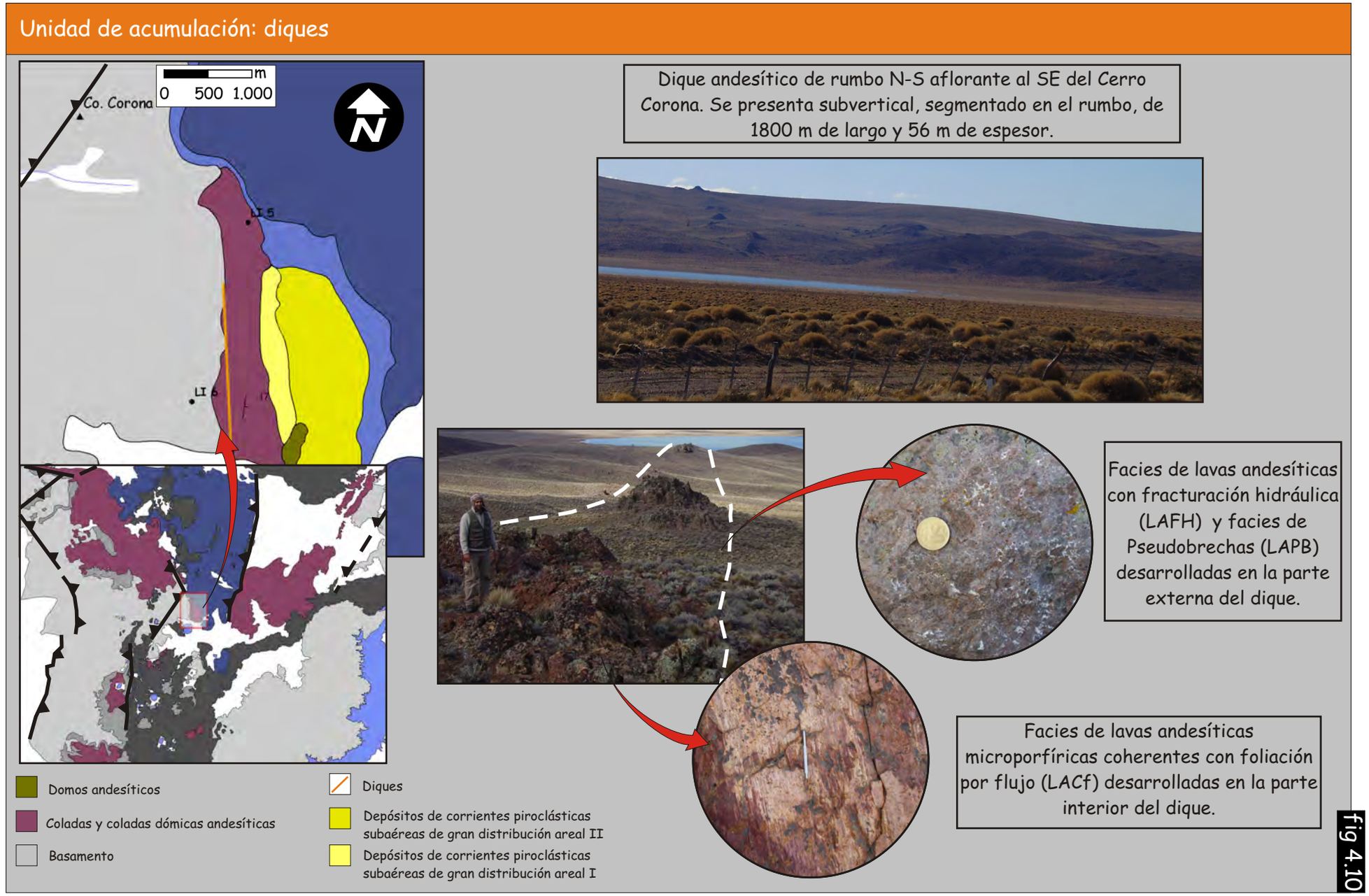


Figura 4.10. Unidad de acumulación de diques.

Clasificación y petrografía de las unidades de acumulación de rocas volcánicas andesíticas

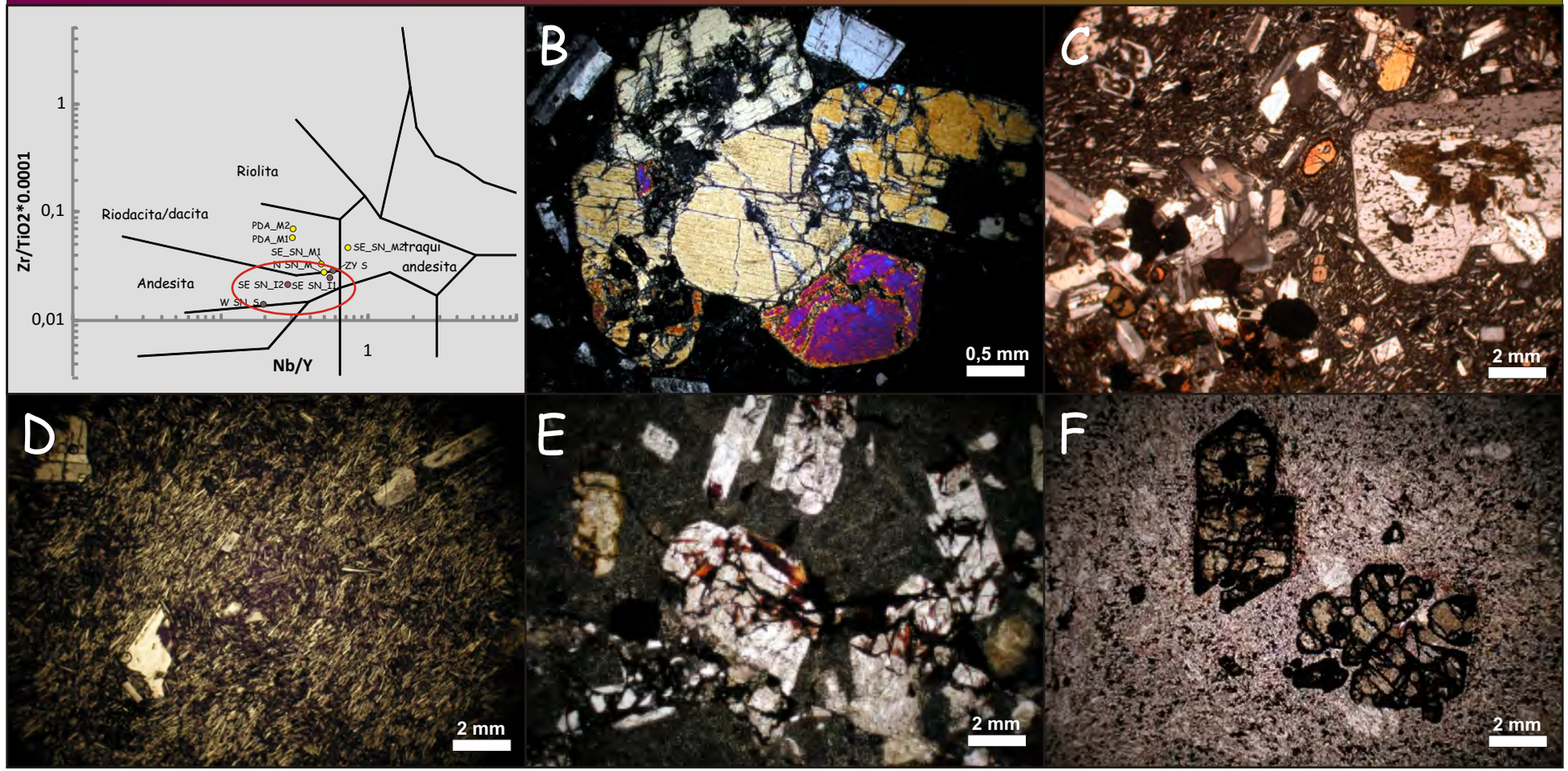


Figura 4.11. Microfacies de rocas volcánicas andesíticas (RVA). A) Diagrama de clasificación de Winchester y Floyd (1977). B) Textura glomeroporfírica integrada por Cpx. C) Textura seriada con cumulatos dioríticos. D) Pasta con textura pilotáxica. E) Textura vitrofírica con fenocristales fracturados por *shock* térmico. F) Pseudomorfos de Ol en andesitas basálticas.

fig 4.11

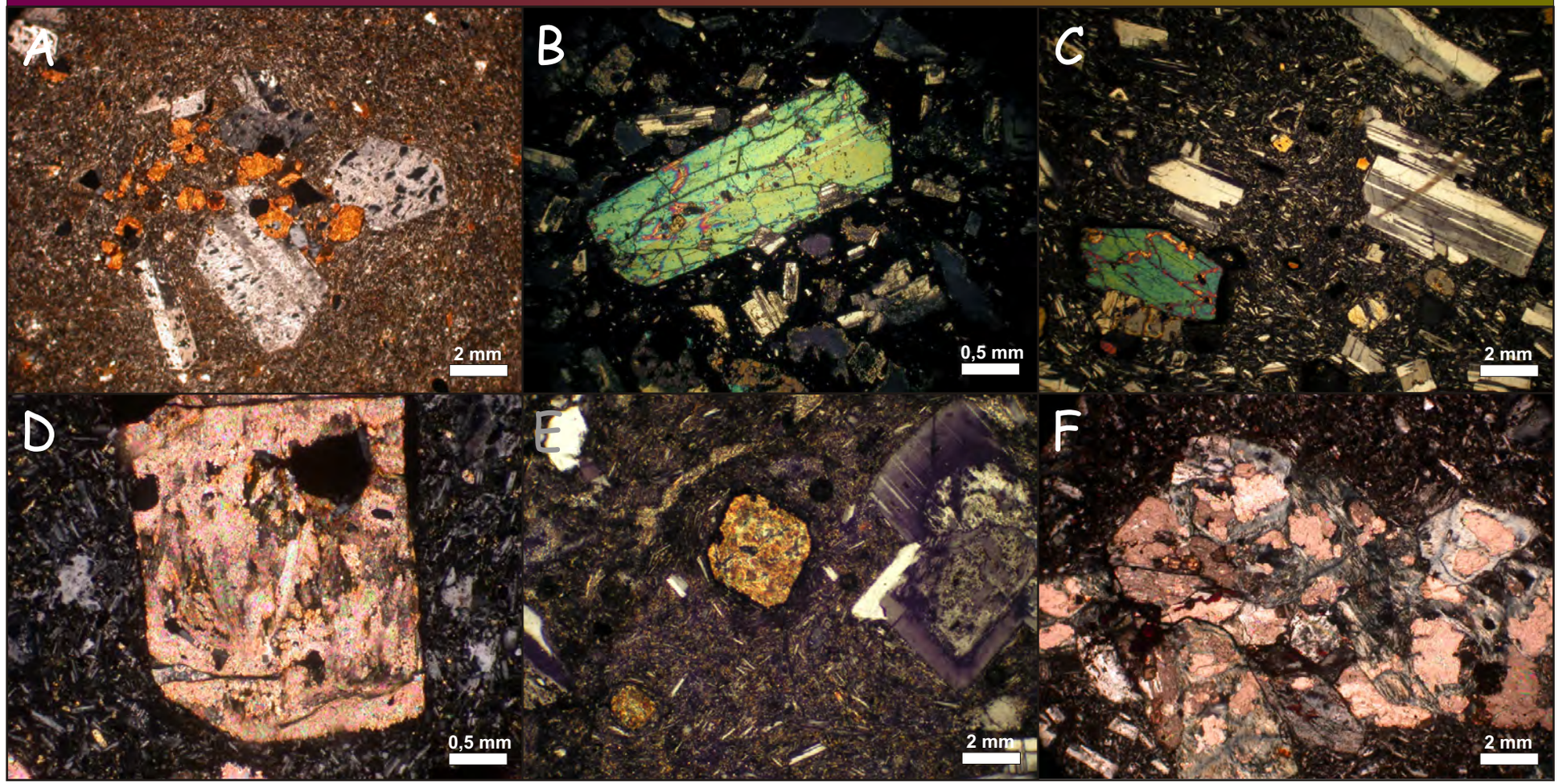


Figura 4.12. Microfacies de rocas volcánicas andesíticas (RVA). A) Textura glomeroporfírica integrada por Pg y Hbl. B) Fenocristal de Cpx. C) Textura porfírica con fenocristales de Pg y Hbl con reborde de opacos. D) Fenocristal de Pg totalmente alterado a agregados de carbonato y epidoto. E) Pseudomorfos de Px alterado a cloritas. F) Alteración por carbonatación.

fig 4.12

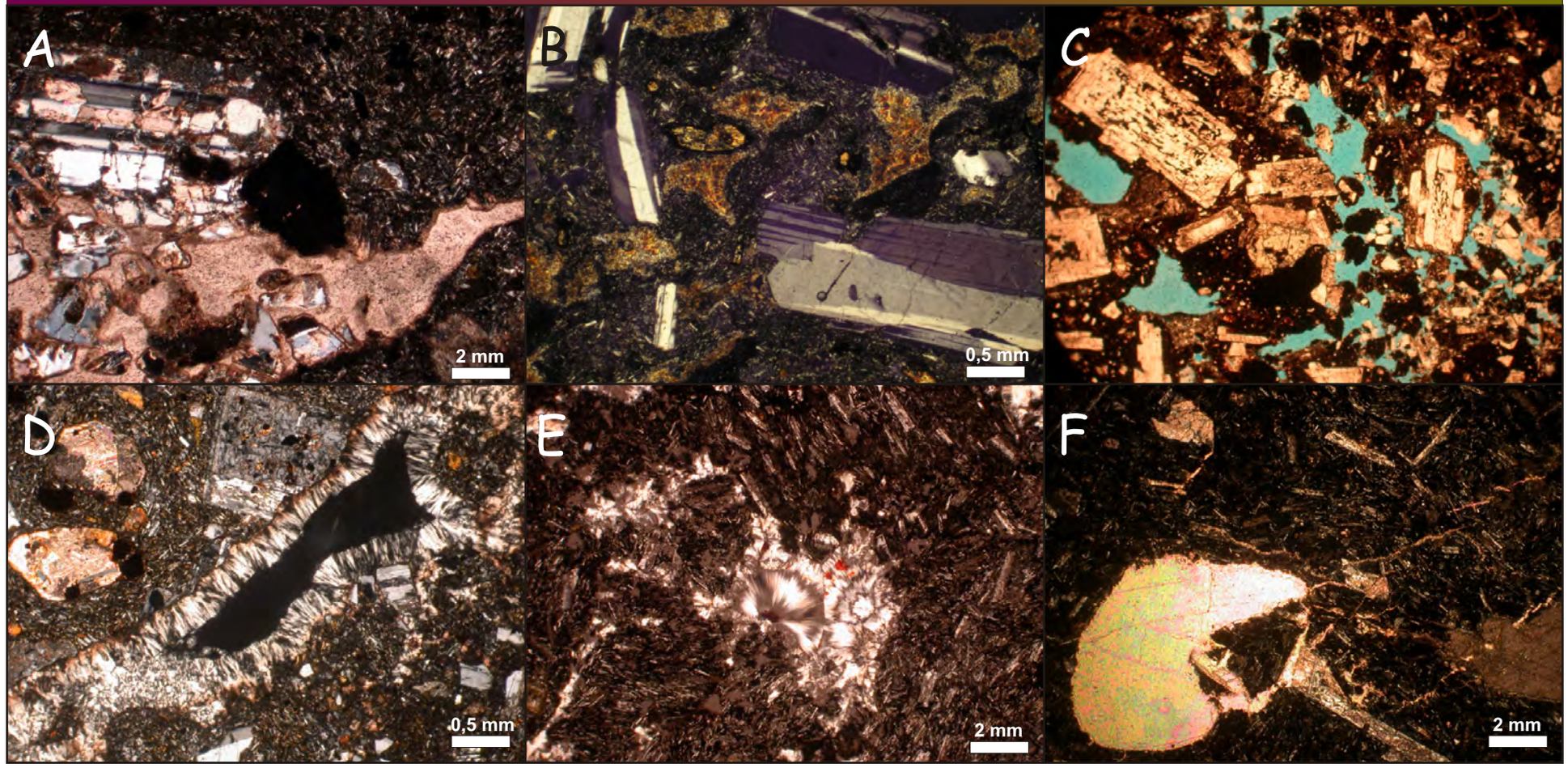
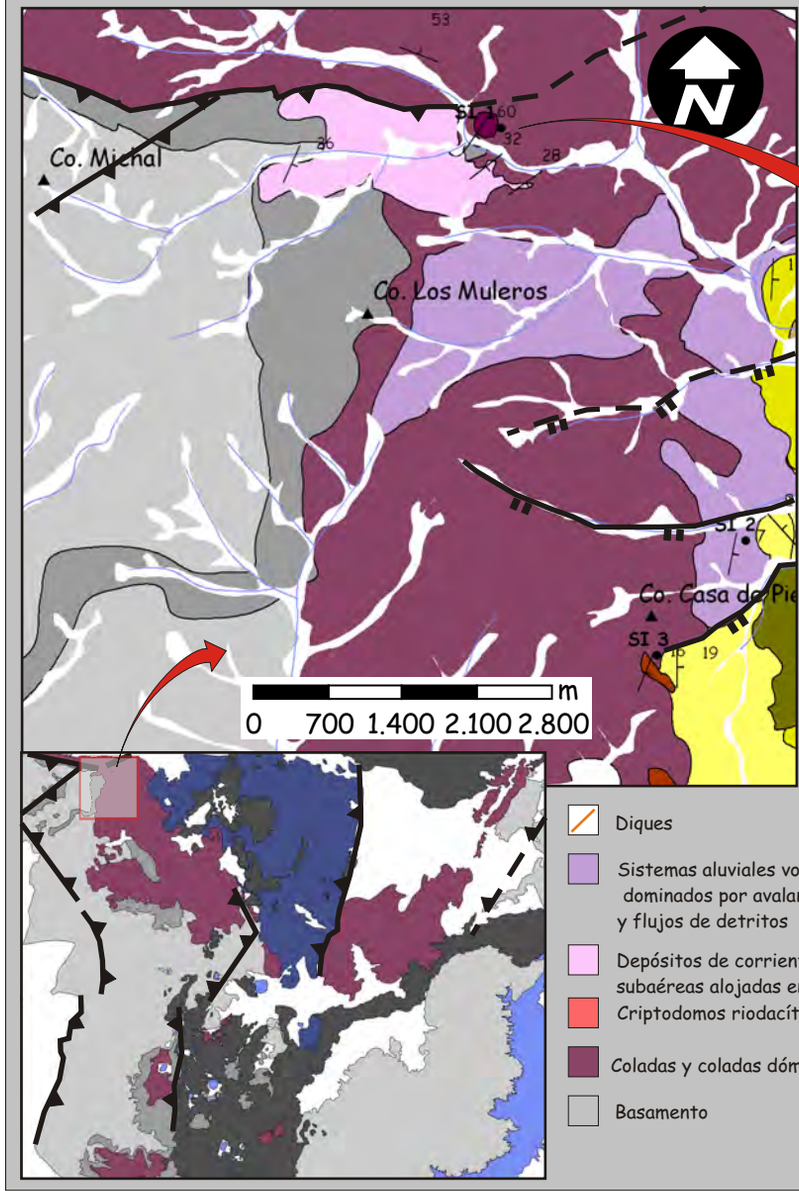


Figura 4.13. Microfacies de rocas volcánicas andesíticas (RVA). A) alteración por carbonatación y fracturación hidráulica. B) Estructuras de disolución y reemplazo por cloritas. C) Estructuras de disolución. D y E) estructuras de disolución y reemplazo por sílice. F) Amígdalas de carbonato de calcio.

4.4.2 Unidad de acumulación de conducto alimentador

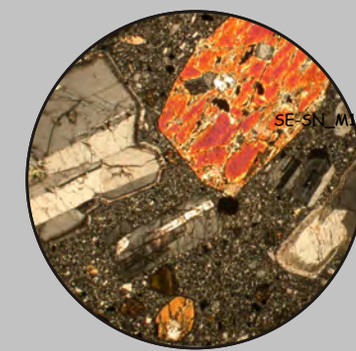
Esta unidad de acumulación se halla representada sólo por un cuerpo intrusivo que aflora en el área de Sañicó al norte del Cerro los Muleros y al este del Cerro Michal (fig. 4.14). Se muestra como una entidad de geometría subcircular de aproximadamente 100 m de diámetro que corta de manera vertical a las rocas precuyanas previamente formadas (fig. 4.14). Se presenta con un arreglo simple, constituida por facies de lavas dacíticas coherentes (LDC) (fig. 3.1). Se destacan fracturas verticales que en planta delimitan bloques con formas poliédricas, interpretadas como estructuras de disyunción columnar originadas durante el enfriamiento (Mc Phie *et al.*, 1993; Best y Christiansen, 2000). Se encuentra constituida por microfacies de rocas volcánicas dacíticas (RVD) con variaciones entre una textura porfírica a seriada. Se caracteriza por presentar abundantes fenocristales de plagioclasa y hornblenda, los cuales pueden llegar a constituir el 45% del volumen de la roca. Al igual que en las microfacies de lavas andesíticas, los cristales de hornblenda manteados por minerales opacos sugieren un ascenso lento del magma del orden de los m/d (Best y Christiansen, 2000; Rutherford y Gardner, 2000). Esta idea está soportada por la abundante cantidad de fenocristales, la cual está cercana al límite que presentan los magmas para poder fluir (Llambías, 2008). La yacencia discordante y la forma subcircular, conjuntamente con las texturas desarrolladas, indican que esta unidad se formó por el taponamiento (*plug*) de un conducto magmático superficial de primer orden, el cual posiblemente alimentó un aparto volcánico de grandes dimensiones (Best y Christiansen, 2000; Marsh, 2000).

Unidad de acumulación: conductos volcánicos



Se encuentra en las proximidades del Cerro Michal, en una zona con abundante deformación producto de fallas inversas. Yace como un cuerpo intrusivo discordante que corta a las rocas previamente formadas. En planta posee geometría subcircular de unos 100 metros de diámetro y desarrolla diyunción columnar.

- Diques
- Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones
- Criptodomos riodacíticos
- Coladas y coladas dómicas andesíticas
- Basamento



Se compone de facies de dacita subvolcánicas coherentes (LAC) con textura porfírica, abundantes fenocristales y pasta afanítica o microgranuda.

fig 4.14

Figura 4.14. Unidad de acumulación de conductos alimentadores.

4.4.3 Unidades de acumulación de rocas volcánicas ácidas

Bajo este denominativo se agruparon unidades de acumulación volcánicas con composiciones riodacíticas y riolíticas (fig. 4.15 y 4.16). Estas unidades no se encuentran ampliamente distribuidas en sentido lateral y vertical dentro del relleno precuyano. Su aparición es puntual como cuerpos intrusivos o efusivos de escaso volumen en la parte media del Ciclo Precuyano. Una característica sobresaliente es que en la mayoría de los casos se hallan afectadas por una silicificación penetrativa y avanzada, asociada con venas de sílice.

4.4.3.1 Criptodomos riodacíticos

Se presentan en planta como cuerpos de geometría elíptica y en perfil de geometría dómica, con espesores que rondan los 60 m (fig. 4.15). Sus contactos laterales se exhiben con formas rectas, generalmente mal aflorados, sin mostrar características diagnósticas. Se compone de facies de lavas riodacíticas coherentes con estructura foliada (LRCf) (fig. 3.1) y texturas porfíricas. Internamente la estructura foliada se encontró de manera oblicua a los bordes y de manera vertical en las partes centrales del cuerpo. Desde el punto de vista petrográfico se presenta con microfacies de rocas volcánicas riodacíticas (RVR) (fig. 3.1). Las texturas porfíricas se desarrollan con pastas afaníticas criptocristalinas en los bordes del cuerpos a microcristalinas en el centro.

