



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de
LICENCIADA EN GEOLOGÍA

**PROCEDENCIA DE LA SUCESIÓN TRIÁSICA LACUSTRE DE LA QUEBRADA
DE ISCHICHUCA (CUENCA ISCHIGUALASTO-VILLA UNIÓN, LA RIOJA)**

VANESA BELEN SIMOES

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2017

Prefacio

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología, en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa, y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Cátedra de Sedimentología dependiente del Departamento de Geología, durante el período comprendido entre el 08/02/2017 y el 23/11/2017, bajo la dirección de Ricardo Melchor.

Deseo expresar mi sincero agradecimiento

- A la Universidad Nacional de La Pampa y a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- A Ricardo Melchor, mi Director, por su paciencia, atención y conocimientos.
- A mi Familia, que sin ellos no hubiera sido posible.
- A mis Compañeras/os, con los que compartí el transcurso de mi carrera, me llevo grandes amigos/as.
- Al Departamento de Geología, y a todos los docentes.

13/12/2017

Firma del autor

Departamento de Geología

“FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES”

“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA”

Índice

Resumen.....	5
Abstract.....	6
Capítulo 1: Introducción y Marco geológico.....	7
Objetivos.....	8
Hipótesis.....	8
Marco Geológico.....	9
Ubicación y rasgos geológicos de la Quebrada de Ischichuca.....	15
Capítulo2: Metodología.....	18
Introducción.....	18
Características microscópicas de los tipos de granos contados.....	18
Procedencia.....	23
Tamaño de grano, selección y empaquetamiento.....	23
Reconstrucción de las litologías de las áreas de aporte.....	26
Capítulo 3: Petrografía de areniscas.....	27
Clasificación de las areniscas.....	27
Descripción petrográfica de las unidades litoestratigráficas estudiadas.....	29
Capítulo 4: Procedencia de areniscas.....	38
Fundamentos de procedencia de areniscas.....	38
Análisis de procedencia de las areniscas estudiadas.....	43
Petrofacies de arenisca.....	47
Índice de empaquetamiento.....	54
Capítulo 5: Discusión.....	57

Procedencia y paleocorrientes de la Formación Ischichuca.....	59
Geología regional permo – triásica.....	62
Procedencia de las unidades analizadas.....	64
Evolución tectosedimentaria de la sucesión analizada.....	66
Empaquetamiento de las areniscas.....	67
Capítulo 6: Conclusiones.....	68
Bibliografía.....	70
Anexo 1.....	79
Anexo 2.....	84

Resumen

Este proyecto de Tesina comprende estudios petrográficos de areniscas de las formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca en el perfil Quebrada de Ischichuca (provincia de La Rioja), dentro del ámbito de la cuenca triásica de Ischigualasto-Villa Unión. Se realizaron estudios de procedencia de areniscas de las formaciones mencionadas con el fin de establecer de manera detallada las modas detríticas, proponer el área de aporte de los sedimentos y contribuir al entendimiento la evolución tectosedimentaria de la sucesión analizada. Contempla el análisis petrográfico y conteo de veintidós cortes delgados de arenisca, colectados durante el desarrollo de estudios sedimentológicos previos. Cada uno de los cortes mencionados tiene una ubicación estratigráfica conocida y pueden ser referidos a perfiles sedimentológicos de detalle. La hipótesis de trabajo es que existe un cambio en la procedencia de los materiales detríticos de las unidades a estudiar, la que puede ser correlacionada con eventos tectónicos de alcance regional.

Veinte de las areniscas analizadas son arenitas y sólo dos muestras de la Formación Chañares se clasificaron como vaques. Las primeras corresponden principalmente a litoarenitas feldespáticas, y en menor proporción, feldarenitas líticas, feldarenitas y subfeldarenitas. Las vaques fueron clasificadas como vaques líticas.

El estudio de las modas detríticas de las areniscas evidencia la existencia de, al menos, dos áreas de aporte principales para estas unidades. Por un lado, la provincia volcánica permotriásica del Grupo Choiyoi, que aportó grandes cantidades de líticos volcánicos, principalmente de composición ácida a mesosilíceo. Por otro lado, el aporte de la Sierra de Valle Fértil está marcado por los fragmentos de metamorfitas y granitoides, de edad Cámbrico - Ordovícico. Un aporte sedimentario subordinado procedería del Grupo Paganzo (Carbonífero – Pérmico).

Existe un cambio de procedencia y paleocorrientes en la sección cuspidal de la Formación Ischichuca que sugiere un cambio en la composición de las áreas fuente. La procedencia del tramo inferior indica un aporte desde el sureste a partir de rocas mayoritariamente volcánicas, metamórficas y granitoides-gneisicas, para luego cambiar al suroeste donde esencialmente el aporte fue volcánico. Estos cambios se interpretan como el reflejo de una modificación en la configuración de la cuenca, y se asignan tentativamente al final de la fase de *sinrift*.

Abstract

This Licenciante Thesis project includes petrographic studies of sandstones of the Tarjados, Chañares and Ischichuca formations from the Quebrada de Ischichuca profile (La Rioja province) within the Ischigualasto-Villa Union Triassic basin. Studies of sandstone provenance of the mentioned formations were carried out in order to establish in detail the detrital modes, to propose the source area of the sediments and to delineate the tectosedimentary evolution of the analyzed succession. It includes the petrographic analysis and point counting of 22 sandstone thin sections, collected during the course of previous sedimentological studies. Each of the mentioned thin sections has a known stratigraphic location and can be referred to detail sedimentological profiles.

The studied sandstones are mostly arenites (20 samples) and only two samples from the Chañares Formation are classified as wackes. Arenites are mostly feldspathic litharenites, and, in minor proportion, lithic feldarenites, feldarenites and subfeldarenites. The remaining samples are lithic wackes.

The analysis of detrital modes of the studied sandstones suggest, at least, two main source areas. One of these sources is the Permotriassic volcanic province of the Choiyoi Group, that yielded a large amount of volcanic lithic fragments, mostly acidic to intermediate in composition. Another important source area is the Sierra de Valle Fertil, as suggested by the metamorphic and granitoid grains. A minor but distinctive input of sedimentary lithic fragments is related to the Paganzo Group.

A change of sandstone composition and paleocurrents in the upper section of the Ischichuca Formation suggest a change in the composition of the source areas. Provenance of the tract below this change is from the southeast and mostly from volcanics, metamorphic rocks and granitoids-gneiss, whereas the upper part came from the southwest and mostly from volcanic rocks. These changes are a reflection of a modification in the basin configuration and are tentatively linked with the end of the synrift phase.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO

Introducción

En Petrología Sedimentaria, el término “procedencia” se refiere a la naturaleza, composición, identidad y dimensiones de las rocas fuentes, relieve y clima en el área de aporte, y también incluye la influencia del agente de transporte, los cuales determinan la composición final de los sedimentos (Suttner 1974). Las aplicaciones más importantes de este tipo de estudios son: reconstrucción paleogeográfica y paleogeológica, análisis de sistemas depositacionales (incluyendo modelado de reservorios), contribución a reconstrucciones paleoclimáticas, vinculación entre la tectónica y sedimentación y definición del emplazamiento tectónico del área de aporte (Scasso y Limarino 1997). El emplazamiento tectónico del área de aporte se puede determinar al analizar la composición modal de las areniscas. Dickinson y Suczek (1979) fueron los primeros en intentar caracterizar, mediante diagramas triangulares de uso general, la naturaleza de las áreas de aporte en términos de su ubicación en las placas tectónicas.

La cuenca de Ischigualasto-Villa Unión (Stipanovic y Bonaparte 1979) se formó como resultado de la extensión triásica vinculada a la apertura del Gondwana en el centro-oeste argentino (Kokogian *et al.* 1993, 1999; López Gamundi 1994; Zerfass *et al.* 2004). La estructura de la cuenca de Ischigualasto-Villa Unión es interpretada como un hemigraben que surge por el desplazamiento normal de la falla maestra de Valle Fértil (Milana y Alcober 1994), o bien como un hemigraben generado entre la falla de Valle Fértil y la falla de El Alto (Currie y Colombi 2007). La depositación en esta cuenca comenzó durante el Pérmico Superior y se continuó durante todo el Triásico (Milana y Alcober 1994; Gulbranson *et al.* 2015) alcanzando un relleno clástico de aproximadamente 3,5 km de espesor (Milana y Alcober 1994; Alcober 1996). La estratigrafía de la cuenca está conformada por las Formaciones Talampaya y Tarjados, del Pérmico Superior - Triásico Inferior, las Formaciones Chañares, Ischichuca y Los Rastros del Triásico Medio y las Formaciones Ischigualasto y Los Colorados del Triásico Superior (Stipanovic y Bonaparte 1979; Stipanovic y Marsicano 2002; Gulbranson *et al.* 2015). La edad de la Formación Chañares ha sido recientemente revisada, sugiriendo que puede llegar al Triásico Superior

(Marsicano *et al.* 2016), aunque es incierto el modo como esta edad se vincula con la restante evidencia geológica y paleontológica disponible.

La evolución de las modas detríticas de la sucesión triásica de la cuenca de Ischigualasto-Villa Unión es escasamente conocida. Los únicos aportes fueron realizados Melchor (2007) para la Formación Ischichuca, Schencman *et al.* (2015) para la Formación Los Colorados y Giustozzi *et al.* (2017) para la Formación Ischigualasto. En particular, Melchor (2007), sobre la base de un análisis preliminar, mencionó un probable cambio de composición de las areniscas, acompañado por una variación de las paleocorrientes promedio, de posible consecuencia para la evolución tectónica de la cuenca.

Objetivos

Los objetivos del trabajo son:

- 1) Caracterizar la composición de las areniscas de las formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca en la Quebrada de Ischichuca, provincia de La Rioja.
- 2) Inferir las rocas fuentes y las posibles áreas de aporte.
- 3) Contribuir al conocimiento de la evolución tectosedimentaria de la cuenca para el intervalo analizado.

Hipótesis

El intervalo de las formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca en la Quebrada de Ischichuca Chica exhibe un cambio en la procedencia de los materiales detríticos, que puede ser correlacionada con eventos tectónicos regionales.

Marco Geológico

Cuenca Ischigualasto – Villa Unión

Las cuencas triásicas argentinas se ubican en el sector sudoccidental del megacontinente de Gondwana próximas al margen pacífico. En particular, la cuenca triásica de Ischigualasto-Villa Unión está ubicada entre los 67°30' y 68°30' de longitud oeste y los 29°15' y 30°30' de latitud sur (figura 1). Esta cuenca muestra una geometría elongada en dirección NO-SE con un mínimo de 120 km de largo y 50 km de ancho (Baraldo *et al* 1990; Milana 1998). La cuenca está ubicada entre las provincias geológicas de la Precordillera y Sierras Pampeanas, siendo de tipo extensional con una marcada geometría de hemigraben (Milana y Alcober 1994). Esta cuenca se encuentra limitada al oeste por el lineamiento de Valle Fértil, que constituye el margen activo del hemigraben. El margen pasivo estaría representado por los afloramientos de la Quebrada de Ischichuca por el norte. Por otra parte el área del Parque Talampaya y la zona de La Torre-El Chiflón marcarían los límites norte y sur respectivamente. (Stipanovic y Bonaparte 1979; Melchor 2007).

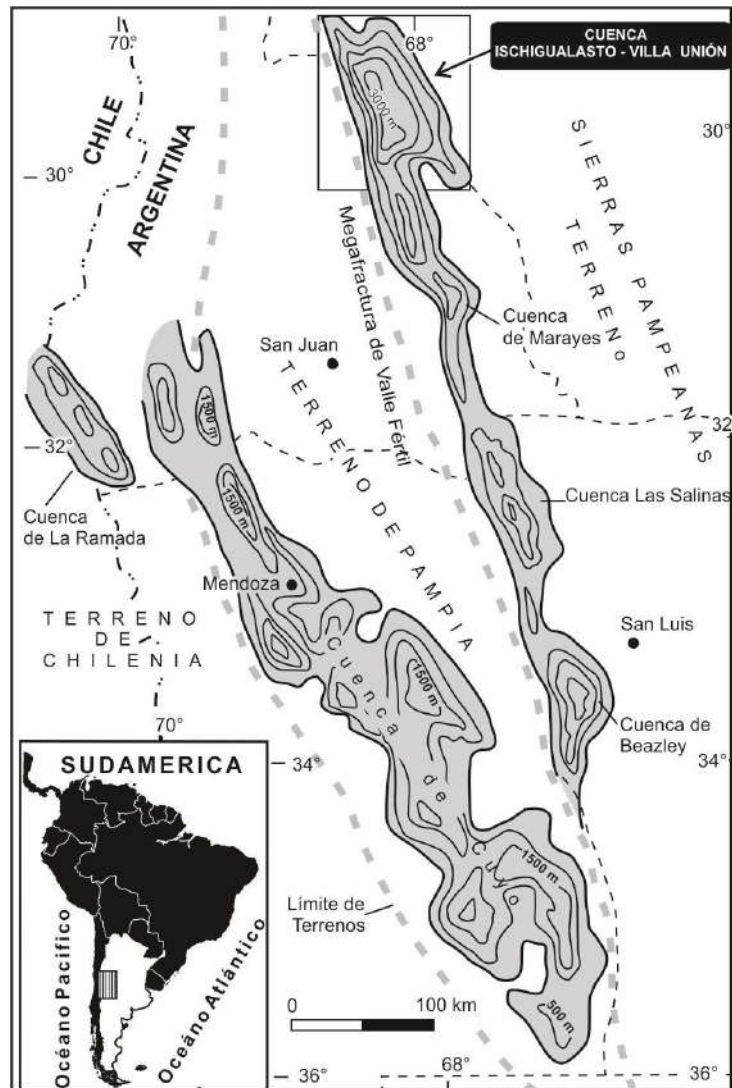


Figura 1. Cuencas de *rift* triásico en el centro-oeste de Argentina. Distribución de los depocentros reconocidos y mapa isopáquico. El rectángulo indica la posición de la cuenca Ischigualasto Villa-Unión. Modificado de Ramos (1994); Alvarez y Ramos (1999); Spalletti (2001) y Melchor (2007).

Se interpreta que la cuenca se generó como un hemigraben, dada la existencia de una notable asimetría en dirección perpendicular a su eje, reflejada en las tendencias isopáquicas (Stipanovic y Bonaparte 1979). La asimetría de los hemigrabens es un elemento de gran influencia en los sistemas depositacionales, ya que determina en gran medida las pendientes y los tamaños de las áreas de drenaje de los sistemas alimentados en los bloques yacente y colgante (Leeder y Gawthorpe 1987; Leeder *et al.* 1988; Schlische 1991).

Los sedimentos triásicos de la cuenca de Ischigualasto - Villa Unión se encuentran muy bien desarrollados en el subsuelo de los bolsones del Bermejo y Pagancillo, y en los

extensos afloramientos del cerro Bola - Hoyada de Ischigualasto. El relleno de la cuenca está representado por una sucesión continental de 2.500 a 4.000 m de espesor, que puede subdividirse en varias formaciones. La columna estratigráfica triásica de la cuenca de Ischigualasto - Villa Unión incluye dos conjuntos de unidades estratigráficas bien diferenciadas entre sí: el conjunto integrado por las formaciones Talampaya y Tarjados (Romer y Jensen 1966) y el Grupo Agua de la Peña (Bossi 1971), conformado por las Formaciones Chañares, Ischichuca, Los Rastros, Ischigualasto y Los Colorados (figura 2).

		NW	SE	
Edad		Formación	Litología y ambiente	Episodios de rifting
T R I Á S I C O	Tardío	Los Colorados	Areniscas y en menor proporción pelitas rojas, depósitos fluviales. Espesor 800 m	<i>postrift</i>
		Ischigualasto	Areniscas y pelitas grises y moradas, facies fluviales con alto contenido tobáceo. Espesor 600 m	<i>sinrift</i>
	Medio	Los Rastros	Secuencias grano estratocrecientes de pelitas y areniscas negras a verdosas, sistemas lacustres y deltaicos. Espesor 900 m	<i>postrift</i> ↑
		Ischichuca		
		Chañares	Areniscas y pelitas con matriz tobácea. Espesor 150 m	<i>sinrift</i>
	Temprano	Tarjados	Areniscas, conglomerados y pelitas rojas, fluviales y eólicas. Espesor 800 m	
Talampaya				
Pérmico		Hiato	Patquía	Basamento

Figura 2. Cuadro estratigráfico de la cuenca Ischigualasto – Villa Unión. Modificado de Stipanivic y Bonaparte (1979); Caselli *et al.* (2001); Melchor (2002, 2004); Stipanivic y Marsicano (2002).

El esquema tectosedimentario propuesto por Milana y Alcober (1994) reconoce dos sistemas de relleno en la cuenca, que representan etapas de *sinrift* y *postrift*. El primer ciclo de *sinrift* está constituido por las sedimentitas de las Formaciones Talampaya, Tarjados, Chañares e Ischichuca, mientras que la Formación Los Rastros integra el correspondiente *postrift*. Por su parte, la Formación Ischigualasto se asigna al segundo estado de *sinrift*,

siendo los depósitos de la Formación Los Colorados los representantes del correspondiente *postrift*.

Formaciones Talampaya y Tarjados: Estas unidades constituyen el relleno inicial de la cuenca. Según Gulbranson *et al.* (2015) la mayor parte de la *Formación Talampaya* es de edad Pérmico Tardío, aunque su parte superior se extiende hasta el Triásico Temprano. Según Stipanovic y Bonaparte (1979) la Formación Talampaya (de 400 m de espesor mínimo) está bien representada en el río Talampaya (provincia de La Rioja) y constituida por una sucesión en la que predominan las psamitas de grano fino de color rojo pálido. López Gamundí *et al.* (1989) reconocieron tres secuencias depositacionales: la inferior incluye facies de abanicos aluviales, en la que predominan depósitos de flujos de detritos, mantos de creciente, barreales, registrándose también niveles eólicos que pasan a depósitos de barreales epiclásticos con delgados niveles tobáceos. En la parte media predominan depósitos fluviales entrelazados, que hacia la sección superior se intercalan con sedimentos eólicos, aglomerados volcánicos y cuerpos basálticos, relacionados con la apertura de la cuenca. El registro fósil de esta unidad está compuesto por huellas de morfología chirotheroide (Melchor y De Valais 2006), que encontró Bossi (1971) en las cabeceras del río Talampaya y fueron consideradas similares a las del Eotriásico de Europa (Bonaparte 1997).

La *Formación Tarjados* tiene su mejor exposición en la sierra de Los Tarjados, al norte del río Talampaya (provincia de La Rioja), registrando un espesor máximo de 385 m en el arroyo del Agua Escondida (Stipanovic y Bonaparte 1979). En la unidad se reconocieron dos secuencias depositacionales (SD): la SD I, con 160 m de potencia, incluye sedimentitas rojizas compuestas por conglomerados basales y areniscas eólicas, seguidos por depósitos fluviales; y la SD II, con 130 m de espesor, de mayor desarrollo areal que la anterior, con sedimentitas arenosas y conglomerádicas (López Gamundí *et al.* 1989). Los datos disponibles sólo permiten sugerir que se trata de una entidad del Triásico Temprano, a partir de la cual se registra un fuerte hiato sedimentario y faunístico, que la separan de los niveles ya netamente del Triásico Medio terminal y Triásico Tardío del Grupo Agua de la Peña.

Grupo Agua de la Peña

Formación Chañares (Triásico Medio): En la Quebrada de Ischichuca está bien representada, encontrándose en la base de la unidad areniscas tobáceas, mientras la parte

alta de la Formación se compone de tobas y tufitas de grano fino, muy induradas, con óndulas y pisadas tridáctilas, las que son cubiertas por areniscas masivas con clastos de grava dispersos (Melchor 2002). Los espesores son muy variables, Romer y Jensen (1966) lo estimaron en 75 m, mientras que Bossi (1971) midió 140 m en el río Chañares, 100 m en el río Agua Escondida, 40 m en Ischigualasto y 80 m en el cerro de los Burros. Bonaparte (1997) refirió su fauna de vertebrados al Triásico Medio, específicamente al Anisiano tardío. Esta unidad hacia arriba pasa transicionalmente (lateral y verticalmente) a los depósitos lacustres de la Formación Ischichuca.

Formación Ischichuca (Triásico Medio? a Superior): Unidad integrada por importantes espesores de pelitas negras de ambiente lacustre, asociadas a facies de prodelta y frente deltaico. El espesor es variable, llegando a un máximo de 470 m en la Quebrada de Ischichuca Chica (Melchor 2002, 2007). Una descripción detallada será ofrecida más adelante.

Formación Los Rastros (Triásico Medio tardío? – Triásico Tardío temprano): La unidad está representada por facies predominantemente arenosas que se asignan a ambientes deltaicos y fluviales. El contacto con la unidad infrayacente es transicional, mientras que en su techo una discordancia estratigráfica la separa de la Formación Ischigualasto. Sus espesores máximos se ubican en las quebradas de Ischichuca Grande (500 m) y de La Peña (300 m), disminuyendo hacia el este - nordeste. En los tramos inferiores predominan las facies pelíticas, mantos de carbón y cuerpos de arena no canalizados. Estos depósitos corresponden, en su mayoría, a llanuras deltaicas inferiores, con asociaciones de barra de desembocadura, canal distributivo, bahía interdistributaria y desbordamiento o rotura de albardón. En la sección superior predominan depósitos fluviales, con cuerpos canalizados arenosos – conglomerádicos, con estratificación entrecruzada planar y en artesa. Es marcadamente progradacional, con un sensible aumento de las fracciones arenosas y conglomerádicas (Frenguelli 1948; López Gamundí *et al.* 1989). Bossi (1971) explicó los engranajes laterales que existen entre esta formación y la infrayacente. Facial y ambientalmente, la Formación Ischichuca podría confundirse con algunas secciones de la Formación Los Rastros, pero se las puede diferenciar porque las pelitas de la primera son negras mientras que las de la segunda son verdes y ocasionalmente incluyen delgadas capas carbonosas (Melchor 2007). Los restos mega y microflorísticos de la unidad permitieron ubicarla en el Triásico Tardío temprano (Bonaparte 1997).

Formación Ischigualasto (Triásico Tardío temprano): Sus afloramientos dominan en los bordes de la gran “Hoyada de Ischigualasto”, Provincia de San Juan, desde el cerro Bola por el norte hasta el río de Las Peñas por el sur (Groeber y Stipanovic 1953). En el cerro Bola, Yrigoyen y Stover (1970) midieron 900 m de espesor, disminuyendo a 320 m en el río de la Peña, y 200 m en Talampaya. La secuencia comienza con las facies típicas de la Formación Ischigualasto, generalmente pelitas macizas marrones y morado oscuro (con concreciones), tobas blancas, y en menor medida, capas de areniscas finas a medianas. El sistema depositacional fue de tipo aluvial, con planicies de inundación medianamente a mal drenadas, dependiendo de la localización del perfil (Bossi 1970), alimentadas por sistemas de fajas de canales entrelazados concentrados en ciertas áreas. Esta evolución es similar a la observada en el primer *sinrift* (Secuencia Chañares-Ischichuca), pero se diferencia en que no se vincula a un sistema lacustre. Aunque no existe registro de condiciones lacustres, grandes áreas de la planicie de inundación de la Formación Ischigualasto fueron de tipo palustre. La ausencia de un lago durante esta fase de *sinrift* se puede deber a que la cuenca ya presentaba un sistema de drenaje más organizado, lo que se aprecia por la clara diferenciación entre áreas de fajas de canales y de planicie de inundación (Milana y Alcober 1994). En cuanto a los fósiles, la entidad incluye numerosos restos de mega y microflora bien conservadas, así como una fauna de vertebrados que incluye a los primeros dinosaurios.

Formación Los Colorados (Triásico Tardío): Aflora ampliamente en todo el flanco este de la sierra Morada, cerro Rajado y cerro Bola. En la zona de la última localidad mencionada se mencionó un promedio de 650 m de espesor (Bracco *et al.* 1996), el cual decrece hacia el sur y el este llegando a 95 m en el arroyo del Agua Escondida (Mozetic 1974). El espesor alcanzado al este de la Hoyada de Ischigualasto es de 1200 m (Bossi 1970), y de 980 m al este del cerro Bola (Mozetic 1974). La unidad está compuesta por conglomerados, areniscas y pelitas. Milana y Alcober (1994) dividen, desde el punto de vista tecto-sedimentario, a los niveles de esta formación en dos secuencias, una inferior granocreciente y una superior granodecreciente. Ambas son de origen fluvial y generadas durante condiciones de climas áridos o con asentamiento de la estación seca. El carácter de la rica fauna de vertebrados de la entidad llevó a Bonaparte a ubicarla en el Triásico Tardío, en niveles equiparables al Noriano tardío de la escala marina (Bonaparte 1997), edad que ha sido recientemente constatada mediante estudios magneto-estratigráficos (Kent *et al.* 2014).

Ubicación y rasgos geológicos de la Quebrada de Ischichuca

El área de estudio se sitúa en el sector noroeste de la cuenca Ischigualasto - Villa Unión en la Provincia de La Rioja. En el área del cerro Bola, próximo a la quebrada de Ischichuca, afloran rocas sedimentarias del Paleozoico Superior (Grupo Paganzo) y del Pérmico Superior-Triásico Inferior (Formaciones Talampaya y Tarjados) (Gentili 1972; Andreis *et al.* 1975). En particular, en las cumbres y en la ladera noreste del cerro de Ischichuca se puede apreciar el contacto aparentemente concordante entre las Formaciones Tarjados e Ischichuca (figura 3A, B).

La sucesión sedimentaria en esta localidad tiene un espesor aproximado de 765 m y comprende una sección roja basal de 215 m (que forma gran parte del cerro Ischichuca); a la que suprayacen 65 m de areniscas tobáceas pardo rojizas, tobas y tufitas gris oliva muy induradas; más 470 m de pelitas oscuras y verde oliva intercaladas con areniscas grises que muestran frecuente arreglo cíclico. La sección roja basal se corresponde aproximadamente con la sección inferior de los “Estratos de Ischichuca” (*sensu* Frenguelli 1948) y se considera que forma parte de la Formación Tarjados. Esta unidad, cuya base no fue reconocida en el área, muestra un intervalo conglomerádico basal de 35 m de espesor sucedido por una sucesión de 110 m de areniscas rojas organizadas en capas tabulares con frecuente estratificación paralela. Los 65 m siguientes tienen importante participación piroclástica y son aquí asignados a la Formación Chañares; formarían parte de la sección media de los “Estratos de Ischichuca” Frenguelli (1948). La base de la unidad está marcada por una notoria superficie erosiva, con relieve de hasta 4-5 m ocupada por cuerpos areno-gravosos de geometría canalizada, a la que siguen areniscas tobáceas finas, con pedogénesis incipiente, ocasionalmente canalizadas, que poseen pisadas de vertebrados de morfología chiroterioide. La parte alta de la Formación Chañares se compone de 30 m de tobas y tufitas de grano fino, muy induradas, con óndulas y pisadas tridáctilas, las que son cubiertas por areniscas macizas con clastos de grava dispersos. El resto de la sucesión en la quebrada Ischichuca (aproximadamente 470 m) pertenece a la formación homónima y está caracterizada por el predominio de pelitas oscuras o gris oliva en las que se intercalan paquetes arenosos y limosos de distinto espesor. El contacto con la infrayacente Formación Chañares es concordante, transicional y se define por el predominio de rocas pelíticas sobre arenosas en la columna. En la Formación Ischichuca es posible distinguir un intervalo inferior de 125 m de espesor que corresponde a sedimentos lacustres y parcialmente salinos. Éste se compone de arcilitas gris oscuro y verde oliva, limolitas,

areniscas gris claro y calizas micríticas, las que están organizadas en ciclos métricos somerizantes. A este intervalo suprayace una sección de 205 m de potencia que posee la facies típica de la unidad: arcilita gris oscuro a negro, con laminación muy fina y abundante contenido orgánico. Esta facies integra aproximadamente un cuarto del espesor de la unidad e incluye paquetes de arcilitas negras que varían en espesor entre 5 y 42 m, los que se asocian a limolitas y areniscas para componer ciclos deltaicos grano y estratocrecientes (26 a 82 m de espesor). La sección superior de la Formación Ischichuca (140 m) muestra un predominio de potentes limolitas laminadas con intercalaciones de areniscas finas con laminación ondulítica y ocasional estratificación entrecruzada hacia el techo. El pasaje a la suprayacente Formación Los Rastros es transicional, con paulatina disminución del espesor de los intervalos de arcilitas negras (Melchor 2002, 2007).

