MAPEO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA DE LA FORMACIÓN MERCEDES AL NORESTE DEL DEPARTAMENTO DE SORIANO (URUGUAY)

Bach. Viviana González

Tutora: MSc. Valeria Mesa

Co-Tutor: Dr. Matías Soto

Trabajo Final de Grado

Licenciatura en Geología

Facultad de Ciencias - Universidad de la República

"Ver el vacío y ver detrás,
Ver qué hay de todo
En la nada."

Buenos Muchachos

"*The perfect classification of sandstones does not now and never will exist*" (Folk, 1980, p.126)

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora, MSc Valeria Mesa, por el conocimiento aportado, su infinita paciencia y apoyo incondicional, siempre motivándome a seguir adelante. Nunca olvidaré la influencia que tuvo en esta etapa crucial de mi vida.

A mi co-tutor, Dr. Matías Soto por el apoyo y aprendizaje transmitido.

Al tribunal, especialmente al Dr. Gerardo Versolavsky por su invaluable guía en la carrera y al Dr. César Goso por brindarme mi primera oportunidad en un proyecto de investigación.

A la Forestal Montes del Plata, especialmente al Ing. Horacio Giordano, coordinador de Medio Ambiente, por facilitarnos el acceso a muchos afloramientos para la realización de los trabajos de campo.

A la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), en particular al Sr. Javier Techera, por permitirnos el acceso a la litoteca y facilitarnos la descripción de las muestras, y a la Sra. Carolina López y Lic. Alejandra Pascale por la ayuda brindada en la descripción de los pozos.

A Lic. Camila Frevenza, por haber sostenido esta malaria juntas tantos años, y a su madre, Aracelly, por las viandas. A las licenciadas Sofía Nóvoa y Analía Olivera por la guía, el apoyo y la persistencia. Al Cretaceous Team, especialmente a Anaclara y Checho, por los momentos compartidos.

A la MSc. Antonella Arrieta, por el apoyo incondicional y por hacerme parte de su familia. A la Su, por brindarme un techo y por todos los tuppers que no volverán. Para Juan, quien dijo que Paul McCartney se moriría antes de que yo me recibiera.

A Eri, por todos los años de amistad, pero principalmente por creer en mí. A las Croi, por ayudarme a saber quién soy.

A Emi, por su amor incondicional, por apoyarme en cada alegría, frustración e idea loca. A Neurath, Ítala y Cedric por la compañía en los momentos más difíciles.

A mi tía Laura, por ser una segunda madre, a Nacho y Juan. A la familia Secadas.

A mi hermano Mariano, por ser un pilar fundamental en mi vida. A mis padres.

A la educación pública, por permitir que los hijos e hijas de obreros tengamos un título universitario.

A mí.

RESUMEN

Existen muchas concepciones sobre la disposición espacial y temporal de las unidades del Cretácico Superior. Contribuyendo a un mejor y más detallado entendimiento de las mismas, se realiza un estudio geológico en el Noreste del Departamento de Soriano (Uruguay), que tiene como objetivos elaborar un mapa geológico a escala 1:40.000; y comprender detalladamente la Formación Mercedes y su relación con los linderos estratigráficos en el área (basamento cristalino y formaciones Arapey, Guichón, Asencio y Fray Bentos). Para esto se realizó un conjunto de levantamientos estratigráficos y sedimentológicos de superficie en un área de alrededor de 485 km^2, la cual limita al Norte con el Río Negro, y se extiende al Oeste hasta el Cerro de los Claveles y al Suroeste hasta los alrededores del Arroyo de los Laureles, lugares considerados de importancia histórica en la literatura geológica, y que han suscitado debates litológicos y estratigráficos. La Formación Mercedes (Bossi 1966) abarca la mayor parte del área de estudio, acompañando los cauces del Río Negro y de los arroyos de Vera, Perico Flaco, del Tala y Juncal. Esta unidad se apoya en forma discordante sobre basamento, y se expresa como una sucesión granodecreciente, de ortoconglomerados clasto-soportados, localmente con estratificación cruzada, que pasan a areniscas conglomerádicas matriz-sostén, y areniscas, donde la silicificación aumenta hacia el tope otorgándoles un alto grado de consolidación. La sucesión concluye con estratos muy silicificados, sin conservar las estructuras sedimentarias primarias. También fueron mapeados afloramientos de Basamento Cristalino y de las formaciones Arapey, Guichón, Asencio y Fray Bentos, así como también depósitos actuales de arenas y sedimentos limo-arcillosos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 Fundamentación 1
1.2. Ubicación 2
1.3 Objetivos 3
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIO-ECONÓMICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO 4
2.1 Características geológicas 4
2.2 Relieve 5
2.3 Hidrografía e hidrogeología 7
2.4 Suelos 8
2.5 Recursos minerales del área de estudio 10
2.6 Aspectos socio-económicos 11
2.7 Cambios físicos asociados a la construcción de la Central Hidroeléctrica Constitución 12
3. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS 13
3.1 Estructura geológica del área 13
3.2. Marco geológico del área de estudio 19
4. MATERIALES Y METODOS 22
5. RESULTADOS 27
5.1 Geología descriptiva del área de estudio 28
5.1.1: Basamento Cristalino 28
5.1.2 Formación Arapey 31
7.1.3 Formación Guichón 32
5.1.4 Formación Mercedes 37
5.1.5. Formación Asencio 45
7.1.6. Formación Fray Bentos 47
5.1.7. Sedimentos actuales 49
5.1.8 Geología estructural 51
5.1.9 Cortes geológicos 52
5.2. Litotipos de la Formación Mercedes 53
7.2.1. Litotipo I - Arenisca feldespático-cuarzosa (FQ) 53
7.2.2. Litotipo II - Arenisca feldespática-cuarzosa, enriquecida en cuarzo (qFQ) 55
7.2.3. Litotipo III - Arenisca conglomerádica cuarzosa (Q) 57
7.2.4. Arenisca conglomerádica feldespática-cuarzosa enriquecida en cuarzo (qFQ) 60
7.2.5. Arenisca conglomerádica feldespática-cuarzosa (FQ) 62
7.2.6. Conglomerado arenoso – ortoconglomerado metaestable 64

7.2.7. Conglomerado arenoso – ortoconglomerado ultraestable....66
5.3. Consideraciones particulares del área de estudio....67
7.3.1 Silicificación....67
7.3.2 Calcretización....69
7.4. Perfiles del área de estudio....71
7.6. Pozos....75
6. DISCUSIÓN....80
6.1 Análisis de las unidades aflorantes....80
6.2 Análisis sedimentológico de la Formación Mercedes....81
6.3 Análisis de contactos....87
6.4. Análisis estructural....88
7. CONCLUSIONES....89
8. BIBLIOGRAFÍA....90
ANEXO I – MAPA DE PUNTOS....96
ANEXO II – TABLA DE PUNTOS....97

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo pretende aportar un estudio de la disposición espacial y temporal de las unidades del Cretácico Superior en la Cuenca Norte (de Santa Ana, 1989), o Cuenca Litoral del Río Uruguay (Goso & Perea, 2004), haciendo énfasis en la Formación Mercedes.

Se enmarca en los Proyecto ANII FCE 2016 1_126274 "Estratigrafía y paleontología de vertebrados del Cretácico cuspidal del Uruguay: Formaciones Mercedes, Asencio y Queguay" y el Proyecto CSIC 2022 "Procesos Epigenéticos en el Cretácico Superior continental de la Cuenca Norte de Uruguay" a cargo de MSc. Valeria Mesa.

Integra una amplia gama de temas y herramientas aprendidas a lo largo de la carrera, como el reconocimiento de las diferentes unidades rocosas y mapeo geológico de las mismas, uso de sistemas de información geográficas, análisis sedimentológico, estratigráfico y estructural. Este enfoque multidisciplinario evidencia las competencias y habilidades adquiridas durante mi formación académica, demostrando mi preparación para desempeñar con éxito las tareas propias de la práctica profesional en geología, que es el propósito esencial de un trabajo final de grado.

1.1 Fundamentación

El área de estudio fue seleccionada para abarcar afloramientos claves que se mencionan en la literatura geológica, como lo son el Cerro de los Claveles (figura 1.1), visitado y descrito por Darwin en 1833, y el corte de Cerro Vera hasta el Arroyo del Tala (figura 1.1), que permitió a Serra (1945) caracterizar las *Areniscas con Dinosaurios*, así como el afloramiento utilizado para describir un perfil completo de laterización por Ford & Gancio (1988). En los alrededores de la Represa Constitución confluyen límites de diferentes unidades geológicas, de los cuales, algunos quedaron cubiertos por el Río Negro luego de la construcción de dicha Represa, por lo que podrían hallarse nuevos límites con un mapeo a mayor detalle de las zonas aún no inundadas comprendidas en el área de estudio.

La Formación Mercedes es una unidad fundamentalmente areno-conglomerádica que sufrió procesos de calcretización y silicificación, convirtiéndola en una unidad compleja desde el punto de vista de la interacción de procesos depositacionales y diagenéticos por lo que se pretende de esta manera contribuir a un mejor entendimiento del cretácico post basáltico

localizado en la parte septentrional de la cuenca Litoral del Río Uruguay (Goso & Perea, 2004).

1.2. Ubicación

El área de trabajo se extiende al Noreste del Departamento de Soriano, abarcando una superficie de aproximadamente 485 km^2 (*figura 1.1*). La misma limita al Norte con el Río Negro, hacia el Oeste se extiende hasta el Cerro de los Claveles, al Suroeste hasta la desembocadura del Arroyo de los Laureles y al Sur hasta el pueblo El Tala.

A esta se accede principalmente por la Ruta Nacional Nº 14, encontrándose a 40 km al este de la ciudad de Mercedes, Departamento de Soriano y a 70 km al Noroeste de la ciudad de Trinidad, Departamento de Flores. Otra vía de acceso es por la ruta Nacional Nº 55, en el empalme con la Ruta Nacional Nº14, dentro del área de trabajo, esta culmina en el empalme con la Ruta Nacional Nº3, 15 km al Noreste del área.

Otras dos vías de acceso son por caminos secundarios, los cuales permiten el ingreso por el centro-Oeste del área.

Ubicación del área en coordenadas UTM:

Límite NW: X=439492 m; Y=6339248 m

Límite SW: X=439492 m; Y= 6324598 m

Límite NE: X= 468922 m; Y: 6331791 m

Límite SE: X= 468922 m; Y= 6324598 m

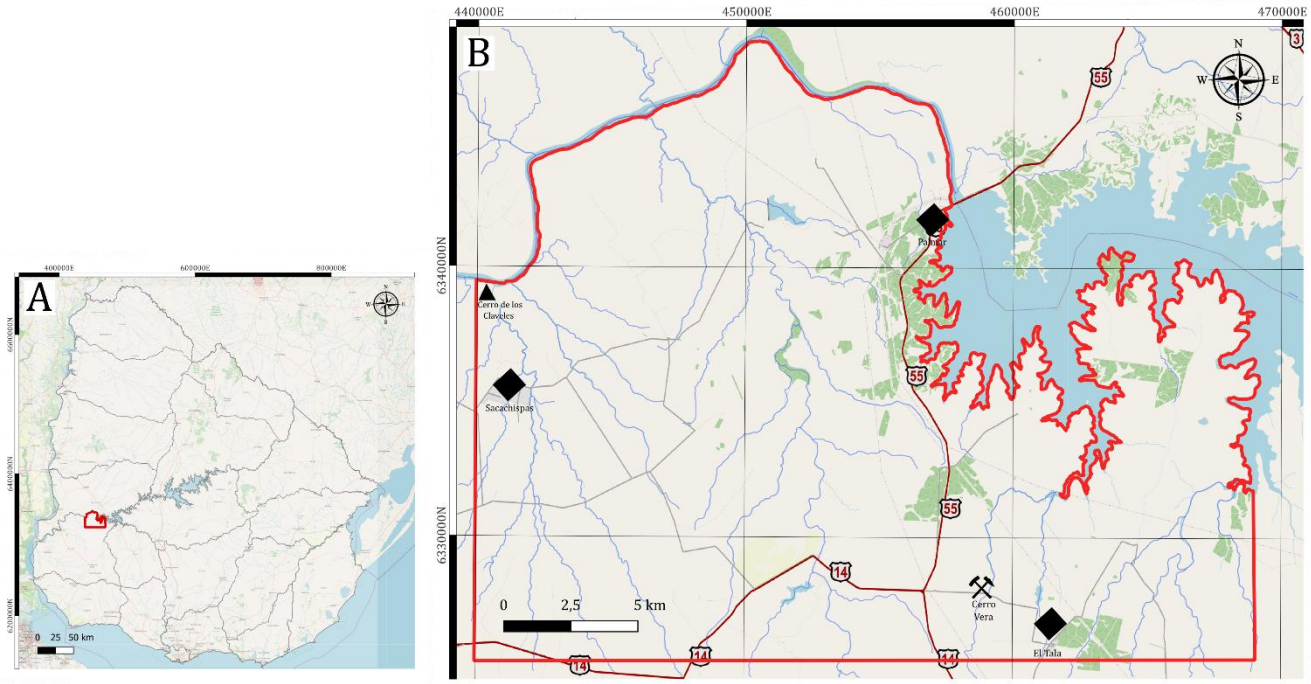


Figura 1.1. *Ubicación del área de estudio.* ***A****: Ubicación del área de estudio en el territorio uruguayo.:* ***B:*** *Imagen de detalle del área de estudio, mostrando los centros poblados y los principales lugares de interés. Tomado de OpenStreetMap en QGIS, modificado en Inkscape.*

1.3 Objetivos

Objetivo General

Realizar la cartografía geológica a escala 1:40.000 acompañada con una breve reseña de las unidades geológicas presentes en el área de estudio, con énfasis en la litología de la Formación Mercedes (Bossi, 1966) sobre la base del estudio de los principales afloramientos.

Objetivos específicos:

- Descripción en detalle y clasificación de las litologías de la Formación Mercedes aflorantes en el área de estudio a macro y micro escala.
- Caracterización de los rasgos sedimentológicos y estratigráficos de la Formación Mercedes y su relación con sus linderos estratigráficos.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIO-ECONÓMICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Características geológicas

A grandes rasgos Preciozzi et al. (1985) reconocen en el área de estudio 7 unidades (*figura 2.1)* que de base a tope son:

- Complejo Basal del Cratón del Río de la Plata, de edad Paleoproterozoico, compuesto por gneisses muscoviticos y/o biotíticos, ortogneisses, cuarcitas y migmatitas.
- Granitos Transamazonicos Indiferenciados, de edad Paleoproterozoica Granitos generalmente calco-alcalinos y hornblendo-bitíticos, y en menor medida granodioríticos y dioríticos, pudiendo hallarse metagranitos y granitos orientados.
- Formación Arapey, de edad Cretacico Temprano, asociado a lavas básicas tipo basalto Tholeítico con estructura en coladas. Diferenciando hacia el Sur, según Bossi (1974) basaltos de grano medio a grueso y textura porfírica en derrames poco potentes.
- Formación Mercedes, de edad Cretácico Tardío, asociado a areniscas con granulometría variada e intercalaciones conglomerádicas, con estratos silicificados.
- Formación Asencio, de edad Cretacico Tardío, areniscas finas arcillosas con frecuentes procesos secundarios de ferrificación y silicificación.
- Formación Fray Bentos, de edad Paleogena, compuesto por depósitos limosos y/o areniscas finas, con presencia de carbonatos.
- Actual: Sedimentos recientes y en proceso depositacional.

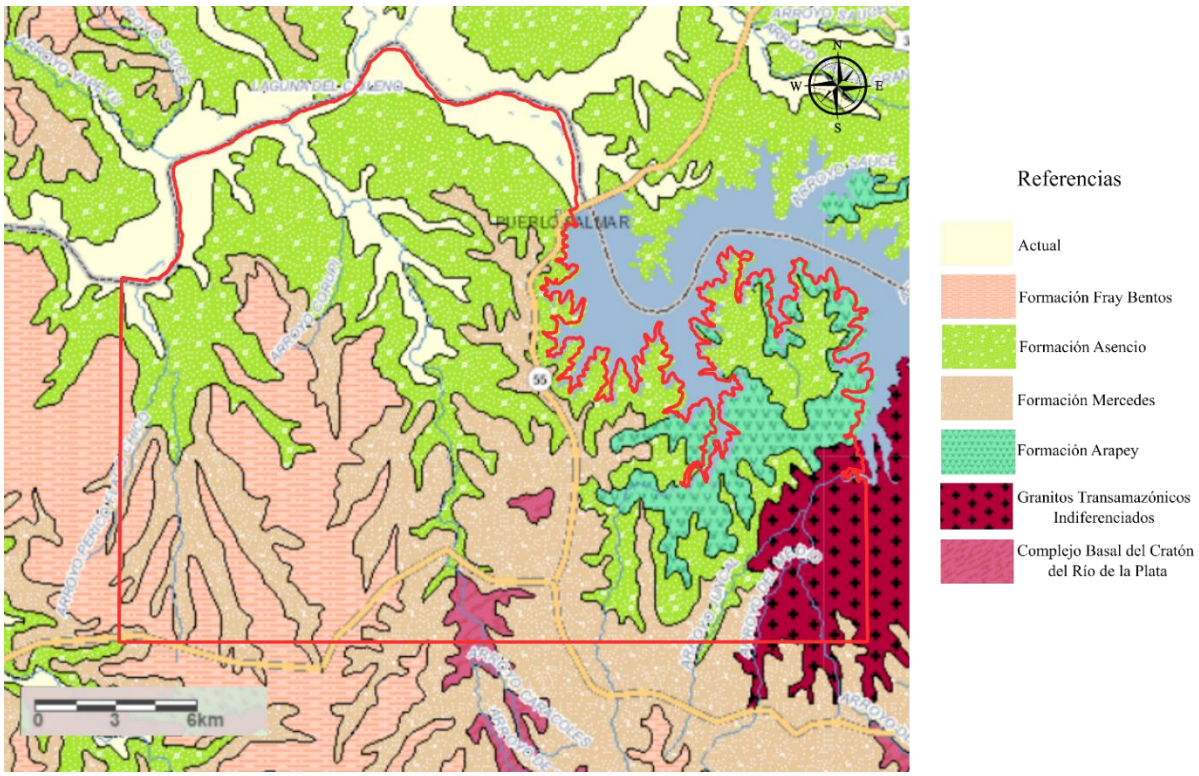


Figura 2.1. *Imagen de detalle de la Carta Geológica del Uruguay por Preciozzi et al. (1985) mostrando las unidades aflorantes en la zona de estudio. Modificado de Loureiro et al. (2012).*

2.2 Relieve

De modo general, el relieve de la zona es ligeramente ondulado a plano (*figura 2.2)*. Al Norte del área se hallan las zonas más bajas, asociadas al curso del Río Negro, con una cota mínima de 10 m. Las zonas más altas se encuentran al Sur y Suroeste del área, con cotas de hasta 80 m, perteneciendo estas elevaciones a la *Cuchilla del Correntino* hacia el Sur y Suroeste y *Cuchilla de Navarro* hacia el Suroeste.

De acuerdo con Panario (1988), el área de estudio comprende tres regiones morfoestructurales, las cuales son:

- Cuenca Sedimentaria Litoral Oeste

Compuesta por paquetes de areniscas cretácicas y sedimentos terciarios, donde las redes de drenaje se entallaron más profundamente que en otras fosas, dado el leve recubrimiento cuaternario. Como resultados de los diferentes procesos sufridos, estas rocas presentan una diversidad de capas con dureza variable, formando diferentes tipos de escarpe y lomadas, siendo comunes las pequeñas elevaciones de areniscas de la Formación Asencio y caliches con bordes escarpados. Otra forma particular es la formación de pavimentos de bloques, resultante de anteriores retrocesos de escarpes. Actualmente quedan muy pocos relictos de este tipo, siendo un ejemplo del mismo el Cerro de los Claveles.

- Región Centro Sur

Rocas del Basamento Cristalino, que reflejan las características morfoclimáticos imperantes desde período Cretácico, lo que le ha conferido al paisaje un aspecto senil, descrito como *penillanura cristalina.* El relieve se caracteriza por presentar lomadas fuertes, interrumpido por interfluvios de lomadas y lomadas suaves en las zonas de acumulación cuaternaria.

- Sistema de Planicie

Hacia el valle del Río Negro el paisaje es plano, donde el material sedimentario modela el paisaje formando terrazas escalonadas.

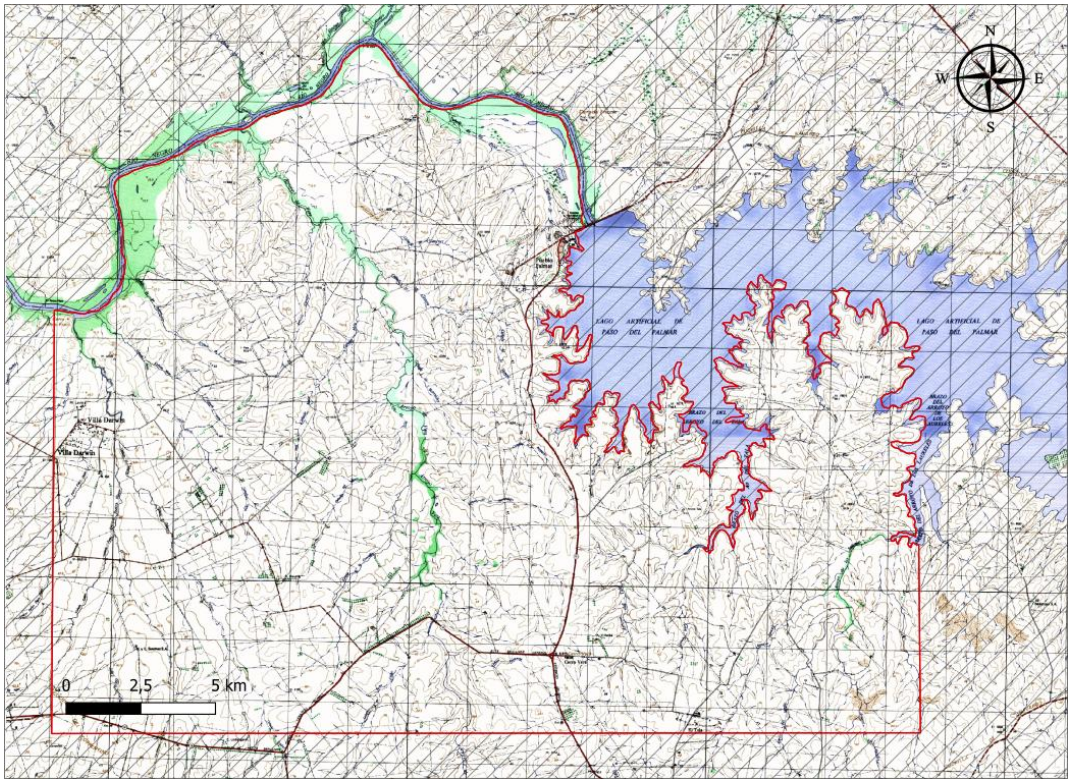


Figura 2.2. *Composición de las hojas topográficas del Servicio Geográfico Militar a escala 1:50.000 O-19, O-20, N-19 y N-20, mostrando el relieve de la zona de estudio.*

2.3 Hidrografía e hidrogeología

La zona de estudio está totalmente comprendida dentro de la parte baja de la Cuenca Hidrográfica Río Negro (Nivel 1). Dicha cuenca ocupa un área de 70.714 km^2 en Uruguay, Surcando el Uruguay de este a Oeste, estando su recorrido en parte represado, como en el caso de Palmar, por la Represa Constitución.

La cuenca Río Negro está subdividida en 9 subcuencas, donde la zona de estudio pertenece a dos de estas (Nivel 2) (*figura 2.3)*:

1) Subcuenca Río Negro entre Rincón de Palmar y Río Uruguay, con un área total de 8.655 km^2

2) Subcuenca Río Negro entre Yí y Rincón de Palmar, con un área total de 3.800 km^2

La zona de estudio está Surcada por numerosos cursos de agua de pequeña y gran magnitud, donde la elevación asociada a la ruta 55 hace de interfluvio entre ambas Subcuencas (figura 4.3). Los cursos ubicados hacia el Oeste, en la subcuenca *Río Negro entre Rincón de Palmar y Río Uruguay,* drenan hacia los dos principales cursos, el Arroyo de Vera y el Arroyo Perico Flaco, con una morfología en red de drenaje dendrítico, con dirección de drenaje hacia el norOeste, desembocando estos dos en el Río Negro. Por otro lado, hacia el este, en la subcuenca *Río Negro entre Yí y Rincón de Palmar*, los cursos principales son el Arroyo de los Laureles y el Arroyo del Tala, donde los afluentes drenan siguiendo una morfología dendrítica a enrejada, con dirección de drenaje Noreste, desembocando en el Río Negro.

En cuanto a la hidrogeología, según el Mapa Hidrogeológico del Uruguay (Heinze, W. et al., 2003) es una zona con baja productividad de acuíferos, perteneciendo a dos Unidades Hidrogeológicas en base a su litología:

Al Oeste, la *Unidad Hidrogeológica Cretácico Superior (KSm - KSa - KSg)* caracterizada por constituir acuíferos con porosidad intersticial en rocas sedimentarias, con posibilidad para agua subterránea alta a media. Presenta caudales específicos medios de 1.30 m^3/h/m y residuo seco de 500 mg/l, con transmisividad variable entre 5.0 y 100 m^2/día y el coeficiente de almacenamiento con valores de alrededor de 10^{-2}.

Hacia el este la *Unidad Hidrogeológica Paleoproterozoico (PP),* constituye acuíferos en rocas con porosidad por fracturas, con alta a media posibilidad para agua subterránea, en gneises,

granitos, micaesquistos y anfibolitas. Presenta caudales específicos medios de 1.0 m^3/h/m, y residuo seco promedio del orden de 500 mg/l.

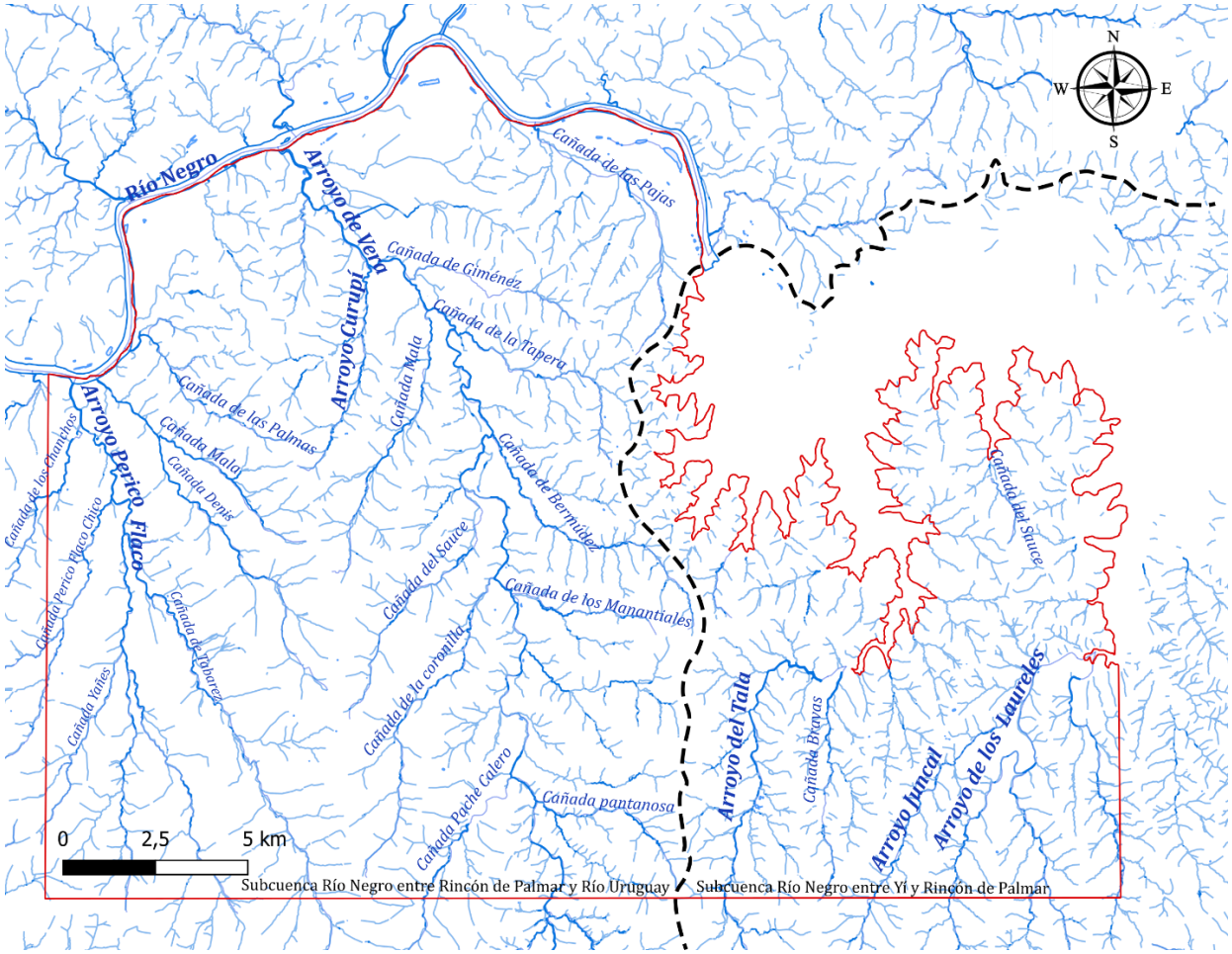


Figura 2.3. *Imagen de detalle del área de estudio mostrando la hidrografía de la zona. Composición generada en Inkscape.*

2.4 Suelos

Según la carta del Índice CONEAT[1] 1:40.000, el área de estudio está compuesta por 20 diferentes áreas, con índice de productividad variable entre 18 y 228. El área de estudio abarca 7 Unidades de Suelos según la Carta de Suelos 1:200.000 (*figura 2.4*):

[1] La Ley 13.695 del 24 de octubre de 1968 estableció la creación de la Comisión Nacional de Estudio Agronómico de la Tierra (CONEAT) perteneciente al Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), la cual se encarga de delimitar áreas homogéneas según su capacidad productiva en términos de carne bovina, ovina y lanar. Esta capacidad se mide mediante un índice relativo a la productividad media del país, donde 100 corresponde a la media nacional.

- VS - Villa Soriano

Suelos limo-arcillosos, a cotas entre 0 m y 10 m, propensos a inundaciones, con monte indígena. Incluyen Planosoles, Gleysoles y Fluvisoles.

- Bq - Bequeló:

Suelos limo-arcillosos a cotas entre 20 m y 70 m, con lomadas y alto riesgo de erosión. Presentan Vertisoles, Brunosoles y Planosoles.

- PP - Paso Palmar

Suelos arenosos a cotas entre 40 m y 80 m, de relieves con alta densidad de drenaje y riesgo de erosión. Incluyen Brunosoles, Litosoles y Vertisoles.

- CC - Cuchilla del Corralito

Suelos areno-arcillosos a cotas entre 30 m y 90 m, con drenaje subparalelo en lomadas y planicies. Compuestos por Argisoles, Brunosoles, Gleysoles y Vertisoles.

- SSG - San Gabriel-Guaycurú

Suelos arenosos y pedregosos con cotas entre 70 m y 100 m, con alto riesgo de erosión. Incluyen Brunosoles, Litosoles e Inceptisoles.

- Li – Libertad

Suelos limo-arcillosos a cotas entre 70 m y 90 m, en lomadas suaves. Presentan Brunosoles y Vertisoles.

Qch - Queguay Chico

Suelos basálticos a cotas entre 50 m y 100 m, superficiales y pedregosos, con Litosoles, Brunosoles y Vertisoles.

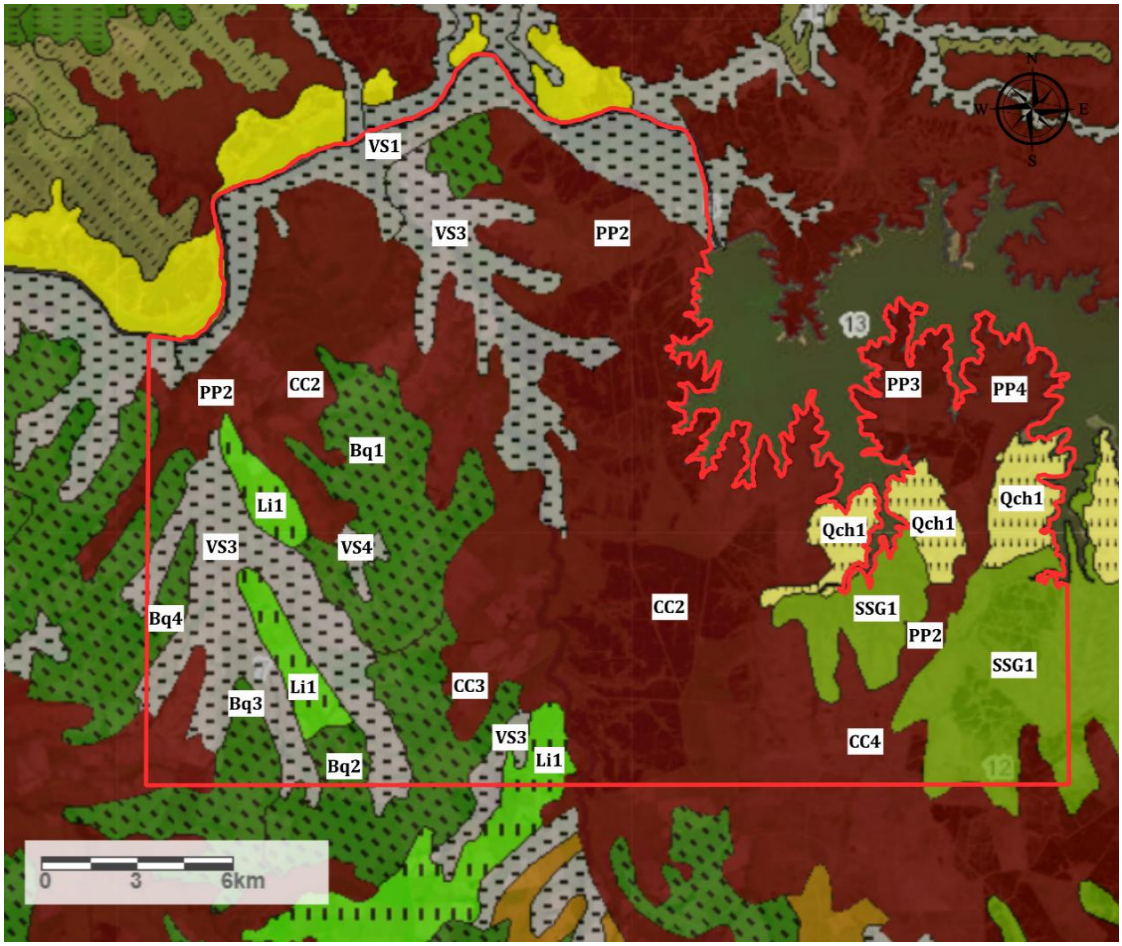


Figura 2.4. *Imagen de detalle de la Carta de Suelos 1:200.000 extraída del visualizador SNIA (Servicio Nacional de Información Agropecuaria) https://dgrn.mgap.gub.uy/js/visores/snia/. Modificada en Inkscape.*

2.5 Recursos minerales del área de estudio

La actividad minera en el área de estudio se centra en la extracción de materiales como balasto y piedra partida, utilizados principalmente para el mantenimiento de la caminería vecinal y rutas. Es destacable la presencia de pequeñas canteras diseminadas en el área de estudio, especialmente aquellas abiertas sobre rocas asociadas al Basamento Cristalino y los términos más consolidados de la Formación Asencio. En menor proporción, también se emplean material de la Formación Fray Bentos para la estabilización de caminos, en las capas por debajo de las carpetas asfálticas.

2.6 Aspectos socio-económicos

En el área de estudio se encuentran tres pequeños centros poblados, Sacachispas, Palmar y El Tala, comprendidos dentro de las secciones judiciales Nº10 y Nº11. Según el censo de 2011, La localidad de Sacachispas (también conocida como Villa Darwin) en el centro-Oeste, cuenta con 456 habitantes; Palmar, en el centro-Norte, tiene 381 habitantes y Surgió con la construcción de la Represa de Palmar; mientras que El Tala, en el Suroeste, alberga 73 habitantes.

Según datos extraídos del portal gub.uy, el Departamento de Soriano se encuentra en la zona de mayor producción agrícola del país con casi 3.500 km^2 sembrados, lo que representa un 28% de la superficie total sembrada de Uruguay, según datos de Uruguay XXI. Un 24.3% de la siembra de soja en el territorio uruguayo se encuentra en el Departamento de Soriano, si bien los cultivos van rotando por temporada a maíz, trigo, girasol, sorgo y cebada, esto representa un total de 2.830 km^2, según datos de la Empresa URUPÓV del año 2022, aunque el área de siembra de soja ha disminuido en los últimos 6 años. La siembra de trigo en Soriano representa la cuarta parte de la producción cerealera de Uruguay.

