



Trabajo Final de Licenciatura – Urrutia Lucas



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Geología y Petróleo**

Trabajo Final de Licenciatura:

“CARACTERIZACIÓN DE CUERPOS INTRUSIVOS LAMINARES EN FORMACIONES DEL JURÁSICO MEDIO A SUPERIOR EN EL FLANCO SUR DEL ANTICLINAL PICÚN LEUFÚ”

Alumno: Urrutia, Lucas Nicolás
Directora: Serra Varela, Samanta
Co-Director: Arregui, Carlos
Neuquén, 2020

Trabajo final presentado para optar por el título de Licenciado en Ciencias Geológicas



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mis padres que son lo más grande que tengo en mi vida, que me brindaron todas las herramientas y las comodidades para que pudiera alcanzar mis logros personales. Sus enseñanzas me hicieron la persona que soy hoy, que, trabajando duro, con sacrificio y siendo alguien honesto se puede lograr y superar todo lo que uno se proponga. A mi hermana, que siempre está cuando la necesito.

A mis directores, Samanta, Carlos, por ser mis guías, por confiar en mí, por su paciencia, dedicación, correcciones, consejos, por acompañarme en este proceso y por transmitirme su amor y pasión por la geología. A Santiago y Macarena por haberme acompañado y ayudado en los viajes de campo. Sin ustedes no podría haber logrado este trabajo final, voy a estar enormemente agradecido con todos ustedes.

A mi familia, abuelos y tíos, que siempre creyeron en mí, por motivarme y por siempre acordarse de mi a lo largo de mi trayecto en la carrera. A mi novia y su familia por apoyarme y ayudarme en lo que necesité. A Juan Saavedra y su familia por haberme ayudado enormemente lo largo de mi carrera, en especial los primeros años, voy a estar siempre agradecido con ustedes.

A mis amigos, que son las mejores personas que me pude haber cruzado en la vida. Gracias por haberme acompañado en el día a día, por los asados, cervezas, pollos al disco y más momentos compartidos. Estoy infinitamente agradecido por haberme dado su amistad.

A la Universidad Nacional del Comahue, incluyendo a todas las personas que le dedican su vida a nuestra educación y formación como personas y profesionales. Gracias enormemente a cada trabajador por brindarme una excelente educación pública.

A todos los profesores de mi carrera, de cada uno me llevo conocimientos y valores, les agradezco por dedicarle y brindarle tiempo a la educación universitaria. Son excelentes profesores y profesionales, me siento muy afortunado de haberlos tenido en mi carrera

A los estudiantes y profesionales que conocí en viajes y congresos, me llevo grandes momentos vividos con todos. Gracias a la Honorable Legislatura del Neuquén por hacer posible que mis compañeros y yo podamos concurrir a los diversos congresos.

RESUMEN

Los cuerpos ígneos estudiados se encuentran ubicados en el flanco sur del Anticlinal Picún Leufú, aproximadamente a los 39°12' de latitud sur y 70°5' de longitud oeste, 40 km al sur de la localidad de Zapala, provincia de Neuquén. El objetivo principal de este trabajo fue llevar a cabo la caracterización petrográfica de los cuerpos ígneos laminares y establecer las relaciones que guardan con sus respectivas rocas de caja. Dicho objetivo fue llevado a cabo mediante la recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos y cartográficos, el estudio petrológico de las rocas en el campo y, por último, trabajos de gabinete, que involucraron el procesamiento de los datos relevados en el campo con los *softwares* correspondientes y el análisis petroográfico de secciones delgadas. En el área de estudio se identificaron cuerpos ígneos laminares intruyendo a formaciones del Jurásico medio a superior correspondientes a las formaciones Challacó, Lotena, Tordillo y Vaca Muerta. Los intrusivos presentan morfología laminar y en base a las distintas relaciones con las rocas de caja se clasifican como filones y diques. Los cuerpos están conformados por rocas melanocráticas, de composición básica. Estas rocas fueron clasificadas como basaltos con fenocristales de olivino y piroxeno exclusivamente, los cuales se encuentran frecuentemente vesiculados. El emplazamiento de estos cuerpos es posterior a la depositación de la Fm. Vaca Muerta pudiendo estar relacionado y condicionado por el campo de esfuerzos compresivos que afectó a los Andes durante el Cenozoico. Particularmente, entre el Mioceno Superior y Plioceno se registró un intenso volcanismo basáltico que podría relacionarse con el emplazamiento de los intrusivos. En zonas aledañas al área de estudio dicho volcanismo dio origen al emplazamiento de extensas coladas basálticas que corresponden a los Basaltos Lohan Mahuida y Zapala, como también a los cuerpos ígneos de la Fm. Cerro Horqueta.

Palabras claves: Basaltos, sills, emplazamiento, Anticlinal Picún Leufú, Magmatismo Cenozoico.

ABSTRACT

The studied igneous bodies are located on the southern flank of the Picún Leufú Anticline, at 39 ° 12 'south latitude and 70 ° 5' west longitude, 40 km south of the Zapala city, Neuquén province. The main objective of this Project is to carry out the petrographic characterization of the laminar igneous bodies and determine the relationships that they have with their respective host rocks. The objectives were carried out through the collection and analysis of bibliographic and cartographic information, the petrographic study of the rocks in the field and, finally, the processing in laboratory of the data collected in the field with the corresponding softwares and petrographic analysis of thin sections. In the studied area, laminar igneous bodies intrude middle to upper Jurassic sedimentary rocks corresponding to the Challacó, Lotena, Tordillo and Vaca Muerta formations. The intrusive bodies present a laminar morphology and based on the different contact relationships they present with the host rocks, they are classified as sills and dikes. The igneous bodies are composed of basic melanocratic rocks. These rocks were classified as basalts with phenocrysts exclusively of olivines and piroxenes, which are frequently vesiculated. The emplacement of these bodies



occurs after the deposition of the Vaca Muerta formation and could be related and conditioned by the compressive stress field that affected the Andes during the Cenozoic. Particularly, between the Upper Miocene and Pliocene an intense basalt volcanism was regionally recorded, that could be related to the emplacement of the intrusives. In the surrounding's of the study area, this volcanism gave place to extensive basalt flows that correspond to the Lohan Mahuida and Zapala Basalts, as well as the igneous bodies of the Cerro Horqueta Formation.

Keywords: Basalts, sills, emplacement, Picún Leufú Anticline, Cenozoic Magmatism.



ÍNDICE

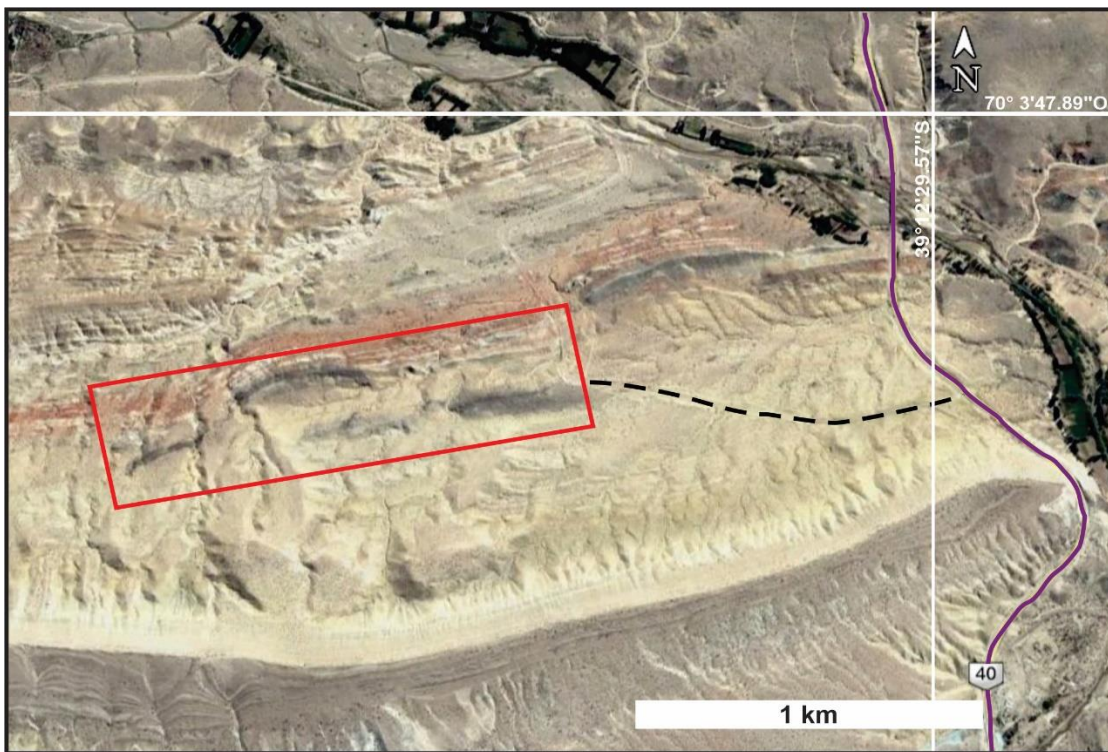
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Ubicación del área de estudio	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodología de trabajo	2
CAPÍTULO 2: GEOLOGIA REGIONAL Y ANTECEDENTES	4
2.1 Estratigrafía y estructura	4
2.2 Cuerpos ígneos laminares	7
2.3 Evolución estructural	8
CAPÍTULO 3: GEOLOGÍA LOCAL	10
3.1 Estratigrafía	11
3.1.1. Formación Challacó	11
3.1.2. Formación Lotena	11
3.1.3. Formación Tordillo	12
3.1.4. Formación Vaca Muerta	13
3.2 Cuerpos intrusivos relevados	15
3.2.1 Cuerpo Intrusivo Central	15
3.2.2 Cuerpo Intrusivo Oriental	16
3.2.3 Cuerpo Intrusivo Occidental	19
CAPITULO 4: DISCUSIÓN	21
4.1 Geometría y tipos de cuerpos ígneos	21
4.2 Petrografía de los cuerpos ígneos	22
4.3 Emplazamiento de los cuerpos ígneos	23
4.4 Edad	27
4.5 Influencia de los intrusivos en sistemas petroleros	29
CAPITULO 5: CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFIA	34

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Ubicación del área de estudio

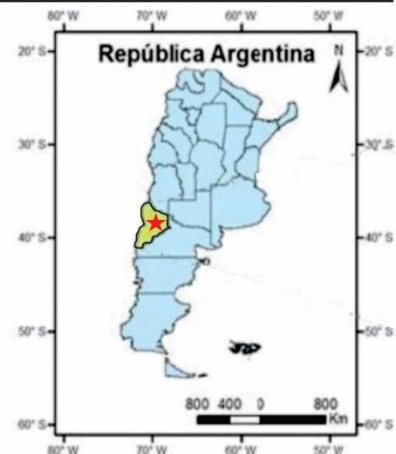
El área de estudio ($39^{\circ}12'44,42''$ - $39^{\circ}13'22,38''$ Latitud Sur y $70^{\circ} 5'39,83''$ - $70^{\circ} 4'30,14''$ Longitud Oeste) se encuentra 40 km al sur de la localidad de Zapala, Provincia de Neuquén y se puede acceder a la misma por la Ruta Nacional N°40. El área de trabajo propuesta se encuentra en el ámbito de la Dorsal de Huincul (Turner y Baldis, 1978) en el depocentro de Picún Leufú (Ramos et al., 2011). Particularmente, dentro de este depocentro se ubica en la zona conocida como Anticlinal de Picún Leufú, estructura que posee un rumbo este-oeste con una extensión en el rumbo del eje de dicha estructura que alcanza los 19 km.



Referencias

- Área de estudio
- Acceso al área de estudio
- Ruta Nacional N°40

Figura 1.1: Imagen satelital con la ubicación del área de estudio en la región del anticlinal de Picún Leufú (Imagen tomada de Google Earth).



1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es llevar a cabo la caracterización petrológica de los cuerpos ígneos laminares ubicados en el flanco sur del Anticlinal de Picún Leufú y establecer las relaciones que guardan con sus respectivas rocas de caja.

Objetivos específicos:

A partir del conocimiento actual de la geología del lugar se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Cartografiar las formaciones Lajas, Challacó, Lotena, Tordillo, Vaca Muerta y los cuerpos ígneos definiendo sus relaciones estratigráficas.
- Caracterizar la petrografía de los cuerpos ígneos laminares.
- Establecer las relaciones entre los intrusivos y la roca de caja, con énfasis en los posibles efectos que genere en la Fm. Vaca Muerta.
- Realizar columnas estratigráficas para determinar las relaciones entre los intrusivos y sus rocas de caja.

1.3 Metodología de trabajo

El desarrollo del trabajo final incluyó distintas instancias:

1. Tareas de gabinete previas al trabajo de campo:

- A) Compilación de antecedentes bibliográficos y cartográficos publicados e inéditos, imágenes satelitales de la zona de estudio.
- B) Interpretación de imágenes satelitales de las zonas con afloramientos y comparación con la cartografía previa. Preparación de mapas preliminares a escalas adecuadas (aproximadamente 1:15000) a partir de la interpretación de las imágenes satelitales, mapas previos y bibliografía revisada. Para estas tareas se utilizó el *software* QGIS®, un sistema de información geográfica (SIG) de libre acceso.
- C) Definición de sitios y perfiles de mayor interés geológico a relevar en las distintas etapas de los trabajos de campo.

2. Trabajos de campo:

- A) Control y corrección de la interpretación de imágenes satelitales mediante mapeo litológico y estructural detallado de las unidades litológicas aflorantes. Se realizó el relevamiento de datos estructurales. Se puso énfasis en determinar las relaciones estratigráficas entre los cuerpos intrusivos y sus rocas de caja, y los efectos que generan las intrusiones en ellas. Para llevar a cabo dichas tareas se utilizaron Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) para marcar puntos de interés, brújulas geológicas para medir rumbo e inclinación de las distintas estructuras y estratos. Además, se realizaron 3 perfiles para documentar espesores, tipos de roca de caja y características de los contactos.
- B) Se obtuvieron muestras de rocas de un tamaño aproximado de un puño para realizar estudios petrográficos (análisis mineralógico y textural).