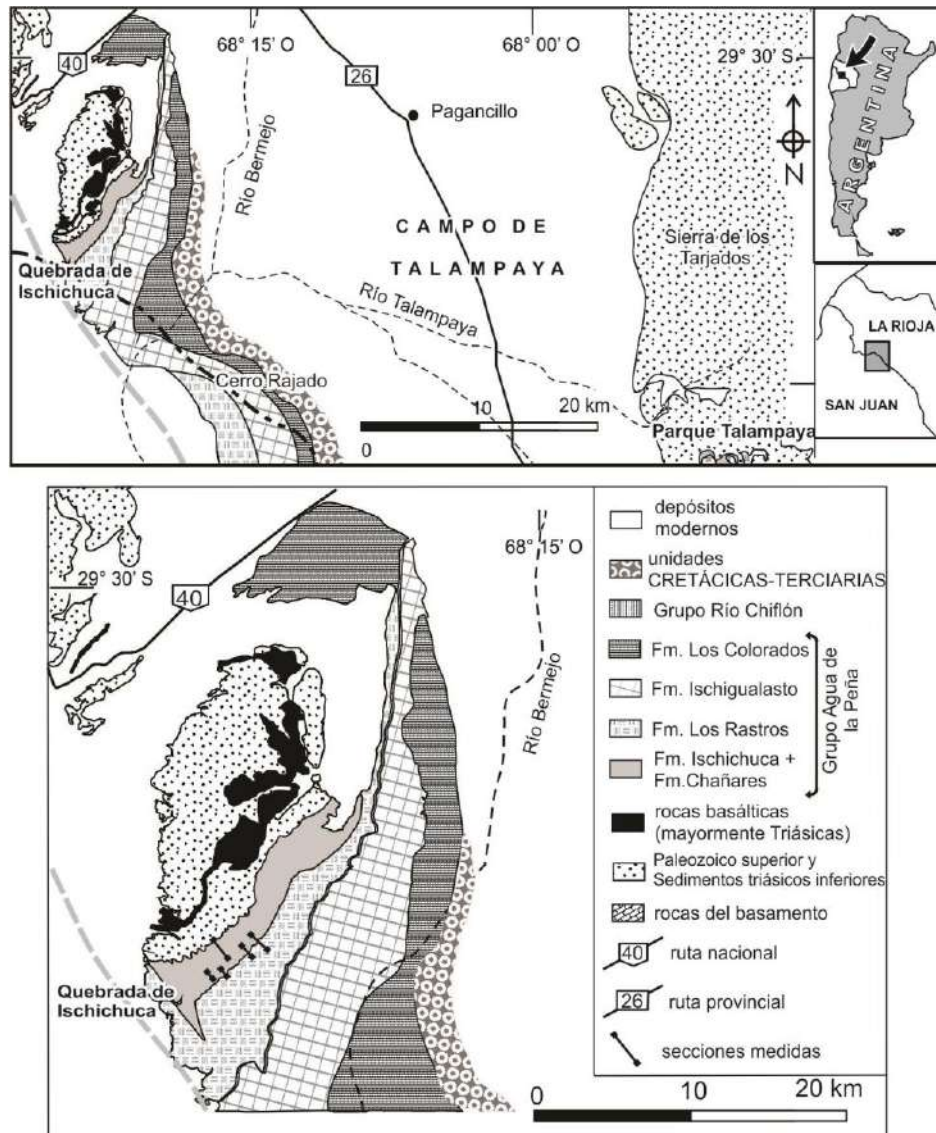


Figura 3. A) Mapa de la geología local, se observa la Quebrada de Ischichuca Chica. B) Se indican las secciones medidas. Tomado y modificado de Melchor (2007).

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

Introducción

En el presente trabajo se estudiaron muestras de areniscas de la formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca, que han sido colectadas en estudios previos, las cuales poseían su correspondiente corte delgado. Cada una de las muestras tiene una posición estratigráfica conocida y se encuentra referida a perfiles de detalle (Melchor 2007). En las muestras seleccionadas se estimó la moda detrítica mediante la aplicación del método de conteo de Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.* 1984), habiéndose computado 400 puntos por corte delgado. En la Tabla 1 se detallan los parámetros contados y los parámetros recalculados están resumidos en la Tabla 2.

Las determinaciones petrográficas se realizaron en el microscopio *Nikon* modelo *Eclipse E400POL* y un contador de puntos *Prior Modelo G*, ambos propiedad de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa. Las muestras fueron fotografiadas con una cámara digital *Nikon* modelo D3300. Estas tareas se desarrollaron en la Sala de Microscopía del Departamento de Geología de la Facultad.

Características microscópicas de los tipos de granos contados

Los componentes de las areniscas analizadas se dividieron en tres órdenes (Scasso y Limarino 1997). Los de primer orden comprenden cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos. Los de segundo orden involucran subdivisiones dentro de los grupos mencionados. Estas subdivisiones incluyen: cuarzo monocristalino y policristalino, feldespatos potásicos y plagioclasas, y líticos volcánicos, metamórficos y sedimentarios. Por último, los componentes de tercer orden surgen de las subdivisiones realizadas en el segundo orden. Por ejemplo, al cuarzo policristalino se lo subdivide en: cuarzo policristalino anhedral, cuarzo policristalino polihedral, cuarzo policristalino elongado. A las plagioclasas se las diferenció según macla polisintética y de Carlsbad. Los líticos volcánicos son diferenciados según su textura. También se registraron los porcentajes de otros fragmentos mono-minerales como micas, anfíboles y opacos. A continuación se realiza una descripción de cada uno de los componentes contados.

Cuarzo Monocristalino (Qm)

Pueden presentar extinción ondulosa o recta.

Cuarzo Policristalino (Qp)

Se consideraron en esta categoría solo a clastos de cuarzo puro con más de 2 individuos. Se diferenciaron tres variedades de acuerdo a la morfología de los cristales constituyentes (según Pettijohn *et al.* 1987; Savage y Potter 1991; Marsaglia e Ingersoll 1992): 1) cuarzo anhedral: sin orientación preferencial, con frecuentes bordes suturados (Qpa); 2) cuarzo polihedral (Qpp): con tendencia a un contorno de varias caras, sin extinción ondulante, con contactos planos y ángulos interfaciales de 120° en las uniones triples (Young 1976); 3) cuarzo elongado (Qpe): con una dimensión predominante, orientación preferencial y contactos suturados.

Microclino (Mc)

Se distinguió microclino fresco Mc (f) del microclino alterado Mc (a).

Plagioclasa (P)

Los granos de plagioclasa fueron diferenciadas por la ley de macla que presentan, en este caso Carlsbad y polisintética. También se diferenciaron componentes frescos de alterados. De esta manera quedarían incluidos: Plagioclasa fresca con macla Carlsbad (Pc f), Plagioclasa alterada con macla Carlsbad Pc (a), Plagioclasa con macla polisintética Pc (p). También se discriminó aquellos granos cuya macla no pudo identificarse (Pn).

Otros granos monocristalinos

Durante el conteo también fueron identificados granos de micas y otros minerales accesorios como biotita (Bi), muscovita (Mu), anfíbol (An), piroxeno (Pxeno) y opacos (Op).

Líticos (L)

Se reconocieron líticos sedimentarios, metamórficos y volcánicos. Para los líticos sedimentarios (Ls) y metamórficos (Lm) se utilizó la clasificación textural de Dorsey (1988), modificada por Melchor (1995).

Líticos Sedimentarios (Ls)

Los líticos sedimentarios fueron divididos en clastos de lutita, limolita, limolita recristalizada, argilita, chert, intraclastos arcillosos, fosfático, arenisca tobácea.

- Lutita (Lslu)

Caracterizada por una fábrica microscópica dada por laminación paralela que es diferente de la maciza de las fangolitas.

- Limolita recristalizada (Lslr)

Contiene subgranos de tamaño limo y arena muy fina de cuarzo, feldespato y sericita. Muestra evidencias de solución por presión y crecimiento secundario de sericita.

- Limolita (Lsl)

Contiene subgranos de tamaño limo y arena muy fina de cuarzo, feldespato y sericita.

- Chert (Lsch)

Agregado micro- a criptocristalino de cuarzo, límpido al microscopio petrográfico, con cristales equidimensionales que varían gradualmente de tamaño.

- Argilita (Lsa)

Fragmentos de fábrica maciza semejante a la de las fangolitas, pero contienen arcillas translúcidas recristalizadas de grano muy fino, de hasta 10 μ .

- Fosfático (Lsfo)

Granos de carácter fosfático, inferido a partir de la coloración y textura.

- Arenisca tobácea (Lsat)

Contiene granos de tamaño arena fina de cuarzo y feldespato, en una pasta piroclástica.

Líticos metamórficos (Lm) Esta categoría comprende cuarcita, esquisto filítico, cuarcita filítica, agregado de cuarzo - mica – albita, y filita. Además se los dividió en líticos metamórficos de bajo y medio grado.

Líticos metamórficos de bajo grado (Lm1)

- Cuarzita (Lmc)

Contiene subgranos parcialmente recrystalizados de cuarzo \pm feldespato altamente sericitizado \pm albita, con escasa sericita intersticial recrystalizada (< 10%). Los contactos entre subgranos comúnmente son suturados, y en parte están pobremente definidos.

Líticos metamórficos de grado medio (Lm2)

- Esquisto filítico (Lmef)

Contienen micas claras euhedrales que, comúnmente, alternan con bandas delgadas de cuarzo altamente recrystalizado, en una marcada foliación planar. Se componen mayormente por micas blancas (muscovita).

- Cuarzita filítica (Lmcf)

Estos fragmentos contienen aproximadamente más del 75% de cuarzo \pm albita totalmente recrystalizada con cantidades menores de mica de buena cristalinidad, en una fábrica con marcada orientación planar.

- Agregado cuarzo-mica-albita (Lma)

Se trata de un mosaico no foliado y entrelazado de cuarzo \pm albita, con mica blanca euhedral subordinada (< 25%) \pm biotita \pm clorita. En estos fragmentos, los subgranos de cuarzo son ecuanes y las micas no tienen una orientación preferencial.

Líticos Volcánicos (Lv)

En esta categoría de líticos se han diferenciado nueve texturas. Ellas son felsítica, traquítica, pilotáxica, hialopilítica, felsofírica, intergranular, intersertal, vitrofírica / desvitrificada y piroclástica.

- Lítico volcánico con textura felsítica (Lvf)

Mosaico aproximadamente equigranular de cuarzo, y feldespatos anhedrales, con individuos de reducido tamaño (usualmente entre micro- y criptocristalino).

- Lítico volcánico con textura traquítica (Lvt)

Agregado de microlitos feldespáticos de disposición aproximadamente paralela.

- Lítico volcánico con textura pilotáxica (Lvpi)

Microlitos o tablillas delgadas de plagioclasa dispuestas sin orientación en una pasta microcristalina.

- Lítico volcánico con textura hialopilítica (Lv_h)

Se caracterizan por la presencia de microlitos de plagioclasa flotando en una mesostasis vítrea.

- Lítico volcánico con textura felsófrica (Lv_{fe})

Esta categoría consiste en una pasta felsítica con fenocristales.

- Lítico volcánico con textura intergranular (Lv_{ig})

Formada por tablillas o microlitos de plagioclasas dispuestas desordenadamente, entre las que se ubican granos redondeados de clinopiroxeno.

- Lítico volcánico con textura intersertal (Lv_{is})

Puede ser considerada como una variedad de la intergranular, excepto que los intersticios entre las tablillas de plagioclasa están ocupados por vidrio volcánico. Las tablillas ocasionalmente no están orientadas y se tocan entre sí, lo que deja característicos espacios triangulares ocupados por vidrio.

- Lítico volcánico con textura vitrofírica (Lv_v)

Textura de desvitrificación, normalmente vidrio alterado a filosilicatos, y/o feldespatos y/o cuarzo. Está representado, principalmente, por granos con textura esferulítica (agregado de pequeñas esferas constituidas por fibras radiadas a partir de un centro).

- Lítico volcánico con textura piroclástica (Lv_{pc})

Se han distinguido en esta categoría clastos de toba, chonita y trizas vítreas.

Para este trabajo fueron estudiadas veintidós (22) muestras; de las cuales nueve (9) pertenecen la Formación Tarjados (muestras N° 3, 4, 6, 8, 9, 91, 147, 150, y 151); cuatro (4) a la Formación Chañares (muestras N° 10 A, 11B, 11, y 17); y nueve (9) muestras a la Formación Ischichuca (muestras N° 37, 63, 76, 77, 100, 104, 130, 142, y 159). La

ubicación estratigráfica de las mismas se muestra en el perfil correspondiente de la figura 4.

Procedencia

Con los resultados obtenidos a partir del conteo de puntos (Anexo 1), se realizaron los cálculos para clasificar a las areniscas en los diagramas triangulares propuestos por Folk *et al.* (1970) y por Dott (1964, modificado por Pettijohn *et al.* 1972, 1987); teniendo en cuenta la composición modal de cuarzo, feldespatos y líticos, así como el porcentaje de matriz.

A partir del análisis modal de las areniscas y el posterior recálculo de los parámetros (Tablas 1 y 2), se graficaron estos datos en diagramas ternarios propuestos por Dickinson *et al.* (1983) y Weltje (2006). Dichos diagramas relacionan la composición modal de las areniscas y el emplazamiento tectónico de las áreas de aporte. En particular, se utilizaron los diagramas QtFL y QmFL de Dickinson *et al.* (1983), y QmPK y QpLvLs propuestos por Weltje (2006). Para el cálculo de los parámetros básicos se utilizó la planilla Excel propuesta por Zahid y Barbeau (2011). Los datos recalculados obtenidos en los conteos se detallan en el Anexo 1.

Tamaño de grano, selección y empaquetamiento

Para calcular el tamaño promedio de grano de cada muestra, se hizo la medición consecutiva del eje mayor de 10 granos utilizando un aumento de 10x. Para determinar la selección se usaron los comparadores visuales propuestos por Harrel (1984).

Qm	Cuarzo monocristalino	Lvpi	Lítico volcánico con textura pilotáxica
Qpa	Cuarzo policristalino anhedral	Lvh	Lítico volcánico con textura hialopilitica
Qpp	Cuarzo policristalino polihedral	Lvfe	Lítico volcánico con textura felsofírica
Qpe	Cuarzo policristalino elongado	Lvig	Lítico volcánico con textura intergranular
Mc (f)	Microclino fresco	Lvis	Lítico volcánico con textura intersertal
Mc (a)	Microclino alterado	Lvv	Lítico volcánico con textura vitrofírica / desvitrificada
Or	Ortoclasa	Lvpc	Lítico volcánico con textura piroclástica
Pc (f)	Plagioclasa fresca con macla Carlsbad	Tz	Triza Vítrea
Pc (a)	Plagioclasa alterada con macla Carlsbad	Lmc	Cuarcita

Pc (p)	Plagioclasa con macla polisintética	Lmef	Esquisto filítico
Pn	Plagioclasa con macla no identificada	Lmcf	Cuarcita filítica
Lslu	Lutita	Lma	Agregado cuarzo - mica - albita
Lslr	Limolita recristalizada	Lmf	Filita
Lsa	Argilita	Mu	Muscovita
Lsch	Chert	Bi	Biotita
Lsi	Intraclasto	An	Anfibol
Lsl	Limolita	Op	Opacos
Lsfo	Grano fosfático	Mc	Matriz cuarzosa
Lsar	Arenisca tobácea	Mv	Matriz vítrea
Lvf	Lítico volcánico con textura felsítica	Mni	Matriz no identificada
Lvt	Lítico volcánico con textura traquítica	Pf	Pigmento ferruginoso

Tabla 1. Parámetros contados. Modificado de Dickinson (1970), Graham *et al.* (1976), Ingersoll y Suczek (1979), Dorsey (1988), y Marsaglia e Ingersoll (1992).

Q	Total de granos cuarzosos
F	Total de granos de feldespatos
P	Granos de plagioclasa
K	Total de granos de feldespatos potásicos
Lv	Granos líticos volcánicos
Ls	Granos líticos sedimentarios
Lm	Granos líticos metamórficos
Mz	Matriz

$Q = Q_m + Q_p$
$Q_p = Q_{pa} + Q_{pp} + Q_{pe}$
$F = P + K$
$K = Mc (f) + Mc (a) + Or$
$P = Pc (a) + Pc (f) + Pc (p) + Pn$
$L = L_m + L_v + L_s$
$L_s = L_{sa} + L_{slu} + L_{slr} + L_{sch} + L_{si} + L_{sl} + L_{sfo} + L_{sat}$
$L_v = L_{vf} + L_{vt} + L_{vpi} + L_{vh} + L_{vfe} + L_{vig} + L_{is} + L_{vv} + L_{pc} + Tz$
$L_m = L_{mc} + L_{mef} + L_{mcf} + L_{ma} + L_{mf}$
$Mz = Mc + Mv + Mn$

Tabla 2. Parámetros recalculados. Modificado de Dickinson (1970); Graham *et al.* (1976); Ingersoll y Suczek (1979); Dorsey (1988); y Marsaglia e Ingersoll (1992).

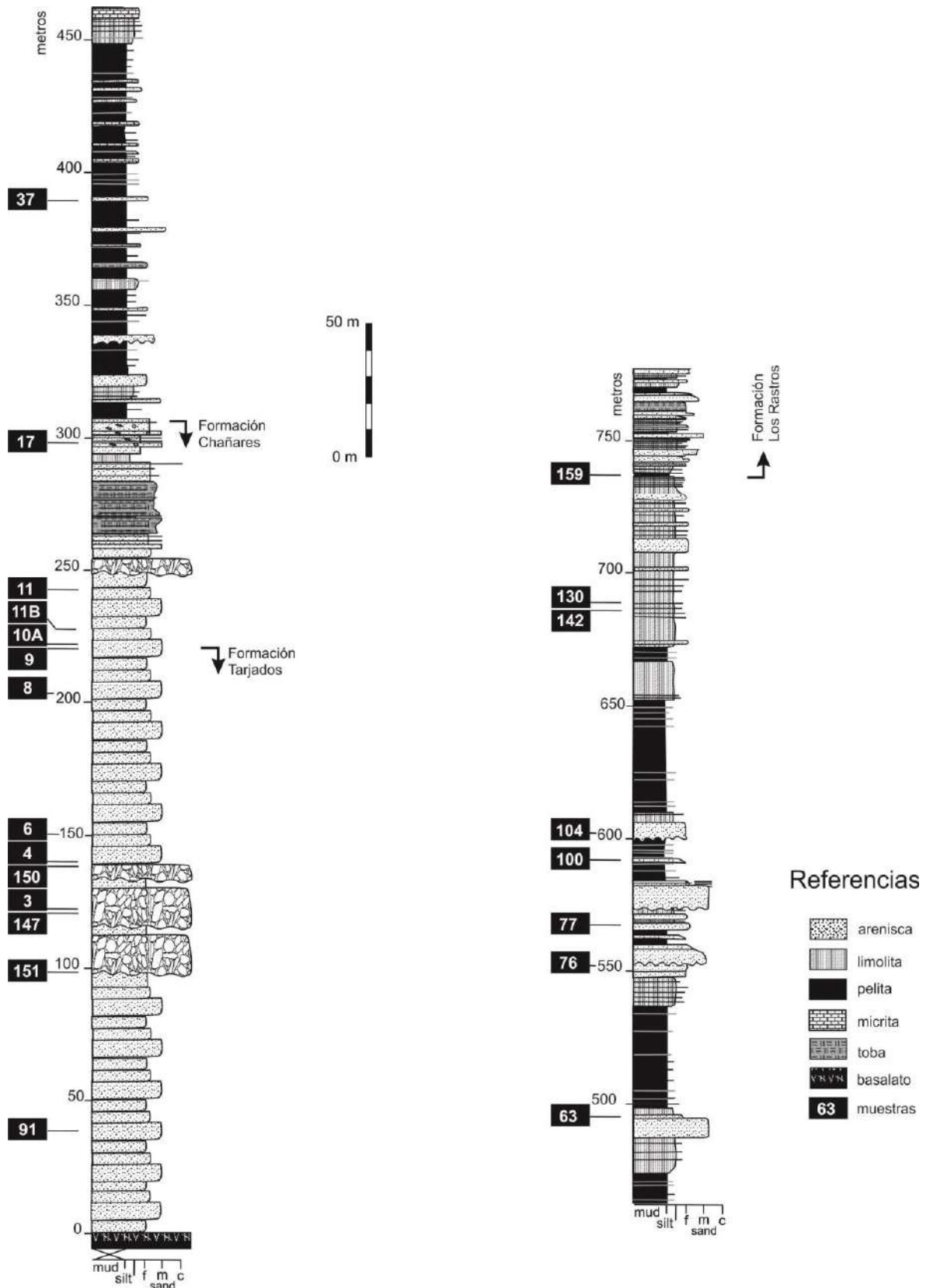


Figura 4. Columna estratigráfica de la Quebrada de Ischichuca, con la ubicación de las muestras estudiadas, marcadas por un rectángulo negro (modificado de Melchor 2007)

Otro aspecto que fue calculado es el grado de empaquetamiento de las areniscas. Para este fin, se efectuó el conteo de 100 granos por corte delgado para determinar dos parámetros de empaquetamiento. Estos fueron, el índice de contactos (IC; Taylor 1950) y el índice de empaquetamiento cerrado (IEC: *tight packing index*; Wilson y McBride 1988). El índice de contactos (IC) fue introducido por Taylor (1950) como parámetro de empaquetamiento en areniscas y es el número promedio de contactos por grano. Corresponde a la sumatoria del número de contactos entre granos de todo tipo (puntuales: p, rectos: r, cóncavo-convexos: c y suturados: s), sobre el número total de granos contados (Tc).

$$IC = (p + r + c + s) / Tc$$

El índice de empaquetamiento cerrado (IEC) fue definido por Wilson y McBride (1988) como la sumatoria de contactos rectos (r), cóncavo-convexos (c) y suturados (s) que muestra una arenisca sobre el número total de granos contados (Tc).

$$IEC = (r + c + s) / Tc$$

Reconstrucción de las litologías de las áreas de aporte

Para identificar la litología del área de aporte se utilizó la base de datos resultante de los conteos. Los distintos tipos de granos se reagruparon en cuatro grandes grupos litológicos: sedimentario, volcánico, metamórfico y granitoides – gneises; denominados S, V, Met y G-G, respectivamente. Para obtener las proporciones de cada tipo litológico se procedió de la siguiente manera (Melchor 1995):

- S: se sumaron todos los tipos de líticos sedimentarios;
- V: incluye todos los líticos volcánicos, clastos de anfíbol, piroxeno y biotita (siempre que ésta se encuentre en mayor proporción que la muscovita);
- Met: comprende a Lm₁, Lm₂ y los clastos de cuarzo policristalino con texturas planares (Qpp y Qpe);
- G-G: comprende clastos cuya filiación puede ser tanto plutónica como metamórfica, incluyendo los granos de cuarzo policristalino anhedral (Qpa) y las micas. Si la cantidad de muscovita superaba a la biotita, se incluyeron todos los tipos de micas, y por el contrario, cuando la biotita era más abundante que la muscovita, sólo se incluyó este último mineral en la categoría.

CAPÍTULO 3

PETROGRAFÍA DE ARENISCAS

Clasificación de las areniscas

De acuerdo a la clasificación de Folk *et al.* (1970) las areniscas de la Formación Tarjados se clasificaron como subarcosas (muestras N° 8, 147, 151), arcosas líticas (muestras N° 4, 6, 9) y litoarenitas feldespáticas (muestras N° 3, 91, 150). Las areniscas de la Formación Chañares son arcosas líticas (muestra N° 10A), litoarenitas feldespáticas (muestras N° 11 y 11B), y litoarenitas (muestra N° 17). Por su parte, en la Formación Ischichuca se reconocieron litoarenitas feldespáticas (muestras N° 37, 63, 76, 77, 100, 142, 159) y litoarenitas (muestras N° 104, 130) (figura 5).

En el diagrama de Dott (1964) modificado por Pettijohn *et al.* (1972) las areniscas de la Formación Tarjados se clasificaron como subarcosas (muestras N° 8, 9, 147, 151), arenitas arcóscicas (N° 4 y 6), sublitoarenitas (N° 150) y arenitas líticas (N° 3, 91). Las areniscas de la Formación Chañares se catalogaron como subarcosas (N° 10 A), arenitas líticas (N° 11), y vaques líticas (N° 11B y 17). En cuanto a la Formación Ischichuca, las muestras se identificaron como arenitas líticas (N° 37, 63, 76, 77, 100, 104, 142, 130, 159) y sublitoarenitas (N° 100) (figura 6).

La descripción microscópica de cada una de las muestras de areniscas se adjunta en el Anexo 2, donde se detallan las principales características de cada corte delgado.

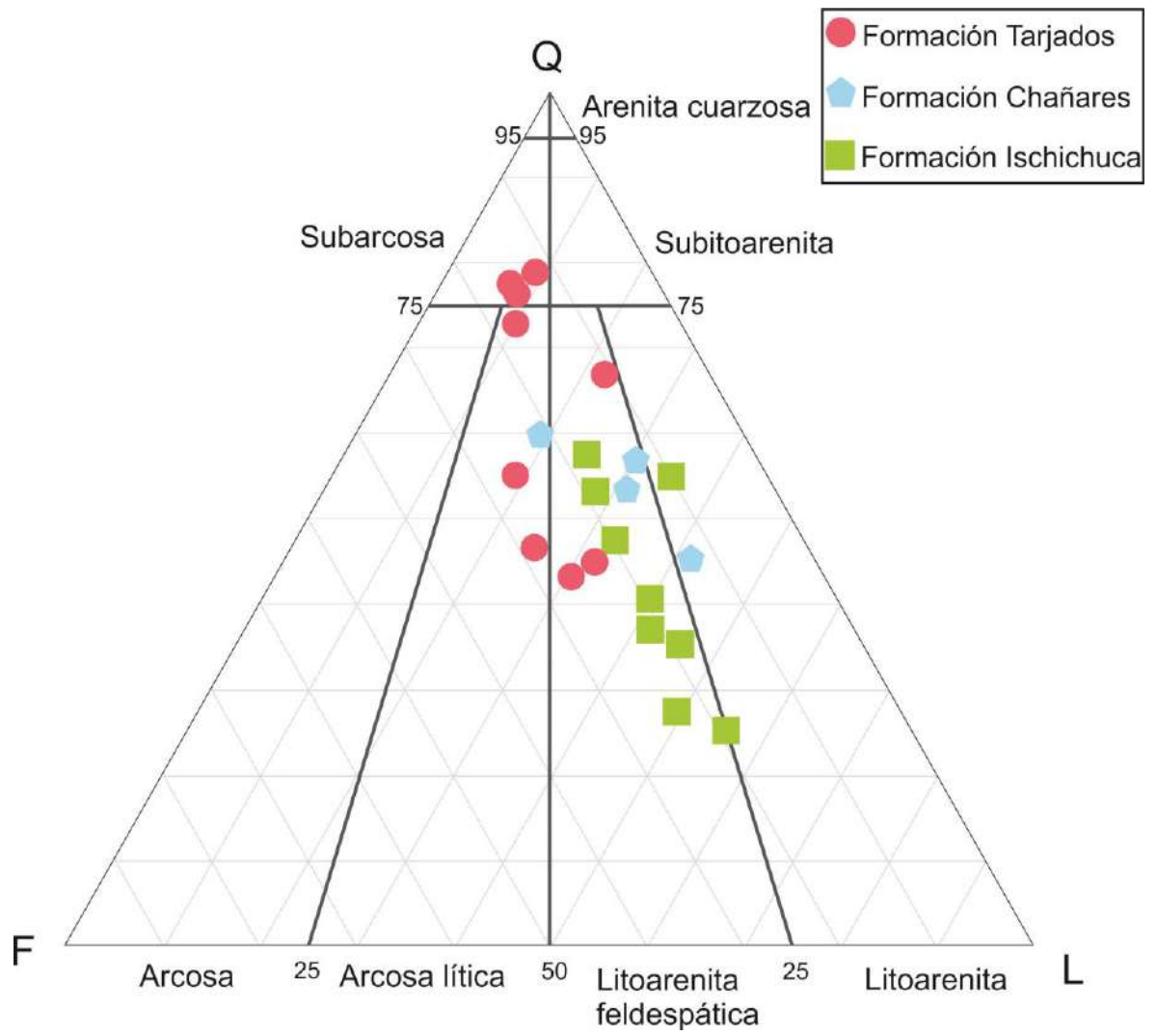


Figura 5. Clasificación de las areniscas según Folk *et al.* (1970).