En cuanto a la forestación, Soriano se encuentra entre los departamentos más forestados de la región. En particular, en la zona de trabajo (*figura 2.5 B*), existe un área forestada de aproximadamente 215 km^2, alrededor del 45% del total, desarrollándose principalmente hacia el este del Arroyo de Vera y al Norte sobre el Río Negro.

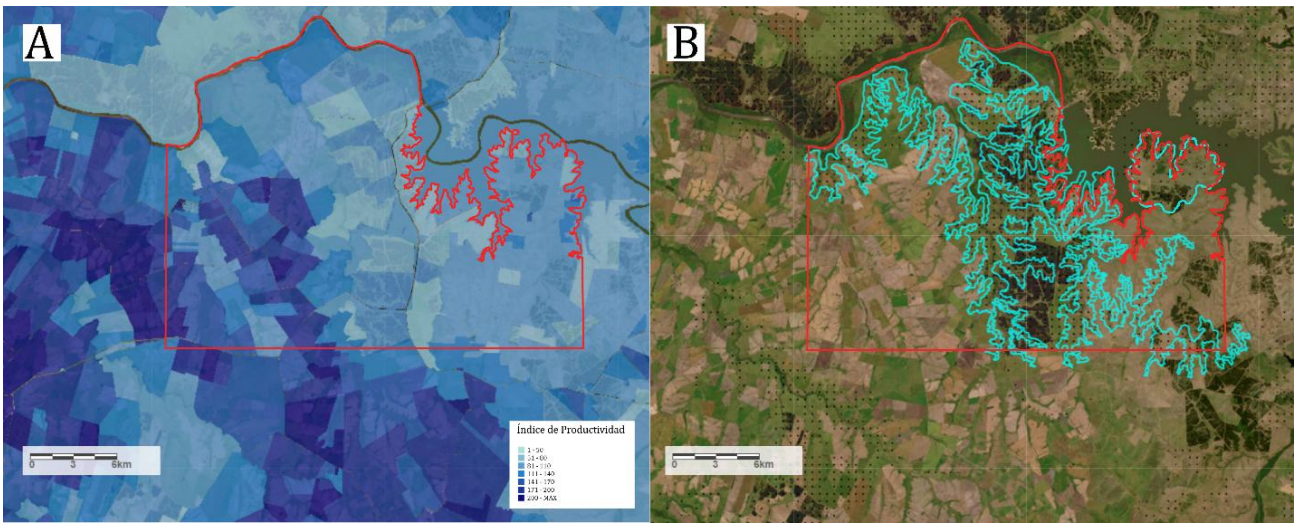


***Figura 2.5 A**: Mapa del índice de productividad de la zona de estudio. **B**: Mapa de las zonas de prioridad forestal en el área de estudio. Tomados del visualizador de la Dirección Nacional de Recursos Naturales del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (https://dgrn.mgap.gub.uy/js/visores/dgrn/#).*

2.7 Cambios físicos asociados a la construcción de la Central Hidroeléctrica Constitución

La Central Hidroeléctrica Constitución constituye el tercer escalón de aprovechamiento hidroeléctrico del Río Negro. Fue construida entre 1978 y 1981 en el paraje "Paso de Palmar", siendo puesta en funcionamiento el 27 de agosto de 1982. Según los informes de Patrone (2010) sus cimientos se encuentran sobre los niveles menos alterados de basaltos correspondientes a la Formación Arapey, a excepción del estribo en la margen derecha, donde la menor altura de la presa y el embalse permitió reducir los cimientos, apoyándose directamente sobre sedimentos aluviales, siendo parte del cuerpo de la represa construida con material perteneciente a la Formación Guichón.

En lo que compete al área de estudio, alrededor de 35 km^2 fueron totalmente inundados posteriormente a la construcción de dicha represa (*figura 2.6*). En mapas y cartas geológicas anteriores, fueron mapeadas varias formaciones las cuales hoy forman parte del lecho del Río Negro.

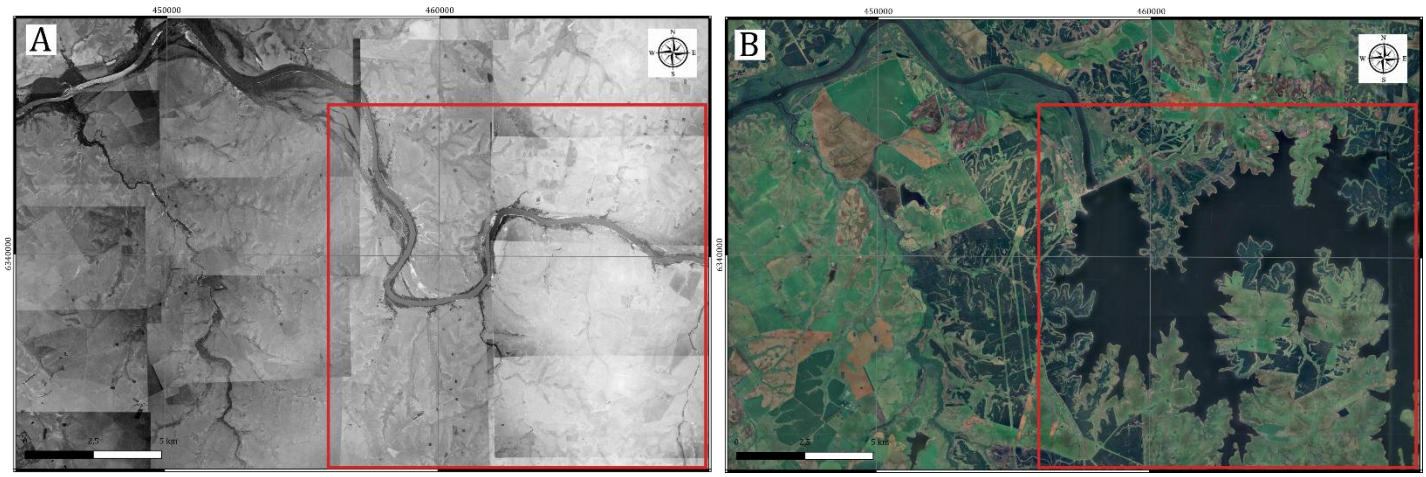


Figura 2.6 A *Composición de Fotos Aéreas del Servicio Geográfico Militar (1966) a escala 1:20.000 de los alrededores de Palmar.* ***B*** *Imagen Satelital actualizada de los alrededores de Palmar.*

3. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

3.1 Estructura geológica del área

El Basamento Cristalino o Escudo Uruguayo según Masquelin (2006) está compuesto, a grandes rasgos, por tres unidades tectonoestratigráficas, separadas por zonas de cizalla. Estas unidades son: el Terreno Piedra Alta (Bossi, et al., 1993), el Terreno Nico Pérez (Bossi & Campal, 1993) y el Cinturón Dom Feliciano (Fragoso César, 1980) o Terreno Cuchilla Dionisio (Bossi et al. 1998). Sobre ellas se desarrollan cuencas sedimentarias Fanerozoicas, tanto onshore como offshore. El denominado Terreno Piedra Alta (TPA) (*figura 3.1*), es un complejo ígneo-metamórfico que forma parte del Cratón del Río de la Plata (Almeida et al., 1973).

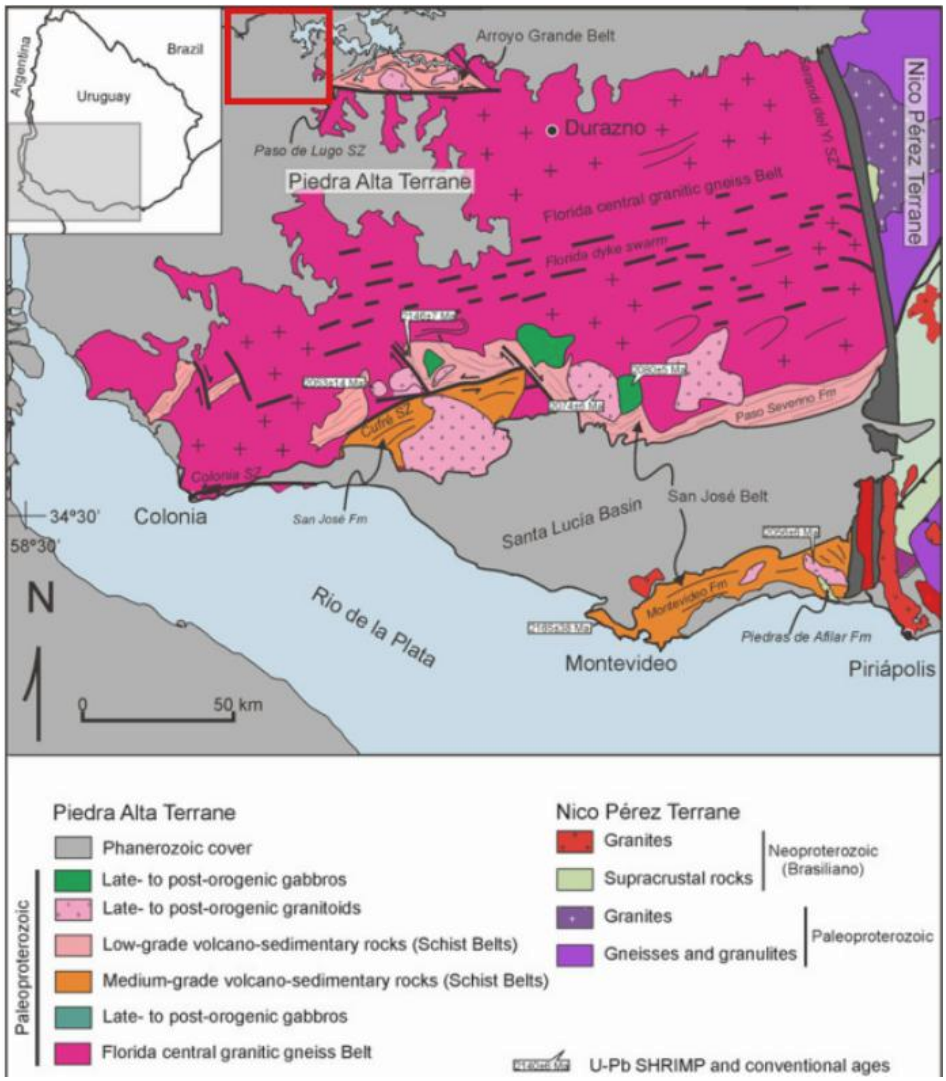


Figura 3.1*Mapa geológico del Terreno Piedra Alta, Uruguay (según Preciozzi et al. 1985; Bossi and Ferrando 2001; Oyhantçabal et al. 2007b), señalando en rojo el área de estudio. Modificado de Oyhantçabal et al. (2011).*

Hacia el período Ordovícico, el cratón ya estable experimentó un proceso de reajuste isostático generando una cuenca intracratónica de relleno vulcano-sedimentario, que estuvo activa hasta fines de la era Mesozoica y conforma la denominada Cuenca Chaco-Paraná según Milani et al. (2004). Los depósitos comprendidos dentro del territorio uruguayo conforman la denominada Cuenca Norte (de Santa Ana, 1989), abarcando un área mayor a 90.000 km^2 y espesores de más de 2.400 m (Goso & Perea, 2004). Esta cuenca conservó su relativa estabilidad hasta el período Cretácico, donde la separación de Gondwana ocasionó la efusión de miles de km^2 de lava, formando grandes depósitos volcánicos denominados y con esto la colmatación de la cuenca. El peso de la gran columna basáltica generó un proceso de reajuste isostático abriendo un nuevo espacio de acomodación durante el Cretácico Superior, donde se depositaron sedimentos de origen fluvial (Goso, C., 1999), que se desarrollaron tanto en el territorio uruguayo, como en la Mesopotamia argentina (*figura 3.2*).

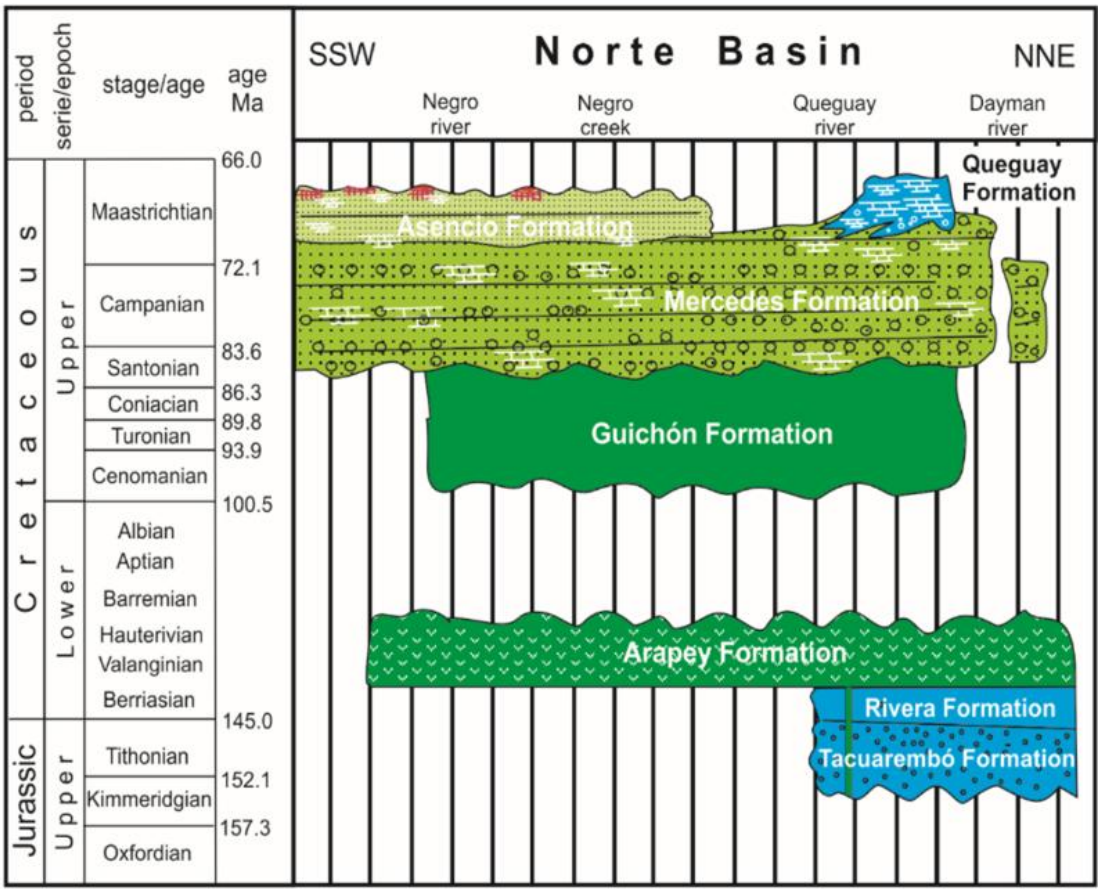


Figura 3.2 *Columna estratigráfica de las unidades cretácicas de la Cuenca Norte, tomado de Veroslavsky et al. (2019).*

Dicha sedimentación en Uruguay se dio en la zona litoral (*figura 3.3*), abarcando una superficie de alrededor de 25.000 km^2 (Goso & Perea, 2003). Para algunos autores estos depósitos conforman el tope de la Cuenca Norte (Santa Ana, 1993), y para otros definen la Cuenca Litoral (Goso, 1999).

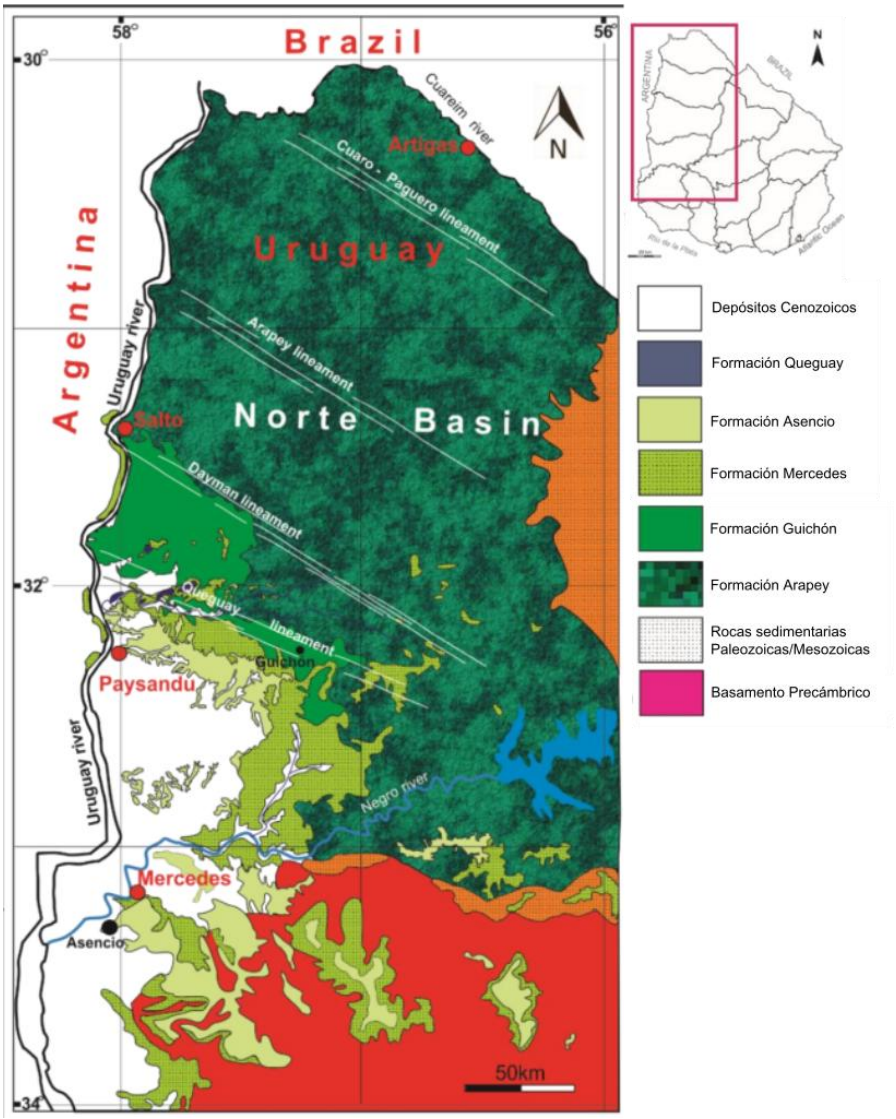


Figura 3.3 *Mapa geológico simplificado mostrando la distribución de las rocas sedimentarias del Cretácico Tardío en la Cuenca Norte (tomado de Preciozzi et al. 1985; Veroslavsky & de Santa Ana, 2004). Modificado de Versolavsky et al. (2019).*

Según la literatura geológica, la primera mención a estas rocas fue realizada por Charles Darwin en 1833, cuando en su recorrido por el litoral uruguayo realizó descripciones en el Cerro de los Claveles, donde notó que la zona poseía sílice y niveles calcáreos producto de precipitación de soluciones (Martínez, S. & Veroslavsky, G., 2000) pero los vinculó a eventos volcánicos (Martínez & Veroslavsky, 2004).

Más adelante, Walther (1919) realizó una descripción de areniscas ferrificadas en diferentes partes del país, caracterizándolas y comparándolas, llegando a la conclusión de que se habrían formado mediante impregnación de óxido de hierro en areniscas originalmente calcáreas, las cuales denominó *Areniscas del Palacio*.

Los descubrimientos paleontológicos de Alejandro Berro en la década de 1920, fueron estudiados posteriormente por Von Huene (1929), quien propone para estos depósitos una edad relativa *Senoniense*, basándose en dicho contenido fosilífero.

Lambert (1939) realiza un relevamiento geológico en diferentes partes del país. En primer lugar, elabora un estudio geológico del Departamento de Durazno, donde diferencia dos unidades. Por un lado, una litología conglomerádica, que denomina *Conglomerado de base*, dividiéndolos en dos tipos,

- un conglomerado compacto, de matriz arenosa, presentándose a veces fuertemente silicificado, el cual denomina *Conglomerado del Chileno*,
- otra unidad de areniscas, con estratificación entrecruzada y niveles conglomerádicos.

Por encima de éstas, describe una unidad compuesta por arenisca de grano irregular y abundante cemento calcáreo, que hacia la parte superior sufrió un intenso proceso de ferrificación, asociándola a las ya mencionadas *Areniscas del Palacio.*

Estas litologías las encontró apoyadas sobre basamento o sobre rocas efusivas de *Serra Geral* (actual Formación Arapey). En el mapa correspondiente a este trabajo, el autor diferencia Areniscas Cretácicas, y dentro de estas, Areniscas del Palacio.

En segundo lugar, en el Departamento de Paysandú, Lambert (1940a) diferencia dos unidades: a una de ellas la denomina *Areniscas inferiores o Areniscas de Guichón* y la otra, por encima, *Areniscas Conglomerádicas* o *Areniscas Superiores,* silicificadas, reconociéndolas como el *Conglomerado del Chileno,* mencionado anteriormente. Describe a esta unidad como compuesta por cantos decimétricos y fragmentos angulosos provenientes de unidades

inferiores, cementado por areniscas calcáreas, distinguiendo dos depósitos locales: por un lado *lentes calcáreos* silicificados y por otro las *Areniscas del Palacio.*

En el mismo año, Lambert (1940b), realiza un relevamiento en el Departamento de Río Negro distinguiendo las mismas unidades, destacando que casi la totalidad de los afloramientos cretácicos corresponden a las *Areniscas Conglomerádicas Superiores*.

Serra (1945) realiza el primer mapa geológico del Departamento de Soriano, y en su memoria detalla que, si bien no halló las *Areniscas Inferiores* descritas por Lambert (1940a), si pudo diferenciar dos horizontes dentro de las *Areniscas Superiores* pudiendo establecer un orden estratigráfico. En la base, las *Areniscas Conglomerádicas (o Conglomerado del Chileno)* a las cual redefine como *Areniscas de Mercedes,* citando como lugar de importancia el Cerro de los Claveles, y basando sus descripciones en el pozo realizado por el Instituto Geológico del Uruguay, en la margen derecha del Río Negro, frente a la costa de la ciudad de Mercedes (sondeo Nº 347/8).

Por encima, las *Areniscas con Dinosaurios*, conteniendo restos silicificados de dichos reptiles, definiendo la unidad a partir de las rocas aflorantes entre el Cerro Vera y el Arroyo del Tala. Allí observó, a lo largo del perfil, areniscas ferrificadas (*Areniscas del Palacio),* areniscas rosáceas, areniscas de grano desigual a conglomerádicas, y restos de basamento hacia el cauce del arroyo.

Caorsi & Goñi (1958) describen los *Conglomerados y Areniscas Conglomerádicas de Mercedes* como depósitos de un delta torrencial, producido en una cuenca continental cerrada. Denominan, en este trabajo, *Areniscas de Asencio,* a las previamente denominadas *Areniscas con Dinosaurios* por Serra (1945). Este conjunto engloba *"areniscas de grano fino con cantidades variables de cemento"* pudiendo ser calcáreo, arcilloso o incluso llegando a desarrollar ferrificación y silicificación. Describen, al tope de esta unidad, a las areniscas ferrificadas, previamente denominadas *Areniscas del Palacio,* y al caracterizarlo como un material metasomático y no un horizonte geológico, proponen eliminar la nomenclatura *Areniscas del Palacio.* Además, estiman, datando relativamente, que el proceso de ferrificación es anterior al de silicificación, denotando variaciones climáticas.

Bossi (1966) le otorga rango de formación a las unidades cretácicas, pasando a ser formaciones Guichón, Mercedes y Asencio, dividiendo a esta última en dos miembros, *Miembro Yapeyú* (para denominar a las areniscas blanquecinas a la base de la Formación

Asencio) y *Miembro del Palacio* (para denominar a las areniscas ferrificadas del tope). A la Formación Mercedes la define como *"una sucesión de areniscas finas, gruesas, bastas y conglomerádicas, de estructura lenticular, con variaciones bruscas de facies, vertical y horizontalmente"* con cemento arcilloso y/o calcáreo, lentes de caliza interestratificados con arenisca y una intensa silicificación. Por otra parte, a la Formación Asencio la define como *"areniscas de color rosa pálido a blanco, de grano fino generalmente redondeado, con cemento arcilloso o calcáreo"*.

Bossi et al. (1975), atribuyen la génesis de la *Formación Mercedes* "*en un ambiente desértico transportada por corrientes de agua que variaban rápidamente de fuerza y caudal*."

Preciozzi et al. (1985) mantienen el mismo criterio litoestratigráfico que Bossi (1966), pero define el *Miembro Algorta* dentro de la Formación Asencio, para separar los niveles de calizas, en calizas arenosas y calizas silicificadas.

Bossi & Navarro (1988), reúnen las formaciones Guichón, Mercedes y Asencio en el Grupo Paysandú.

Morales y Ford (1988), luego de realizar un estudio de la cuenca del Arroyo Yapeyú, establecen una correspondencia entre la Formación Mercedes y las litologías allí aflorantes. A su vez, también atribuyen a la Formación Mercedes la presencia de calizas interestratificadas con las areniscas, asignándose, posteriormente, en Ford & Gancio (1988), el Miembro Yapeyú a la Formación Mercedes.

Goso, C. (1999) realiza un extenso trabajo en toda la subcuenca cretácica, proponiendo la denominación de *Cuenca Litoral del Río Uruguay,* basándose en que estos depósitos tienen su propia historia tectónica, posterior a la colmatación de la Cuenca Norte con los depósitos de la Formación Arapey. Además, propone la unificación de ambas unidades en la Formación Mercedes-Asencio, dividiendo la misma en *Miembro Yapeyú* (para las facies finas de la formación) y *Miembro del Chileno* (para las facies conglomerádicas). Asimismo, denomina a las extensas corazas como la Unidad Edafoestratigráfica *Geosuelo del Palacio.* Goso & Perea (2004) retoman estas litologías bajo la antigua denominación Miembro del Palacio.

3.2. Marco geológico del área de estudio

El primer mapa geológico del Departamento de Soriano fue realizador por Serra (1945) (*figura 3.4*), mapeando para el área de estudio las rocas actualmente correspondientes al Basamento Cristalino y las Formaciones Arapey, Mercedes, Guichón y Fray Bentos.

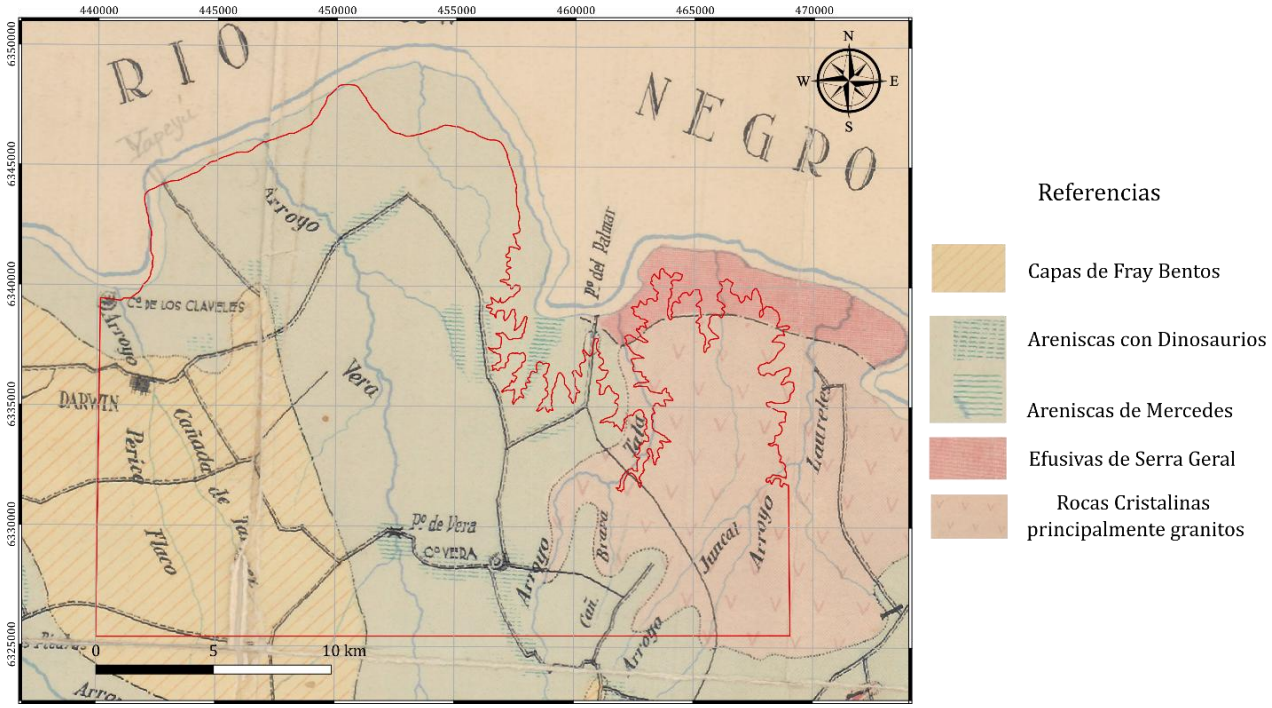


Figura 3.4 *Imagen de detalle del mapa geológico del Departamento de Soriano, mostrando las litologías cartografiadas. Modificado de Serra (1945).*

Posteriormente, se han realizado muchos trabajos de cartografía nacional, como el ya mencionado Preciozzi et al. (1985) (*figura 2.1*) o Bossi et al (2001).

3.2.1. Basamento Cristalino (Proterozoico)

Afloramientos graníticos, correspondientes al Basamento Cristalino, han sido mapeados hacia el Sur y este del área, cubiertos en parte por sedimentos cretácicos y cenozoicos.

Las rocas del basamento afloran en forma de suaves colinas, muy alteradas, pudiendo hallarse en contacto con rocas de la Formación Arapey o Formación Mercedes. En la zona de estudio, se han mapeado rocas plutónicas de grano grueso pertenecientes a la Faja Florida.

Serra (1945), quien sitúa afloramientos de *Rocas Cristalinas* hacia el este de la zona de estudio, continuando hacia el Suroeste por los cauces del Arroyo del Tala, Arroyo Juncal y Cañada Brava. Bossi et al., (2001) agrega a lo antedicho, basamento aflorando hacia el centro-Sur del área, asociado al cauce del Arroyo de Vera. También es mapeado basamento dentro de la zona de estudio, en el Mapa Geológico de la DINAMIGE (Preciozzi et al. 1985), donde ubica *Granitos indiferenciados Precámbricos* hacia el este del área, y *Complejo Basal* asociado al cauce del Arroyo de Vera.

3.2.2 Formación Arapey (Cretacico Temprano)

Serra (1945) describe rocas Efusivas de Serra Geral (actual Formación Arapey) hacia el límite Noreste del área, asociados al margen del Río Negro.

Ford et al. (1990) mapean esta formación asociada a cotas menores a 30 m, al este del Arroyo de Vera. De todas maneras, estos autores aclaran, en la memoria explicativa de dicha carta, que se presentan escasos afloramientos naturales y son difíciles de seguir en fotointerpretación, debido a la fácil alterabilidad del material.

Preciozzi et al. (1985) en el Mapa Geológico de la DINAMIGE extiende aún más el área de afloramiento de esta formación, llevándola más hacia el Oeste y Sur.

3.2.3 Formación Guichón (Cretacico Tardío)

Esta unidad que definida por Bossi (1966), como "*areniscas arcillosas rojizas de grano fino bien rodado, con abundante cemento arcilloso de naturaleza montmorillonitica*", frecuentemente con estratificación cruzada. Se le atribuye un origen continental subdesértico. Según Bossi et al. (1975), su potencia máxima es de 96 m en su *sección tipo*, la perforación Guichón.

Esta unidad geológica no ha sido mapeada en el Departamento de Soriano en trabajos anteriores.

3.2.4 Formación Mercedes (Cretácico Tardío)

Esta unidad según Bossi (1966) la define como: "*sucesión de areniscas finas, gruesas, bastas, y conglomerádicas, de estructura lenticular, con variaciones bruscas de facies, vertical y horizontalmente. El cemento de las areniscas es arcilloso y calcáreo, y son frecuentes los lentes de caliza de poca potencia, interestratificados con las areniscas*."

Se fija como *sección tipo* el sondeo descrito por Serra (1945) frente a la costa de la ciudad de Mercedes (sondeo Nº 347/8). Se le atribuye un ambiente de depositación continental desértico, donde el material fue transportado por corrientes de flujo y caudal variable, según Bossi (1975).

Hacia el final de su depositación, sufrió un fuerte proceso de silicificación, lo que le confiere su consolidación característica.

3.2.5 Formación Asencio (Cretacico Tardío)

Bossi (1966) la define como una unidad "*compuesta principalmente por areniscas de color rosa pálido a blanco, de grano fino generalmente redondeado con cemento arcilloso o calcáreo. La litología es homogénea*". Esta formación sufrió un fuerte proceso de ferrificación, promoviendo la formación de columnas de areniscas ferrificadas. Este autor decide separar a la Formación Asencio en dos miembros, el Miembro Yapeyú para las areniscas blanquecinas descriptas anteriormente, y el Miembro del Palacio para las areniscas que presentan ferrificación. La potencia máxima según la literatura, se estima en 30 m, en la cuenca del Arroyo de Vera.

3.2.6 Formación Fray Bentos

Definida como formación por Bossi (1966) como "*limo, a veces fuertemente arcilloso, a arenisca muy fina.*" pueden encontrarse esporádicamente clastos de grava, angulosos a redondeados, dispersos o estratificados". Cubre todo el Suroeste del país y se expresa geomorfológicamente como suaves lomadas, llegando a tener potencias de 100 m. Fue depositada en un ambiente continental tipo esteparios. Es mapeado por todos los autores específicamente el Oeste del área, siendo su límite el Arroyo de Vera.

4. MATERIALES Y METODOS

Para la ejecución de los objetivos se utilizaron los siguientes materiales:

• Fotografías aéreas del Servicio Geográfico Militar del Uruguay a escala 1:20.000

- Rollo Nº 39 - 182 / 180 /178,
- Rollo Nº 15 - 105/ 103 / 101 / 99
- Rollo Nº 34 - 178 / 176 / 174 / 173

• Como base cartográfica, se utilizaron las hojas topográficas del Servicio Geográfico Militar a escala 1:50.000

- O-19 - Cololó, al noroeste del área
- O-20 - Bequeló, al Suroeste del área
- N-19 - Paso del Palmar, al Noreste del área
- N-20 - Paso del Lugo, al noroeste del área

• Mapa Geológico de Reconocimiento de Soriano, a escala 1:250.000 (Serra, 1945);

• Carta Geológica del Uruguay a escala 1/100.000 hojas:

- O-19 - Cololó
- O-20 Bequeló
- N-19 - Paso del Palmar

• Mapa Geológico del Uruguay a escala 1:500.000 (Bossi y Ferrando, 2001).

• Capas en formato shp de la red hidrográfica, caminería nacional, suelos y curvas de nivel.

• Programas QGIS, SedLog, Inkscape, Adobe Illustrator y Google Earth.

• Estereoscopio, brújula Brunton, piqueta Estwing, lupa, libreta de campo, GPS Garmin, bolsas, papel para muestras y cinta papel, cámara fotográfica, ácido clorhídrico (HCl al 1M), tabla de colores Munsell y comparadores granulométricos.

4.1 Metodología para el trabajo de gabinete y de campo

Para llevar a cabo este trabajo, se requirieron varias etapas de trabajo de campo, más el trabajo de gabinete y laboratorio (*figura 4.1)*. En primer lugar, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para considerar todos los puntos de vista pertinentes. A su vez, se elaboró la correspondiente fotointerpretación y fotolectura del área de estudio, obteniendo como resultado un bosquejo geológico con las principales unidades aflorantes, puntos a relevar e identificación de los caminos de acceso.

Por otro lado, la definición de las unidades correspondientes y su delimitación implicó un relevamiento de todo el litoral del país, reconociendo las unidades lugares característicos de toda la región, para un mejor entendimiento de las unidades aflorantes. Se realizaron 4 salidas de campo dentro del área de estudio, relevando un total de 109 puntos, donde se recolectaron muestras y se realizaron estudios detallados de perfiles sedimentológicos. A partir del material recolectado se realizaron análisis en muestra de mano, con lupa binocular, y además se confeccionaron 11 láminas delgadas para su observación en microscopio petrográfico.

Además, también se accedió a la Litoteca de la DINAMIGE para describir el pozo N° 1031, único pozo dentro del área de estudio, así como también los sondeos N° 347 (347/2, 347/4, 347/6 y 347/8) y N° 248 (248/1, 248/2, 248/3, 248/4), ambos en la ciudad de Mercedes correspondientes a los trabajos llevados a cabo para la construcción del puente Líber Seregni, que une los departamentos de Soriano y Río Negro, seleccionándose las dos perforaciones más representativas para mostrar en este trabajo (Pozo 2 y 3) que, junto con los afloramientos al borde del Río Negro, conformaron el estratotipo de la Formación Mercedes según Bossi (1966).