3. Trabajo de laboratorio y gabinete posteriores a los trabajos de campo:

- A) Actualización de datos digitales (GIS) del área de trabajo en base a los datos recolectados en la campaña.
- B) Realización de cortes delgados de 30 μ m de espesor para estudios petrográficos con microscopio petrográfico, con el fin de determinar la mineralogía y texturas presentes en las rocas ígneas.
- C) Redacción y elaboración del trabajo final de licenciatura.

CAPÍTULO 2

GEOLOGÍA REGIONAL Y ANTECEDENTES

2.1 Estratigrafía y estructura

El Engolfamiento Neuquino o Cuenca Neuquina fue definida formalmente por Braccacini (1970). Limita al oeste con la Cordillera Principal, al noreste con el Bloque de San Rafael y hacia el sureste con el Macizo Nordpatagónico. Esta provincia geológica morfoestructural abarca gran parte del territorio de la Provincia de Neuquén, incluyendo también el sur de Mendoza, parte del extremo oeste de Río Negro y el sudoeste de La Pampa. Está enmarcada por los paralelos 41°1' y 36°5'S y los meridianos 70°33' y 66°43'O y posee un área de 150.000 km² y espesor máximo de 7.000 m de sedimentitas jurásicas y cretácicas (Arregui et al., 2011).

Tanto en subsuelo como en superficie el Engolfamiento Neuquino está caracterizado por diferentes ciclos marinos de transgresión y regresión durante el Jurásico y el Cretácico, procedentes del Pacífico y se acuñan hacia el sector este de la cuenca (Digregorio y Uliana, 1980). Durante el Cretácico Superior comienza el alzamiento de la Cordillera de los Andes y se produce la desvinculación definitiva de la cuenca con el Océano Pacífico (Arregui et al., 2011).

Desde el punto de vista estructural, existe un rasgo topográfico positivo de primer orden que segmenta la Cuenca Neuquina en dos subcuencas, al norte el depocentro de Añelo y el dorso de Los Chihuidos, y al sur el depocentro Picún Leufú (Ramos et al., 2011). Esta estructura de primer orden es producto de la reactivación de un lineamiento transversal al margen de subducción pacífico que atraviesa el continente de este a oeste y ha sido denominado Dorsal de Huincul (Turner y Baldis, 1978). Silvestro y Zubiri (2008) definen a la Dorsal de Huincul como un lineamiento estructural de escala regional desarrollado a los 39°S, que se extiende por más de 270 km con orientación O-E, marcando el límite natural norte de la Patagonia (Fig. 2.1). En base a la orientación de los lineamientos se puede diferenciar un sector occidental con predominio de estructuras compresivas de orientación NE y vergencia hacia el sureste, un sector oriental con estructuras mayormente transcurrentes de orientación NO, un sector norte correspondiente al engolfamiento en donde se desarrollan casi exclusivamente corredores transcurrentes de bajo relieve estructural y finalmente un sector central de transición en donde las estructuras tienen una orientación E-O y presentan características tanto transcurrentes como compresivas (Silvestro y Zubiri, 2008; Fig. 2.1). Presenta una compleja historia de deformación multiepisódica asociada a líneas de debilidad del basamento (García Morabito, 2010). La configuración estructural compleja de esta faja de deformación polifásica es producto de la interacción de los sistemas extensionales de orientación ONO a NO y los distintos pulsos de deformación compresiva que afectaron a este sistema (García Morabito, 2010). Además, la Dorsal de Huincul ejerció un gran control sobre la distribución de los sistemas depositacionales a ambos lados de la misma (Vergani et al., 1995).

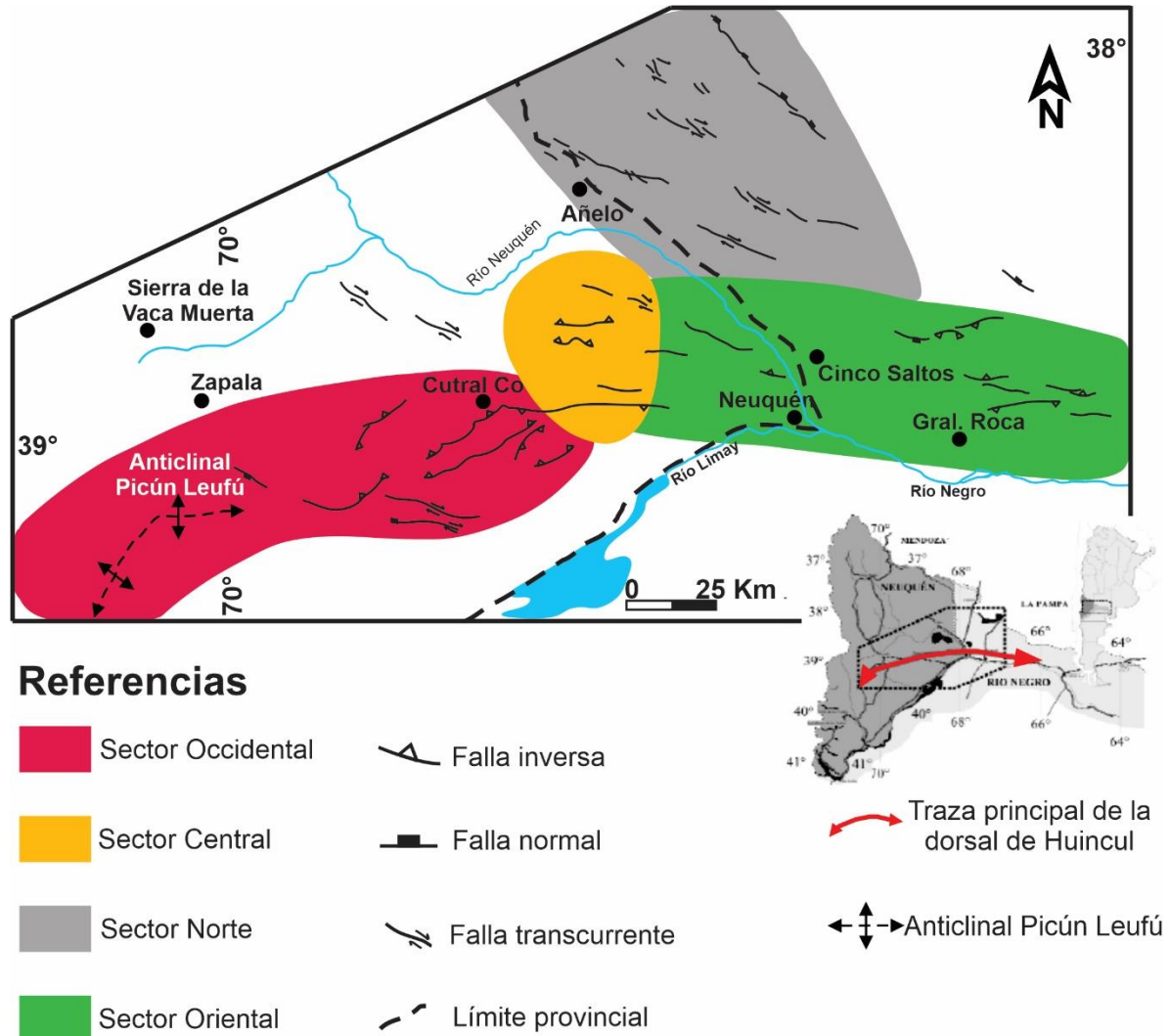


Figura 2.1: Lineamientos estructurales principales de subsuelo relacionados a la dorsal de Huincul (modificado de Silvestro y Zubiri, 2008).

El área de trabajo propuesta se encuentra al sur de la Dorsal de Huincul, en el depocentro de Picún Leufú. Particularmente, dentro de este depocentro se ubica en la zona conocida como Anticlinal Picún Leufú (Fig. 2.1), estructura que posee un rumbo E-O con una extensión en el rumbo del eje de dicha estructura que alcanza los 19 km. Giacosa (2020) propone su continuidad al este con el Anticlinal Lotena – Cerro Granito y su terminación al oeste contra un anticlinal de orientación meridional en la sierra de Chacaico, alcanzando en total una longitud de aproximadamente 90 km.

La estructura denominada Picún Leufú es un anticlinal asimétrico con vergencia sur desarrollado en las sedimentitas de los grupos Cuyo, Lotena y Mendoza (García Morabito, 2010). Su origen está asociado a esfuerzos producidos durante la evolución y formación de la Dorsal de Huincul (Leanza et al., 1997). Esta estructura presenta inversión de relieve ya que su núcleo se encuentra erosionado, ocupando una posición topográfica inferior a la de sus respectivos flancos que inclinan al norte y al sur (Leanza et al., 1997). Las inclinaciones

de los estratos del flanco sur disminuyen a medida que se asciende a lo largo de la estratigrafía marcado por diferentes discordancias que interrumpieron el registro sedimentario en sucesivas etapas de su evolución, mientras que el flanco norte presenta inclinaciones más suaves (Leanza et al., 1997). A su vez y a lo largo de su rumbo, el flanco sur posee distintas inclinaciones separadas por fajas estrechas de deformación que lo dividen en bloques o secciones.

Las unidades litoestratigráficas presentes en el área de trabajo corresponden al ciclo de sedimentación del Jurásico y son las formaciones Challacó (Gr. Cuyo), Lotena (Gr. Lotena), Tordillo y Vaca Muerta (ambas pertenecientes a la sección inferior del Gr. Mendoza).

La secuencia estratigráfica en el área de estudio comienza con la Formación Challacó (de Ferrariis 1947). Esta unidad está conformada por arcilitas rojizas con niveles conglomerádicos y areniscas de grano grueso, que en ocasiones contienen troncos silicificados (Leanza et al., 1997). Esta unidad habría sido depositada en un ambiente continental fluvial con una edad asignable al Calloviano inferior tardío, ya que es interpretada como el estadio de colmatación del Gr. Cuyo (Leanza et al., 2003). Trabajos recientes desarrollados en el sector diferencian 6 secciones dentro de la citada unidad donde alternan ciclos de alta acomodación con lentes arenosos (fluviales sinuosos) rodeados de extensas planicies fangosas de color rojizo y grisáceo (planicies aluviales) y ciclos de baja acomodación con depósitos gruesos multiepisódicos tabulares (fluviales entrelazados) (Amorone, 2019; Gallo 2020).

La Formación Lotena (Weaver 1931) cubre a la Formación Challacó. Esta unidad inicia con niveles conglomerádicos que pasan a facies pelíticas de coloración gris verdosa donde se han encontrado niveles fosilíferos de invertebrados marinos, entre los que se destacan cefalópodos (Garrido y Parent, 2013) y foraminíferos (Dellapé et al., 1978). Esta condición permite inferir un ambiente marino para la sección superior pelítica, mientras que los niveles conglomerádicos corresponderían a un ambiente fluvial (García Morabito, 2010). En base a las relaciones estratigráficas y estudios bioestratigráficos se asigna a esta unidad al Calloviano medio a Oxfordiano inferior (Garrido y Parent, 2013).

Cubriendo a las unidades previas, en discordancia erosiva (Intramálmica) se encuentra la Fm. Tordillo (Groeber 1946). Esta unidad se compone de niveles conglomerádicos medios a finos en la sección basal, continuando con niveles de areniscas medias de coloración amarillenta. Esta secuencia fue interpretada como de ambiente fluvial que pasa transicionalmente a un ambiente eólico (Spalletti et al., 2011). De acuerdo con las relaciones estratigráficas observadas ha sido asignada al Kimmeridgiano (Spalletti et al., 2011).

La Formación Vaca Muerta (Weaver 1931) completa la secuencia de manera concordante sobre la Formación Tordillo. Esta unidad está compuesta por lutitas y areniscas finas con tonalidad en general amarillenta y niveles de calizas blanquecinas, con alto contenido de materia orgánica (COT 3-8%; Uliana et al., 1999) razón por la cual se la ha considerado la roca madre de hidrocarburos más prolífica en el ámbito de la Cuenca Neuquina. En ella se han reconocido importantes faunas de invertebrados (Aguirre Urreta et al., 1999) y vertebrados marinos (Gasparini y Dellapé, 1976; Spalletti et al., 1999), siendo los amonites

los de mayor abundancia y de gran valor bioestratigráfico (Leanza et al., 2011). El ambiente en el cual esta formación se habría depositado corresponde a un ambiente marino de tipo *off shore*, poco profundo y con escasa oxigenación (Leanza et al., 2003). En base al contenido faunístico se la asigna a un intervalo comprendido entre el Tithoniano inferior alto a medio (Leanza et al., 2003). Se han identificado en el sector tres secuencias depositacionales de tercer orden con alternancias de lutitas orgánicas (cortejos transgresivos) y carbonatos y clásticos finos (cortejos de mar alto) (Spalletti et al., 2000).

2.2 Cuerpos ígneos laminares

Intruyendo a las formaciones Vaca Muerta, Tordillo, Challacó y Lotena se presentan los cuerpos intrusivos laminares que son el objeto de estudio propuesto para este trabajo. Estos cuerpos no han sido relevados en detalle hasta el momento, aunque se ha mencionado su existencia en algunos trabajos enfocados a la estratigrafía y paleontología de la Cuenca Neuquina (Herrero Ducloux y Leanza 1943; Parent et al., 2011). Según Parent et al., (2011), los cuerpos intrusivos dispuestos en forma paralela a los planos de estratificación, con una extensión de varios cientos de metros y espesores que no superan los 10 m, asignándolos a la Formación Cerro Horqueta.

En cercanías al área de estudio yacen otros cuerpos ígneos que han sido definidos como la Formación Cerro Horqueta por Leanza et al. (1997). Esta formación agrupa un conjunto de diques y necks de composición basáltica. Litológicamente la unidad está constituida por basaltos olivínicos de color negro, con textura porfírica (Leanza et al., 1997). Estos cuerpos ígneos han sido correlacionados con otros de composición basáltica que se hallan en la región de Los Chihuidos Norte, asignados a la Formación Desfiladero Negro.

La Fm. Desfiladero Negro (Ramos, 1981) se encuentra conformada por un conjunto de diques basálticos que atraviesan gran parte de los sedimentos mesozoicos. El desarrollo de estos cuerpos alcanza decenas de kilómetros de longitud y espesores de hasta 15 m. Litológicamente están compuestos por basaltos y andesitas subordinadas, con textura porfírica en ambos casos. Mineralógicamente las rocas presentan fenocristales de plagioclasa (labradorita), clinopiroxenos y olivino, con apatita como mineral accesorio frecuente (Ramos 1981; Ramos y Barbieri 1988; Garrido et al., 2012). En base a dataciones absolutas K/Ar esta formación es atribuida al Mioceno superior (9 Ma.; Ramos y Barbieri 1988).