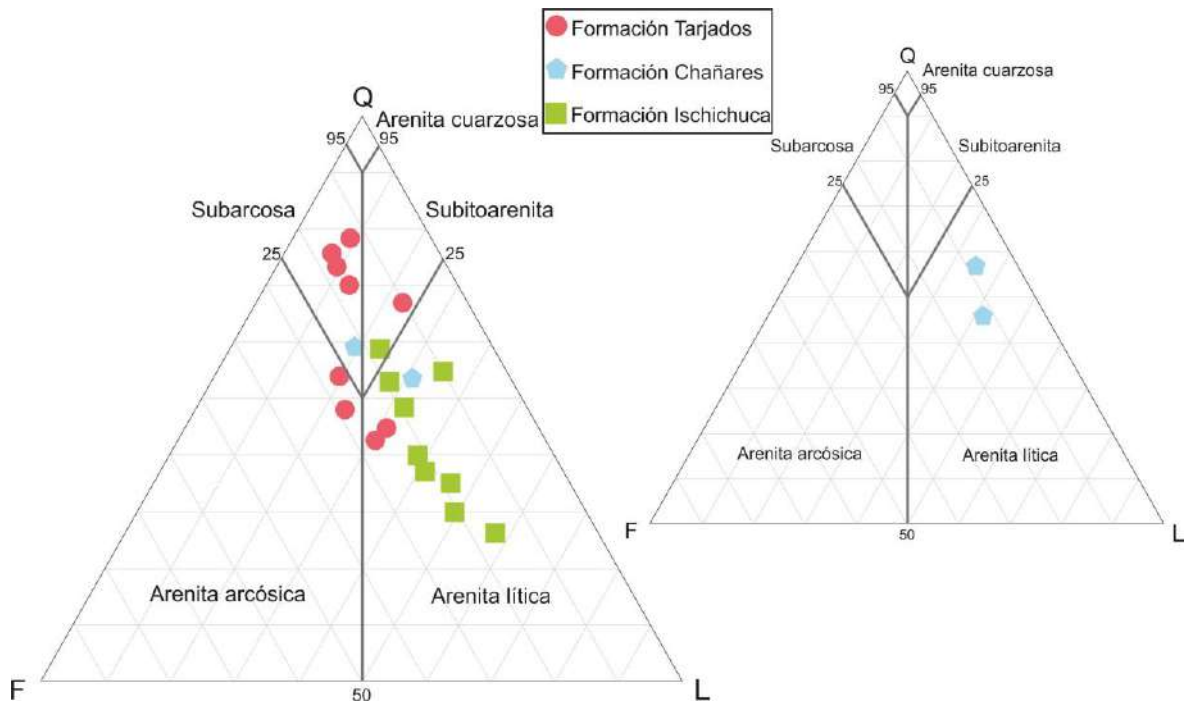


Figura 6. Diagrama clasificatorio de Dott (1964) modificado por Pettijohn *et al.* (1972, 1987) para las areniscas estudiadas. El diagrama de la izquierda representa las arenitas y el de la derecha a las vaques (pertenecientes a la Formación Chañares).

Descripción petrográfica de las areniscas de las unidades litoestratigráficas estudiadas.

En este apartado se describe en forma sumaria los rasgos petrográficos mayores de las areniscas de las distintas formaciones estudiadas.

Formación Tarjados: Las muestras dentro de esta unidad (N° 3, 4, 6, 8, 9, 91, 147, 150, 151) son las que presentan importantes variaciones composicionales. Por ello, para describirlas se las divide en dos grupos de acuerdo a su composición: por un lado aquellas de composición cuarzosa (muestras N° 8, 9, 147, 150, 151), y por otro las que exhiben una composición cuarzo - lítica (muestras N° 3, 4, 6, 91). En el primero, las muestras presentan un tamaño promedio de grano entre 0,25 y 0,402 mm (arenisca mediana). Se encuentran moderadamente bien a mal seleccionadas y presentan empaquetamiento cerrado. Los granos muestran esfericidad media a baja, y la mayoría son angulares a subangulares, excepto en las muestras N°147 y N° 151, donde los granos son subangulares a subredondeados. El promedio de índice de

contactos para estas cinco muestras de arenisca es de 2,842 y el promedio del índice de empaquetamiento cerrado de 0,372. El cuarzo monocristalino es el principal componente, variando entre 67 y 78,5 %, dominan levemente los individuos con extinción ondulosa y en todos los casos hay crecimiento secundario (figura 7 A). En dos muestras (N° 8 y 150) hay escasos granos donde se observa láminas de Boehm (figura 7 B). El cuarzo policristalino ocupa entre el 2 % y el 8 % de las muestras, perteneciendo mayormente a la variedad anhedral, seguida en abundancia por la variedad polihedral. Los feldespatos varían entre el 10 y el 18 %, reconociéndose ortosa y plagioclasa, dominando levemente el feldespato potásico, los individuos se presentan tanto frescos como alterados (figura 7 C). La proporción de fragmentos líticos generalmente varía entre el 7 y el 10 %, y alcanza un máximo de 22 % (muestra 150), siendo esencialmente de naturaleza volcánica y metamórfica. Los líticos metamórficos incluyen cuarcita, esquisto filítico, cuarcita filítica, filita, y agregados cuarzo - mica – albita (figura 7 D). Los líticos sedimentarios registrados son lutita, limolita recristalizada, limolita, y chert. Las texturas volcánicas más características son felsítica y pilotáxica, con escasos piroclásticos (toba) (figura 7 E, F, G). Como minerales accesorios hay muscovita y biotita (figura 7 D). El cemento mayoritario es carbonático con textura poiquilítica (1 al 5 %), registrándose también cemento silíceo en forma de crecimiento secundario de los granos de cuarzo (figura 7 H). El porcentaje de matriz no supera el 1%.

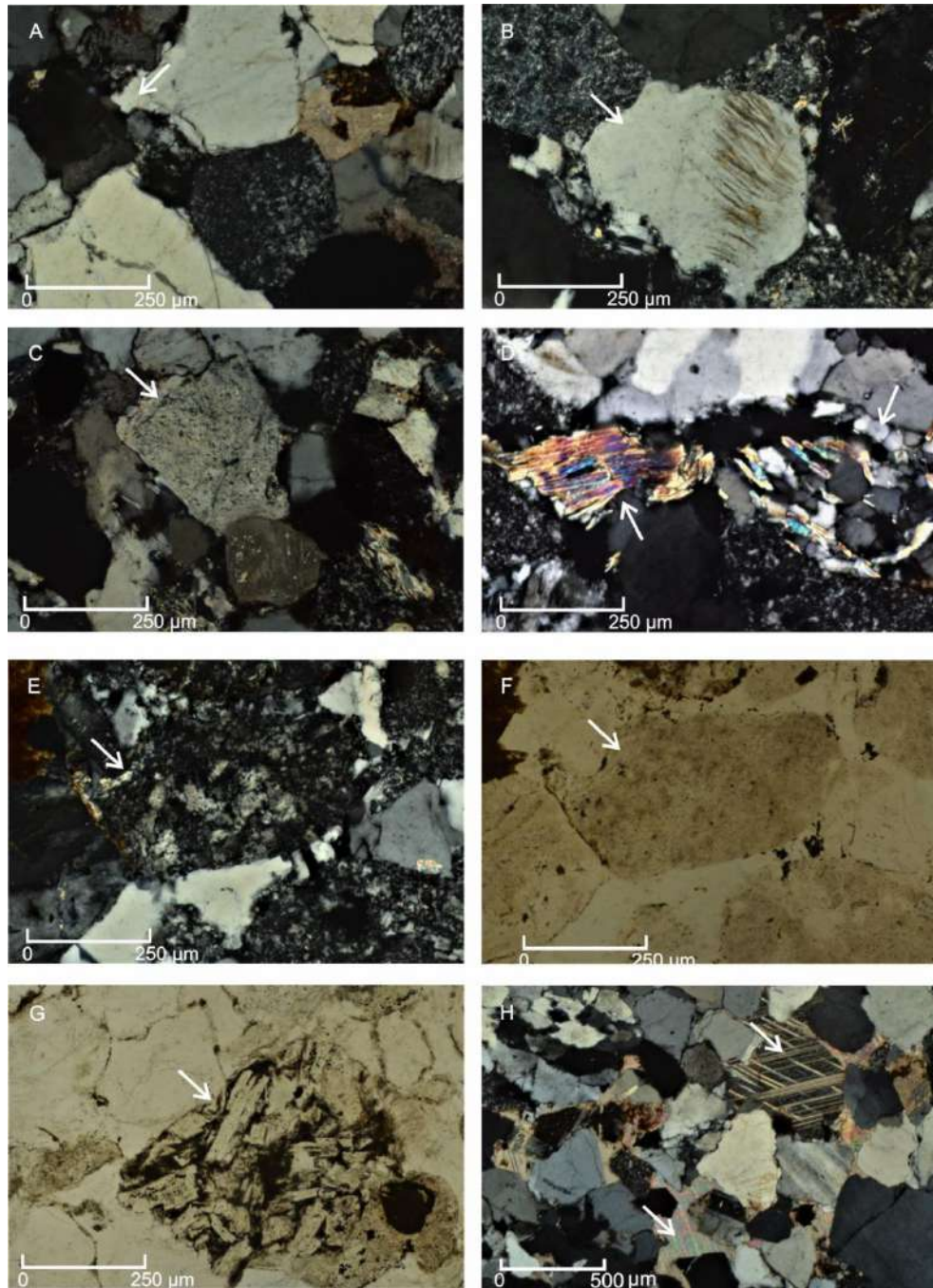


Figura 7. Granos monominerales, líticos y accesorios en las areniscas de la Formación Tarjados. A) Crecimiento secundario en cuarzo monocristalino (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 8). B) Láminas de Boehm en cuarzo monocristalino (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 9). C) Feldespato potásico alterado a sericita (flecha) con nicoles cruzados (muestra N° 150). D) Lítico metamórfico, cuarcita filítica (flecha derecha) y muscovita (flecha izquierda), con nicoles cruzados (muestra N° 151). E) Lítico volcánico con textura felsítica (flecha), nicoles cruzados (muestra N° 150). F) Lítico volcánico con textura felsítica (flecha), nicoles paralelos (muestra N° 150). G) Lítico volcánico con textura pilotáxica (flecha), nicoles paralelos (muestra N° 150). H) Cemento calcítico (flechas) con textura poiquilítica, con nicoles cruzados (muestra N° 8).

El segundo grupo de arenitas de la Formación Tarjados que involucra las muestras de composición cuarzo - lítica, presenta un tamaño promedio de grano entre 0,274 y 0,322 mm (arenisca mediana). Las areniscas son moderadamente bien seleccionadas, de empaquetamiento cerrado, con granos de baja esfericidad y mayormente subangulares. El promedio de índice de contactos para estas cuatro arenitas es 3,73 y del índice de empaquetamiento cerrado 0,792. El cuarzo monocristalino es el principal componente, comprende valores entre 34 y 55% dominando levemente los individuos con extinción ondulosa, que en ocasiones presentan crecimiento secundario. El cuarzo policristalino ocupa entre el 1 % y el 4,5 % de las muestras, perteneciendo mayormente a la variedad anhedral, que es seguida en abundancia por la variedad elongada (figura 8 A). Los feldespatos varían entre 23 % y el 28 %, identificándose ortosa, microclino y plagioclasa, dominando el porcentaje de feldespatos potásicos, hay individuos tanto frescos como alterados (figura 8 B y C). La proporción de fragmentos líticos varía entre 18 % y 31%. Los líticos metamórficos incluyen cuarcita, esquisto filítico, cuarcita filítica, filita y agregados cuarzo - mica – albita (figura 8 D). Los líticos sedimentarios son lutita, limolita recristalizada, intraclasto arcilloso, limolita y chert (figura 8 A, E), en tanto que las texturas volcánicas más características son felsítica, pilotáxica, traquílica y felsofírica (figura 8 F, G y H). Como minerales accesorios hay muscovita y biotita. El contenido de cemento carbonático varía de 0,2 % a 6 %, y reconociéndose también pigmento ferruginoso como material cementante. El porcentaje de matriz no supera el 1% excepto en la muestra N°3 que ronda cerca del 3,5%.

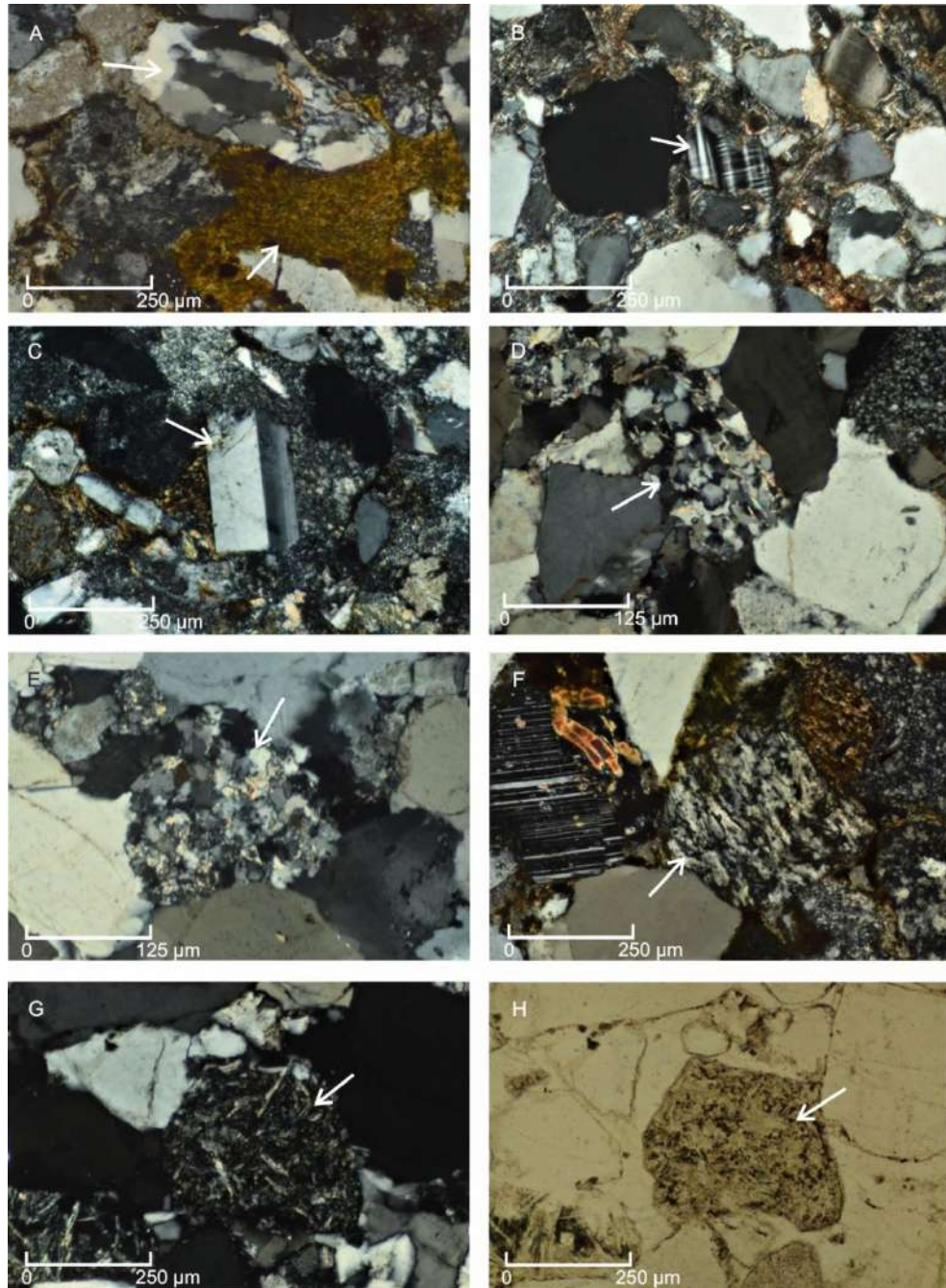


Figura 8. Granos monominerales y líticos de la Formación Tarjados. A) Cuarzo policristalino elongado (flecha arriba) y lítico sedimentario de tipo intraclasto arcilloso (flecha abajo), con nicols cruzados (muestra N° 3). B) Microclino fresco (flecha), con nicols cruzados (muestra N° 3). C) Plagioclasa con macla de Carlsbad sin alteraciones (flecha), con nicols cruzados (muestra N° 91). D) Lítico metamórfico, cuarcita (flecha) con nicols cruzados (muestra N° 6). E) Lítico sedimentario, limolita (flecha) con nicols cruzados (muestra N° 6). F) Lítico volcánico con textura traquítica (flecha) con nicols cruzados (muestra N° 4). G) Lítico volcánico con textura felsefírica (flecha) con nicols cruzados (muestra N° 6). H) Lítico volcánico con textura felsefírica (flecha) con nicols paralelos (muestra N° 6).

Formación Chañares. Pertenecen a esta unidad las arenitas de composición cuarzo - lítica (muestras N° 10A y 11) y las vaques (muestras N° 11B y 17). Presentan un tamaño promedio de grano entre 0,33 y 0,48 mm (arena mediana), con mala selección y presentan empaquetamiento abierto. Los granos exhiben esfericidad media a baja, y la mayoría son subangulares a subredondeados. El promedio de índice de contactos para estas areniscas (incluyendo las vaques) es 1,63 y del índice de empaquetamiento cerrado 0,155. El cuarzo monocristalino es el principal componente, comprendiendo valores entre 44 % y 59,5 % donde predomina levemente los individuos con extinción recta, quienes raramente poseen láminas de Boehm y engolfamientos en cuarzo (figura 9 A). El cuarzo policristalino ocupa entre el 2 % y el 5 % de las muestras, perteneciendo mayormente a la variedad anhedral, seguida en abundancia por la variedad polihedral (figura 9 B). Los feldespatos varían entre el 13 % y el 21%, habiendo feldespatos potásicos tipo ortosa y plagioclasa, tanto frescos como alterados. La proporción de fragmentos líticos varía entre 30 % y 43%, excepto en la muestra N° 10A donde se computó 19,5 %. Los líticos metamórficos incluyen cuarcita, esquisto filítico, filita y agregados cuarzo - mica - albita (figura 9 C). Los líticos sedimentarios incluyen limolita recristalizada, argilita, lutita y arenisca tobácea (figura 9 D, F); en tanto que las texturas volcánicas más características son vitrofírica, esferulítica (figura 9 E) y piroclástica (tobas, chonitas); aunque también se registraron texturas intersertal, hialopilítica e intergranular (figura 9 G). Como minerales accesorios hay biotita y piroxeno (figura 9 H). El contenido de matriz varía del 12 al 27 %, siendo ésta vítrea.

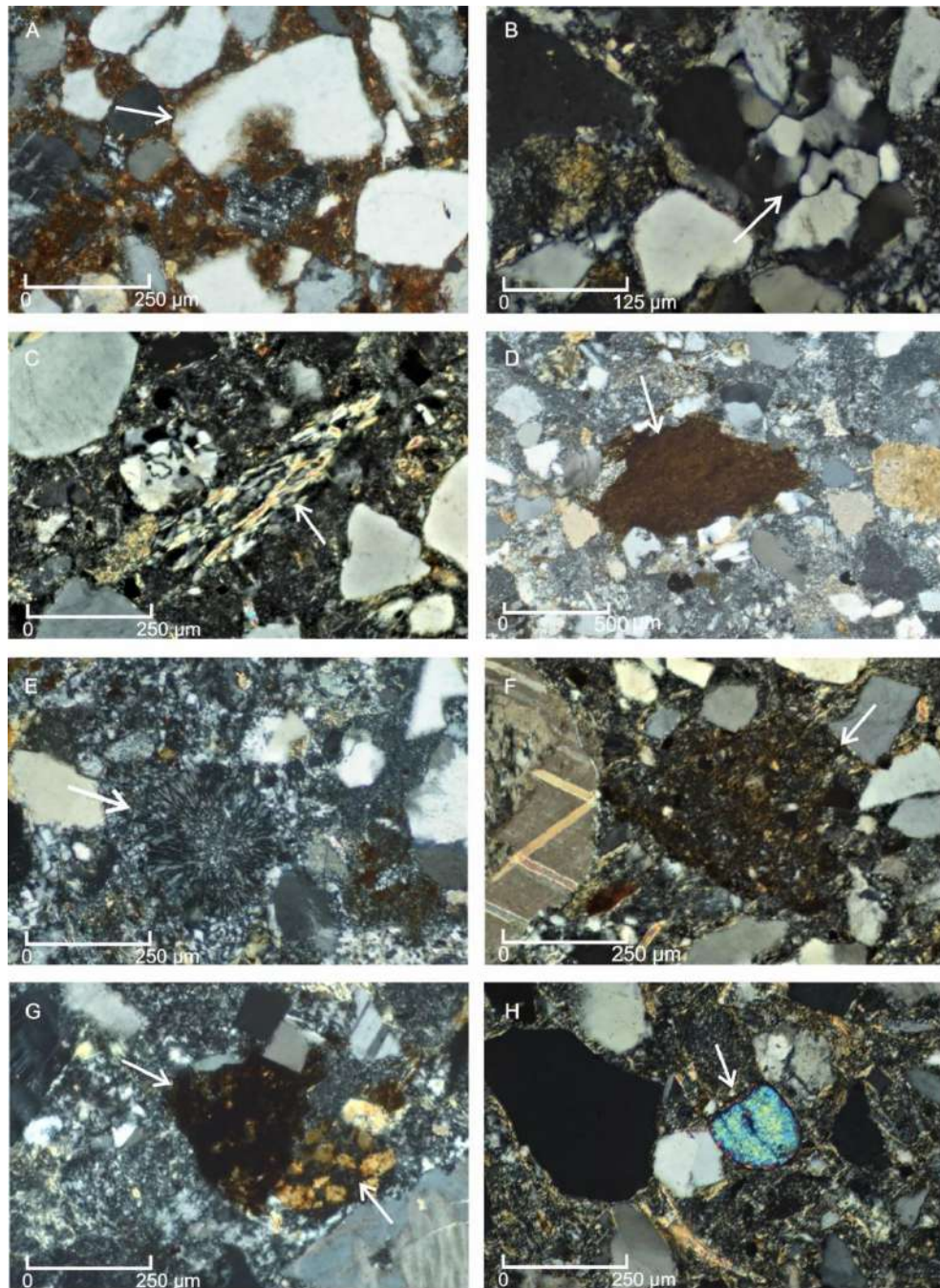


Figura 9. Granos monominerales, líticos y accesorios de las arenitas y vaques de la Formación Chañares. A) Engolfamiento en cuarzo monocristalino (flecha) con nicoles cruzados (muestra N° 11). B) Cuarzo policristalino anhedral (flecha) con nicoles cruzados (muestra N° 10A). C) Lítico metamórfico, esquistó filítico (flecha) con nicoles cruzados. D) Lítico sedimentario, argilita (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 10A). E) Lítico volcánico con textura esferulítica (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 10A). F) Lítico sedimentario, arenisca tobácea (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 17). G) Líticos volcánicos con textura hialopilitica (flecha izquierda) e intergranular (flecha derecha), con nicoles cruzados (muestra N° 11). H) Mineral accesorio, piroxeno (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 11B).

Formación Ischichuca: A esta unidad pertenecen las muestras N° 37, 63, 76, 77, 100, 104, 130, 142 y 159, las cuales corresponden a arenitas de composición lítica. La mayoría de las areniscas presentan un tamaño promedio de grano entre 0,33 y 0,49 mm (arenisca mediana), sólo una muestra (la N° 77) presenta tamaño arenisca gruesa (0,63 mm). Todas las muestras exhiben selección moderada a mala y empaquetamiento cerrado. Los granos presentan esfericidad media a baja, siendo la mayoría subangulares. El promedio de índice de contactos para estas arenitas es 2,61 y del índice de empaquetamiento cerrado 0,428. El cuarzo monocristalino comprende valores entre 22 % y 53%, predominando levemente aquellos individuos con extinción recta y, en algunas muestras (N° 63, 100, 130 y 159), con crecimiento secundario. El cuarzo policristalino alcanza entre el 1 % y el 5,5 % de los granos esqueléticos, perteneciendo mayormente a la variedad anhedral, seguido por la variedad polihedral. Los feldspatos generalmente varían entre el 18 % y el 22 %, habiéndose reconocido ortosa, microclino y plagioclasa, dominando ésta última, los individuos se encontraron tanto frescos como alterados (figura 10 A y B). La proporción de fragmentos líticos varía entre 23 % y el 55%. Los fragmentos líticos metamórficos incluyen cuarcita, esquisto filítico, cuarcita filítica, filita y agregados cuarzo - mica - albita (figura 10 C y D). Dentro de los fragmentos líticos sedimentarios se distinguieron lutita, limolita recristalizada, limolita, argilita, lutita, intraclastos arcillosos y chert (figura 10 E), así como un grano de probable origen fosfático (muestra N°142). En cuanto a los fragmentos líticos volcánicos, las texturas más características son piroclástica (tobas, chonitas), hialopilítica (figura 10 F y G) y de desvitrificación (fluidal y esferulítica). Como minerales accesorios se reconocieron biotita, muscovita y opacos (figura 10 H). El contenido de cemento carbonático (calcita) varía de 1 % a 6 %, excepto en las muestras N°37 y 142 donde los valores se incrementan al 10 y 12 %. Las muestras N° 63 y 76 presentan algunos parches de hierro, y la muestra N° 100 el cemento proviene del crecimiento secundario de los granos de cuarzo. El porcentaje de matriz no supera el 2% a excepción de la muestra N°104 donde alcanza un valor de 4 %, siendo ésta de naturaleza vítrea (trizas de vidrio).