Con toda la información recopilada, organizada y procesada, se procedió a la elaboración del mapa geológico a escala 1:40.000, 2 cortes geológicos del área y 6 perfiles tipo Selley, correspondientes a 3 afloramientos relevados en campo y los tres pozos mencionados anteriormente (N° 1031, N°347 y N°248). A su vez, se clasificaron composicionalmente todas las muestras recolectadas dando como resultados 7 litotipos de la Formación Mercedes.

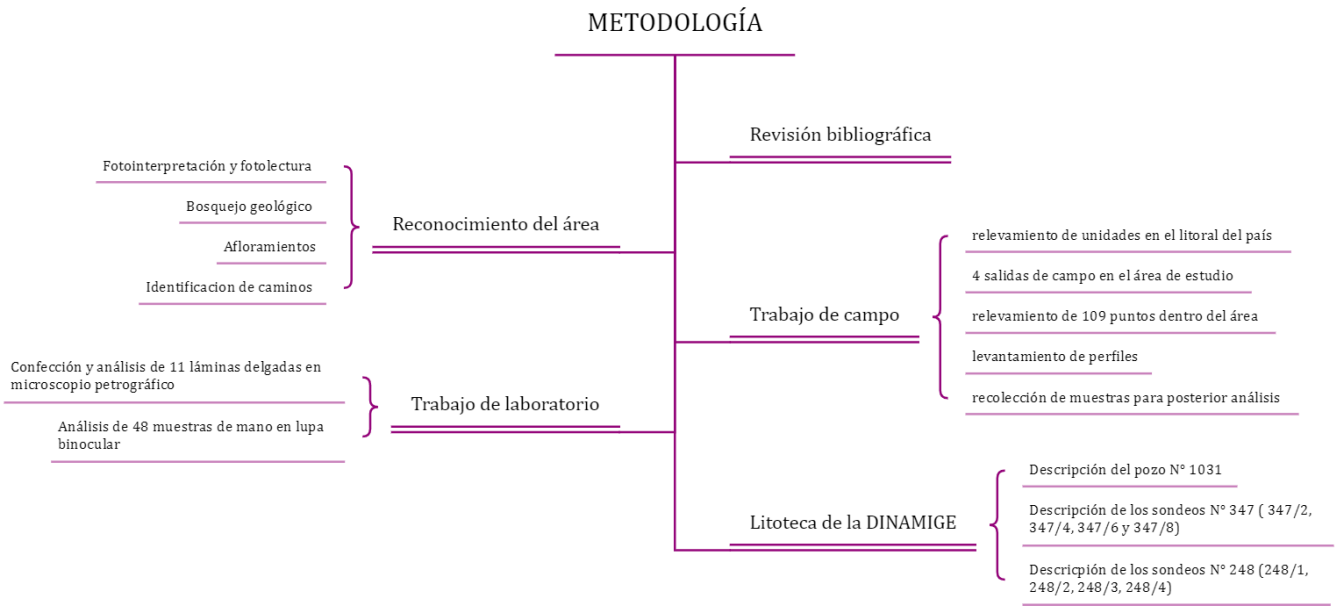


Figura.4.1 *Esquema de la metodología de trabajo, mostrando las diferentes etapas.*

4.2 Metodología para la clasificación sedimentaria

La clasificación de las rocas sedimentarias clásticas siempre fue motivo de discusión. La primer escala granulométrica data de 1898 y fue presentada por Udden, siendo posteriormente modificada por Wentwordh en 1922, para llegar a la clasificación básica usada por todos los geólogos Udden-Wentwordh, donde se separan las unidades básicas de partículas clásticas, a) gravas con clastos de tamaño mayor 2 mm, b) arenas con clastos entre 2 mm y 0.062 mm, c) limo con partículas entre 0.062 mm y 0.0039 mm y d) arcilla con partículas de tamaño menor a 0.0039. Teniendo como base dicha clasificación, se desarrollaron múltiples clasificaciones e interpretaciones, y serán detalladas en este trabajo específicamente las utilizadas.

Folk (1954) y Folk et al. (1970) clasifican las rocas sedimentarias clásticas en base a un diagrama ternario de gravas, areniscas y pelitas, de cuya proporción se definen 15 grupos texturales. Aquí define los términos conglomerado, para rocas con más de 80 % de clastos de grava, conglomerado arenoso para rocas que poseen entre 30 % y 80 % de clastos de grava, arenisca conglomeradicas para rocas que contienen entre 5 % y 30 % de grava, y entre 70 % y 95 % de arenisca, arenisca levemente conglomerádica para rocas que contienen entre 0.01 % y 5 % de grava, y entre 95 % y 999.9 % de arenisca, y areniscas para aquellas rocas que no tienen rastros de grava.

Dentro de los conglomerados, pueden clasificarse como extraformacionales, siendo clastos provenientes de la alteración de otras rocas, o intraformacionales, siendo clastos provenientes de alteración de la misma roca (Pettijohn, 1957). También distingue los conglomerados en base a su matriz, siendo ortoconglomerados aquellos con matriz arenosa, y paraconglomerados aquellos con matriz pelítica. Oligomícticos, a los compuestos por fragmentos de mineral estable, y polimíctico a los formados con clastos inestables, siendo los conglomerados oligomícticos rocas supermaduras que sufrieron muchos transporte (Scasso & Limarino, 1997).

Boggs (2012) introduce una nueva nomenclatura basada en la estabilidad de los clastos de grava, denominando ultraestables, aquellos clastos de grava compuestos de cuarzo, cuarcita, chert o venas de cuarzo, y clastos metaestables para el resto de las composiciones, dejando dos tipos de conglomerados basados en la estabilidad de sus componentes principales. Aquellos conglomerados compuestos por más de 90 % de clastos ultraestables son denominados conglomerados cuarzosos, y los que tienen menos de 90 % son conglomerados petromícticos. Esta clasificación es útil para separar aquellos conglomerados formados por meteorización intensa en rocas, o como el resultado de transporte prolongado o procesos que han eliminado los clastos menos resistentes, dando como resultado conglomerados cuarzosos; y por otro lado, aquellos conglomerados que tienden a ser depósitos de primer ciclo formados por intemperismo de menor intensidad, o transporte y erosión de menor prolongación, dando como resultados conglomerados petromícticos.

Garzanti (2018) propone una clasificación centrada específicamente en arenas y areniscas en base a su composición petrográfica, generando un diagrama que deja por fuera clasificaciones obsoletas como arcosa o grauvaca, las cuales simplifican la interpretación genética al análisis petrográfico (*figura 4.2)*.

La textura de los sedimentos clásticos es definida por parámetros que miden las características de la distribución del tamaño de grano, mientras que la composición se define por el porcentaje relativo de componentes.

Por esta razón, la clasificación propuesta: a) se basa en una técnica analítica consolidada (es decir, el método de Gazzi-Dickinson; Ingersoll et al., 1984; Zuffa, 1985); b) hace uso de parámetros fundamentales y de una representación gráfica universalmente reconocida (es

decir, el diagrama QFL); c) se expresa mediante términos composicionales fácilmente entendibles, que siguen un esquema sencillo que ha sido propuesto y respaldado por investigadores de autoridad desde la década de 1960.

Está estipulado que una aproximación a la composición de la roca se da por la mezcla de sus tres principales componentes, Cuarzo (Q), feldespato (F) y fragmentos de roca o líticos (R o L). Por este motivo es ampliamente utilizado un diagrama ternario QFL.

El trabajo propone dividir los componentes de la roca según el diagrama ternario QFL, considerando los componentes más abundantes, donde se obtienen como resultado 15 campos por considerar la abundancia relativa de los tres componentes. Esta clasificación *depurada* deja 18 campos para la clasificación de arenas y areniscas cuarzo - feldespáticas y cuarzosas.

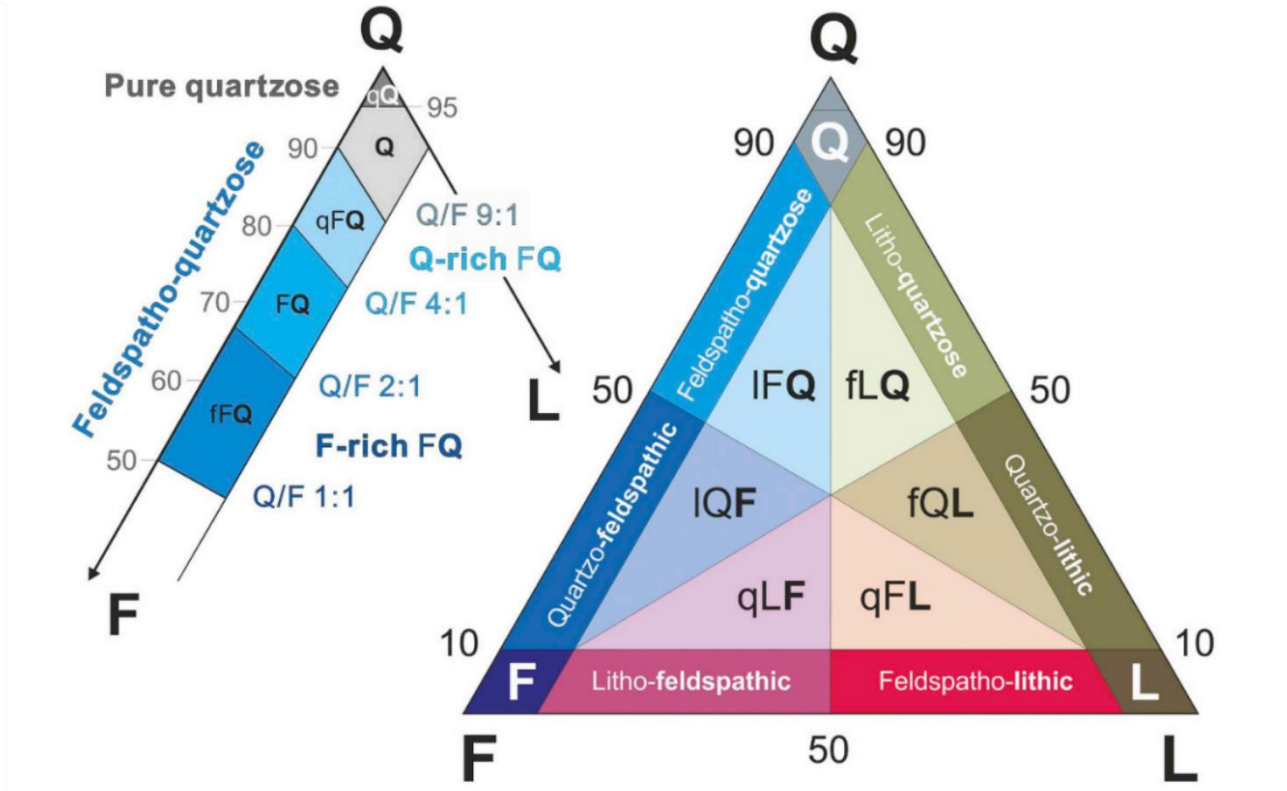
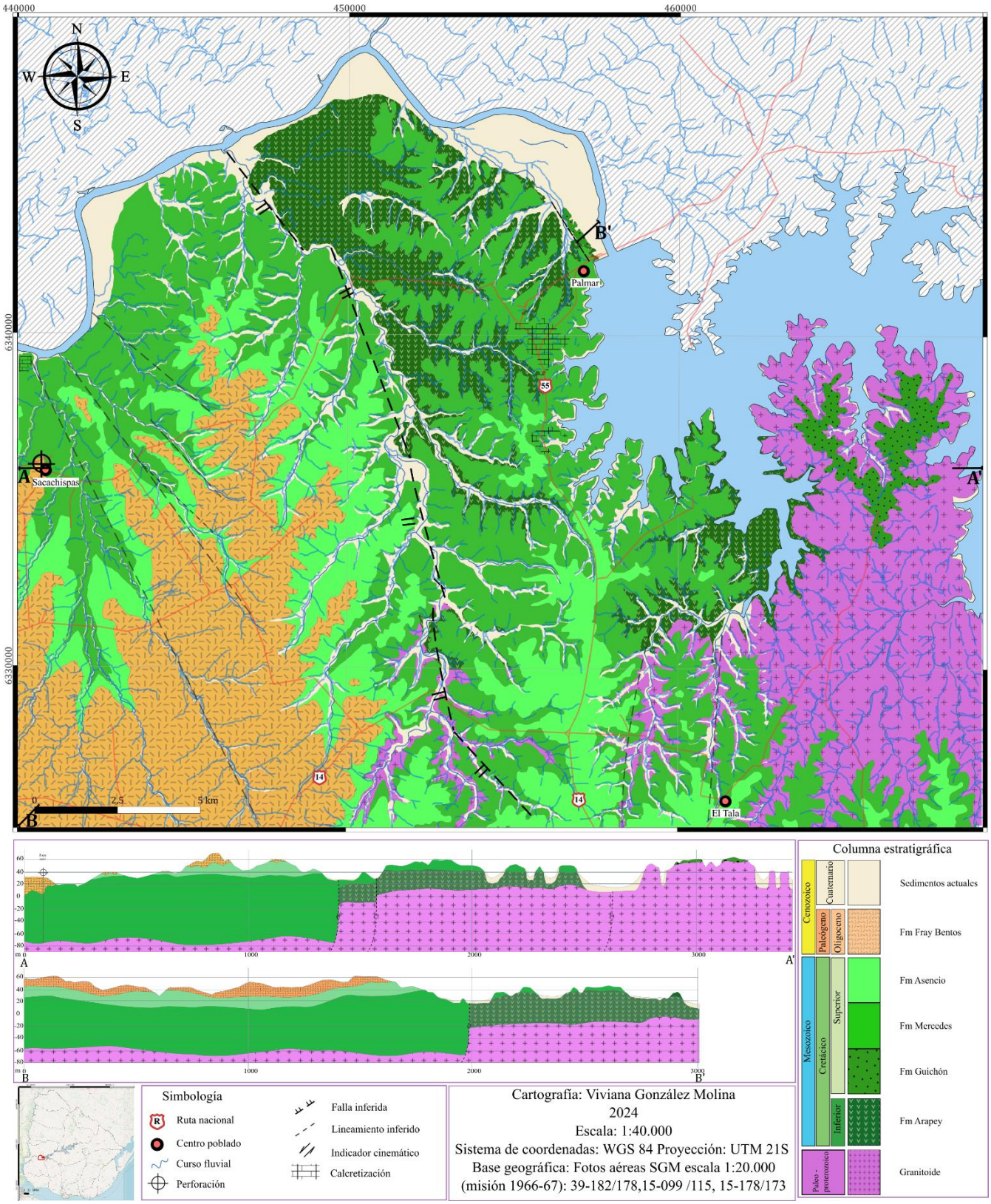


Figura .4.2 *Clasificación propuesta por Garzanti (2018) donde define 18 campos para la clasificación de arenas y areniscas cuarzo - feldespáticas y cuarzosas. Q= cuarzosa, qQ cuarzosa pura, F = feldespática, L = lítica, FQ = feldespato-cuarzosa (cuarzo > feldespato), fFQ = feldespato enriquecida, qFQ = cuarzo enriquecida, QF = cuarzo-feldespática (feldespato > cuarzo), LF = lito-feldespática, FL = feldespato-litica, QL = cuarzo-litica, LF = lítica-feldespática, lFQ = lito-feldespato-cuarzosa, lQF = lito-cuarzo-feldespatica, qLF = cuarzo-lito-feldespática, qFL = cuarzo-feldespato-litica, fQL = feldespato-cuarzo-litica, fLQ = feldespato-litica-cuarzosa. Modificado de Garzanti (2018).*

5. RESULTADOS

A partir de la interpretación de estos datos, se desarrolló el mapa geológico a escala 1:40.000 del área de estudio y dos cortes geológicos complementarios, así como también la clasificación de los litotipos de la Formación Mercedes presentes en el área.



5.1 Geología descriptiva del área de estudio

En el área de estudio se identificaron siete unidades diferenciables y cartografiables a la escala del presente trabajo, a continuación se describen los principales rasgos de cada una.

5.1.1: Basamento Cristalino

La secuencia estratigráfica en el área de estudio se apoya sobre el Basamento Cristalino, que en esta zona se compone por granitoides y granitoides deformados, ocupando 84 km^2. Se desarrolla en contacto erosivo con las suprayacentes Formaciones Arapey, Mercedes y Guichón.

Los afloramientos se ubican exclusivamente al este del Arroyo de Vera, asociados a los cauces de los Arroyos Tala, de Vera y sus principales afluentes como la Cañada de Pache Calero, Cañada Pantanosa y Arroyo Caracoles, cuyos cursos se encuentran siempre a cotas inferiores a 20 m; así como también comprendiendo una extensa zona donde son escasamente cubiertos por las Formaciones Guichón y Mercedes ya una cota máxima de 80 m hacia el este del área.

Se pueden encontrar afloramientos de esta unidad en varias canteras abandonadas de pequeño y gran porte, donde se explotó para caminería y materiales de construcción, siendo la de mayor tamaño la cantera ubicada en el Cerro Vera (*figura 5.1 C)*.

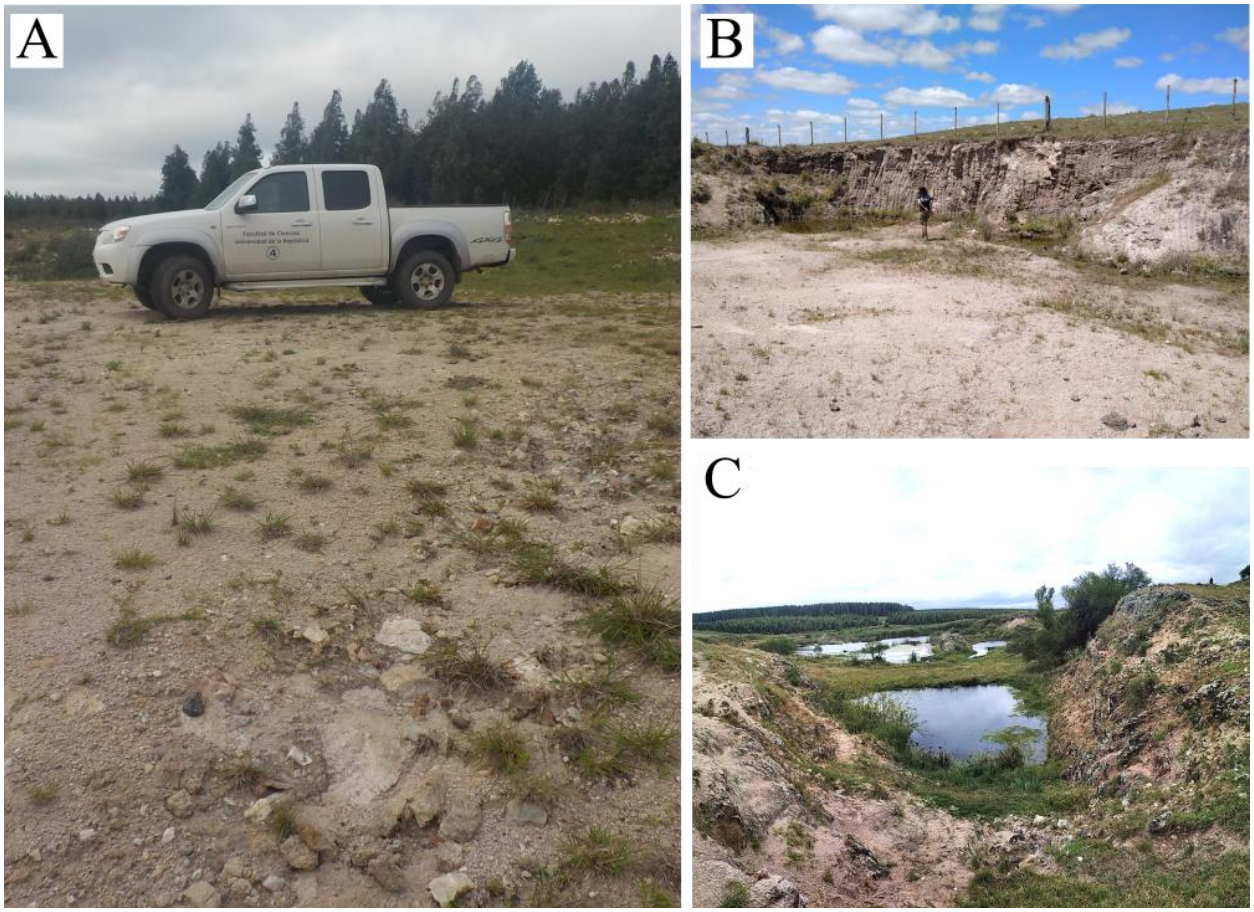


Figura 5.1: *Afloramientos de granitoides muy alterados* ***A*** *Imagen de cantera de balasto abandonada en los alrededores de Paso Vera.* ***B****. Imagen de cantera de balasto y piedra partida abandonada al borde del camino en los alrededores de El Tala.* ***C****. Imagen de cantera de balasto y piedra partida abandonada en Cero Vera.*

A escala macroscópica, se tratan de granitoides leucócratos, con textura inequigranular porfirítica, compuesta por cristales esporárdicos de biotita y muscovita, de tamaño aproximado 0.5 cm, con una matriz de cuarzo y feldespatos de grano medio (*figura 5.2)*.

Se distinguieron procesos de silicificación secundarios que afectaron algunas zonas de los afloramientos hacia el Este.

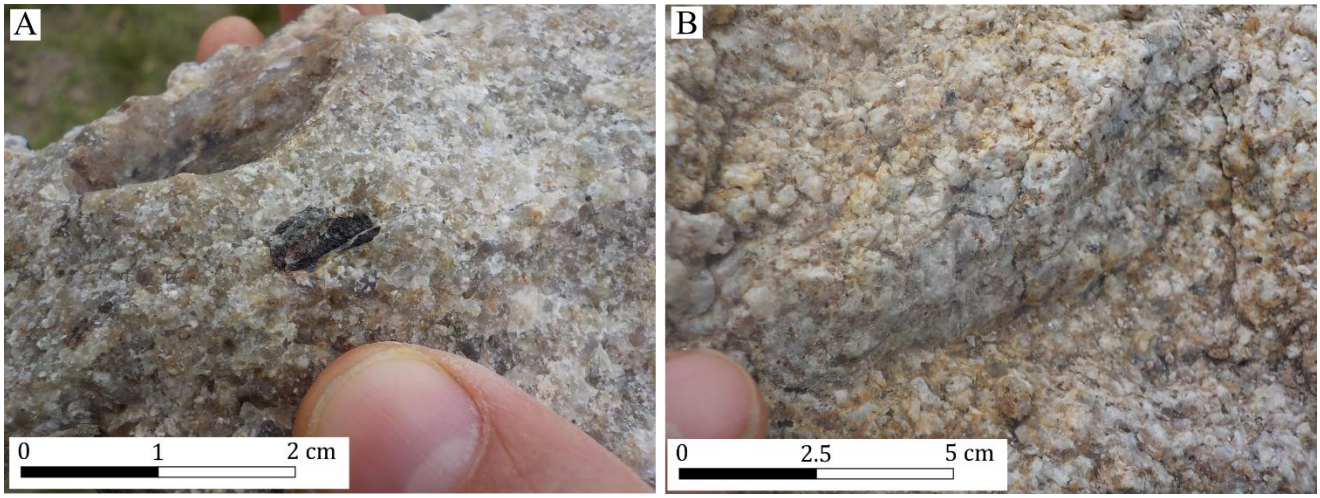


***Figura 5.2: A** Muestra de granitoide extraída de los alrededores de Paso Vera. **B**. Muestra de granitoide extraída de los alrededores de Cerro Vera.*

Localmente, en el camino hacia El Tala, se diferencian zonas con fallamiento en profundidad de rumbo entre N22 a N35 (*figura 5.3 A*). Pocos kilómetros más adelante se diferenciaron zonas con fallamiento en profundidad de rumbo N140 (*figura 5.3 B*), acompañada por venas de cuarzo de espesores entre 1 cm y 15 cm y rumbo N155 (*figura 5.4*).

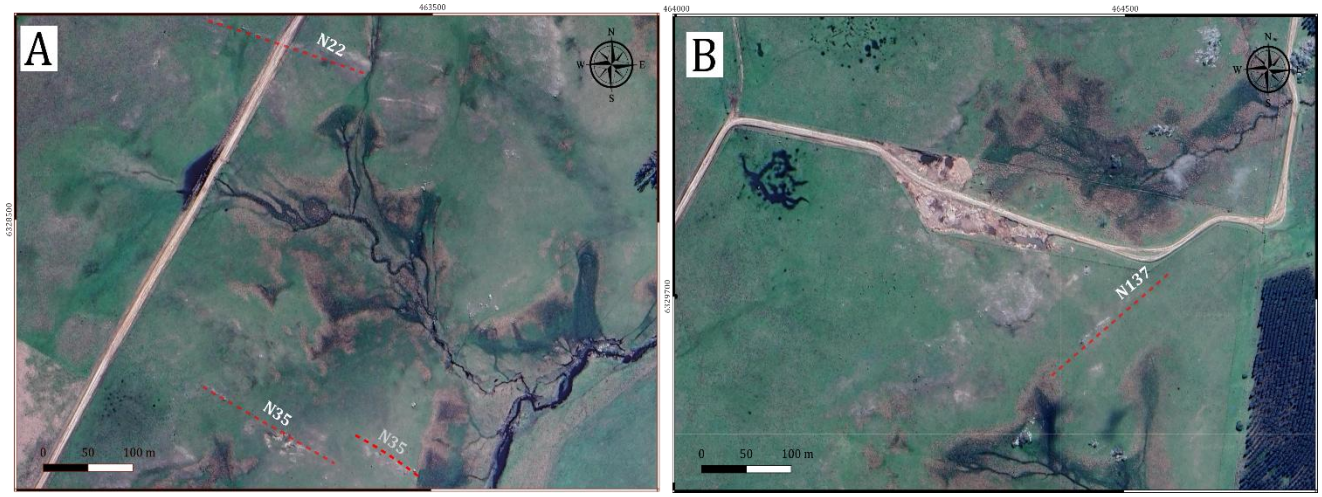


***Figura 5.3:** Vista satelital de los alrededores del pueblo El Tala, donde se distingue fallamiento en granitoides. **A** Granitoide con fallamiento en profundidad rumbo N22 a N35, subvertical. **B**. Granitoide con fallamiento en profundidad N140, subvertical.*

Figura 5.4: *Venas de cuarzo de espesor centimétrico y rumbo N155 recortando granitoide en cantera abandonada en los alrededores de el pueblo El Tala.*

5.1.2 Formación Arapey

Consisten en coladas de basalto muy alteradas, restrictos al este del Arroyo de Vera, y a los márgenes del Río Negro.

En el Norte del área y sobre el cauce del Arroyo de Vera se encuentran a cotas menores a 20 m, mientras que, sobre el cauce del Arroyo del Tala, afloran a cotas inferiores a 50 m. Son afloramientos de difícil acceso, pudiendo distinguirse sólo por fotolectura, cota y basándose en trabajos anteriores en el área de estudio. Se pueden distinguir a nivel de suelo, por lo general levemente cubiertos por sedimentos actuales, ya que los afloramientos diferenciados se encuentran asociados al margen de cursos de agua.

Las mejores exposiciones de esta unidad se encuentran en el lecho del Río Negro, en los alrededores de la Represa Hidroeléctrica Constitución (*figura 5.5)*, siendo particularmente evidentes en períodos de sequía, donde el basalto se encuentra más fresco. Se diferenciaron afloramientos muy alterados sobre los cauces de los arroyos de Vera y del Tala.

A macroescala, son basaltos, con microamigdalas rellenas de material secundario y alteración superficial rojiza por oxidación, sin poder diferenciarse estructura por su intensa meteorización.

Figura 5.5 Afloramiento de basaltos de la Formación Arapey visto desde el puente sobre la Represa Hidroeléctrica Constitución.

7.1.3 Formación Guichón

Se encuentra restricta a dos afloramientos escasamente desarrollados, ambos sufriendo procesos exógenos diferenciados como los son silicificación y calcretización, aflorando en aproximadamente 7 km^2.

Uno de los afloramientos se ubica al Este del área, entre cotas de 60 m y 75 m. Se desarrolla en inconformidad sobre la unidad de Granitoides y aflora en forma de suaves lomadas que actualmente se hallan forestadas.

A escala macroscópica, es una arenisca con clastos de tamaño arena gruesa a media (entre 0,3 mm y 1 mm). Se encuentra fuertemente silicificada, siendo este cemento secundario y distribuido de manera homogénea en toda la roca. La matriz no puede distinguirse fácilmente debido al alto grado de silicificación. Se destaca la presencia de estratificación cruzada y marcas de ripples (*figura 5.6*).

A escala microscópica son areniscas muy bien seleccionadas, con clastos de tamaño predominante 0.15 mm y máximo de 0.4 mm, compuestos por 77 % de cuarzo, 15 % de feldespato y 8% de fragmentos líticos. En la zona menos silicificada se pueden distinguir

clastos redondeados con contactos rectos, triples y tangenciales. Estos clastos se encuentran recubiertos por cemento silíceo isópaco de 0.025 mm de espesor predominante en su parte más silicificada (*figura 5.8 C y D*), llegando a tener pátina de arcilla de iluviación recubriendo los clastos de las zonas menos silicificadas. Dentro de los fragmentos líticos se distingue principalmente la abundancia de clastos de basalto (*figura 5.8 C y D)* y escasos clastos de circón (*figura 5.8 A y B*).

Figura 5.6 *Afloramiento de la Formación Guichón en el Noreste del área de estudio. Corresponde a una arenisca silicificada, con marcas de ripples.*

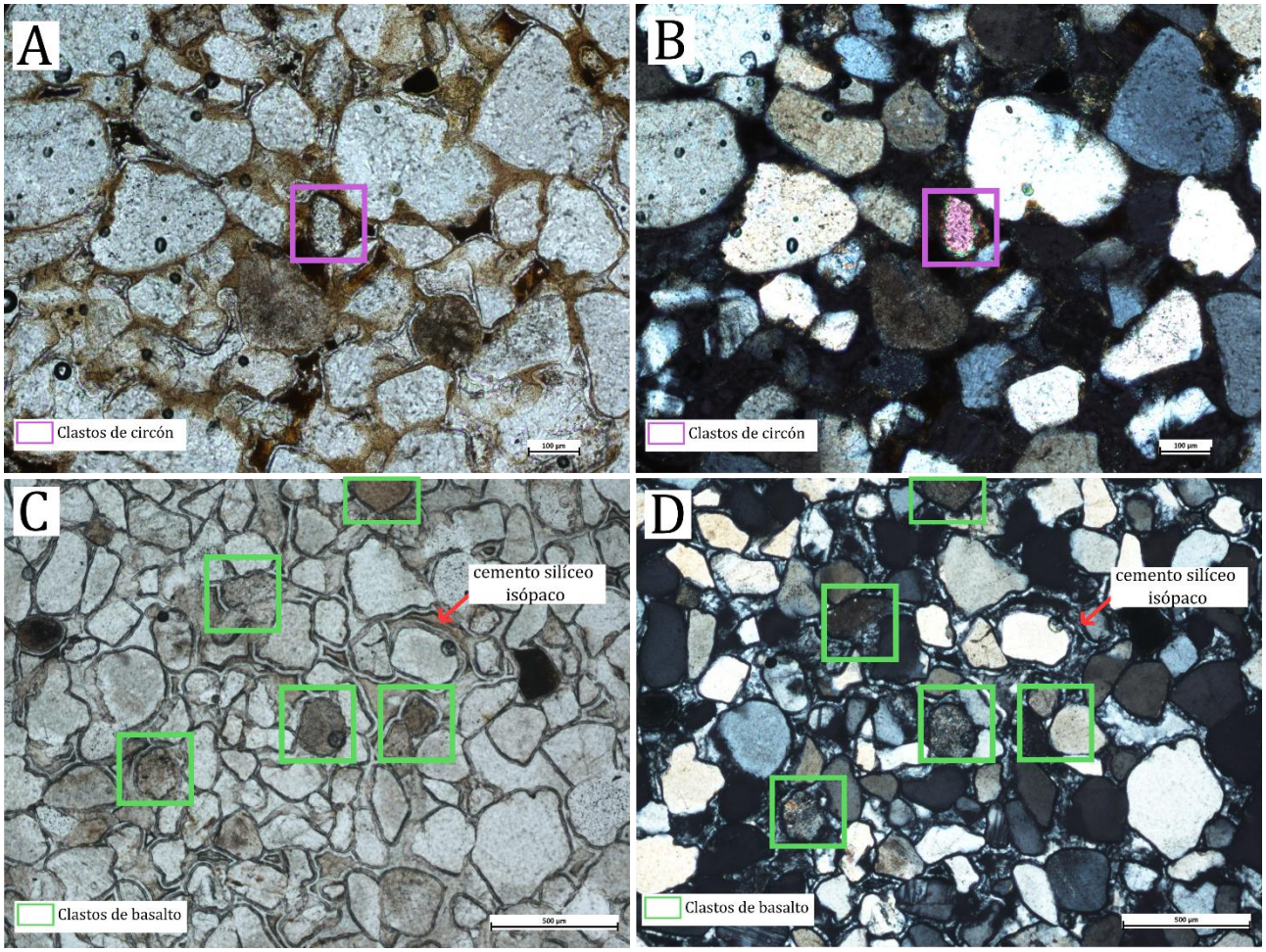


Figura 5.8 *Imagen de lámina delgada de muestras de afloramientos al Noreste del área de estudio correspondientes a la Formación Guichón.* ***A*** *sección de lámina delgada en Luz Natural mostrando un clasto de circón.* ***B*** *sección de lámina delgada en Luz Polarizada mostrando un clasto de circón.* ***C*** *sección de lámina delgada mostrando la abundancia de clastos de basalto, y cemento isópaco recubriendo los clastos.* ***D*** *sección de lámina delgada mostrando la abundancia de clastos de basalto, y cemento isópaco recubriendo los clastos.*

El otro afloramiento de la Formación Guichón se trata de una cantera abandonada (*figura 5.9*) que se encuentra al Norte del área, en los alrededores de la Represa Hidroeléctrica Constitución, apoyado sobre la Formación Arapey, entre cotas de 20 m y 30 m, sin poder observarse el contacto entre ambas.

Consiste en una roca consolidada, de granulometría homogénea, porosa, con coloración heterogénea y selección media (*figura 5.10A*). Está compuesta de arena fina con tamaños entre 0,5 mm y 0,1 mm). Los clastos son subangulosos y subesféricos, con alrededor de 88% de cuarzo, principalmente blanco y opaco, 10% de feldespato y 2% de fragmentos líticos.

Posee también niveles con clastos tamaño grava fina, entre 2 mm y 3 mm, llegando a un tamaño máximo de 6 mm.

Figura 5.9 *Vista panorámica de cantera abandonada donde aflora la Formación Guichón, en los alrededores de la Represa Constitución.*

Esta roca sufrió un proceso de calcretización (*figura 5.10B*), en donde el carbonato de calcio se distribuye heterogéneamente en la roca de varias formas. Por un lado, se puede observar recortando la misma con finas venillas carbonáticas, y por otro, desarrollado ampliamente como cemento, llegando en algunas zonas a formar lentes de carbonato. Esta calcretización se hace más leve hacia el tope de la sucesión.