Las formaciones Cerro Horqueta y Desfiladero Negro han sido correlacionadas en base a dataciones relativas (Leanza et al., 1997). Sin embargo, es posible que algunos de los cuerpos del área de estudio puedan corresponder a otros episodios eruptivos de distinta edad ya que hasta el momento no se han realizado dataciones radiométricas ni estudios petrográficos de detalle en los mismos (ver Capítulo 4).

2.3 Evolución estructural

El Anticlinal Picún Leufú, en un contexto regional, es una estructura de gran dimensión que tiene asociada un conjunto de varios pliegues de orientación NNE que afloran al este y sur de Loma Atravesada y hacia el oeste de la sierra Chacaico. Los pliegues son en echelon de orientación NNE, escalonados en una zona que presenta orientación O-E. Por la geometría observada, los pliegues están relacionados con estructuras de subsuelo controladas por un régimen de convergencia oblicua dextral (Giacosa, 2020).

A lo largo del Fanerozoico se fueron produciendo una serie de movimientos tectónicos a nivel regional de distintas intensidades y duración, dando como resultado la configuración estructural actual que presentan las unidades. Desde el Paleozoico se registran diversas discordancias que permiten reconocer las sucesivas fases diastróficas (Leanza et al., 1997). Estas numerosas e importantes discordancias produjeron grandes interrupciones del relleno sedimentario durante el Mesozoico, específicamente durante el Jurásico y Cretácico (Leanza, 2009). Durante el Bajociano (Discordancia Intrabajociana) diferentes autores publicaron la existencia de discordancias que permiten inferir la existencia de una etapa de levantamiento generalizado de la Dorsal de Huincul (Zavala, 1993; Vergani, 2005, Leanza, 2009; entre otros). Posteriormente se desarrollaron nuevos episodios tectónicos a nivel regional durante el Calloviano medio (Discordancia Intracalloviana) y en el límite Oxfordiano-Kimmeridgiano (Discordancia Intramálmica), donde esta última, está vinculada con la inversión tectónica más importante de la cuenca, acontecimiento conocido también como emplazamiento de la Dorsal de Huincul (Leanza, 2009). Por último, durante el Cretácico se desarrollan los movimientos Intravalanginianos e Intrasenonianos de diferente intensidad y duración entre sí (Vergani, 2005).

Todos los distintos movimientos que se desarrollaron en la región se presentan como discordancias de distinta magnitud. Estas discordancias pueden ser angulares o simplemente paraconcordancias que reflejan ascenso de cadenas montañosas, intrusiones, efusiones y plegamientos generados como consecuencia del emplazamiento de arcos magmáticos (Leanza et al., 1997). Los principales movimientos tectónicos compresivos-distensivos registrados en el área del anticlinal ocurrieron durante el Jurásico Medio-Tardío. Estos movimientos generaron el levantamiento y erosión de las unidades jurásicas evidenciadas por cambios drásticos en la dirección de paleocorrientes (Zavala et al., 2020).

A comienzos del Paleógeno empezaron a actuar diversos eventos diastróficos conocidos en general como Ándicos, los cuales se encuentran relacionados con la formación de la actual Cordillera de los Andes (Leanza et al., 1997). En el área de estudio, las fases del Ciclo Ándico han tenido una expresión limitada, aunque es posible establecer el siguiente cuadro evolutivo (Tabla 1).

Ciclo Andico	Fases diastróficas	Edades (M.a)
	Diaguítica	4,3
	Quéchuica	15,5
	Pehuénchica	25
	Incaica	36

Tabla 1: Fases del Ciclo Ándico (modificado de Leanza et al., 1997)

Fase Incaica

Esta fase es de tipo compresivo y ocurrió a fines del Eoceno y Principios del Oligoceno. Es la responsable del primer plegamiento y fracturación de los depósitos del Gr. Neuquén. Se estima que esta fase está asociada a la eyección de volcanitas mesosilíceas de la Fm. Auca Pan, que afloran en el sector sur de la Hoja Picún Leufú (Leanza et al., 1997).

Fase Pehuénchica

Esta fase de desarrollo a fines del Oligoceno y fue puramente tensional. Esto originó la eyección de las primeras volcanitas basálticas-olivínicas del Neógeno representadas por el Basalto Lohan Mahuida y facilitó el emplazamiento de numerosos diques, atribuidos a la Fm. Cerro Horqueta. El volcanismo basáltico continuó de forma intermitente durante el Neógeno y hasta la actualidad, como resultado de alivios tensionales producto de los progresivos ascensos de la Cordillera.

Fase Quéchuica

Esta fase ocurrida durante el Mioceno tardío generó el plegamiento del Basalto Lohan Mahuida y produjo a lo largo de todo el cordón andino una configuración muy similar a la presente. La edad de esta fase fue confirmada debido a la ausencia de plegamiento en los Basaltos Zapala y Santo Tomás.

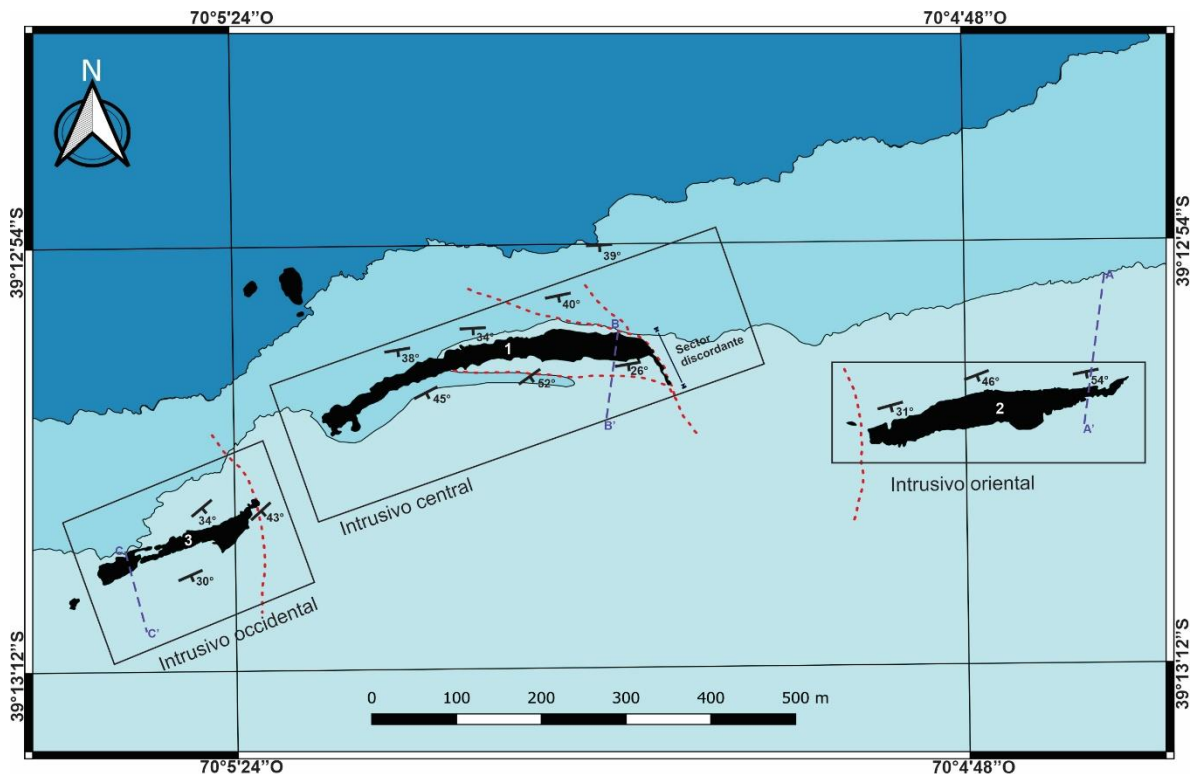
Fase Diaguítica

Esta fase se desarrolló a finales del Plioceno y está vinculada a los grandes derrames de coladas mantiformes de los Basaltos Zapala y Santo Tomás. Lo característico de esta fase es la generación de fracturamiento gravitacional en áreas cordilleranas, y sus fallas interceptan los macizos montañosos generados durante la fase Quéchuica. Este fallamiento en bloques es responsable de la configuración actual de la región.

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA LOCAL

En este capítulo se brindan los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo. Se desarrollará la composición litológica de las distintas unidades presentes en el área de estudio, como también la descripción macroscópica y microscópica de los cuerpos ígneos y sus relaciones con las rocas de caja. Los afloramientos en el área son principalmente sedimentarios, de edad jurásica media a superior que corresponden a las formaciones Challacó, Lotena, Tordillo y Vaca Muerta. Intruyendo a estas unidades sedimentarias se encuentran los afloramientos discontinuos de los cuerpos ígneos. Dentro del área de trabajo se pueden observar tres cuerpos intrusivos principales (Fig. 3.1), aunque se identificaron otros dos menores en cercanías del área que no serán descriptos en el presente trabajo. Estos dos últimos intruyen la sección superior de la Fm. Lajas y la sección basal de la Fm. Challacó (Fig. 3.1). La clasificación y descripción de las rocas ígneas del presente trabajo está basada en las recomendaciones de Le Maitre (2002).



Referencias

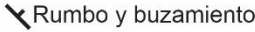


- | | |
|---|--|
| Rocas intrusivas (Cenozoico) |  Rumbo y buzamiento |
| Fm. Vaca Muerta (Jurásico superior) |  Perfiles |
| Fms. Challacó+Lotena+Tordillo (Jurásico medio-superior) | ① Cuerpo ígneo Central |
| Fm. Lajas (Jurásico medio) | ② Cuerpo ígneo Oriental |
|  Fallas inferidas | ③ Cuerpo ígneo Occidental |

Figura 3.1: Mapa geológico local realizado en base a los trabajos de campo y datos tomados de Leanza et al., (1997).

3.1 Estratigrafía

3.1.1. Formación Challacó

La Fm. Challacó está compuesta por niveles pelíticos rojizos con intercalaciones de bancos arenosos de grano medio a grueso y arenas conglomerádicas de tonalidad blanquecina (Fig. 3.2d). Lateralmente, dentro del área de estudio no presenta cambios litológicos, aunque posee grandes variaciones de espesor a lo largo del área. Hacia sectores occidentales (por debajo de la porción central del intrusivo) esta formación presenta un fuerte acuñaamiento, el cual también lo poseen las unidades superiores como la Fm. Lotena y la Fm. Tordillo (Amorone, 2019; Gallo, 2020). Hay abundantes troncos silicificados a lo largo de toda la unidad.

3.1.2. Formación Lotena

La Fm. Lotena está representada por niveles conglomerádicos gruesos de color gris claro en su sección basal y niveles pelíticos verdosos alternando con delgadas calizas y areniscas calcáreas en la sección superior. En el área de estudio esta formación aflora de manera discontinua y con espesores que oscilan entre los 25 y 85 m hasta cero (comunicación verbal Brizuela y Baka, 2020).

Los conglomerados basales (Fig. 3.2a) son de variado espesor y discontinuos, alcanzando potencias de hasta 4 m en el oeste del sector analizado y pocos cm en el extremo este. La sección pelítica posee delgadas capas de calizas en la parte superior, tiene unos 25 m de espesor al este y no está presente en el límite oeste de nuestra zona estudiada marcando variaciones laterales de importante magnitud.

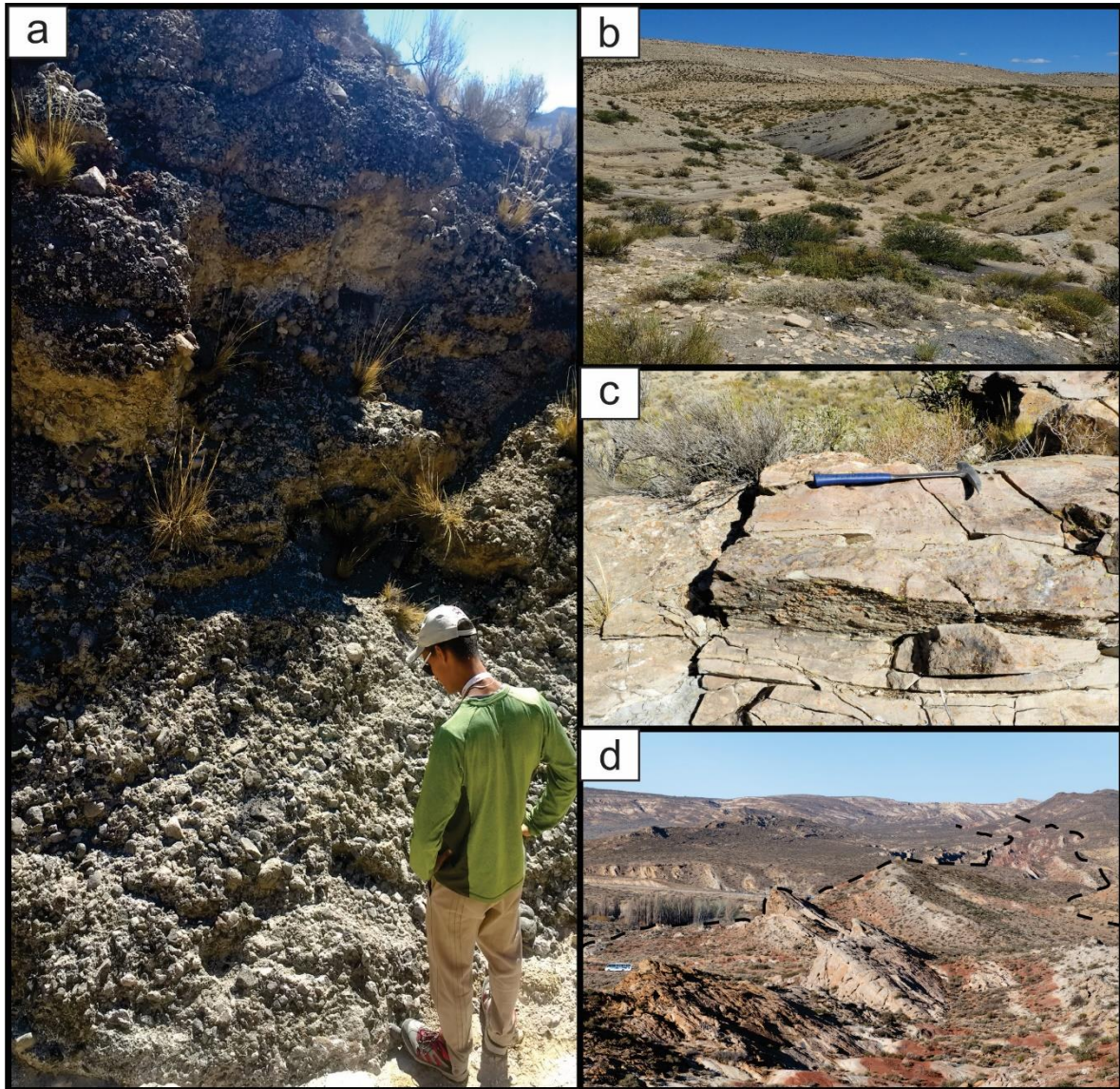


Figura 3.2: (a) Niveles conglomerádicos característicos de la sección basal de la Fm. Lotena en el sector oeste del área de estudio. (b) Lutitas de tonalidades amarillentas, ocre y grisáceas con laminación intercaladas con pequeños niveles carbonáticos y areniscas de la Fm. Vaca Muerta. (c) Conglomerados finos con matriz arenosa de la Fm. Tordillo. (d) Panorámica de la Fm. Challacó (delimitada con línea punteada) con niveles pelíticos rojizos con intercalaciones de bancos arenosos y arenas conglomerádicas de tonalidad blanquecina.