La relación con las rocas que contienen esta unidad y el arreglo de facies presentes reflejan una yacencia intrusiva somera (Mc Phie *et al*., 1993), mientras que el predominio de lavas coherentes no hubiera sido esperable si la roca de caja se hubiese encontrado húmeda (Stewart *et al*., 2003).

4.4.3.2 Coladas dómicas riodacíticas

Se presenta con expresión lateral de escasas centenas de metros y espesores que no superan los 50 m. Su parte superior se expone con geometría dómica o irregular (fig. 4.16). Se compone de un arreglo simple de facies de lavas riolíticas coherentes (LRC) y por microfacies de rocas volcánicas riodacíticas (RVR). Presentan una textura porfírica constituida por fenocristales escasos y pequeños de cuarzo y feldespato, inmersos en una pasta micropoiquilítica resultado de la recristalización a alta temperatura de material vítreo (Mc Phie *et al*., 1993). A su vez, la pasta se encuentra silicificada de manera penetrativa acompañada por venas de sílice y estructuras de disolución y de disolución y reemplazo que indican la circulación de fluidos a alta temperatura. Las características vítricas de la pasta estarían fomentadas por la composición de la presente unidad.

La pobre calidad con que afloran los cuerpos que componen esta unidad, sumado a la intensa silicificación, no permiten avanzar demasiado en la interpretación. Una característica sobresaliente es que estas unidades yacen en todos los casos por sobre las unidades piroclásticas

de mayor extensión areal. La similitud composicional y la posición en la secuencia hacen que ésta puede estar emparentada con las unidades piroclásticas (Best y Christiansen, 2000; Németh y Ulrike, 2007).

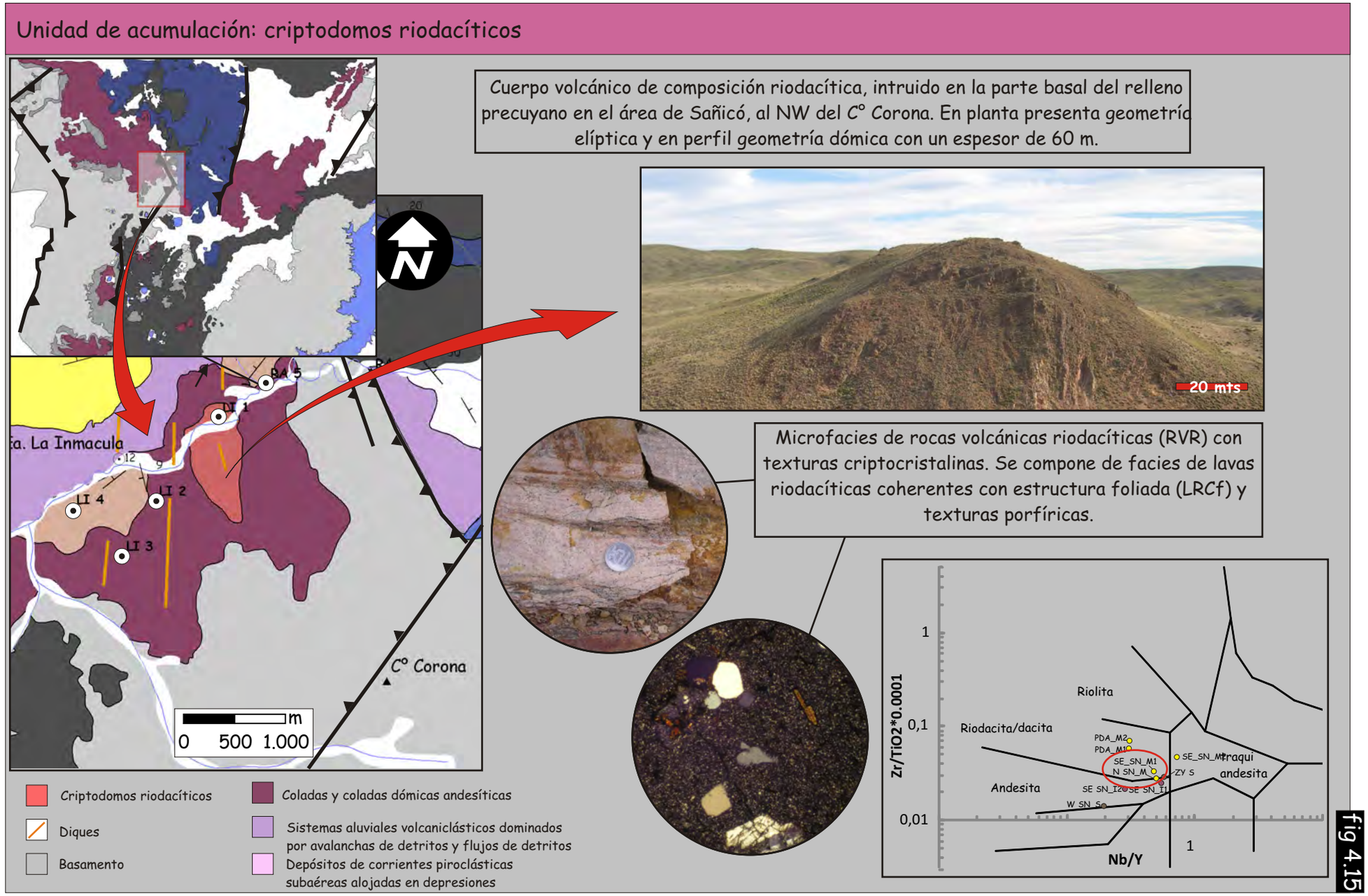
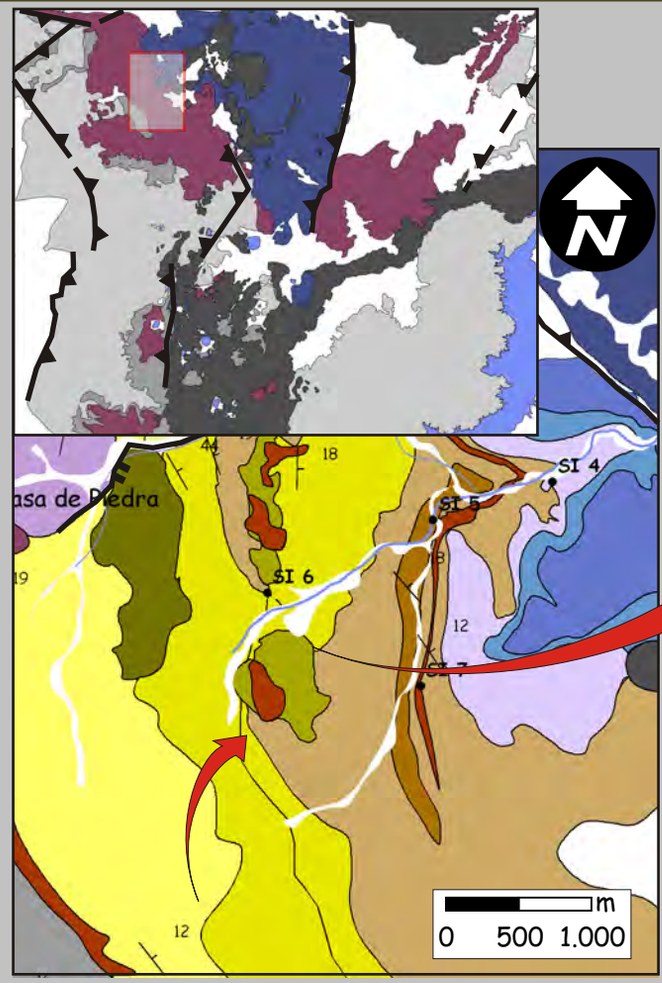


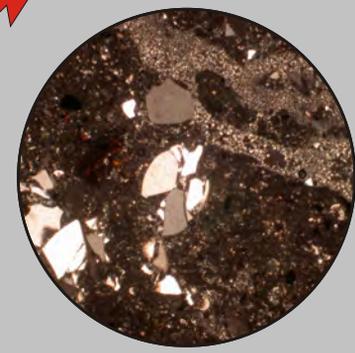
Figura 4.15. Unidad de acumulación de criptodomos riolíticos.

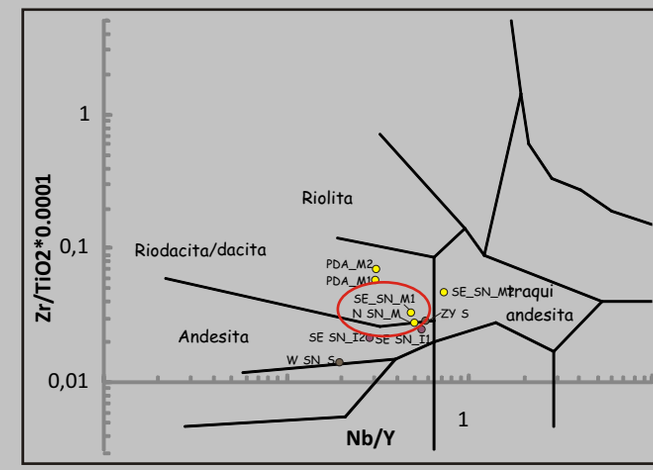
Unidad de acumulación: coladas dómicas riodacíticas

Esta unidad incluye un conjunto de cuerpos de composiciones riodacíticas que se encuentran en el área de Sañicó, al este del Cerro Casa de Piedra. Se presenta con expresión lateral de escasas centenas de metros y espesores que no superan los 50 m.



Facies de lavas riolíticas coherentes (LRC) totalmente silicificadas. Presentan microfacies de rocas volcánicas riodacíticas (RVR) con venas de sílice.





Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal I
Coladas andesíticas
Coladas dómicas riodacíticas
Domos andesíticos
Sistemas de deltas de grano grueso/lacustre
Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados
Sistemas aluviales dominados por flujos de detritos
U.A.: Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal II

fig 4.16

Figura 4.16. Unidad de acumulación de coladas dómicas riolíticas.

4.5 Unidades de acumulación piroclásticas

Bajo esta designación se han agrupado a todos los depósitos constituidos de materiales piroclásticos resultado de erupciones explosivas (Cas y Wright, 1987; Mc Phie *et al.*, 1993; White y Houghton, 2006). Las unidades de acumulación que se desarrollarán a continuación se originaron a partir de la depositación de materiales desde corrientes piroclásticas. Históricamente las corrientes de densidad piroclásticas formadoras de ignimbritas han sido modeladas como flujos granulares (*grainflows*), flujos semi-fluidizados (*semi-fluidized flows*), corrientes de turbidez de baja densidad y flujos laminares (*plug laminar flows*) (Branney y Kokelaar, 2002 y las referencias allí citadas). Sin embargo, aunque la simplificación es necesaria para la realización de los modelos, asumir un solo mecanismo de soporte o propiedades teóricas de las corrientes no es apropiado. Para considerar la sedimentación de una corriente de densidad piroclástica se debe tener en cuenta que las mismas presentan diferentes mecanismos de transporte, son muy heterogéneas en el espacio y tiempo y que sólo registran los procesos acaecidos en la parte inferior del flujo, definido como la superficie entre el flujo y el sustrato donde ocurre la segregación y la depositación variable de las partículas (Branney y Kokelaar, 2002).

Es importante destacar que las unidades de acumulación piroclástica presentan composiciones y asociaciones de facies semejantes. Entre las características que permitieron su denominación se encuentran el ambiente depositacional (subaéreas/ subácueas), el arreglo de las facies, el volumen y los procesos postdepositacionales (fig. 4.17). Debido a que los depósitos de corrientes piroclásticas subácueos y subaéreos pueden presentarse con litofacies similares, éstos se han diferenciado por las asociaciones de facies de las rocas infra/suprayacentes, y de presentarse, por la existencia de fósiles.

4.5.1 Unidad de acumulación de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones

Esta unidad se compone de cuerpos de geometría suavemente lenticular, con dimensiones variables de hasta 1000 m de ancho y 100 m de espesor (fig. 4.18). Se halla bien desarrollada en la parte inferior del Ciclo Precuyano y minoritariamente en la parte superior. Se encuentra constituida por arreglos de facies simples (facies de tobas lapillíticas masivas (mLT)) o complejos (tobas lapillíticas masivas -con o sin orientación de clastos- (mLT y mLTf), tobas lapillíticas con estratificación difusa (dbLT), brechas líticas masivas (mlBr) y tobas con estructuras entrecruzadas (xsT)) (fig. 3.1). Respecto a las microfacies, esta unidad está generalmente constituida por ignimbritas con alteración sericítica-argílica (IgnSA) y minoritariamente por ignimbritas silicificadas (IgnS).

A grandes rasgos las asociaciones de facies indican que esta unidad se generó por depósitos de corrientes piroclásticas con partes basales concentradas (fig. 3.1) (Branney y Kokelaar, 2002). Exceptuando la variación de esta unidad conformada por la agradación de facies masivas generadas en condiciones cuasi-estables (Branney y Kokelaar, 2002), el arreglo multifacial de esta unidad (fig. 4.19) indica la depositación a partir de corrientes inestables que pasaron por periodos cuasi-estables (Branney y Kokelaar, 2002; Brown *et al*., 2007). En perfil vertical se puede apreciar la agradación compleja, donde se registra aceleración-desaceleración de la corriente (fig. 4.19). Las inestabilidades mayores se reconocen a través de los cambios abruptos en las condiciones depositacionales (límites erosivos y depositación de facies mlBr que registran el clímax de velocidad de la corriente). Los periodos de menor inestabilidad o de cuasi-estabilidad se evidencian por los cambios graduales en el arreglo de las facies (variación con límites difusos o netos entre las facies mLT, mLTf y dbLT). En ocasiones, la transición a condiciones diluidas se muestra por el desarrollo de facies tobáceas con estructuras entrecruzadas (xsT). En sentido lateral (fig. 19) el cambio de arreglo de facies evidencia variaciones en las condiciones de los límites de flujo inferior, reflejándose la no uniformidad de las corrientes (Branney y Kokelaar, 2002; Kokelaar *et al*., 2007). Las características de la asociación de facies, sumadas a las dimensiones de esta unidad, permiten sugerir que la misma se produjo por el relleno de depresiones topográficas relacionadas al paisaje volcánico. Las microfacies IgnSA y IgnS (véase capítulo 3) reflejan que los materiales primarios se depositaron por debajo de la temperatura de transición del vidrio.

fig 4.17

Unidades de acumulación Piroclásticas

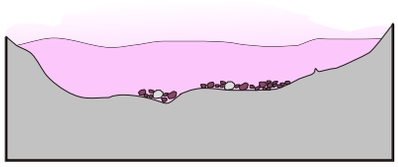
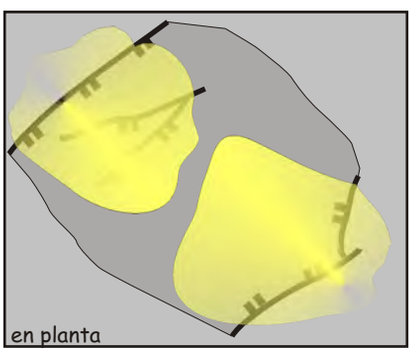
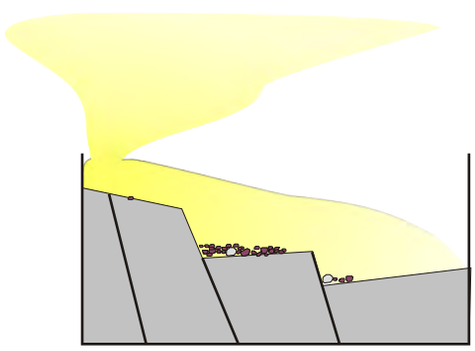
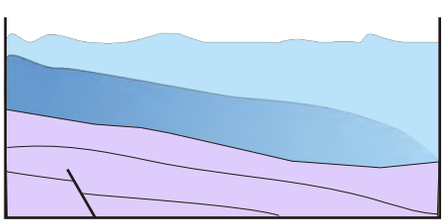
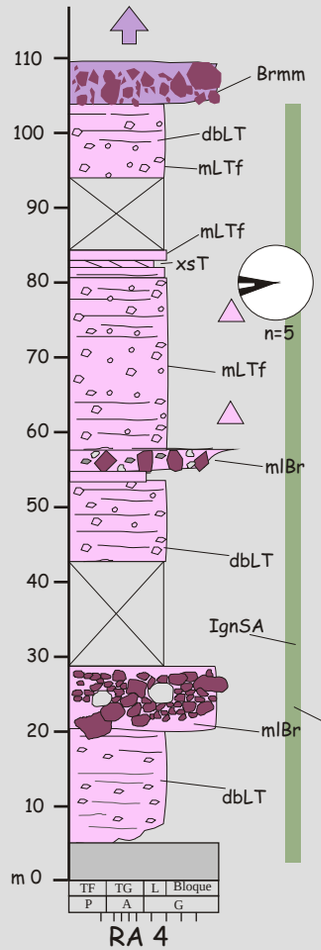
Unidad de acumulación	Asociaciones de facies y microfacies	Ilustración
Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones	Asociaciones de facies: dbLT + mLBr + mLT + mLTf + xsT/ mLt Asociaciones de microfacies: IgnSA ± IgnS	
Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal I	Asociaciones de facies: mLT + dbLT + mLTpip + mlBr+ xsLt(a) + //sLT + pmL Asociaciones de microfacies: IgnS + IgnS	
Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal II	Asociaciones de facies: mLT + mLTpip + dbLT+ mlBr / mLT + mLTf Asociaciones de microfacies: IgnS + IgnS	
Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal III	Asociaciones de facies: mLT + mLTf + emLT+ mlBr + pmL / mLT + mLTf + emLT + mlBr Asociaciones de microfacies: IgnS + IgnSA ± IgnD	
Depósitos de corrientes piroclásticas subácueas	Asociaciones de facies: mLT + mLTf Asociaciones de microfacies: IgnSA	

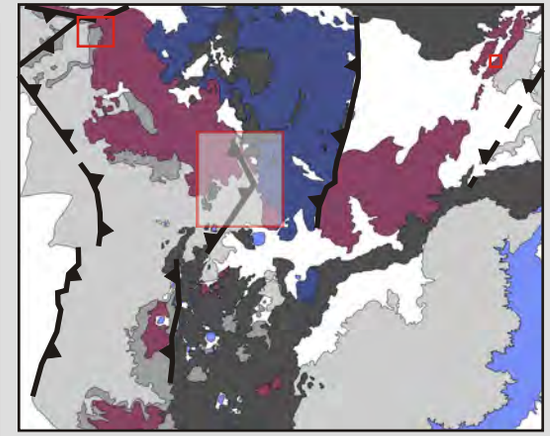
Figura 4.17. Unidades de acumulación piroclásticas distinguidas en el presente estudio.

Unidad de acumulación: depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones

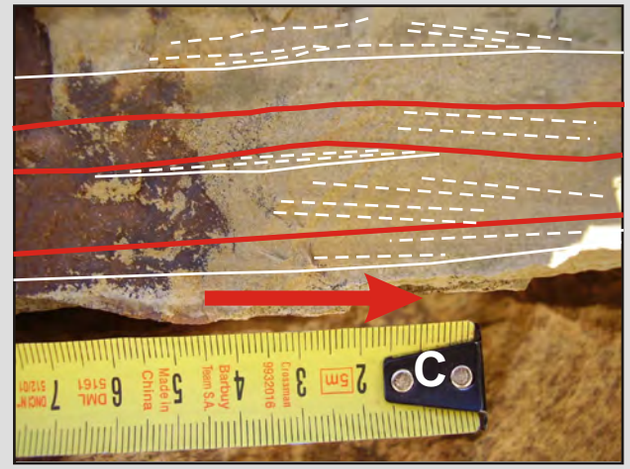


Esta unidad se encuentra constituida por arreglos de facies simples (mLT) o complejos (mLT y mLTf, dbLT, mlBr y xsT).

Facies de tobas lapillíticas masivas (mLT) que pasan a facies de tobas lapillíticas con estratificación difusa (dbLT). Estas variaciones resgistran inestabilidades desarrolladas en la zona del límite inferior de corrientes, siempre en condiciones de alta concentración de materiales.



Presentan microfacies de ignimbritas con alteración sericítica-argílica (IgnSA) generadas en estadios deutéricos o diagenéticos. Estas características reflejan depósitos de baja temperatura.



Facies de tobas con estructuras entrecruzadas (xsT) que reflejan el pasaje a condiciones más diluidas de las corrientes piroclásticas.

fig 4.18

Figura 4.18. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en derpresiones.

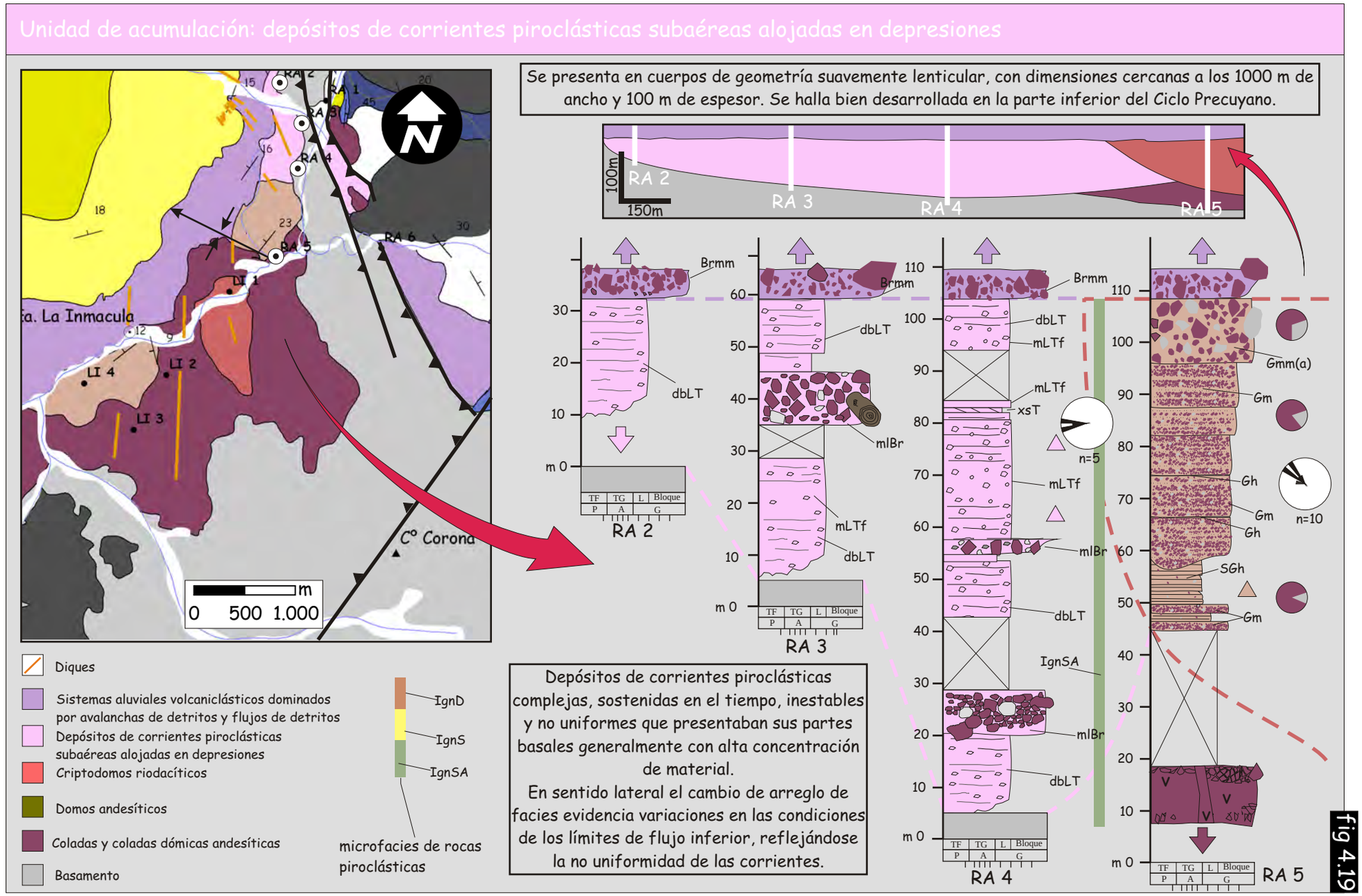


Figura 4.19. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones.