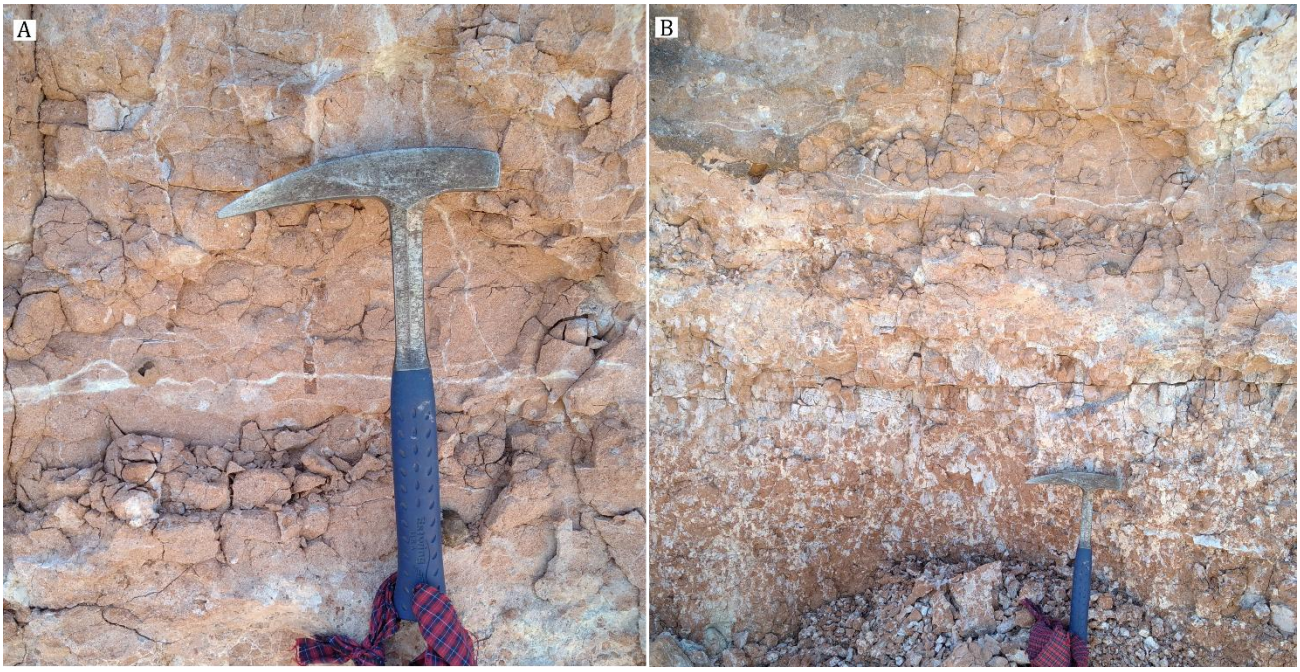
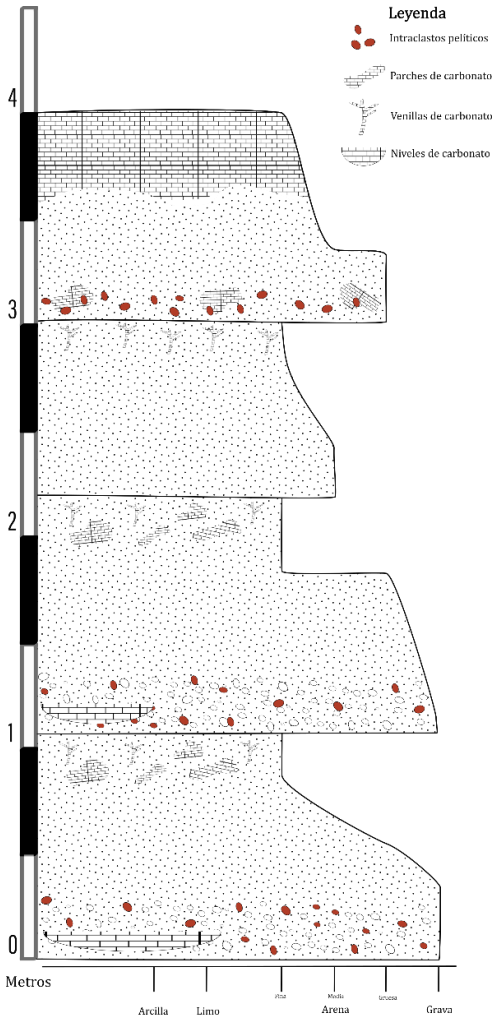


Figura 5.10 *Foto de las litologías aflorantes en una cantera abandonada de la Formación Guichón, en los alrededores de la Represa Constitución.* ***A*** *Arenisca recortada por venillas de carbonato de calcio.* ***B*** *Arenisca que sufrió procesos de calcretización.*

El perfil correspondiente al afloramiento antes mencionado (*perfil 1*) tiene aproximadamente 4 m de potencia. A la base presenta dos estratos de similares características, que gradan de grava arenosa a arenisca fina. A la base de estos dos estratos granodecrecientes se intercalan intraclastos pelíticos, con tamaño predominante de 6.5 cm, y clastos de grava con tamaño máximo de 5 cm, presentando niveles de carbonatos de alrededor de 15 cm de potencia. Al tope de estos estratos se encuentran niveles con venillas y parches de carbonatos. Por encima de estos se desarrolla un estrato de arenisca media que grada a arenisca fina con venillas de carbonato. Sobre este, se encuentra un estrato de arenisca granodecreciente, que a la base presenta clastos de arena gruesa intercalada con intraclastos pelíticos, de tamaño predominante de 1 cm, y parches de carbonato, presentando al tope arenisca media. Culmina el perfil con un banco de carbonato de aproximadamente 50 cm de potencia con clastos de arenisca fina, sin poder determinarse los límites laterales.



Perfil 1 *Perfil litológico de la Formación Guichón aflorando en una cantera abandonada en los alrededores de la Represa Hidroeléctrica Constitución.*

5.1.4 Formación Mercedes

Se encuentra aflorando en la mayor parte del área, ocupando 83 km^2 de la misma. Se desarrolla principalmente hacia el centro y Norte del área encontrándose a cotas variables entre 30 m al Norte del área y 90 m al Sur. Al presentar gran variabilidad litológica, la descripción de las rocas aflorantes se desarrollará en la sección 5.2 y los perfiles en la sección 5.3.

Aflora tanto desarrollando escarpas métricas a decimétricas (*figura 5.11 A, B y C*) en las proximidades de cauces o pequeños cursos esporádicos, lo cual hace que puedan distinguirse desde una distancia considerable, así como también formando zonas planas (*figura 5.11 D*).

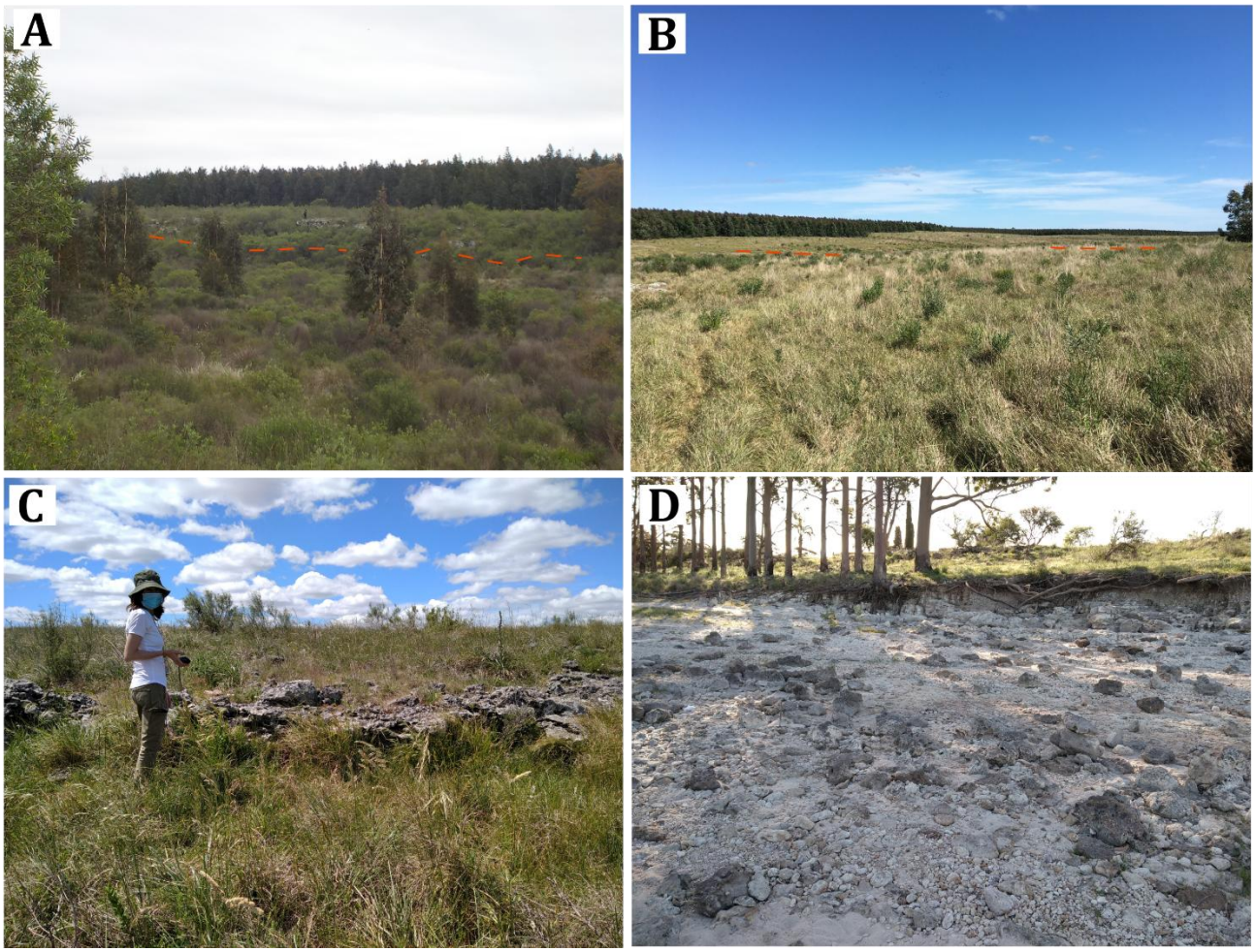


Figura 5.11 *Vista panorámica de afloramientos de la Formación Mercedes en el área de estudio* ***A*** *Afloramientos de la Formación Mercedes en los alrededores de Paso Vera, en línea punteada roja el escarpe* ***B*** *Afloramientos de la Formación Mercedes al borde de la ruta 55, en línea punteada roja el escarpe.* ***C*** *Afloramiento de la Foramación Mercedes en los alrededores de Cerro Vera, forman una escarpa de alrededor de 50 cm de potencia* ***D*** *Afloramiento de la Formación Mercedes a nivel de suelo en los alrededores de la Represa Palmar, sobre el Río Negro.*

De todos los puntos relevados, sólo se pudieron distinguir estructuras sedimentarias en tres de ellos, puntos 7, 28 y 57, lo cual imposibilitó la clasificación de la unidad en litofacies. Particularmente los puntos 7 y 28 se encuentran próximos al contacto con el Basamento Cristalino, a cotas entre 30 y 40 m en los alrededores del Arroyo de Vera.

Los afloramientos del punto 28 (*figura 5.12 A y B*) corresponden a una arenisca conglomerádica, con clastos de grava esporádicos de hasta 8 cm. Presentan estratificación cruzada tabular planar, donde se midieron paleocorrientes con direcciones N124 y N85.

Los afloramientos del punto 7 (*figura 5.12 C*) corresponden a un conglomerado arenoso, con esqueleto con gravas de hasta 7 cm. Presenta paquetes tabulares con estratificación cruzada y sets de 30 cm, con dirección de paleocorriente N86.

En cuanto al punto 57 (*figura 5.12 D, E y F*), se encuentra en las proximidades de la ruta 55 a una distancia de alrededor de 600 m del Río Negro, y cota de 48 m. Se trata de una arenisca conglomerádica de matriz arena media y esqueleto grava fina, con estratificación cruzada y paleocorrientes N85 y N40.

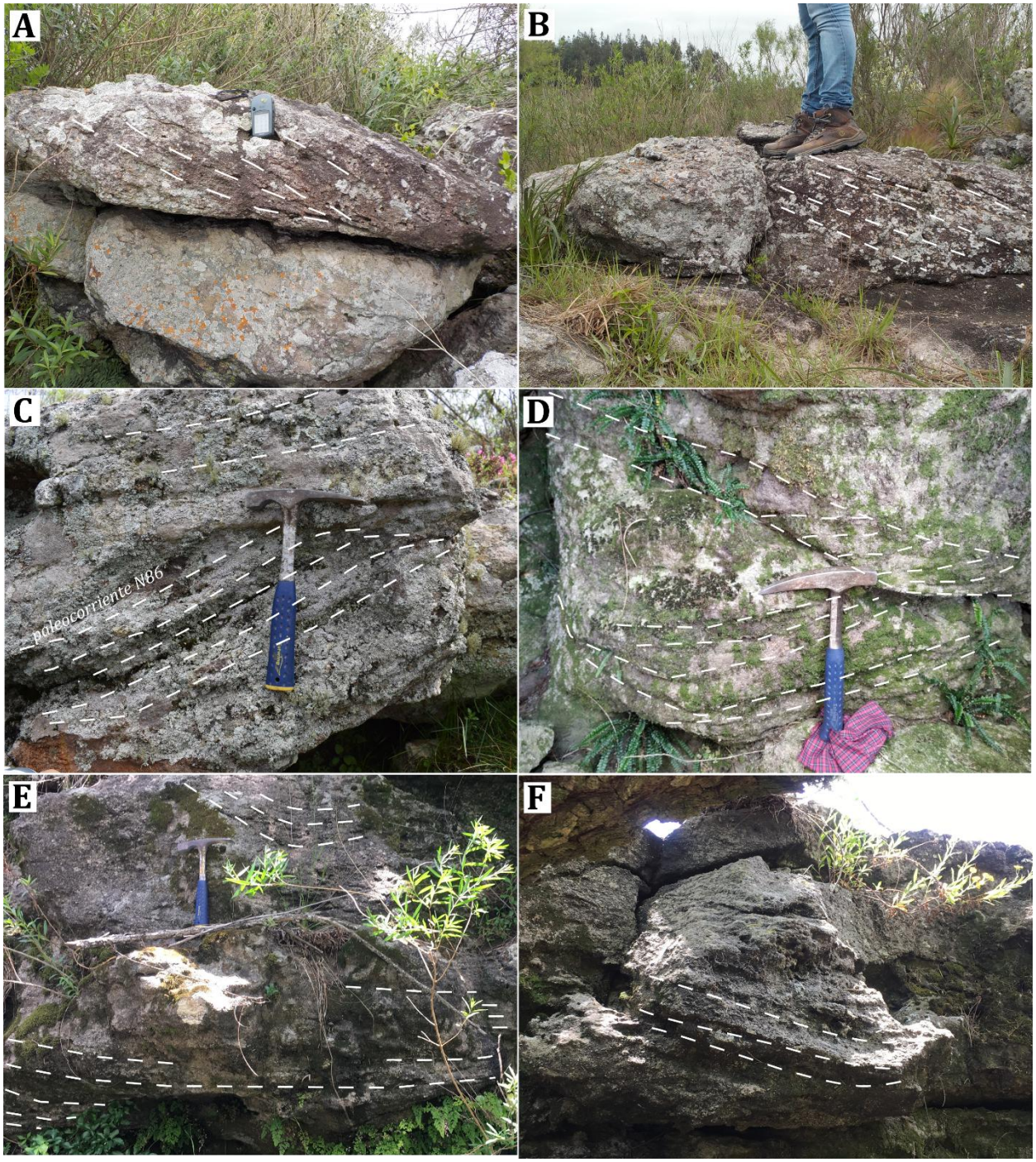


Figura 5.12 *Afloramientos de la Formación Mercedes donde se pudo distinguir estratificación* ***A, B*** *Afloramientos de areniscas conglomerádicas de la Formación Mercedes con estratificación cruzada con rumbos N124 y N85, en los alrededores de Paso Vera, cercano al contacto con el Basamento Cristaliano.* ***C*** *Afloramientos de areniscas conglomerádicas de la Formación Mercedes, con estratificación cruzada en los alrededores del Arroyo de Vera. Se pudo medir paleocorriente con dirección N86, cercano al Basamento Cristalino.* ***D, E y*** *F Afloramientos de arenisca conglomerádica de la Formación Mercedes con estratificación cruzada N85/17E y N40/7E, estructuras de canal y paleocorrientes N85, en los alrededores de la Ruta 55.*

Como característica complementaria, en los afloramientos de los puntos 22 y 23, en los alrededores de Paso Vera, se observó una familia de fracturas en areniscas con cemento silíceo, midiéndose rumbos de entre N10-N20E y N125-N130E, verticales a subverticales, con espaciamiento de alrededor de 30 cm (*figura 5.13*).

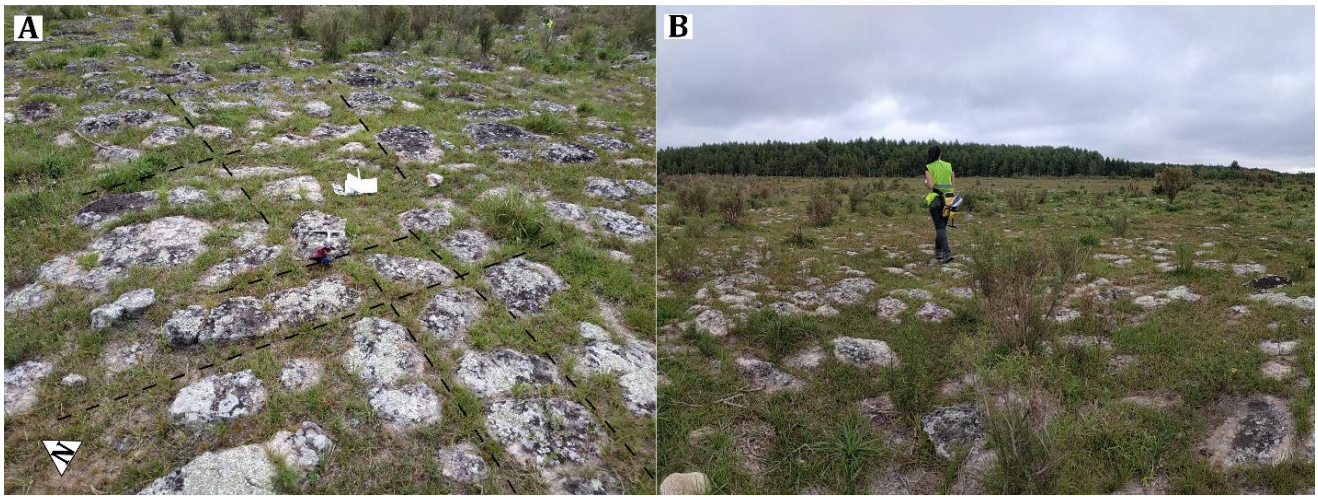


Figura 5.13 *Afloramiento de Formación Mercedes en el punto 26, en los alrededores de Paso Vera, donde se observa una familia de fracturas en areniscas silicificadas, con rumbos N10-N20E y N125-N130E, verticales a subverticales.*

En cuanto a los contactos con las formaciones linderas, si bien el área fue elegida por la variedad de contactos descritos en la literatura geológica, en campo solo se pudo encontrar un contacto erosivo con el Basamento Cristalino en el Cerro Vera, punto 2, expuesto por la remoción propia de la cantera (*figura 5.14*), y se infirieron contactos entre los puntos 5 y 7, y entre los puntos 76 y 77 (*figura 5.15*).

En el caso de los afloramientos asociados al Cerro Vera, en la transecta Oeste a este desde el empalme entre la ruta 14 y 55 hasta dicho cerro, comprendiendo los puntos 1, 2, 9, 29 y 30, se relevaron afloramientos de las Formaciones Asencio, Mercedes y Basamento Cristalino. En este caso, se pudo encontrar un contacto erosivo entre el Basamento Cristalino y la Formación Mercedes (*figura 5.14*).

A la base se distingue un granitoide fresco correspondiente al Basamento Cristalino, por encima un nivel de sedimentos basales de aproximadamente 50 cm con fragmentos de dicho granitoide de un tamaño de alrededor de 40 cm con arenas y gravas correspondientes a la Formación Mercedes, y por encima depósitos de conglomerado arenoso correspondiente a la Formación Mercedes, con estratificación cruzada.

Figura 5.14 *Contacto erosivo entre el Basamento Cristalino y la Formación Mercedes, en el Cerro Vera. Se diferencia de base a tope Granitoides asociados al Basamento Cristalino, fresco,50 cm de sedimento basal compuesto por bloques de los granitoides, con arenisca conglomerádica de la Formación Mercedes, y conglomerado arenoso de la Formación Mercedes, con estratificación cruzada. Foto cortesía de Facundo Plenc y Sebastián Mármol.*

En esta zona, los afloramientos correspondientes a la Formación Mercedes son areniscas conglomerádicas y conglomerados arenosos, sin silicificación. El conglomerado arenoso se compone de grava fina a media, con clastos esporádicos de grava gruesa con 80 % de cuarzo, 10 % de feldespato y hasta 10 % de fragmentos líticos, principalmente fragmentos de granitoide, inmersos en una matriz de arena media a gruesa. La arenisca conglomerádica se compone de una matriz de arena media a gruesa, cuarzosa, con clastos de grava fina.

En el camino hacia el pueblo El Tala, se puede realizar una transecta SurOeste a Noreste que comprende desde el punto 74 al 88, diferenciándose afloramientos de la Formación Asencio, Formación Mercedes, Granitoides y Formación Guichón, todos a una cota de entre 70 y 80 m. En ningún afloramiento de esta transecta se pudo observar un contacto entre estas unidades, ya que el mismo estaba cubierto por vegetación, pudiéndose inferir los límites de las unidades por fotointerpretación (*figura 5.15*). En esta zona, los afloramientos correspondientes a la Formación Mercedes son areniscas conglomerádicas, con 20% de esqueleto tamaño grava fina y matriz arena media, compuesta principalmente por cuarzo, con alrededor de 5% de fragmentos líticos, y 5 % de feldespato.

Otra zona de contacto en la bibliografía son los alrededores de Paso Vera, sin embargo, la vegetación es tan abundante que no permitió diferenciar una zona de contacto neta. Aquí se pudo realizar un perfil compuesto que se ilustra en el perfil 2 de la sección 5.3. Se encontraron dos afloramientos del Basamento Cristalino, uno sobre una cañada que desemboca a pocos metros en el Arroyo de Vera (punto 5) a una cota de 48 m, y el otro al Sur de dicha cañada correspondiendo a una cantera abandonada (punto 99) a una cota de 50 m.

Hacia el Norte de dicha cañada, y a una cota de 52 m se encuentran afloramientos de la Formación Mercedes (puntos 7 y 28), que corresponden a un conglomerado arenoso con estratificación cruzada (*figura 5.13 C*).

En la literatura geológica se menciona un contacto entre las Formaciones Mercedes y Asencio en Paso Vera, ubicado en la intersección entre la Ruta 14 y el Arroyo de Vera (punto 1). Se recorrió el área y solo se pudo diferenciar una zona con material removido, probablemente como restos de la construcción del camino (*figura 5.16*), que a simple vista podría confundirse con un afloramiento.

En el resto del área estudiada no se encontraron contactos entre las Formaciones Mercedes y Asencio, siendo inferidos por fotointerpretación.

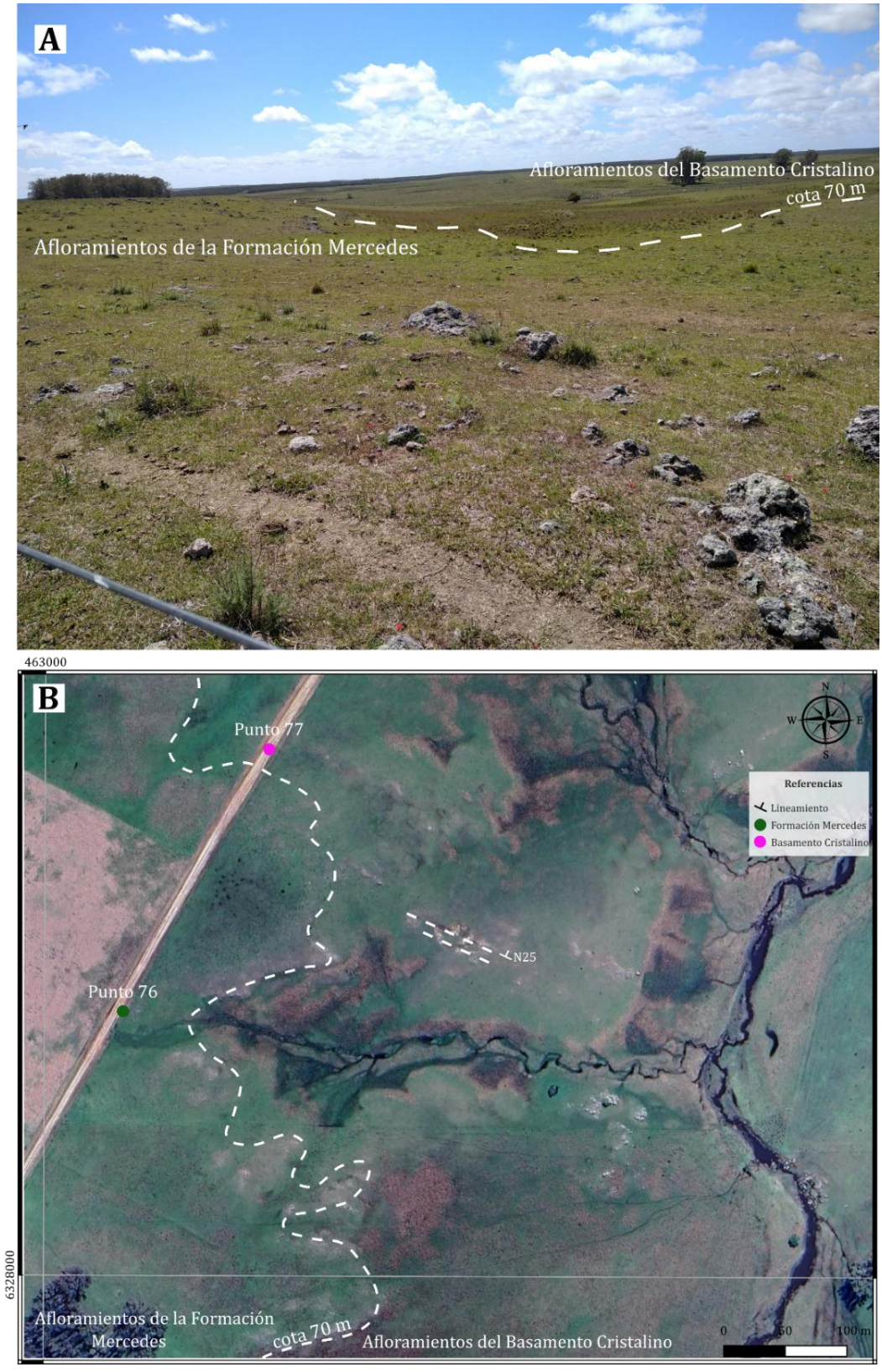


Figura 5.15 *Vista en detalle de un sector del área en contacto entre el Basamento Cristalino y la Formación Mercedes en el camino hacia el pueblo El Tala* ***A****. Vista panorámica desde el Camino hacia el SE, donde se distinguen afloramientos de la Formación Mercedes y el Basamento Cristalino.* ***B*** *Imagen satelital mostrando los alrededores de la foto panorámica de la imagen* ***A,*** *donde en el punto 76 se observan afloramientos de la Formación Mercedes y el punto 77 se observan afloramientos del Basamento Cristalino foliado.*

Figura 5.16 *Material removido al borde de camino en Paso Vera, encontrado al buscar el contacto entre las Formaciones Mercedes y Asencio.*

5.1.5. Formación Asencio

Ocupa alrededor de 23 km^2 del área de estudio. Se encuentra restricta a cotas entre 30 m y 60 m al Oeste del Arroyo de Vera, donde sobreyace a la Formación Mercedes y subyace a la Formación Fray Bentos, mientras que al este del área sobreyace a la Formación Mercedes con cotas de hasta 90 m. Dependiendo del grado de ferrificación, los afloramientos pueden distinguirse como cornisas ferrificadas o como afloramientos a nivel de suelo (*figura 5.17 D*), dentro de los cuales se observan restos de columnas (*figura 5.17 A y B*), areniscas blanquecinas o moteadas. Las mejores exposiciones se observan en canteras, donde se explotan los niveles de concreciones nodulares y cornisas como material para caminería.

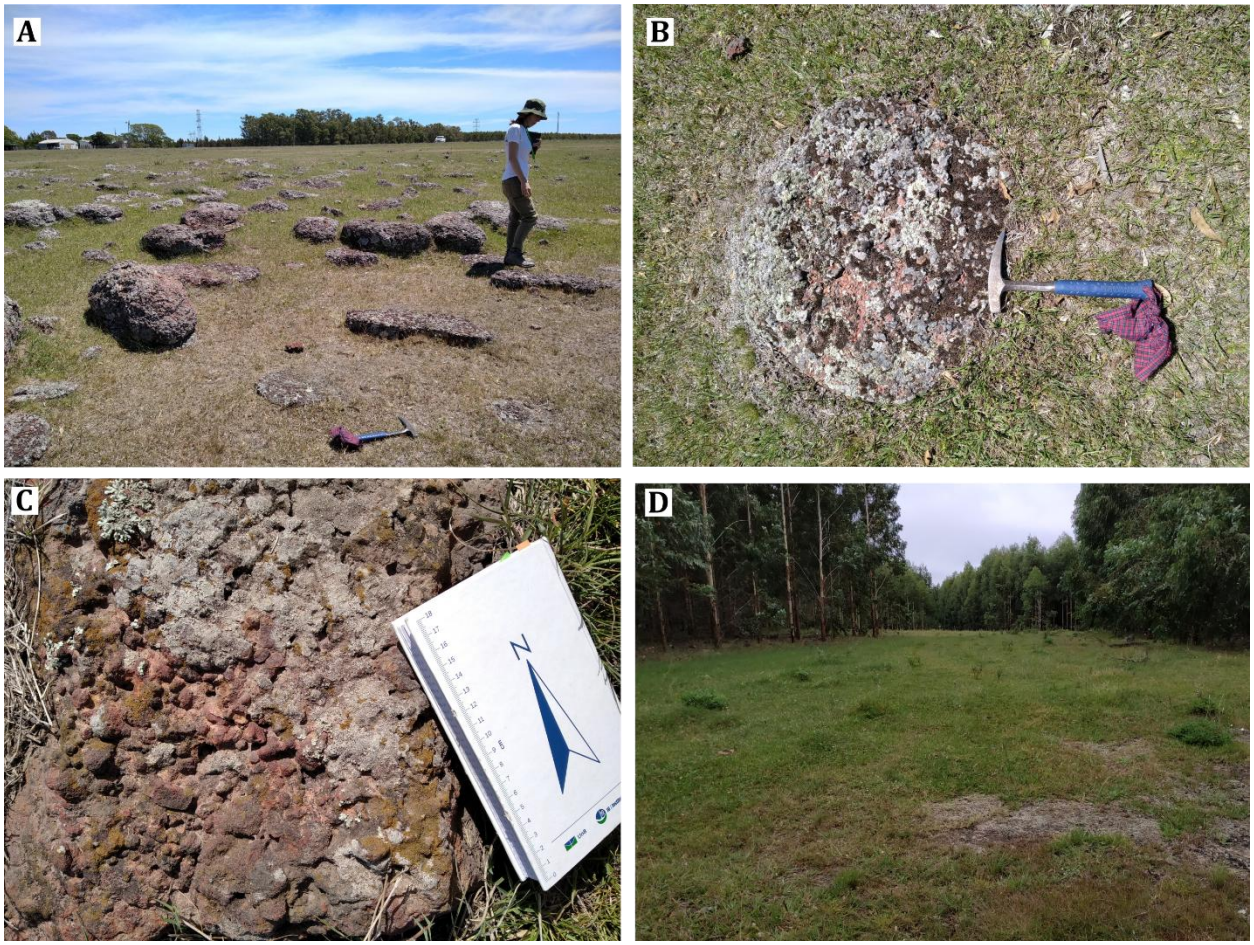


Figura 5.17 *Vista en detalle de la naturaleza de los afloramientos de la Formación Asencio en el área de estudio* ***A.*** *Afloramiento de restos de columnas ferrificadas de la Formación Asencio en los alrededores de la Ruta 55.* ***B.*** *Detalle de resto de columna ferrificada de la Formación Asencio en los alrededores de la Ruta 55.* ***C.*** *Vista en detalle de arenisca ferrificada de la Formación Asencio en los alrededores de Paso Vera.* ***D.*** *Vista en detalle de afloramiento de la Formación Asencio en la Forestal Lobo de Mar, en los alrededores del Arroyo de Vera.*

Litológicamente se trata de areniscas maduras textural y composicionalmente, con clastos tamaño arena media a fina, predominando los clastos de 0,1 mm, morfológicamente son esféricos y redondeados a subredondeados. Está compuesta dominantemente por cuarzo, en aproximadamente 96%, 2% de feldespato y 2% de fragmentos líticos, representando según la clasificación Garzanti (2018) es una arenisca cuarzosa pura (qQ). Dentro de los fragmentos líticos se observa biotita, y muscovita. Esporádicamente, presenta clastos arena gruesa a muy gruesa con tamaño predominante de 0,7 mm y un tamaño máximo de 1,2 mm (*figura 5.18 A y B)*.

Presenta cemento arcilloso masivo, en su nivel inferior, o cemento con contenido de óxido de hierro en diferente concentración, lo que le otorga a la roca su variable grado de ferrificación. Particularmente hacia el centro del área de estudio presenta cemento silíceo.

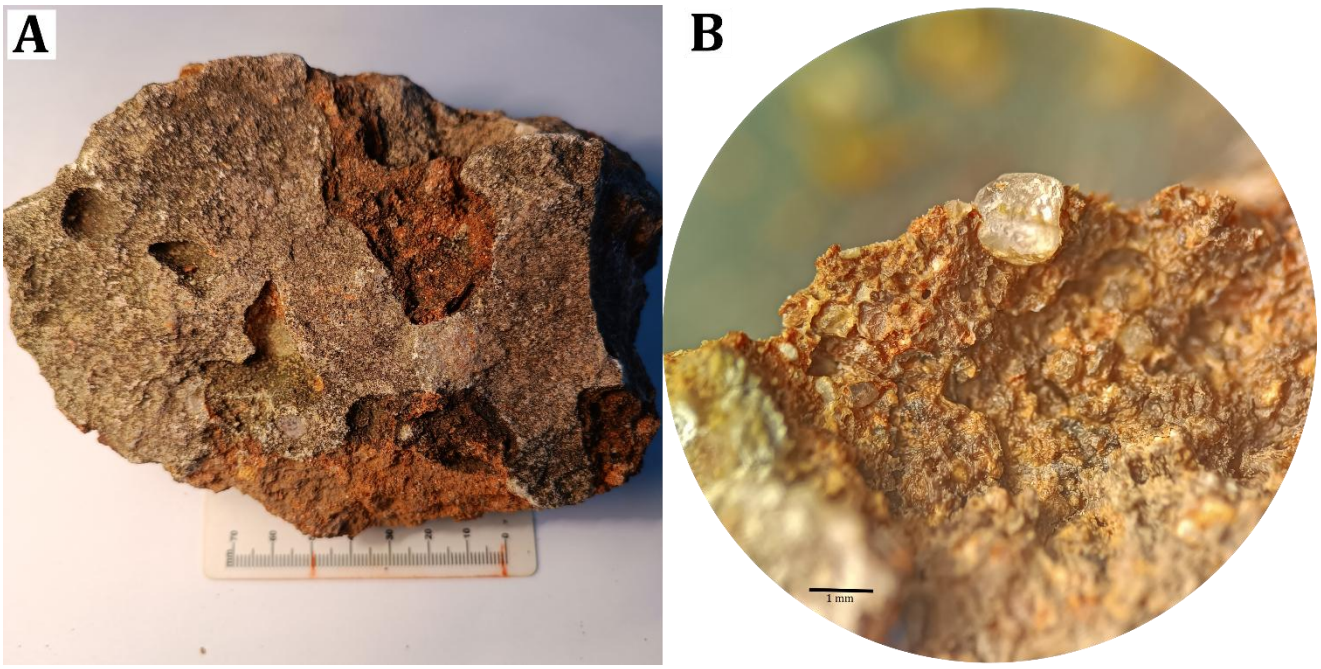


Figura 5.18 *Vista en detalle de roca de la Formación Asencio* ***A*** *Muestra de mano de arenisca ferrificada de la Formación Asencio, aflorante en los alrededores de Paso Vera.* ***B*** *Vista en detalle en lupa binocular de la roca de la imagen* ***A,*** *distinguiéndose la composición cuarzosa y el cemento óxido de hierro.*

7.1.6. Formación Fray Bentos

Los afloramientos de la Formación Fray Bentos están restrictos al Oeste del Arroyo de Vera, encontrándose entre cotas de 40 m y 80 m. Ocupa el tope de la sucesión estratigráfica, abarcando un área de 28 km^2 de la zona de estudio.

En campo se observa como suaves lomadas, generalmente cultivadas, suprayaciendo las Formaciones Mercedes y Asencio. Las mejores exposiciones son artificiales y están dadas al costado de las rutas o caminos.

Es un material mal seleccionado, masivo, con un esqueleto de arena fina a media y clastos esporádicos de grava fina como clastos flotantes. Predomina una matriz es limo arcillosa que se caracteriza por el alto contenido de carbonato como cemento, o en forma de nódulos y venillas (*figura 5.19 B y C*).

Se diferencian gran cantidad de cárcavas dadas por la susceptibilidad a la erosión que tiene la unidad.