3.1.3. Formación Tordillo

La Fm. Tordillo está representada por niveles conglomerádicos finos a medios con matriz arenosa, característicos de su sección basal, de tonalidades amarillentas a ocre (Fig. 3.2c). Los niveles conglomerádicos más gruesos yacen en la parte inferior y estos van disminuyendo su tamaño hacia los niveles superiores en una clásica organización granodecreciente, donde en algunos casos predominan las arenas de variado tamaño de grano

por sobre los conglomerados. Corona en varios sectores con arenas finas a medias de origen eólico con clásicas estratificaciones cruzadas de gran porte.

Tanto la Fm. Lotena como la Fm. Tordillo presentan grandes cambios de espesor a lo largo del flanco sur del anticlinal e incluso en algunos sectores estas desaparecen por completo. En el sector estudiado varía entre 7 y 20 m aproximadamente.

Se infiere que la actividad tectónica podría ser responsable de estos cambios ya sea debido a truncaciones erosivas o paleorrelieves heredados con rellenos irregulares.

Existen fallas inversas de alto ángulo las cuales son las responsables de generar repeticiones estratigráficas en el sector donde se encuentra el intrusivo (ver apartado 3.2.1).

3.1.4 Formación Vaca Muerta

La Fm. Vaca Muerta en el área de estudio está compuesta predominantemente por lutitas de tonalidades amarillentas, ocre y grisáceas con laminación fina horizontal. Alternando con las lutitas hay pequeños niveles carbonáticos y areniscas finas castañas. A lo largo de toda la sección hay gran cantidad de materia orgánica y restos fósiles de amonites y otros invertebrados.

Existen numerosos trabajos que describen a esta unidad en el anticlinal Picún Leufú entre los cuales se resalta el estudio de Spalletti et al. (2000) donde realiza una interpretación basada en la estratigrafía de secuencias y correlaciona con columnas ubicadas en otras localidades vecinas.

En el presente trabajo se hicieron observaciones de campo que permiten interpretar la ubicación de los cuerpos ígneos en coincidencia con secciones transgresivas de las dos secuencias basales descritas por Spalletti et al. (2000) como lo refleja la Fig. 3.3.

El intrusivo correspondiente al sector este del área estudio yace en la sección superior de esta formación (TST-Ti 2) que corresponde a un segundo intervalo transgresivo del Tithoniano medio (Spalletti et al., 2000).

Los intrusivos del sector central y oeste del área estudio yacen en las secciones basales de la Fm. Vaca Muerta (TST-Ti 1), que corresponden un primer intervalo transgresivo importante del Tithoniano inferior (Spalletti et al., 2000).

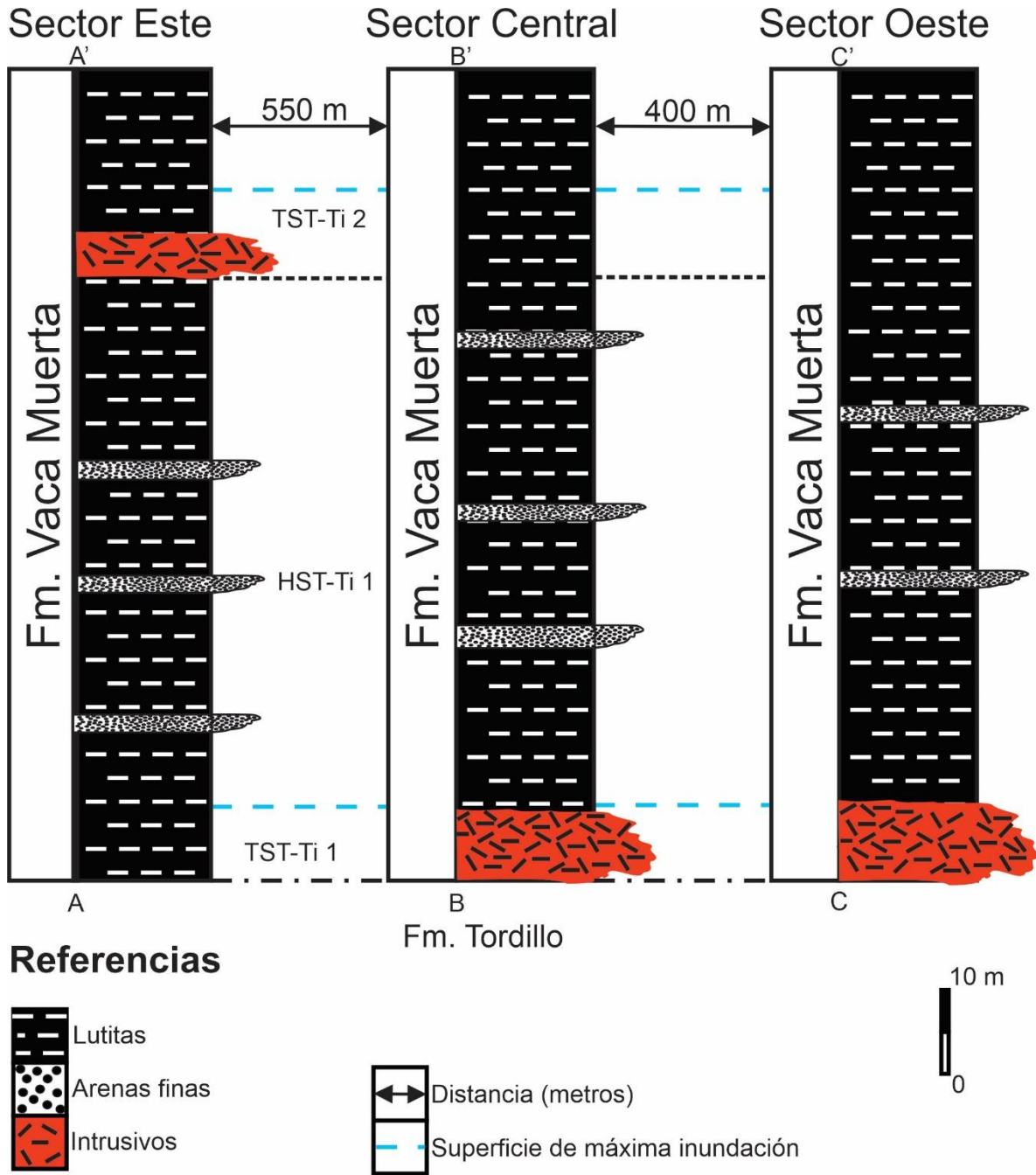


Figura 3.3: Columnas estratigráficas realizadas en base a trabajos de campo y datos tomados de Spalletti et al., (2000). La ubicación de cada perfil se encuentra señalada en la Fig. 3.1.

3.2 Cuerpos intrusivos relevados

3.2.1 Cuerpo Intrusivo Central (1)

Intruyendo a las formaciones Tordillo, Lotena y Vaca Muerta se encuentra el cuerpo intrusivo central (ver fig. 3.1). El espesor máximo del cuerpo es de 8 m y presenta una longitud de 350 m aproximadamente, siendo el más extenso. Posee un rumbo N270° y un buzamiento de 34°SE y es concordante con la estratificación, exceptuando sus extremos Este y Oeste. En el extremo Este, el cuerpo cambia su orientación a sentido N-S siendo discordante con la roca de caja, mientras que en el extremo Oeste posee un contacto prácticamente vertical con la Fm. Tordillo (Fig. 3.4a).

El cuerpo está conformado por rocas masivas, de color gris oscuro y textura lamprofírica, observándose también texturas amigdaloides y vesicular. La textura amigdaloides está conformada por vesículas rellenas por ceolitas de hábito fibroso y color blanco. Los márgenes inferior y superior del cuerpo presentan vesículas de diferente tamaño y forma con sus ejes elongados de orientación SO-NE. La parte inferior del cuerpo posee vesículas alargadas, paralelas a la estratificación y con tamaños que no superan los 5 mm, mientras que en la parte superior adquieren mayor redondez y tamaño, alcanzando 1,5 cm de diámetro.

Mineralógicamente y a nivel macroscópico las rocas presentan fenocristales de olivino verdosos subhedrales a anhedrales, los cuales carecen de orientación preferencial y alcanzan tamaños de hasta 2 mm. Los fenocristales están compuestos por olivinos y piroxenos, los últimos en baja proporción. Los mismos están rodeados por una pasta afanítica, conformando así la textura lamprofírica mencionada anteriormente. Por último, en el sector oeste del cuerpo hay rocas que presentan venillas hidrotermales rellenas con carbonatos (Fig. 3.4b)

Al microscopio, los cristales de olivino son de diferentes tamaños y presentan fracturas rellenas y bordes rodeados de iddingsita de color marrón la cual es producto de la alteración del olivino (Fig. 3.4c); en algunos cristales la alteración a iddingsita es completa. La pasta afanítica está compuesta por tablillas de plagioclasa subhedrales, donde los huecos entre las tablillas están ocupados por cristales de olivino, clinopiroxeno y minerales opacos conformando así la textura intergranular (Fig. 3.4c). La textura glomeroporfírica es bastante frecuente, está conformada por cristales de olivino los cuales se encuentran agrupados formando glomérulos (Fig. 3.4d). También fueron observados cristales de clorita verdosos que son producto de alteración del olivino y que suelen estar rodeados por iddingsita. Se observaron escasos cristales anhedrales de cuarzo.

Según las características descritas anteriormente las rocas pueden clasificarse como basaltos.

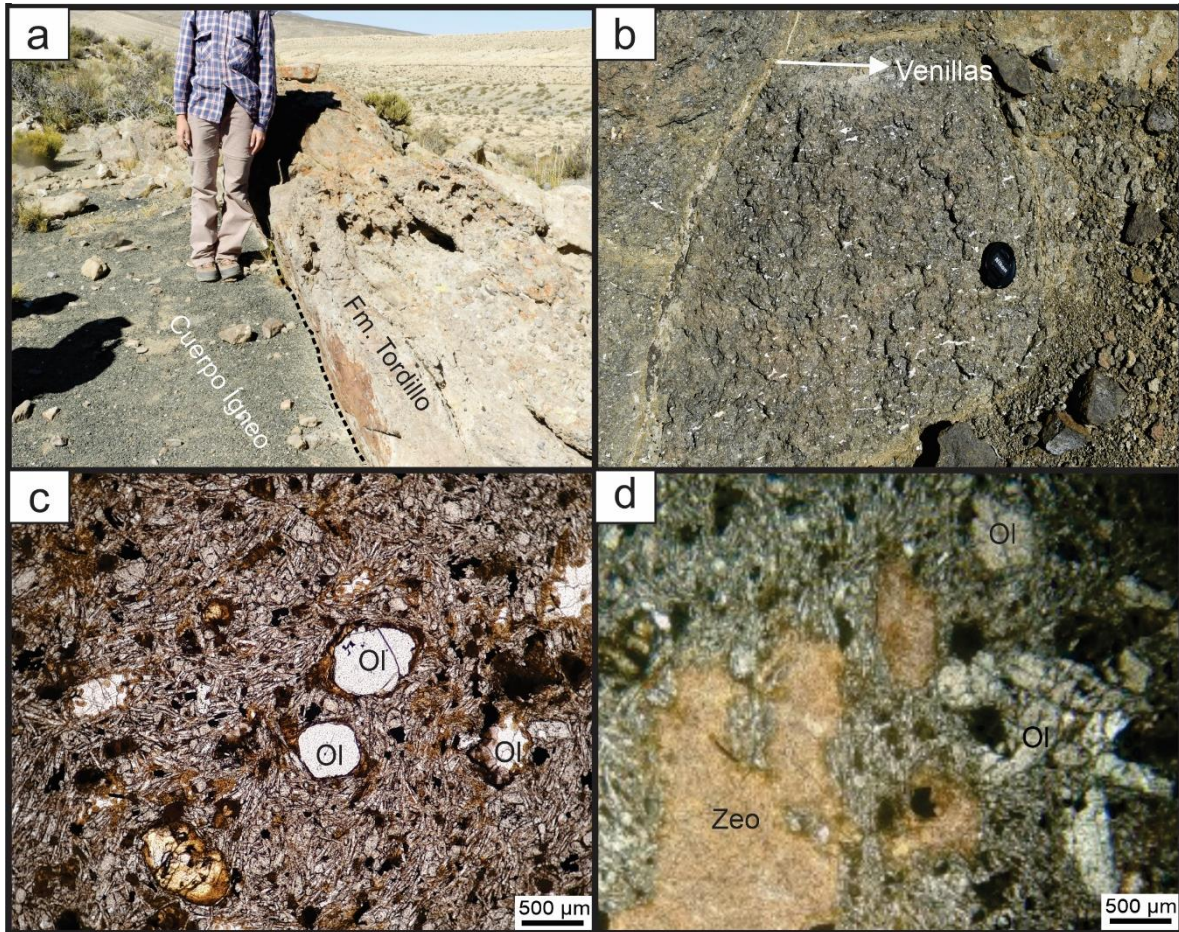


Figura 3.4: Fotografías de campo y fotomicrografías de los cuerpos intrusivos en las Fm. Challacó, Lotena y Tordillo. (a) Contacto prácticamente vertical entre el cuerpo ígneo y la Fm. Tordillo. (b) Venillas rellenas de carbonatos en el sector oeste del cuerpo. (c) Fenocristales de olivino rodeados por iddingsita de color marrón inmersos en una pasta con textura pilotáxica. (d) Textura glomeroporfírica formada por glomérulos de cristales de olivino (Ol) y ceolitas rellenas amígdalas (Zeo).