4.5.2 Unidades de acumulación de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal (I, II y III)

Bajo esta denominación se integró un conjunto de unidades de acumulación caracterizadas por depósitos de corrientes piroclásticas de composición riodacítica, de gran potencia y gran distribución áreal. A grandes rasgos se apoyan tanto en concordancia como en discordancia sobre depósitos volcánicos y epiclásticos. Se presentan con geometría tabular o irregular, de cientos de metros de espesor y miles de metros de ancho (fig. 4.21, 4.23 y 4.25). Se componen por una gran variedad de facies, entre las que se destacan: tobas lapillíticas masivas -con o sin orientación de clastos y/o estructura de escape de gases- (mLT, mLTf y mLTpip), tobas lapillíticas masivas con desarrollo de *fiammes* (emLT), tobas lapillíticas con estratificación difusa (dbLT), tobas lapillíticas con estratificación horizontal (//sLT), tobas lapillíticas con estratificación entrecruzada a diferentes escalas (xsLT(a) y xsLT(b)), brechas líticas masivas (mlBr) y lapillitas pumíceas masivas de variada selección (pmL) (fig. 3.1). Es importante destacar que en determinados sectores estas unidades desarrollan profusas estructuras de escape de gases (fig. 4.22). Con respecto a las microfacies que pueden estar presentes, se destacan las microfacies de ignimbritas con alteración sericítica-argílica (IgnSA), las microfacies de ignimbritas silicificadas (IgnS) y las microfacies de ignimbritas desvitrificadas (Ign D). En función de las asociaciones de facies y las características sindeposicionales y posdepositacionales se han identificado tres tipos diferentes de depósitos de corrientes piroclásticas de gran distribución areal: I, II y III.

Los depósitos de corrientes piroclásticas de gran distribución areal I y II presentan una distribución espacial que supera los 20 km y espesores que van desde metros a cientos de metros. En ocasiones los cambios de espesores se registraron de manera abrupta a ambos lados de fallas inversas o lineamientos estructurales. Estas características permitieron reinterpretar a estas estructuras como fallas extensionales que controlaron el espacio de acomodación, quedando así definida un área depocentral (fig 4.21 y 4.23). Además, es importante destacar el hallazgo de pequeñas fallas extensionales sindepositacionales en la base de la unidad piroclástica I (fig. 4.23).

Internamente estas unidades están constituidas por un conjunto de facies que reflejan una depositación a partir de corrientes piroclásticas complejas (fig. 4.21 y 4.23), dominadas en su parte inferior por alta concentración de materiales que inhibieron la turbulencia. En una columna tipo, el desarrollo vertical de facies (fig. 4.20 y fig. 4.22) sugiere corrientes altamente inestables que pasaron por cortos periodos de depositación cuasi-estables. La depositación de las unidades mlBr en la parte basal para la unidad I y en la parte media para la unidad II sugiere que el clímax de velocidad de las corrientes se desarrolló en diferentes etapas de su evolución (Brown *et al.*, 2007). El arreglo de facies en sentido lateral de las unidades I y II muestra

condiciones de depositación no uniforme. Por ejemplo, dentro del área depocentral definida para las unidades I y II, la unidad I muestra facies que pueden ser adjudicadas a posiciones proximales (pmL y mlBr) (fig. 3.1) en ambos bordes de la misma, mientras que hacia el centro se encontraron facies de tobas lapillíticas finas atribuidas a sectores distales. Estas características evidencian la no uniformidad de las corrientes y que las corrientes se originaron de diferentes canales eruptivos ubicados probablemente en las zonas de borde del depocentro. Esta aseveración es apoyada por los datos de paleocorrientes medidos en estructuras entrecruzadas y ejes de estructuras erosivas (fig. 4.20 y fig. 4.22).

Con respecto a las microfacies, las unidades I y II muestran dos tipos de arreglo vertical: 1) desarrollo de microfacies de alteración sericítica-argílica (IgnSA) en la base de los depósitos, seguida por el desarrollo de microfacies de ignimbritas silicificadas (IgnS) por alteración en fase vapor, y 2) depósitos caracterizados en su mayoría por microfacies de ignimbritas silicificadas (IgnS). La distribución vertical de las microfacies claramente denota que se trata de unidades de depósitos piroclásticos de bajo grado (Llambías, 2008) que presentan grados de soldamiento incipiente o parcial (*sensu* Smith, 1960), de grados II/III de soldamiento (*sensu* Quane y Russel, 2005).

La unidad III está integrada por un arreglo de facies más simple (fig. 4.24), siendo dominantes las facies de tobas lapillíticas masivas (mLT, mLTf y emLT). Estas condiciones reflejan depositación a partir de corrientes piroclásticas con alta concentración del material en el límite inferior (fig. 3.1), pero a diferencia de las anteriores evolucionaron generalmente en un contexto cuasi-estable, con límites de flujos dominados en un amplio espectro por condiciones de escape de fluidos y flujos granulares (Branney y Kokelaar, 2002). A diferencia de las unidades I y II, la unidad III presenta una geometría más regular ("tabular"), de cientos de metros de espesor y un largo mínimo de 10 km (fig. 4.25). La distribución lateral de las facies muestra condiciones más uniformes de las corrientes con respecto a las unidades anteriormente descriptas. Las características petrográficas de la unidad III muestran microfacies de ignimbritas con alteración sericítica-argílica (IgnSA), microfacies de ignimbritas silicificadas (IgnS) y en ocasiones microfacies de ignimbritas desvitrificadas a alta temperatura (IgnD). El arreglo vertical de las microfacies es también típico de ignimbritas de bajo grado (Llambías, 2008), aunque la presencia de las microfacies de ignimbritas desvitrificadas (Ign D) indica que la temperatura de las corrientes piroclásticas estaba cercana a la temperatura de transición del vidrio y que el espesor que presenta esta unidad favoreció la conservación del calor para que se desarrollen arreglos cristalinos a alta temperatura. El rango de soldamiento de estas ignimbritas va desde soldamiento incipiente o parcial (*sensu* Smith, 1960), de grados II/III de soldamiento (Quane y Russel, 2005) a ignimbritas densamente soldadas (Smith, 1960), de grado IV/V (Quane y Russel, 2005).

Con todo, las unidades de acumulación de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal (I, II y III) presentan características compartidas que evidencian similitudes en su estilo eruptivo, mecanismos de transporte y depositación y ambiente despositacional. Respecto al estilo eruptivo, los pómez pequeños y generalmente escasos, la composición de los depósitos, la morfometría de las trizas y los indicios de alta cantidad de volátiles primarios, serían evidencias de mecanismos eruptivos magmáticos eficientes que habrían originado erupciones plinianas (Fisher y Schmincke, 1987; Cas y Wright, 1987; Best y Christiansen, 2000; Németh y Ulrike, 2007; Llambías, 2008). La presencia de unidades de acumulación, generalmente por debajo de la temperatura del vidrio, y la existencia de depósitos de lapillitas pumíceas bien seleccionados que pueden ser adjudicados a depósitos de caída pliniana, sugieren que las corrientes piroclásticas se originaron a partir de columnas eruptivas de alturas considerables (Mc Arthur *et al.*, 1998; Fisher y Schmincke, 1987; Branney y Kokelaar, 2002). Las características de los depósitos muestran eventos eruptivos continuos en el tiempo que desarrollaron corrientes piroclásticas sostenidas.

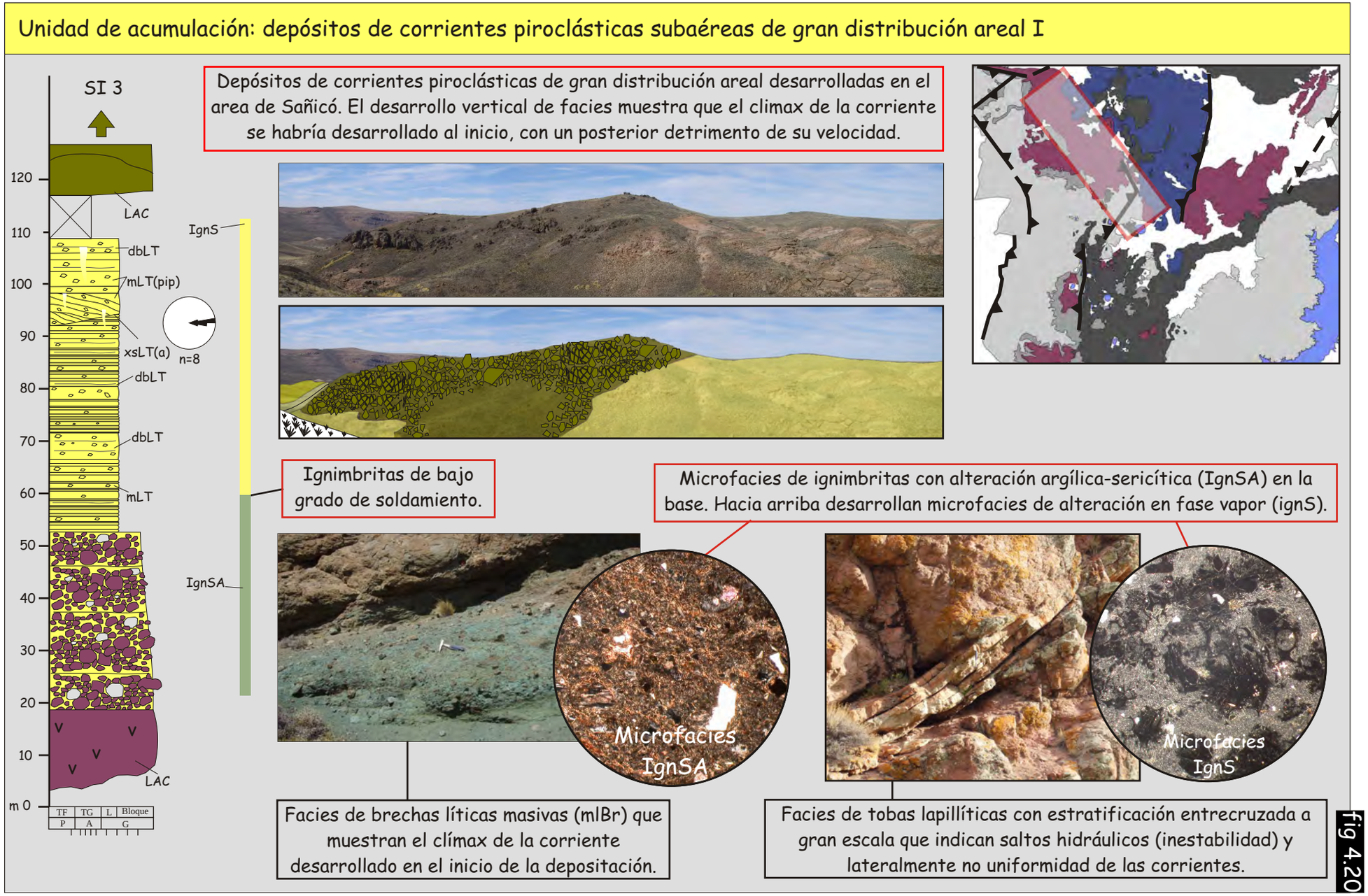


Figura 4.20. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal.

Unidad de acumulación: depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal I

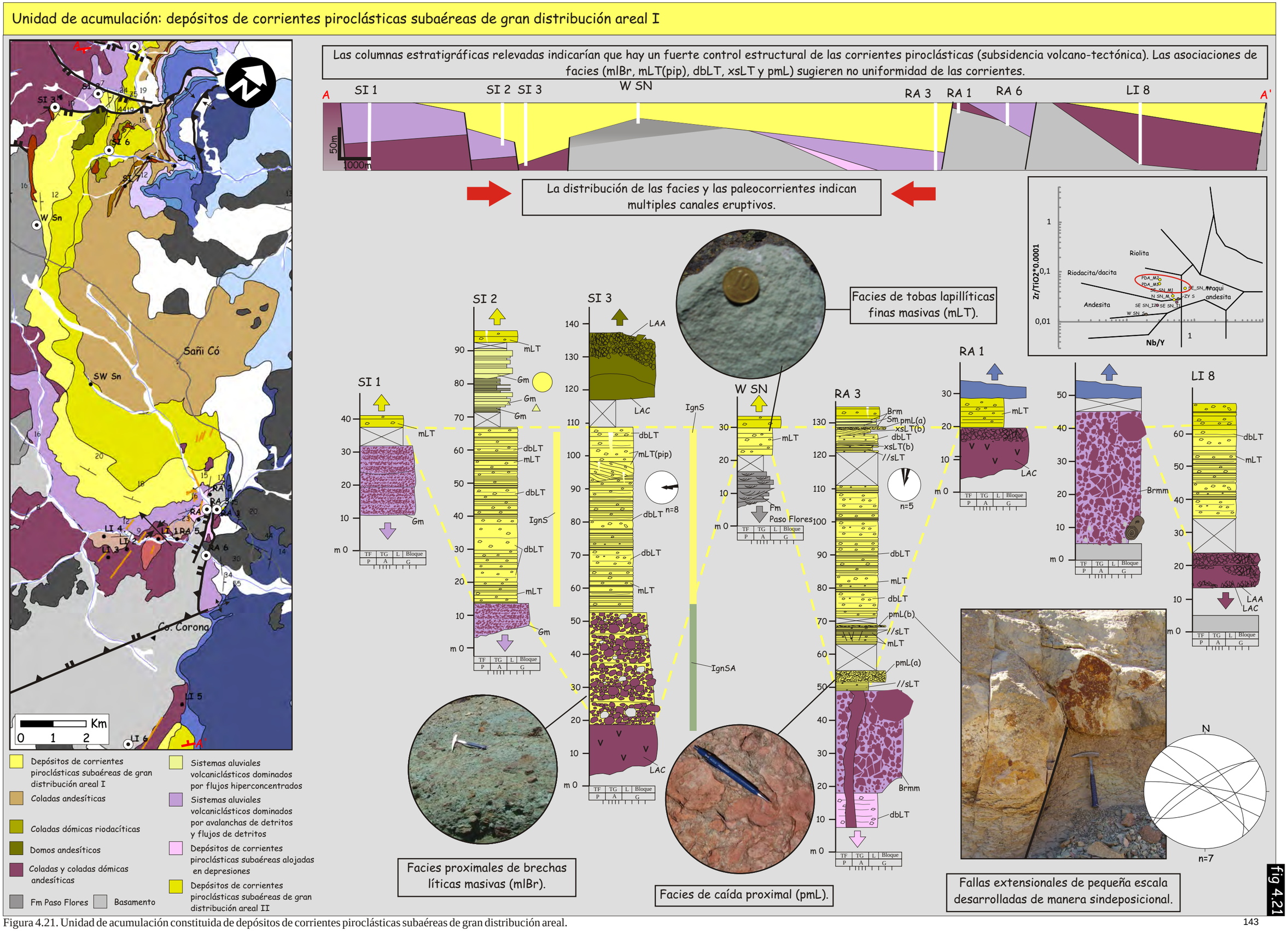
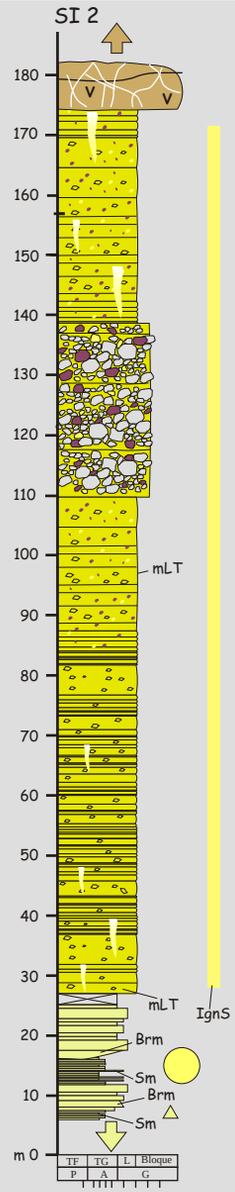


fig 4.21

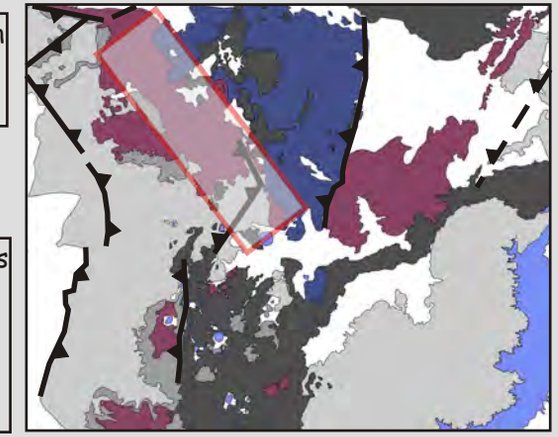
Figura 4.21. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal.

Unidad de acumulación: depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal II

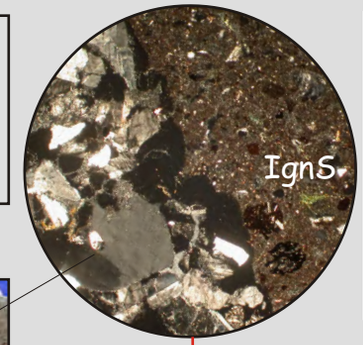


Depósitos de corrientes piroclásticas desarollados en el área de Sañicó. La evolución vertical de las faces indica que las corrientes fueron inestables y complejas, registrándose su climax de velocidad hacia la parte superior del depósito.

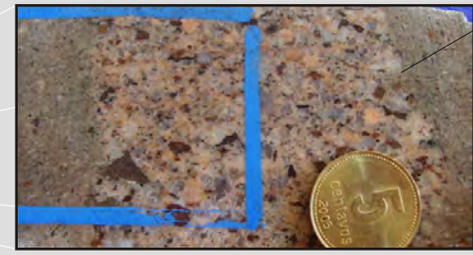
Estratificación desarrollada en las facies de tobas lapillíticas masivas (mLT) sugiriendo periodos de remoción del límite del flujo inferior y posterior restablecimiento de la depositación.



Facies de tobas lapillíticas masivas con estructura de escape de gases (mLTpip) originadas por límites de flujo inferior dominados por escape de fluidos.



Microfacies de ignimbritas con alteración en fase vapor (IgnS). Se puede apreciar la concentración de "gruesos" en la parte central de los "pipes".



Corte transversal de un canal de escape de gases ("pipes").

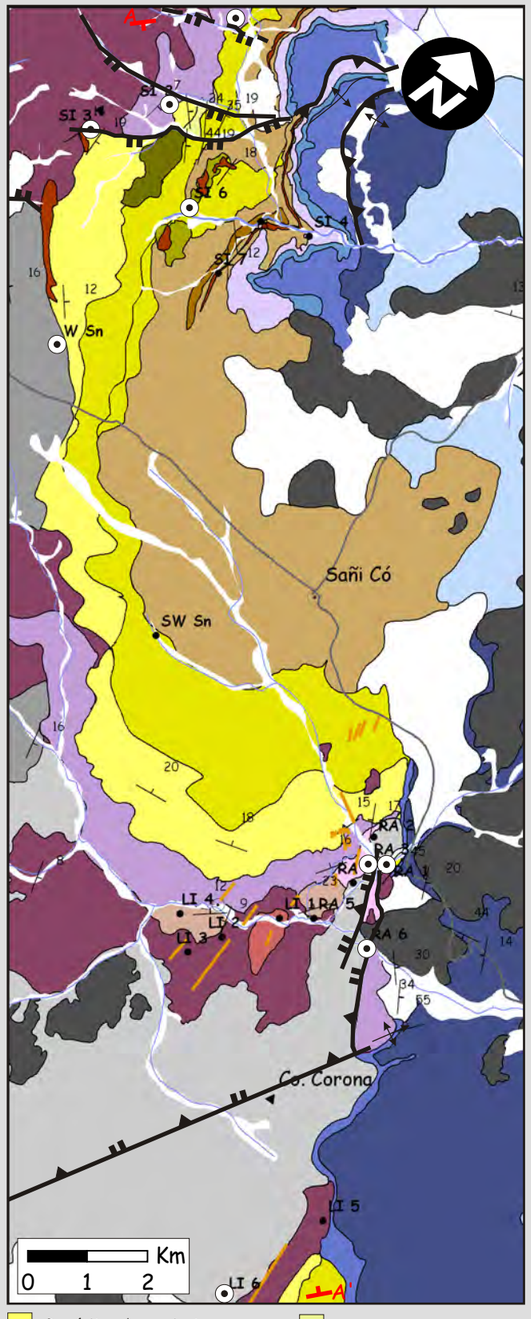
Esta unidad de acumulación se presenta casi en su totalidad afectada por alteración en fase vapor (microfacies IgnS).