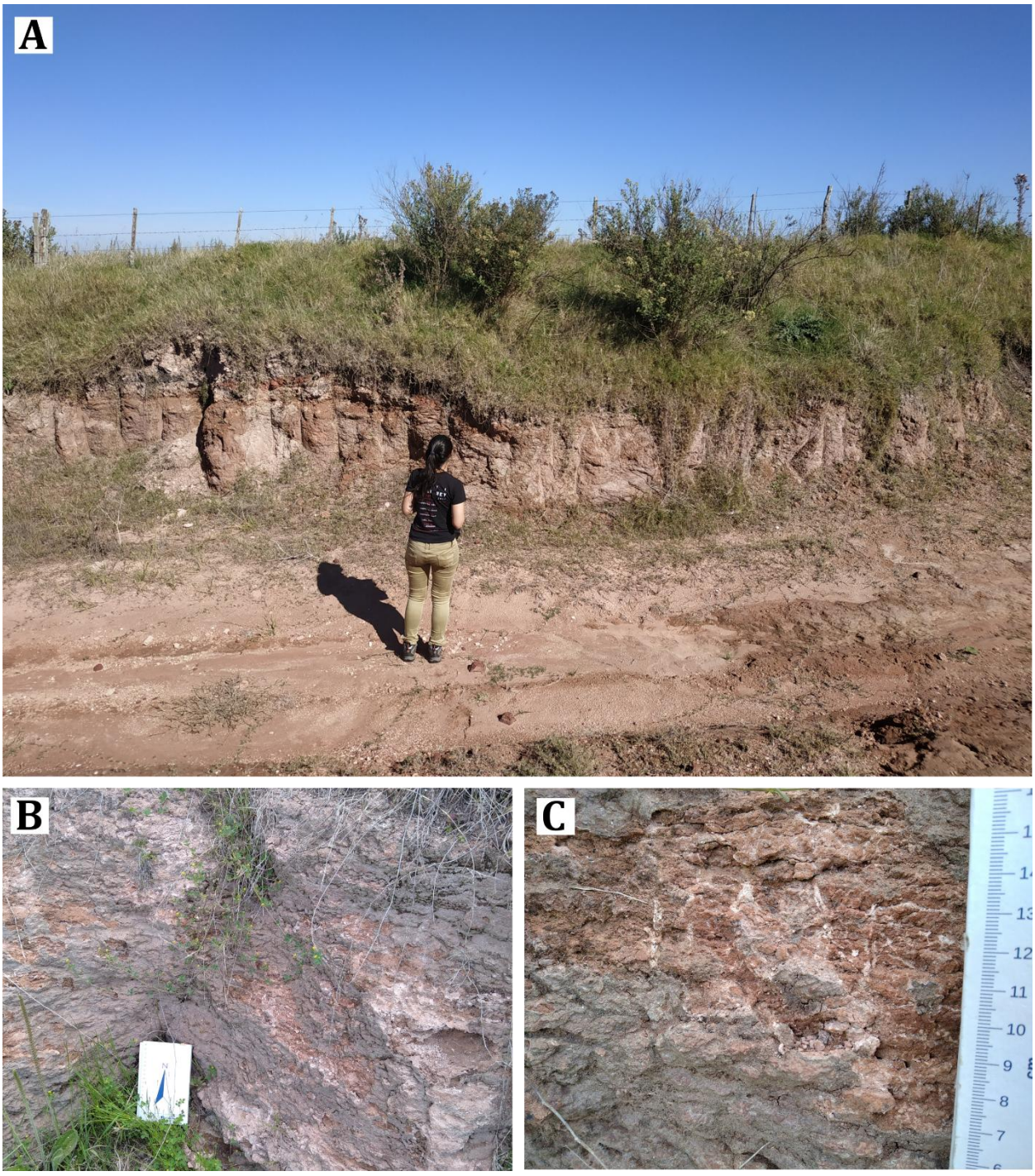


Figura 5.19 A. *Vista en detalle de una exposición artificial de la Formación Fray Bentos en los alrededores de Sacachispas.* ***B y C.*** *Vista en detalle de la litología de la Formación Fray Bentos en el punto antes mencionado, donde se distingue una litología predominantemente limo-arcillosa, con esqueleto arenoso.*

5.1.7. Sedimentos actuales

Están constituidos por depósitos fluviales relacionados a los entalles de los actuales cursos de agua. Los depósitos más significativos se encuentran asociados al sistema del Río Negro, y secundariamente a los Arroyos de Vera y Tala.

Al Norte del área, asociados al sistema del Río Negro, se identifican estos sedimentos con granulometrías variables entre arenas y gravas, a cotas inferiores a 20 m, presentando abundante cubierta vegetal. Se diferencia una planicie aluvial, barras en punta y longitudinales, y cursos de agua esporádicos (*figura 5.20 A, B y C)*.

Por otra parte, asociados a cauces de menor amplitud, pueden encontrarse sedimentos con tamaño variable desde fracciones finas, limo-arcillosas en la zona de inundación, a arenas y gravas gruesas formando parte del lecho del cauce, por lo que poseen gran variedad textural y composicional (*figura 5.20 D)*.

Si bien en el área de estudio se ha mencionado la presencia terrazas de sedimentos limo-arcillosos de la Formación Dolores, principalmente en los alrededores del Arroyo Perico Flaco, estos afloramientos no resultan mapeables a la escala del presente trabajo.

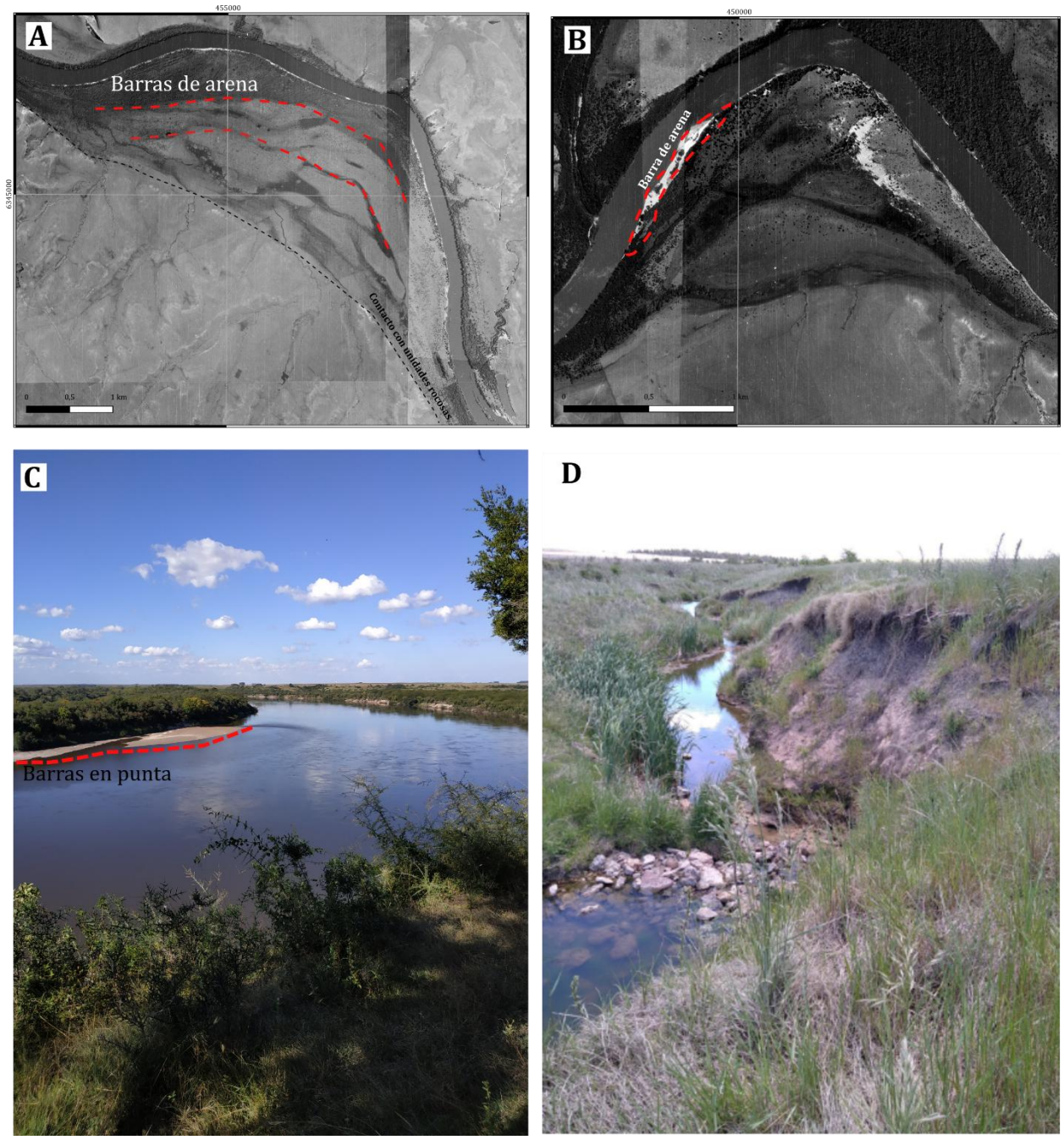


Figura 5.20 *Vista en detalle de exposiciones de sedimentos actuales en el área de estudio* ***A y B.*** *Vista en detalle del cauce del Río Negro en fotografía aérea del Servicio Geográfico Militar (1966), donde se distinguen barras de arena y cursos esporádicos.* ***C.*** *Vista desde el Cerro de los Claveles, donde se distinguen barras de arena en el cauce del Río Negro.* ***D.*** *Vista en detalle del cauce de la Cañada Pantanosa, donde se distinguen gravas y arenas en el lecho.*

5.1.8 Geología estructural

En base al análisis de la naturaleza de los depósitos, se pudo inferir una falla asociada al cauce del Arroyo de Vera (*figura 5.21)*. El rasgo distintivo es el cambio de litologías a ambos lados de dicho arroyo. Hacia el Oeste, podemos encontrar ampliamente desarrollada la Formación Fray Bentos, a cotas entre 40 m y 80 m, y la Formación Asencio a cotas de entre 30 m y 60 m. Al Este del área se puede encontrar Basamento Cristalino y rocas de las Formaciones Arapey y Guichón, además de que las rocas de las Formaciones Mercedes y Asencio se encuentran a cotas mayores que la zona Oeste. A su vez, en el pozo N° 1031 no se perforaron rocas de la Formación Arapey ni la Formación Guichón. Por lo tanto, se propone una falla normal con dirección NW y ascenso del bloque Este.

También se infirieron lineamientos (*figura 5.21),* que se distinguen por la morfología de los cauces. Hacia el bloque Oeste, se distingue una familia de lineamientos con dirección NW, asociados al Arroyo Perico Flaco, Cañada Denis, Cañada Mala y Cañada de las Palmas. Por otra parte, hacia el Sur del bloque Este, se separó una familia de lineamentos con dirección NNE, asociada al Arroyo del Tala y Cañada Brava, los cuales pudieron controlar los escasos afloramientos de la Formación Arapey.

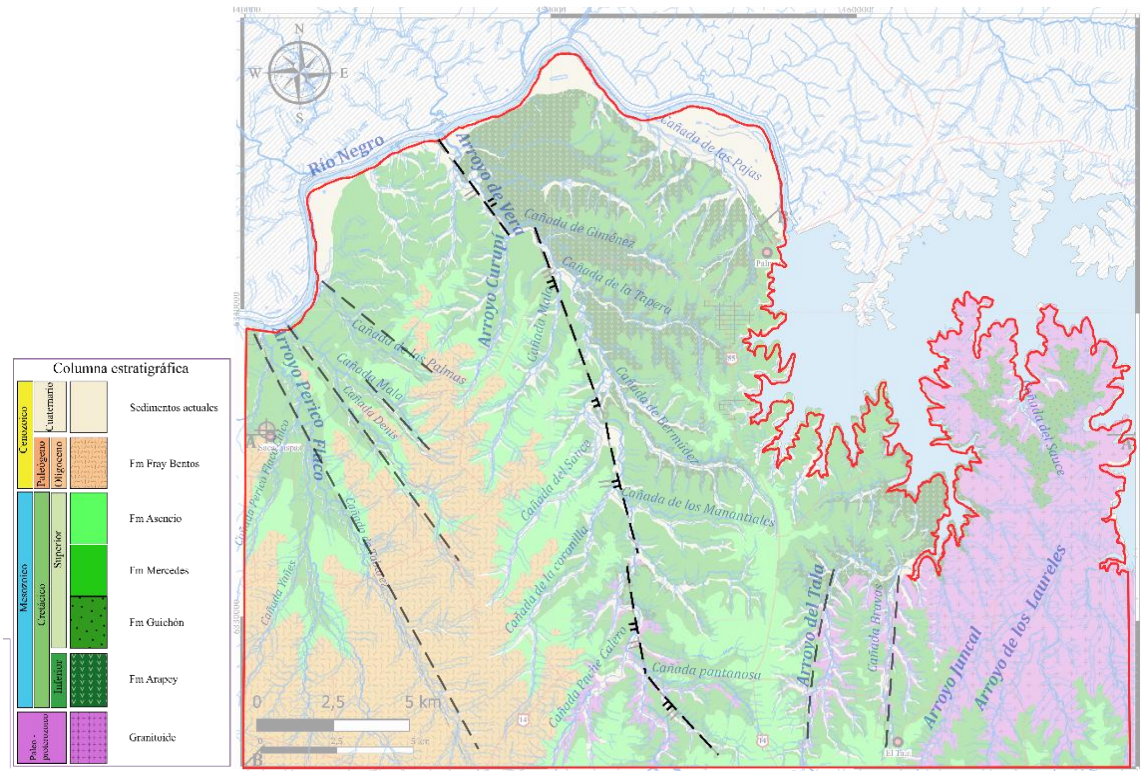


Figura 5.21 *Propuesta de falla y lineamientos para el área de estudio.*

5.1.9 Cortes geológicos

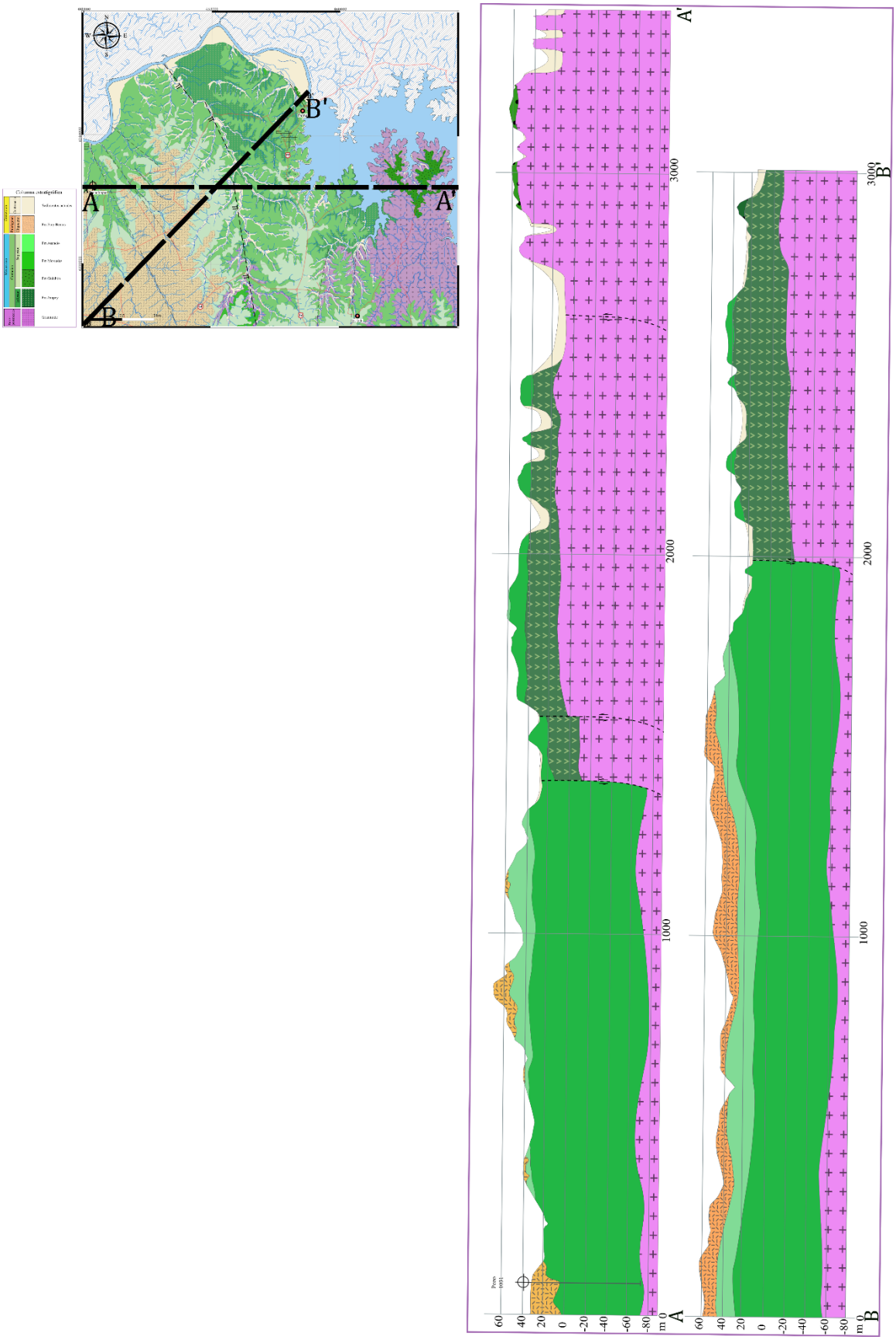


Figura 5.22 *Propuesta de cortes geológicos para el área de estudio.*

5.2. Litotipos de la Formación Mercedes

El estudio detallado de la Formación Mercedes mostró la existencia de una variedad de litologías psamíticas y psefíticas, así como también la acción de procesos exógenos de calcretización y silicificación. Para la clasificación de los litotipos se utilizaron los trabajos de Garzanti (2018), en el caso de las areniscas, y Boggs (2012) en el caso de los conglomerados. Dentro del área se describieron 7 litotipos de la Formación Mercedes que se detallan a continuación.

7.2.1. Litotipo I - Arenisca feldespático-cuarzosa (FQ)

Roca consolidada, de apariencia homogénea, de selección moderada, porosidad baja y madurez composicional y textural media. Posee tamaño de clastos variable entre arena gruesa (2 mm) y fina (0.25 mm), con clastos esporádicos de grava fina (alrededor de 5 mm) que representan menos del 3 % de la muestra. En cuanto a la morfología de los clastos, éstos son prismáticos a subesféricos, y subangulosos a subredondeados. Está compuesta por entre 75% a 80% de cuarzo, 15% a 20% de feldespato y 5% a 2% de fragmentos líticos (*figura 5.23*).

El **cemento** se presenta homogéneo, arcilloso de color blancuzco, con pátinas anaranjadas producto de la alteración de feldespato.

Clasificada según Garzanti (2018) como areniscas feldespatico-cuarzosas (FQ) (*figura 5.24*).

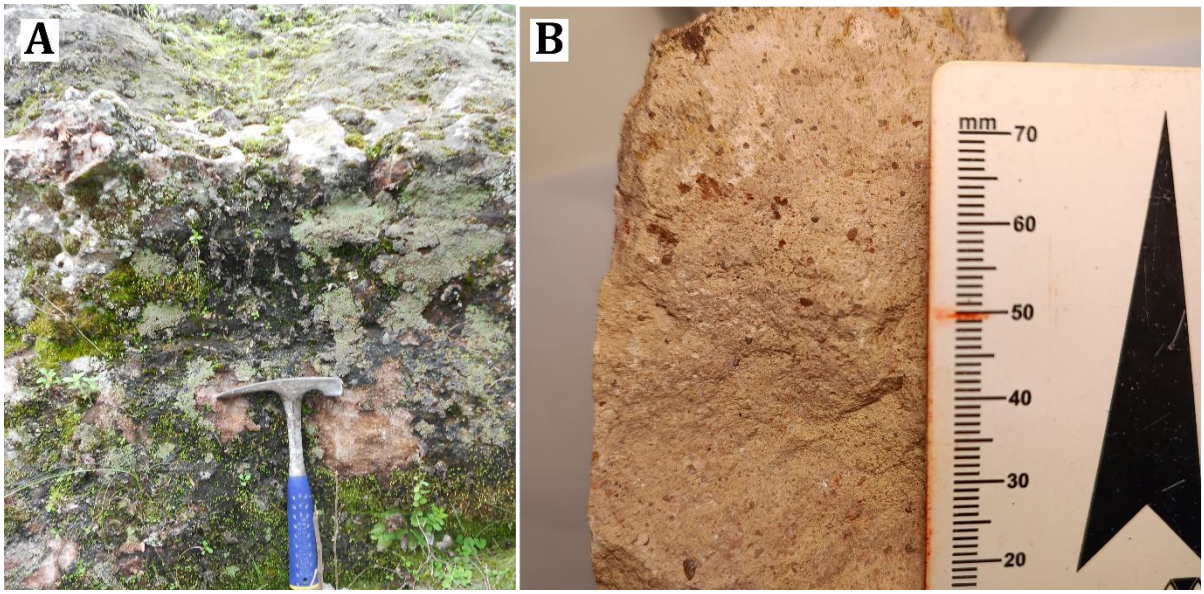


Figura 5.23 A *Vista en detalle de afloramiento de arenisca FQ en los alrededores de Paso Vera* ***B.*** *Vista en detalle de arenisca FQ en los alrededores de Paso Vera.*

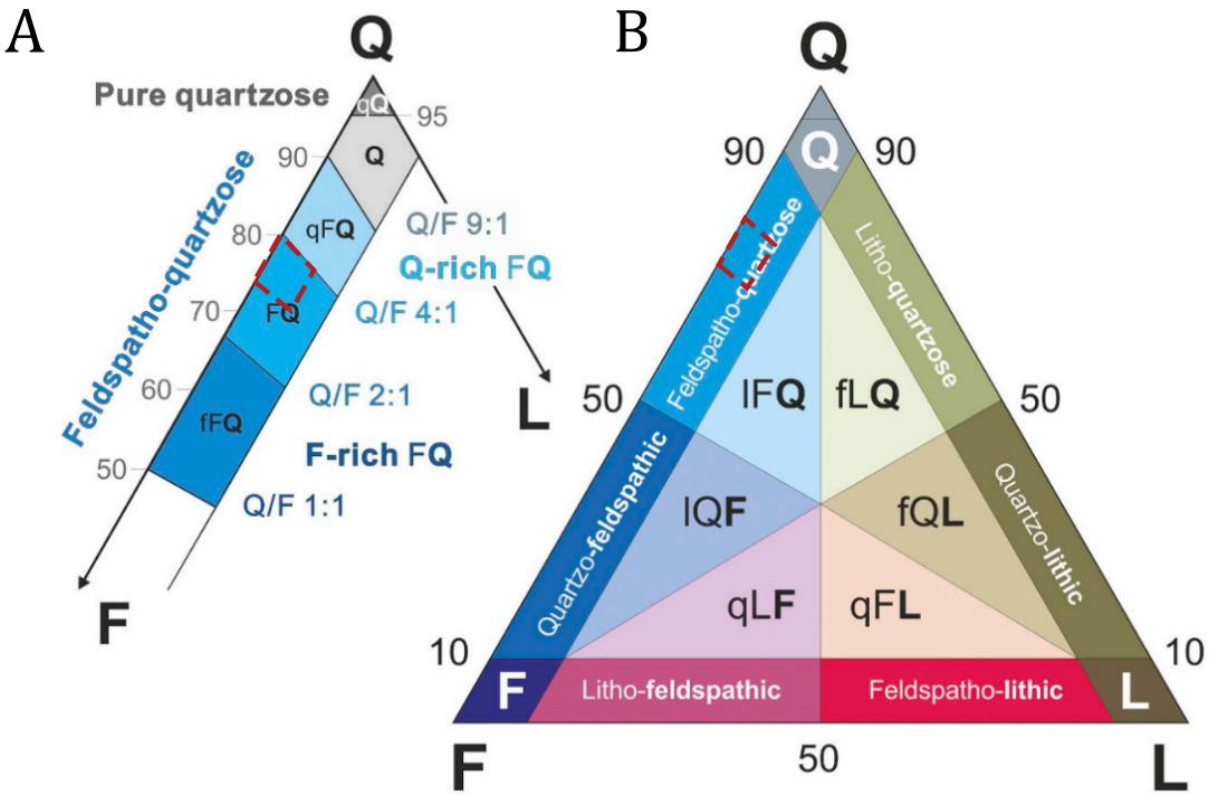


Figura 5.24 A y B *Composición del Litotipo I, arenisca FQ. Modificado de Garzanti (2019).*

7.2.2. Litotipo II - Arenisca feldespática-cuarzosa, enriquecida en cuarzo (qFQ)

Roca consolidada, clasto-soportada, con porosidad variable dependiendo de la cementación, entre muy porosa a poco porosa. Tiene apariencia homogénea y color amarillo verdoso pálido (10 Y 8/2). Presenta buena madurez textural y baja madurez composicional (*figura 5.25 A y B)*.

Está compuesta principalmente por arena gruesa (2 mm) a fina (0,125 mm), con predominancia de clastos de 0.7 mm, compuesta entre 85% y 90% de cuarzo, entre 5% y 15% de feldespato y entre 10% y 2% de fragmentos líticos *(figura 5.25 B)*. La morfología de los clastos de cuarzo es subredondeada y subprismática a esférica, distinguiéndose contactos rectos y tangenciales entre los mismos (*figura 5.26 A y B*), los fragmentos líticos son redondeados y planares a tabulares, y los feldespatos por lo general presentan alteración sericítica. Los contactos entre clastos varían según la zona, en algunas partes es tangencial a recto (figura *figura 5.26 A y B* B), mientras que en otras los clastos no se tocan, formando una textura flotante. Se diferencian clastos de cuarzo con extinción ondulante y clastos policristalinos (figura 7.17 A y B). Dentro de los clastos de feldespato se distinguen microclina y feldespato potásico con pertitas. También se observan minerales opacos, circones (*figura 5.26 A y B*) y muscovita con textura micafish (*figura 5.26 C y D*).

Secundariamente, presenta clastos esporádicos de cuarzo de tamaño grava fina (3 mm), representando alrededor del 2% de la muestra, con morfología subprismática y subredondeada a subangulosa.

La roca presenta cemento arcilloso, principalmente por la alteración de feldespato. Es común encontrar dendritas de manganeso. Los clastos están recubiertos por una pátina de arcillas de iluviación, con su característico color dorado, y de carácter isópaco[2] (*figura 5.26 A y B*). Además, en algunas muestras se observa cemento silíceo secundario (*figura 5.26 C y D*).

Clasificada según Garzanti (2019) como areniscas feldespatico-cuarzosa, enriquecida en cuarzo (qFQ) (*figura 5.27*).

[2] Cemento isópaco: producto de la precipitación

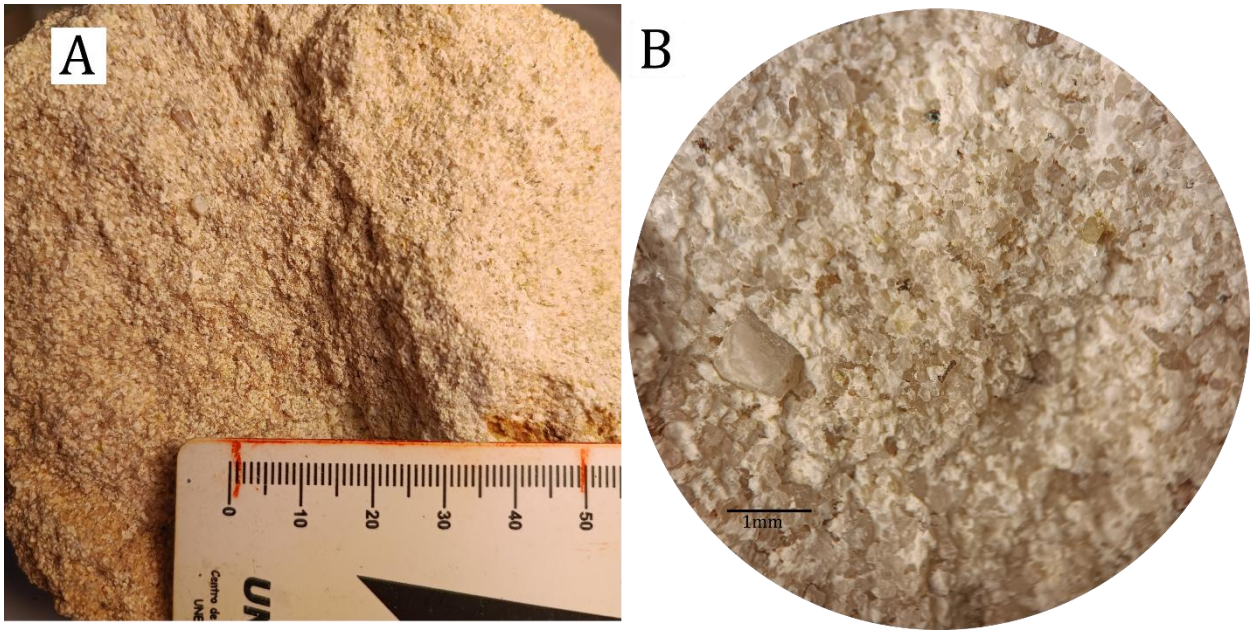


Figura 5.25 ***A*** *Muestra de mano de arenisca FQ, de los alrededores de Paso Vera* ***B.*** *Vista en detalle de la muestra A en lupa binocular.*

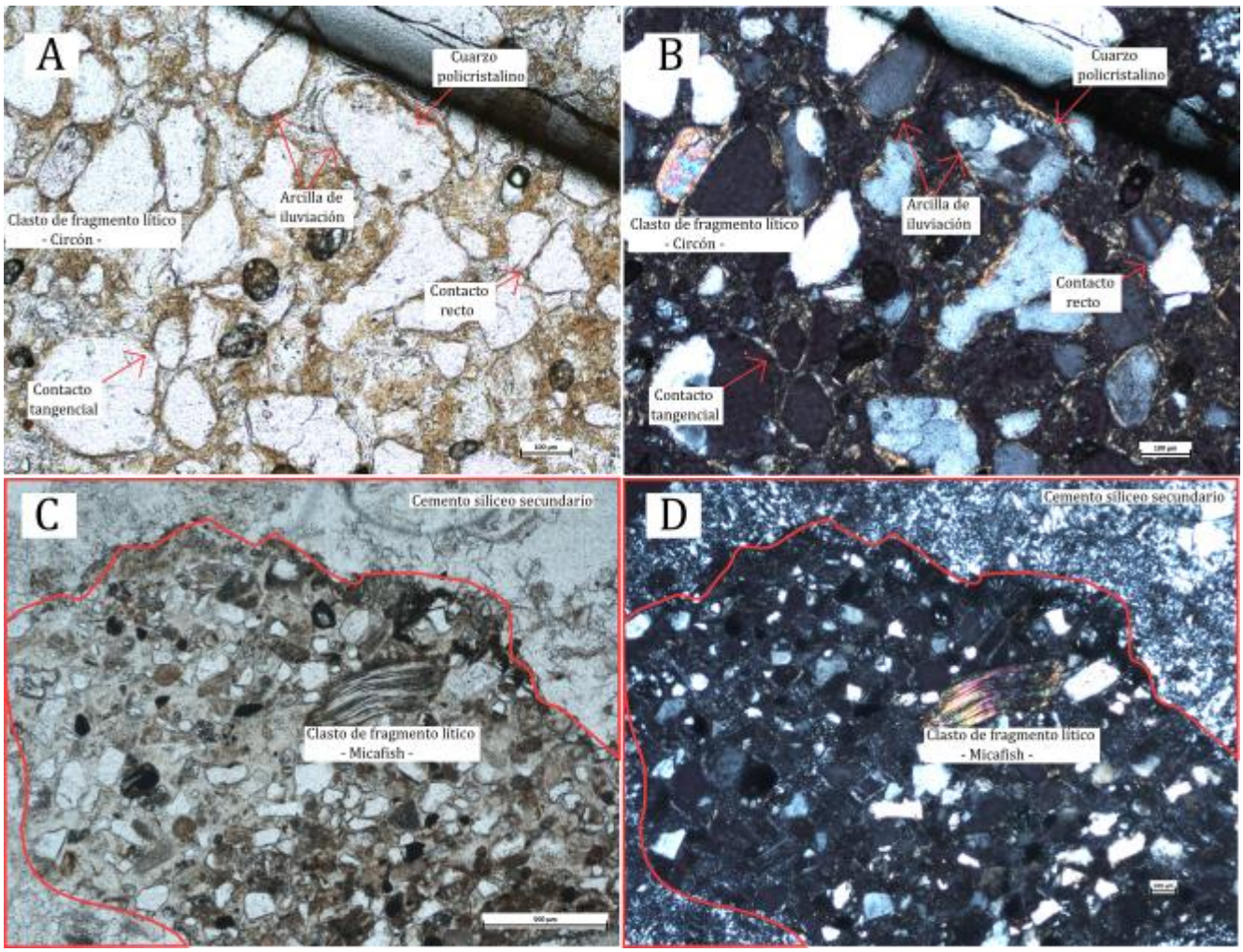


Figura 5.26 ***A y B*** *Lámina delgada de arenisca FQ, de los alrededores de Paso Vera. Se distinguen arcillas de iluviación, cuarzos policristalinos y circón.* ***B.*** *Lámina delgada de arenisca FQ, de los alrededores de Paso Vera. Se distingue fragmento lítico de micafish y cemento silíceo,*

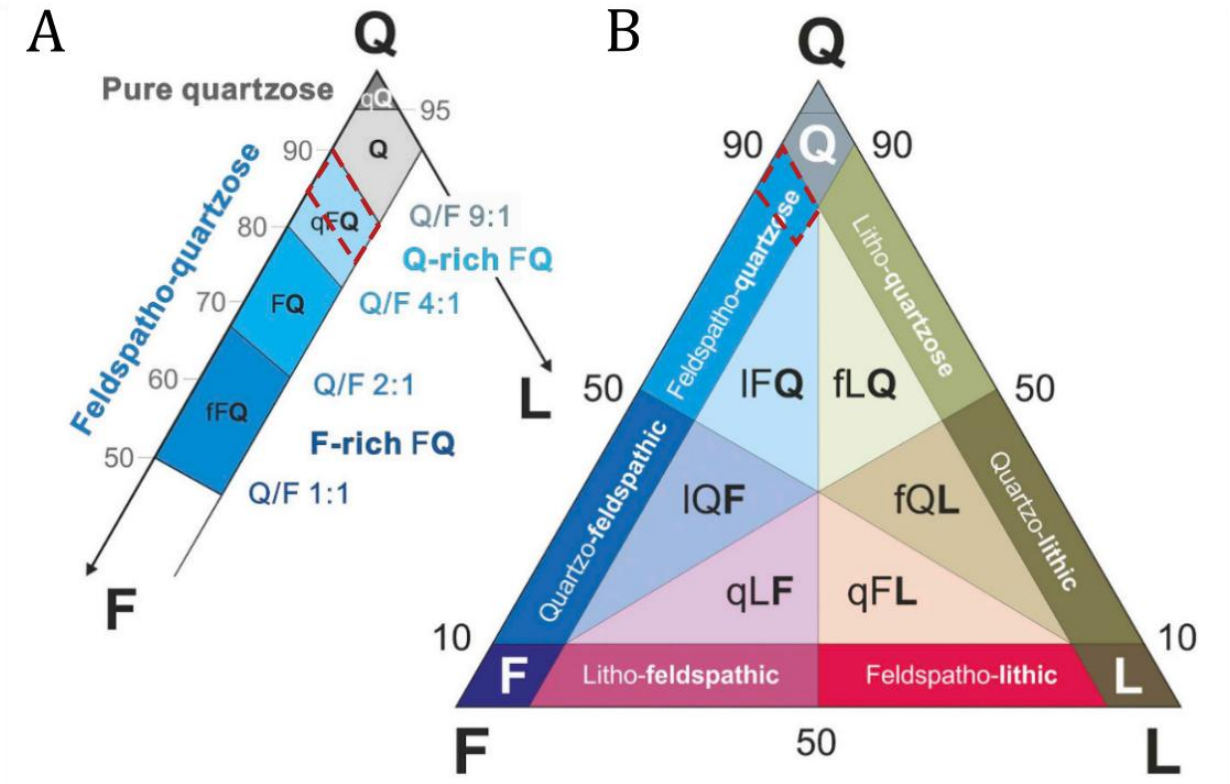


Figura 5.27 A y B *Composición del Litotipo II, arenisca qFQ. Modificado de Garzanti (2019).*

7.2.3. Litotipo III - Arenisca conglomerádica cuarzosa (Q)

Roca consolidada a muy consolidada, de apariencia homogénea, muy mal seleccionada y color oliva claro (10 Y 6/2). Su textura es matriz soportada, con entre 5% a 25% de esqueleto.