3.2.2 Cuerpo Intrusivo Oriental (2)

Intruyendo a la Fm. Vaca Muerta se encuentran aflorando dos cuerpos ígneos. El primer cuerpo intrusivo (fig. 3.5a y b) yace en el sector este del área estudiada (ver fig. 3.1). Presenta color grisáceo a negro, un espesor máximo de 3,50 metros y una longitud de 250 metros, con rumbo 260°N y buzamiento 54°SE . A lo largo de su longitud el cuerpo muestra ser concordante con la estratificación.

El cuerpo está formado por rocas masivas, de colores grisáceo a negro y textura lamprofírica predominante, observándose también a lo largo de los afloramientos texturas vesicular y amigdaloides, la cual está conformada por vesículas rellenas por ceolitas blancas (Fig. 3.5c y e) de hábito fibroso que alcanzan tamaños de hasta 6 mm. Las vesículas alcanzan tamaños de hasta 3 cm y poseen orientación SO-NE, en los bordes son alargadas y paralelas a la estratificación, aunque en determinados sectores presentan curvamiento, cambiando la

dirección de las mismas. En la parte superior de los cuerpos predomina la textura amigdaloides por sobre la vesicular.

Las rocas presentan fenocristales de olivino verdosos subhedrales a anhedrales, y alcanzan tamaños de hasta 1 mm. Los mismos se encuentran rodeados por una pasta afanítica.

Al microscopio, los cristales de olivino son de diferentes tamaños y poseen fracturas rellenas con iddingsita que también reemplaza los bordes cristalinos; en algunos cristales este reemplazo es completo (Fig. 3.5d y e). La pasta afanítica está compuesta por tablillas de plagioclasa subhedrales que carecen de orientación y entre ellas hay cristales de olivino, clinopiroxeno y minerales opacos que en conjunto conforman la textura pilotáctica. En algunos casos hay escaso vidrio volcánico entre las tablillas de plagioclasa conformando la textura intersertal.

Según las características descriptas anteriormente las rocas se clasifican como basaltos

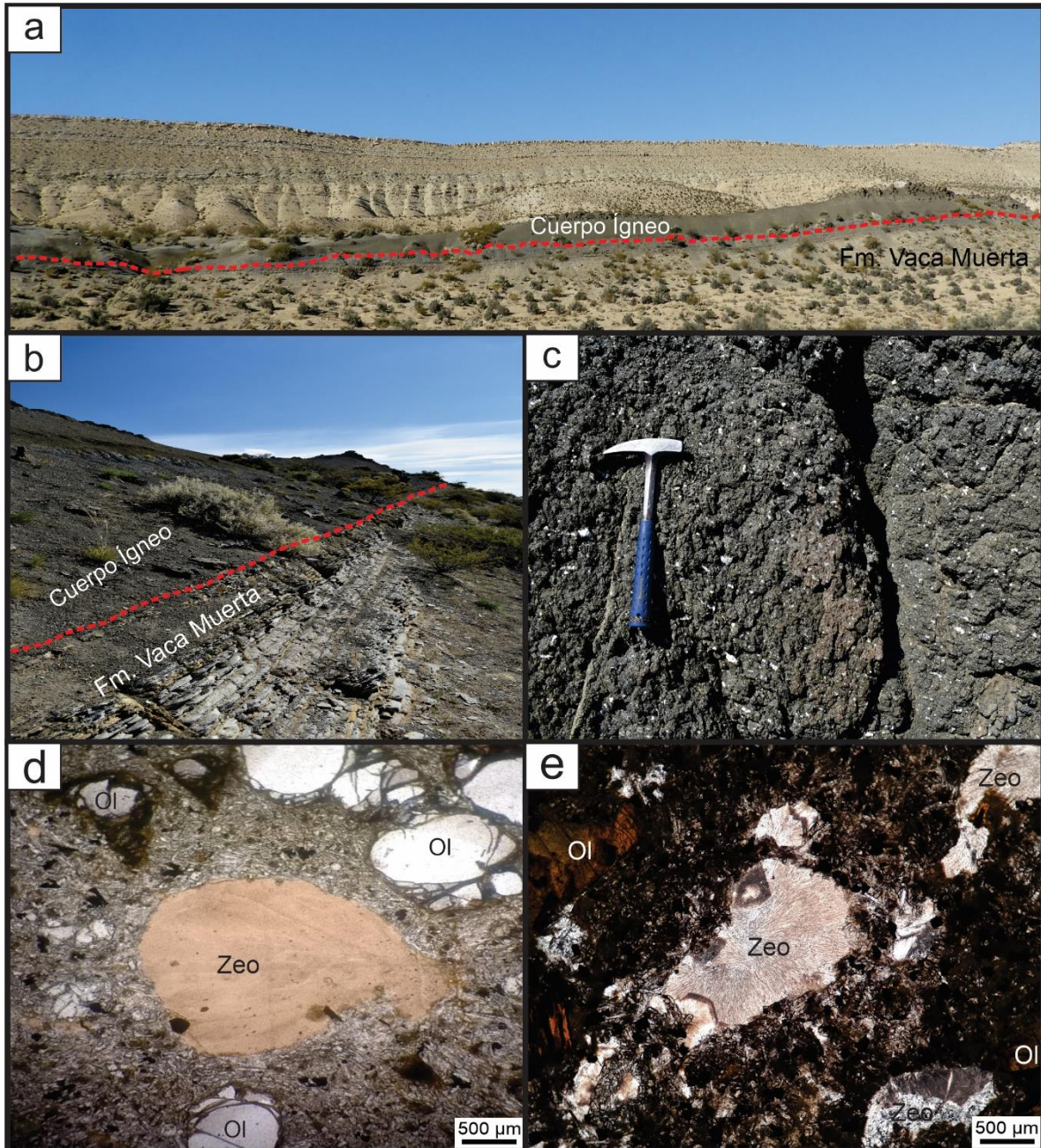


Figura 3.5: Fotografías de campo y fotomicrografías de los cuerpos intrusivos en la Fm. Vaca Muerta (a) Cuerpo ígneo intruyendo a la Fm. Vaca Muerta en el sector este del área de estudio. (b) Vista cercana del contacto entre el intrusivo y la Fm. Vaca Muerta. (c) Vesículas de distintos tamaños y grados de redondez rellenas por ceolitas (Zeo) blancas conformando la textura amigdalóide. (d) Fenocristales de olivino (Ol) fracturados y cristales de ceolita rodeados por una pasta de textura pilotáxica compuesta por plagioclasas, olivino, clinopiroxeno y minerales opacos. (e) Fenocristales de olivino alterados totalmente a iddingsita y cristales de ceolitas de hábito fibroso.

3.2.3 Cuerpo Intrusivo Occidental (3)

Hacia el oeste del intrusivo del sector oriental, a 700 m aproximadamente, se encuentra el afloramiento del cuerpo intrusivo perteneciente al sector oeste del área (ver fig. 3.1), el cual intruye a la Fm. Vaca Muerta y a la Fm. Tordillo (Fig. 3.6a). Este cuerpo es el de mayor espesor alcanzando 9,5 metros, con rumbo 230°N y buzamiento 30°SE , siendo concordante con la estratificación. Presenta una longitud de 200 metros aflorando de manera discontinua. En la sección superior del cuerpo presenta un pequeño nivel que no supera los 15 cm de espesor conformado por roca de caja que el intrusivo pudiera haber asimilado durante su emplazamiento (Fig. 3.6b y c).

Este afloramiento está compuesto por una roca masiva, de color grisáceo a negro y textura lamprofírica, observándose a lo largo de su extensión gran cantidad de vesículas, las cuales en la mayoría de los casos no están rellenas, dando lugar a las texturas vesicular y amigdaloides subordinada. Las vesículas alcanzan 1 cm de diámetro y presentan un mayor grado de redondez.

Mineralógicamente las rocas poseen fenocristales de olivino verdosos subhedrales a euhedrales, y alcanzan tamaños de hasta 3 mm, siendo este cuerpo el que presenta el mayor tamaño de este mineral. Los fenocristales están rodeados por una pasta afanítica. Ceolitas de hábito fibroso y color blanco rellenan las vesículas observadas. Según las características descriptas anteriormente las rocas pueden clasificarse como basaltos.

Dentro de la zona aledaña al cuerpo intrusivo occidental ($39^{\circ}13'04''\text{S}-70^{\circ}05'24''\text{O}$) e intruyendo a la Fm. Challacó y a la Fm. Tordillo de manera perpendicular a la estratificación, se encuentra otro afloramiento de un cuerpo ígneo intrusivo. Presenta un espesor de 50 cm y una longitud de 5 m aproximadamente. Posee un rumbo de $\text{N}200^{\circ}$ y un buzamiento de 33°NO . Debido a la escala utilizada en el mapa y el tamaño de este cuerpo, no fue posible ubicarlo en la Fig. 3.1.

La roca que compone este cuerpo ígneo es de coloración gris oscura y presenta una textura porfírica con fenocristales de plagioclasa subhedrales cuyos tamaños alcanzan los 2 mm, los cuales carecen de orientación preferencial y están rodeados por una pasta afanítica. También presenta textura amigdaloides donde las vesículas que tienen un diámetro máximo de 5 mm, están rellenas por ceolitas de hábito fibroso.

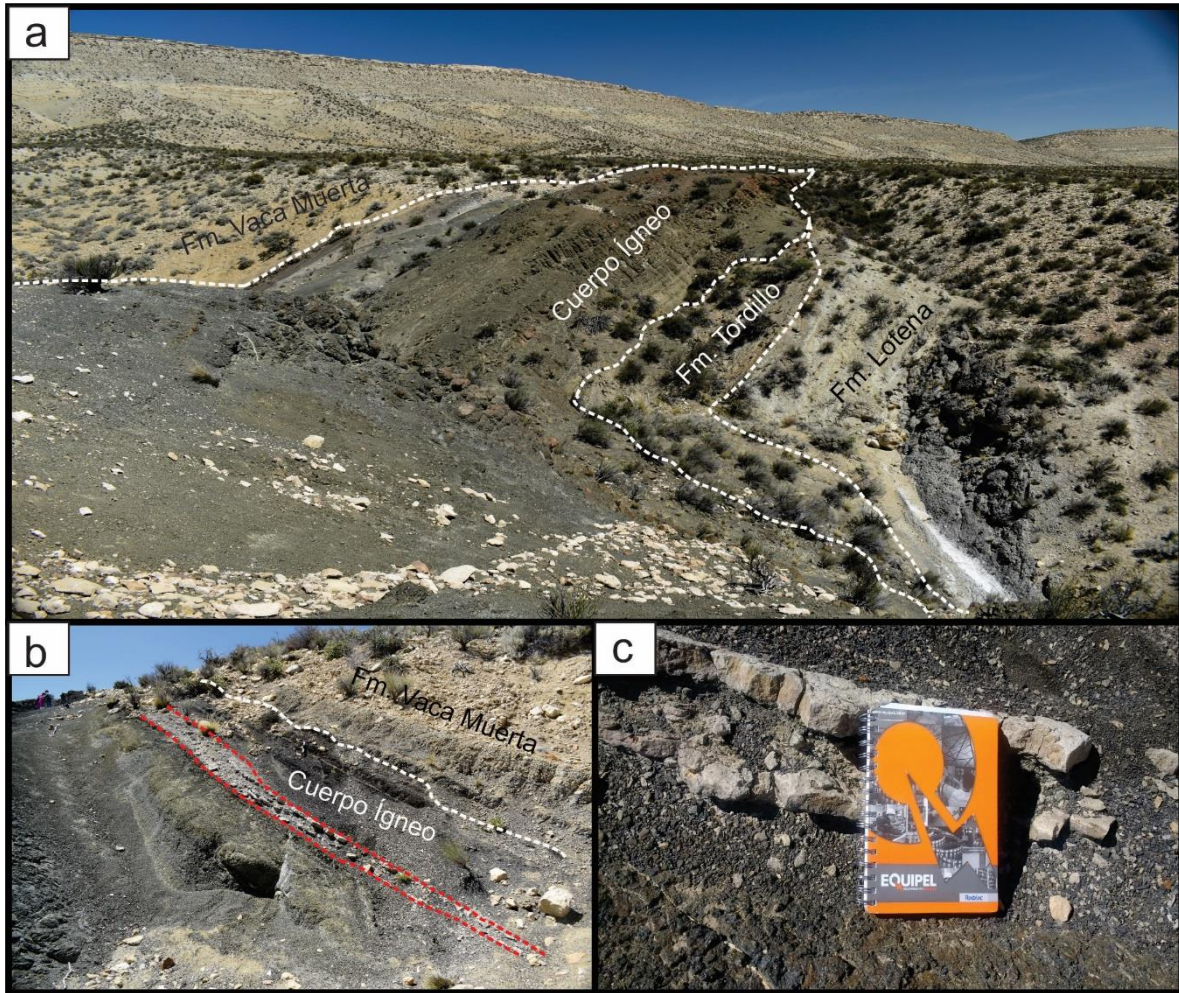


Figura 3.6: (a) Cuerpo ígneo intruyendo a las Fms. Vaca Muerta (techo) y Tordillo (base), se puede visualizar como la Fm. Tordillo pierde su espesor hasta desaparecer, dejando en contacto a la Fm. Lotena con la Fm. Vaca Muerta. (b) Sección superior del cuerpo en contacto con la Fm. Vaca Muerta y marcado con rojo el pequeño nivel con restos de roca de caja. (c) Vista cercana al nivel conformado por xenolito aflorando en el intrusivo.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN

En los capítulos anteriores se expusieron los antecedentes de la zona de estudio y los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo sobre la cartografía y petrografía de las rocas intrusivas del flanco sur del Anticlinal Picún Leufú aquí descriptas. En el presente capítulo, esta información se evalúa de forma integral con el fin de proponer un modelo sobre dichos intrusivos. Se analizan la geometría de los cuerpos ígneos, sus composiciones mineralógicas, texturas y se desarrolla una posible hipótesis sobre el emplazamiento de los mismas. Por último, se evalúa la influencia de los intrusivos en la Fm. Vaca Muerta desde el punto de vista petrolero.