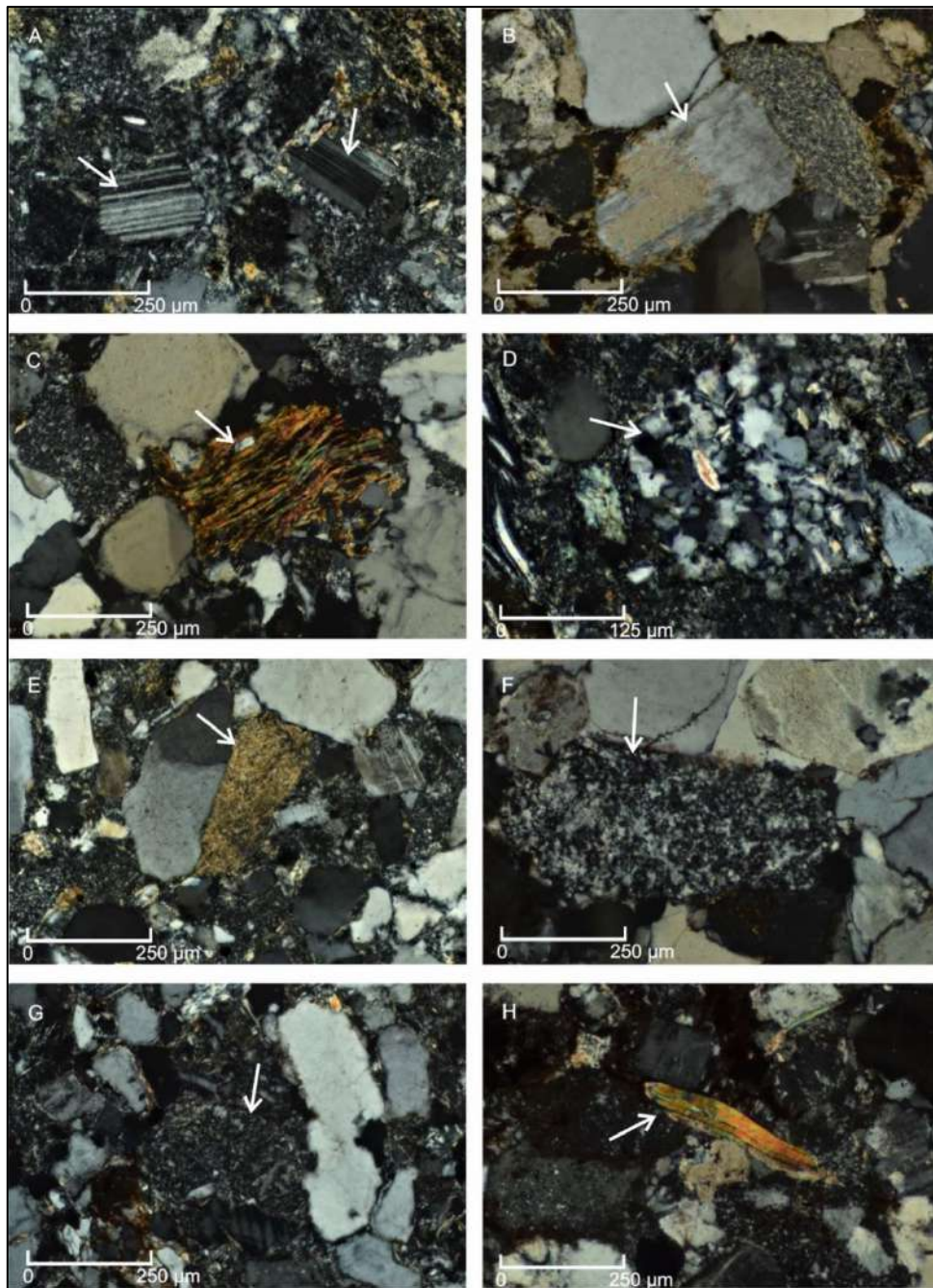


Figura 10. Granos monominerales y líticos de la Formación Ischichuca. A) Plagioclasas con macla polisintética, levemente alterada a sericita (flecha izquierda) y fresca (flecha derecha), con nicoles cruzados (muestra N° 130). B) Plagioclasa parcialmente reemplazada por carbonato (flecha), nicoles cruzados (muestra N°37). C) Lítico metamórfico, filita (flecha) con nicoles cruzados (muestra N° 63). D) Lítico metamórfico, agregado cuarzo – mica – albita (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 104). E) Lítico sedimentario, lutita (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 104). F) Lítico volcánico piroclástico, toba (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 100). G) Lítico volcánico con textura hialopilitica (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 130). H) Mineral accesorio, biotita (flecha), con nicoles cruzados (muestra N° 76).

CAPÍTULO 4

PROCEDENCIA DE LAS ARENISCAS

Fundamentos de procedencia de areniscas

La composición de las areniscas se encuentra fuertemente influenciada por la litología del área de aporte, pero no es menos cierto que otros factores tales como el clima, el agente y la distancia del transporte, la subsidencia de la cuenca y los procesos diagenéticos, pueden ejercer un control no despreciable sobre la composición modal de las areniscas (Dickinson y Suczek 1979; Mack 1984; Basu 1986; Johnsson y Stallard 1989; Blasi y Manassero 1989; Marsaglia e Ingersoll, 1992; Espejo y López Gamundí 1994).

Tradicionalmente, los estudios de composición de las areniscas estuvieron orientados a la definición de las rocas fuentes de los detritos, con el objeto de establecer las áreas de aporte, ubicar los márgenes de las cuencas y estudiar la evolución de ambos a lo largo del tiempo geológico. En particular, Dickinson y Suczek (1979) y Dickinson y Valloni (1980) establecieron relaciones entre la composición modal de las areniscas y el emplazamiento tectónico de las áreas de aporte.

La determinación de la procedencia de los materiales de un depósito silicoclástico presenta varios problemas a resolver: el reciclado de los sedimentos, la existencia de áreas fuente múltiple y su variación con el tiempo, la compleja interacción entre el clima y el relieve, la trayectoria seguida por los sedimentos entre la fuente y el sitio de depositación, así como los efectos diagenéticos (e.g., Melchor 1995). El emplazamiento tectónico del área de aporte se puede determinar al analizar la composición modal de las areniscas. Dickinson y Suczek (1979) fueron los primeros en intentar caracterizar, mediante diagramas triangulares de uso general, la naturaleza de las áreas de aporte en términos de su ubicación en las placas tectónicas. Estos diagramas luego fueron reelaborados por Dickinson *et al.* (1983) y son los que se utilizan en la actualidad para este tipo de estudios.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de procedencia en los distintos diagramas propuestos (Dickinson *et al.* 1983) (ver Tabla 3 y figura 11):

1) Campo de bloques continentales

1.1) Bloques continentales de interior cratónico: Las áreas de aporte generalmente están muy peneplanizadas y formadas por materiales plutónicos y metamórficos de alto grado muy antiguos que estarán formados por cuarzo, feldespatos y líticos sedimentarios. Los ríos transportan los sedimentos por distancias muy largas debido al bajo relieve, por lo que las arenas serán muy ricas en cuarzo, sobre todo cuarzo monocristalino ya que el cuarzo policristalino tiende a disgregarse; y los feldespatos potásicos tendrán mayor participación que las plagioclasas, ya que éstos son más resistentes y más abundantes en el área madre. Las rocas más abundantes, en consecuencia, serán las arenitas cuarzosas.

1.2) Basamento elevado: Se trata de las zonas de *rift* continentales. El material fuente es similar al caso anterior, pero las tasas de erosión son más intensas debido a que el relieve es mucho mayor. Los sistemas depositacionales van a consistir fundamentalmente en abanicos aluviales y ríos de escasa longitud. Por lo tanto, los feldespatos no se van a destruir tanto y las areniscas resultantes tendrán un alto porcentaje de cuarzo y feldespatos, siendo fundamentalmente arcosas. Las arcosas también se pueden formar en áreas cratónicas con un clima árido, debido a la escasa distancia de transporte y reducida alteración química de los feldespatos.

2) Campo de arco magmático: En estos emplazamientos se produce una gran cantidad de material volcánico tanto epiclástico (transporte por agua) como piroclástico (transporte por el aire). En márgenes continentales activos, estos materiales se acumulan en una serie de cuencas incluyendo: las de antearco, trasarco, intraarco y la zona de la fosa. Se pueden distinguir los siguientes subcampos de procedencia:

2.1) Arco de islas oceánicas: Se forma una cuenca marginal. Las areniscas tienen cuarzo, feldespatos y líticos.

2.2) Arco magmático continental: Existe una gran influencia de materiales de todo tipo, no solamente volcánicos sino también plutónicos, metamórficos y sedimentarios. Las areniscas tienen, por tanto, cuarzo, líticos sedimentarios y abundantes líticos volcánicos.

2.3) Arco no disectado: La erosión de las secuencias volcánicas produce arenas con elevados porcentajes de líticos volcánicos, con mayor proporción de plagioclasas que de feldespato potásico (cuando el magmatismo es de naturaleza mesosilíceo o básica) y muy bajas proporciones de cuarzo.

2.4) Arco transicional y arco disectado: La erosión y consecuente disección del arco al cesar el volcanismo, o resultar mayor la tasa de erosión que de apilamiento volcánico, conduce a un progresivo aumento de la cantidad de feldespatos y cuarzo en desmedro de los fragmentos líticos.

3) **Orógeno reciclado**: En el modelo de Dickinson y Suczek (1979) comprenden diversos entornos tectónicos en los cuales rocas sedimentarias y/o metamórficas han sido fuertemente plegadas, falladas y levantadas constituyéndose como área fuente. A continuación se describen cinco tipos de emplazamientos tectónicos donde se producen estos fenómenos: complejos de subducción, zonas de colisión continental, zonas de transcurrencia, orógeno reciclado y zonas de mezcla.

3.1) Complejos de subducción: En estos emplazamientos se forma un prisma de acreción constituido por materiales plegados y metamorfizados. La erosión del mismo produce sedimentos que se depositan en la fosa y en la cuenca de antearco. Los materiales que existen en la fosa son:

- Rocas de tipo ofiolítico (básicas y ultrabásicas)
- Materiales detríticos plegados y metamorfizados
- Materiales correspondientes a facies profundas de océano abierto, fundamentalmente oozes compuestos por material silíceo (diatomeas, radiolarios, espículas de esponjas) y también carbonático de origen orgánico.
- En este tipo de emplazamiento se encontrarán litoarenitas.

3.2) Zonas de colisión continental: Están asociadas a fajas plegadas y corridas con pequeñas cuencas de tipo *piggy back* y de antepaís. Este tipo de cuencas también se forma en la zona de trasarco de un complejo de subducción tipo andino. Las rocas que se forman en este tipo de ambiente son litoarenitas.

3.3) Zonas de transcurrencia: En estos emplazamientos se forman una serie de zonas subsidentes, produciéndose fundamentalmente litoarenitas, ya que los materiales del área fuente son de distintos tipo (por ejemplo plutónicos, metamórficos y sedimentarios). El transporte es corto.

- 3.4) Orógeno reciclado: Muestra una amplia participación de fragmentos líticos, principalmente de pelitas, chert y areniscas muy finas así como pizarras, filitas, diferentes esquistos y, eventualmente, metavulcanitas. Estas rocas muestran muy baja proporción de feldespatos y participación de cuarzo variable (5 % a 85 %).
- 3.5) Zonas de mezcla: Frecuentemente resulta de la introducción mecánica de material correspondiente a diferentes áreas de aporte. Dickinson (1985) señaló que ésta no es la única situación en la que las modas detríticas pueden quedar incluidas en este campo. Variaciones composicionales dentro de la columna estratigráfica de una misma área de aporte, e incluso el efecto climático sobre la eliminación selectiva de algunos componentes clásticos, pueden también producir corrimientos en las modas hacia la zona de mezcla.

Tipo de procedencia	Ambiente tectónico	Composición de las areniscas
Cratón estable	Plataforma estable o en el interior del continente	Areniscas cuarzosas (ricas en Qt) con altas relaciones Qm/Qp y K/P.
Basamento elevado (<i>basament uplift</i>)	Borde de <i>rift</i> o ruptura transformante	Areniscas cuarzo-feldespáticas (ricas en Qm y F) con bajas concentraciones de Lt y relaciones de Qm/F y K/P similares a las de la fuente de aporte.
Arco magmático	Arco de isla o arco continental	Areniscas volcanoclásticas y feldespatolíticas (ricas en F) con altas relaciones de P/K y Lv/Ls. Si están expuestas rocas plutónicas entonces las areniscas son cuarzo-feldespáticas (ricas en Qm y F).
Orogéno reciclado	Complejo de subducción o faja plegada y corrida	Areniscas cuarzolíticas (ricas en Qt y Lt) con bajas concentraciones de F y Lv, y relaciones variables de Qm/Qp y Qp/Ls.

Tabla 3. Campos de procedencia y ambiente tectónico del área de aporte inferidos a partir de la composición QFL de las areniscas. Tomado de Dickinson (1985).

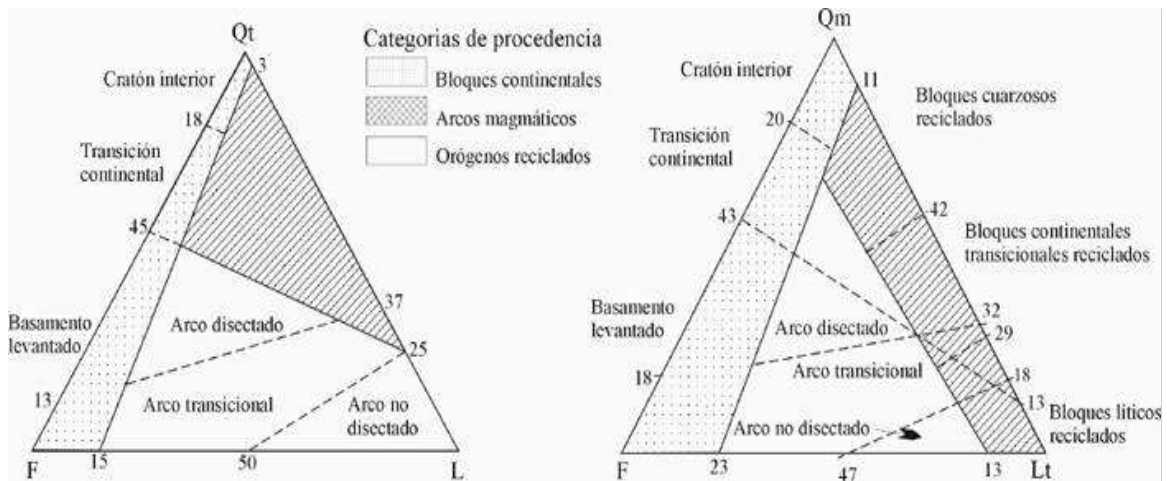


Figura 11. Campos de procedencia en diagramas QtFL y QmFLt de Dickinson *et al* (1983), donde Qt: total de granos cuarzosos, incluyendo chert y líticos cuarzosos como cuarcita, F: granos de feldespato monocristalino, L: granos líticos de filiación volcánica, sedimentaria y metamórfica (excluye chert y cuarcita), Lt: granos líticos policristalinos totales, incluyendo las variedades cuarzosas (chert y cuarcita). Tomado de Scasso y Limarino 1997.

Los diagramas de Dickinson *et al.* (1983) y Weltje (2006), además de mostrar las variaciones de la composición de las areniscas en relación al ambiente tectónico, pueden resaltar alguna característica específica. Por ejemplo, el diagrama QtFL pone énfasis en la estabilidad mineral. El triángulo QmFLt resalta la granulometría de las rocas que componen el área fuente. En el caso del diagrama QpLvLs, es útil en aquellas areniscas con importante aporte lítico, permitiendo una clara separación entre orógenos de colisión y arcos magmáticos (Lv=líticos volcánicos y Ls=líticos sedimentarios). El diagrama QmPK hace énfasis en el grado de madurez mineralógica de las areniscas que aumenta desde la base del triángulo.

Análisis de procedencia de las areniscas estudiadas

El ploteo de los datos obtenidos en el diagrama QtFL de Dickinson *et al.* (1983) sugiere que las muestras de las formaciones Tarjados y Chañares recaen en el campo de orógeno reciclado, mientras las muestras pertenecientes a la Formación Ischichuca se ubicaron en los campos de orógeno reciclado, arco disectado y arco transicional (figura 12).

Al analizar los datos en el diagrama QmFL de Dickinson *et al.* (1983) puede observarse la gran variabilidad que presentan las muestras de la Formación Tarjados, que mayormente corresponden a los campos continental de transición y de mezcla, y secundariamente a

cratón interior, orógeno reciclado y arco disectado. Por su parte, las areniscas de la Formación Chañares se sitúan en la zona de mezcla y en el campo de reciclado transicional. Para la Formación Ischichuca las muestras se ubican en arco transicional, arco disectado y zona de mezcla (figura 13).

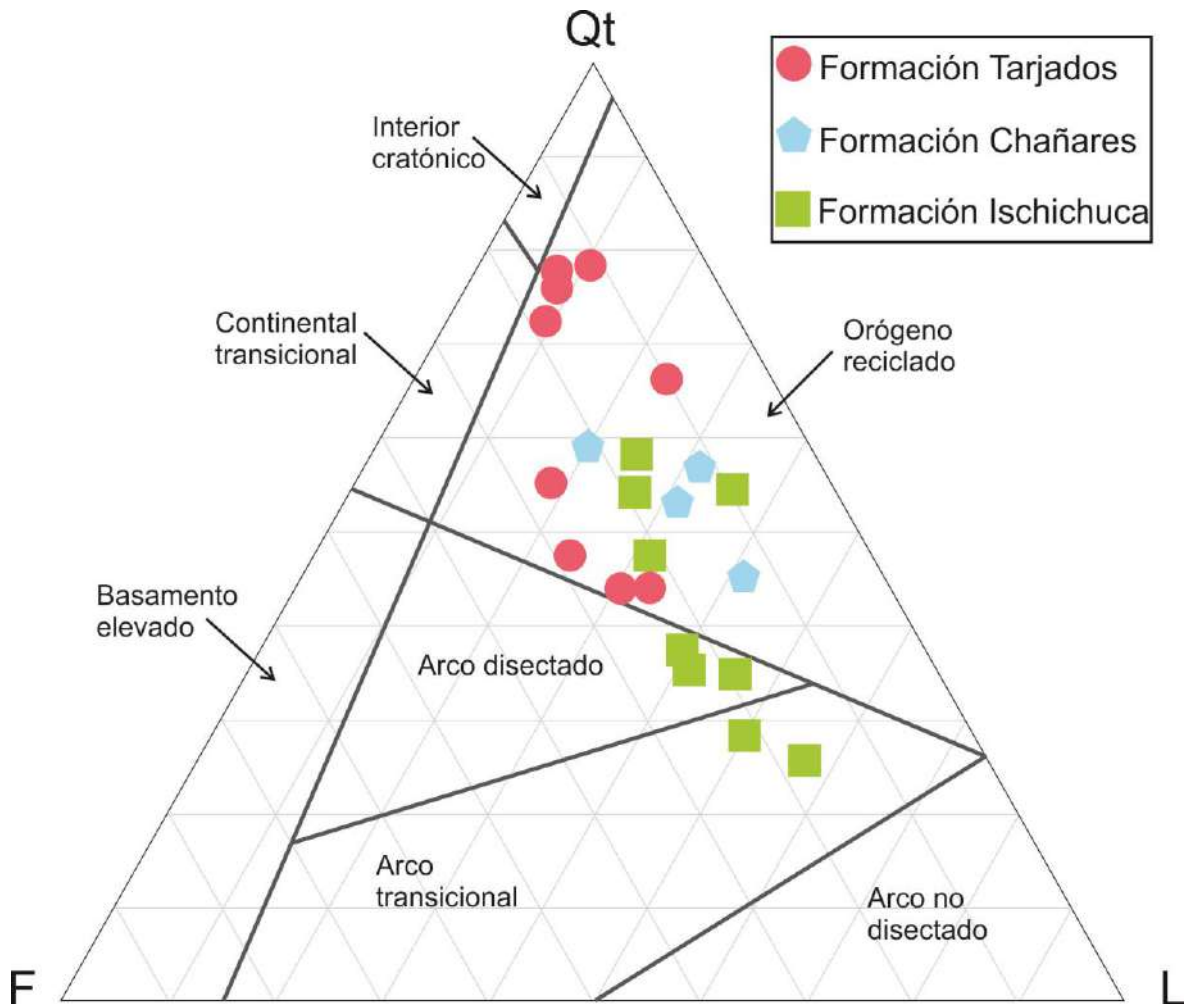


Figura 12. Diagrama QtFL de Dickinson *et al.* (1983) de discriminación en el área de aporte. Para referencias ver Figura 11.

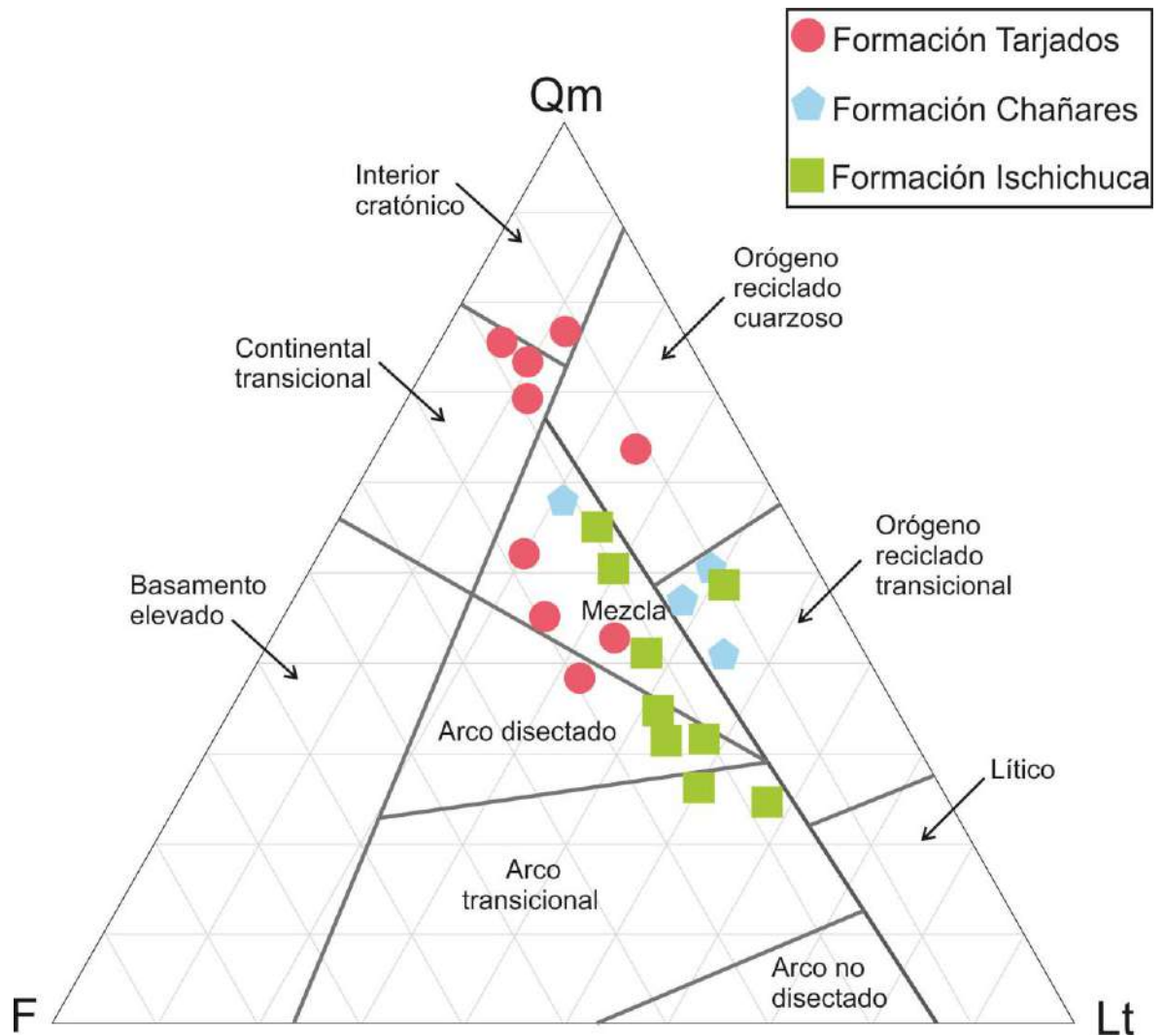


Figura 13. Diagrama QmFLt de Dickinson *et al.* (1983) de discriminación del ambiente tectónico en el área de aporte. Para referencias ver Figura 11.

En el diagrama QpLvLs de Weltje (2006), parte de las muestras de la Formación Tarjados indica procedencia de bloque continental, en tanto que el resto de las muestras de dicha formación, más aquellas de las formaciones Chañares e Ischichuca plotean en el campo de procedencia de arcos magmáticos (figura 14).

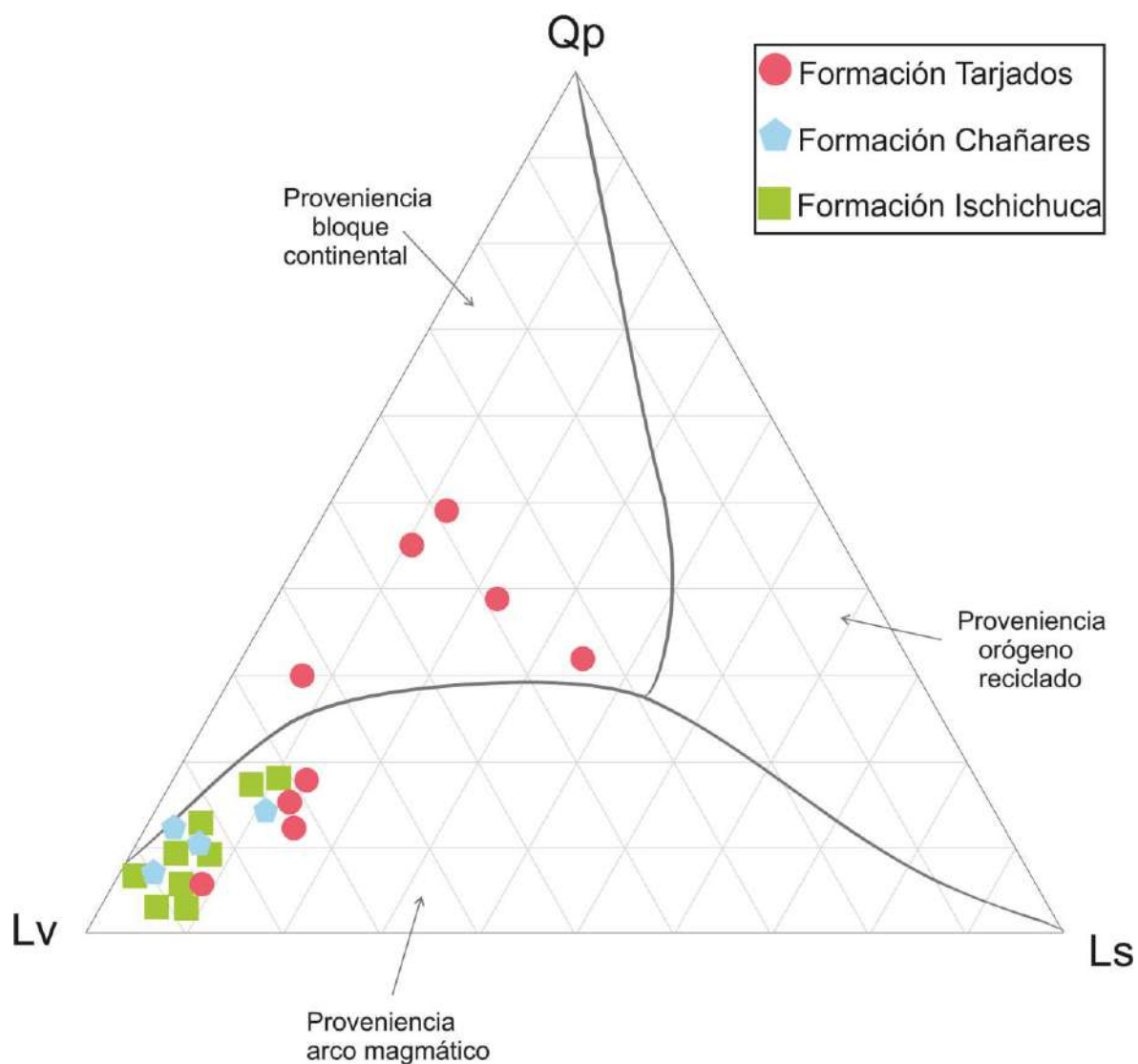


Figura 14. Diagrama QpLvLs (Weltje 2006). Qp: Cuarzo policristalino, Lv: Líticas volcánicas, Ls: Líticas sedimentarias.