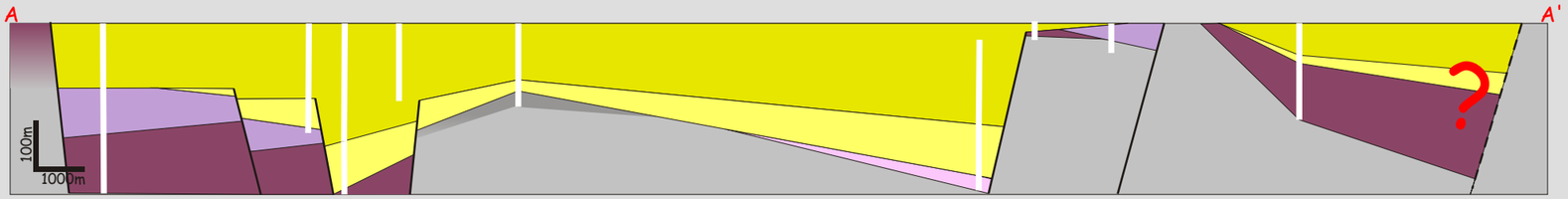
fig 4.22

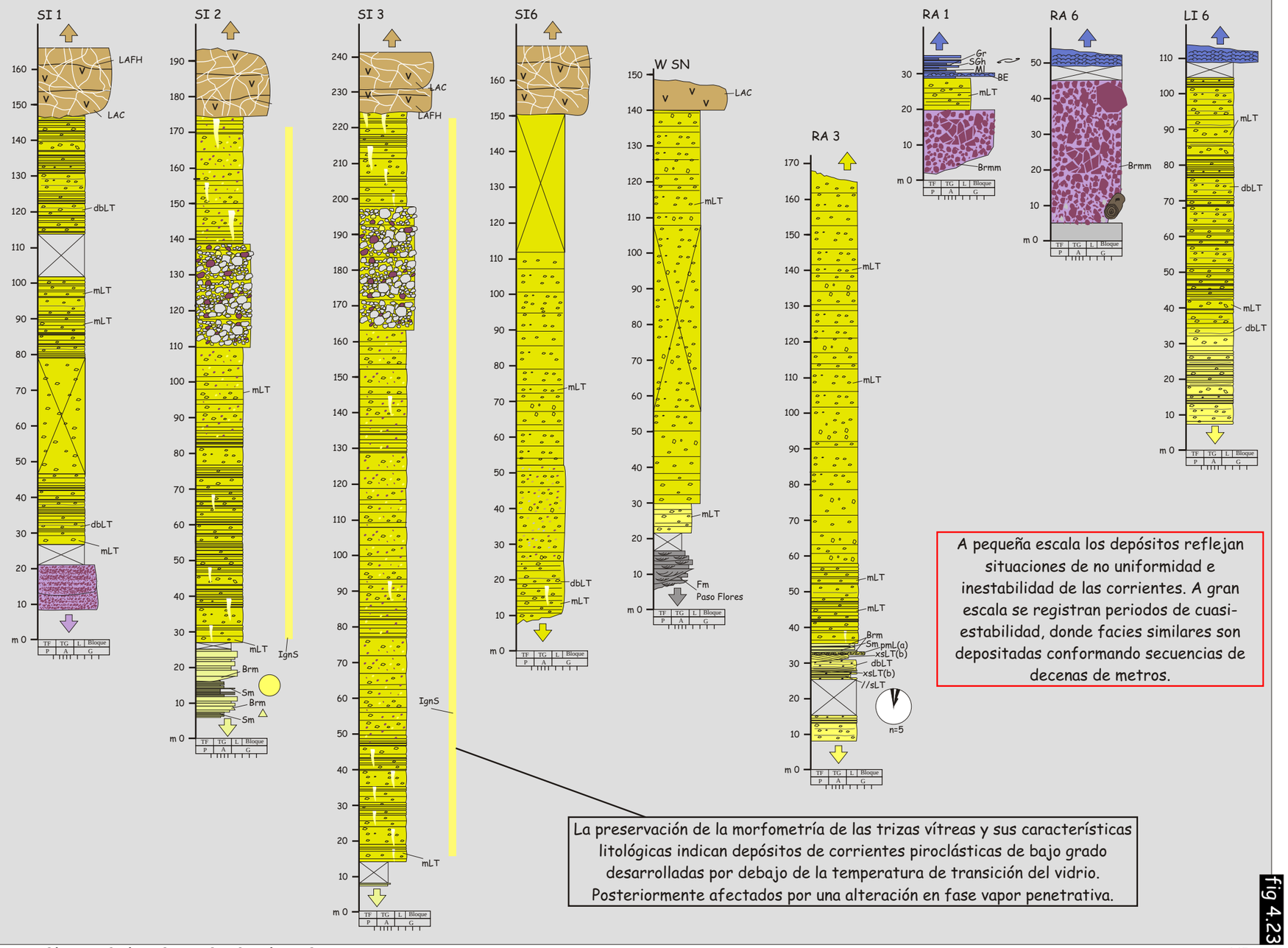
Figura 4.22. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal.

Unidad de acumulación: depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal II

Depósitos de corrientes piroclásticas de gran distribución areal. Muestran un control volcano-tectónico por parte de las estructuras que afectaron otras unidades piroclásticas en el depocentro de Sañicó.







A pequeña escala los depósitos reflejan situaciones de no uniformidad e inestabilidad de las corrientes. A gran escala se registran periodos de cuasi-estabilidad, donde facies similares son depositadas conformando secuencias de decenas de metros.

La preservación de la morfometría de las trizas vítreas y sus características litológicas indican depósitos de corrientes piroclásticas de bajo grado desarrolladas por debajo de la temperatura de transición del vidrio. Posteriormente afectados por una alteración en fase vapor penetrativa.

- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal I
- Coladas andesíticas
- Coladas dómicas riodacíticas
- Domos andesíticos
- Coladas y coladas dómicas andesíticas
- Fm Paso Flores
- Basamento
- Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados
- Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal II

fig 4.23

Figura 4.23. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal.

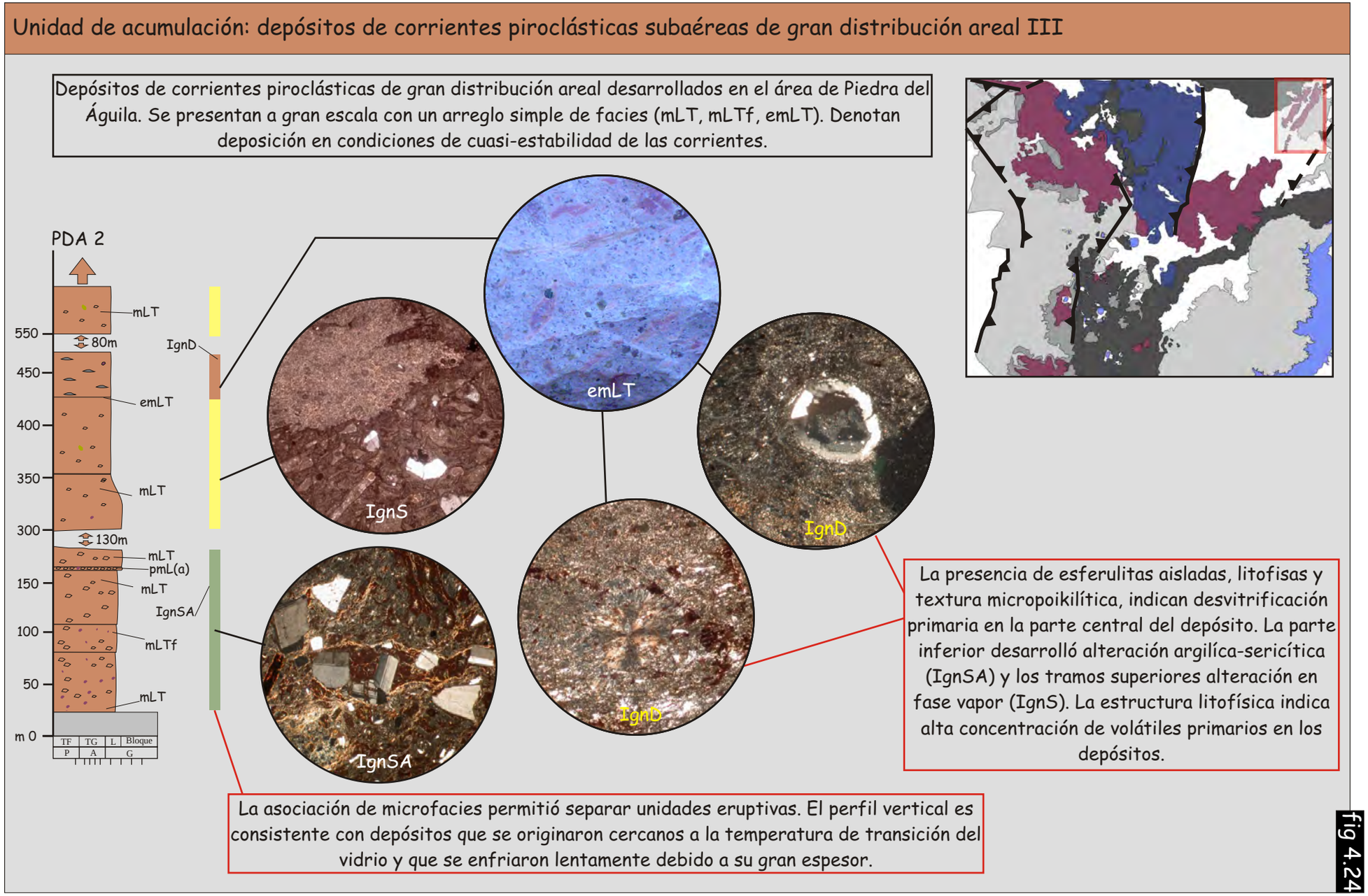
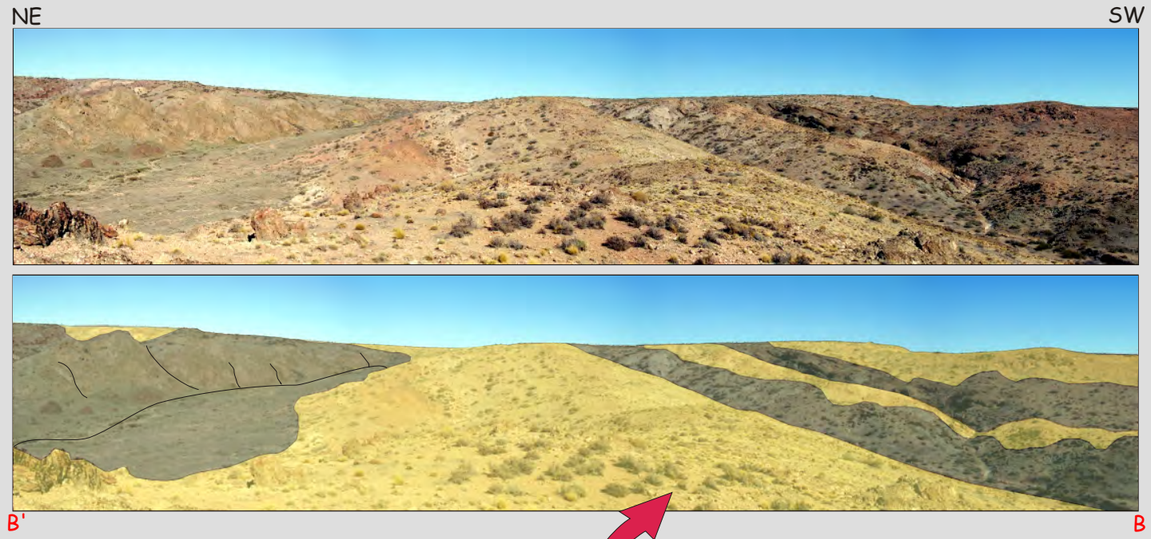
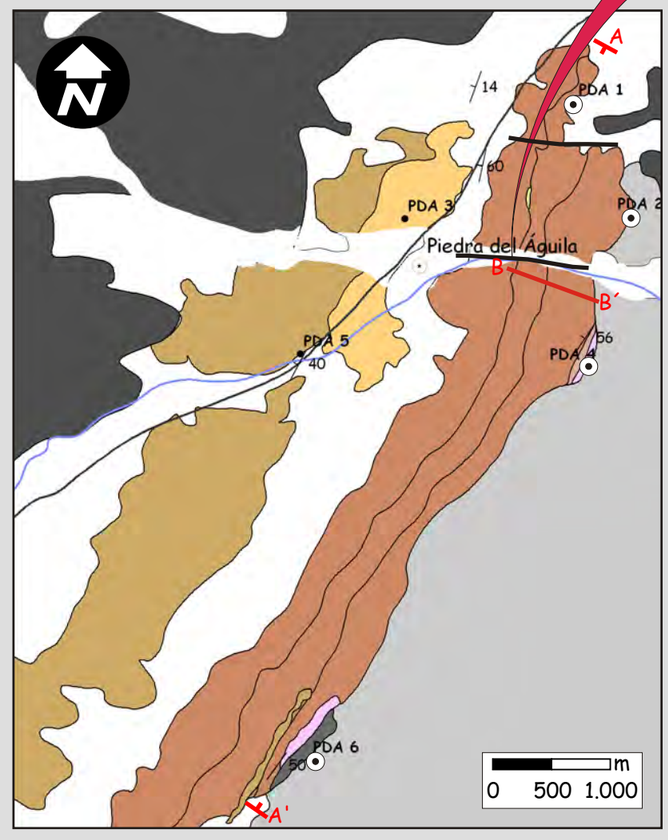
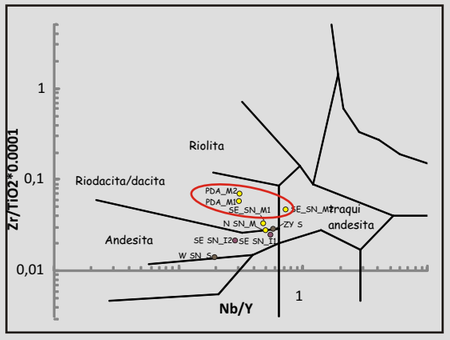


Figura 4.24. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal.

Secuencias de unidades de acumulación piroclásticas de gran distribución areal III aflorantes en el área de Piedra del Águila.



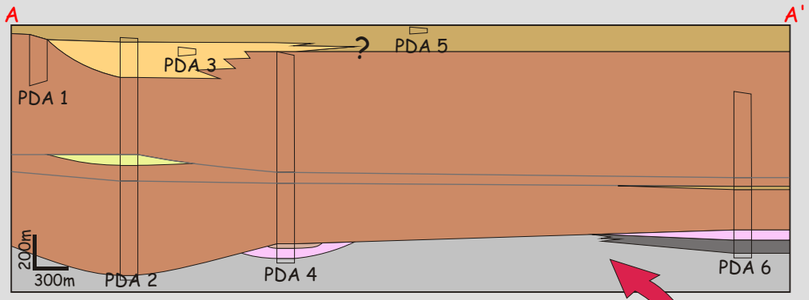


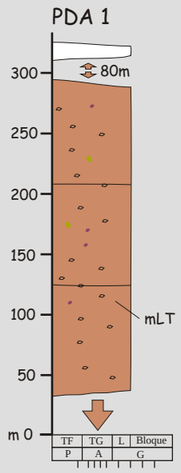


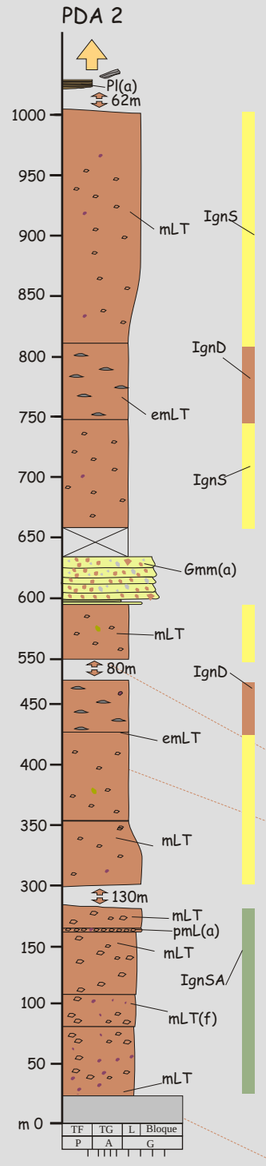
En perfil vertical como lateral se encuentran arreglos simples de facies sugiriendo a gran escala estabilidad y uniformidad de las corrientes. A diferencias de las unidades anteriores, la geometría de esta unidad es más regular que las halladas en el área de Sañicó.

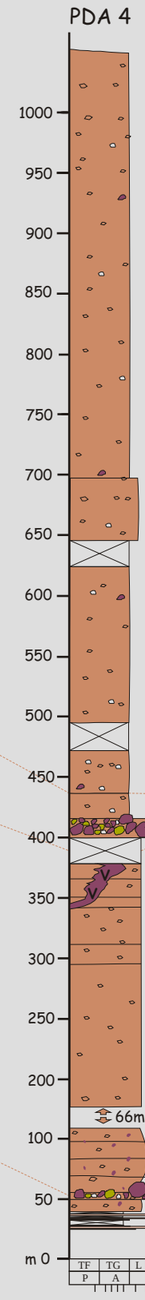
Los elevados volúmenes de material y la forma que presentan estas unidades sugieren el relleno de depresiones volcano-tectónicas.

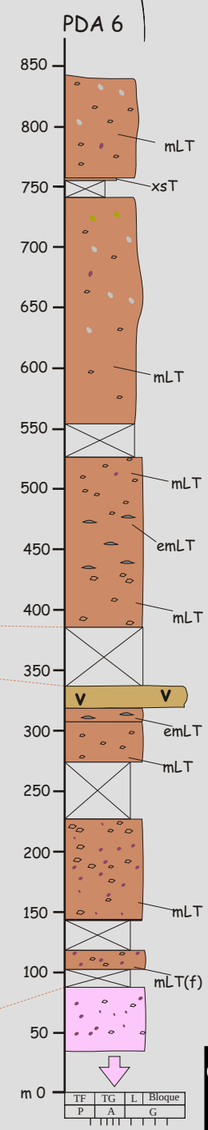
La regularidad geométrica de las unidades que se superponen en este sector se mantiene, indicando que las condiciones en el espacio de acumulación no variaron durante la evolución.











Coladas y coladas dómicas andesíticas

Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal III

Sistemas aluviales volcaniclásticos terminales

Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones

Basamento

Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones

Sistemas fluviales de carga mixta

Coladas andesíticas

fig 4.25

Figura 4.25. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal.

4.5.3 Unidad de acumulación de depósitos de corrientes piroclásticas subácueas

Se presenta como una unidad de geometría tabular a levemente cuneiforme, con espesores máximos que rondan los 10 m. Internamente se encuentra constituida por un arreglo simple de facies de tobas lapillíticas masivas (mLT). Esta unidad se desarrolla interdigitada con depósitos sedimentarios que indican un ambiente de depositación subácueo (fig. 4.26). El arreglo simple vertical y lateral de estas facies sugieren la depositación desde corrientes piroclásticas subácueas de corta vida que evolucionaron con alta concentración de piroclastos en la zona inferior del flujo (Branney y Kokelaar, 2002). Es importante destacar que las corrientes piroclásticas generalmente se desarrollan como corrientes estratificadas, mostrando grandes contrastes de densidad. Esta situación permite que éstas fluyan por debajo del agua como una unidad coherente, originando arreglos de facies subácueos que no pueden diferenciarse de los subaéreos (Fritz *et al*., 1990; Kokelaar *et al*., 2007). Por último, esta unidad evidencia la presencia de erupciones plinianas o subplinianas y la continuidad de eventos volcánicos una vez acaecida la inundación de la cuenca.

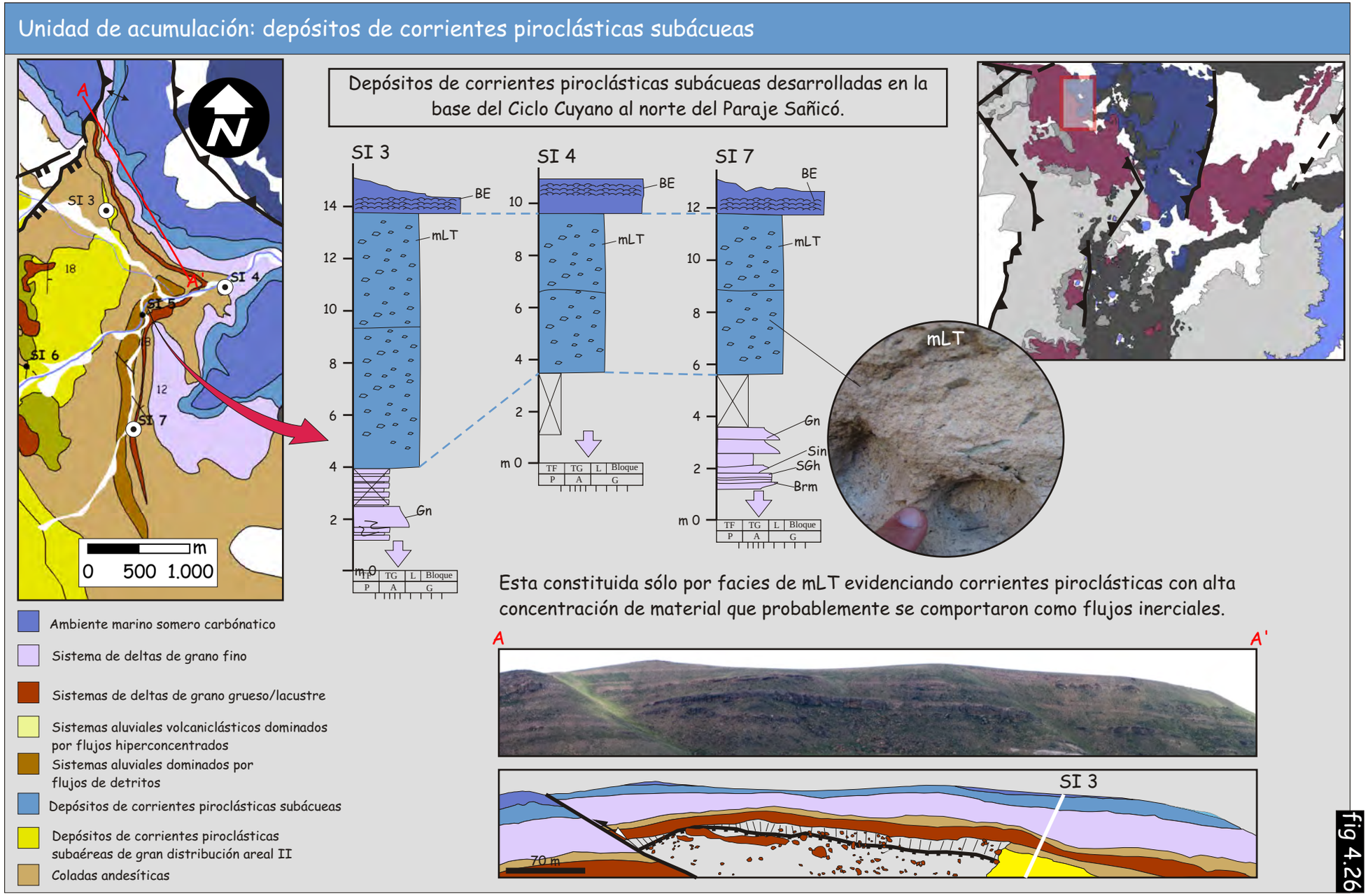


Figura 4.26. Unidad de acumulación constituida de depósitos de corrientes piroclásticas subácueas.

4.6 Unidades de acumulación sedimentarias

Bajo este título se han integrado todas las unidades de acumulación constituidas por facies sedimentarias epiclásticas y/o carbonáticas. Las unidades sedimentarias serán agrupadas para su tratamiento dentro de unidades de acumulación epiclásticas continentales, unidades de acumulación epiclásticas marinas y unidades de acumulación carbonáticas marinas. Para la denominación de cada unidad de acumulación se utilizaron generalmente dos atributos, uno relacionado al ambiente depositacional (Ej. fluvial, aluvial, marino) y otro vinculado al proceso sedimentario más representativo del ambiente (Ej. flujos de detritos, procesos deltaicos) (fig. 4.27). La determinación del ambiente continental/marino se realizó en función de la asociación de facies, la asociación con otras unidades de acumulación y la presencia de fósiles. Los principales procesos depositacionales fueron extraídos de la interpretación dinámica de los depósitos realizada en el capítulo anterior. En ocasiones para resaltar las características composicionales de las unidades se empleó el término volcaniclástico. Es importante destacar que en el capítulo precedente se evitó utilizar esta expresión debido a la confusión que generalmente trae aparejada. El término "volcaniclástico" será utilizado bajo su acepción original, esto es para caracterizar depósitos constituidos predominantemente por individuos volcánicos, sin tener en cuenta su origen, mecanismo de transporte o historia depositacional (Smith, 1961 en Németh y Ulrike, 2007).