4.1 Geometría y tipos de cuerpos ígneos

Los cuerpos ígneos son magmas que se desplazaron a través de los distintos niveles de la corteza y que, en algún momento, quedaron atrapados dentro de ésta al enfriarse y cristalizar. El magma puede llegar hasta la superficie construyendo edificios volcánicos de distinto tamaño y geometría, en caso de que los magmas posean mayor fluidez, pueden formar en superficie extensos mantos lávicos. En base a la morfología y volumen que puedan adquirir los cuerpos intrusivos se clasifican en dos grupos principales: laminares y globosos. Entre estos dos tipos se encuentran los lacolitos, lopolitos y facolitos, los cuales poseen características transicionales y dependiendo de su volumen participan en alguna de las dos clasificaciones principales (Llambías, 2015).

Los de carácter laminar se caracterizan por su elevada relación longitud/espesor $\gg 1$ y por tener lados paralelos entre sí. Presentan máxima relación superficie/volumen, aunque su principal característica es la poca capacidad de conservar el calor, razón por la cual su ascenso y desplazamiento a lo largo de la corteza debe ser rápido. Dentro de los cuerpos laminares se encuentran los diques y los filones capa o *sills*. Estos se diferencian entre sí ya que los diques son discordantes y se suelen encontrar rellenando fracturas, mientras que los *sills* son predominantemente concordantes y se asocian a planos de estratificación (Llambías, 2015).

Los cuerpos ígneos intrusivos de la zona de estudio se caracterizan por tener una gran relación longitud/espesor, el techo y base de los cuerpos son planos y paralelos entre sí, conformando una morfología aproximadamente tabular y hacia los extremos éstos se adelgazan hasta desaparecer. Respecto a las relaciones con sus rocas de caja, los intrusivos oriental y occidental (ver figura 3.1) son concordantes con la estratificación, mientras que el intrusivo central, si bien es predominantemente concordante con la estratificación, presenta una sección discordante en su extremo este (ver fig. 3.1). Por último, el pequeño cuerpo que se encuentra en las cercanías del intrusivo occidental (ver Sección 3.2.3) intruye a las fms. Challacó y Tordillo de manera discordante a los planos de estratificación. Los espesores pueden variar desde unas decenas de centímetros hasta alcanzar el espesor máximo observado de 9,5 metros; lateralmente alcanzan hasta los 350 metros aproximadamente.

En base a la morfología observada y a las relaciones con sus respectivas rocas de caja los cuerpos intrusivos son de tipo laminar. Según los contactos con las rocas de caja los tres

cuerpos intrusivos principales se clasifican como filones capa o *sills*, mientras que el cuerpo intrusivo de las fms. Challacó y Tordillo se clasifica como un dique, al igual que la porción del extremo este perteneciente al intrusivo central. Estos diques podrían representar los conductos que alimentaron a los filones capa de sus respectivos sectores.

La variación de espesores dentro del mismo cuerpo observada en los tres intrusivos principales podría deberse a estructuras o discontinuidades propias de la roca de caja previas al emplazamiento de los filones capa.

4.2 Petrografía de los cuerpos ígneos

De acuerdo con el análisis petrográfico realizado, las rocas intrusivas que componen los cuerpos pueden clasificarse como basaltos.

En las muestras analizadas es muy frecuente que los olivinos estén alterados, transformándose en iddingsita. Las ceolitas se observan en todas las muestras y rellenan las vesículas. Tanto la biotita, como el cuarzo son minerales accesorios muy escasos en todas las muestras observadas, algo que ocurre también con el vidrio volcánico.

En todas las muestras analizadas, el olivino (en mayor proporción) y el piroxeno, en bajas proporciones, son los minerales que se encuentra como fenocristales, conformando así la textura lamprofírica. Además, estos minerales en ocasiones se encuentran como grupos de cristales que constituyen una textura glomeroporfírica. Conformando la textura intergranular observada en la pasta de las rocas, se encuentran olivino junto con clinopiroxeno y plagioclasa, esta última restringida únicamente a la pasta de las rocas. En una única muestra se identificó escaso vidrio volcánico, que junto con la plagioclasa conforman la textura intersertal. La iddingsita se observa como reemplazo total o parcialmente del olivino en todas las muestras analizadas.

Las texturas son similares en las muestras, a excepción de la textura intersertal que se visualizó en una sola muestra. Todos los cuerpos analizados y sus respectivas muestras presentan las texturas lamprofíricas, vesicular y amigdaloides, donde en esta última las ceolitas rellenan las vesículas. Posiblemente este mineral sea producto de alteraciones hidrotermales posteriores al emplazamiento de los cuerpos intrusivos.

Todas las texturas observadas dan información importante sobre la evolución térmica de los cuerpos ígneos, presencia de fluidos, desgasificación y desplazamiento del magma. Estos cuerpos tuvieron un alto contraste térmico y dos etapas de enfriamiento, algo que se refleja en la textura lamprofírica. La primera etapa de cristalización comienza en el reservorio magmático donde la baja tasa de enfriamiento generó condiciones idóneas para la formación de los primeros fenocristales de olivino y donde la temperatura del fluido magmático debió alcanzar por lo menos los 1200-1400°C (Llambías, 2015). La segunda etapa ocurre cuando comienza la migración del magma a través de los distintos conductos hasta su emplazamiento en niveles más superficiales. Esta etapa corresponde a la formación de la pasta mineral ya que en estos niveles el contraste térmico y la tasa de enfriamiento son bastante altas debido

al contacto con las rocas de caja y estar más cerca de la superficie. Estas condiciones fueron propicias para que se formen en gran cantidad y de manera rápida los núcleos minerales o pequeños cristales que conforman la pasta de las rocas (Llambías, 2015). La presencia de vidrio en una de las indica que el enfriamiento del magma haya sido en un lapso de tiempo muy corto.

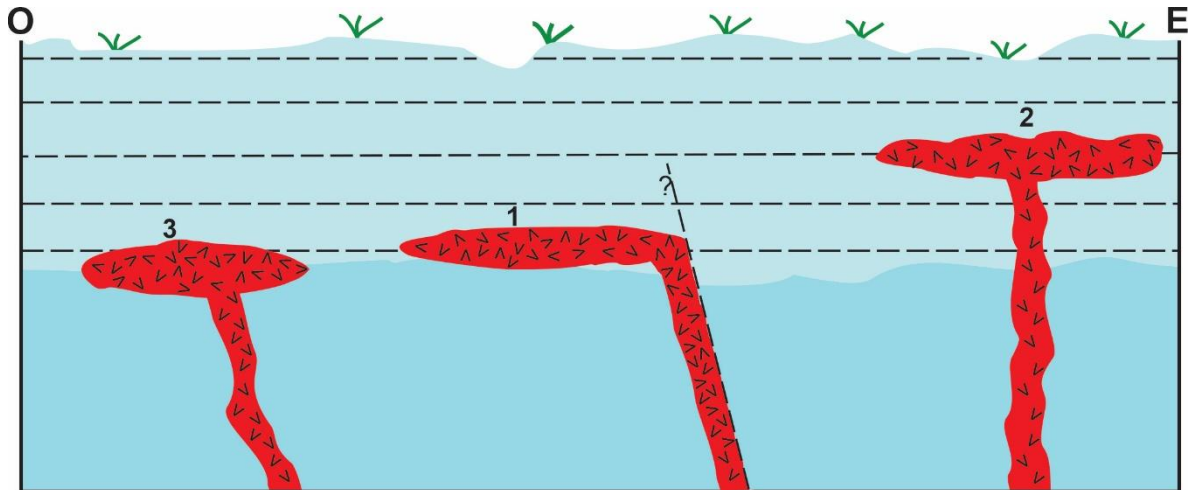
Sincrónico con el enfriamiento ocurre el desplazamiento y el proceso de cavitación del magma que da origen al desarrollo de vesículas que en general, se desarrollan en magmas básicos que provienen de reservorios profundos y retienen sus volátiles hasta el momento del emplazamiento. En el proceso de cavitación es donde se produce la formación de burbujas de gas en el magma debido a la variación de presión que experimenta desde que comienza su ascenso hasta llegar al nivel en el cual se emplaza (Llambías, 2015). Al explotar estas burbujas, además de liberar gases, dejan cavidades (vesículas) las cuales son abundantes en los tres cuerpos principales. Estas cavidades en los tres cuerpos, además de observarse regularmente, están elongadas en una misma dirección. Dicha vesiculación puede representar líneas de flujo en dirección predominantemente SO-NE que corresponde también a la dirección de máxima elongación.

Con los minerales observados y las diferentes texturas que estos constituyen se puede decir que las rocas que conforman los cuerpos ígneos del presente trabajo son intrusivas y de composición básica denominadas basaltos.

4.3 Emplazamiento de los cuerpos ígneos

Los filones capa son cuerpos ígneos emplazados en rocas estratificadas cuyas relaciones de contacto con la caja son concordantes. El emplazamiento de estos intrusivos podría haber sucedido durante un único evento magmático ya que los cuerpos se encuentran compuestos únicamente por rocas de iguales características, tanto texturales como composicionales. Estos intrusivos fueron alimentados por conductos o canales alimentadores por los que el magma ascendió hasta llegar a un cierto nivel de la corteza donde su ascenso se interrumpió y comenzó a escurrirse lateralmente (Kerr y Pollard, 1998). Otros autores consideran que los canales alimentadores también pueden encontrarse en los extremos de los intrusivos, pudiendo tener disposición inclinada (Magee et al., 2012). En el caso de los intrusivos del sector central y occidental se observaron diques que representan canales alimentadores en el extremo este de cada uno de ellos. En el intrusivo del sector oriental no fue posible visualizar alguna evidencia de un posible conducto de alimentación.

Los intrusivos relevados se encuentran emplazados en el contacto entre dos formaciones sedimentarias diferentes y en planos de debilidad de una misma formación (Fig. 4.1). Esto por lo general es muy común ya que son rocas que son suficientemente frágiles para fracturarse frente a algún esfuerzo (Llambias, 2015).



Referencias



- | | | | |
|---|-------------------------------|---|----------------------|
|  | Cuerpos intrusivos | ① | Cuerpo ígneo central |
|  | Fm. Vaca Muerta | ② | Cuerpo ígneo este |
|  | Fms. Tordillo+Lotena+Challacó | ③ | Cuerpo ígneo oeste |
| —?— | Falla inferida | | |

Figura 4.1: Modelo esquemático del emplazamiento y localización en las unidades sedimentarias de los intrusivos relevados.

El intrusivo (1) se encuentra emplazado entre las formaciones Lotena, Tordillo y Vaca Muerta. El mismo presenta en su extremo Este un cambio de orientación con un sentido N-S siendo discordante con la Fm. Vaca Muerta. Esto sucede debido a la presencia de una falla que se encuentra en el extremo este del cuerpo la cual podría haber actuado como conducto alimentador de este cuerpo. La discordancia que posee el intrusivo (1) con la Fm. Tordillo en un sector (Fig. 3.4a) podría ser consecuencia de esfuerzos producidos durante el emplazamiento de este cuerpo. El intrusivo (3) está emplazado entre las fms. Tordillo y Vaca Muerta (Fig. 4.2), donde además hacia el este del intrusivo se encuentra un dique que intruye de manera perpendicular a las fms. Challacó y Tordillo que podría representar uno de los canales alimentadores. Por último, el cuerpo intrusivo (2) se encuentra emplazado aprovechando los planos de laminación característicos que presentan las lutitas orgánicas de la Fm. Vaca Muerta. En este cuerpo no ha sido posible visualizar diques o indicios de conductos alimentadores y su finalización hacia el oeste se produce en un cañadón que muestra pliegues de arrastre dentro de Vaca Muerta productos de una probable falla (fig 3.1). El emplazamiento de estos intrusivos no produjo esfuerzos magmáticos significativos como para generar deformaciones en las rocas de caja.

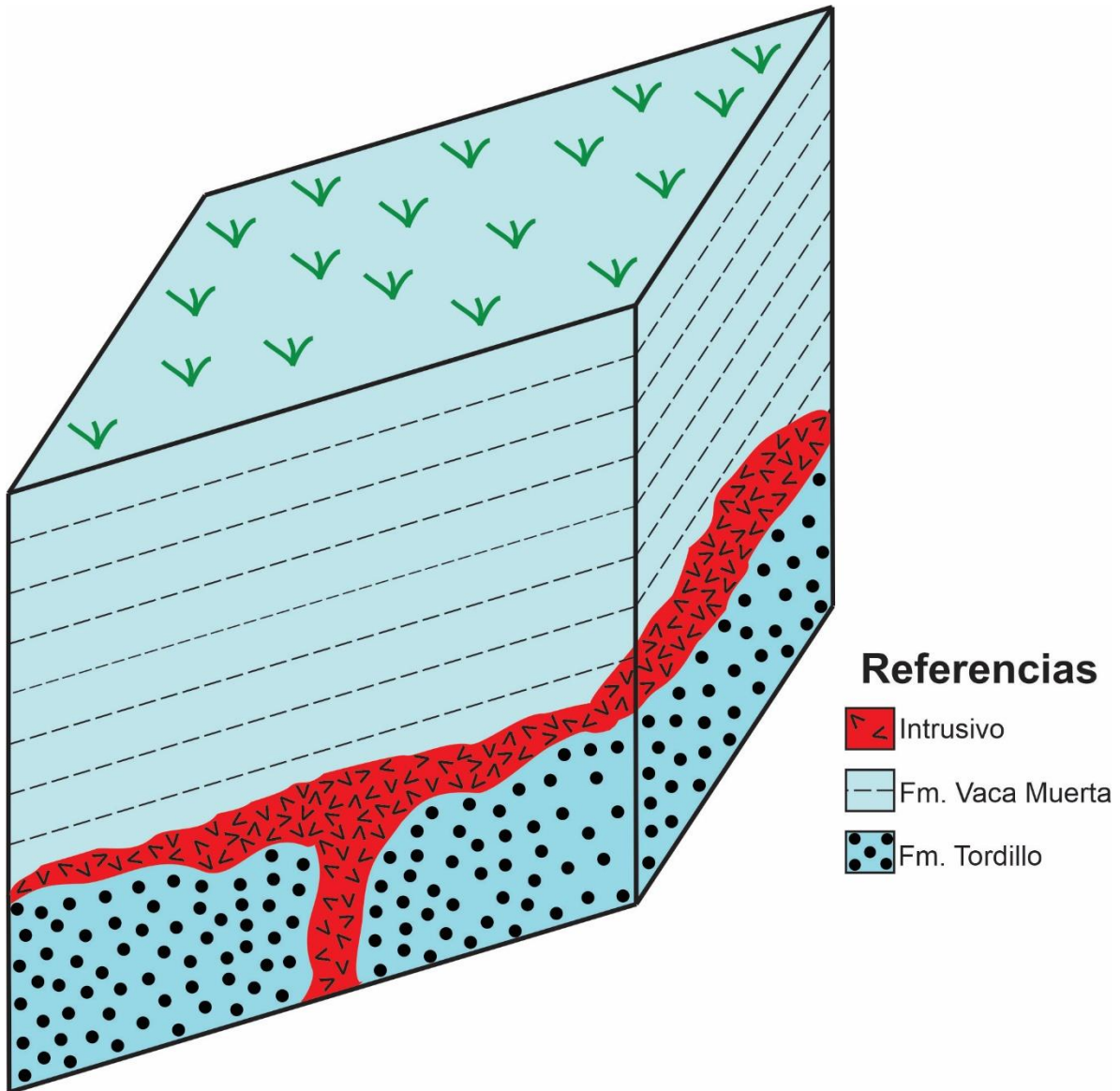


Figura 4.2: Esquema del intrusivo emplazado entre las formaciones Tordillo y Vaca Muerta correspondiente al sector oeste.