El esqueleto está representado por clastos de tamaño grava media, con un tamaño predominante de 7 mm, con mínimo de 3 mm y máximo de 13 mm, y con clastos esporádicos que pueden alcanzar los 65 mm. Los clastos son subredondeados a subangulosos, y subesféricos y están compuestos dominantemente por cuarzo, el cual varía entre 90% y 60%, subordinadamente por feldespato, entre 40% y 10%, y un muy bajo contenido de fragmentos líticos, menor a 5%.

Su matriz posee un tamaño de clastos variable entre arena gruesa (2 mm) y arena fina (0,1 mm), con tamaño predominante de 0.5 mm. En cuanto a la morfología de los clastos, estos son prismáticos a esféricos y redondeados a subangulosos. La composición dominante es de cuarzo, principalmente blanco y opaco, con aproximadamente 90%, subordinadamente se

encuentran porcentajes variables entre 10% y 5% de feldespato, y 5% a 2% de fragmentos líticos, pudiendo distinguirse minerales opacos en lámina delgada. El contacto de los clastos es mayormente recto, siendo en algunas zonas tangencial (*figura 5.28 A)*.

El cemento se presenta heterogéneo en las muestras analizadas. Por un lado, en las zonas menos tenaces, el cemento es arcilloso de color verde claro a blancuzco, diferenciándose por formar zonas de alta porosidad con clastos recubiertos por pátinas de arcillas de iluviación (*figura 5.28 D y E*). En las zonas más tenaces presenta cemento silíceo secundario (*figura 5.28 D y E*).

Clasificada según Garzanti (2019) como arenisca cuarzosa (Q) (*figura 5.29*).

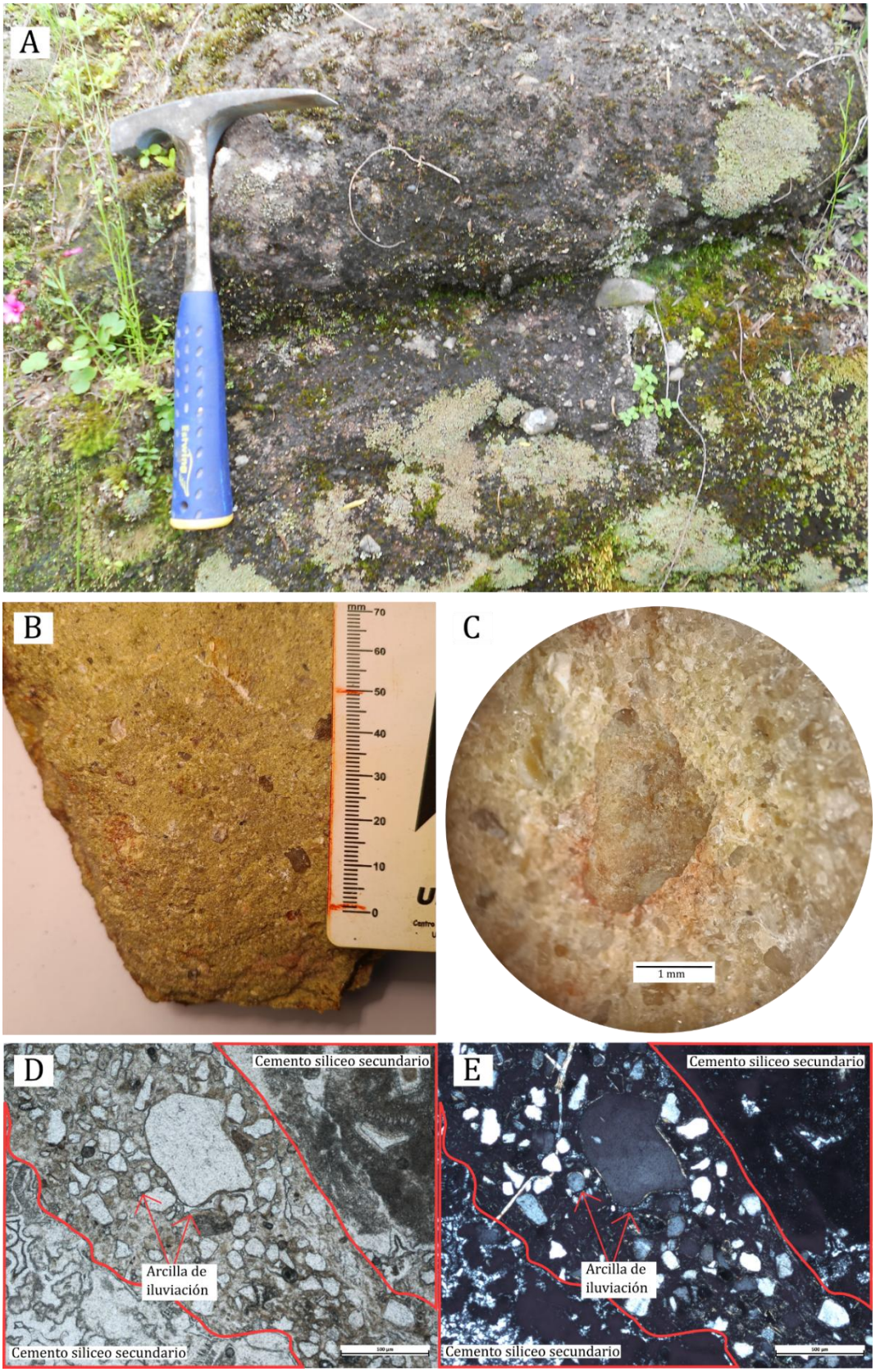


Figura 5.28 ***A*** *Vista en detalle de afloramiento de arenisca conglomerádica Q, en los alrededores del Arroyo de Vera* ***B*** *Muestra de mano de arenisca conglomerádica Q, de los alrededores de Paso Vera* ***B.*** *Vista en detalle de la muestra B en lupa binocular* ***D y E*** *Vista en detalle de arenisca conglomerádica Q en lámina delgada, donde se distingue cemento silíceo y arcillas de iluviación.*

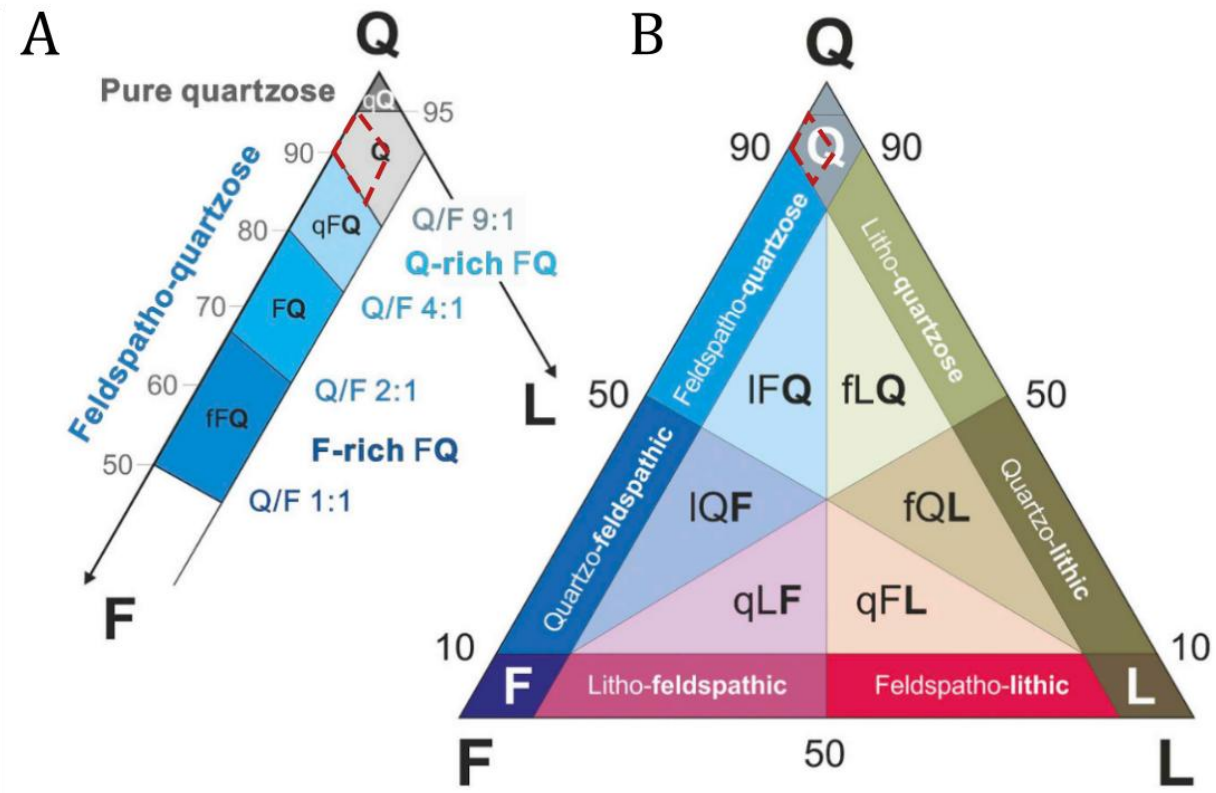


Figura 5.29 A y B *Composición del Litotipo III, areniscaconglomerádica Q. Modificado de Garzanti (2019).*

7.2.4. Arenisca conglomerádica feldespática-cuarzosa enriquecida en cuarzo (qFQ)

Roca muy consolidada, de apariencia homogénea, porosa, mal seleccionada de color gris amarillento (5Y 7/2). Tiene una textura matriz soportada con entre 5 % a 20% de esqueleto.

El esqueleto se encuentra mal seleccionado, posee tamaño grava fina (2 mm) a media, en predominante de 2,5 mm. Los clastos son subredondeados y subesféricos a subprismáticos. Está compuesta por entre 90 % y 95% de cuarzo y entre 7 % y 5 % de feldespatos y fragmentos líticos (*figura 5.30 A y B*).

Su matriz posee un tamaño de clastos arena gruesa (1.5 mm) a fina (0,1 mm), con tamaño predominante de 0.3 mm. En cuanto a la morfología de los clastos, los mismos son subredondeados y subesféricos. La composición dominante es de cuarzo blanco, opaco, y traslúcido, variable entre 84% y 89%, subordinadamente se encuentran 15 % a 10 % de feldespatos y entre 5 % y 1 % de fragmentos líticos. Aquellos clastos de tamaño máximo

(1.5mm) son principalmente feldespatos alterados a sericita. El contacto entre los clastos es principalmente tangencial, y subordinadamente flotante (*figura 5.30 C y D*).

El cemento es arcilloso, con clastos recubiertos por pátinas de arcilla de iluviación, presentando en algunas zonas parches de chert (*figura 5.30 C y D*).

Clasificada según Garzanti (2019) como arenisca feldespática-cuarzosa, enriquecida en cuarzo (qFQ) (*figura 5.31*).

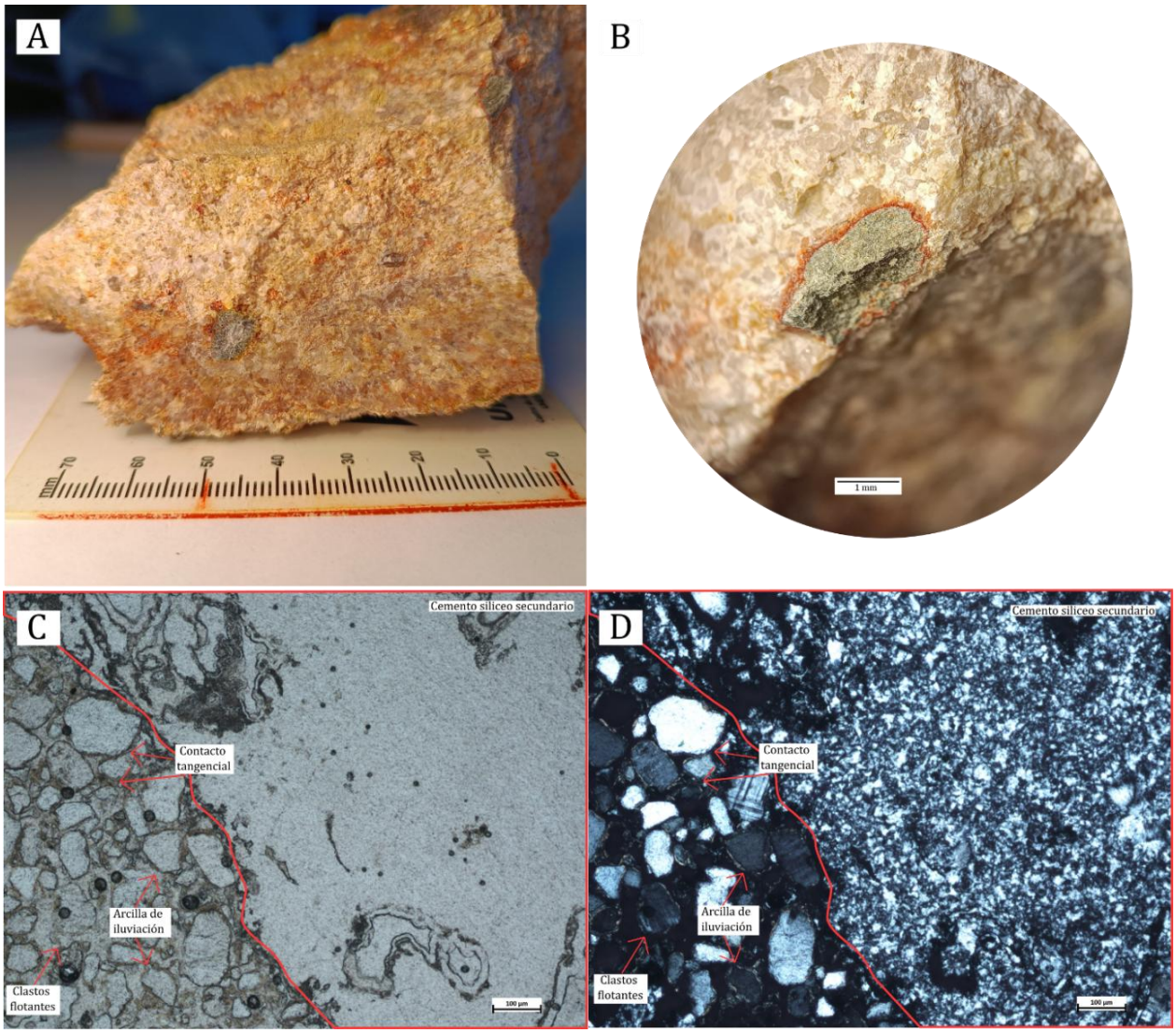


Figura 5.30 A *Muestra de mano de arenisca conglomerádica qFQ, de los alrededores de Paso Vera* ***B.*** *Vista en detalle de la muestra A en lupa binocular* ***D y E*** *Vista en detalle de arenisca conglomeradica qFQ en lámina delgada, donde se distingue cemento silíceo y arcillas de iluviación. clastos flotantes y contactos tangenciales.*

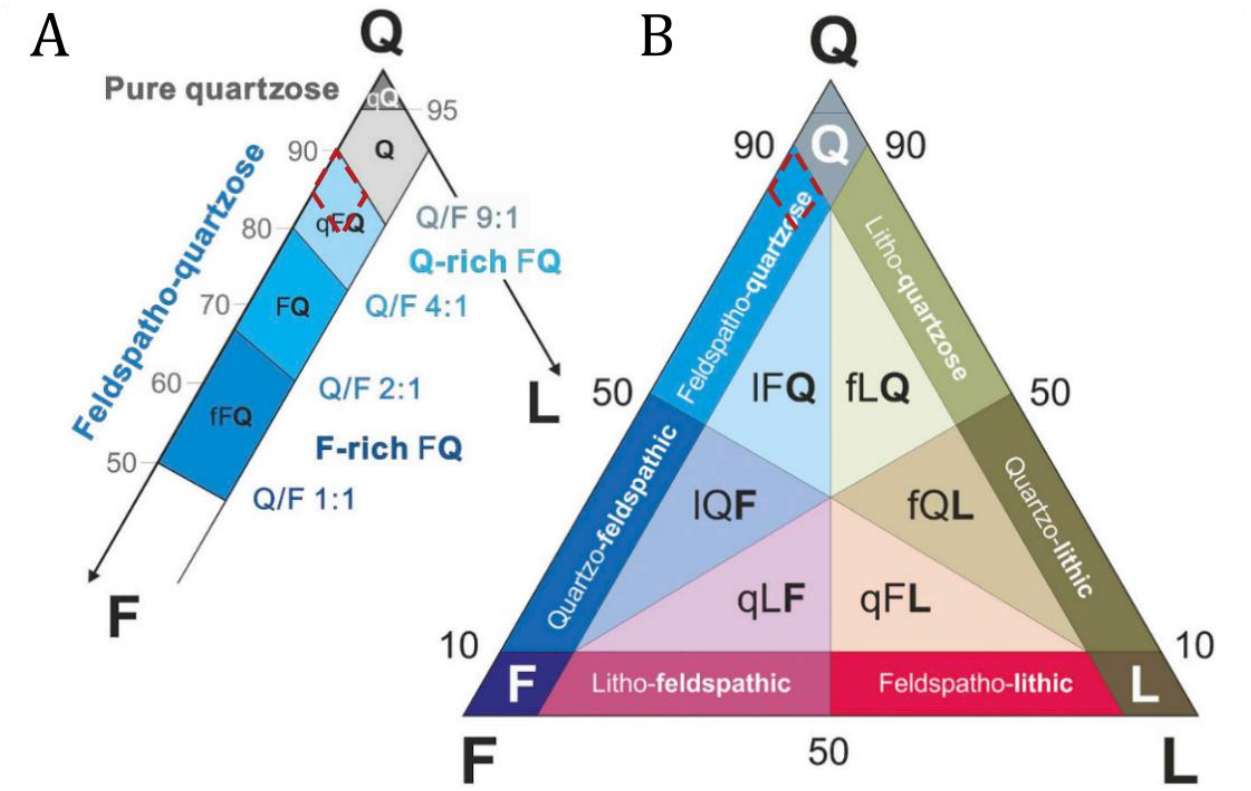


Figura 5.31 A y B *Composición del Litotipo IV, arenisca conglomerádica qFQ. Modificado de Garzanti (2019).*

7.2.5. Arenisca conglomerádica feldespática-cuarzosa (FQ)

Roca muy consolidada, de apariencia homogénea, mal seleccionada, de color gris amarillento (5Y 7/2). Tiene una textura matriz soportada, con 20% a 30 % de esqueleto con baja madurez composicional y textural.

La granulometría del esqueleto es variable entre grava fina y grava media (3 mm y 9 mm), con clastos de hasta 18 mm. La morfometría general de los clastos es angulosa a subangulosa, y subesférica. La composición es predominantemente cuarzosa con entre 80 % y 85 %, y entre 10 % y 15% feldespatos, en su mayoría muy alterados.

Su matriz posee tamaño de clastos variables entre arena media y gruesa (0.5 mm y 1 mm). En cuanto a la morfología de los clastos, estos son prismáticos a subesfericos, y subangulosos a subredondeados. Su composición es similar a la del esqueleto, con entre 75 % y 80% cuarzo, entre 20 % y 24 % feldespato muy seritizado (*figura 5.32 B a C*)), y entre 1 % y 5 % de fragmentos líticos. Los clastos presentan contacto tangencial a recto (*figura 5.32 B a E*), y

están recubiertos por una pátina de arcillas de iluviación (*figura 5.32 B a E*). El cemento es arcilloso, y se presenta homogéneo de color blanco.

Clasificada según Garzanti (2019) como arenisca feldespática-cuarzosa (FQ) (*figura 5.33*).

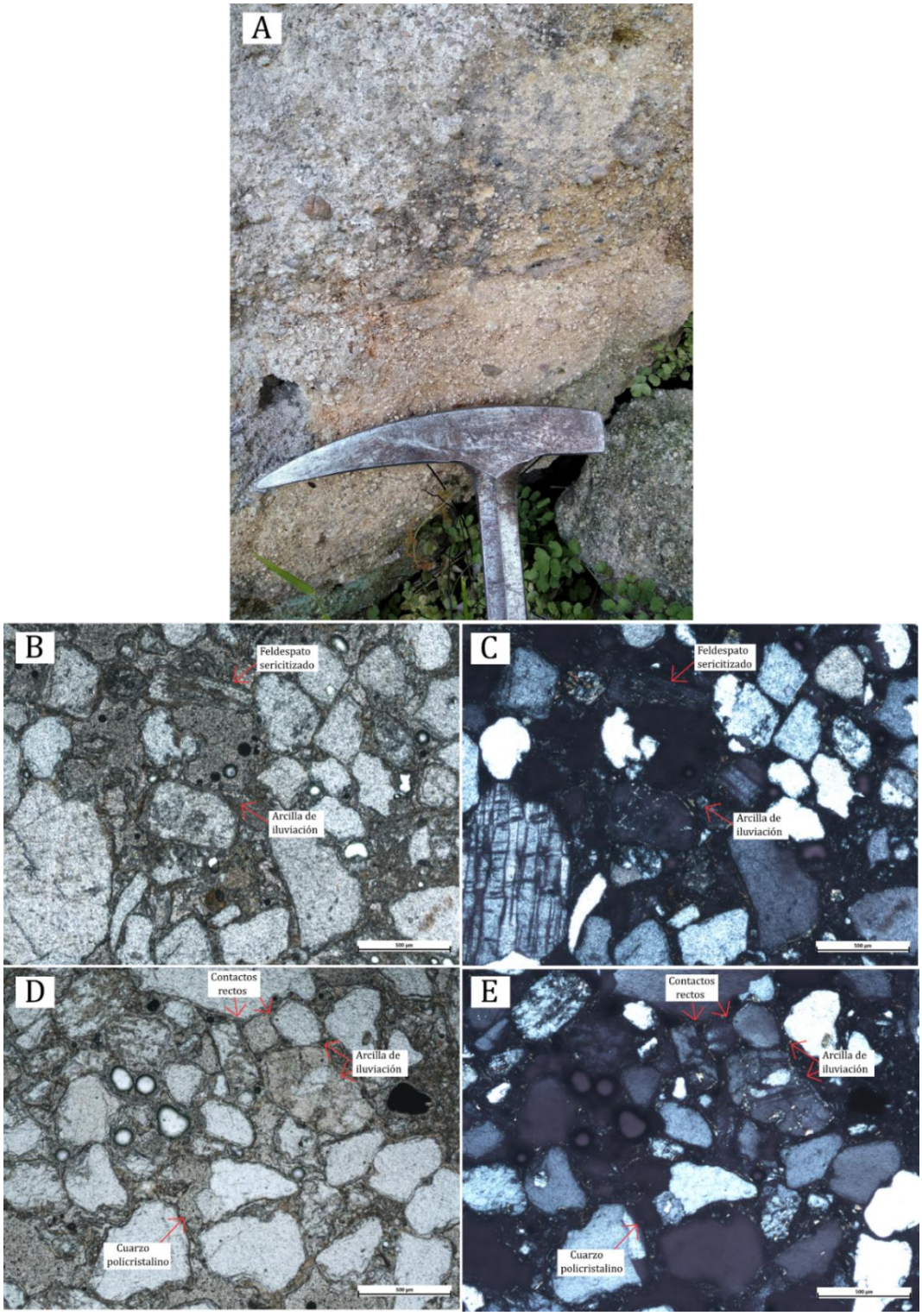


Figura 5.32 A *Muestra de mano de arenisca conglomerádica FQ, de los alrededores de Cerro Vera* ***B.*** *Vista en detalle de la muestra A en lupa binocular* ***D y E*** *Vista en detalle de arenisca conglomeradica FQ en lámina delgada, donde se distingue cemento silíceo y arcillas de iluviación y contactos rectos.*

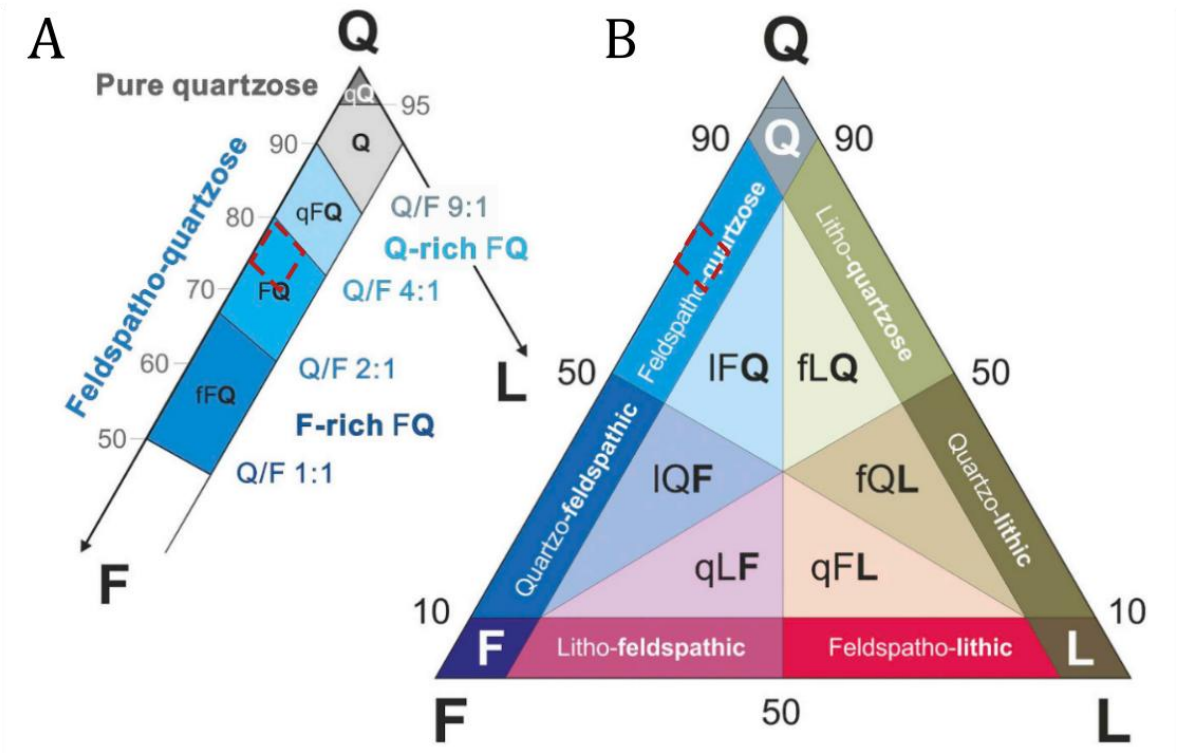


Figura 5.33 A y B *Composición del Litotipo V, arenisca conglomerádica FQ. Modificado de Garzanti (2019).*

7.2.6. Conglomerado arenoso – ortoconglomerado metaestable

Roca homogénea, consolidada, de color blanco (5B 9/1, Bluish White), porosa con textura matriz soportada. El esqueleto representa entre el 35 % al 60 % de la muestra y se encuentra muy mal seleccionada.

La granulometría dominante del esqueleto es grava fina a media, con predominancia de clastos de 4 mm, con tamaño mínimo de 2 mm y máximo de 18 mm (*figura 5.34 A*). La morfología general de los clastos es subprismática y subredondeada. La composición del esqueleto es predominantemente cuarzo, entre 75 % a 85 %, subordinadamente feldespato entre 10 % a 8 %, y fragmentos líticos entre 8 % a 15 %. Es común encontrarse con clastos esporádicos no representativos de mayor tamaño, de hasta 80 mm, por lo general prismáticos y subredondeados (*figura 5.34 B*).

Su matriz posee un tamaño de clastos de arena gruesa a fina, entre 2 mm a 0,1 mm. En cuanto a la morfología de los clastos son esféricos, y redondeados a subangulosos. La composición dominante es de cuarzo, principalmente blanco y opaco, con alrededor de 65 %, subordinadamente se encuentran 40 % de feldespato y 5 % de fragmentos líticos. Dentro de los fragmentos líticos se distinguen clastos de muscovita, cuarzos policristalinos con bordes

suturados, microclina y granos de feldespatos totalmente sericitizados (*figura 5.34 D a G*). El cemento es escaso, arcilloso, y de color blanco.

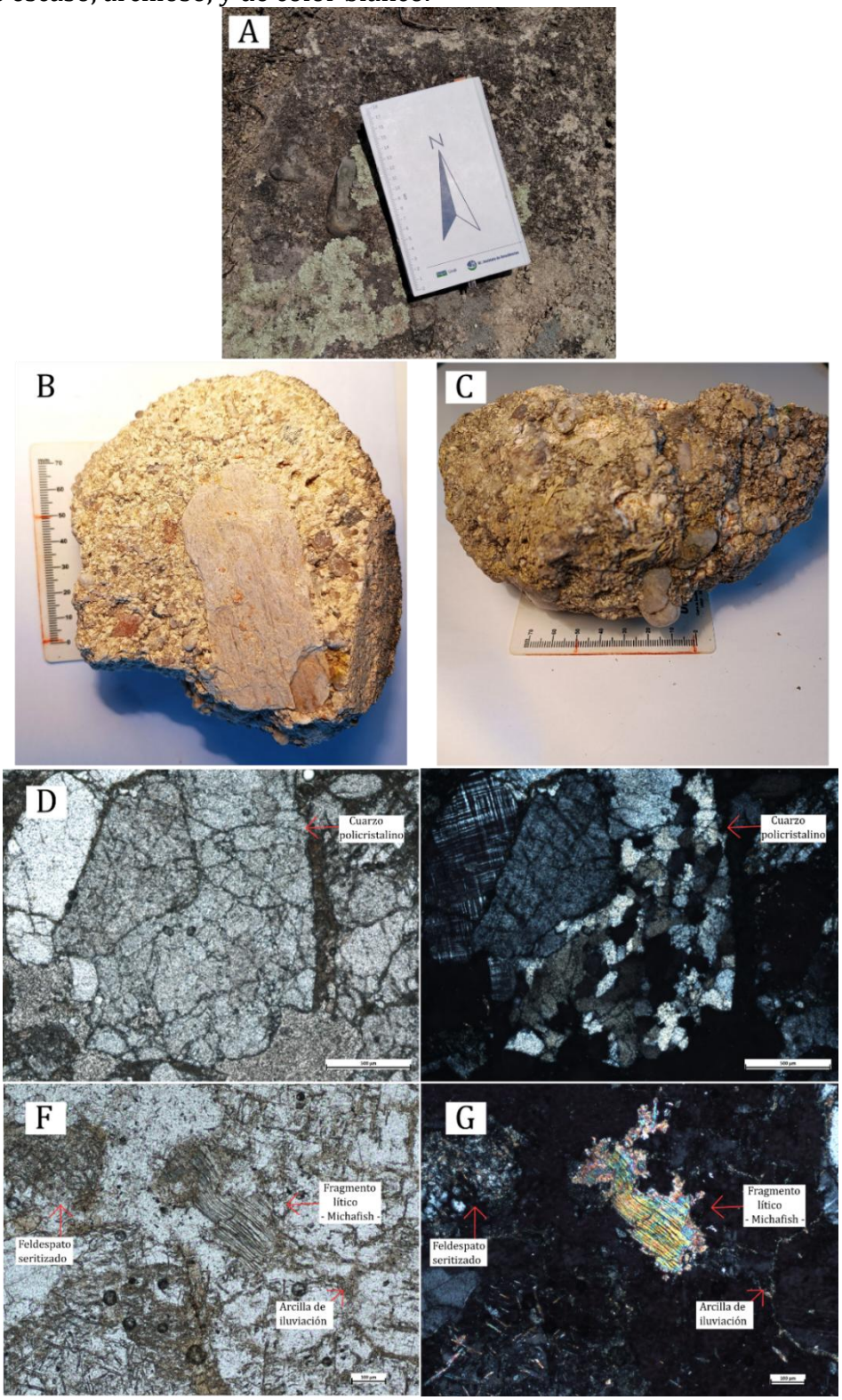


Figura 5.34 A *Vista en detalle de afloramiento de conglomerado arenoso metaestable en los alrededores del Cerro Vera* ***B.*** *Muestra de mano de conglomerado arenoso metaestable de los alrededores de Cerro Vera, mostrando un clasto de filita con diámetro longitudinal de 75 mm y morfología prismática achatada.* ***D, E, F y G*** *Vista en detalle de lámina delgada de muestra conglomerado arenoso metaestable de los alrededores de Cerro Vera donde se diferencian fragmentos líticos de muscovita, feldespatos seritizadps y arcillas de iluviación recubriendo los clastos.*

7.2.7. Conglomerado arenoso – ortoconglomerado ultraestable

Roca muy consolidada, con baja porosidad, de apariencia homogénea y muy mala selección.

El esqueleto representa entre 40 % y 60% de la muestra, compuesto por clastos con un tamaño predominante de 7 mm, y como máximo de 30 mm. Está compuesto por 92 % de cuarzo, 5 % de feldespato y 3 % de fragmentos líticos, los cuales en su totalidad corresponden a clastos de granitoide (figura 7.26).

Su matriz posee un tamaño de clastos variable entre arena gruesa y fina, entre 2 mm 0,1 mm. En cuanto a la morfología de los clastos, estos son esféricos y redondeados a subangulosos. La composición dominante es de cuarzo, con aproximadamente 85 %, principalmente blanco y opaco, subordinadamente se encuentran fragmentos líticos y feldespatos.

El cemento se presenta homogéneo de color blanco arcilloso, con baja porosidad.

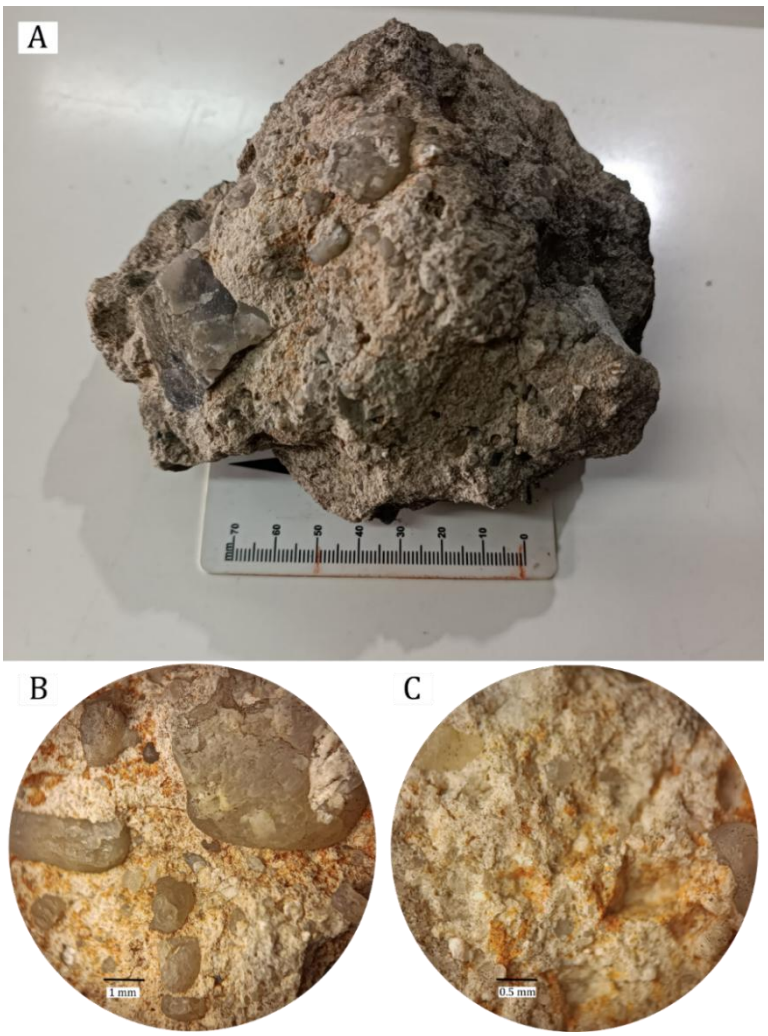


Figura 5.35 A *Muestra de mano de conglomerado arenoso ultraestableen los alrededores del Cerro Vera, con clastos de hasta 30 mm* ***B y C*** *Vista en lupa binocular del conglomerado arenoso metaestable de los alrededores de Cerro Vera.*

5.3. Consideraciones particulares del área de estudio

Las diferentes litologías relevadas en la zona muestran la acción de procesos posteriores a la formación de la roca, no representativos de toda la unidad, como lo son la calcretización y silicificación presentes en diferente forma e intensidad. Son fenómenos secundarios, locales, asociados principalmente al movimiento de agua desde las napas freáticas hacia subsuperficie o directamente a procesos superficiales, cuya intensidad depende también en función de la disponibilidad catiónica.

7.3.1 Silicificación

La zona de estudio está ampliamente afectada en diferentes grados por silicificación, pudiéndose diferenciar una gran variedad de estructuras formadas por la interacción con sílice.

Muchas veces la silicificación borró completamente los rasgos litológicos primarios de la roca imposibilitando su clasificación. Estos procesos generan un relieve muy escarpado, ya que impiden la erosión de las rocas por la alta dureza que le confiere.