4.6.1 Unidades de acumulación epiclásticas continentales

4.6.1.1 Sistemas aluviales

Bajo esta denominación se agruparon a unidades sedimentarias generadas por la depositación de materiales a partir de flujos gravitatorios de sedimentos (depósitos de avalanchas de detritos, depósitos de flujos de detritos y flujos hiperconcentrados), flujos diluidos en mantos (*sheetfloods*), y minoritariamente, flujos diluidos encauzados. Estas características aluden a zonas de pendientes de entre 1,5° y 25°, fuertemente agradacionales, donde los flujos son rápidamente atenuados (Blair y McPherson, 1994). Dentro del relleno precuyano en función de su extensión, geometría, procesos originarios y composición se distinguieron 5 unidades relacionadas a ambientes aluviales: I) sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos, II) sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos de detritos. III) sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones, IV) sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados, y V) sistemas aluviales volcaniclásticos terminales.

fig 4.27

Unidades de acumulación de rocas sedimentarias

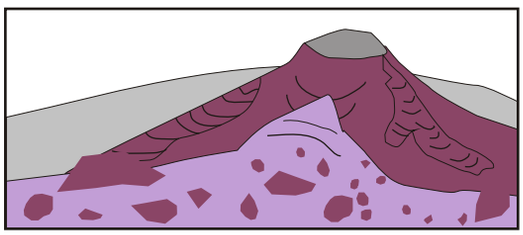
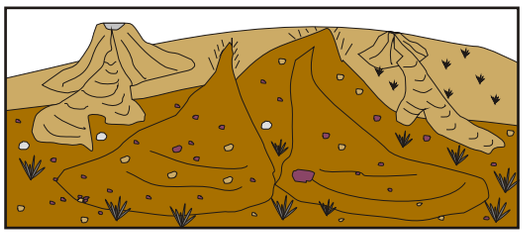
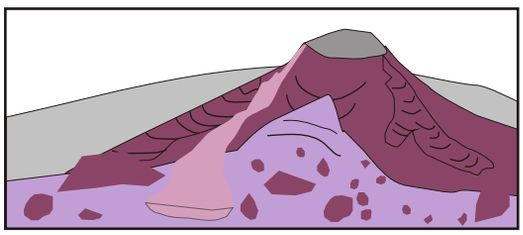
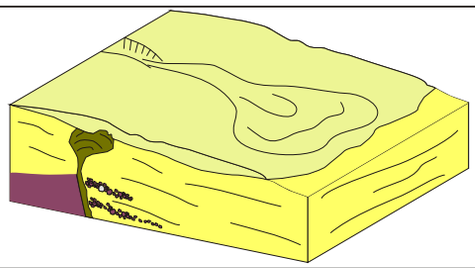
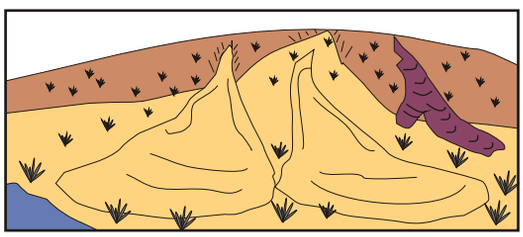
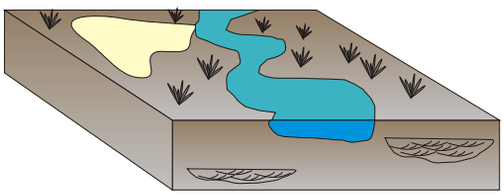
	Unidad de acumulación	Asociaciones de facies y microfacies	Ilustración
Unidades de acumulación aluviales	Sistemas aluviales dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos	Asocianes de facies: Brmm / Brmm + Gmm (a) ± SGt/ Brmm + Gmm(a) ± SGt ± mLT Asociaciones de microfacies: REMAjs + REMA ± IgnSA	
	Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos de detritos	Asociaciones de facies: Gmm (a) / Gmm(a) + SGh Asociaciones de microfacies: REV	
	Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones	Asociaciaones de facies: SGh + Gm + Gh ± St ± Gp / SGh + Gm + Gh + Gmm(a) Asociaciones de microfacies: REMA ± REV	
	Sistemas aluviales volcaniclásticos con dominancia de flujos hiperconcentrados	Asociaciones de facies: Brm / SGh + Sm + Brm Asociaciones de microfacies: REMP	
	Sistemas aluviales volcaniclásticos terminales	Asociaciones de facies SGh + Pl (a) + Gh + Sh ± Gm ± Gmm(a) ± LAC Asociaciones de microfascies REMP + REV + RVA	
	Sistema fluvial de carga mixta	Asociaciónes de facies: Subambiente de planicie de inundación: Pl(a) +St + Sh ± Tm Subambiente de canales. St Asociaciones de microfacies: RES	

fig 4.27

Unidades de acumulación de rocas sedimentarias

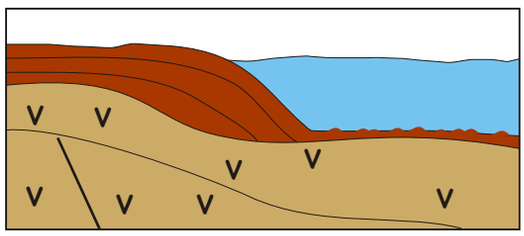
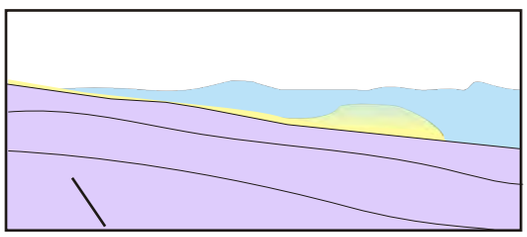
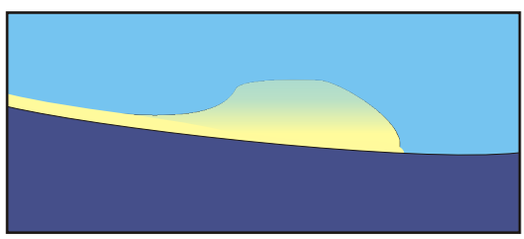
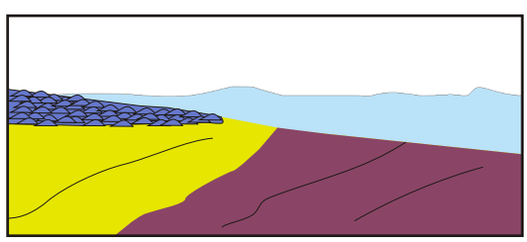
	Unidad de acumulación	Asociaciones de facies y microfacies	Ilustración
	Sistema de delta de grano grueso/lacustre	Asociaciónes de facies: Subambiente de shoreface: Gp(a) + Gh + St + Sh + SGh Subambiente de offshore: Pl(a) + BE + Sr ± Gh ± Sm Asociaciones de microfacies: REV + RCM + RCLM	
Unidades de acumulación marinas	Sistema de delta de grano fino	Asocianes de facies: facies de shoreface: Sr + Sh + Sp + Shcs + St ± Gp(b) Facies de flujos eventuales: SGh + Gm ± Brm ± Sn Asociaciones de microfacies: REV ± REMP	
	Ambiente marino de costa afuera (offshore)	Asociaciones de facies: Pl(b) + Sn / Pl(b) + Sn + Gn ± Gmm(b) Asociaciones de microfacies: REV	
	Ambiente marino somero carbonático	Asociaciones de facies: BE + Gr + Ml / Gm + SGh + Ml Asociaciones de microfacies: RCLM + RCG + RCM REV	

Figura 4.27. Unidades de acumulación sedimentarias distinguidas para el relleno Precuyano y el inicio del Ciclo Cuyano.

I) La unidad de acumulación de **sistemas aluviales dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos** se encuentra representada en la parte inferior del Ciclo Precuyano. Generalmente se apoya en concordancia o suave discordancia sobre las unidades volcánicas lávicas y las unidades de corrientes piroclásticas alojadas en depresiones. Se presenta con geometría irregular, ampliamente distribuida lateralmente, con espesores y extensiones de cientos de metros. Se constituye por facies de depósitos de avalanchas de detritos (Brmm) y de flujos de detritos (Gmm(a)), alojados en canales o no canalizados (fig. 3.1 y 4.28). Minoritariamente se encontraron depósitos arenosos hiperconcentrados (SGh) de pocos centímetros y depósitos de corrientes piroclásticas que no superan los 2 m de espesor (mLT). Esta unidad no muestra ningún arreglo de facies preferencial. Respecto a las características petrográficas, las microfacies de rocas epiclásticas monomícticas andesíticas, sin y con fracturación en rompecabezas (REMA y REMAjs), son las que mayoritariamente caracterizan a las facies de avalanchas de detritos y de flujos de detritos de esta unidad (fig. 4.28).

Las características monomícticas, sumadas a la vinculación espacial con las unidades de rocas volcánicas, indican una relación entre los sistemas aluviales dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos y el volcanismo andesítico presente (Mc Phie *et al.,* 1993). En sentido amplio, los depósitos de avalanchas de detritos conservan la estratigrafía del relieve volcánico previo (Shea *et al.,* 2008). De este modo, las características composicionales de estos depósitos indicarían un origen a partir de un paisaje volcánico dominado preferentemente por materiales lávicos de composiciones uniformes. Los procesos depositacionales, que indican alta tasa de agradación en cortos periodos de tiempo, conjuntamente con los atributos monocomposicionales, sugieren que esta unidad se podría haber desarrollado de manera sineruptiva con el volcanismo andesítico (Palmer *et al*., 1993; Riggs *et al.,* 1997; Zancheta *et al.,* 2004). Sin embargo, la asociación lateral y vertical con las unidades volcánicas muestra más generalmente una relación intereruptiva con las unidades volcánicas. El desarrollo de las avalanchas de detritos en ambientes volcánicos puede ocurrir por debilidades inherentes a los aparatos volcánicos (erosión, asimetría o hidrotermalismo) y/o por mecanismos que sirven como gatillo (erupciones, terremotos e intrusiones) (Thouret, 1999). La participación de flujos de detritos volcaniclásticos que pueden ser originados a partir de flujos de avalanchas de detritos o por resedimentación de éstos (Bernard *et al.,*2009), la escasa presencia de arcilla, la ausencia de alteración hidrotermal penetrativa y la carencia de unidades volcánicas primarias, sustentarían que a pesar de las características composicionales y fuertemente agradantes, estos sistemas estarían asociados a eventos intereruptivos relacionados a la erosión e inestabilidad gravitatoria (Belousov *et al.,* 1999; Clavero *et al*., 2002; Shea *et al.,* 2008). Minoritariamente, en algunos sectores del relleno estas unidades se presentan intercaladas con unidades lávicas, sugiriéndose una eventual condición sineruptiva.

Los sistemas aluviales dominados por flujos de avalanchas de detritos y flujos de detritos corresponderían a un ambiente aluvial de elevada pendiente (Blair y McPherson, 1994) que representa un importante evento degradacional de corta vida de las unidades volcánicas que conformaban el relieve precuyano. Conjuntamente, constituyen eventos agradacionales de los ambientes sedimentarios desarrollados en este escenario (Palmer *et al*., 1993), generados mayoritariamente en condiciones intereruptivas y minoritariamente en condiciones sineruptivas.

II) La unidad de acumulación de **sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos de detritos** se presenta como una unidad tabular, con un espesor máximo de 60 m (fig. 4.29). Internamente se constituye por facies de flujos de detritos (Gmm(a)) con un arreglo de superposición simple. Esta unidad presenta una composición predominantemente volcaniclástica, integrada por microfacies de rocas epiclásticas polimícticas de procedencia volcánica (REV), con clastos volcánicos de variadas composiciones y orígenes. Los procesos depositacionales reflejan un ambiente aluvial. La ausencia de facies de avalanchas de detritos indicaría menor pendiente que los sistemas dominados por flujos hiperconcentrados (Ej. sistemas aluviales dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos) (Blair y McPherson, 1994; Brown y Bell, 2007). Las características composicionales de esta unidad, constituida de una mezcla de detritos volcánicos, inclusive con participación de otros materiales silicoclásticos, reflejan una red de drenaje alimentadora más integrada y periodos de retrabajo más largos que las unidades monomícticas.

III) La unidad de acumulación de **sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones** se presenta labrando incisiones en unidades previas. Se muestra como una unidad de geometría tabular de decenas de metros espesor y centenas de metros de extensión lateral o como una unidad lenticular de decenas de metros de espesor y extensión lateral (fig. 4.30). Internamente se constituye de facies de flujos hiperconcentrados arenosos (SGh) y gravosos (Gm y Gh) y minoritariamente facies de flujos de detritos (Gmm(a)) y depósitos de corrientes tractivas arenosos (St) y gravosos (Gp) (fig. 3.1). Entre las microfacies que presenta esta unidad se destacan las de rocas epiclásticas monomícticas andesíticas (REMA), habiéndose encontrado en algunos casos microfacies de rocas epiclásticas con abundante procedencia volcánica andesítica, conjuntamente con la participación de litoclastos y cristaloclastos de rocas derivadas del basamento cristalino (REV). Generalmente, las facies que constituyen estos sistemas se presentan conformando secuencias con tendencia grano-estratocreciente (fig. 4.30). Comienzan con depósitos de flujos hiperconcentrados arenosos, desarrollando hacia arriba depósitos de flujos hiperconcentrados gravosos y en ocasiones, depósitos de flujos de detritos. Las facies tractivas gravosas (Gp) pueden aparecer en la base de la unidad constituyendo formas de fondo de canales, mientras que

las facies tractivas arenosas (St) aparecen intercaladas entre las facies de flujos hiperconcentrados arenosos. Éstas se muestran como relleno de pequeñas depresiones originadas como retrabajo de las facies de flujos hiperconcentrados arenosos, durante la etapa de merma del evento depositacional (Cossout y Meunier, 1996; Zancheta *et al*., 2004).

Las características atrincheradas de esta unidad, que reflejan periodos degradacionales (Palmer *et al*., 1993), la abundancia de arenas de composición mayoritariamente andesítica que implican grandes periodos de retrabajo, y la participación eventual de rocas procedentes del basamento, sugieren condiciones intereruptivas (Palmer *et al*., 1993; Riggs *et al.*, 1997; Orton, 2002; Zancheta *et al.*, 2004). La presencia, en ocasiones, de materiales tractivos en la base de las depresiones indica que las mismas fueron labradas por acción fluvial, rellenadas luego de manera pasiva por depósitos de flujos densos (Palmer y Walton, 1990; Blair y McPherson, 1994; Zancheta *et al*., 2004). El arreglo con tendencia grano-estratocreciente indica un aumento de la energía de los ambientes o la restauración de la producción de detritos gruesos.

IV) La unidad de acumulación de **sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados** se presenta como secuencias poco potentes, desde el metro a los 20 m de espesor y extensión lateral de unas pocas decenas de metros (fig. 4.31). Aparece siempre interdigitada entre las unidades piroclásticas de gran distribución areal. Se encuentra enteramente constituida por depósitos de flujos hiperconcentrados monomícticos de procedencia piroclástica, caracterizados por areniscas tobáceas masivas (Sm) y brechas masivas o con gradación normal o inversa (Brm) (fig. 3.1). Esta unidad presenta microfacies de rocas epiclásticas monomícticas de procedencia piroclástica (REMP) que muestran en su composición piroclastos con indicios de cristalización en fase vapor.

Estas facies se desarrollan sin un arreglo preferencial, en forma de descargas en manto y/o rellenando pequeñas depresiones bordeadas por superficies erosivas (fig. 4.31). Tomando los criterios usuales para distinguir secuencias eruptivas de intereruptivas - tamaño de grano, composición, origen de los clastos y geometría de las unidades- , esta unidad correspondería a un evento agradacional sineruptivo (Smith *et al*., 1987; Smith, 1987; Smith, 1991; Bahk y Chough, 1996; Orton, 2002). Es importante destacar que Smith (1991) no sólo incluye dentro de los periodos sineruptivos a los procesos volcánicos y sedimentarios contemporáneos durante la erupción, sino también, a los procesos sedimentarios penecontemporáneos al volcanismo, mientras permanecen disturbadas las condiciones hidrológicas y geomorfológicas. Indudablemente, la unidad en estudio está netamente controlada por las unidades piroclásticas previas, pero existen varias razones a ser tenidas en cuenta antes de adjudicarle un origen sineruptivo. Primero, las unidades eruptivas piroclásticas son de tal volumen que el impacto geomorfológico originado dentro del relieve precuyano debió haber sido tan grande que las nuevas condiciones de equilibrio tienen que haber sido controladas por el nuevo escenario.

Segundo, los modelos mencionados requieren lapsos mayores y ambientes sedimentarios integrados (véase Smith, 1991), condiciones muy disimiles para el ambiente en cuestión. Con todo, la asociación espacial que presenta este ambiente con las unidades de corrientes piroclásticas, sumado a la presencia de litoclastos afectados por procesos de cristalización en fase vapor que sugieren periodos de retrabajo de las unidades piroclásticas, indican una naturaleza interuptiva para esta unidad. La importancia de su registro radica en comprender que las diferentes unidades de corrientes piroclásticas de gran distribución areal no se desarrollaron de manera súbita dentro del Ciclo Precuyano. Así, esta unidad de acumulación refleja condiciones aluviales intereruptivas, de gradientes moderados, caracterizada por procesos depositacionales principalmente controlados por el tipo de material (Blair y McPherson, 1994).

V) La unidad de acumulación de **sistemas aluviales volcaniclásticos terminales** se encuentra asociada íntimamente a unidades piroclásticas, apareciendo por encima de potentes secuencias ignimbríticas (fig. 4.32). Se presenta como una unidad de geometría irregular a tabular, de cientos de metros de extensión lateral y hasta 200 m de espesor. Está constituida mayoritariamente de facies de depósitos pelíticos, preferentemente limolíticos de procedencia piroclástica, con briznas vegetales (Pl(a)) que intercalan con facies de depósitos de flujos hiperconcentrados arenosos y gravosos (SGh, Gm y Gh) (fig. 3.1). En algunas ocasiones se han encontrado arenas con estratificación entrecruzada en artesa como rellenos de canales pequeños episódicos (fig. 4.32). Los depósitos de flujos hiperconcentrados se muestran preferentemente en manto aunque en ocasiones se presentan alojados en canales. En forma subordinada se encontraron facies de flujos de detritos (Gmm(a)), flujos diluidos en mantos (Sh) y cuerpos delgados de lavas de composición andesítica (LAC) (fig. 3.1). Con respecto a las características petrográficas, esta unidad se caracteriza principalmente por microfacies de rocas epiclásticas de composiciónes piroclásticas (REMP) y volcaniclásticas (REV).

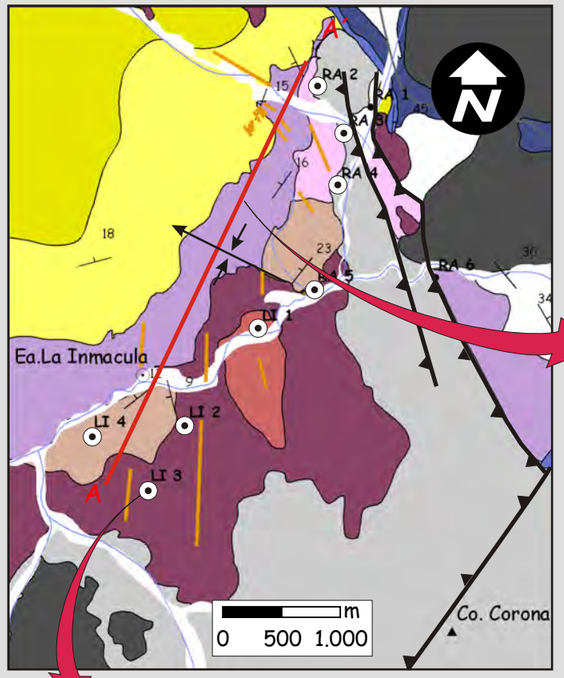
Las litofacies presentes en esta unidad generalmente se exhiben con una disposición particular, caracterizada por tramos de entre 10 m a 20 m, con arreglo grano-estratocreciente (fig. 4.32). Evolucionan desde facies de flujos hiperconcentrados arenosos (SGh) - en ocasiones desde facies de flujos diluidos en mantos - seguidas por facies de flujos hiperconcentrados gravosos y circunstancialmente, facies de flujos de detritos. Todas las facies yacen conjuntamente con el desarrollo de tramos conspicuos de pelitas laminadas (Pl(a)) que marcan periodos de quietud dominados por procesos de decantación. Este arreglo se condice con la secuencias originadas como resultado de la progradación de lóbulos terminales en ambientes aluviales (Miall, 1996).

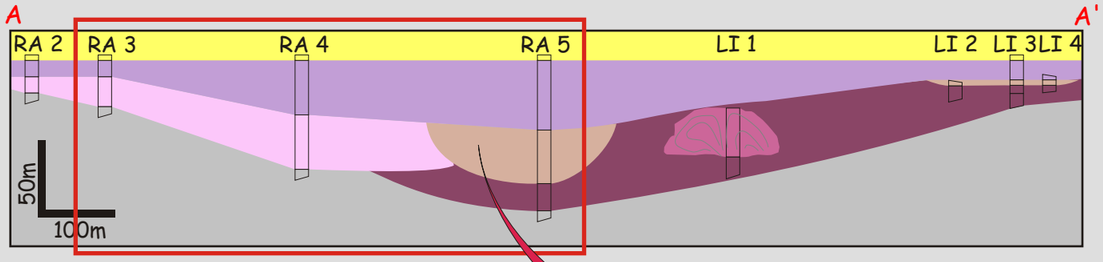
Las características anteriormente mencionadas indican una ambiente aluvial de bajo gradiente, en posiciones distales, con pendientes menores a 2° (Blair y Mc Pherson, 1994). El arreglo de facies presentes, con una abundancia considerable de tramos finos, permite sugerir un

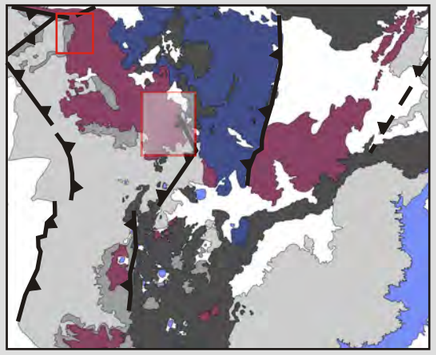
sistema aluvial terminal (Collinson, 2002; Miall, 2006). La abundancia de materiales limosos y arenosos de procedencia piroclástica y la baja participación de arcilla, típica en ambientes volcánicos (Smith, 1986, Smith y Lowe, 1991), explica el dominio de flujos hiperconcentrados (Blair y McPherson, 1994). El desarrollo de secuencias progradantes evidencia la participación de controles autocíclicos (Miall, 1996), situación atípica para las unidades sedimentarias continentales descriptas.

Unidad de acumulación: sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos

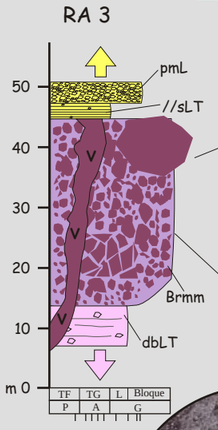
Esta unidad aparece en la parte inferior del Ciclo Precuyano en el área de Sañicó. Yace con geometría irregular de cientos de metros de espesor y cientos de metros de extensión lateral. Se caracteriza por depósitos de avalanchas de detritos y flujos de detritos de composición andesítica. Las características monomícticas y la vinculación espacial con las unidades de rocas volcánicas indican una indudable relación con el volcanismo.