En el diagrama QmPK de Weltje (2006) la mayoría de las muestras indican una procedencia de orógeno reciclado y en menor medida, una procedencia de bloque continental (figura 15).

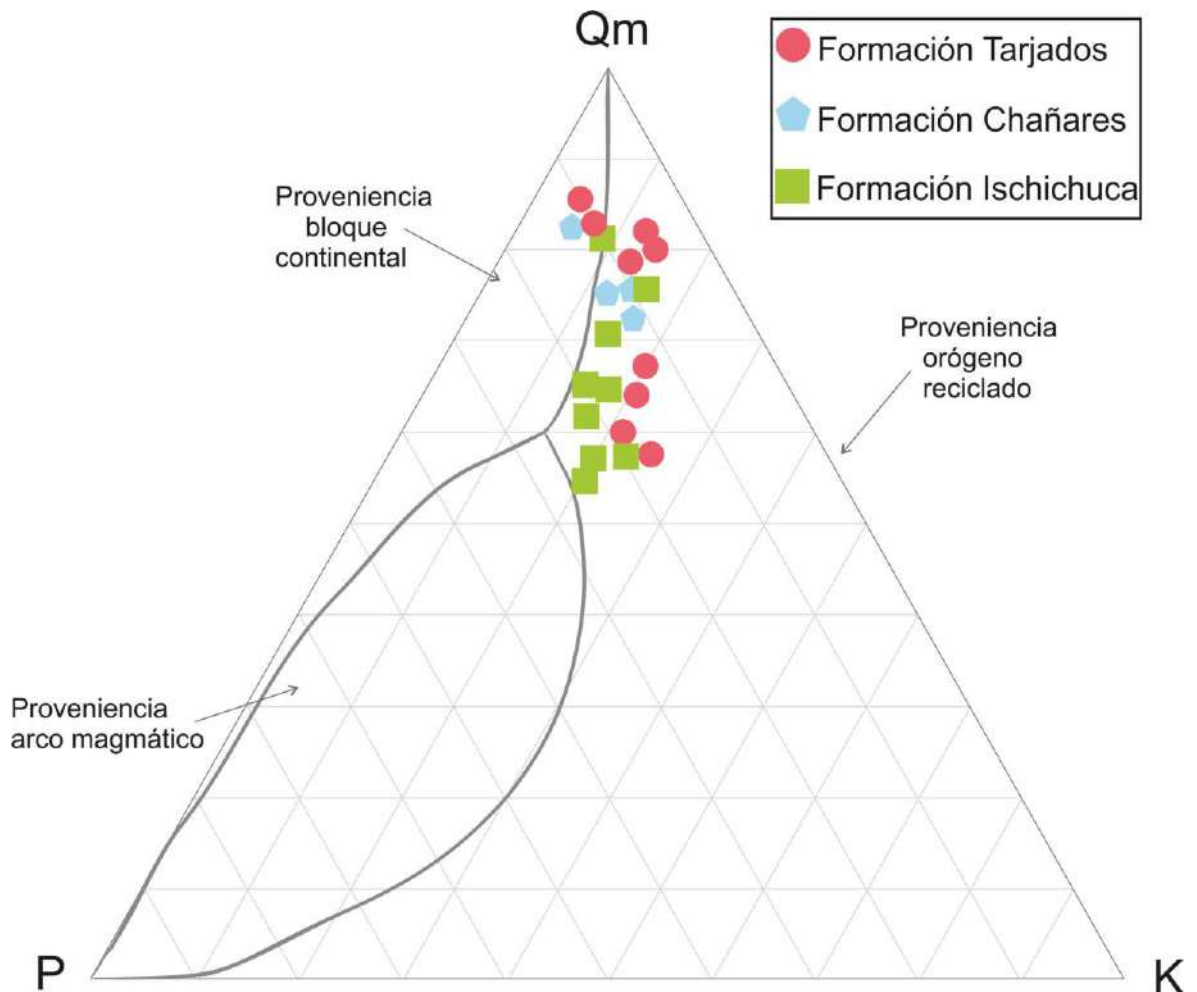


Figura 15. Diagrama QmPK (Weltje 2006). Qm: cuarzo monocristalino, P: plagioclasas, K: feldespatos potásicos.

Petrofacies de arenisca

De manera general, considerando el registro geológico clástico, es posible definir como petrofacies de arenisca al conjunto de distintas unidades detríticas que presentan una similitud composicional. Esta homogeneidad composicional es debida, principalmente, a una misma área fuente y a la participación de procesos sedimentarios semejantes. Una petrofacies puede estar constituida por varias litofacies e incluir los procesos intermedios de maduración y en definitiva de modificación de su composición original durante el transporte. En este sentido, las petrofacies no tienen que coincidir necesariamente con las secuencias depositacionales u otra división del registro estratigráfico aunque, en la práctica, coinciden en numerosas ocasiones (Arribas *et al.* 2003; Zuffa *et al.* 1995). El término petrofacies de arenisca se ha utilizado desde un punto de vista descriptivo,

considerándose así a aquel intervalo caracterizado por una determinada moda detrítica de arenisca.

Los parámetros utilizados en este estudio para agrupar las petrofacies son cuarzo total, feldespatos totales, líticos totales, y las relaciones plagioclasa/feldespato potásico, líticos volcánicos/líticos totales y cuarzo policristalino/cuarzo total (Tabla 4).

Para el caso de las unidades litoestratigráficas analizadas y de acuerdo a las modas detríticas obtenidas se han distinguido tres petrofacies, que se detalla a continuación (Tabla 4):

- I. La petrofacies A, denominada *Cuarzosa* (figuras 16A-16B, 17), incluye cuatro muestras (N° 8, 9, 147, 151) correspondientes a la Formación Tarjados. Según la clasificación propuesta por Folk *et al.* (1970), tres de las muestras son subarcosas y la restante una arcosa lítica. La composición promedio de la petrofacies es $Q_{76}F_{16}L_8$ (Tabla 4). Se definió esta petrofacies ya que todas las muestras contienen altos valores de cuarzo monocristalino, los feldespatos potásicos representan el 9 %, las plagioclasas representan el 7 %, los líticos totales representan valores bajos (alrededor de 8 %). En tres de las muestras predomina la proporción de líticos volcánicos, y en una muestra el porcentaje de líticos metamórficos es superior a los volcánicos. Las texturas dominantes son felsítica y pilotáxica para los volcánicos, y agregado cuarzo-mica-albita y cuarcitas para los metamórficos.
- II. La petrofacies B, denominada *Cuarzo - lítica* (figuras 16C-16D, 17), incluye trece muestras (N° 3, 4, 6, 10 A, 11B, 11, 17, 63, 77, 91, 100, 104, 150) pertenecientes a las tres formaciones. Estas muestras se clasifican según Folk *et al.* (1970) como litoarenitas feldespáticas, arcosas líticas y litoarenitas. La composición promedio de la petrofacies es $Q_{53}F_{19}L_{28}$ (Tabla 4). La proporción de feldespatos potásicos representa el 10% y las plagioclasas el 9 %; en todas las muestras los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos. En este agrupamiento se puede observar que hay un predominio de líticos volcánicos con textura pilotáxica, felsítica y piroclástica
- III. La Petrofacies C, denominada *Lítica* (Figuras 16E-16F, 17), se compone de cinco muestras (N° 37, 76, 130, 142, 159) que corresponden a la Formación Ischichuca (Figuras 16E-16F, 17). Según la clasificación de Folk *et al.* (1970) se trata de

litoarenitas feldespáticas. La composición promedio de la petrofacies es $Q_{33}F_{21}L_{46}$ (Tabla 4). En este grupo se nota una disminución del contenido de cuarzo monocristalino, los feldespatos potásicos representan el 10% y las plagioclasas el 11%; los líticos se incrementan, dentro de éstos últimos los volcánicos son los que abundan, siendo las texturas dominantes piroclástica, felsítica, pilotáctica y vitrofírica.

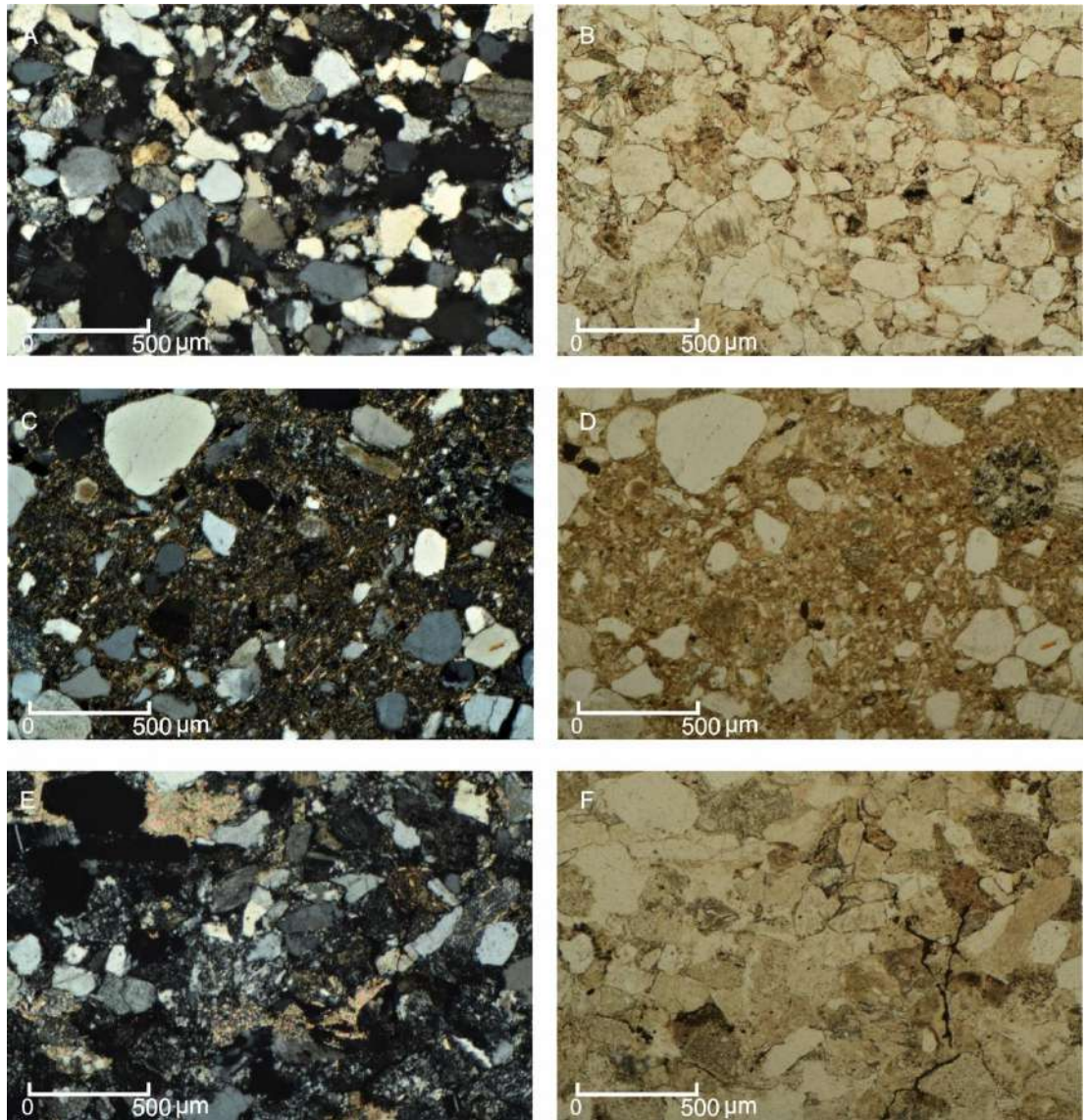


Figura 16. Ejemplos de areniscas representativas de las petrofacies reconocidas. A-B) Arenisca de la petrofacies A o cuarzosa (muestra N° 147), con nicoles cruzados y luz natural, respectivamente. C-D) Arenisca de la petrofacies B o cuarzo - lítica (muestra N° 11B), con nicoles cruzados y luz natural, respectivamente. E-F) Arenisca de la petrofacies C o lítica (muestra N° 159), con nicoles cruzados y luz natural, respectivamente.

Parámetros/ Muestras	Qt	Ft	L	P/F	Lv/L	Qp/Qt
3	43,04	26,77	30,18	0,67	0,77	0,13
4	47,82	28,69	23,49	0,46	0,8	0,07
6	55,39	25,72	18,87	0,39	0,65	0,06
8	75,85	16,34	7,8	0,34	0,55	0,06
9	73,3	18,1	8,59	0,57	0,29	0,04
10A	59,52	20,91	19,57	0,41	0,76	0,05
11B	57,56	11,44	30,99	0,64	0,85	0,07
11	53,43	16,12	30,44	0,48	0,95	0,11
17	44,82	13,41	41,76	0,56	0,86	0,06
37	37,74	22,55	39,71	0,59	0,88	0,06
63	53,86	19,43	26,71	0,51	0,74	0,09
76	38,32	22,08	39,59	0,45	0,86	0,1
77	47,68	20,92	31,38	0,53	0,78	0,13
91	44,87	23,46	31,66	0,49	0,87	0,04
100	57,83	18,43	23,73	0,36	0,73	0,03
104	55,58	10,42	33,99	0,59	0,79	0,08
130	25,68	18,45	55,86	0,51	0,9	0,07
142	28,76	22,58	48,65	0,54	0,89	0,08
147	76,97	15,81	7,21	0,31	0,64	0,07
150	67,07	10,07	22,85	0,56	0,71	0,1
151	78,55	11,56	9,87	0,73	0,53	0,08
159	35,71	19,05	45,23	0,56	0,9	0,08
Petrofacies A	76,17±2,21	15,45±2,77	8,367±1,15	0,487±0,199	0,503±0,149	0,062±0,017
Petrofacies B	53,78±6,59	18,25±6,1	27,95±6,64	0,498±0,08	0,791±0,081	0,074±0,029
Petrofacies C	33,24±5,107	21,07±3,03	45,69±6,88	0,52±0,053	0,87±0,034	0,073±0,017

Tabla 4. Parámetros utilizados para distinguir las petrofacies, expresados en porcentaje, para cada una de las muestras analizadas. También se consigna la composición promedio para cada petrofacies y la desviación estándar. Qt: cuarzo total, Ft: feldespatos totales, L: líticos totales, P/F: relación plagioclasa sobre feldespatos, Lv/L: relación líticos volcánicos sobre líticos totales, Qp/Qt: cuarzo policristalino sobre cuarzo total.

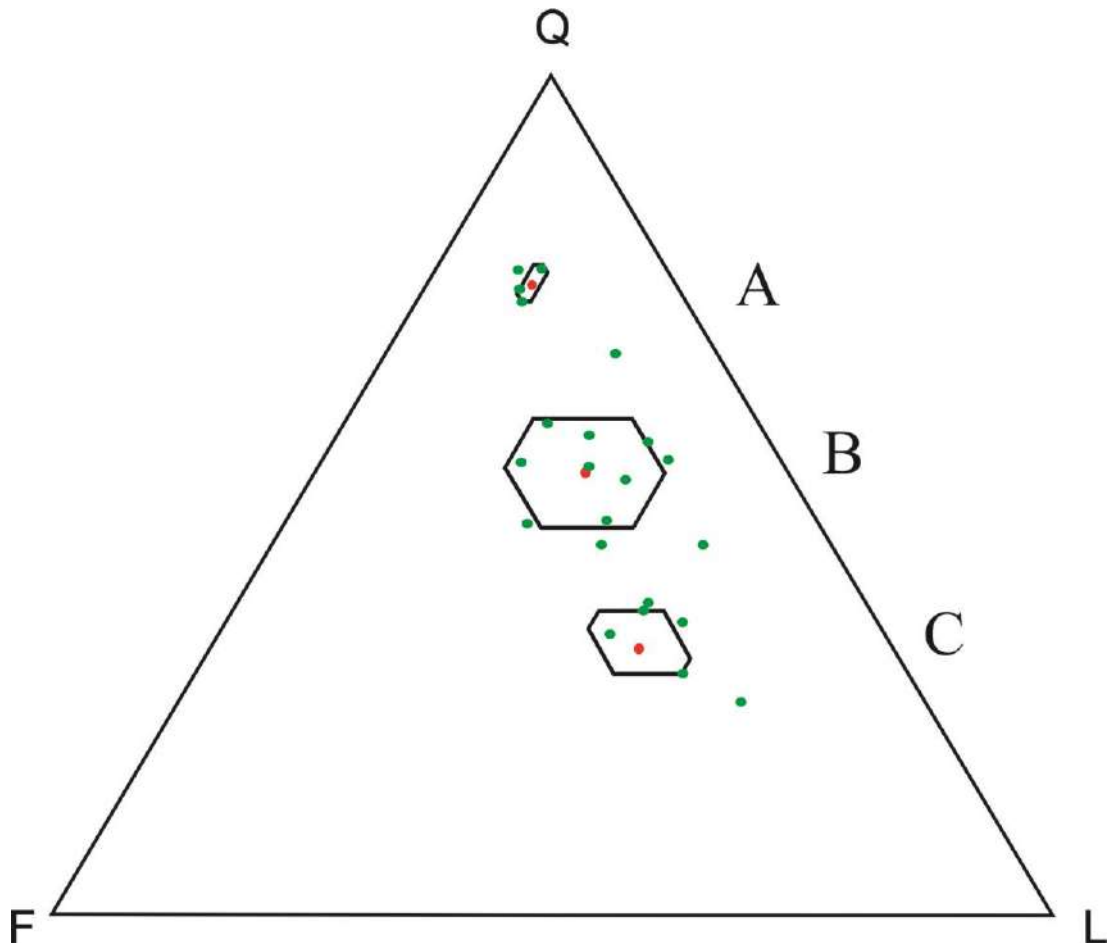


Figura 17. Diagrama QFL donde se observan las tres petrofacies agrupadas, con su correspondiente media y desvío estándar en color rojo, en color verde donde se sitúan las muestras de las areniscas, utilizando un diagrama ternario.

En la figura 18 se grafican en forma de barra otros parámetros utilizados para clasificar las petrofacies. Se puede observar que la relación P/F en las tres petrofacies no varía significativamente, es muy similar el contenido de ambos minerales; lo mismo que la relación Qp/Qt . No sucede lo mismo con la relación Lv/L observándose que la petrofacies A es la que menos contenido en líticos volcánicos tiene con respecto a los líticos totales, y la petrofacies C es la que más proporción presenta.

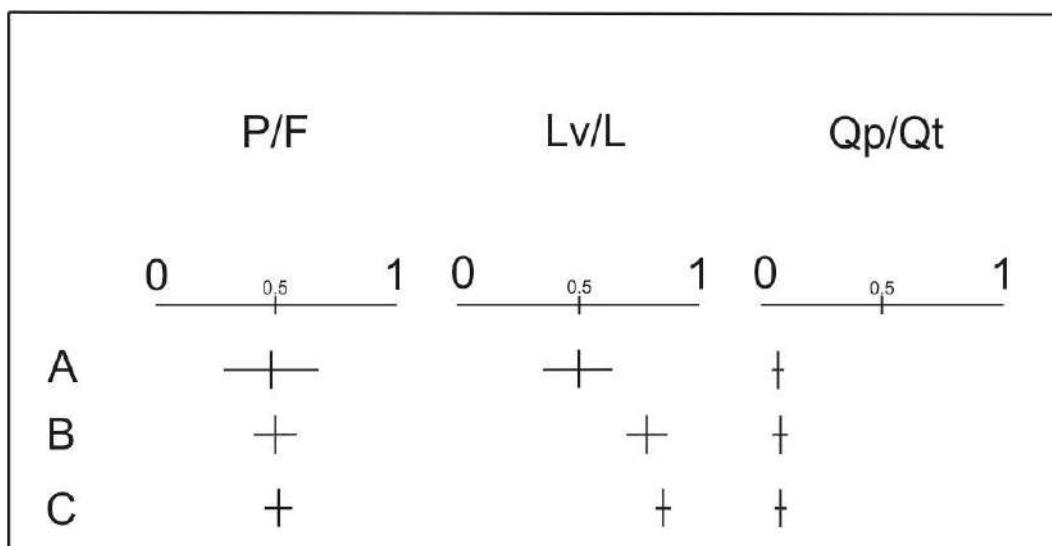


Figura 18. Representación en gráfico de barra de los parámetros P/F, Lv/L, Qp/Qt para las tres petrofacies.

Al graficar la variación vertical de la proporción relativa de cuarzo monocristalino, feldespatos y líticos (figura 19), puede observarse que la Formación Tarjados registra dos pulsos de aporte de cuarzo monocristalino, uno de ellos coincidente con el paquete conglomerádico de la unidad. En cuanto al resto de la columna, se detecta una tendencia al incremento de la participación de líticos.

Para el caso de las proporciones de cuarzo policristalino, líticos volcánicos y líticos sedimentarios (figura 19) se observa que a partir de la base de la Formación Chañares siempre predominan los líticos volcánicos. No sucede lo mismo con la Formación Tarjados que presenta variaciones según las muestras, algunas presentan proporciones altas de cuarzo policristalino y disminuyen el contenido en líticos volcánicos, en el resto se dan relaciones opuestas.

En el gráfico que muestra las relaciones relativas entre cuarzo monocristalino, plagioclasas y feldespatos potásicos (figura 19), se detecta que el primer componente mencionado supera en todas las muestras el 50%. En algunas supera el 75 %, lo que significa que los feldespatos tanto potásicos como plagioclasas no son muy abundantes y entre ellos representan proporciones similares.

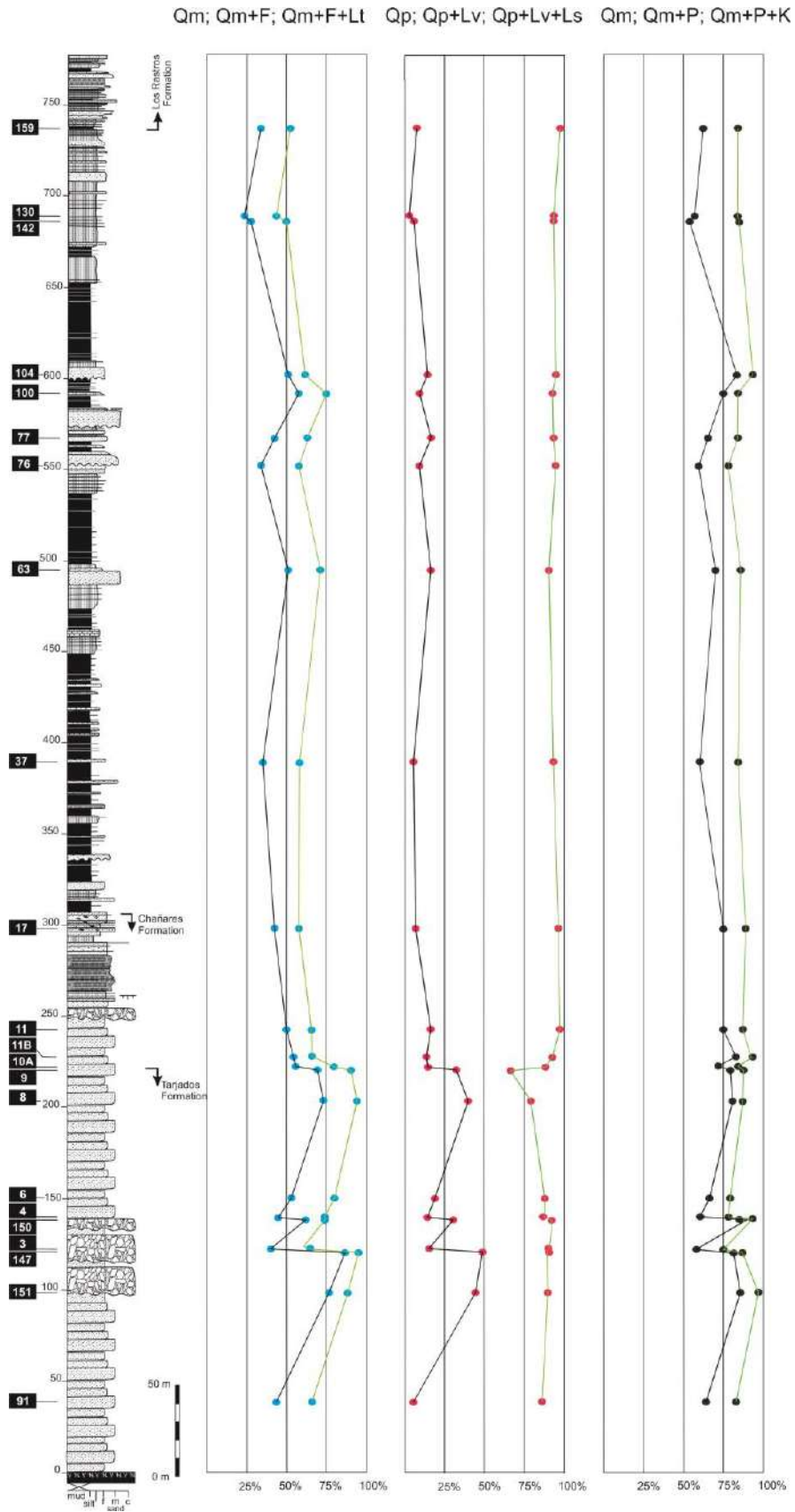


Figura 19. Variación vertical en la relación cuarzo monocristalino, feldespatos y líticos totales (QmFLt), cuarzo policristalino, líticos volcánicos y líticos sedimentaros (QpLvLs), y cuarzo monocristalino, plagioclasas y feldespatos potásicos (QmPK).

Índices de empaquetamiento

El empaquetamiento refleja la fábrica sedimentaria y se relaciona con el grado de contacto que presentan los clastos entre sí. Existe una relación directa entre los índices de empaquetamiento y la compactación sufrida por las areniscas. De esto dependerá la relación entre volúmenes ocupados por clastos y por espacios vacíos o rellenos por matriz y cemento. Se calcularon el índice de contactos (IC) y el índice de empaquetamiento cerrado (IEC), descartándose las vaques, dichos valores se encuentran en la Tabla 5.