La silicificación se muestra con intensidad variable, formando parches de chert o desarrollándose en cuerpos de escasa extensión lateral. Se encuentra también cemento silíceo disperso, lo cual le confiere mayor grado de dureza a la roca, llegando en muchos casos a formar silcretas y borrando todos los rasgos primarios de la misma.

Dentro de las estructuras se diferencian venillas de sílice con ancho predominante de 1mm, nódulos de chert, recristalización de microcristales en cavidades, posiblemente producto de disolución de material preexistente.

Dentro de los minerales de sílice encontrados, es común la presencia de calcedonia, de textura fibroradiada, presentándose en algunos lugares finas venillas, mientras que en otros rellena todos los espacios vacíos entre clastos o recubriéndolos. También ópalo y sílice microcristalino.

Las zonas más tenaces están afectadas por cemento silíceo, el cual se presenta como parches de chert, con recristalización de microcristales en cavidades, como parches o como nódulos

de sílex, o en recristalizaciones de microcristales en cavidades producto de porosidad secundaria.

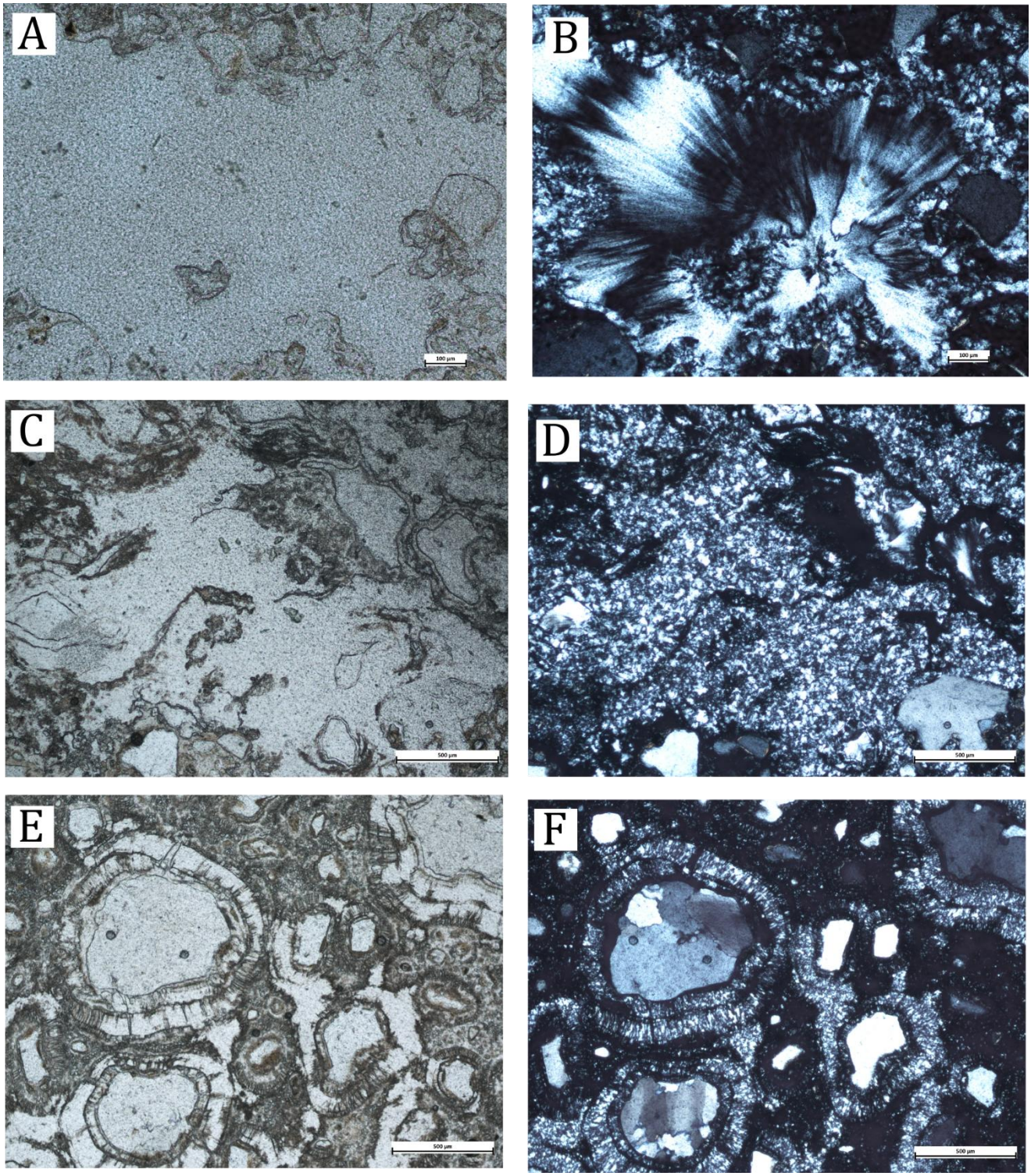


Figura 5.36 *Vista en detalle en lámina delgada de rocas muy silicificadas.* ***A a D*** *Punto 7,* ***E y F*** *punto 1.*

7.3.2 Calcretización

Si bien son comunes los episodios de calcretización a lo largo de la Formación Mercedes, son pocas las ocurrencias observadas en el área de estudio a nivel de afloramiento. Dos zonas relevadas sufrieron un fuerte proceso de calcretización. Por un lado, los afloramientos sobre la ruta 55 a la altura del kilómetro 4.500, correspondiente a los puntos 58 y 59, asociados a una arenisca consolidada, porosa, con clastos tamaño arena media y esporádicamente grava fina, compuesta por 88 % de cuarzo, 10 % de feldespato y 2% de fragmentos líticos, con cemento carbonático en concentración variable.

La otra zona se encuentra en el Cerro de los Claveles, punto 20, donde a lo largo del perfil expuesto de 27 m (perfil 2) se puede diferenciar la presencia de calcretización en diferentes formas como parches, venillas, nódulos y bancos de carbonato.

En el caso del pozo 1031 (pozo 1), se pudo diferenciar una zona que sufrió un fuerte proceso de calcretización, pero las muestras preservadas no permiten realizar un análisis más profundo.

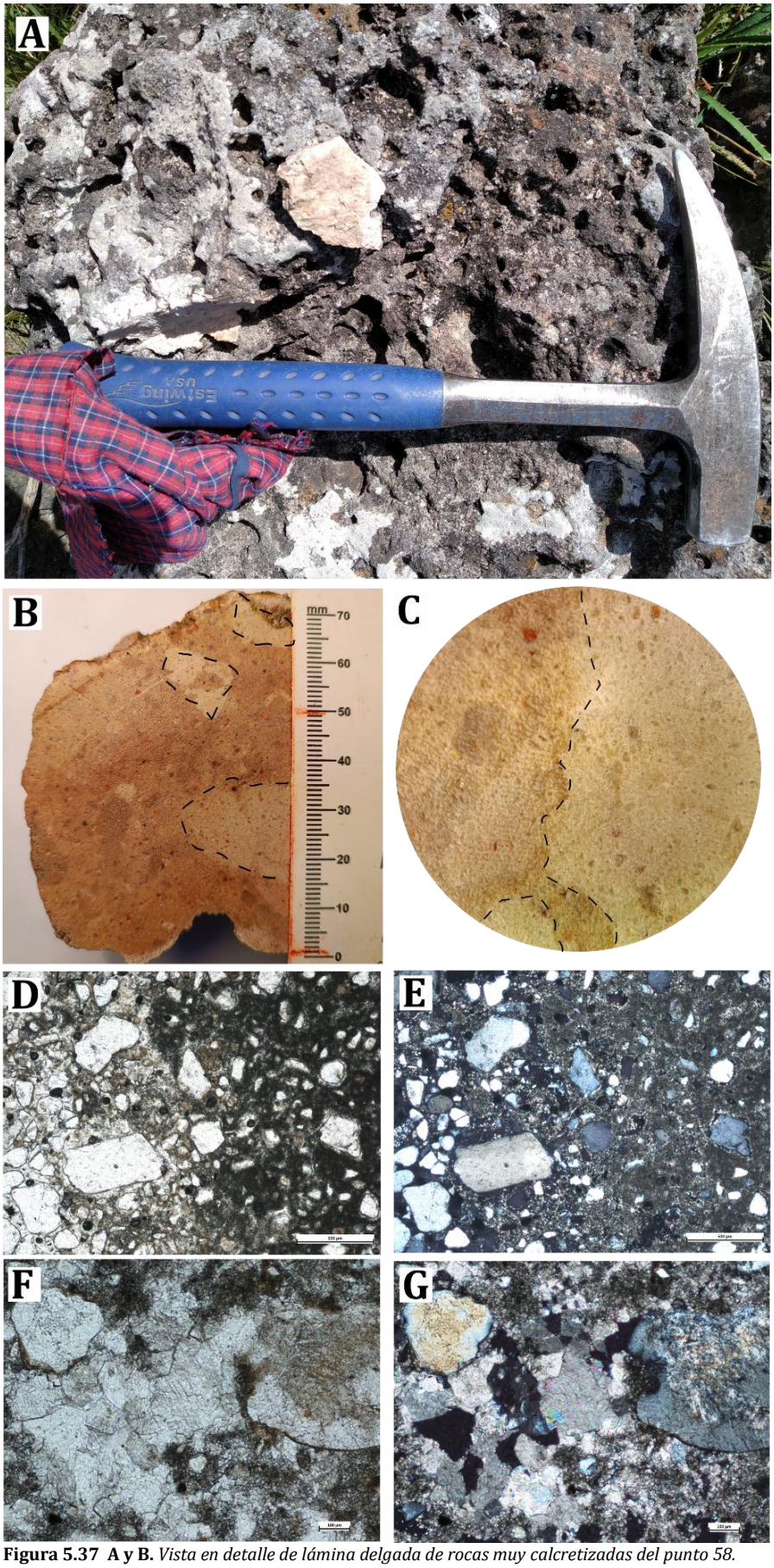
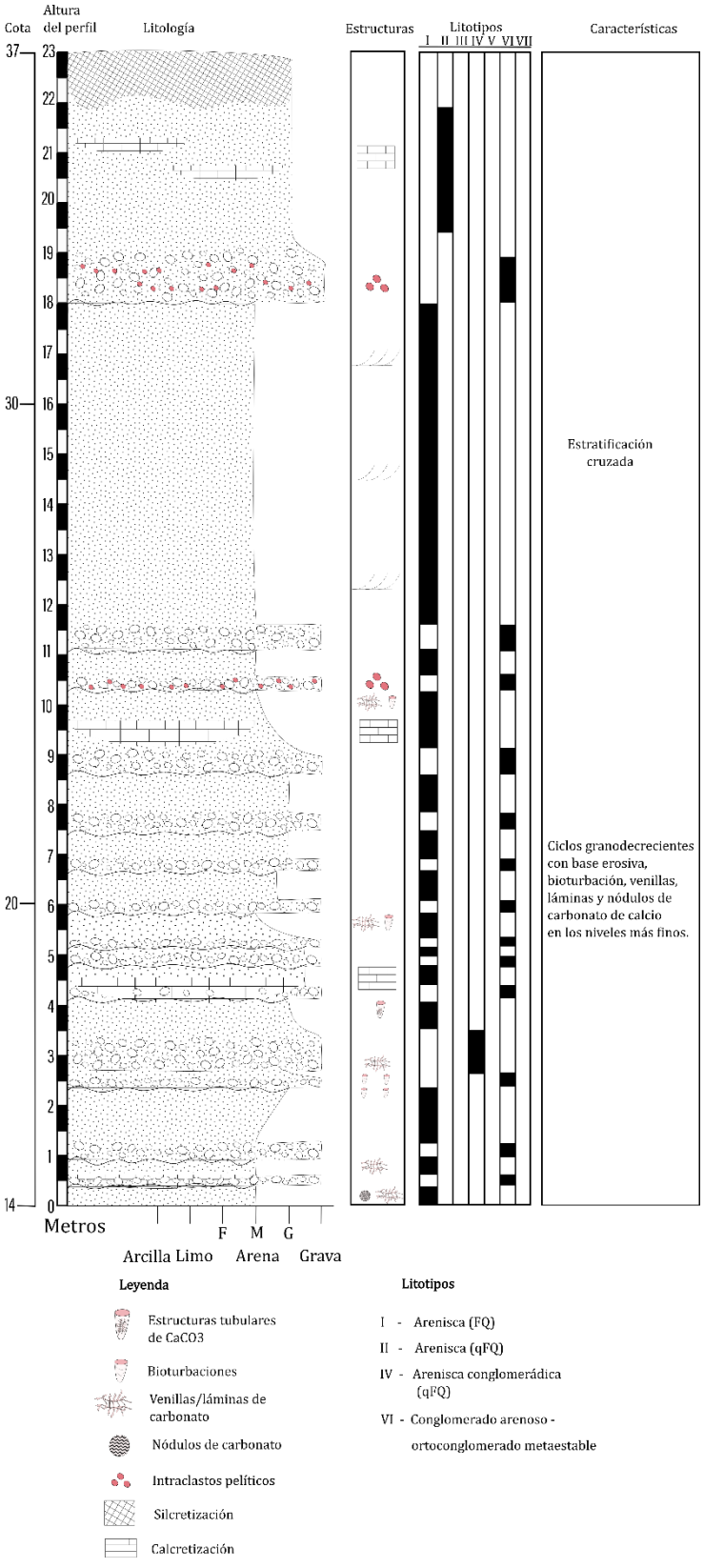


Figura 5.37 A y B. *Vista en detalle de lámina delgada de rocas muy calcretizadas del punto 58.*

7.4. Perfiles del área de estudio

Cerro de los Claveles

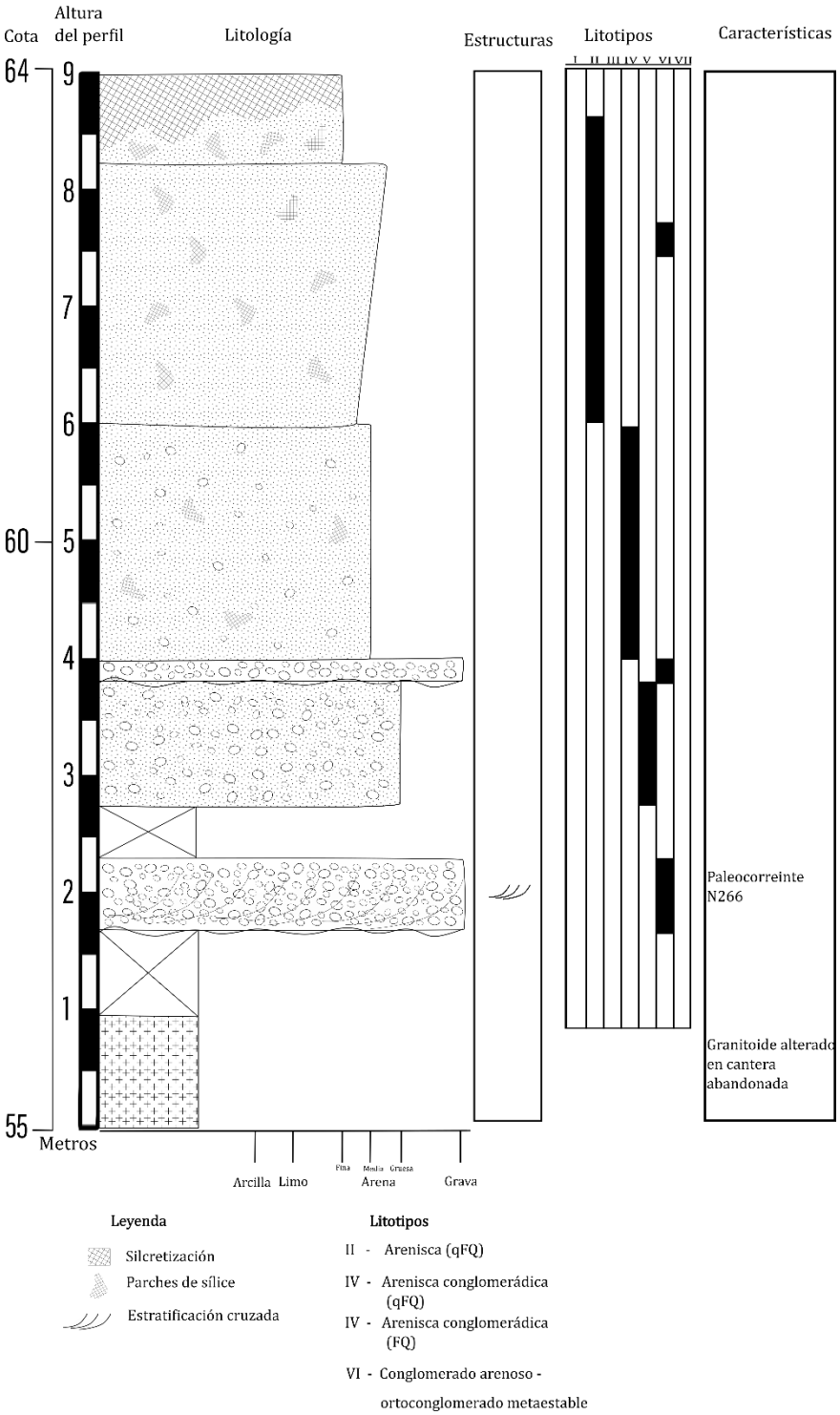


Perfil realizado en el Cerro de los Claveles, punto 20 (*perfil 2*), lugar histórico en la literatura geológica que se encuentra en la desembocadura del Arroyo Perico Flaco en el Río Negro (*figura 5.38)*. Es un perfil de 23 m que representa una pequeña zona elevada de la Formación Mercedes a una cota de 37 m. Esta es una elevación característica, producto de que su tope silicificado impidió la erosión en esa zona.

Perfil 2 *Cerro de los Claveles, ubicado en la desembocadura del Arroyo Perico Flaco en el Río Negro.*

Figura 5.38 *Imagen del Cerro de los Claveles, ubicado en la desembocadura del Arroyo Perico Flaco en el Río Negro.*

Perfil de los alrededores de Paso Vera



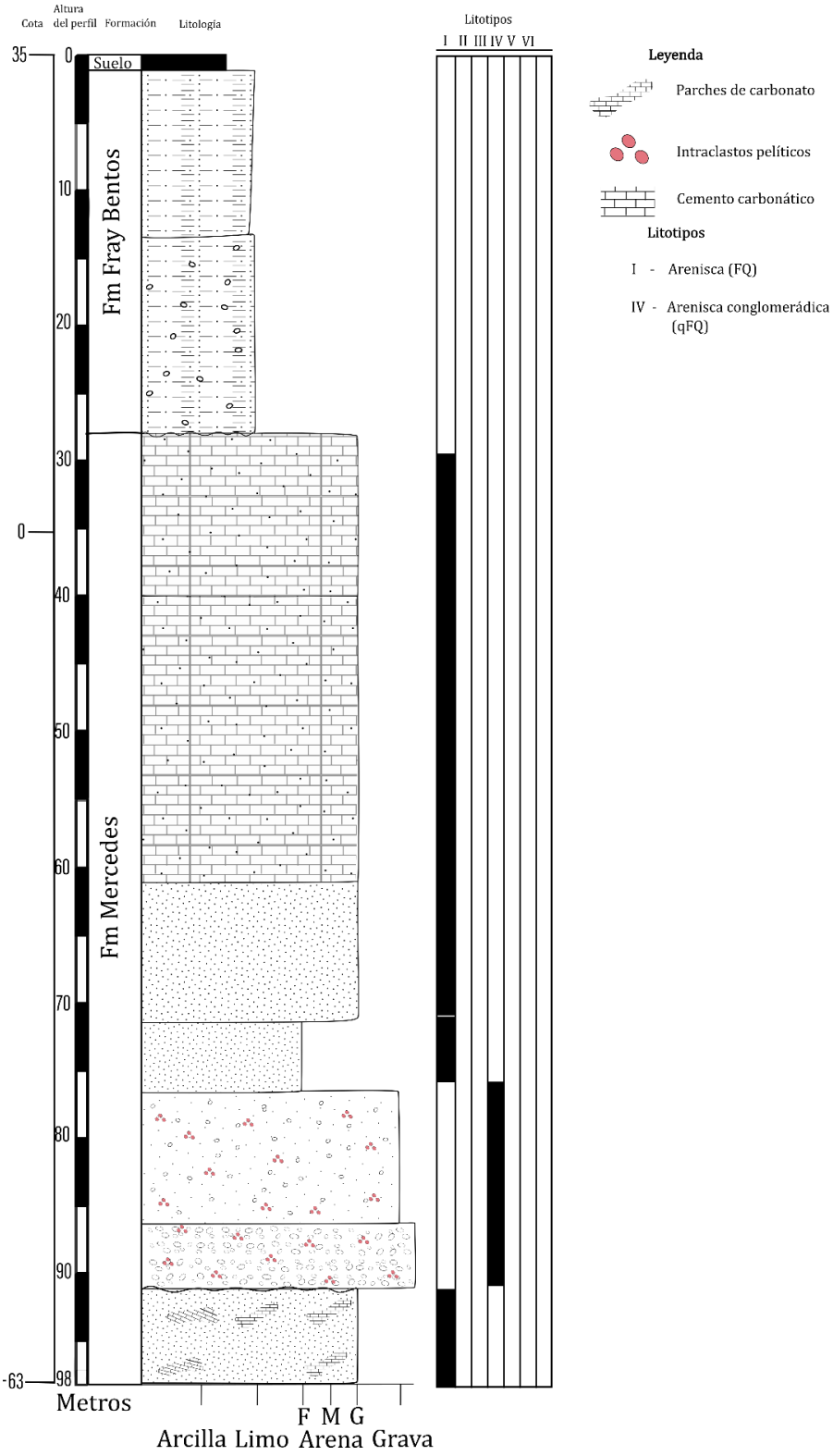
Perfil compuesto realizado en los afloramiento próximos a la intersección de la Ruta N° 14 y el Arroyo de Vera (*figura 5.39)*, correspondientes a los puntos 5, 7 y 98 (*perfil n° 3)*.

Perfil 3 *Perfil compuesto de base a tope de los puntos 5, 7 y 98, en los alrededores de Paso Vera*

Figura 5.39 *Imagen zona en los alrededores de Paso Vera, donde se confeccionó el perfil N°3.*

7.6. Pozos

Pozo 1031



Pozo 1 *Pozo n° 1031 de la DINAMIGE, en Sacachispas*

Perforación ubicada al Noroeste del área (*Pozo N°1)*, en la ciudad de Sacachispas realizada en el año 1968. Se describió un pozo de 97.5 m de profundidad, si bien Goso (1999) plantea una profundidad de 103 m con rocas del Basamento Cristalino a la base, estos últimos metros no fueron encontrados en la litoteca de la DINAMIGE. Dicha descripción se realizó en base a muestras de cutting, lo cual puede aumentar el margen de error y no permite distinguir estructuras sedimentarias.

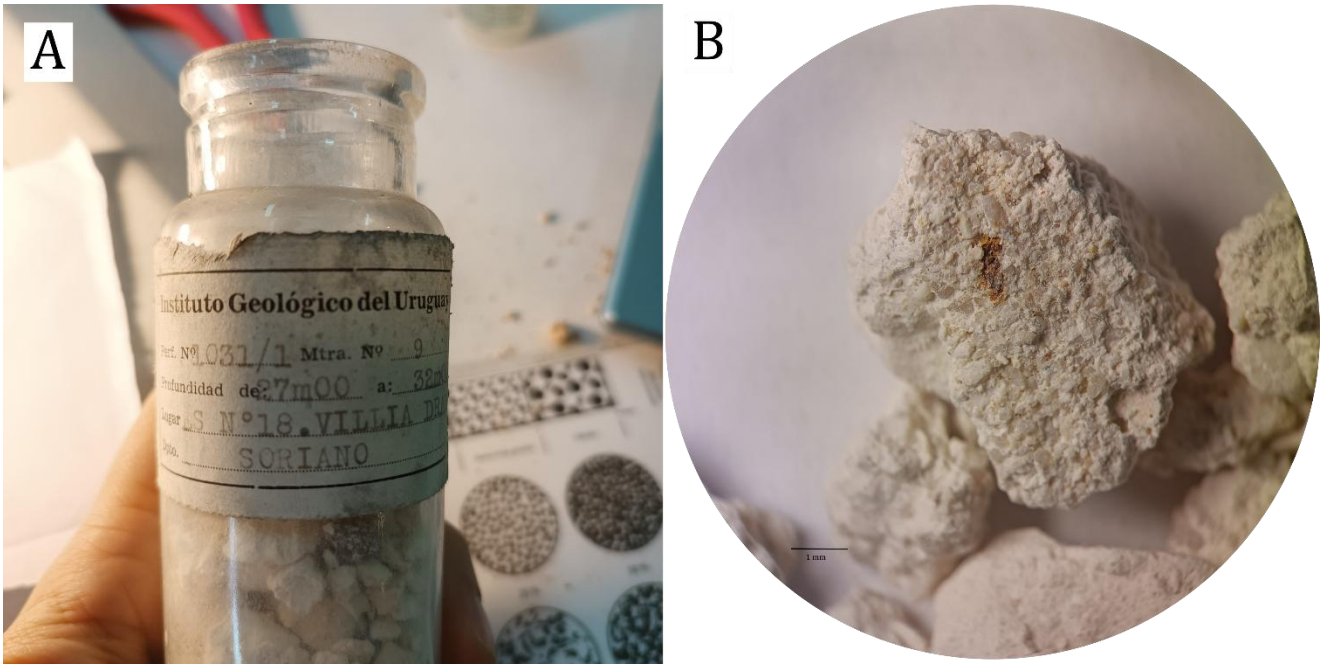


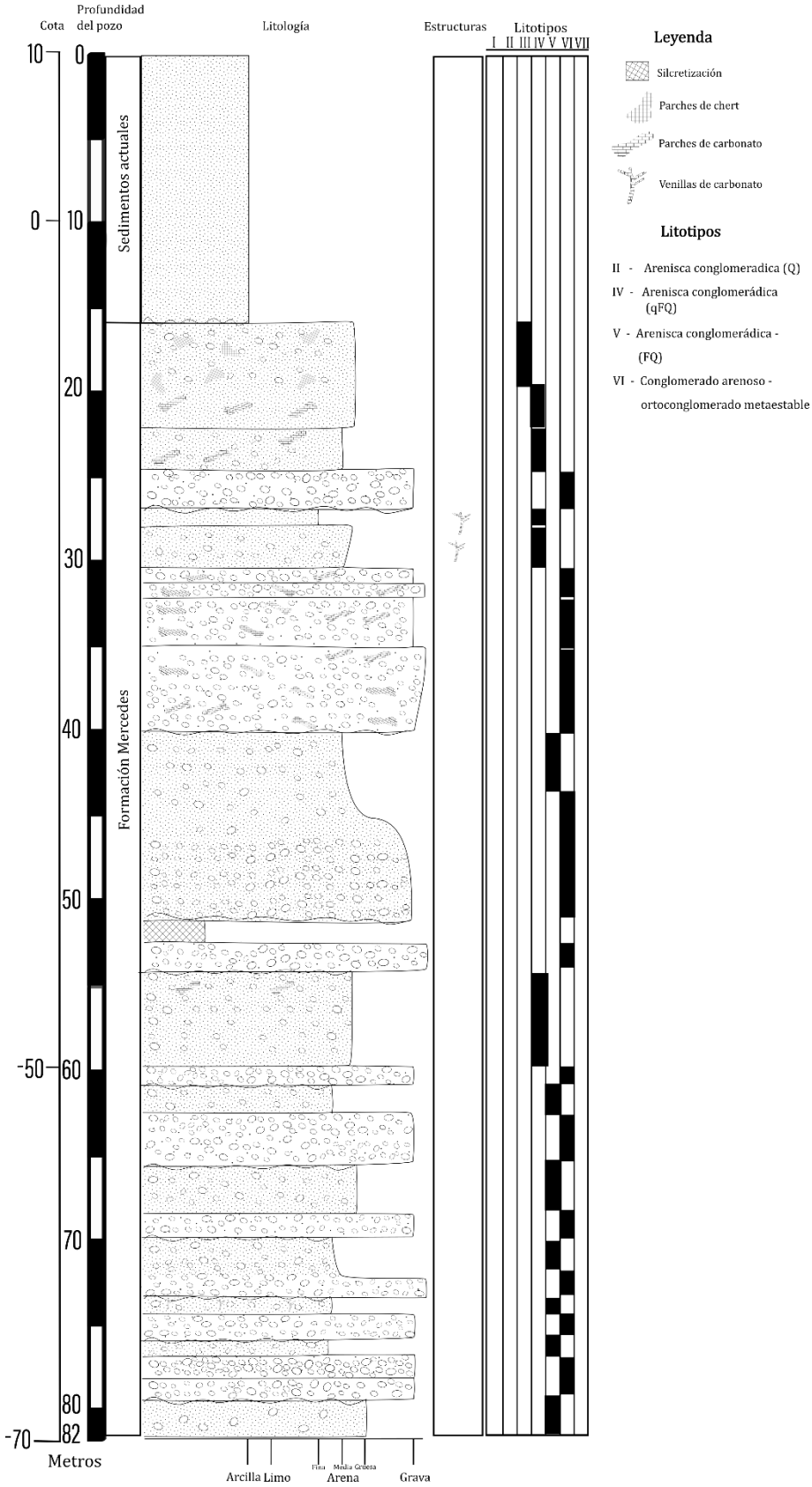
Figura 5.40 *Muestras del Pozo 1031 conservadas en DINAMIGE A Muestra de cutting conservada en frasco correspondiente a la Formación Fray Bentos.* ***B*** *Muestra de restos de cutting de la Formación Mercedes, correspondiente al nivel calcretizado.*

Con el propósito de llegar a un mejor entendimiento de la Formación Mercedes, se realizó la descripción de los pozos asociados a las perforaciones realizadas para la construcción del Puente Liber Seregni que une los departamentos de Soriano y Fray Bentos a la altura de la ciudad de Mercedes. Dichas perforaciones fueron realizadas entre 1940 y 1945, y estuvieron a cargo del Ing. Nicolás Serra.

Estas perforaciones son de gran interés en la literatura geológica, ya que representan la base de la descripción de la Formación Mercedes, siendo la perforación 347 el estratotipo de la misma.

Fueron descritos todos los sondeos correspondientes a dichas perforaciones, ya que no había descripciones claras de las mismas. Únicamente estabas las hechas por el Ing Serra al momento de realizada la perforación, en el año 1945. Posteriormente Bossi (1966) al elevar las Areniscas de Mercedes al rango de formación, no realiza nuevamente las descripciones sino que cita lo dicho por Serra.

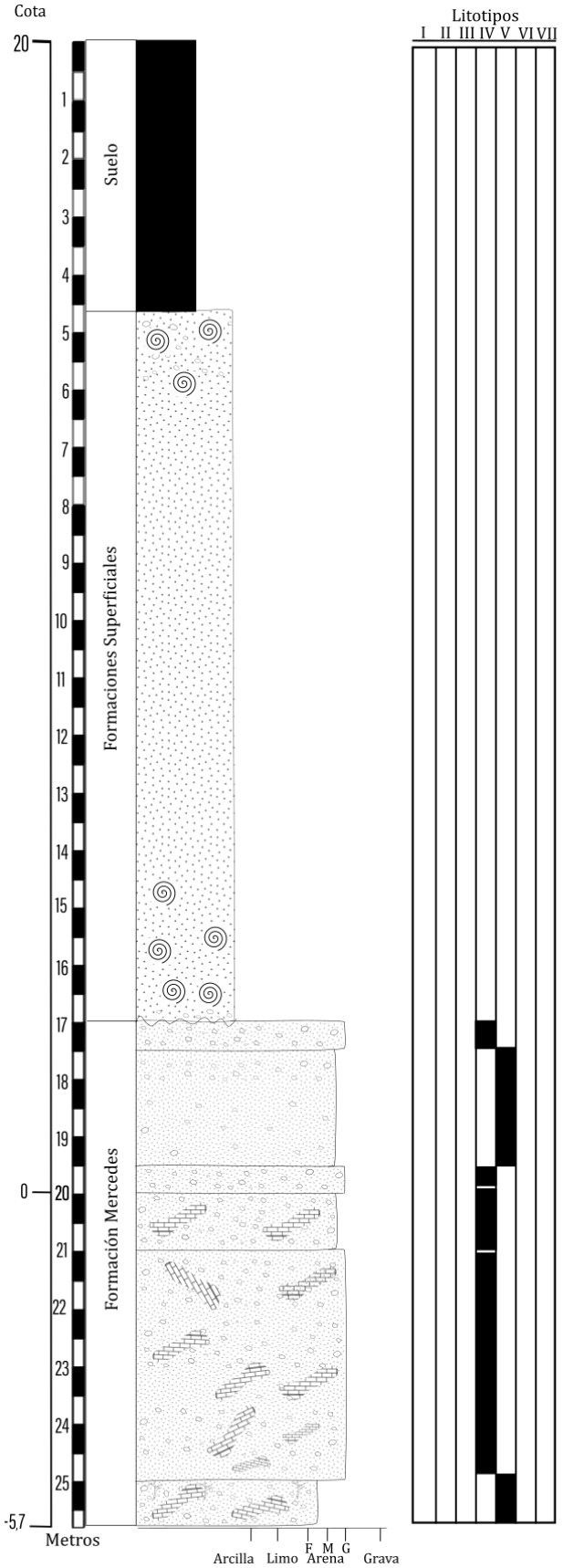
Pozo 347 – sondeo 8



Pozo 2 *Ilustración del pozo 347.8.*

En el año 1945, la Dirección de Vialidad y ejecutado por el Instituto Geológico del Uruguay (actual DINAMIGE) efectuaron varias perforaciones con el objetivo de conocer el subsuelo en los alrededores de la ciudad de Mercedes. El Pozo 347 agrupa 4 sondeos: 347.2, 347.4, 347.6 y 347.8. Se realizaron las descripciones de todos ellos, siendo seleccionado para representar en este trabajo el sondeo 347.8, debido a que presenta mayor registro de la unidad. Dada la naturaleza de las muestras, no se pueden distinguir estructuras sedimentarias.

Pozo 248.1



Pozo 3 *Ilustración del pozo 248.1.*

De acuerdo a los registros de la época, el Pozo 248 está comprendido por 7 sondeos. Se realizaron las descripciones de todos ellos, siendo seleccionado para representar el pozo en este trabajo el sondeo 248.1, que si bien no es el sondeo más profundo, es el que conserva su registro completo en la litoteca de la DINAMIGE.

6. DISCUSIÓN

En base a la información recabada, y teniendo en cuenta los trabajos previamente realizados en la zona, se propone una columna estratigráfica en el área estudio donde se incluye la Formación Guichón, unidad hasta el momento no mapeada en el Departamento de Soriano, y la confirmación de las Formaciones Mercedes y Asencio como unidades independientes, respaldado por el estudio de los litotipos de la Formación Mercedes.

6.1 Análisis de las unidades aflorantes

Los granitoides aflorantes asociados al Basamento Cristalino corresponden al Cinturón Granítico de la Faja Florida, del Terreno Piedra Alta (Oyhantçabal, 2011). Si bien se encuentra a escasos kilómetros del Complejo Arroyo Grande (Preciozzi et al., 1993), no muestra signos de haber sufrido metamorfismo. Ocupa un área mayor a la descrita en los trabajos anteriores, ocupando aproximadamente 17 % del área de estudio.

En cuanto a la Formación Arapey, ampliamente mapeada en el área por diversos autores (Bossi, 2001; DINAMIGE, Carta geológica Montaño), se pudieron diferenciar pequeños afloramientos, muy alterados, al Norte del área, sobre el margen del Río Negro, y al este, a las orillas del Arroyo del Tala, siendo el resto del área mapeada en base a foto lectura. La mayor parte de los afloramientos de esta formación quedaron bajo cauce del Río Negro luego de construida la Represa Hidroeléctrica Constitución.

Fueron encontrados dos afloramientos de pequeña escala, asociados a la Formación Guichón, mapeados por primera vez al Sur del Río Negro.

Gran parte del área es ocupada por la Formación Mercedes y en toda su distribución podemos encontrar desde areniscas de grano medio hasta conglomerados compuestos de grava gruesa. A lo largo de su extensión en el área, dichos afloramientos sufrieron procesos secundarios, como calcretización y principalmente silicificación, llegando en algunas zonas a borrar todos los rasgos primarios en la roca.

Se pudo mapear la Formación Asencio independiente de la Formación Mercedes, por sus diferencias litológicas a la escala del presente trabajo.

En cuanto a los afloramientos de la Formación Fray Bentos, están restrictos al Oeste del área, siendo el Arroyo de Vera el límite para estos afloramientos.

En los márgenes del Río Negro y de los principales cauces se encuentran sedimentos depositados por la constante acción del transporte fluvial.

En relación a la actividad económica del área, la zona forestada coincide con los términos silicificados de la Formación Mercedes, ubicados al Este del Arroyo Vera, mientras que las zonas de mayor cultivos se ubican al Oeste del Arroyo Vera coincidiendo con los la zona de afloramiento de la Formación Fray Bentos.