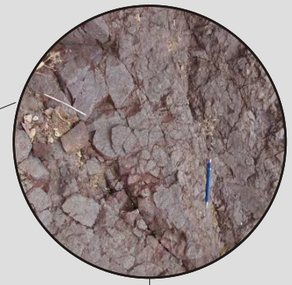




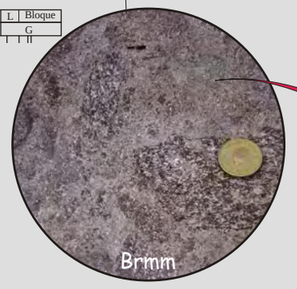


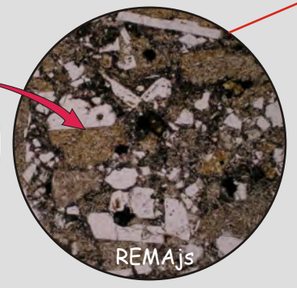
Depósitos de avalanchas de detritos volcánicos (Brmm) de decenas de metros de espesor y cientos de metros de extensión lateral. Conforman un importante evento de degradación del paisaje volcánico.



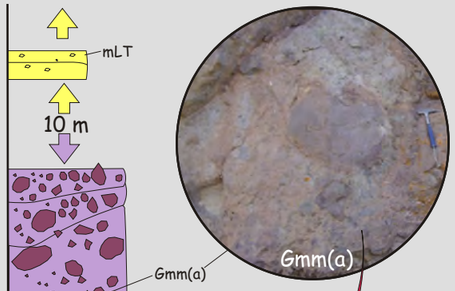


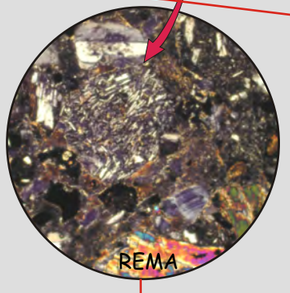
Megaclastos con fracturas en rompecabezas.



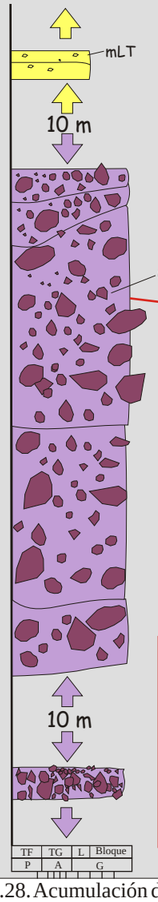


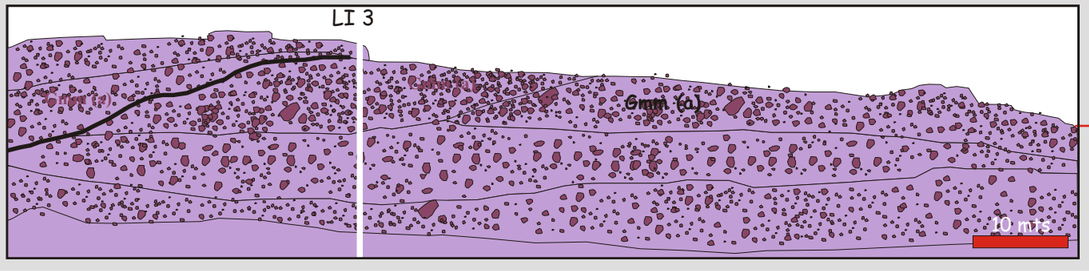
Microfacies de rocas epiclásicas monomícticas andesíticas con homogeneidades texturales y fracturación en rompecabezas (REMAjs). Indican procesos poco eficientes de fragmentación y mezcla de materiales clásticos dentro del ambiente volcánico.





Microfacies de rocas epiclásicas monomícticas andesíticas con heterogeneidades texturales (REMA). Indican procesos eficientes de fragmentación y mezcla de materiales clásticos dentro del ambiente volcánico.





Secuencias de flujos de detritos no cohesivos monomícticas (Gmm(a)) de composición andesítica desarrollados en mantos y como relleno pasivo de canales de bypass relacionados al ambiente aluvial.

fig 4.28

Figura 4.28. Acumulación de sistemas aluviales dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos.

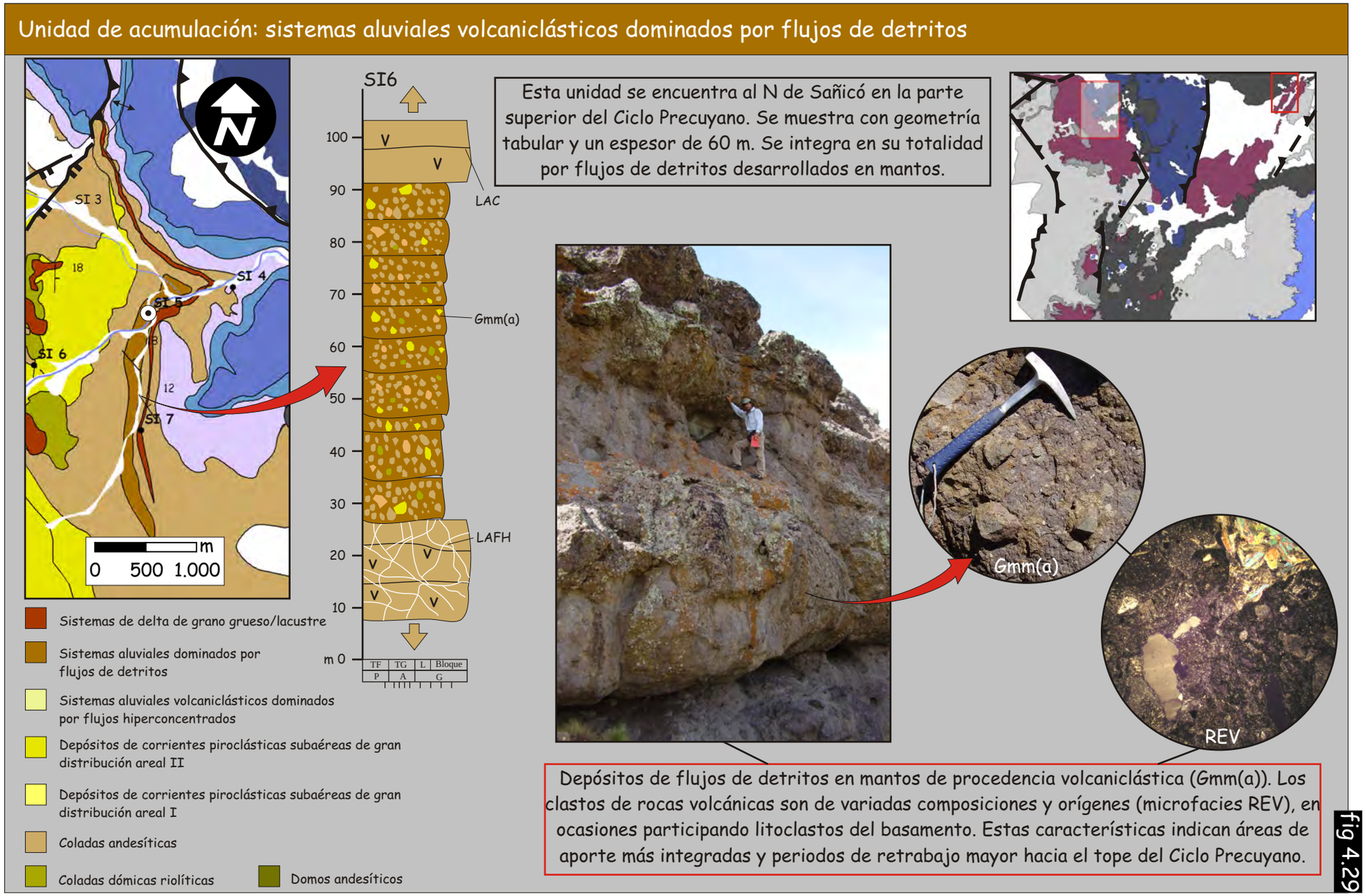
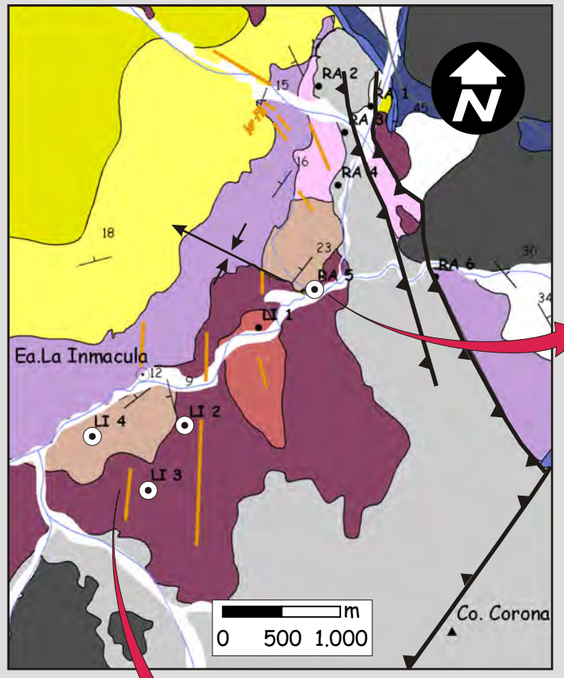
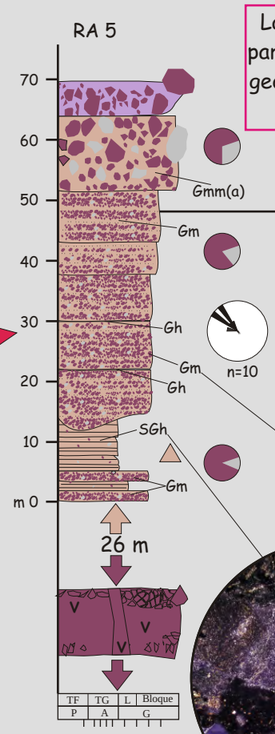


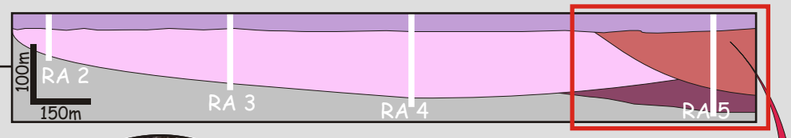
Figura 4.29.Unidad de acumulación: sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos de detritos.

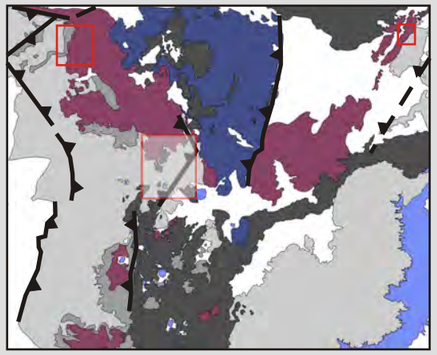
Unidad de acumulación: sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones

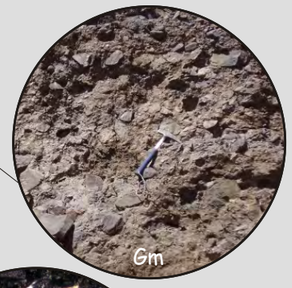
Las unidades aluviales dominadas por depósitos de flujos hiperconcentrados son características de la parte basal del Ciclo Precuyano en el área de Sañicó y Piedra del Águila. Se presentan como unidades de geometría lenticular, como relleno pasivo de depresiones originadas en unidades previamente formadas, desarrolladas en periodos degradacionales intereruptivos dentro del paisaje volcánico.



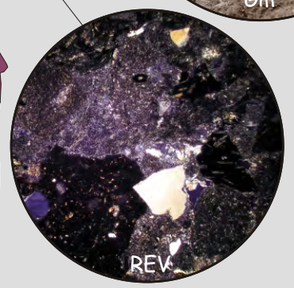


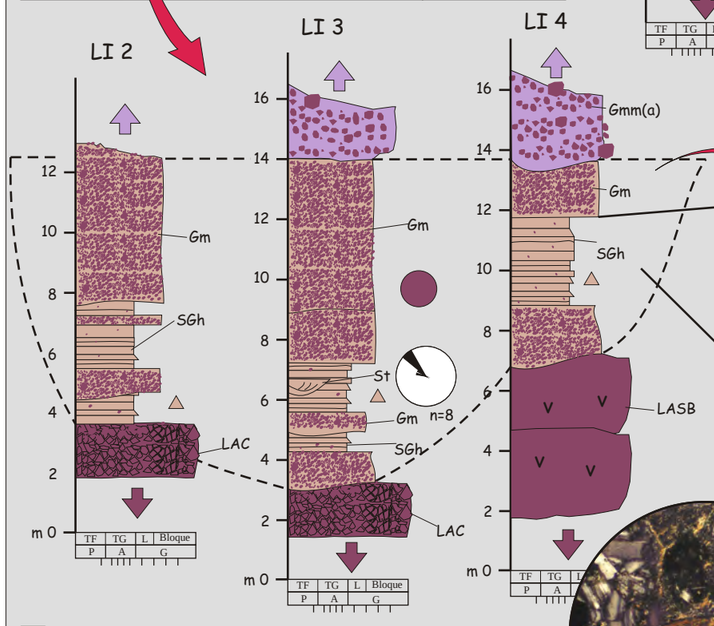


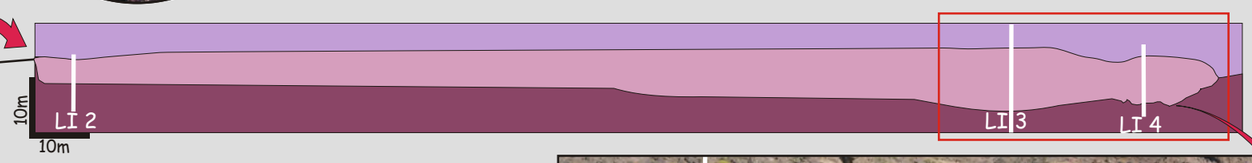


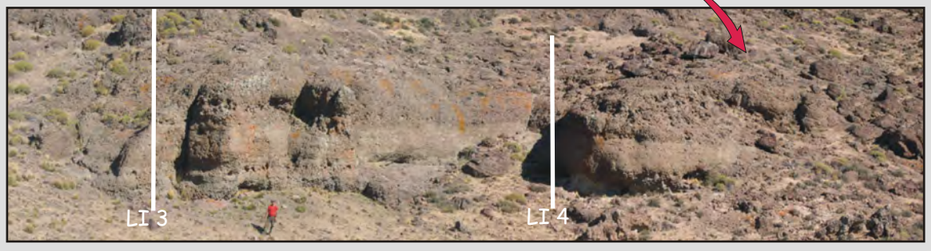


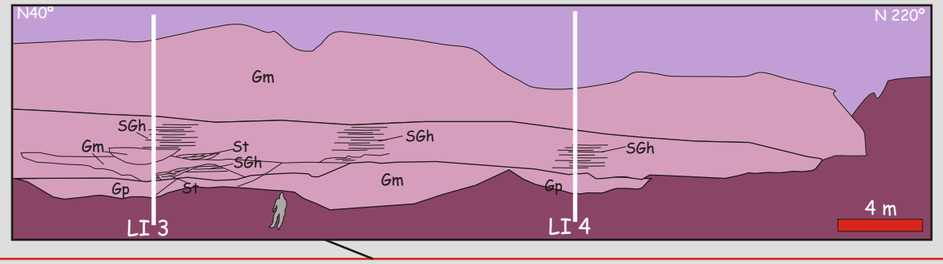
Unidad de geometría lenticular interiormente conformada por una sucesión grano-estratocreciente de depósitos de flujos hiperconcentrados arenosos (SGh), flujos hiperconcentrados gravosos (Gm y Gh) y en ocasiones flujos de detritos. Esta unidad se muestra con microfacies de rocas epiclásticas de procedencia volcánica, con una amplia dominación de litoclastos de rocas andesíticas. Hacia arriba comienza a ser más abundante la participación de rocas del basamento indicando una dilución de los detritos.

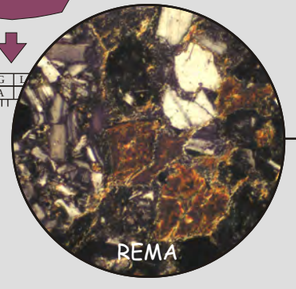












Depósitos de flujos hiperconcentrados arenosos caracterizados por microfacies de rocas epiclásticas monomícticas de composición andesíticas (REV). Las características litológicas indican periodos degradacionales intereruptivos con una red de aporte poco integrada.

Unidad de geometría tabular que conforma el relleno pasivo de canales atrincherados desarrollados por sobre unidades de lavas y coladas dómicas de composición andesítica. Se compone mayoritariamente de depósitos de flujos hiperconcentrados arenosos (SGh) y gravosos (Gm) y minoritariamente facies de gravas y arenas originadas por flujos diluidos. Éstos conforman una sucesión de arreglo granoestrato creciente.

- Ambiente marino somero carbonático
- Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos
- Sistemas aluviales volcaniclásticas dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones
- Criptodomos riodacíticos
- Coladas y coladas dómicas andesíticas
- Basamento

fig 4.30

Figura 4.30. Unidad de acumulación: sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones.

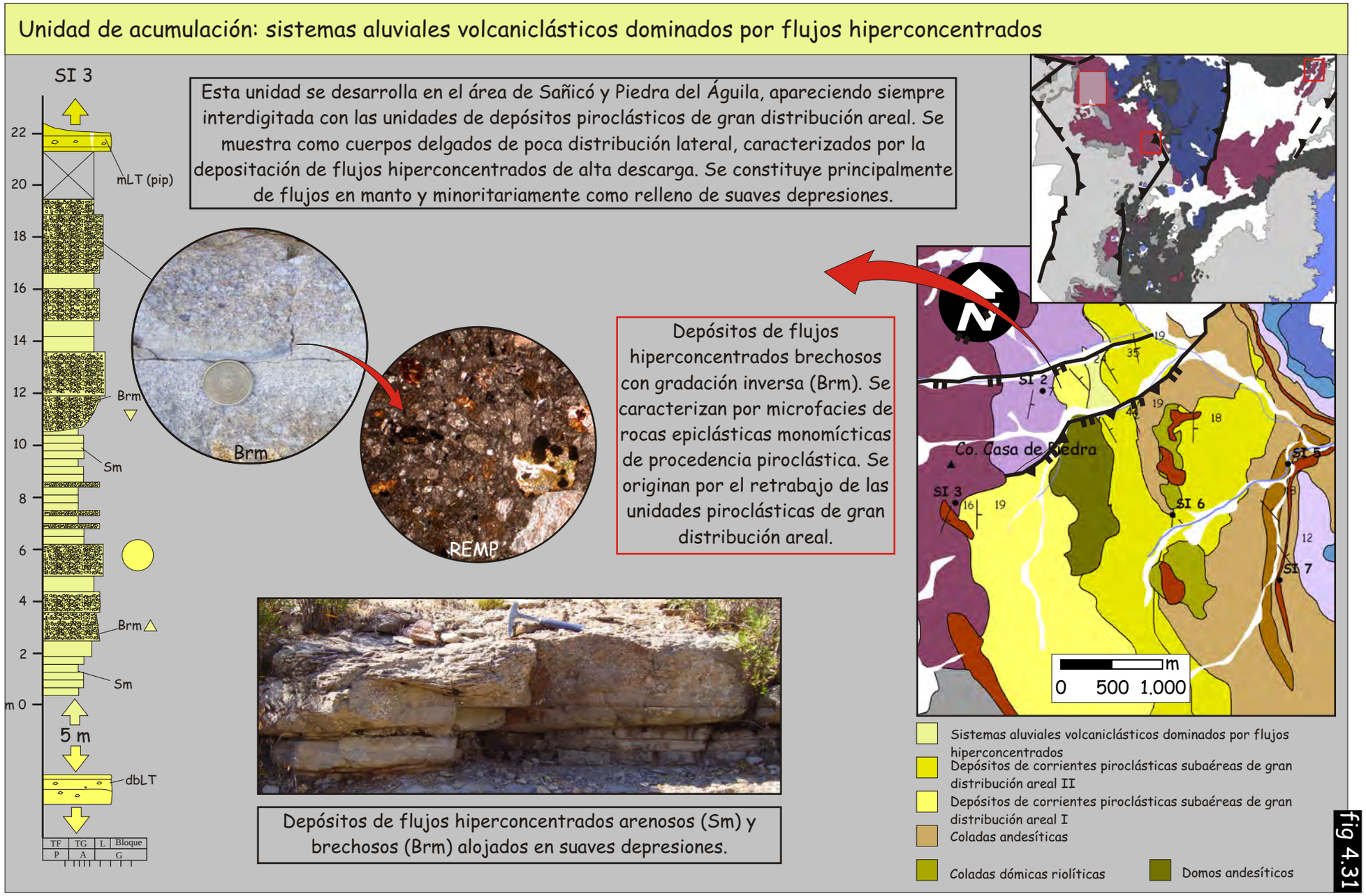


Figura 4.31. Unidad de acumulación: sistemas aluviales volcaniclásticos con dominancia de flujos hiperconcentrados.

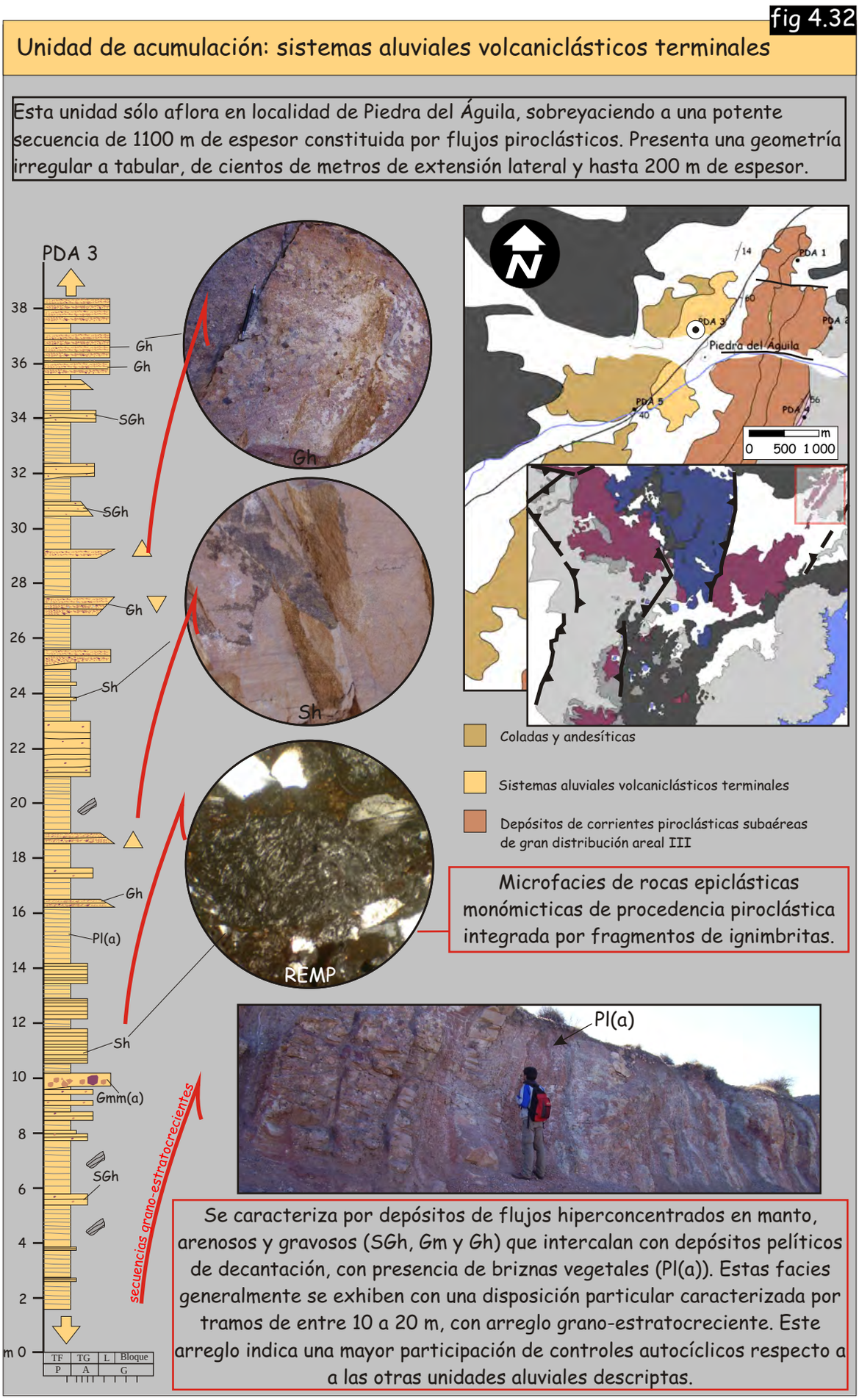


Figura 4.32. Unidad de acumulación: sistemas aluviales volcaniclásticos terminales.