Una de las propiedades más importante que favoreció la formación de los filones capa es la baja viscosidad del magma. Esta propiedad es característica de los magmas básicos y les permite escurrirse fácilmente a través de los planos de estratificación, hecho por el cual los filones capa de composición básica son más abundantes (Llambías, 2015). Gracias al mayor grado de fluidez estos magmas pueden ascender a velocidades muy altas hacia los niveles superiores de la corteza, recorriendo grandes distancias en poco tiempo. Este ascenso debe estar acompañado por gradientes de presión y vías de ascenso para que el magma pueda llegar hasta estos niveles. Las fracturas constituyen los conductos ideales por los cuales el magma puede penetrar fácilmente. Otro factor importante a considerar para que ocurra el emplazamiento de estos intrusivos es la disponibilidad de planos de debilidad, ya sean planos de estratificación entre formaciones, planos de debilidad en una misma formación (contrastes

mecánicos), fallas que el magma pueda rellenar o una combinación de las anteriores (Dimieri, 1992; Llambías, 2015).

Junto con todos los factores mencionados anteriormente, la densidad es otra de las propiedades a considerar, ya que los cuerpos se forman también cuando las densidades entre la roca de caja y el magma son equiparables, razón por la cual el magma fluye lateralmente (Llambías, 2015). Este factor como único mecanismo para los cuerpos estudiados es difícil de aceptar ya que los filones estarían generados desde una misma fuente magmática y podrían haber sido emplazados en un mismo pulso magmático, en distintos niveles estratigráficos. En estos niveles, las rocas de caja poseen propiedades físicas diferentes entre sí. Por este motivo, se considera que el emplazamiento de los cuerpos de la zona se da por la combinación de factores y propiedades físicas del magma y, del medio por el cual éste asciende y se emplaza (Menand, 2011).

En la actualidad existe un gran número de intrusivos estudiados que ocurren en márgenes convergentes y que, de alguna manera, existen mecanismos que actúan permitiendo al magma sobreponerse a la contracción de la corteza para recorrer el camino desde su origen hasta el lugar donde finalmente se emplaza (Hutton, 1997). Un campo de esfuerzos regional con esfuerzos principales máximos horizontales favorecería el flujo a través de fracturas de bajo ángulo de buzamiento ya que el magma ejercería presiones normales en la superficie de las fracturas (Araujo et al., 2013). Este concepto, donde el magma utiliza las fallas como canales alimentadores si las mismas están orientadas favorablemente fue planteado por Dimieri (1992).

El emplazamiento de cuerpos ígneos someros ubicados en la Cuenca Neuquina pudo haber estado relacionado y condicionado por el campo de esfuerzos compresivos que afectó a los Andes durante el Cenozoico. La gran mayoría de intrusiones a nivel mundial están directamente relacionadas con los orógenos convergentes, lo cual permite reforzar esta hipótesis (Hutton, 1997). La Cordillera de los Andes se caracteriza por haber sido construida a partir de sistemas de corrimientos que se propagan hacia el antepaís lo que da lugar a que se genere una red de fracturas interconectadas por encima de los despegues principales ubicados en el borde oriental del orógeno andino (Turienzo et al., 2010; 2012 y referencias allí citadas). Ese conjunto de fallas es probable que se conecte con zonas internas del orógeno y por ende las mismas funcionen como vías de ascenso para el emplazamiento de la mayoría de los cuerpos intrusivos laminares Andinos (Menand, 2011).

La asociación de estos cuerpos laminares con probables fallas y variaciones en la inclinación de los estratos sedimentarios sumado a la variación de los espesores y cambios de facies desarrollados en las formaciones Tordillo, Lotena y Challacó (ya mencionados) hacen pensar en líneas de debilidad preexistentes oblicuas a la dirección de deformación principal del anticlinal (este-oeste) que estuvieron activas en etapas pretéritas y que pudieron ser reactivadas para favorecer el ascenso de magmas.

4.4 Edad

Durante el Cenozoico tuvieron lugar grandes episodios eruptivos vinculados con la formación de la Cordillera de los Andes a lo largo de América del Sur. Precisamente, en cercanías al área de estudio, durante el Mioceno superior-Plioceno se desarrollaron grandes eventos volcánicos, mayormente basálticos, que dieron origen a la formación de diversas coladas lávicas de gran distribución areal y al emplazamiento de distintos cuerpos ígneos, como filones capa y diques (Leanza et al., 1997). Este volcanismo basáltico también es mencionado por Stern (2004), quien divide la Cordillera de los Andes en distintas zonas volcánicas basándose en las distintas configuraciones tectónicas y geológicas. Una de estas zonas recibe el nombre de Zona Volcánica Sur (33° - 46° S), zona en la cual se encuentra el área de estudio y donde además también menciona el desarrollo de grandes eventos, predominantemente basálticos, ocurridos durante el Mioceno superior y Plioceno.

En la zona, estos eventos comienzan con el Basalto Lohan Mahuida compuesto por basaltos olivínicos. Estas coladas afloran de manera dispersa al noroeste y al sur del área de estudio, donde en algunos sectores están por encima de las formaciones Lajas y Vaca Muerta, respectivamente. El Basalto Lohan Mahuida es asignado al Mioceno superior de forma relativa por relaciones estratigráficas y carencia de dataciones radiométricas (Leanza et al., 1997). Una edad equiparable presenta la Fm. Cerro Horqueta (descrita en el apartado 2.2) cuyos afloramientos se encuentran hacia el sur y sureste del área de trabajo distribuidos de forma dispersa. La unidad más joven que intruye la Fm. Cerro Horqueta pertenece a la Fm. Bajo de la Carpa del Cretácico superior. Por último, en el Mioceno superior tardío a Plioceno se encuentran las coladas basálticas que conforman los basaltos olivínicos pertenecientes al Basalto Zapala. Estas coladas conforman extensas mesetas basálticas al oeste, norte y este del área de trabajo alcanzando alturas de hasta 1250 m aproximadamente (Leanza et al., 1997). Entre las mesetas que forman estos basaltos, se encuentra la Meseta Barda Negra ubicada al este del área de estudio.

Debido a las relaciones observadas en el campo se puede determinar una edad relativa de la actividad magmática que dio origen al emplazamiento de los cuerpos intrusivos. Los mismos se encuentran intruyendo unidades sedimentarias del Jurásico medio a superior. La unidad más joven que afectan es la Fm. Vaca Muerta, más precisamente la sección superior (ver apartado 3.1.4) que corresponde a un segundo intervalo transgresivo del Tithoniano medio (Spalletti et al., 2000). Esto último permite inferir que el emplazamiento de los intrusivos es posterior al Tithoniano medio, dejando un amplio rango temporal y dando lugar al desarrollo de las hipótesis en las cuales se pueda asignar una edad relativa para el emplazamiento de estos cuerpos.

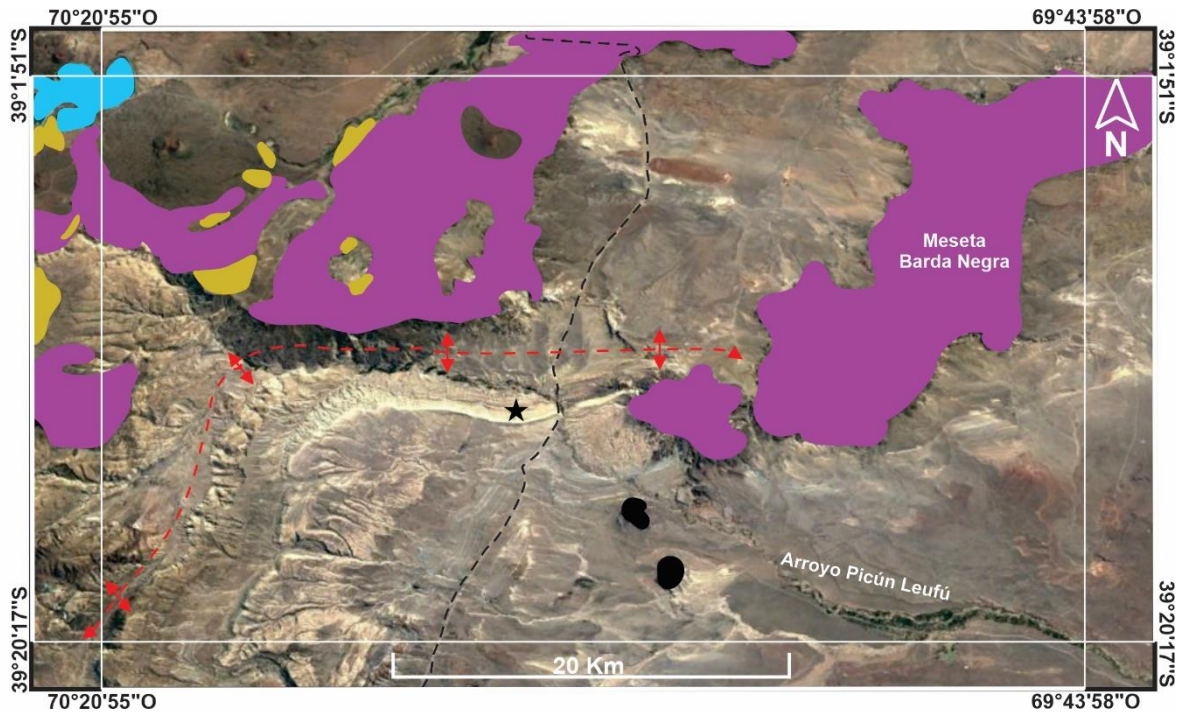
Una de las posibles hipótesis es que los intrusivos correspondan a los grandes episodios magmáticos correspondientes al Ciclo Ándico que se desarrollaron en la Cuenca Neuquina durante el Cenozoico, más precisamente durante el Neógeno. Durante este período y bajo esfuerzos compresivos se originaron en la región eyecciones de vulcanitas basálticas olivínicas representadas por la Fm. Cerro Horqueta y por el Basalto Lohan Mahuida (Leanza et al., 1997). Este volcanismo continuó durante el Neógeno y hasta la actualidad (Leanza,

1997). Durante el Mioceno medio a superior se desarrolló una etapa predominantemente compresiva en la región en la cual se pudieron haber desarrollado fracturas de bajo ángulo y zonas de debilidad. Esto es un hecho que favorecería el emplazamiento de intrusiones magmáticas en ambientes contraccionales, ya que dichas fallas pueden funcionar como conductos magmáticos alimentadores (Araujo et al., 2013; Magee et al., 2012). Además, los intrusivos no presentan rasgos que indiquen deformación al igual que los mantos lávicos básicos correspondientes al Basalto Zapala (Leanza, 1997). Debido a la falta de rasgos deformacionales, Leanza (1997) asigna a estos mantos lávicos una edad pre-pliocena lo cual es avalado por dataciones radiométricas realizadas por Linares y Gonzales (1990) que arrojaron edades correspondientes al Mioceno superior tardío-Plioceno (8.6-2.3 Ma).

Otra hipótesis posible es que los intrusivos podrían estar asociados a los eventos magmáticos que también dieron origen a los basaltos olivínicos correspondientes a la Fm. Cerro Horqueta. Estos, a su vez se podrían correlacionarse también con los eventos magmáticos en la región de Los Chihuidos Norte que dieron origen a la Fm. Desfiladero Negro. Es decir que en la región (Fig. 4.3) durante el Mioceno superior se pudo haber desarrollado un evento magmático compuesto de distintos pulsos de composición predominantemente básica y en una escala temporalmente acotada desde el punto de vista geológico. Dicho evento probablemente originó las coladas basálticas-olivínicas que componen a los basaltos Lohan Mahuida y Zapala, incluyendo también a los basaltos olivínicos de la Fm. Cerro Horqueta.

Un elemento que deberá tenerse en cuenta con respecto a la edad de estas rocas y su relación con la evolución estructural del anticlinal Picún Leufú es que el emplazamiento se produjo cuando aún las unidades involucradas Fms. Vaca Muerta, Tordillo, Lotena y Challacó se encontraban en el subsuelo y, por lo tanto, el alzamiento y exposición de las mismas es posterior.

Los cuerpos ígneos estudiados en el presente trabajo podrían representar las fases intrusivas del volcanismo basáltico que dio origen a alguna de las coladas mencionadas anteriormente. Sin embargo, para afirmar alguna de las hipótesis propuestas se deberían realizar dataciones radiométricas y análisis geoquímicos a las rocas analizadas para poder asignarlas al evento magmático correspondiente.