6.2 Análisis sedimentológico de la Formación Mercedes

Es difícil diferenciar las litologías de las Formaciones Mercedes y Asencio, la aplicación de esta nueva clasificación permite hacerlo en base a la composición del esqueleto. Esta clasificación permite diferenciar ambas unidades ya que la Formación Asencio está compuesta por areniscas con entre 96 % y 98 % de cuarzo.

Se pudieron diferenciar 7 litotipos de la Formación Mercedes dentro del área de estudio en base a las clasificaciones propuestas por Garzanti (2018) para areniscas (*figura 6.1)* y por Boggs (2012) para conglomerados. Esta clasificación de litotipos se realizó en función del tamaño y composición del esqueleto o matriz dominante, sin tener en cuenta la composición del cemento.

Dentro de las areniscas, clasificadas como rocas con un esqueleto tamaño arena, menor a 2 mm, con menos de 5% de clastos con tamaño grava, se pudieron separar dos litotipos:

- Litotipo I - Arenisca feldespática-cuarzosa (FQ)

Compuesta por entre 75% a 80% de cuarzo, 15% a 20% de feldespato y 5% a 2% de fragmentos líticos.

- Litotipo II - Arenisca feldespática-cuarzosa, enriquecida en cuarzo (qFQ)

Compuesta por entre 85% y 90% de cuarzo, entre 5% y 10% de feldespato y entre 10% y 2% de fragmentos líticos.

Otra litología presente son las areniscas conglomerádicas, siendo areniscas con matriz de arena y esqueleto de grava entre 5% y 30 % donde fueron separados 3 litotipos:

- Litotipo III - Arenisca conglomerádica cuarzosa (Q)

Una característica de este litotipo es que la matriz es igual en todas las muestras analizadas, siendo el esqueleto es muy variable entre las mismas, ya sea por su composición o tamaño de clasto, aun así, al hallarse en un porcentaje menor a 30% se clasifican de la misma forma.

Posee alrededor de 90 % de cuarzo y porcentajes variables de feldespato y fragmentos líticos entre 1% y 10%.

- Litotipo IV - Arenisca conglomerádica feldespatica-cuarzosa (qFQ)

Compuesto entre 84 % y 89 % de cuarzo, subordinadamente se encuentran 15 % a 10 % de feldespatos y 1% fragmentos líticos.

- Litotipo V- Arenisca conglomerádica feldespática-cuarzosa (FQ)

Está compuesta por 80% cuarzo y 20 % feldespato muy seritizado.

Otra litología son los conglomerados arenosos, definidos como rocas con entre 30 % y 50 % de clastos tamaño grava o mayor, y entre 70 % y 50 % de clastos tamaño arena. En este caso se diferenciaron dos litotipos:

- Litotipo VI - Conglomerado arenoso - ortoconglomerado metaestable

La composición del esqueleto es entre 75% y 85% de cuarzo, 10% a 8 % de feldespato y 8% a 15% fragmentos líticos.

- Litotipo VII - Conglomerado arenoso - ortoconglomerado ultraestable

Este litotipo solo aparece en una de las muestras relevadas, pero tiene la suficiente presencia de cuarzo como para ser considerado un litotipo aparte. En un estudio general de toda la formación podrían hallarse más ejemplos del mismo.

En ambos casos corresponden a conglomerados extraformacionales epiclásticos (Boggs, 2012) ya que los clastos tamaño grava corresponden a fragmentos meteorizados y transportados de una formación diferente a la que se depositaron.

Litotipos de la Formación Mercedes	Nombre	Cuarzo	Feldespato	Fragmentos líticos
	Arenisca FQ	75 a 80 %	15 a 20 %	5 a 2 %
	Arenisca qFQ	85 a 90 %	5 a 15%	10 a 2 %
	Arenisca conglomerádica Q	90 a 95 %	10 a 5%	5 a 2 %
	Arenisca conglomerádica qFQ	84 a 89 %	15 a 10 %	5 a 1 %
	Arenisca conglomerádica FQ	75 a 80 %	20 a 24%	1 a 5%

Figura 6.1 *Cuadro comparativo de los litotipos asociados a las granulometrías arenosas, clasificadas por Garzanti (2018).*

Las granulometrías conglomerádicas fueron encontradas a la base de los perfiles, siempre cercanas a contactos con el Basamento Cristalino. Mientras que las areniscas y areniscas conglomerádicas se encuentran intercaladas en los perfiles relevados, representando diferentes pulsos de carga sedimentaria y energía del sistema.

En cuanto a las estructuras relevadas podemos concluir que:

- Las geometrías con forma de canal indican sedimentación dominada por procesos de alta energía
- Las superficies erosivas indican reactivación o migración de canales, que provocan la erosión de los depósitos más antiguos, pudiendo generarse superficies de corte y relleno.
- Las sucesiones granodecreciente con acumulación de gravas a la base indican un sistema de alta energía que disminuye progresivamente su intensidad. El medio de transporte pierde velocidad y el tamaño de los clastos que puede transportar se reduce.

- Los intraclastos pelíticos indican que el flujo ha arrancado fragmentos de sustrato más fino en una etapa erosiva.
- Barras arenosas amalgamadas son típicas de sistemas fluviales, debido a la acción sucesiva de la migración del canal con acumulación de sedimentos. Pueden corresponder a barras longitudinales o transversales.
- Clastos orientados siguiendo los *foresets,* cuando hay estratificación cruzada, indican depositación por un flujo unidireccional, típico de sistemas fluviales, pudiendo representar un canal principal.
- Estratificación cruzada tabular en relleno de canales o barras arenosas, indicando sedimentación en régimen transicional.
- Las bioturbaciones al tope indican que, luego de depositado el sedimento, disminuyó la energía y pudo generarse un período de no depositación, o zona de muy baja energía. La ausencia de material pelítico señala que no se trata de una planicie de inundación.

Estas estructuras indican un ambiente fluvial *braided* de alta energía, con progresiva disminución de la misma, evidenciada por la presencia de geometrías de canal y depósitos de relleno granodecrecientes, con canales migratorios evidenciados por las superficies erosivas, barras arenosas amalgamadas y la presencia de bioturbaciones. Los sistemas *braided* de baja sinuosidad (Miall, 1996) representan áreas de drenaje con caudales variables y poca vegetación (Arche, 2010), donde por lo general estos sistemas se encuentran confinados en un valle.

En cuanto al flujo de transporte, las areniscas están asociadas a flujos. En un sistema *braided,* las arenas pueden depositarse en diferentes condiciones energéticas. Por un lado, en un sistema de flujo tractivo con energía alta a moderada, en zona de canal, se transportan clastos de arena gruesa por saltación o rodadura, y se depositan cuando el sistema pierde un poco de energía, pudiendo generar estratificación cruzada. Por otro lado, en flujos tractivos de energía moderada a baja, en zonas más distales de un sistema *braided*, son transportadas arenas finas a medias por suspensión o saltación.

En este contexto se depositan arenas en diferentes zonas del sistema *braided*:

- formando barras de arena, longitudinales o transversales, en canales principales por la disminución de la corriente o la migración del canal,

- como relleno de canal, en los tramos de menor energía como los márgenes del mismo
- al tope de barras amalgamadas por la migración del canal o depósitos intercanal desarrollándose entre dos canales.

En cuanto a las areniscas conglomerádicas, en sistemas *braided*, son formadas como consecuencia de flujos tractivos de alta energía, y excepcionalmente por flujos turbulentos.

En flujos tractivos de alta energía, los sedimentos gruesos son transportados por rodadura o saltación principalmente por el fondo del canal donde, al disminuir levemente la energía del sistema, son depositados estos sedimentos gruesos donde se incluyen gravas y arenas gruesas, sin que la energía sea lo suficientemente baja para depositar arenas finas. Pueden hallarse estratificaciones cruzadas, superficies erosivas y clastos orientados según *foresets*, en este depósito mal clasificado.

En flujos turbulentos de alta energía, se puede remover material ya depositado, por la generación de agitación del lecho. Esto genera que los clastos gruesos se depositen de forma caótica junto con areniscas gruesas. Pueden formarse barras arenosas amalgamadas.

En este contexto se depositan areniscas conglomerádicas:

- en la base de los canales principales, como relleno de canal
- en la base de barras de canal, longitudinales o transversales
- sobre superficies erosivas dentro del canal, donde el flujo tuvo la energía para excavar el material depositado anteriormente.
- como relleno de canales abandonados, nuevamente activos por la migración del canal.

Los conglomerados arenosos están asociados a flujos tractivos de alta energía o flujos turbulentos, en sistemas fluviales. En ambientes *braided* los flujos tractivos de alta energía transportan los clastos de grava por rodadura, deslizamiento en la base del cauce y saltación en el caso de las arenas gruesas. Al perder levemente energía se depositan los clastos de gravas y las arenas gruesas rellenan los espacios entre gravas. Se forman en los canales principales o base de barras.

En flujos turbulentos, la turbulencia generada remueve y moviliza clastos de gran tamaño formando depósitos caóticos heterogéneos.

En cuanto a la composición de los clastos, la relación cuarzo/feldespato está asociada a la proximidad a la fuente del sedimento, la condición de transporte y sedimentación, y la evolución de características externas como el clima, la topografía o la actividad tectónica.

La relación cuarzo/feldespato propia de un sistema *braided* se asocia con la proximidad al área de aporte, donde mayor cantidad de feldespato indica que la fuente es cercana permitiendo un aporte constante de sedimentos. En sistemas de alta energía, se puede asociar a flujos de mayor energía, con rápida sedimentación lo cual permite que los clastos más inestables se preserven. Podría ser un indicativo de que son transportados por flujos esporádicos de alta energía.

No se distinguieron zonas de desarrollo de planicies, ni presencia de material fino, más allá del cementante, intercalada en los diferentes pulsos de energía asociados a la Formación Mercedes, característica que sí está descripta en otras zonas asociadas a esta formación.

No se encontraron clastos de basalto en ninguna de las muestras observadas de la Formación Mercedes, aunque sí abundante material proveniente del Basamento Cristalino, como restos de clastos de granitoides y de rocas metamórficas. Por el contrario, sí se pudo diferenciar clastos de basaltos en las láminas correspondientes a la Formación Guichón.

En general, la zona sufrió procesos de calcretización y silicificación afectando la roca en diferentes grados.

En cuanto a la calcretización, se diferencian zonas donde la precipitación de carbonato fue lo suficientemente intensa como para ocluir los poros preexistentes en forma de cemento, así como también formar venillas y/o pequeños nódulos. En estas zonas la concentración de carbonato es lo suficientemente intensa como para formar una calcreta.

Además de esto, hacia la zona Oeste y Norte del área, son más comunes los episodios de calcretización presentados como nódulos, parches y hasta lentes de carbonatos. En lámina delgada se puede observar el reemplazo de material siliciclástico original por carbonato, por lo cual se confirma que es un proceso secundario.

Es común en toda la zona de estudio la aparición de silicificación, la cual actuó de diversas formas en toda la unidad, desarrollándose como cemento secundario silíceo, parches de chert o conformando extensos estratos de poco espesor de silcreta, llegando a borrar en

algunas zonas los rasgos primarios de la roca. Este es un rasgo característico de esta zona, ya que el relieve es condicionado por la silicificación, formando zonas escarpadas.

Los efectos de la silicificación fueron hallados comúnmente en este trabajo en los litotipos de arenisca o arenisca conglomerádica, y al tope de las sucesiones sedimentarias, no así en las unidades conglomerádicas o a la base de perfiles expuestos.

6.3 Análisis de contactos

El área de estudio comprende una zona de importancia en la literatura geológica, donde se describen contactos que no pudimos observar en campo.

6.3.1 Contactos entre el Basamento Cristalino y la Formaciones Mercedes

No se pudo cumplir completamente el objetivo de establecer la relación con los linderos estratigráficos. Solamente pudimos hallar el contacto entre la Formación Mercedes y el Basamento Cristalino en uno de los afloramientos relacionados al Cerro Vera. Allí se encontró un contacto erosivo entre ambas unidades, donde la zona de contacto está compuesta por clastos de hasta 80 mm.

6.3.1 Contactos entre las formaciones Mercedes y Asencio

En la bibliografía estudiada se menciona que en Paso Vera, ubicado en la intersección de la Ruta 14 y el Arroyo de Vera, se puede ver el contacto entre las formaciones Mercedes y Asencio. Hecho el relevamiento de la zona, solo se pudo encontrar material removido de la Formación Asencio sobre un depósito de la Formación Mercedes.

No se observó ningún contacto entre ambas unidades, aunque si se infirió contacto en el/los punto/s xx (la forestal Lobo de Mar y capaz que alguno de los de la ruta 55)

6.3.1 Contactos entre las Formaciones Mercedes y Fray Bentos

No observamos contacto neto entre las Formaciones Mercedes y Fray Bentos. Si bien el Pozo 1031 presenta un contacto entre ambas formaciones, las muestras conservadas corresponden a restos de *cutting* y no se preservan las características del contacto.

6.4. Análisis estructural

Se infirió en el área una falla que controla al actual curso del Arroyo de Vera. El rasgo distintivo es el cambio de litologías a ambos lados de dicho arroyo. Hacia el Oeste, podemos encontrar ampliamente desarrollada la Formación Fray Bentos, y la Formación Asencio se encuentra restricta a cotas de entre 30 y 60 m. Al este del área se puede encontrar Basamento Cristalino y rocas de las Formaciones Arapey y Guichón, además de que las rocas de las Formaciones Mercedes y Asencio se encuentran a cotas mayores que la zona Oeste. A su vez, en el pozo N° 1031 no se perforaron rocas de la Formación Arapey ni la Formación Guichón. Por lo tanto, se propone una falla normal con dirección NW y ascenso del bloque Este.

También pudieron infirieron lineamientos, que se distinguen por la morfología de los cauces.

7. CONCLUSIONES

Pudo realizarse el mapa del área de estudio a escala 1:40.000, relevándose rocas del Basamento Cristalino y las Formaciones Arapey, Guichón, Mercedes, Asencio, Fray Bentos y sedimentos actuales.

Se pudo mapear por primera vez en la literatura geológica del Uruguay, rocas pertenecientes a la Formación Guichón en el Departamento de Soriano, que si bien son pequeñas áreas, resultan mapeables a la escala del presente trabajo y representan los afloramientos más australes de dicha formación.

Se diferenciaron 7 litotipos de la Formación Mercedes, y atribuyéndose su génesis a un ambiente tipo *braided* de alta energía y baja sinuosidad, presentando una sucesión de ciclos grano decrecientes, correspondientes a diferentes pulsos de energía.

Dada la información aportada por la litología, las estructuras sedimentarias y los perfiles, se confirma que la Formación Mercedes está conformada por ciclos fluviales granodecrecientes (Tofalo & Pazos, 2010), presentando características que pueden asociarse a sistemas de ríos *braided* de baja sinuosidad.

La Formación Mercedes sufrió fuertes procesos secundarios de pedogénesis generadores de paleosuelos, y procesos diagenéticos representados por la formación de calcretización y silicificación ampliamente extendida en el área de estudio.

Se encontró un contacto entre el Basamento Cristalino y la Formación Mercedes, sin poder encontrarse contactos con las Formaciones Arapey, Asencio y Fray Bentos.

Se determinó la presencia de una falla geológica la cual controla el actual curso del Arroyo de Vera, y múltiples lineamientos que permitieron la acomodación de los bloques.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Achkar M., Domínguez A., Pesce F. (2014) Cuencas hidrográficas del Uruguay. Situación y perspectivas ambientales y territoriales. Programa Uruguay Sustentable. REDES. Amigos de la Tierra. p. 165.
- Boggs, Sam. (2012). Principles of sedimentology and stratigraphy. Upper Saddle River, N.J. :Pearson Prentice Hall.
- Bonjour, M. (2013.). Heterogeneidades hidrogeológicas de la Cuenca Inferior del Río Uruguay. Tesis de grado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias.
- Bossi J (1966): "Geología del Uruguay". Colección Ciencias, no 2. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, Montevideo.
- Bossi J, Ferrando L, Elizalde G, Morales H, Ledesma J, Carballo E, Ford I & Montaña J (1975): "Carta Geológica del Uruguay a escala 1:1.000.000". Dirección de Suelos y Fertilizantes (MGAP), Montevideo.
- Bossi J & Navarro R (1988): "Geología del Uruguay". Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, 3a edición, 2 tomos, Montevideo.
- Bossi J & Ferrando L (2001): "Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a escala 1:500.000". Versión CD-Rom, Geoeditores, Montevideo.
- Caorsi, J.; & Goñi, J. (1958) Geología Uruguaya. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 37. Montevideo.
- De los Santos, J., Menta, M., Giménez, M. Musso, M., Bessouat, C., Flaquer, A., García, G., Ford, S., Gregorio, G., Herrera, G., Hernández, G., Becerra, L., Corbo, F., Ramos, J. (2020). Avances en el conocimiento del Sistema Acuífero del Litoral Sur (SALS). Revista Latino – Americana de Hidrogeología, número especial, p. 86 – 92.
- De Santa Ana, H., 1989. Consideraciones tectónicas y deposicionales en la Cuenca Norte uruguaya. Bol. Técnico ARPEL, 18 (4): 319 - 339.
- De Santa Ana H (2004): "Análise Tectono–estratigráfica das Seqüências Permotriassica e Jurocretácea da Bacia Chacoparanense Uruguaia ("Cuenca Norte")". Tese de Doutorado, IGCE– Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil.
- Ford, I.; Gancio, F. (1988) Asociación caolinita-montmorillonita en un paleosuelo del terciario inferior del uruguay (Fm. Asencio). Montevideo.

- Ford, I., Montaña, J., Morales, H. (1990) Carta geológica del Uruguay, escala 1:100.000 hoja N – 19: Paso de Palmar. Facultad de Agronomía. Montevideo
- Folk, R. L. (1966) A review of grain-size parameters. Sedimentology 6.
- Frenguelli, J. (1930) Apuntes de Geología Uruguaya. Instituto de Geología y Perforaciones, Boletín No 11. Montevideo.
- Garzanti, E. (2018). Petrographic classification of sand and sandstone. Earth-Science Reviews. 192.
- Goso, C. (1999). Análise estratigráfica do grupo Paysandú (Cretaceo) na Bacia do Litoral, Uruguai. Tese de Doutoramento IGCE-UNESP, Rio Claro.
- Goso, C.; Perea. D. (2004) El cretácico post-basáltico y el terciario inferior de la Cuenca Litoral del Río Uruguay: Geología y Paleontología. En: Veroslavsky, G.; Ubilla, M.; Martínez, S.; Cuencas sedimentarias de Uruguay geología, paleontología y recursos naturales Mesozoico. Montevideo, DIRAC, pp.143-170.
- Goso-Aguilar, C., Manganelli, A., Fernández-Turiel, J. L., García-Vallés, M., & Gimeno, D. (2008). Hidrogeoquímica del Acuífero Mercedes en el Oeste de Uruguay. V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Mar del Plata, Argentina.
- Heinzen, W., Carrión, R., Massa, E., Pena, S., Stapff, M., (2003). Mapa Hidrogeológico – Escala 1.100.000. DINAMIGE.
- Huene, F. von (1929) Terrestrische Oberkreide in Uruguay. Centralblatt für mineralogie, Geologie und Paläontologie Abteilung B.
- Lambert, R. (1939) Memoria Explicativa del Mapa Geológico de los Terrenos Sedimentarios y de las Rocas Efusivas del Departamento de Durazno. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 25, Montevideo.
- Lambert, R. (1940) Memoria Explicativa de un Mapa Geológico de Reconocimiento del Departamento de Paysandú y de los Alrededores de Salto. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 27. Montevideo.
- Loureiro, J., Sanchez-Bettucci, L., Pérez, F., Spoturno. J. 2017. Carta Geológica Digital del Uruguay.DINAMIGE.
  http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/

- Martínez, S.; Veroslavsky, G. (2000) Darwin, la geología y el Uruguay. En: Altuna, C & Ubilla, M.; El prisma de la evolución. A 140 años de "El origen de las especies". Montevideo-Uruguay, DIRAC, pp.81-98.
- Martínez, S.; Veroslavsky, G. (2004) Registros continentales no depositacionales del terciario temprano. En: Veroslavsky, G.;Ubilla, M.; Martínez, S.; Cuencas sedimentarias del Uruguay geología, paleontología y recursos naturales Cenozoicos. Montevideo-Uruguay, DIRAC, pp.63-82.
- Martínez, S., Veroslavsky, G. & Cabrera Curbelo, F. (2015). Calizas del Queguay: Un enfoque hacia la arqueología. Revista de Antropología del Museo de Entre Ríos.
- Masquelin, Henri. (2006). El Escudo Uruguayo. In: M. Ubilla and G. Veroslavsky (eds) Cuencas Sedimentarias de Uruguay, geología, paleontología y recursos minerales: Paleozoico. Montevideo, Uruguay: DIRAC, Fac. Ciencias. 3. 37-106.
- Miall, A. D. (1996). The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Faciès, Basin Analysis, and Petroleum Geology (582 p.). Berlin: Springer-Verlag.
- Milani, E.J. (2004) Comentários sobre a origem e a evoluçã tectônica da Bacia do Paraná. En: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R. e Brito Neves, B.B. (org.), Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, Editora Beca, São Paulo.
- Milani, E. & Filho, A. (2000). Sedimentary basins of South America.
- Montaña, J., Ford, I., Morales, H. (1990) Carta geológica del Uruguay, escala 1:100.000 hoja O - 20: Bequeló. Facultad de Agronomía. Montevideo.
- Morales, H. & Ford, I. (1988) Algunas consideraciones sobre las sedimentitas del Cretácico Superior del Uruguay. En: Actas del 6to Panel de Geología del Litoral, 1988, Salto, Uruguay.
- Morales, H., Ford, J., Montaña, J., (1989) Carta Geológica del Uruguay, hojas O – 19: Cololó, a escala 1:100.000. Facultad de Agronomía. Montevideo
- Morrás, H.; Tofalo, O. & Sánches-Bettucci, L. (2010) Wethering processes at the boundary between the Mercedes formation and Asencio. Revista Geociências, Unesp v. 29 (4), 487-500, 2010 - 396.

- Núñez Demarco, P, Masquelín, E y Sánchez Bettucci, L. (2018). Historia de la geología precámbrica del Uruguay: revisión de las divisiones estructurales, tectoestratigráficas sus límites y nomenclaturas. EN: Revista Investigaciones Montevideo, 2018, 1 (2): 1-16. 16 h.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., & Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: A review of units, boundaries, ages and isotopic signature. International Journal of Earth Sciences, 100(2), 201–220.
- Padula, E. & Mingramm, A. (1968) Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónicosedimentario en el subsuelo de la Llanura Chaco-Paranense. Actas III Jornadas Geológicas Argentinas.
- Panario, D. (1988): "Morfología del Uruguay". Facultad de Ciencias, Universidad de la República.
- Patrone, J. (2010) Conclusiones del comportamiento de la presa "Constitución" a casi 30 años de operación. "Constitucion" dam behavior conclusions after 30 years of operation https://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/281/340
- Pazos, P.; Tófalo, O. R.; González, M. (1998) La Paleosuperficie Yapeyú: Significado estratigráfico y paleoambiental en la evolución del Cretácico Superior del Uruguay. En: Actas del II Congreso Uruguayo de Geología, Punta del Este, Uruguay.
- Pettijohn, F.J., 1948. A preface to the classification of the sedimentary rocks. J. Geol. 56, 112–117.
- Pettijohn, F.J., 1949. Sedimentary Rocks. Harper and Brothers, New York (526 pp.).
- Pettijohn, F.J., 1954. Classification of sandstones. J. Geol. 62, 360–365.
- Preciozzi, F.; Spoturno, J.; Heinzen, O.; y Rossi, P. (1985) Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000. DINAMIGE (MIEM), pp. 90, 1 mapa.
- Rodríguez Miranda, A., Galaso, P., Goinheix, S. & Martínez, C. (2017), "Especializaciones productivas y desarrollo económico regional en Uruguay", en Serie de Documentos de Trabajo, DT 07/2017. Instituto de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y administración, Universidad de la República, Uruguay.

- Rodríguez Miranda, A., Vial Cossani, C., Parrao, A. & Martínez, C. (2018), Índice de Desarrollo Regional Chile-Uruguay. Una propuesta para medir el desarrollo regional en América Latina, Instituto de Economía, Universidad de la República (Uruguay) e Instituto Chileno de Estudios Municipales, Universidad Autónoma de Chile.
- Serra, N. (1945) Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Soriano. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 32. Montevideo.
- Soares, P.C.; Landim, P.M.B.; Fúlfaro, V.J.; Sobreiro Neto, A.F. (1980) Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. Revista Brasileira de Geociências.
- Sopena & Sánchez-Moya (2010) Sistemas aluviales de baja sinuosidad. En: Alfonso Sopena y Yolanda Sánchez-Moya; Sedimentología Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid, CSIC, 73-83.
- Soto, M.; Perea, D.; Veroslavsky, G.; Rinderknecht, A.; Ubilla, M.; Lecuona, G. (2008) Nuevos hallazgos de restos de dinosaurios y consideraciones sobre la edad de la Formación Guichón. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, 15: 11-23.
- Stoops. G. (2015) Análisis de contextura de la masa basal mineral y los rasgos edáficos del suelo. En: Loaiza. J.C.; Stoops. G.; Poch. R. & Casamitjana. M. Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias. Argentina, Pascual Bravo,pp. 87-154.
- Tardy, Y. (1992) Diversity and terminology of lateritic profiles. En: Weathering, Soils & Paleosols. Developments in Earth Surface Processes 2. Elsevier, pp. 379-405.
- Tofalo, O. (1968). Caracterización sedimentológica y estratigrafía de las formaciones Puerto Yerua y Arroyo Avalos, Provincias de Entre Ríos y Corrientes. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Tófalo, R. & Pazos,P. & Sánchez Bettucci, L. (2001). Caracterización micromorfológica de calcretes, "Calizas del Queguay", Departamento Paysandú, Uruguay. 11° Congreso Latinoamecicano y 3o Uruguayo de Geología, Actas CDR: 5-24, Montevideo.
- Tófalo, R. & Pazos, P., Paleoclimatic implications (Late Cretaceous-Paleogene) from micromorphology of calcretes, palustrine limestones and silcretes, southern Paraná Basin, Uruguay. Journal of South American Earth Sciences, v. 29, p. 665-675, 2010.

- Turner, A.; McGuire, C.; Hobbs, K.; Soto, M.; Perea,D.; Moore, J. (2017) The sedimentology, paleoenvironment, diagenesis of the Asencio Formation of Western Uruguay, . En: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (2017).
- Ubilla, M.; Veroslavsky, G & Martinez, S. (2004) El Mesozoico. En: Veroslavsky, G.; Ubilla, M.; Martínez, S.; Cuencas sedimentarias de Uruguay geología, paleontología y recursos naturales Mesozoico. Montevideo, DIRAC, pp.13-34.
- URUPOV 2022 Teledetección y caracterización del cultivo de Soja en Uruguay https://www.urupov.org.uy/wp-content/uploads/2022/05/Informe-Soja-Uruguay-2022.pdf
- Veroslavsky G, Ubilla M, de Santa Ana H & Martínez S (2006): "Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales – MESOZOICO". DIRAC-Facultad de Ciencias, Montevideo.
- Veroslavsky G, Ubilla M, de Santa Ana H & Martínez S (2006): "Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales – CENOZOICO". DIRAC-Facultad de Ciencias, Montevideo.
- Veroslavsky, G.; Aubet, N.; Martínez, S.; Heaman, L.; Cabrera, F. & Mesa, V. (2019) Late Cretaceous statigraphy of the southeastern Chaco-Paraná basin ("Norte basin" - Uruguay) The Maastrichtian age of the calcretization process. Revista Geociências, Unesp v. 38 (2), 377 - 396.
- Viseras & Fernández. (2010) Los sistemas aluviales de alta sinuosidad. En: Cesar Viseras y Juan Fernández; Sedimentología Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid, CSIC, 261-297.
- Walther, K. (1919) Líneas Fundamentales de la Estructura Geológica de la República O. Del Uruguay. Revista del Instituto Nacional de Agronomía No 3. Montevideo.

ANEXO I – MAPA DE PUNTOS

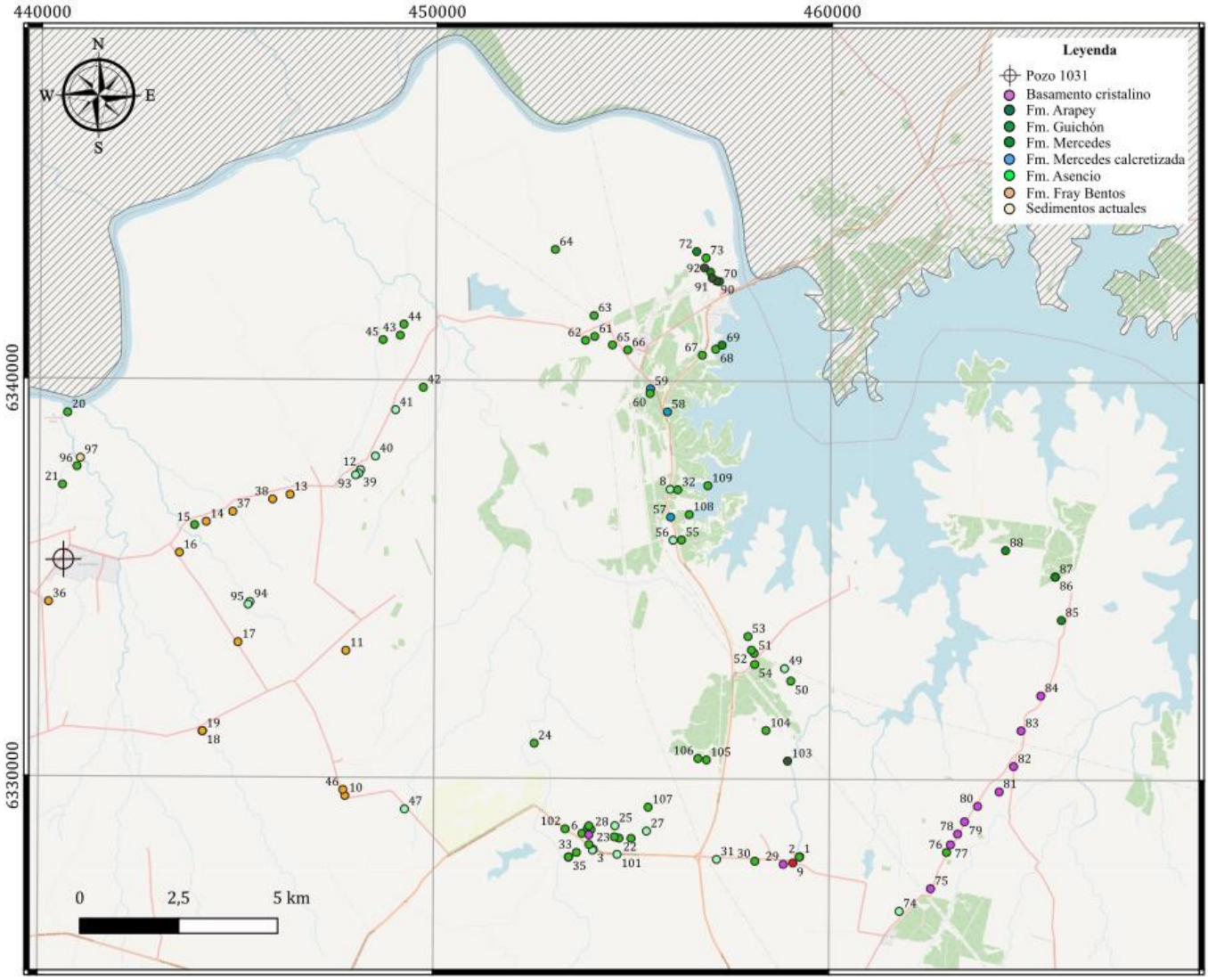


Figura A1 *Mapa de ubicación de puntos de observación.*

ANEXO II – TABLA DE PUNTOS

Punto	X	Y	Formación
1	459312	6328092	Fm Mercedes
2	459302	6328085	Fm Mercedes
3	454027	6328259	Fm Asencio
4	454008	6328238	Fm Asencio
5	453898	6328770	Basamento Cristalino
6	453738	6328662	Fm Mercedes
7	453882	6328790	Fm Mercedes
8	455957	6337429	Fm Asencio
9	459136	6327930	Fm Mercedes
10	447665	6329598	Fm Fray Bentos
11	447672	6333289	Fm Fray Bentos
12	448024	6337893	Fm Asencio
13	446225	6337255	Fm Fray Bentos
14	444080	6336556	Fm Fray Bentos
15	443784	6336470	Fm Mercedes
16	443398	6335766	Fm Fray Bentos
17	444909	6333494	Fm Fray Bentos
18	444011	6331224	Fm Fray Bentos
19	444011	6331224	Fm Fray Bentos
20	440516	6339323	Fm Mercedes
21	440395	6337481	Fm Mercedes
22	454686	6328545	Fm Mercedes
23	454566	6328577	Fm Mercedes
24	452504	6330950	Fm Mercedes
25	454580	6328860	Fm Asencio
26	454993	6328541	Fm Mercedes

27	455388	6328727	Fm Asencio
28	453967	6328762	Fm Mercedes
29	458890	6327896	Basamento Cristalino
30	458164	6327972	Fm Mercedes
31	457183	6328015	Fm Asencio
32	456150	6337418	Fm Mercedes
33	453598	6328177	Fm Mercedes
34	453395	6328060	Fm Mercedes
35	453395	6328060	Fm Mercedes
36	440054	6334508	Fm Fray Bentos
37	444760	6336814	Fm Fray Bentos
38	445777	6337135	Fm Fray Bentos
39	447981	6337798	Fm Asencio
40	448404	6338241	Fm Asencio
41	448915	6339425	Fm Asencio
42	449623	6340000	Fm Mercedes
43	449026	6341322	Fm Mercedes
44	449117	6341603	Fm Mercedes
45	448585	6341207	Fm Mercedes
46	447615	6329749	Fm Fray Bentos
47	449193	6329263	Fm Asencio
49	458904	6332876	Fm Asencio
50	459064	6332560	Fm Mercedes
51	458123	6333263	Fm Mercedes
52	458055	6333343	Fm Mercedes
53	457966	6333689	Fm Mercedes
54	458139	6332979	Fm Mercedes
55	456252	6336140	Fm Mercedes
56	456035	6336134	Fm Asencio
57	455969	6336721	Fm Mercedes calcretizada
58	455878	6339400	Fm Mercedes calcretizada

59	455440	6339985	Fm Mercedes calcretizada
60	455433	6339869	Fm Mercedes
61	454006	6341315	Fm Mercedes
62	453771	6341213	Fm Mercedes
63	453989	6341845	Fm Mercedes
64	452987	6343526	Fm Mercedes
65	454460	6341101	Fm Mercedes
66	454853	6340975	Fm Mercedes
67	456766	6340846	Fm Mercedes
68	457107	6341000	Fm Mercedes
69	457270	6341105	Fm Guichón
70	457195	6342726	Fm Guichón
71	456964	6342967	Fm Guichón
72	456609	6343486	Fm Guichón
73	456849	6343324	Fm Mercedes
74	461861	6326712	Fm Asencio
75	462661	6327290	Basamento Cristalino
76	463067	6328215	Fm Mercedes
77	463166	6328409	Basamento Cristalino
78	463349	6328684	Basamento Cristalino
79	463524	6328996	Basamento Cristalino
80	463857	6329389	Basamento Cristalino
81	464408	6329759	Basamento Cristalino
82	464774	6330405	Basamento Cristalino
83	464964	6331313	Basamento Cristalino
84	465464	6332203	Basamento Cristalino
85	465985	6334127	Fm Guichón
86	465824	6335230	Fm Guichón
87	465824	6335230	Fm Guichón
88	464549	6335901	Fm Guichón
89	458179	6324094	Fm Asencio

90	457121	6342741	Fm Arapey
91	457011	6342814	Fm Arapey
92	456809	6343072	Fm Arapey
93	447899	6337759	Fm Asencio
94	445210	6334520	Fm Asencio
95	445164	6334453	Fm Asencio
96	440761	6337951	Fm Mercedes
97	440847	6338166	Sedimentos actuales
98	453912	6328854	Fm Mercedes
99	453915	6328626	Basamento Cristalino
100	453919	6328380	Fm Mercedes
101	454638	6328132	Fm Asencio
102	453305	6328775	Fm Mercedes
103	458990	6330525	Fm Arapey
104	458435	6331299	Fm Mercedes
105	456914	6330545	Fm Mercedes
106	456695	6330580	Fm Mercedes
107	455427	6329336	Fm Mercedes
108	456447	6336787	Fm Mercedes
109	456921	6337523	Fm Mercedes