4.6.1.2 Sistemas fluviales de carga mixta

Se desarrolla como una unidad de geometría irregular que alcanza unos 70 m de espesor y se extiende lateralmente por unos cientos de metros. Apoya en discordancia sobre rocas del basamento cristalino y es cubierta en suave discordancia por unidades piroclásticas de gran distribución areal (fig. 4.33). Internamente está constituida por un arreglo simple de arenas y arenas conglomerádicas con estratificación entrecruzada en artesa (St) y facies de pelitas laminadas castañas, con nódulos y restos de hojas (Pl(a)) (fig. 3.1 y 4.33). Las facies de arenas se presentan generalmente amalgamadas en cuerpos canalizados de 1 m a 3 m de potencia y de poca extensión lateral (< 10 m). También se encontraron cuerpos de arenas de geometría tabular que no superan el metro de espesor intercalados con facies pelíticas y un cuerpo tabular constituida de tobas masivas (Tm), interpretado como un depósito piroclástico de caída en zonas distales. Con respecto a las microfacies, las arenas de esta unidad están integradas enteramente por microfacies de rocas epiclásticas silicoclásticas (RES) que sugieren procesos de transporte discretos de los materiales clásticos y una procedencia relacionada directamente al basamento cristalino.

Sobre la base del arreglo de litofacies y microfacies, el diseño de superposición y las estructuras primarias, esta unidad puede ser atribuida a un ambiente fluvial silicoclástico caracterizado por dos sistemas de acumulación principales. Por una parte, aparece un importante registro de depósitos asignados a planicies de inundación (Pl(a), Sh y St) (Bridge, 2006), y por otra, se identifican sedimentos gruesos que son el producto del relleno de canales (dunas subácueas o megaóndulas tridimensionales) (Bridge, 2006). Los depósitos de planicie de inundación poseen dos asociaciones de facies, una en la que prevalecen los depósitos finos de decantación y otra en la que se identifican materiales más gruesos producidos por acumulaciones de carga traccional, interpretados como rellenos de canales/lóbulos de desbordamiento. La geometría, el arreglo y composición de estas facies y su vinculación con amplios tramos dominados por materiales finos de planicie de inundación y depósitos de crecidas, permiten interpretar un sistema fluvial de carga mixta (Collinson, 2002; Bridge, 2006). La ausencia de formas de acreción lateral sumado a la elevada participación de depósitos de planicie de inundación y el escaso desarrollo lateral de los canales indican sistemas fluviales de baja sinuosidad (Miall, 1996; Collinson, 2002).

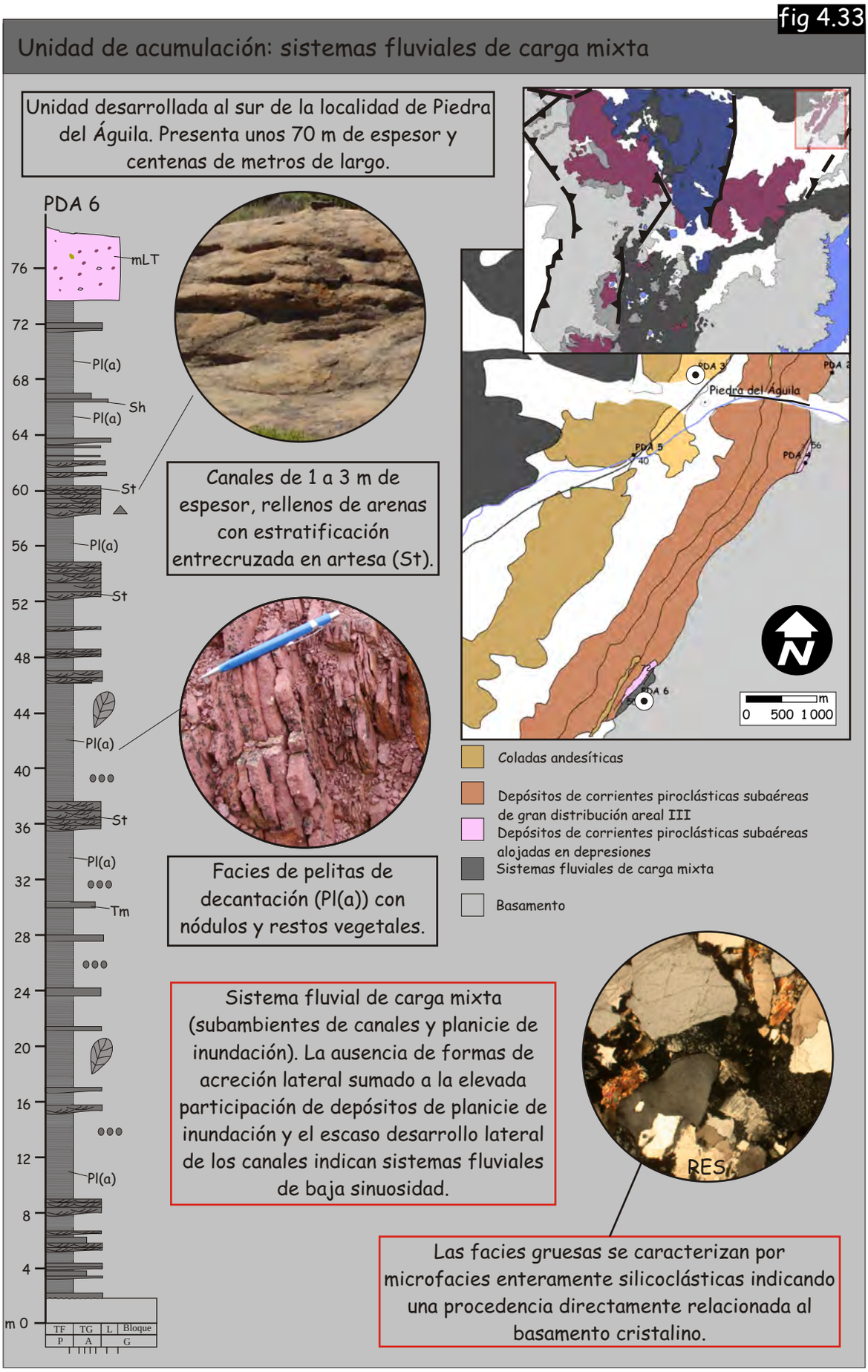


Figura 4.33. Unidad de acumulación: sistema fluvial de carga mixta.

4.6.1.3 Sistema de delta de grano grueso/lacustre

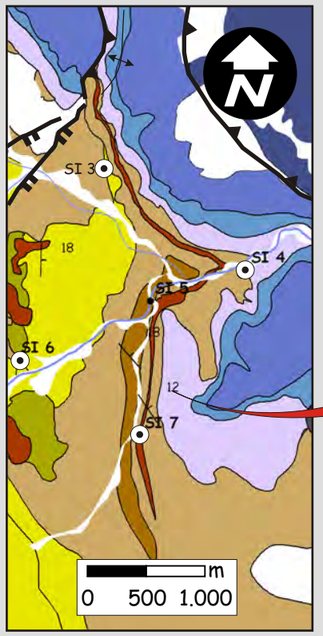
Esta unidad de acumulación presenta geometría tabular a cuneiforme, de unos cientos de metros de ancho y un espesor máximo de 35 m (fig. 4.34). Se constituye por una gran variedad de facies que se presentan en dos asociaciones bien distintivas: asociaciones de facies de grano grueso y asociaciones de facies de grano fino. La asociaciones de facies de grano grueso están representadas por conglomerados finos con estratificación entrecruzada a gran escala (Gp(a)), con base suavemente erosivas, de hasta 4 m de espesor, resultado de la depositación de flujos hiperconcentrados sobre una "cara de avalancha" (Blair y McPherson, 2008). Las facies anteriores son seguidas por capas delgadas de conglomerados finos con estratificación horizontal (Gh) y facies de areniscas guijarrosas (SGh), resultado de la depositación de flujos hiperconcentrados (fig. 3.1) y minoritariamente depósitos de areniscas (St, Sp y Sh), producto de la depositación de corrientes diluidas en condiciones de bajo y alto régimen de flujo (fig. 3.1). A grandes rasgos, estas facies conforman una secuencia con geometría tabular que ronda los 20 m de espesor y presentan un diseño de superposición estratocreciente, pero sin un aumento el tamaño de grano (fig. 4.34). Hacia arriba las facies de grano grueso evolucionan a una sucesión de unos 10 m de espesor conformada por conglomerados y areniscas guijarrosas con estratificación horizontal, originadas por flujos hiperconcentrados que intercalan con delgadas capas de areniscas producto de la depositación a partir de flujos diluidos (St, Sh) (fig. 4.34). La asociación de facies de grano fino se compone de diferentes facies que varían su arreglo en función de la distancia respecto a las facies de grano grueso. Proximalmente a éstas, las facies de grano fino se caracterizan por depósitos de pelitas laminadas Pl(a), resultado de la decantación y de arenas con laminación ondulítica (Sr) y minoritariamente facies de calizas silicificadas con laminación estromatolítica (BE) (fig. 3.1). Intercalándose con las anteriores, se encontraron depósitos de arenas con estructuras tractivas (Sp) alojados sobre bases suavemente erosivas, interpretados como flujos traccionales (Reading y Collinson, 2002) de *underflow* (Blair y McPherson, 2008) y depósitos de flujos hiperconcentrados gravosos y arenosos (Gh y Sm), interpretados como depósitos de flujos friccionales de *underflow* (Reading y Collinson, 2002). En posición más distal la asociación de facies de grano fino se compone de pelitas laminadas producto de decantación (Pl(a)) y facies de calizas silicificadas con laminación estromatolítica (BE). Respecto a las microfacies presentes en esta unidad, las facies sedimentarias epiclásticas se caracterizan por microfacies constituidas por litoclastos de rocas volcánicas de procedencias variables (REV), mientras que las facies de rocas carbonáticas presentan microfacies con laminación microbial (RCLM).

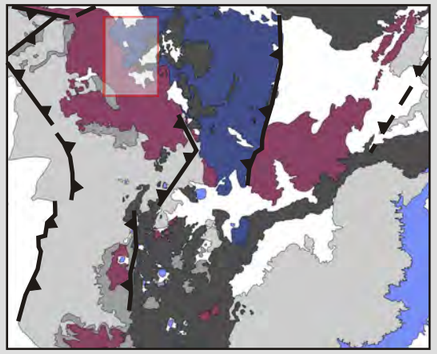
El arreglo horizontal y vertical de las asociaciones de facies de grano grueso y de grano fino indicaría diferentes subambientes de un sistema deltaico de grano grueso. La asociación de facies de grano grueso representa un subambiente de frente deltaico progradante en dirección N-NNE, que hacia la parte superior pasa a un sistema alimentador aluvial (Reading y Collinson,

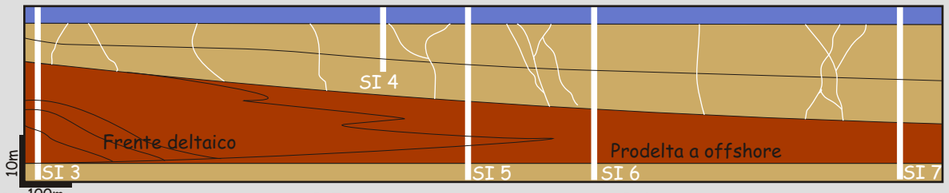
2002; Blair y McPherson, 2008). La asociación de facies de grano fino, en función de la ausencia de fósiles marinos y la presencia de estromatolitos laminares que reflejan un medio estresado, se interpretan como un ambiente subácueo en posiciones desde prodelta hacia un *offshore* lacustre (Blair y McPherson, 2008; Rohais *et al.*, 2008). Respecto a la profundidad de las aguas, la presencia de estromatolitos desarrollados en el subambiente lacustre indicaría una profundidad menor a los 30 m (Talbot y Allen, 2002), mientras que los espesores de las macroformas Gp(a) desarrolladas en el frente deltaico (entre 1 m y 4m) indicarían que las profundidades debieron ser menores (Garcia-Garcia *et al*., 2006; Blair y McPherson, 2008; Rohais *et al.*, 2008). Por último, es importante destacar que las láminas de estromatolitos silicificadas, que en ocasiones muestran bandas de material silíceo, pueden representar la interacción de estos cuerpos con un sistema de circulación de aguas calientes relacionadas al ambiente volcánico (Kralner y Spöl, 1998).

Unidad de acumulación: sistema de delta de grano grueso/lacustre

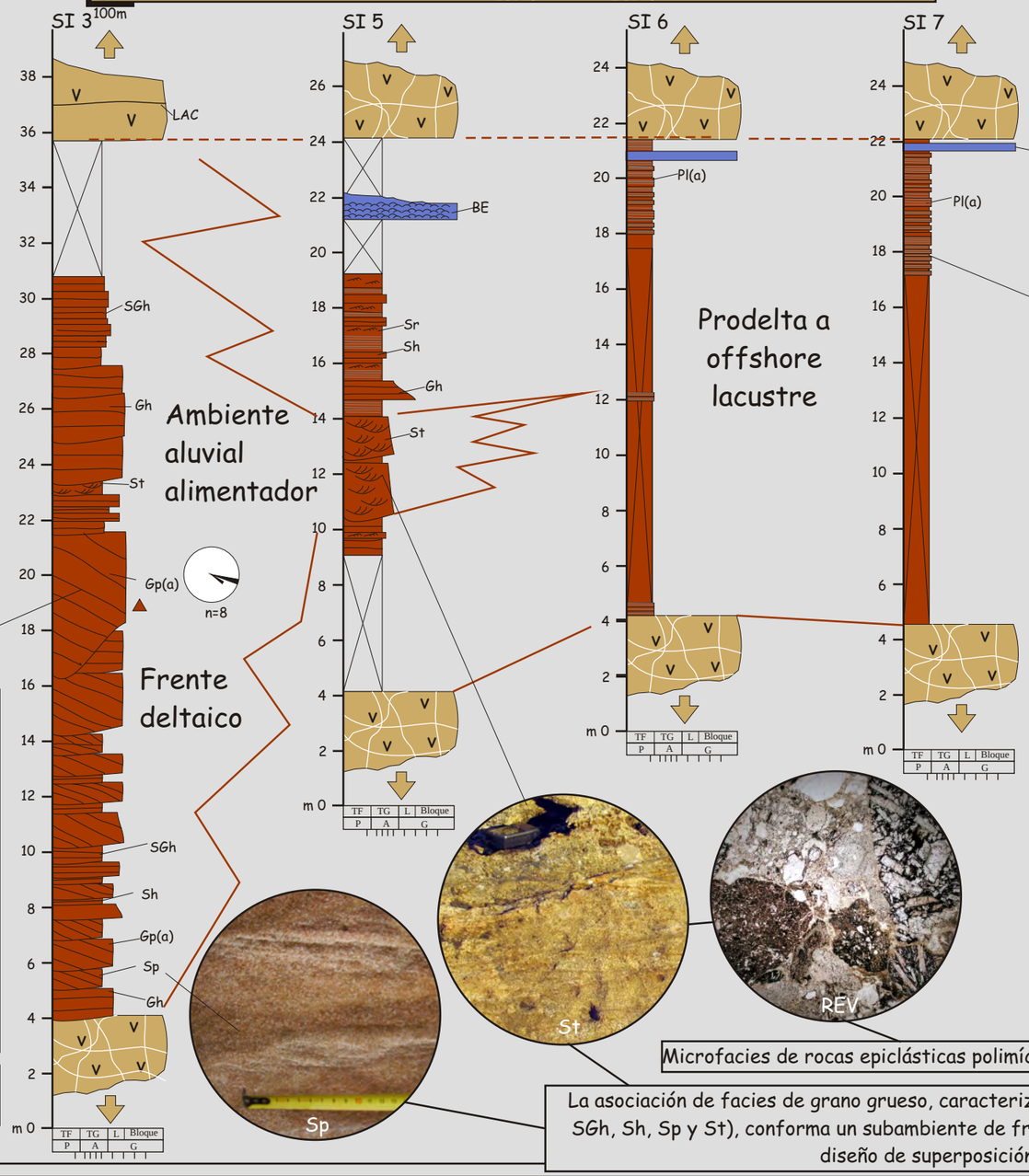
Se muestra como una unidad de geometría tabular a cuneiforme, de unos cientos de metros de longitud y espesores máximos de hasta 35 m. Está representada al N de Sañicó, sobreyaciendo a unidades de acumulación de lavas. Se constituye por una gran variedad de facies que presentan dos asociaciones bien distintivas: Asociación de facies de grano grueso (Gh, Gp(a)), SGh, Sh, Sp y St) y asociación de facies de grano fino (Pl(a) y Sr) con desarrollo de mudstones algales (BE).

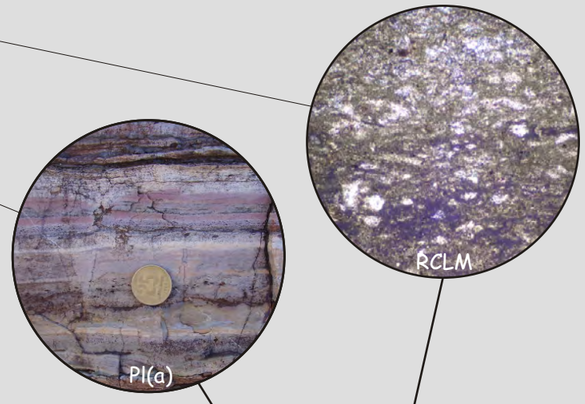






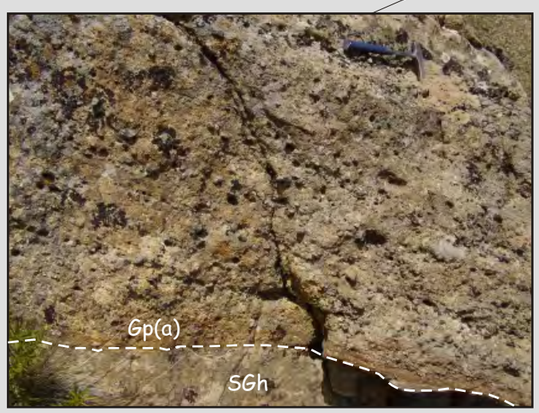
- Sistemas de deltas de grano grueso/lacustre
- Sistemas aluviales dominados por flujos de detritos
- Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal II
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal I
- Coladas andesíticas
- Coladas dómicas riolíticas
- Domos andesíticos





Facies de grano fino representadas por pelitas laminadas silicificadas (Pl(a)) y mudstones algales (BE) con microfacies de laminación microbial (RCLM). Esta asociación de facies refleja la decantación de materiales finos y la proliferación de organismos en un ambiente de offshore lacustre de poca profundidad.

El ingreso de las facies de grano grueso se realizó desde el N-NNE, confluyendo en cuerpos lacustres (facies de grano fino). La composición polimíctica de los materiales clásticos indica áreas de aporte integradas, mientras que la mayor organización de los ambientes sedimentarios hacia la parte superior del Ciclo Precuyano, evidencia una merma de los controles volcánicos.



Depósitos de flujos hiperconcentrados gravosos constituyendo el frente deltaico de grano grueso.

Microfacies de rocas epiclásticas polimícticas de procedencia volcánica (REV).

La asociación de facies de grano grueso, caracterizada por facies gravosas y arenosas (GP(a), Gh, SGh, Sh, Sp y St), conforma un subambiente de frente deltaico de unos 35 m de espesor, con un diseño de superposición estratocreciente.

fig 4.34

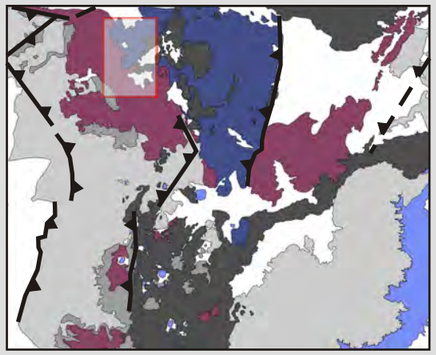
Figura 4.34. Unidad de acumulación: sistema de delta de grano grueso /lacustre.

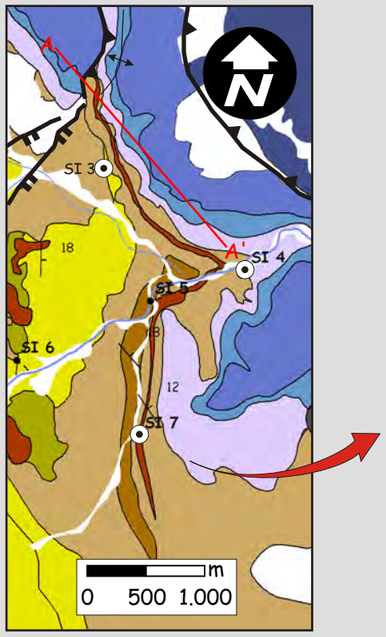
4.6.1.4 Sistema de delta de grano fino

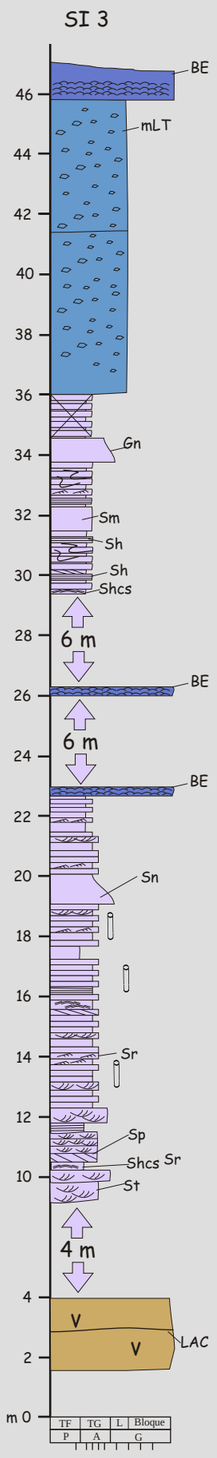
La unidad de acumulación de sistema de delta de grano fino se presenta con una geometría tabular, de unos 50 m de espesor y cientos de metros de ancho. Se compone mayoritariamente por facies de areniscas, con abundante participación de material piroclástico y con diferentes grados de deformación sinsedimentaria. Las arenas se muestran con diferentes tipos de estructuras traccionales (Sr, Sh, Sp, Shcs, St y SGh) (fig. 3.1) o desarrollando gradaciones internas (Sn) (fig. 3.1 y 4.35). Minoritariamente, se encontraron cuerpos delgados de calizas estromatolíticas con una fina laminación microbial (BE) y facies de psefitas finas con estructuras entrecruzadas (Gp(b), gradacionales (Gn) o masivas (Brm y Gm) (fig. 3.1 y 4.35). En función de los principales procesos depositacionales que dieron origen a las facies presentes en esta unidad (véase capítulo 3), las mismas pueden ser divididas en dos asociaciones de facies, una dominada por la depositación o retrabajo de corrientes unidireccionales u oscilatorias, y la otra dominada por la depositación de flujos eventuales (fig. 4.35). La asociación de facies dominada por depósitos de corrientes se compone principalmente de areniscas con estructuras traccionales, con deformación sinsedimentaria, ocasionalmente bioturbadas (Sr, Sh, Sp, Shcs y St). Minoritariamente, estas facies presentan depósitos de gravas finas y sabulitas con estratificación entrecruzada planar (Gp(b)). Es importante destacar que de manera aislada, interdigitándose con éstas se encontraron cuerpos delgados de calizas estromatolíticas con una fina laminación microbial (BE). La asociación de facies dominada por la depositación de flujos eventuales está integrada mayoritariamente por depósitos de flujos densos arenosos, depósitos de flujos hiperconcentrados gravosos y arenosos, con abundante material piroclástico (Gm, Brm y SGh) y minoritariamente depósitos de corrientes de turbidez gravosas y arenosas (Gn y Sn).