CONTACTOS MUESTRAS	TANGENCIAL	RECTO	CONCAVO-CONVEXO	SUTURADO	IC	IEC
91	279	20	24	6	2,79	0,5
151	259	11	13	2	2,59	0,26
147	246	9	16		2,46	0,25
3	398	78	28	1	3,98	1,07
150	279	7	29	4	2,79	0,4
4	394	41	27	7	3,94	0,75
6	423	18	39	28	4,23	0,85
8	301	14	21	5	3,01	0,4
9	336	16	27	12	3,36	0,55
10A	208	8	20	4	2,08	0,32
11	147	2	5		1,47	0,07
37	275	31	21	8	2,75	0,6
63	372	27	47	21	3,72	0,95
76	276	14	27	7	2,76	0,48
77	303	13	33	3	3,03	0,49
100	293	8	15	7	2,93	0,3
104	157	3	6		1,57	0,09
142	204	8	14		2,04	0,22
130	236	14	26	1	2,36	0,41
159	237	12	20		2,37	0,32

Tabla 5. Tipos de contacto, índice de contactos (IC) e índice de empaquetamiento cerrado (IEC) identificados en 100 granos, correspondientes a las areniscas de las Formaciones Tarjados, Ischichuca y Chañares.

La figura 20 muestra la variación vertical del índice de contactos (IC) y el índice de empaquetamiento cerrado (IEC). Se detecta que las muestras más basales de la Formación Tarjados tienen mayores valores. Caso contrario, las muestras cuspidales presentan valores más bajos dado que se encuentran a menor soterramiento. Los valores de los IEC e IC están condicionados por el contenido de matriz de las muestras, por esa razón no se tuvieron en cuenta las vaques (muestras con un contenido de matriz superior al 15 % según la propuesta de Pettijohn *et al.* 1987). Wilson y McBride (1988) y posteriormente McBride *et al.* (1991) analizaron la variación del índice de contactos (IC) y el índice de empaquetamiento cerrado (IEC) con la profundidad de sepultamiento. Utilizando información de varias formaciones pudieron deducir que existe una correlación lineal con la profundidad de sepultamiento.

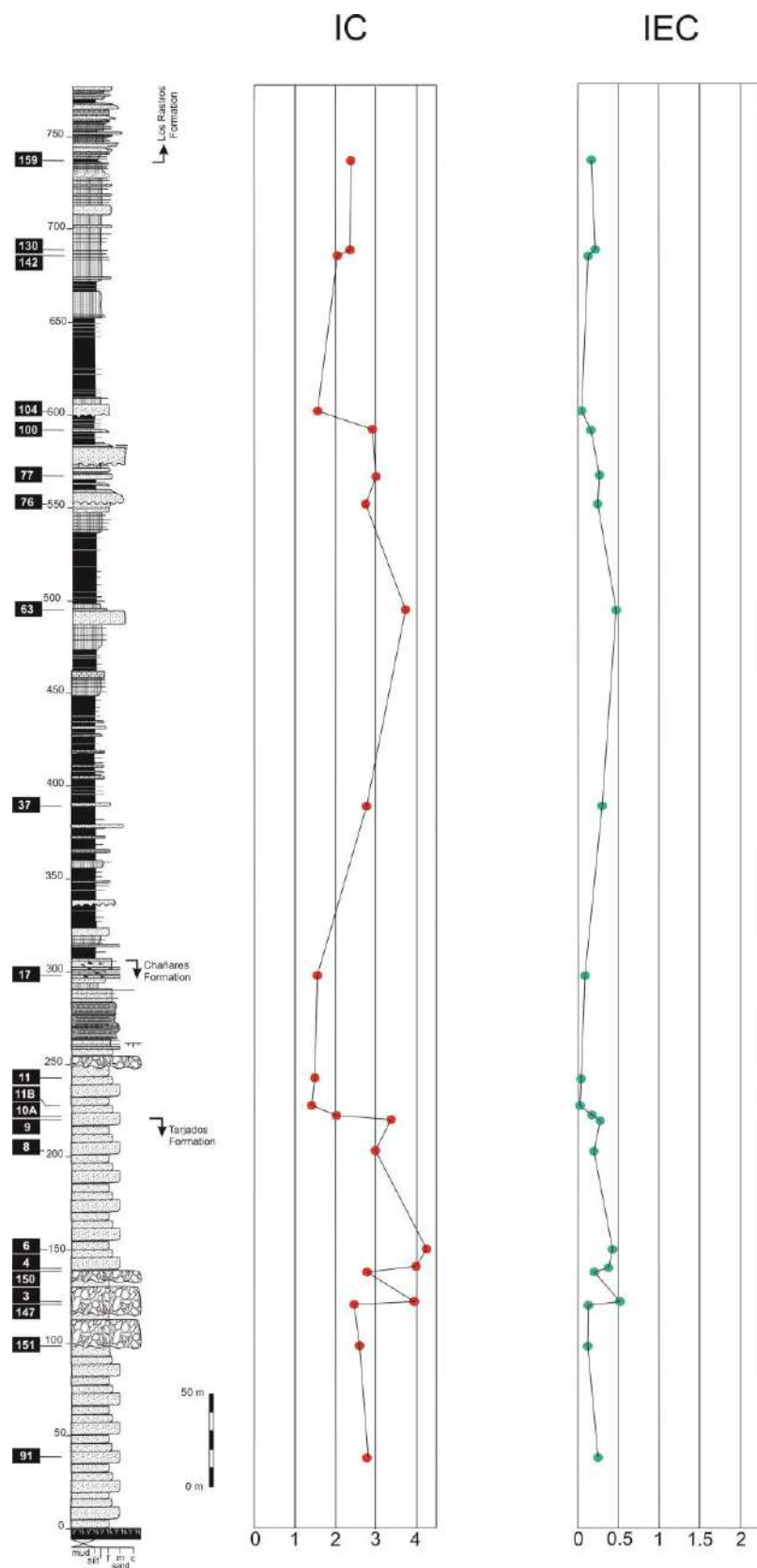


Figura 20. Variación vertical del índice de contactos (IC) y el índice de empaquetamiento cerrado (IEC) para las areniscas de las Formaciones Tarjados, Ischichuca y Chañares.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

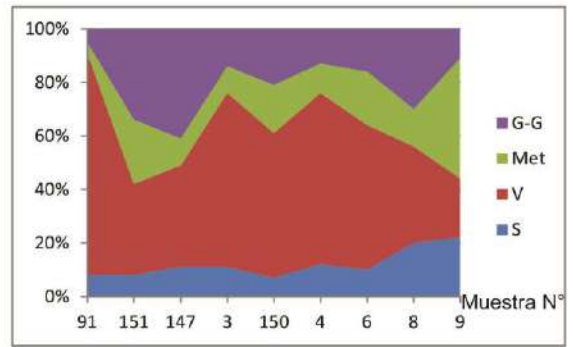
Redistribución de las modas detríticas: litologías del área de aporte

Para intentar una reconstrucción de los tipos de rocas que se hallaban presentes en las áreas de aporte durante la depositación de las areniscas de las unidades estudiadas, se reagruparon los distintos parámetros para construir cuatro grandes grupos litológicos: sedimentario (S), volcánico (V), metamórfico (Met) y granitoide – gnéisico (G-G). De esta forma se obtuvo la distribución porcentual que se presenta analítica y gráficamente en las figuras 21 y 22, incluyendo la participación por unidad y por petrofacies.

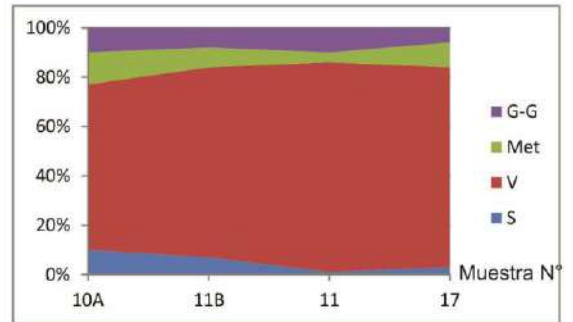
De la observación de la figura 21 se desprende que los aportes durante la depositación de la Formación Tarjados fueron mayoritariamente de rocas volcánicas de composición ácida e intermedia (promedio 50 %), con aportes secundarios de rocas graníticas-gnéisicas (20,5 % promedio), metamórficos y sedimentarios. Para las Formaciones Chañares e Ischichuca, los aportes durante la depositación fueron de rocas volcánicas (77,5% y 74,6% respectivamente), de composición intermedia y en menor medida básica (proveniente de basaltos) para la primera; y de composición ácida e intermedia (provenientes de riolitas y andesitas) para la segunda.

En la figura 22, se analizan los aportes de los distintos tipos de rocas por petrofacies, donde se deduce que la petrofacies A tiene aportes similares tanto de rocas volcánicas como graníticas-gnéisicas (promedio 32,5 % de V y 29 % de G-G), la composición de las rocas volcánicas es ácida e intermedia. En la petrofacies B y C predomina el aporte de rocas volcánicas (promedio 68,9% de B y 82,6 de C) de composición intermedia para la primera y de composición ácida e intermedia para la última, los clastos volcánicos son principalmente de naturaleza riolítica y andesítica.

Fm Tarjados				
Muestra N°	S	V	Met	G-G
91	8	83	4	5
151	8	34	24	34
147	11	38	10	41
3	11	65	10	14
150	7	54	18	21
4	12	64	11	13
6	10	54	20	16
8	20	36	14	30
9	22	22	45	11
Promedio	12,1	50	17,3	20,5



Fm Chañares				
Muestra N°	S	V	Met	G-G
10A	10	67	13	10
11B	7	77	8	8
11	1	85	4	10
17	3	81	10	6
Promedio	5,25	77,5	8,75	8,5



Fm Ischichuca				
Muestra N°	S	V	Met	G-G
37	7	82	6	5
63	8	62	14	16
76	4	75	11	10
77	5	62	16	17
100	6	65	19	10
104	5	70	17	8
142	7	85	3	5
130	6	86	3	5
159	1	85	8	6
Promedio	5,4	74,6	10,7	9,1

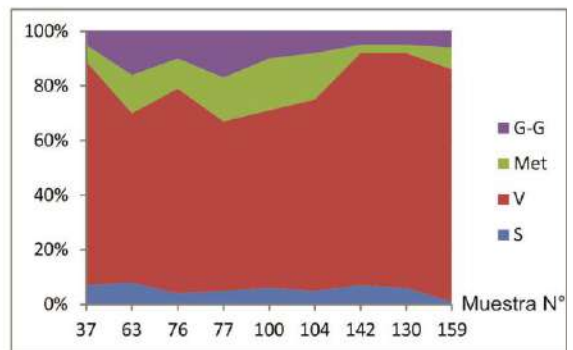
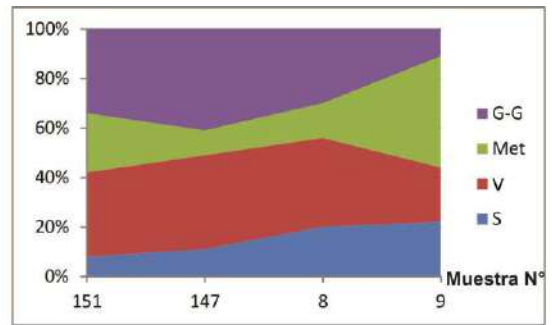
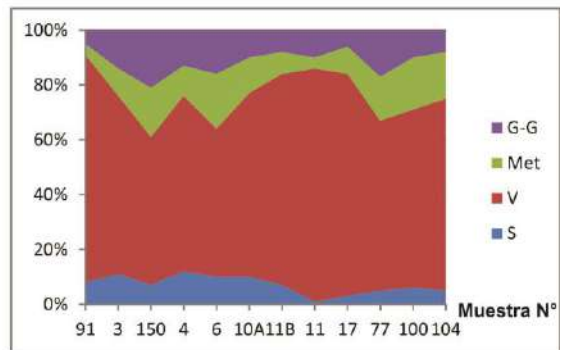


Figura 21. Participación porcentual de los tipos litológicos del área fuente para las formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca. Referencias: **S:** clastos sedimentarios; **V:** clastos de procedencia volcánica, $V=L_v + A_n_f + P_x_e_n_o + B_i$ (si $B_i > M_u$); **Met:** clastos de filiación metamórfica, $M=L_{m_1}+L_{m_2}+Q_{pp}+Q_{pe}$; **G-G:** $Q_{pa} + M_{icas}$ (todas si $M_u > B_i$ o sólo M_u si $B_i > M_u$).

Petrofacies A				
Muestra N°	S	V	Met	G-G
151	8	34	24	34
147	11	38	10	41
8	20	36	14	30
9	22	22	45	11
Promedio	15,25	32,5	23,25	29



Petrofacies B				
Muestra N°	S	V	Met	G-G
91	8	83	4	5
3	11	65	10	14
150	7	54	18	21
4	12	64	11	13
6	10	54	20	16
10A	10	67	13	10
11B	7	77	8	8
11	1	85	4	10
17	3	81	10	6
77	5	62	16	17
100	6	65	19	10
104	5	70	17	8
Promedio	7	68,9	12,5	11,5



Petrofacies C				
Muestra N°	S	V	Met	G-G
37	7	82	6	5
76	4	75	11	10
142	7	85	3	5
130	6	86	3	5
159	1	85	8	6
Promedio	5	82,6	6,2	6,2

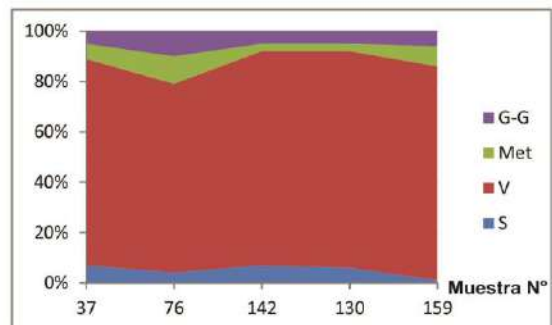


Figura 22. Participación porcentual de los distintos tipos litológicos del área fuente para las petrofacies A, B y C. Referencias: **S**: clastos sedimentarios; **V**: clastos de procedencia volcánica, $V=L_v + An_f + P_{xeno} + Bi$ (si $Bi > Mu$); **Met**: clastos de filiación metamórfica, $M=L_{m1}+L_{m2}+Q_{pp}+Q_{pe}$; **G-G**: $Q_{pa} + Micas$ (todas si $Mu > Bi$ o sólo Mu si $Bi > Mu$).

Procedencia y paleocorrientes de la Formación Ischichuca

Para el intervalo superior de la Formación Ischichuca se dispone de datos de paleocorrientes que sugieren un cambio en la dirección de las mismas. Los datos de paleocorrientes proceden mayormente de las facies arenosas de canales distributarios de deltas lacustres. La dirección promedio de las tres muestras del tramo inferior sugiere transporte desde el SE, en tanto que, a partir de 650 de la base del perfil los indicadores de paleocorrientes registran transporte desde el SO (figura 23). Este cambio de

paleocorrientes se vincula también con un cambio en la composición de las areniscas. Algunas muestras (N° 37, 63, 76, 77, 100, 104) se asocian con direcciones de paleocorrientes desde el SE, en tanto que las superiores (N° 130, 142, 159) corresponden a paleocorrientes que proceden desde el SO (Tabla 6). En la tabla 7 se presentan los principales componentes de las areniscas para el tramo inferior y superior: cuarzo monocristalino (Qm), feldespatos totales (Ft), líticos volcánicos (Lv), líticos metamórficos (Lm) y líticos sedimentarios (Lm). Excepto la muestra (N° 76), donde los valores de Qm decrecen y Lv aumentan, todos los componentes presentan proporciones similares, reflejando una misma área de aporte. Cabe destacar que en las seis muestras hay un notorio incremento de las micas (muscovitas específicamente) hasta un 2,21 % inclusive.

Parámetros/ Muestras (N°)	Qm	Ft	Lv	Lm	Ls
37	30	19,5	31,4	2,1	2,5
63	45,4	18,3	19,3	3,9	2,7
76	30	20	33	3,7	1,6
77	35,2	19	24,3	4,8	2
100	53,6	18	18	5	1,5
104	46,1	9,7	26,7	5,1	1,8
Promedio	40,05	17,4	25,45	4,1	2
142	22,9	19,6	37,8	1,4	3
130	22,5	17,5	47,9	1,7	3,3
159	29,6	17,8	38,9	3,5	0,6
Promedio	25	18,3	41,5	2,2	2,3

Tabla 6. Valores obtenidos a partir del conteo de Gazzi-Dickinson, expresados en porcentaje.
Referencias: Cuarzo monocristalino (Qm), feldespatos totales (Ft), líticos volcánicos (Lv), líticos metamórficos (Lm) y líticos sedimentarios (Lm).

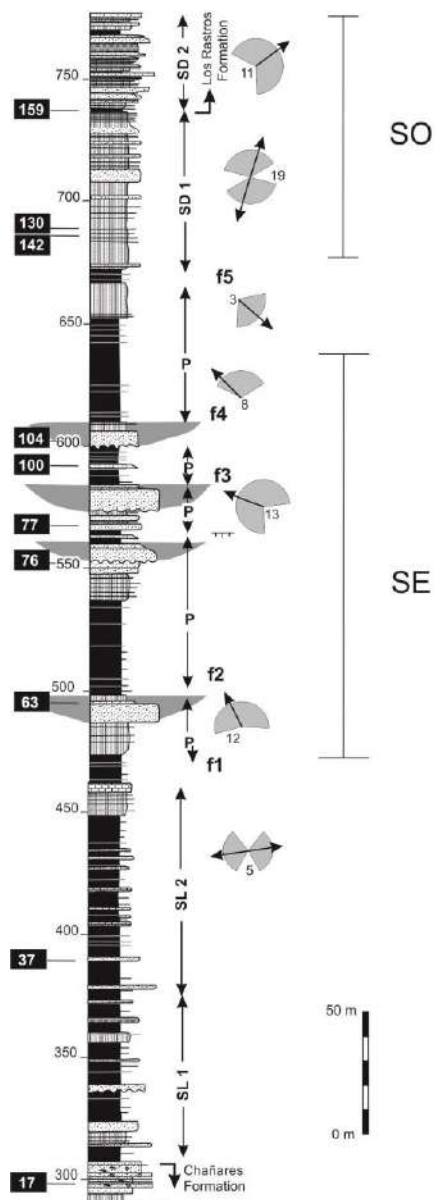


Figura 23. Detalle de la sección estratigráfica de la Formación Ischichuca, donde se indican las mediciones de las paleocorrientes. Tomado de Melchor (2007).

En la parte superior del perfil se observa un incremento de los líticos volcánicos y una disminución de los valores de cuarzo monocristalino, líticos metamórficos y micas. Estos valores indicarían un posible cambio en el área de aporte de los sedimentos. Cabe destacar que sólo en una muestra se contó mica (muscovita), siendo el porcentaje 0,94 %, valor muy por debajo del grupo de la sección inferior del perfil.

Considerando los tipos litológicos registrados en las muestras del tramo inferior y las paleocorrientes (Tabla 7), en el sureste el área de aporte habría estado compuesta

mayoritariamente por rocas de origen volcánico con aportes metamórficos y graníticos-genésicos, para luego cambiar al suroeste donde esencialmente el aporte fue volcánico.

Parámetros/ Muestras (N°)	S	V	Met	G-G
37	7	82	6	5
63	8	62	14	16
76	4	75	11	10
77	5	62	16	17
100	6	65	19	10
104	5	70	17	8
Promedio	5,8	69,3	13,8	11
Parámetros/ Muestras (N°)	S	V	Met	G-G
142	7	85	3	5
130	6	86	3	5
159	1	85	8	6
Promedio	4,6	85,3	4,6	5,3

Tabla 7. Participación porcentual de los distintos tipos litológicos para la Formación Ischichuca asociado con el cambio en paleocorrientes. Referencias: **S**: clastos sedimentarios, **V**: clastos de procedencia volcánica, $V=L_v + A_n_f + P_x_e_n_o + B_i$ (si $B_i > M_u$); **Met**: clastos de filiación metamórfica, $M=L_{m1}+L_{m2}+Q_{pp}+Q_{pe}$, **G-G**: $Q_{pa} + M_{icas}$ (todas si $M_u > B_i$ o sólo M_u si $B_i > M_u$).

Geología regional permo-triásica

A fin de identificar las posibles áreas de aporte, se utilizaron los tipos litológicos distinguidos en el apartado anterior y los datos de paleocorrientes disponibles. La reconstrucción de las modas detríticas sugiere que los principales tipos litológicos que aportan son volcánico (V) y, en menor medida, de granitoides – gneises (G-G). En este sentido, los principales candidatos son las volcanitas del Grupo Choiyoi, las metamorfitas y granitoides de la Sierra de Valle Fértil y las sedimentitas del Grupo Paganzo (figura 24).

La Provincia Magmática Choiyoi, de composición intermedia a ácida, es la característica más destacada a lo largo del margen continental paleozoico de Gondwana occidental, y generalmente se considera como la posible fuente de los depósitos de ceniza extendidos e intercalados con las secuencias sedimentarias de las cuencas gondwánicas adyacentes.

El magmatismo Choiyoi está geológicamente restringido entre los inicios del Pérmico con la fase orogénica San Rafael y la fase extensional Huárpica del Triásico en la región de la Cordillera Frontal Argentina, Precordillera y el Bloque de San Rafael. El análisis global de

datos de edad compilado a partir de rocas del Paleozoico Superior de Chile y Argentina hasta el Triásico permitió a Sato *et al.* (2015) identificar tres etapas de magmatismo: (1) magmatismo orogénico pre-Choiyoi, (2) magmatismo Choiyoi (286-247 Ma) y (3) magmatismo post-Choiyoi relacionado con la tectónica extensional. En la etapa del magmatismo Choiyoi, hubo una traslación del magmatismo hacia el este y sureste, cubriendo una extensa región que define la provincia magmática Choiyoi. Esta Provincia está caracterizada por el predominio de rocas volcánicas y se extiende por amplias regiones del oeste argentino en las que se incluyen la Cordillera Frontal, la Precordillera, el Bloque de San Rafael y la Cordillera Principal surmendocina. Las diferentes características tectónicas que prevalecieron durante la evolución de la provincia magmática Choiyoi se reflejaron en las características petrográficas y químicas de las rocas. Así, en las unidades ígneas más antiguas de esta provincia predominan las rocas de composiciones intermedias, granodioritas, andesitas y dacitas, resultantes de la actividad final del arco magmático, siendo casi exclusivamente pérmicas (286 a 260 Ma). A este grupo de rocas le suceden otras con composiciones predominantemente silíceas y granitos, son propias de la parte superior y sus edades se extienden entre los 259 y los 247 Ma. Estas rocas se distribuyen tanto en el cinturón orogénico como en el antepaís, apoyando las evidencias de un cambio en el régimen tectónico a partir del Pérmico Temprano y que se prolonga hasta el Triásico. La presencia de una sección inferior andesítica y una superior riolítica en el Grupo Choiyoi fue reconocida en distintas localidades por diversos autores (Camino 1965; Coira y Koukharsky 1976; Cortés 1985; Sato y Llambías 1993).

Otra potencial área de aporte es de la Sierra de Valle Fértil de edad Cámbrico - Ordovícico. Mirré (1971) caracterizó el complejo metamórfico de la Sierra de Valle Fértil, donde el tercio oriental está constituido por granodioritas gnéisicas y gneises granodioríticos, mientras que las dos terceras partes occidentales están formadas por un complejo interestratificado de gneises tonalíticos, anfibolitas, gneises granatíferos-sillimaníticos y calizas metamorfozadas. Algunos cuerpos noríticos y ultrabásicos metamórficos afloran en la parte central. Las facies metamórficas del complejo son: granulita (subfacies granulita hornbléndica) y anfibolita (subfacies ortosa-sillimanita-almandino).

La roca potencial fuente para los escasos líticos sedimentarios descritos en este trabajo sería las sedimentitas carboníferas – pérmicas del Grupo Paganzo, representado principalmente por las formaciones Guandacol, Tupé y Patquía. En el área de estudio, Cuerda *et al.* (1979) propusieron la denominación Tuminico para identificar la sucesión

carbónica local ubicada en la quebrada Agua de la Chilca, ubicada en el flanco noroccidental de la sierra de Valle Fértil. La unidad puede ser correlacionada con la Formación Tupé de la sierra de Villa Unión (La Rioja), formando parte de la Cuenca de Paganzo. Esta sucesión, que incluye una variada litología (conglomerados, areniscas arcóscicas, limolitas y lutitas esencialmente de tonos grises), apoya en discordancia sobre las rocas ígneo-metamórficas de la sierra de Valle Fértil. La reconstrucción paleoambiental de la Formación Tuminico indica una sucesión de ciclos fluviales de tipo anastomosado y meandriforme, con episodios deltaicos y lacustres fugaces.

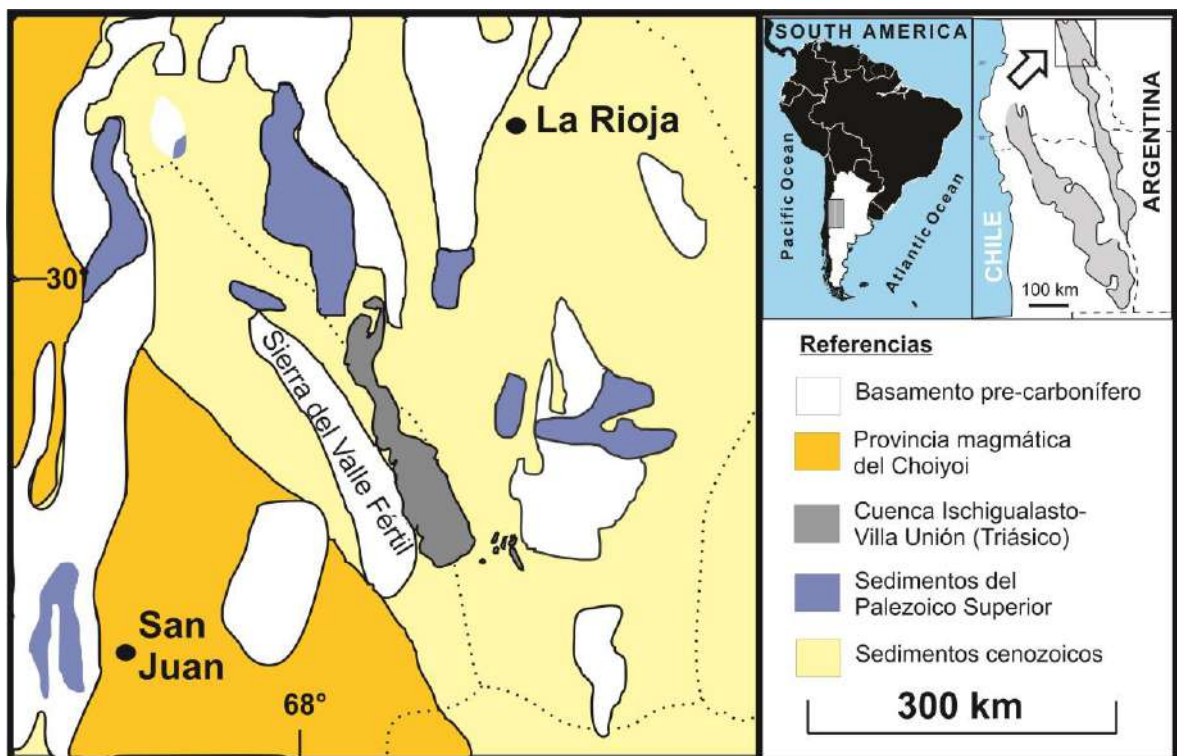


Figura 24. Mapa de las posibles áreas fuente. Modificado de Llambías y Sato (2011).

Procedencia de las unidades analizadas

La Formación Tarjados es la que más variabilidad presenta, no hay un patrón vertical definido de áreas de aporte siendo los tipos litológicos dominantes volcánico y granítico – gnéísico. Según el diagrama QmFLt de Dickinson (1985) la sucesión plotea en varios campos: zona de mezcla, orógeno reciclado, arco disectado, continental transicional y cratón interior (figura 13). En esta unidad se encuentran las areniscas más cuarzosas de toda la sucesión y la litología dominante del área de aporte es granítico – gnéísico, probablemente correspondientes a las metamorfitas y plutonitas de la Sierra de Valle Fértil.