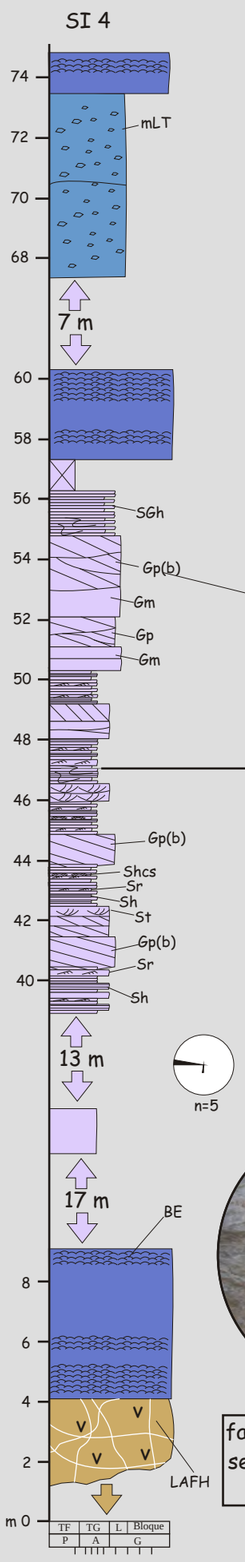
Los arreglos lateral y vertical de las facies muestran condiciones agradacionales a suavemente progradacionales, siempre dominadas por una granulometría arenosa, ampliamente relacionadas a condiciones costaneras (*shoreface*) (Clifton, 2006). El dominio de una granulometría arenosa, sumado a la presencia de deformación sinsedimentaria y la escasa bioturbación, permiten sugerir un sistema deltaico de grano fino (Reading y Collinson, 2002; Bhattacharya 2006). A su vez, las asociaciones de facies dominadas por depósitos de corrientes tractivas, y minoritariamente depósitos de flujos eventuales, indican un ambiente costanero deltaico influenciado por olas y por procesos fluviales (Reading y Collinson, 2002; Bhattacharya 2006).

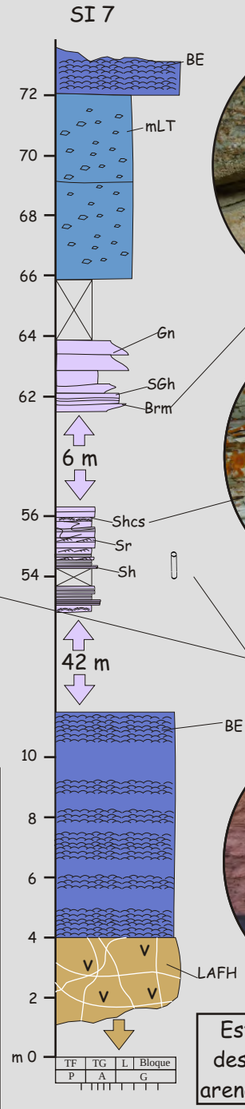
Unidad de acumulación: sistema de delta de grano fino

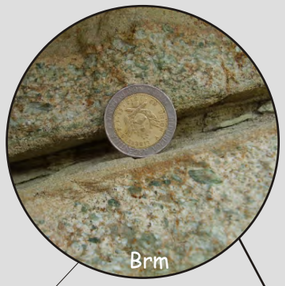




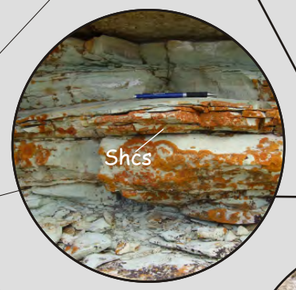






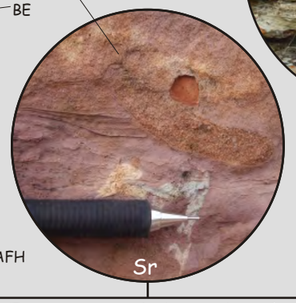


Esta unidad aparece al N de Sañicó en la parte basal del Ciclo Cuyano sobre depósitos carbonáticos de ambiente marino somero. Se presenta con unos 60 m de espesor y cientos de metros de largo. Se compone mayoritariamente por facies de arenas con abundate participación de material piroclástico (Sr, Sh, Sp, Shcs, St,Sn, Sin y SGh) y minoritariamente de psefitas finas (Gp(b), Gm, Gn y Brm). Eventualmente aparecen capas delgadas de calizas algales estromatoíticas (BE).



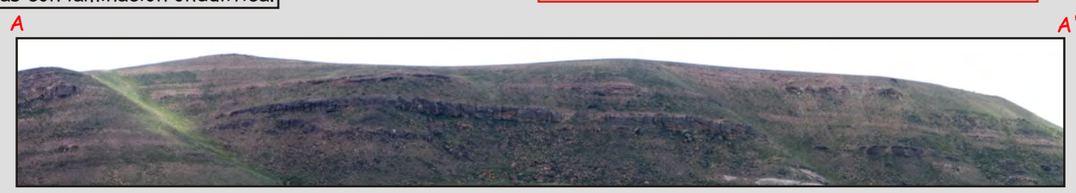
Presenta dos asociaciones de facies: a) asociación de facies originada por el retrabajo o sedimentación a partir de corrientes oscilatorias o unidireccionales (Sr, Sh, Sp, Shcs, St y Gp(b)) y b) asociación de facies desarrollada por la depositación de flujos eventuales densos (Brm, Sin, Gm, SGh, Sn, Gn).

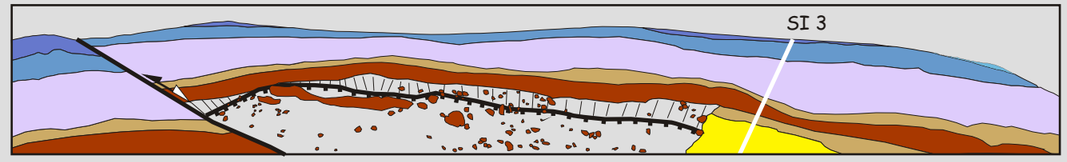
La gran participación de granulometría psamítica en esta unidad la define como un cuerpo ampliamente relacionado a condiciones costaneras. La presencia de deformación sinsedimentaria, la escasa bioturbación y dominio de asociaciones de facies dominadas por depósitos de corrientes y minoritariamente depósitos de flujos eventuales, indican un ambiente deltaico influenciado por oleaje y ocasionalmente por procesos fluviales.
La elevada participación de material piroclástico indicaría la influencia de volcanismo en los tramos basales del Ciclo Cuyano.



Estructuras de bioturbación desarrolladas en las facies de arenas con laminación ondulítica.

facies con deformación sin-sedimentaria desarrolladas en las facies arenosas.





Se presenta con geometría tabular, espesores de hasta 60 m y cientos de metros extensión lateral. En sentido vertical se puede apreciar un arreglo agradante a suavemente progradante.

- Ambiente marino somero carbonático
- Sistemas deltaicos de grano fino
- Sistemas de deltas de grano grueso/lacustre
- Sistemas aluviales dominados por flujos de detritos
- Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por flujos hiperconcentrados
- Depósitos de corrientes piroclásticas subácueas
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal II
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas de gran distribución areal I
- Coladas andesíticas
- Coladas dómicas riolíticas
- Domos andesíticos

fig 4.35

Figura 4.35. Unidad de acumulación de sistema de delta de grano fino.

4.6.2 Unidades de acumulación epiclásticas marinas

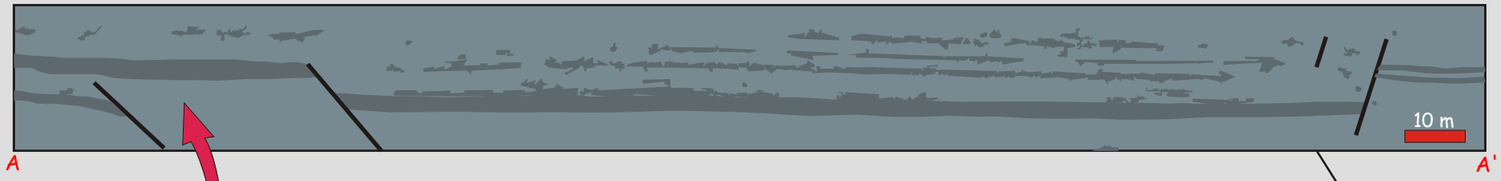
4.6.2.1 Ambiente marino de costa afuera (*offshore*)

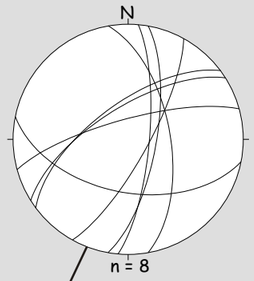
Se caracteriza como una unidad potente de decenas de metros de espesor y gran distribución lateral. Internamente se compone de facies de lutitas negras (Pl(b)) con abundantes restos de invertebrados marinos que se intercalan con facies de arenas con estructuras gradacionales (Sn, Sin), las cuales presentan en su parte superior gran cantidad de restos de vegetales y en ocasiones estructuras tractivas. Minoritariamente, aparecen depósitos psefíticos clasto y matriz sostén (Gn y Gmm(b)), desarrollados en mantos o en pequeños canales. Es importante destacar que en determinados sectores las facies que componen esta unidad mostraron fallas extensionales de pequeña escala, con orientaciones N-S y NE-SW y desmoronamientos con microfallas extensionales y compresivas (fig. 4.36).

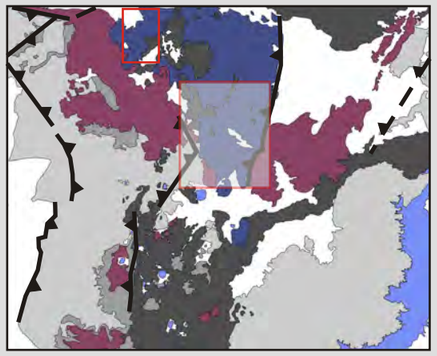
En función del arreglo de facies y de los procesos depositacionales intervinientes se pueden establecer dos tipos diferentes de asociaciones de facies para esta unidad. Por un lado, se destaca la asociación de facies constituida por depósitos de decantación submarina en condiciones anóxicas, de baja circulación, con abundantes restos de invertebrados marinos (Pl(a)) (fig. 3.1) (Stow *et al*., 2002; Posamentier y Walker, 2006). Por otro lado, los depósitos delgados de corrientes de turbidez, mayoritariamente arenosos (Sn) y minoritariamente gravosos (Gn), los depósitos de flujos de detritos cohesivos (Gmm(b)) y los flujos densos estratificados (Sin), representan una asociación de facies de depósitos eventuales de resedimentación submarina (fig. 3.1) (Stow *et al*., 2002; Posamentier y Walker, 2006). La mayoría de los eventos de resedimentación se generan en manto, aunque minoritariamente han tenido lugar en pequeños canales submarinos (Gn). La presencia de estructuras tractivas desarrolladas en el tope de los depósitos de corrientes de turbidez arenosos indican retrabajo por parte de corrientes de fondo submarinas (Shanmugam, 2002). Por todas estas razones, la interpretación dinámica y el arreglo de las asociaciones de facies presentes indican depósitos de ambiente marino por debajo de la acción de olas, de bajo gradiente, con baja relación arena/arcilla. La ausencia de secuencias que indiquen la progradación de lóbulos sugieren un ambiente de bajada submarina, mientras que la presencia de restos vegetales en los depósitos de resedimentación arenosos, indicarían un probable aporte desde un frente deltaico (Stow *et al*., 2002).

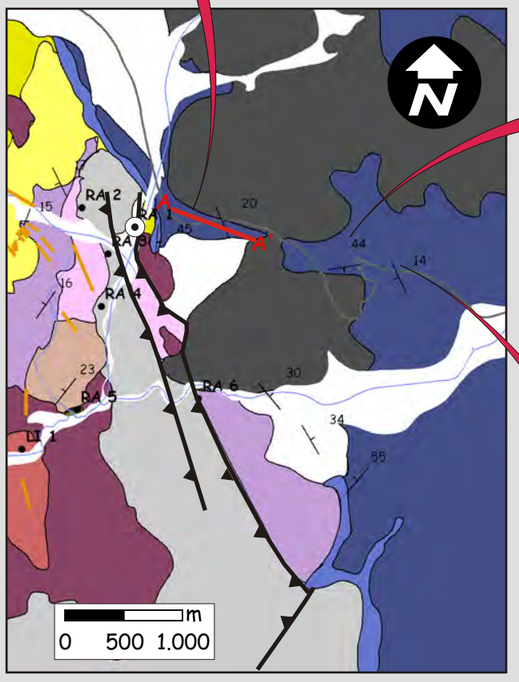
Unidad de acumulación: ambiente marino de costa afuera (offshore)

Los depósitos de esta unidad apoyan sobre una discontinuidad sobre rocas del Ciclo Precuyano y el basamento cristalino y en concordancia sobre depósitos de ambiente marino somero de la parte basal del Ciclo Cuyano. Los depósitos de ambiente marino profundo se encuentran bien representados al este de Sañicó. Esta unidad está constituida por facies de lutitas negras y minoritariamente limolitas, resultado de decantación (Pl(b)) y flujos densos submarinos eventuales (Gn, Sn, Gmm(b)).





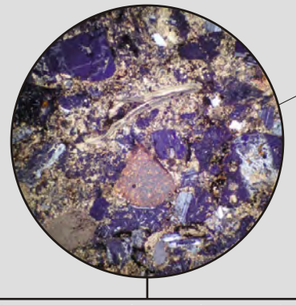




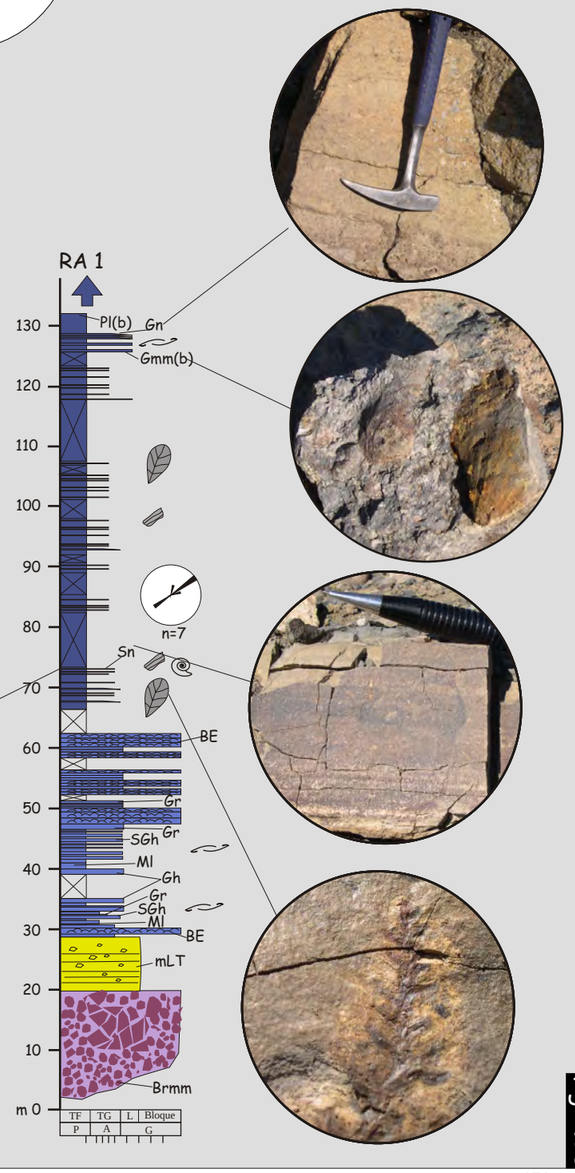
Sistema conjugado de fallas extensionales sin-sedimetarias de rumbo N-S y NE-SW desarrolladas en la parte basal de las unidades de acumulación de ambiente marino profundo, al N del Cerro Corona.

Desmoronamientos con vergencia hacia el este desarrollados al N del Cerro Corona. Internamente desarrollan fallas extensionales y compresivas.

Las facies indican depósitos de ambiente marino profundo de bajo gradiente, con baja relación arena/arcilla.



La composición detrítica de las facies gruesas se constituye principalmente de facies polimícticas de procedencia volcaniclástica con restos de rocas carbonáticas y de invertebrados.



- Ambiente marino de costa afuera
- Ambiente marino somero carbonático
- Sistemas aluviales volcaniclásticos dominados por avalanchas de detritos y flujos de detritos
- Sistemas aluviales volcaniclásticas dominados por flujos hiperconcentrados alojados en depresiones
- Depósitos de corrientes piroclásticas subaéreas alojadas en depresiones
- Criptodomos riodacíticos
- Coladas y coladas dómicas andesíticas
- Basamento

fig 4.36

Figura 4.36. Unidad de acumulación: ambiente marino de costa afuera (offshore).

4.6.3 Unidad de acumulación carbonática marina

4.6.3.1 Ambiente marino somero carbonático

Esta unidad se muestra con geometría tabular, gran distribución areal y un espesor máximo de 30 m. Se apoya en discordancia o paraconcordancia sobre diferentes unidades correspondientes al Ciclo Precuyano y en ocasiones no concordante sobre rocas del basamento ígneo-metamórfico. A pesar de la gran distribución que muestra esta unidad, sólo presenta características dignósticas en algunos sitios reducidos del área de estudio, debido a la importante modificación que exhibe por parte de procesos postdepositacionales (silicificación). Está integrada por litofacies de calizas de tipo *boundstone* con estromatolitos (BE), mayoritariamente columnares y bulbosos y minoritariamente laminares; *grainstones* peloidales y esqueletales (Gr), en ocasiones con estructuras traccionales; y *mudstones* laminados (Ml) (fig. 3.1 y 4.37). De manera restringida se encontraron facies gravosas (Gm) y arenosas (SGh) constituidas por intraclastos de las facies estromatolíticas, fragmentos carbonáticos sin estructura reconocible y litoclastos volcánicos de composiciones variables (fig. 4.37). Respecto a las particulares petrográficas de esta unidad, se caracteriza por microfacies de rocas carbonáticas con laminación microbial (RCLM) y microfacies de *grainstones* y *mudstones* (microfacies RCG y RCM).

Las características de las asociaciones de facies totalmente dominadas por rocas carbonáticas indican un ambiente de plataforma carbonática favorable para la proliferación de organismos bioconstructores. Estas condiciones se generaron en aguas tranquilas, de baja energía, aporte terrígeno ausente y poca profundidades (< 20 m) (Wright y Burchette, 2002; Leeder, 1999). Eventualmente, las facies Gm y SGh indican periodos de destrucción de la plataforma carbonática.

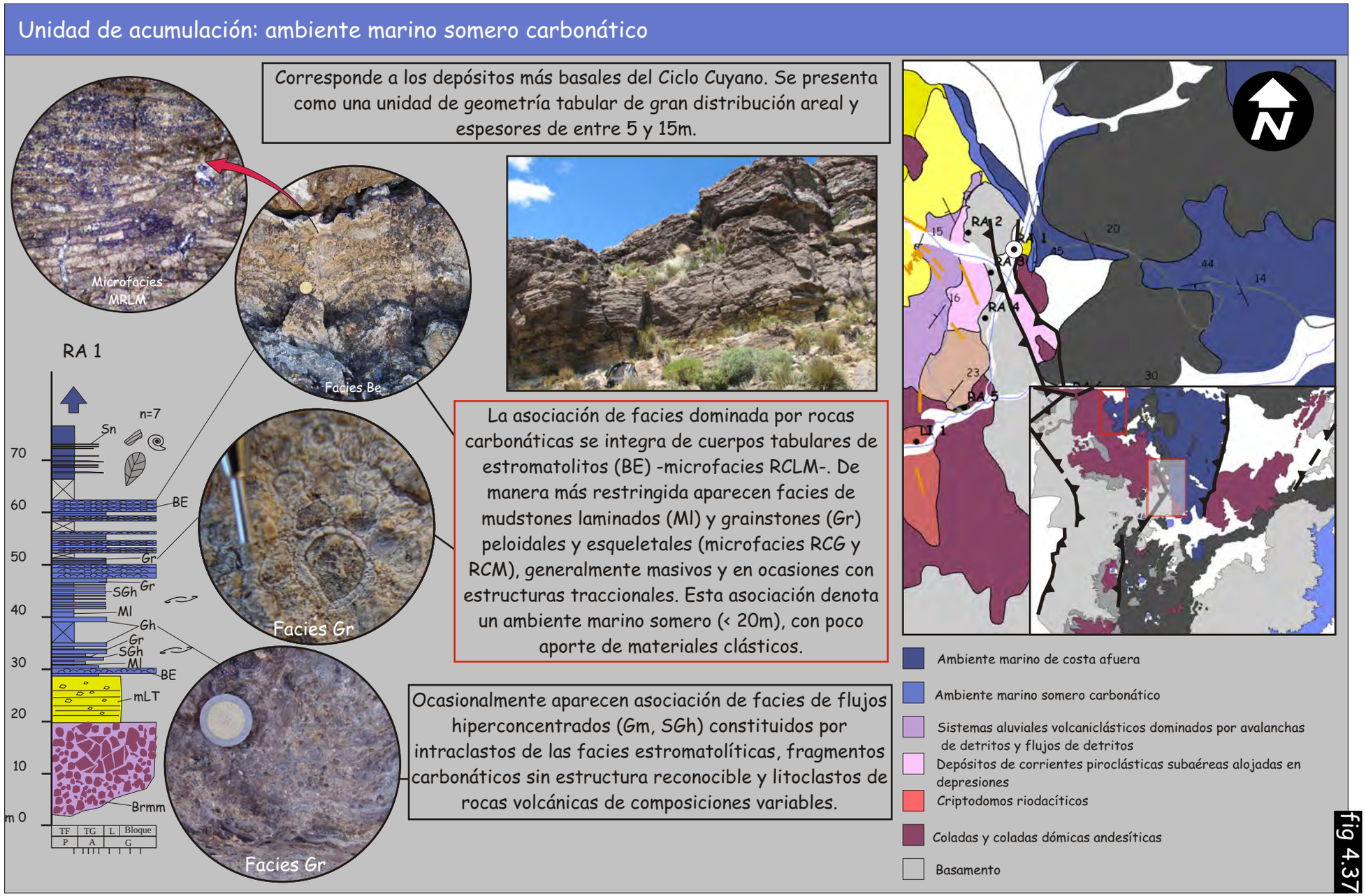


Figura 4.37. Unidad de acumulación: ambiente marino somero carbonático.