Para el resto de las muestras de la Formación Tarjados que están dominadas por fragmentos líticos volcánicos, se infiere una proveniencia del Grupo Choiyoi. El rango de composiciones asociado al paquete conglomerádico puede sugerir superposición de aportes locales a partir de abanicos aluviales con un área de drenaje limitada.

En la Formación Chañares, Melchor (2007) describió una asociación de facies volcaniclástica (FV) que se caracteriza por tobas de caída y areniscas volcaniclásticas que no muestran una ciclicidad definida. En la Quebrada de Ischichuca hay areniscas volcaniclásticas, probablemente depositadas por procesos de flujo de gravedad que cubren depósitos de ceniza reelaborados, con ondulaciones e intercalaciones de pelitas, sugiriendo un emplazamiento subacuático poco profundo. En cuanto a la composición de las areniscas, si bien se dispone de escasas muestras, se registra un aporte piroclástico significativo que produjo areniscas tobáceas, aportando tanto líticos como una matriz piroclástica (tobas, chonitas, trizas vítreas), así como detritos cuarzosos con extinción recta y engolfamientos. Es posible que los detritos de un vulcanismo explosivo concomitante con la sedimentación se hayan mezclado con detritos epiclásticos semejantes a los que caracterizan las areniscas de la Formación Tarjados. De acuerdo a la compilación de edades del magmatismo Choiyoi (Sato *et al.* 2015), las áreas que registran un vulcanismo durante del Triásico Medio-Tardío registrado en forma de depósitos piroclásticos, son la Precordillera Chilena y Bloque de San Rafael. El reducido aporte de detritos basálticos podría corresponder a las coladas descritas en el área del Parque Ischigualasto por Monetta *et al.* (1993), cuya edad es Triásico Medio.

Dentro de la Formación Ischichuca, a medida que se analiza verticalmente el perfil, el contenido en cuarzo disminuye y aumenta la proporción de líticos, cambiando las áreas de aporte. La Formación Ischichuca, representa un período de cuenca hambrienta en el cual se forman depósitos lacustres con intercalaciones arenosas; hay aportes del este-sureste (zona de la Sierra de Valle Fértil) y luego hay un cambio de procedencia hacia el suroeste, evidenciado tanto por la composición (más aporte de líticos volcánicos) como por las paleocorrientes. Para la Formación Ischichuca, se considera que el principal aporte es el vulcanismo póstumo del Choiyoi (Sato *et al.* 2015) como lo sugieren la abundancia de líticos de composición ácida a intermedia.

Evolución tectosedimentaria de la sucesión analizada

La cuenca triásica de Ischigualasto – Villa Unión se comportó como un hemigraben con su falla principal localizada en coincidencia con el lineamiento de Valle Fértil, aprovechando antiguas zonas de suturas paleozoicas (Milana y Alcober 1994). Se han reconocido cuatro tectosecuencias principales que representan dos etapas de *rifting* o de tectónica activa, y sus correspondientes etapas de *postrift* (Milana y Alcober 1994). Dentro el primer *sinrift* se encuentra el paquete aquí estudiado, representado por las formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca, asignados al Triásico Inferior a Superior? Los sedimentos de la cuenca Ischigualasto-Villa Unión se elevan contra el occidente (Megafractura de Valle Fértil) y el margen oriental (Sierras de Sañogasta) de la depresión de Pagancillo, en particular la Quebrada de Ischichuca se ubica cerca del margen activo (*footwall*) hacia el NO (Melchor 2007).

Existe una relación entre la actividad tectónica y la granulometría de los depósitos resultantes, durante las épocas de *rifting* se incrementa el espacio de acomodación y se generan secuencias granodecrecientes, que pasan de situación de cuenca sobrealimentada (depósitos aluviales de la Formación Tarjados) a cuenca hambrienta (secuencias finas en general lacustres, formaciones Chañares e Ischichuca).

Al analizar la Formación Tarjados, como ya se indicó anteriormente el sistema depositacional que caracterizó a esta unidad fue de tipo fluvial - aluvial, el cual pudo haber estado conformado por abanicos aluviales y ríos con alta proporción de carga sedimentaria fundamentalmente arenosa y en menor medida conglomerádica que transportaba sedimentos de composición variada: las litologías graníticas – gnéicas posiblemente procedentes del basamento ígneo-metamórfico reactivado por la falla de Valle Fértil, aunque también esta sucesión presenta un importante aporte volcánico procedente del Grupo Choiyoi. En cuanto a la Formación Chañares, la presencia de tobas de caída de ceniza sugiere episodios contemporáneos de volcanismo explosivo.

Para la deposición de la Formación Ischichuca, se registra un incremento de la subsidencia y la situación de cuenca hambrienta es corroborada por las secuencias netamente pelíticas, que presentan gran cantidad de lutitas lacustres con areniscas subordinadas. Melchor (2007) reconoció asociaciones de facies de frente deltaico (DF), llanura deltaica (DP), lacustres de costa afuera (OL) y deltas de plataforma (SD). A partir de los 650 m de la base del perfil, la asociación de facies SD, tipificada por sucesiones de hasta 50 m de espesor dominadas por limolitas intercaladas con areniscas con laminación paralela y onduladas simétricas y en comparación con las facies subyacentes las asociaciones (DF-DP) sugieren un cambio en la dirección y procedencia del paleotransporte. Los datos de

paleocorrientes y la fisiografía del hemigraben indican que los sedimentos se obtuvieron principalmente del margen activo (*footwall*) durante la depositación de la sección superior, a diferencia de una fuente flexural/axial desde el sur para la sección que registra los cuatro ciclos deltaicos subyacentes (Melchor 2007).

Estos cambios se interpretan como el reflejo de una modificación importante en la configuración de la cuenca, posiblemente indicando el pasaje a un estadio sobrealimentado y se asignan tentativamente al final de la fase de *sinrift* (Melchor 2007). Es decir que este cambio en las paleocorrientes y composición de las areniscas de la parte alta de la Formación Ischichuca podría corresponder al inicio de la primera fase de *postrift*, materializado por un pasaje transicional a la Formación Los Rastros.

Empaquetamiento de las areniscas

Los valores máximos de índice de contacto (IC) y de empaquetamiento cerrado (IEC) para las formaciones Tarjados e Ischichuca, sugieren un rango de profundidad máxima de enterramiento de aproximadamente 2,5 km para la sucesión analizada (McBride *et al.* 1991).

Conclusiones

1. La mayoría de las muestras de las formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca corresponden a litoarenitas feldespáticas (54,6%), con cantidades subordinadas de feldarenitas líticas (18,2 %), feldarenitas y subfeldarenitas (13,6 % en ambos casos). El principal componente es el cuarzo, que se presenta en proporciones que varían entre 79,5 % y 22,5 %. Los feldespatos se presentan en porcentajes variables entre 27 % y 7%, dominando levemente la ortosa, seguida por plagioclasa y en menor medida microclino. Los fragmentos líticos varían entre 53 % y 7 %, siendo dominantes los líticos volcánicos de textura felsítica, piroclástica y pilotáxica, y en mucha menor proporción líticos metamórficos en los cuales los agregados de cuarzo-mica-albita y los fragmentos de cuarcita son las más frecuentes. Cabe destacar la limitada presencia de líticos sedimentarios, principalmente limolita recristalizada.
2. En el diagrama QmFL de Dickinson *et al.* (1983), se aprecia la variabilidad que presentan las areniscas de la Formación Tarjados, ubicándose las distintas muestras en diferentes campos: cratón interior, continental de transición, zona de mezcla, en orógeno reciclado y arco disectado. En cuanto a la Formación Chañares una muestra se ubica en zona de mezcla y tres siguientes en el campo de reciclado transicional. Las muestras de la Formación Ischichuca también abarcan varios campos: arco disectado, zona de mezcla, arco transicional y reciclado transicional.
3. Se agruparon las muestras de acuerdo a las modas detríticas obtenidas en tres petrofacies. La petrofacies A, denominada *Cuarzosa*, corresponde a la Formación Tarjados, teniendo una composición promedio de $Q_{76}F_{16}L_8$. La petrofacies B, denominada *Cuarzo – lítica*, se registró en las tres formaciones y muestra una composición promedio de $Q_{53}F_{19}L_{28}$. La Petrofacies C, denominada *Lítica*, se registró únicamente en la Formación Ischichuca, y tiene una composición promedio de $Q_{33}F_{21}L_{46}$.
4. Los aportes recibidos durante la depositación de la Formación Tarjados fueron mayoritariamente de rocas volcánicas de composición ácida - intermedia, con algunos aportes de rocas graníticas-gnéisicas. Para las Formaciones Chañares e Ischichuca, los aportes durante la depositación fueron de rocas volcánicas, de composición intermedia y en menor medida básica (proveniente de basaltos) para la primera, y de composición ácida - intermedia (provenientes de riolitas y andesitas)

para la segunda. La Formación Chañares representa una mezcla entre el influjo de detritos piroclásticos coetáneos con la sedimentación, probablemente procedentes desde la Precordillera Chilena y el Bloque de San Rafael, con detritos epiclásticos de la misma procedencia que la infrayacente Formación Tarjados.

5. El estudio de las modas detríticas de las areniscas de las Formaciones Tarjados, Chañares e Ischichuca evidencia la existencia de al menos tres áreas de aporte principales para estas unidades. Por un lado, la faja volcánica permotriásica del Grupo Choiyoi, que aportó grandes cantidades de líticos volcánicos, principalmente de naturaleza ácida a mesosilíceo. A su vez, el aporte de la Sierra de Valle Fértil está marcado por los fragmentos de metamorfitas y granitoides. Un aporte sedimentario subordinado procedería del Grupo Paganzo.
6. El cambio de procedencia y paleocorrientes de la sección cuspidal de la Formación Ischichuca refleja que el tramo inferior indica áreas de aporte ubicadas al sureste compuestas mayoritariamente por volcanitas, metamorfitas y granitoides-gneises, para luego cambiar al suroeste desde donde esencialmente el aporte fue volcánico. Estos cambios se interpretan como el reflejo de una modificación en la configuración de la cuenca, y se asignan tentativamente al final de la fase del primer *sinrift*. Es decir que este cambio podría corresponder al inicio de la primera fase de *postrift*, implicando un pasaje transicional a la Formación Los Rastros.
7. Los índices de contactos (IC) y de empaquetamiento cerrado (IEC) exponen para las muestras más basales, correspondientes a la Formación Tarjados, que los valores se incrementan, caso contrario para las secciones cuspidales que presentan valores más bajos dado que se encuentran a menor profundidad.

Bibliografía

ALCOBER, O.A., 1996. Revisión de los Crurotarsi, Estratigrafía y Tafonomía de la Formación Ischigualasto. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Juan (inédita), 260 p.

ÁLVAREZ, P.P. y RAMOS, V.A., 1999. The Mercedario rift system in the principal Cordillera of Argentina and Chile (32° SL). *Journal of South American Earth Science* 12: 17–31.

ANDREIS, R.R, SPALLETTI, L.A. y MAZZONI, M.M., 1975. Estudio geológico del Subgrupo Sierra de Maz (Paleozoico Superior), Sierra de Maz, provincia de La Rioja, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30: 247-273. Buenos Aires.

ARRIBAS, J., ALONSO, A., MAS, R., TORTOSA, A., RODAS, M., BARRENECHEA, J.F., ALONSO-AZCARATE, J., y ARTIGAS, R., 2003. Sandstone petrography of continental depositional sequences of an intra-plate rift basin: Western Cameros Basin (north Spain). *Journal of Sedimentary Research* 73:309-237.

BARALDO, J., MONETTA, A. y SOECHTING, W., 1990. Triásico de San Juan. Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan. 11° Congreso Geológico Argentino, San Juan, Argentina, pp. 124–139.

BASU, A., 1986. Influence of climate and relief on composition of sand released at soured areas. En “Provenance of arenites” (editado por G.G. Zuffa): 1-18. D. Reidel Publishing Company.

BOSSI, G.E., 1970. Asociaciones mineralógicas de las arcillas en la cuenca de Ischigualasto-Ischichuca. Parte II: perfiles de la Hoyada de Ischigualasto. *Acta Geológica Lilloana* 11 (4): 73-100. Tucumán.

BOSSI, G.E., 1971. Análisis de la Cuenca de Ischigualasto- Ischichuca. I Congreso Hispano - Luso - Americano de Geología Económica, Actas 2: 611-626. Madrid-Lisboa.

BRACCO, A., SOPEÑA, A. y SÁNCHEZ-MOYA, Y., 1996. Sedimentología de la Formación Los Colorados, Triásico superior de San Juan (Argentina). Tomo

Extraordinario 125 Aniversario de la Real Sociedad Española de Historia Natural, pp. 286-290.

BONAPARTE, J.F., 1997. El Triásico de San Juan - La Rioja, Argentina y sus dinosaurios. Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", pp 190. Buenos Aires.

BLASI, A.M y MANASSERO, M.J., 1989. The Colorado River of Argentina: source, climate and transport as controlling factors in plate tectonic sand composition. *Journal of South American Earth Sciences* 3: 65-70.

CAMINOS, R., 1965. Geología de la vertiente oriental del Cordón del Plata, Cordillera Frontal de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20 (3): 351-392. Buenos Aires.

CASELLI, A.T., MARSICANO, C.M. y ARCUCCI, A.B, 2001. Sedimentología y paleontología de la Formación Los Colorados, Triásico superior (provincias de La Rioja y San Juan, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56:173-188. Buenos Aires.

COIRA, B. y KOUKHARSKY M., 1976. Efusividad tardío hercínica en el borde oriental de la Cordillera Frontal, zona arroyo del Tigre, provincia de Mendoza, República Argentina. I Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 105-123. Santiago de Chile.

CORTÉS, J.M., 1985. Vulcanitas y sedimentitas lacustres en la base del Grupo Choiyoi al sur de la Estancia Tambillos, Provincia de Mendoza, República Argentina. IV Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 89-108. Antofagasta.

CUERDA A.J., CINGOLANI C.A., VARELA R. y SCHUAUER O.C., 1979. Depósitos carbónicos en la vertiente occidental de la sierra del Valle Fértil, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34 (2): p.102. Buenos Aires.

CURRIE, B.S. y COLOMBI, C.E., 2007. Structural configuration of the Mesozoic Ischigualasto Basin, Northwestern Argentina: Geological Society of America Meeting. Geological Society of America. Abstracts with Programs 39: 341, Denver.

DICKINSON, W.R., 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology* 40: 695-707.

DICKINSON, W.R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. En "Provenance of arenites" (editado por G.G. Zuffa): 333-362. D. Reidel Publishing Company.

DICKINSON, W.R., BREAD, L.S., BRAKENRIDGE, G.R., ERJAVEC, J.L., FERGUNSON, R.C., INMAN, K.F., KNEPP, R.A., LINDBERG, F.A. y RYBERG, P.T., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting: Geological Society of America Bulletin 94:222 – 235.

DICKINSON, W. R., y SUCZEK, C. A., 1979. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 63(12):2164 – 2182.

DICKINSON, W.R Y VALLONI, R., 1980. Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins. Geology 8: 82-86.

DORSEY, R. J., 1988. Provenance evolution and unroofing history of a modern arc – continent collision: evidence from petrography of Plio – Pleistocene sandstones, Eastern Taiwan. Journal of Sedimentary Petrology 58:208 – 218.

DOTT, R. H., 1964. Wacke, graywacke and matriz-what approach to immature sandstone classification. Journal of Sedimentary Petrology 34: 625-632.

ESPEJO, I. y LÓPEZ GAMUNDÍ, O., 1994. Source versus depositional controls on sandstone composition in a foreland basin: The El Imperial Formation (Mid Carboniferous-Lower Permian), San Rafael Basin, Western Argentina. Journal of Sedimentary Research A64: 8-16.

FOLK, R.L., ANDREWS, P.B., y LEWIS, D.W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand: New Zealand Journal of Geology and Geophysics 13:937-968.

FRENGUELLI, J., 1948. Estratigrafía y edad del llamado "Rético" en la Argentina. Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, GAEA, 8: 159-309. Buenos Aires.

GENTILI, C. A., 1972. Descripción geológica de la Hoja 17c, Cerro Rajado. Provincias de La Rioja y San Juan. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 131: 1-62.

- GIUSTOZZI, M., COLOMBI, C.E., SANTI MALNIS, P. y CORREA, G., 2017. La procedencia de la Formación Ischigualasto y su evolución en el pasaje entre las etapas de sinrift y postrift. Comparación con la Formación los Colorados, Cuenca Ischigualasto – Villa Unión, San Juan, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino. 42-43. San Miguel de Tucumán.
- GRAHAM, S. A., INGERSOLL, R. V., y DICKINSON, W. R., 1976. Common provenance for lithic grains in carboniferous sandstones from the Ouachita Mountains and Black Warrior Basin. *Journal of Sedimentary Petrology* 46:620-632.
- GROEBER, P. y STIPANICIC, P. N., 1953. Triásico. En Groeber, P., Stipanovic, P. N y Mingramm, A. R. G. (Eds.), *Geología de la República, I Parte, Mesozoico*, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. GAEA 2 (1): 13-141. Buenos Aires, Argentina.
- GULBRANSON, E.L., CICCIOLO, P.L., MONTAÑEZ, I.P., MARENSSI, S.A., LIMARINO, C.O., SCHMITZ, M.D., y DAVYDOV, V., 2015. Paleoenvironments and age of the Talampaya Formation: The Permo-Triassic boundary in northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*. 63: 310-322.
- HARREL, J., 1985. A visual comparator for degree of sorting in thin and plane sections; discussion and reply. *Journal of Sedimentary Research* 55: 621 – 626.
- INGERSOLL, R.V., FULLARD, T.F., FORD, R.L., GRIMM, J.P., PICKLE, J.D. y SARES, S.W., 1984. The effect of grain size on detrital modes; a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Research* 54: 103-116.
- INGERSOLL, R. V., y SUCZEK, C. A., 1979. Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP Sites 211 and 218. *Journal Sedimentary Petrology* 49: 1217 – 1228.
- JOHNSSON, M.J. y STALLARD, R.F, 1989. Physiographic controls on the composition of sediments derived from volcanic and sedimentary terrains on Barro Colorado Island, Panamá. *Journal of Sedimentary Petrology* 59: 768-781.
- KENT, D.V., MALNIS, P. S., COLOMBI, C. E., ALCOBER, O. A. y MARTÍNEZ, R. N. 2014. Age constraints on the dispersal of dinosaurs in the Late Triassic from magnetostratigraphy of the Los Colorados Formation (Argentina). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 7958-7963.

KOKOGIAN, D. A., FERNÁNDEZ SEVESO, F. y MOSQUERA, A., 1993. Las secuencias sedimentarias triásicas. 9º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio, I (7): 65-78.

KOKOGIAN, D.A., SPALLETTI, L., MOREL, E.M., ARTABE, A.E., MARTÍNEZ, R.N., ALCOBER, O.A., MILANA, J.P., ZAVATTIERI, A.M. y PAPÚ, O.H., 1999. Los depósitos continentales triásicos. Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, 29: 377-398. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

LEEDER, M.R., y GAWTHORPE, R.L., 1987. Sedimentary models for extensional tilt-block/half-graben basins. In: Continental Extensional Tectonics (Eds M.P. Coward, J.F. Dewey and P.L. Hancock), Geological Society of London, Special Publication 28: 139–152.

LEEDER, M., ORD, D., y COLLIER, R., 1988. Development of alluvial fans and deltas in neotectonic extensional settings: implications for the interpretation of basin-fills. En: Nemec, W. y Steel, R. J. (Eds.): Fan deltas: Sedimentology and tectonic settings. Blackie, 173-185.

LLAMBÍAS, E.J., SATO, A.M., 2001. Ciclo Gondwánico: la provincia magmática Choiyoi en Neuquén. In Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino 53 – 62.

LÓPEZ GAMUNDÍ, O., 1994. Facies distribution in an asymmetric half graben: the northern Cuyo Basin (Triassic), Western Argentina. 14th International Sedimentological Congress, Abstracts S1: 6-7. Recife.

LÓPEZ GAMUNDÍ, O., ALVAREZ, L., ANDREIS, R., BOSSI, G., ESPEJO, I., FERNÁNDEZ SEVESO, F., LEGARRETA, L., KOKOGIAN, D., LIMARINO, C. y SESSAREGO, H., 1989. Cuencas intermontanas. En: Chebli, G. & Spalletti, L. (Eds.): Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán, 6: 123-167. San Miguel de Tucumán.

MACK, G.H., 1984. Exceptions to the relationship between plate tectonics and sandstone composition, Journal of Sedimentary Petrology 54: 212-220.

MARSICANO, C. A., IRMIS, R. B., MANCUSO, A. C., MUNDIL, R. y CHEMALE, F., 2016. The precise temporal calibration of dinosaur origins. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113 (3): 509-513.

MARSAGLIA, K. M. e INGERSOLL, R.V., 1992. Compositional trends in arc-related, deep marine sand and sandstone: A reassessment of magmatic arc provenance. *Geological Society of America Bulletin* 104: 1637-1649.

MCBRIDE, E. F., DIGGS, T. N. y WILSON, J. C., 1991. Compaction of Wilcox and Carrizo sandstones (Paleocene – Eocene) to 4420 M, Texas Gulf Coast. *Journal of Sedimentary Petrology* 61: 73 – 85.

MELCHOR, R.N., 1995. *Sedimentología de las unidades paleozoicas aflorantes del centro-oeste de la provincia de La Pampa, Argentina*, 272 pp, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.

MELCHOR, R.N., 2002. Formación Ischichuca: su distinción de las Formaciones Chañares y Los Rastros (Triásico, Norte de la cuenca Ischigualasto-Villa Unión), Argentina. In: 15th Congreso Geológico Argentino (Eds N. Cabaleri, C.A. Cingolani, E. Linares, M.G. López de Luchi, H.A., Ostera y H.O. Panarello), p. 690–693, Actas, Buenos Aires.

MELCHOR, R.N., 2004. Trace fossil distribution in lacustrine deltas: Examples from the Triassic rift lakes of the Ischigualasto - Villa Unión basin, Argentina. In: *Application of Trace Fossils to Stratigraphic Analysis* (Ed. D. McIlroy), Geological Society London, Special Publication 228, 333–352.

MELCHOR R. N., 2007. Changing lake dynamics and sequence stratigraphy of synrift lacustrine strata in a half-graben: an example from the Triassic Ischigualasto–Villa Union basin, Argentina. *Sedimentology* 54: 1417-1446.

MELCHOR, R.N y DE VALAIS, S., 2006. A review of Triassic tetrapod track assemblages from Argentina: a reassessment. *Paleaentology* 42: 355-355.

MILANA, J.P., 1998. Anatomía de parasecuencias en un lago de rift y su relación con la generación de hidrocarburos, cuenca triásica de Ischigualasto, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53: 365-387. Buenos Aires.

MILANA, J.P. y ALCOBER, O., 1994. Modelo tectosedimentario de la cuenca triásica de Ischigualasto (San Juan, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 217-235. Buenos Aires.

MIRRÉ, J.C., 1971. Caracterización de una comarca de metamorfismo regional epizonal de alto grado: la Sierra de Valle Fértil, Provincia de San Juan, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26: 113-127. Buenos Aires.

MONETA, A., BARALDO, J.A., LANZILOTTA, M.I. y CISNEROS, H., 1993. Los basaltos del borde oriental de la Cuenca de Ischigualasto y su posición estratigráfica. *Actas 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, 2: 71-77.

MOZETIC, A., 1974. El Triásico de los alrededores al valle del río Bermejo. Provincia de la Rioja y San Juan. Tesis Doctoral Facultad Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, 147 p. (Inédito)

PETTIJOHN, F. J., POTTER, P.E y SIEVER, R., 1987. *Sands and sandstones*. 2° Edición. Springer – Verlag, New York, 553 p.

PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. y SIEVER, R. 1972. *Sands and sandstones*. Springer – Verlag, New York, 618 p.

RAMOS, V.A., 1994. Terranes of southern Gondwanaland and their control in the Andean structure (30°–33° S lat.). In: *Tectonics of the Southern Central Andes, Structure and Evolution of an Active Continental Margin* (Eds K.J. Reutter, E. Scheuber and P.J. Wigger), p. 249–261. Springer Verlag, Berlin

ROLLERI, E.O. y CRIADO ROQUÉ, P., 1968. La cuenca triásica del norte de Mendoza. *III Jornadas Geológicas Argentinas, Actas* 1: 11-76. Buenos Aires.

ROMER, A.S. y JENSEN, A., 1966. The Chañares (Argentina) Triassic Reptile Fauna II. *Sketch of the Geology of the Río Chañares - Río Gualo region*. *Breviora*, 252. Cambridge.

SATO A.M. y LLAMBÍAS E.J., 1993. El Grupo Choiyoi, provincia de San Juan: equivalente efusivo del Batolito de Colangüil. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), Actas 4: 156-165. Buenos Aires.

SATO, A.M., LLAMBÍAS, E.J., BASEI, M. y CASTRO, C.E., 2015. Three stages in the Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basin. *Journal of South American Earth Sciences* 63: 48-69.

SAVAGE, K. M. y POTTER, P. E., 1991. Petrology of modern sands of the Rios Guaviare and Inirida, southern Colombia: Tropical climate and sand composition. *Journal of Geology* 99: 289 – 298.

SCASSO, R.A. y LIMARINO, C.O., 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Buenos Aires: Asociación Argentina de Sedimentología. 1-257 p.

SCHENCMAN, L. J., COLOMBI, C., SANTI MALNIS, P. y LIMARINO, C.O., 2015. Diagénesis y procedencia de la Formación Los Colorados (noriano), cuenca de Ischigualasto-Villa unión, noroeste de argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72 (2): 219-234. Buenos Aires.

SCHLISCHE, R.W., 1991. Half-graben basin filling models: new constrains on continental extensional basin development. *Basin Research* 3: 123-141.

SPALLETTI, L.A., 2001. Evolución de las cuencas sedimentarias. In: *El Sistema Triásico en la Argentina* (Eds A.E. Artabe, E.M. Morel and A.B. Zamuner), p. 81–101. Fundación Museo de La Plata, La Plata, Argentina.

STIPANICIC, P.N. y BONAPARTE, J., 1979. Cuenca triásica de Ischigualasto - Villa Unión (Provincia de La Rioja y San Juan). En Turner, J.C.M. (Editor): *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, I: 523-575.

STIPANICIC, P.N. y MARSICANO, C.A. 2002. *Léxico Estratigráfico de La Argentina*. Triásico Volumen 8. Asociación Geológica Argentina Serie “B” nº 26: 370 p.

- SUTTNER, L.J., 1974. Sedimentary petrographic provinces: an evolution. S.E.P.M. Special Publication 21: 75-84.
- TAYLOR, J.M., 1950. Pore space reduction in sandstones. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 34:710-716.
- WELTJE, G. J., 2006. Ternary sandstone composition and provenance: an evaluation of the "Dickinson model". Geological Society, London, Special Publications 264: 79-99.
- WILSON, J.C. y MCBRIDE, E.F., 1988. Compaction of porosity evolution of Pliocene sandstones, Ventura basin, California. Association of American Petroleum Geologist Bulletin 72: 664-681.
- YRIGOYEN, M. y STOVER, L.E., 1970. La palinología como elemento de correlación del Triásico de la cuenca Cuyana. 4° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 2: 427-447.
- YOUNG, S. W., 1976. Petrographic texture of detrital polycrystalline quartz as an to interpreting crystalline source rocks: Journal of Sedimentary Petrology 46: 595 - 603.
- ZAHID, K. M., y BARBEAU, D. L., 2011. Constructing Sandstone Provenance and Classification Ternary Diagrams Using an Electronic Spreadsheet. Journal of Sedimentary Research 81(9): 702-707.
- ZERFASS, H., CHEMALE, F., SCHULTZ, C.L. y LAVINA, E., 2004. Tectonics and sedimentation in Southern South America during Triassic. Sedimentary Geology 166: 265-292.
- ZUFFA, G.G., CIBIN, U., y DI GIULIO, A., 1995. Arenite petrography in sequence stratigraphy: The Journal of Geology 103: 451-459.

ANEXO 1

Tabla con los datos de los conteos de las muestras de la Formación Tarjados

Parámetros Muestras	91	151	147	3	150	4	6	8	9
Qm	184	296	306	143	238	206	246	287	301
Qp	8	26	25	19	32	17	17	20	13
Feldes K	52	13	47	61	18	74	75	44	46
Microclino				1			1		
Plagioclasa	51	35	21	41	23	64	49	23	34
Lutita		1	2		1				
Limolita Recristalizada	6	4	1	7	4	12	10	6	9
Chert						1			2
Arenisca tobácea				2					
Argilita				2		2			
Limolita	7	1	3	5	4	2	2	5	3
Felsítica	47	14	12	26	34	41	29	16	6
Traquítica	3			2		2	1		1
Pilotáxica	30	4	2	15	10	17	17	3	3
Hialopilítica			2	13	1	14	2		
Felsofírica	5	2	4	11	2	6	5	1	4
Vitrofírica	17				10	4	2		
Piroclástica	24	4		24	12	7	6		
Cuarcita	5	4		2	3	6	4	4	8
Esquisto Filítico				1		2			1
Cuarcita filítica		5		1	3	2	3	1	9
Filita				1	1	1	1		1
Lma		6	5	5	11	1	13		9
Muscovitas			1	4		5	3		
Biotita						1			
Opacos	1		2	1		2	1	2	
Cement Carbonático	32	11		15	7	1	2	23	1
Pigmento ferruginoso	1		7	7				1	
Matriz				7			1		
Matriz cuarzosa				1		2			
TOTAL	473	426	440	416	414	492	489	436	451

Tabla con los datos de los conteos de las muestras de la Fm. Chañares

Parámetros Muestras	10A	11B	11	17
Qm	208	142	159	130
Qp	11	12	19	9
Feldesp K	46	11	28	19
Plagioclasa	32	20	26	25
Lutita			1	2
Limolita Recristalizada	7	3	1	3
Argilita	1	4		
Limolita		1		
Felsítica	14	6	13	29
Traquítica			1	2
Pilotáxica	6		11	12
Hialopilitica	2	9	9	26
Felsofírica	10	1	3	16
Intergranular			2	
Intersertal			1	
Vitrofírica	4	4	8	23
Piroclástica	22	51	49	17
Trizas		21	22	
Cuarcita	3	2	1	8
Esquisto Filítico	1			
Filita				1
Lma	5	5	3	6
Biotita	1	1		1
Piroxeno	1			
Opacos	1	2	2	3
Cement Carbonático				6
Matriz vítrea	61	113	49	103
TOTAL	436	408	408	441

Tabla con los datos de los conteos de las muestras de la Fm. Ischichuca

Parámetros Muestras	37	63	76	77	100	104	142	130	159
Qm	140	218	127	159	237	198	98	95	133
Qp	9	22	15	25	9	18	9	8	13
Feldesp K	37	43	47	40	51	17	38	36	35
Microclino		3		1					
Plagioclasa	55	45	40	46	29	25	46	38	45
Lutita	2		2		1		2	3	1
Limolita Recristalizada	2	5	5	2	1	4	3	3	
Chert		1		1					
Fosfático							1		
Argilita	2	2				4		2	1
Intraclasto	6						4	4	1
Limolita	1	5		6	5		3	2	
Felsítica	46	32	32	52	23	19	41	42	32
Traquítica	10			2		2	6	5	
Pilotáxica	29	18	19	12	10	7	32	37	47
Hialopilitica	15	1	6				13	15	17
Felsofírica	9	19	9	8	2		14	5	1
Intergranular		1							
Vitrofírica	19	9	15	10	13	13	17	28	7
Piroclástica	20	13	61	26	31	74	39	71	71
Cuarcita	5	3	9	11	5	8			4
Esquisto Filítico	3		1	3					
Cuarcita filítica	1	3	1		2	4			2
Filita	1	5	5	4	4			3	2
Lma		8		4	11	10	6	4	8
Muscovitas	2	4	9	10	4			4	
Biotita	1		1						1
Anfíbol		1							
Opacos	3		1	7	3	3		1	1
Cement Carbonático	50	9		23		5	54	8	27
Pigm ferruginoso		14	19						
Matriz	3					18	2	8	
Matriz cuarzosa			2		1				
TOTAL	471	481	426	451	442	429	428	422	449

Datos recalculados para análisis de clasificación y procedencia, diagrama QtFL

Muestras N°	QtFL					
	Q	F	L	Q%	F%	L%
91	197	103	139	44,87	23,46	31,66
151	326	48	41	78,55	11,57	9,88
147	331	68	31	76,98	15,81	7,21
3	155	125	171	34,37	27,72	37,92
150	273	41	93	67,08	10,07	22,85
4	230	138	113	47,82	28,69	23,49
6	267	124	91	55,39	25,73	18,88
8	311	67	32	75,85	16,34	7,80
9	324	80	38	73,30	18,10	8,60
10A	222	78	73	59,52	20,91	19,57
11B	156	31	84	57,56	11,44	31,00
11	179	54	102	53,43	16,12	30,45
17	147	44	137	44,82	13,41	41,77
37	154	92	162	37,75	22,55	39,71
63	244	88	121	53,86	19,43	26,71
76	151	87	156	38,32	22,08	39,59
77	196	86	129	47,69	20,92	31,39
100	251	80	103	57,83	18,43	23,73
104	224	42	137	55,58	10,42	34,00
142	107	84	181	28,76	22,58	48,66
130	103	74	224	25,69	18,45	55,86
159	150	80	190	35,71	19,05	45,24

Datos recalculados para análisis de clasificación y procedencia, diagrama QmFLt

			QmFLt			
Muestras N°	Q	F	L	Q%	F%	L%
91	184	103	144	42,69	23,90	33,41
151	296	48	45	76,09	12,34	11,57
147	306	68	31	75,56	16,79	7,65
3	143	125	175	32,28	28,22	39,50
150	238	41	96	63,47	10,93	25,60
4	206	138	120	44,40	29,74	25,86
6	246	124	95	52,90	26,67	20,43
8	287	67	36	73,59	17,18	9,23
9	301	80	48	70,16	18,65	11,19
10A	208	78	76	57,46	21,55	20,99
11B	142	31	107	50,71	11,07	38,21
11	159	54	125	47,04	15,98	36,98
17	130	44	145	40,75	13,79	45,45
37	140	92	167	35,09	23,06	41,85
63	218	88	125	50,58	20,42	29,00
76	127	87	165	33,51	22,96	43,54
77	159	86	141	41,19	22,28	36,53
100	237	80	108	55,76	18,82	25,41
104	198	42	145	51,43	10,91	37,66
142	98	84	181	27,00	23,14	49,86
130	95	74	224	24,17	18,83	57,00
159	133	80	194	32,68	19,66	47,67

ANEXO 2

Descripción microscópica de las areniscas.

Muestra 91 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.31 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares. En orden dominante se encuentra el cuarzo, seguido por los líticos y luego los feldespatos. El cuarzo monocristalino no varía tanto en tamaño como en otras muestras (0.2 a 0.38 mm), se observa crecimiento secundario en algunos individuos, presenta extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino es muy inferior con respecto al monocristalino, domina la textura anhedral seguida de la elongada. La ortosa presenta tanto individuos frescos como alterados siendo la alteración de sericita, la mayoría de los granos son subangulares, la plagioclasa se presenta en su mayoría alterada a sericita, hay pocos individuos frescos, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida por la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas) y opacos. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos de líticos siendo las texturas dominantes felsítica, pilotáxica, piroclástica; entre los líticos metamórficos prevalece la cuarcita, y dentro de los sedimentarios predomina la limolita. El cemento es carbonático, siendo la proporción de ($\leq 6.7\%$), se observan algunas pátinas de hierro.

Muestra 151 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.34 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja a media y granos subangulares a subredondeados. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los feldespatos seguidos por los líticos. El cuarzo monocristalino presenta variación en tamaños (0.19 a 0.58 mm), se observa crecimiento secundario en varios individuos, presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral y elongada respectivamente. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados, siendo la alteración de sericita, la mayor parte de los granos son subredondeados, la plagioclasa presenta pocos individuos frescos, la mayoría alterados a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (biotitas). Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, pilotáxica, piroclástica; en cuanto a los metamórficos los

agregados de cuarzo– mica – albita, cuarcita filítica y los sedimentarios la limolita recristalizada predominan. El cemento es carbonático, siendo el porcentaje de $\leq 2.5\%$.

Muestra 147 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.25 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja a media y granos subangulares a subredondeados. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los feldespatos seguidos por los líticos. El cuarzo monocristalino presenta variación en tamaños (0.15 a 0.49 mm), se observa crecimiento secundario en varios individuos, presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral, elongada, polihedral. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados, siendo ésta alteración de sericita, la mayor parte de los granos son subredondeados, la plagioclasa presenta pocos individuos frescos, la mayoría alterados a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas), opacos y circón. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, felsofírica; en cuanto a los metamórficos, los agregados de cuarzo– mica – albita, y en los sedimentarios, la limolita y lutita predominan. En la mayoría de los granos hay una película de arcilla que los bordea. El cemento es ferroso, siendo el porcentaje de $\leq 1.6\%$.

Muestra 3 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.322 mm), moderadamente seleccionada, presenta empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares. Dominan el cuarzo, luego siguen en abundancia los líticos y los feldespatos. El cuarzo monocristalino varía en tamaños (0.21 a 0.53 mm), no se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral. Dentro de los feldespatos, la ortosa presenta individuos frescos y alterados, éstos últimos con alteración a sericita, la mayoría subangulares; el escaso microclino se presenta fresco con su macla típica de enrejado; las plagioclasas también se observaron individuos frescos y alterados, dominando éstos últimos a sericita (varía de tamaño fino a más grueso), el tipo de macla que predomina es la polisintética, seguida de la de Carlsbad. Las micas se presentan en su mayoría de euhedrales a subhedrales. Los líticos volcánicos dominan por sobre los metamórficos y sedimentarios, siendo las principales texturas la felsítica, piroclástica y pilotáxica respectivamente, en los metamórficos dominan los agregados de cuarzo-mica-albita, aunque también hay presencia de cuarcita, esquistos filíticos y filita; en

los sedimentarios domina la limolita recristalizada siendo más escasos la limolita y argilita y arenisca tobácea. Hay una escasísima proporción de matriz (3.3 %) impregnada con óxidos de hierro. El cemento es escaso (3.6 %) y es carbonático.

Muestra 150 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.38 mm), mal seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos angulares a subangulares. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los líticos seguidos por los feldespatos. El cuarzo monocristalino presenta variación en tamaños (0.3 a 0.47 mm), prácticamente en la mayoría de los granos se observa crecimiento secundario, se pueden observar también escasas láminas de Boehm en algunos granos, presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral y polihedral respectivamente. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados, siendo ésta alteración la sericita, la mayor parte de los granos son subredondeados, la plagioclasa presenta pocos individuos frescos, la mayoría alterados a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas). Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, piroclástica; en cuanto a los metamórficos predominan los agregados de cuarzo–mica – albita, cuarcita y en los sedimentarios, la limolita recristalizada y limolita. El cemento es carbonático, siendo el porcentaje de $\leq 1.7\%$.

Muestra 4 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.27 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, esfericidad y redondez baja. Predomina el cuarzo, le siguen los feldespatos, luego los líticos. El cuarzo monocristalino presenta varios tamaños (0.15 a 0.40 mm), en escasos individuos se observa crecimiento secundario, presentan extinción recta y ondulosa, siendo la última la que domina levemente. El cuarzo policristalino es muy inferior con respecto al otro, también presenta inclusiones, en este caso de apatita, domina la textura anhedral, seguida por polihedral y elongada. La ortosa presenta algunos individuos frescos ya que dominan los alterados a sericita, la mayoría subangulares, la plagioclasa se presenta fresca y alterada a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son circón, micas (muscovitas, biotitas) y opacos. Los líticos volcánicos dominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas felsítica, pilotáxica y hialopilitica dominantes en esta clase, en los metamórficos, dominan la cuarcita, habiendo también esquisto y cuarcita filítica; en los líticos sedimentarios la limolita recristalizada domina por sobre la argilita,

limolita y chert. Hay una escasísima proporción de matriz y de cemento, siendo éste carbonático (\leq a 0.4% en ambos casos)

Muestra 6 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.285 mm), moderadamente seleccionada, presenta empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los feldespatos, seguido por los líticos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.20 a 0.42 mm), no se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina sutilmente. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de polihedral y elongada. Dentro de los feldespatos, la ortosa presenta individuos frescos y alterados, éstos últimos a sericita, la mayoría subangulares; el escasísimo microclino presente se encuentra fresco con su macla típica de enrejado; en las plagioclasas también se observaron individuos frescos y alterados, dominando éstos últimos, alterados a sericita, el tipo de macla que predomina es la polisintética, seguida de la de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas) y opacos; las micas se presentan en su mayoría euhedrales a subhedrales. Los líticos volcánicos dominan por sobre los metamórficos y sedimentarios, siendo las principales las texturas felsítica y pilotáxica, en los metamórficos dominan los agregados de cuarzo-mica- albita, aunque también hay presencia de cuarcita y cuarcita filítica; entre los sedimentarios domina la limolita recristalizada seguida de limolita. El cemento es carbonático y es muy escaso (1%).

Muestra 8 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.38 mm), mal seleccionada, presenta empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos angulosos. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los feldespatos, seguidos por los líticos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.28 a 0.94 mm), prácticamente en casi todos los granos se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina sutilmente, se pueden observar también escasas láminas de Boehm en algunos granos. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de elongada y polihedral. La ortosa presenta algunos individuos frescos ya que dominan los alterados a sericita, la mayoría subangulares, la plagioclasa se presenta fresca y alterada a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida por la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas) y opacos. Los líticos volcánicos dominan por sobre los metamórficos y sedimentarios, siendo las principales las texturas felsítica y pilotáxica, en

los metamórficos dominan la cuarcita y la cuarcita filítica; en los sedimentarios domina la limolita recristalizada seguida de la limolita. El cemento en mayor medida es de tipo calcita poiquilítica y en menor proporción silíceo, presentándose ambos en un porcentaje de 5.3 %.

Muestra 9 – Fm Tarjados. Arenisca mediana (0.402 mm), moderadamente seleccionada, presenta empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los feldespatos, seguidos por los líticos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.22 a 0.52 mm), se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la elongada. La ortosa presenta algunos individuos frescos ya que dominan los alterados a sericita, la mayoría subangulares, la plagioclasa se presenta fresca y alterada a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad, en algunos individuos se observan inclusiones aciculares. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas) de pequeños tamaño (0.08 mm) y opacos. Los líticos metamórficos dominan por sobre los volcánicos y sedimentarios, siendo los principales la cuarcita, agregados de cuarzo – mica – albita y cuarcita filítica, en los volcánicos domina la textura felsítica, felsofírica y pilotáxica y en los sedimentarios domina la limolita recristalizada seguida de limolita y chert. El cemento es de tipo carbonático y en proporción es muy escaso (0.3 %).

Muestra 10 A – Fm Chañares. Arenisca mediana (0.43 mm), mal seleccionada, presenta empaquetamiento abierto, de esfericidad media y granos subangulares. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los feldespatos, seguidos por los líticos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.33 a 0.94 mm), no se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral. La ortosa presenta algunos individuos frescos y algunos alterados, éstos a sericita, la mayoría subangulares a subredondeados, la plagioclasa se presenta fresca y alterada a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas, biotitas) y opacos. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, felsítica y felsofírica; en cuanto a los metamórficos

predominan los agregados de cuarzo– mica – albita y cuarcita, y en los sedimentarios limolita recristalizada. La matriz representa cerca de un 13 % y es vidrio alterado.

Muestra 11B – Fm Chañares. Arenisca mediana (0.34 mm), mal seleccionada, presenta empaquetamiento abierto, de esfericidad baja y granos angulares a subangulares. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los líticos, seguidos por los feldespatos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.2 a 0.57 mm), no se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral y elongada. La ortosa presenta algunos individuos frescos y algunos alterados, éstos a sericita y algunos a clorita, la mayoría subangulares; la plagioclasa se presenta fresca y alterada a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas, biotitas), opacos y piroxeno. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, trizas vítreas y felsítica; en cuanto a los metamórficos predominan los agregados de cuarzo– mica – albita y cuarcita, y en los sedimentarios argilita y limolita recristalizada La matriz representa cerca de un 27 % y es vidrio alterado.

Muestra 11 – Fm Chañares. Arenisca mediana (0.48 mm), mal seleccionada, presenta empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares a subredondeados. En orden dominante se encuentra el cuarzo, luego los líticos, seguidos por los feldespatos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.2 a 0.73 mm), no se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina, se observan varios engolfamientos, típicos en cuarzo de origen volcánico, también se distinguieron láminas de Boehm. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la elongada y polihedral. La ortosa presenta tanto individuos frescos como alterados, siendo la alteración de sericita y la mayoría de los granos son subangulares; la plagioclasa se presenta fresca aunque la mayoría alterada a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas), opacos y piroxeno. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, trizas vítreas y felsítica; en cuanto a los metamórficos predominan los agregados de cuarzo– mica – albita y cuarcita, y en los sedimentarios lutita y limolita recristalizada. La matriz representa cerca del 12 %, contiene

trizas y tiene impregnaciones de hierro, al igual que las muestras anteriores de esta Formación la matriz es vidrio alterado.

Muestra 17 – Fm Chañares. Arenisca mediana (0.33 mm), mal seleccionada, presenta empaquetamiento abierto, de esfericidad baja a media y granos subangulares a subredondeados. En orden dominante se encuentra el cuarzo casi en la misma proporción que los líticos, seguido por los feldespatos. El cuarzo monocristalino varía en tamaños (0.24 a 0.48 mm), no se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral. La ortosa presenta tanto individuos frescos como alterados siendo ésta sericita, también se observa que algunos individuos están reemplazados por carbonato, la mayoría de los granos son subangulares; la plagioclasa se presenta tanto fresca como alterada a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (biotitas), opacos, piroxeno y circón. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, hialopilitica y vitrofírica; en cuanto a los metamórficos predominan los agregados de cuarzo– mica – albita y filita, y en los sedimentarios la limolita recristalizada y lutita. La matriz representa cerca del 23 % al igual que las muestras anteriores de esta Formación la matriz es vidrio alterado. Hay una escasa proporción de cemento, siendo éste carbonático (\leq a 1.3%).

Muestra 37 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.484 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja a media y granos angulares a subangulares. En orden dominante se encuentra los líticos, seguido por el cuarzo y luego por feldespatos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.21 a 0.53 mm), no se observa crecimiento secundario, los individuos presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral. La ortosa presenta tanto individuos frescos como alterados a sericita, también se observa que algunos individuos están reemplazados por carbonato, algunos casi en su totalidad, y la mayoría de los granos son subangulares; la plagioclasa se presentan la mayoría alterada a sericita, y al igual que el feldespato potásico algunos se encuentra reemplazados por carbonato, muy pocos individuos frescos, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas, biotitas muy

deformadas) y opacos. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, pilotáxica y piroclástica; en cuanto a los metamórficos predomina la cuarcita y el esquisto filítico, y en los sedimentarios los intraclastos arcillosos, argilita y lutita. La matriz representa menos del 1%; la proporción de cemento se incrementa, siendo éste carbonático (10.5%).

Muestra 63 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.478 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos angulares a subangulares. En orden dominante se encuentra el cuarzo, seguido por los líticos y luego los feldespatos. El cuarzo monocristalino no varía tanto en tamaño como en muestras anteriores (0.38 a 0.58 mm), se observa crecimiento secundario en algunos individuos, presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral y elongada. La ortosa presenta tanto individuos frescos como alterados a sericita, la mayoría de los granos son subangulares; el escasísimo microclino presente se encuentra fresco y un solo individuo observado un poco alterado, tiene su macla t pica de enrejado, la plagioclasa se presenta tanto fresca como alterada también a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas), y anfíbol. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, fels f rica, pilotáxica; en cuanto a los metamórficos predominan los agregados de cuarzo– mica – albita y filita, y en los sedimentarios la limolita recristalizada y limolita. Hay una escasa proporción de cemento, siendo éste carbonático ($\leq 1.8\%$), donde también se intercalan algunos parches de hierro ($\leq 2.9\%$).

Muestra 76 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.38 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja a media y granos angulares a subangulares. En orden dominante se encuentran los líticos, luego el cuarzo, seguido por los feldespatos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.323a 0.53 mm), no se observa crecimiento secundario, presenta extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina, se pueden observar muchas fracturas en los cuarzos, y en los intersticios presencia de hierro. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral. La ortosa presenta tanto individuos frescos como alterados a sericita, la mayoría de los granos son subangulares; la plagioclasa se presenta tanto fresca como alterada también a sericita, el tipo de macla que domina es la

polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas, biotitas) y opacos. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, felsítica y pilotáxica; en cuanto a los metamórficos predominan la cuarcita y filita, y en los sedimentarios la limolita recristalizada y limolita. El cemento es ferruginoso siendo la proporción de ($\leq 4.4\%$), y el porcentaje de matriz no supera el 1%.

Muestra 77 – Fm Ischichuca. Arenisca gruesa (0.63 mm), muy mal seleccionada, de empaquetamiento cerrado, esfericidad baja y granos angulares a subangulares. En orden dominante se encuentran el cuarzo, luego los líticos, seguido por los feldespatos. El cuarzo monocristalino varía en tamaño (0.33 – 0.71 - 0.9 mm), no se observa crecimiento secundario, presenta extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral y elongada. La ortosa presenta tanto individuos frescos como alterados a sericita, la mayoría de los granos son subangulares; el escasísimo microclino presente se encuentra fresco con su macla típica de enrejado, la plagioclasa se presenta en su mayoría alterada a sericita, hay pocos individuos frescos, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas) y opacos. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, piroclástica y pilotáxica; en cuanto a los metamórficos predominan la cuarcita y filita, y en los sedimentarios la limolita. El cemento es carbonático siendo la proporción de ($\leq 5.1\%$).

Muestra 100 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.33 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja a media y granos subangulares a subredondeados. En orden dominante se encuentra el cuarzo, seguido por los líticos y luego los feldespatos. El cuarzo monocristalino no varía tanto en tamaño como en algunas muestras (0.18 a 0.28 mm), se observa crecimiento secundario en algunos individuos, presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral seguida de la polihedral. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados a sericita, la mayoría de los granos son subangulares, la plagioclasa se presenta en su mayoría alterada, también a sericita, hay pocos individuos frescos, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas), opacos y piroxeno. Los líticos volcánicos predominan

por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, felsítica y pilotáxica; en cuanto a los metamórficos predominan la cuarcita y filita, y en los sedimentarios la limolita. El porcentaje de matriz no supera el 1 %.

Muestra 104 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.49 mm), mal seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares a subredondeados. En orden dominante se encuentra el cuarzo, seguido por los líticos y luego los feldespatos. El cuarzo monocristalino presenta variación en tamaño (0.48 a 0.40 mm), no se observa crecimiento secundario, presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral, elongada y polihedral respectivamente. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados a sericita, la mayoría de los granos son subangulares, la plagioclasa presenta individuos tanto frescos como alterados, la mayoría a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas), opacos y piroxeno. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, felsítica y vitrofírica; en cuanto a los metamórficos predominan la cuarcita y cuarcita filítica, y en los sedimentarios la limolita y argilita. El porcentaje de matriz es del 4.2 % y es vítrea. El cemento es carbonático siendo la proporción de $\leq 1.1\%$.

Muestra 142 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.39 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares. En orden dominante se encuentran los líticos seguido por el cuarzo y luego los feldespatos. El cuarzo monocristalino presenta variación en tamaño (0.21 a 0.40 mm), no se observa crecimiento secundario, presentan extinción recta y ondulosa, siendo esta última la que domina, algunos individuos están reemplazados por cemento, y se pueden distinguir varios individuos con engolfamientos. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados a sericita, algunos granos están reemplazados por carbonato de calcio (CaCO₃), la mayoría de los granos son subangulares, la plagioclasa presenta pocos individuos frescos, la mayoría alterados, en gran parte a sericita, y están reemplazados por carbonato de calcio (CaCO₃), el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas). Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes felsítica, piroclástica y pilotáxica; en cuanto a los sedimentarios predominan los

intraclastos arcillosos y limolita recristalizada; mientras que en los metamórficos los agregados de cuarzo– mica – albita. El porcentaje de matriz es del $\leq 0.5\%$. El cemento es de calcita, siendo el porcentaje de $\leq 12.6\%$. Se puede observar en esta muestra, siendo la única, la presencia de un fragmento aparentemente fosfático.

Muestra 130 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.41 mm), mal seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja y granos subangulares a subredondeados. En orden dominante se encuentran los líticos seguidos por el cuarzo y luego los feldespatos. El cuarzo monocristalino presenta variación en tamaño (0.2 a 0.4 mm), en muy escasos individuos se observa crecimiento secundario, presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados a sericita, algunos granos están reemplazados por carbonato de calcio (CaCO_3), la mayoría de los granos son subangulares, la plagioclasa presenta individuos tanto frescos como alterados, la mayoría a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas, biotita) y opacos. Los líticos volcánicos predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, felsítica y pilotáxica; en cuanto a los metamórficos predominan los agregados de cuarzo– mica – albita y filita, y en los sedimentarios los intraclastos arcillosos, limolita recristalizada y lutita. El porcentaje de matriz es del 1.9 % y es vítrea. El cemento en mayor medida es dolomítico y en menor medida carbonático, presentándose ambos en porcentaje de $\leq 1.9\%$.

Muestra 159 – Fm Ischichuca. Arenisca mediana (0.36 mm), moderadamente seleccionada, de empaquetamiento cerrado, de esfericidad baja a media y granos subangulares. En orden dominante se encuentran los líticos seguidos por el cuarzo y luego los feldespatos. El cuarzo monocristalino presenta variación en tamaño (0.19 a 0.53 mm), se observa crecimiento secundario en escasos individuos, presentan extinción ondulosa y recta, siendo esta última la que domina. El cuarzo policristalino con respecto al monocristalino es muy inferior, domina la textura anhedral. La ortosa presenta pocos individuos frescos, la mayoría están alterados a sericita, también algunos granos están reemplazados por carbonato de calcio (CaCO_3), la mayor parte de los granos son subredondeados, la plagioclasa presenta pocos individuos frescos, la mayoría alterados a sericita, el tipo de macla que domina es la polisintética, seguida de la macla de Carlsbad. Los minerales accesorios presentes son micas (muscovitas, biotitas) y opacos. Los líticos volcánicos

predominan por sobre los otros dos tipos, siendo las texturas dominantes piroclástica, pilotáxica y felsítica; en cuanto a los metamórficos predominan los agregados de cuarzo–mica – albita, cuarcita y en los sedimentarios los intraclastos arcillosos, lutita y, argilita. El cemento es carbonático, siendo el porcentaje de $\leq 6\%$.