Referencias

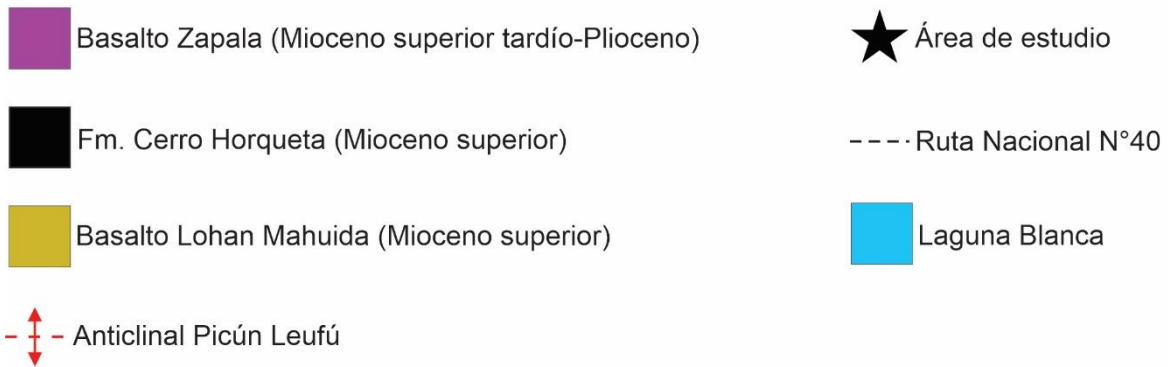


Figura 4.3: Distribución de las rocas basálticas asociados al volcanismo desarrollado en el área durante el Mioceno superior a Plioceno inferior basado en Leanza et al. (1997) y Giacosa (2020).

4.5 Influencia de los intrusivos en sistemas petroleros

El rol que pueden ocupar los intrusivos dentro de los elementos que componen los sistemas petroleros son varios y existen ejemplos en la cuenca Neuquina en los cuales actúan como rocas reservorio, como contribuyentes locales a la evolución de una roca generadora y también como sellos locales.

La existencia de cuerpos intrusivos emplazados en rocas generadoras de hidrocarburos y su relación con la maduración de la materia orgánica ha sido documentado además en varias cuencas sedimentarias del mundo (Magee et al., 2016 y referencias allí citadas). Desde el trabajo pionero de Groeber (1929) en las primeras décadas del siglo pasado, se han realizado

numerosos trabajos sobre la relación entre cuerpos ígneos y la generación de hidrocarburos. Los intrusivos pueden generar efectos de maduración térmica de la materia orgánica que contienen las rocas generadoras en las cuales se emplazan. Dicho efecto de madurez puede alcanzar distintos rangos, el cual puede ir variando dependiendo de las extensiones y espesores de los intrusivos (Uliana y Legarreta 1993; Legarreta et al., 2004; Rodríguez Monreal et al., 2009; Delpino et al., 2014; entre otros). Además, el emplazamiento de estos cuerpos podría generar vías de migración de distintos fluidos, estructuras que conformen trampas de hidrocarburos e incluso podrían ser reservorios fracturados (Spacapan et al., 2018)

Considerando la definición de sistema petrolero de Magoon y Dow (1994), este comprende una serie de elementos y procesos geológicos que son de esencial importancia para que exista una acumulación de hidrocarburos. Un sistema petrolero posee:

1. Una roca madre, la cual posee la materia orgánica. Esta debería ser soterrada y mantenerse a profundidad durante un período suficiente. Además, debe ser acompañada por condiciones (la más importante es la temperatura) que favorezcan la madurez térmica de la materia orgánica y la generación de hidrocarburos.
2. Vías para que los hidrocarburos generados sean expulsados de la roca madre y poder moverse hacia otra roca que los almacene (migración primaria y secundaria respectivamente).
3. Roca porosa y permeable que sirva como lugar de almacenamiento de los hidrocarburos (reservorio).
4. Una estructura o trampa que no permita la movilidad de los hidrocarburos.
5. Un sello (lateral y superior) de baja permeabilidad que no permitan que los hidrocarburos puedan escaparse del lugar de almacenamiento.

Las intrusiones ígneas pueden afectar a cualquiera de estos cinco elementos principales de un sistema petrolero de manera positiva o negativa (Senger et al., 2017).

En el área de estudio, los cuerpos intrusivos principales del presente trabajo se encuentran emplazados en la Fm. Vaca Muerta, precisamente en las secciones basales y superior (ver apartado 3.1.4). Esta formación es considerada la principal roca generadora de hidrocarburos en la cuenca, la cual maduró durante el Cretácico superior y a lo largo del Mioceno (Rodríguez Monreal et al., 2009). Hasta el momento no se han realizado publicaciones que brinden información sobre la madurez de la Fm. Vaca Muerta en el área de estudio. Solo está comprobada la presencia de manaderos superficiales en el vecino anticlinal del Cerro Lotena y fuerte olor a hidrocarburos en las lutitas negras orgánicas de las secciones transgresivas en el anticlinal Picún Leufú (comunicación verbal Arregui, 2020).

Por ende, en este apartado se hará énfasis en la existencia o no de un posible impacto térmico consecuente en la generación de hidrocarburos producida por el emplazamiento de los cuerpos intrusivos en base a las observaciones realizadas en campo.

Como ya se mencionó en apartados anteriores, los cuerpos ígneos estudiados son filones capa. Debido a su forma laminar estos cuerpos se enfrían con rapidez, además su masa calórica y la eficacia de transmisión de calor por conductividad son pequeñas (Lambías,

2015). Por esto las perturbaciones térmicas en las rocas de caja son escasas lo que indica que los intrusivos no fueron capaces de generar aureolas térmicas que pudieran haber producido madurez térmica local de la materia orgánica y la posterior generación de hidrocarburos. Cabe aclarar que en algunos sectores en contacto inmediato con los intrusivos se observaron cambios de coloración que podrían estar indicando procesos como oxidación del hierro, eliminación de agua poral, entre otros. Otros factores que se deberían tener en cuenta es la profundidad de soterramiento, el gradiente geotérmico local al cual la Fm. Vaca Muerta se encontraba en el momento de la intrusión como también la distribución areal y el espaciamiento entre los intrusivos. Tanto la profundidad como el gradiente geotérmico tampoco habrían sido suficientes como para generar efectos de madurez de la materia orgánica previos al emplazamiento de los cuerpos. Sumado a esto, estos tipos de cuerpos generan perturbaciones térmicas efectivas y considerables si se produce una clusterización de los mismos, algo que ha sido demostrado mediante modelados térmicos por distintos autores (Spacapan et al., 2018). Este efecto es fuertemente regulado por la temperatura de la roca de caja al momento de la intrusión, el solapamiento de las intrusiones y la edad de emplazamiento de los cuerpos ígneos (Spacapan et al., 2018; Delpino y Bermudez, 2020). No existen datos acerca del grado de madurez previa de la Fm. Vaca Muerta (más allá de las observaciones mencionadas) como para certificar o siquiera proponer que la intrusión de los cuerpos y su temperatura pudieron aportar lo necesario como para llegar a una posible ventana de generación de hidrocarburos.

Otro aspecto a tener en cuenta es que de acuerdo a las descripciones presentadas en este trabajo las rocas no poseen una red poral secundaria sea por alteración o por fracturamiento que permita inferir que podrían constituir reservorios de hidrocarburos en caso de encontrarse en el subsuelo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Del análisis de los antecedentes de la zona, los relevamientos de campo y el análisis mineralógico y textural de las rocas ígneas de la zona del flanco sur del Anticlinal de Picún Leufú se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1) En base a las características morfológicas y las relaciones con las rocas de caja, los cuerpos intrusivos del área de estudio pueden ser clasificados como laminares, más precisamente como filones capa y diques.
- 2) Las rocas que componen los intrusivos pueden ser clasificadas como basaltos. Son rocas de composición básica, melanocráticas con textura lamprofírica. La textura lamprofírica indica que las rocas tuvieron alto contraste térmico y dos etapas de enfriamiento, además de procesos de cavitación que dieron origen a la textura vesicular y amigdaloides observadas frecuentemente en las muestras.
- 3) El emplazamiento de los cuerpos intrusivos fue favorecido por un conjunto de factores críticos, entre los cuales se encuentran las propiedades físicas del magma (composición, reología y densidad), fragilidad de las formaciones sedimentarias, disponibilidad de fracturas previas, y la orientación e inclinación que estas presentan. El emplazamiento posiblemente estuvo relacionado y condicionado por el campo de esfuerzos compresivos que afectó a la Cordillera de los Andes durante el Cenozoico.
- 4) Es posible afirmar, en base a las relaciones estratigráficas, que el emplazamiento de los cuerpos ígneos es posterior a la depositación de la Fm. Vaca Muerta, es decir que son posteriores al Tithoniano medio. Si bien no se cuenta con dataciones radiométricas, el emplazamiento de los intrusivos podría estar relacionado con el volcanismo basáltico ocurrido entre el Mioceno superior y el Pleistoceno.
- 5) Dado el carácter intrusivo de las rocas descriptas, cualquiera sea su asignación dentro del Cenozoico, la intrusión se produjo mientras las unidades mesozoicas aún se encontraban en subsuelo.
- 6) Las posibles fallas descriptas que contribuyeron al emplazamiento coinciden en su posición con cambios en espesores y en características estratigráficas de unidades mesozoicas (Challacó, Lotena, Tordillo) por lo que podrían reflejar la existencia de deformaciones estructurales pretéritas.
- 7) Podría considerarse que no se dieron las condiciones idóneas para que el emplazamiento de los intrusivos produzca efectos de madurez térmica de la materia orgánica en la Fm. Vaca Muerta con la posterior generación y expulsión de hidrocarburos.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se sugiere continuar con las siguientes líneas de estudio en el área:

- 1) Se sugiere realizar dataciones radiométricas de los cuerpos intrusivos para saber su la edad de emplazamiento y bajo que contexto regional ocurrió el mismo.
- 2) Se sugiere realizar estudios geoquímicos a las rocas estudiadas en este trabajo para realizar posibles correlaciones con unidades que se formaron y emplazaron durante los grandes eventos magmáticos que ocurrieron en la Cuenca Neuquina a lo largo del Cenozoico.
- 3) Se sugiere realizar estudios estructurales de detalle para completar y entender la evolución estructural del flanco sur del Anticlinal Picún Leufú.
- 4) Se sugiere realizar estudios de madurez térmica para verificar la veracidad de que la Fm. Vaca Muerta no habría alcanzado las condiciones para la generación de hidrocarburos en el área.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Urreta, M.B. y Rawson, P.F., 1999. Stratigraphic position of and in the Lower *Valanginites*, *Lissonia* and *Acantholissonia* Valanginian (Lower Cretaceous) sequence of the Neuquén Basin, Argentina. En: Olóriz, F. & Rodríguez-Tovar, F.J. (eds): *Advancing research on living and fossil cephalopods*, Plenum Press: 521–529. New York.
- Araujo, V.S., Dimieri, L.V., Frisicale, M. C., Turienzo, M. M. y Sánchez, N. P., 2013. Emplazamiento del cuerpo subvolcánico Laguna Amarga y su relación con las estructuras tectónicas andinas, sur de la Provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70 (1): 40-52.
- Arregui, C., Carbone, O. y Leanza H.A., 2011. Contexto Tectosedimentario. En C. Arregui, O. Carbone, J.C Danieli, H.A Leanza, J.M Valles (eds), *Geología y Recursos naturales de la Provincia del Neuquén*. 18° Congreso Geológico Argentino Relatorio: 29-37. Neuquén.
- Amorone, C.E., 2019. Análisis estratigráfico y paleo ambiental de la Formación Challacó (Jurásico medio), en el flanco sur del Anticlinal de Picún Leufú al este de la Ruta Nacional 40. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Comahue, 90 p, Neuquén.
- Bracaccini, I. O., 1970. Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25(2): 275-282.
- de Ferrariis, C., 1947. Edad del arco o Dorsal antigua del Neuquén oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2(3): 256-283.
- Dellapé D.A., Pando G.A., Uliana M.A y Musacchio E.A., 1978. Foraminíferos y ostrácodos del Jurásico en las inmediaciones del arroyo Picún Leufú y la Ruta 40 (Provincia del Neuquén, Argentina), con algunas consideraciones sobre la estratigrafía de la Formación Lotena. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 489-507. Neuquén.
- Delpino, D.H., Bermúdez, A.M., 2020. Sistemas de Petróleo Atípicos: Reservorios no convencionales en Filones capa y Lacolitos. Ciclo de Charlas. Magmatismo y Sistemas Petroleros. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas.
- Delpino, D.H., Bermúdez, A.M., Vitulli, N. y Loscerbo, C., 2014. Sistema de petróleo no convencional relacionado con lacolitos eocenos de intraplaca. Área Altiplanicie del Payún, Cuenca Neuquina. 9° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajo Técnicos, Actas 1: 223-242, Mendoza
- Digregorio, J.H. y Uliana, M.A., 1980. Cuenca Neuquina. En: Turner, J.C.M. (ed.): *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, vol. 2: 985-1032. Córdoba.
- Dimieri, L., 1992. Emplazamiento lacolítico a través de retrocorrimientos, cerro Palao Mahuida, Bardas Blancas, Mendoza. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Monografías* 8: 163-166.

- Gallo, A.L., 2020. Estudio estratigráfico y paleoambiental de detalle de la Fm. Challacó (Jurásico Medio) en el Anticlinal de Picún Leufú, Cuenca Neuquina, al Oeste de la Ruta Nacional N°40. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Comahue, 100 p, Neuquén.
- García Morabito, E., 2010. Tectónica y estructura del retroarco andino entre los 38°15' y los 40° S. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, 119 p, Buenos Aires.
- Garrido A.C. y Parent H., 2013. Estratigrafía y fauna de amonites de los depósitos “Lotenianos” (Caloviano Medio-Oxfordiano Inferior?) del anticlinal de Picún Leufú, Cuenca Neuquina, Subcuenca Picún Leufú, Argentina. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 83: 35-68.
- Garrido, A., Kramarz, A., Forasiepi, A., y Bond, M., 2012. Estratigrafía, mamíferos fósiles y edad de las secuencias volcanosedimentarias eoceno-miocenas de la sierra de Huantraico-sierra Negra y cerro Villegas (provincia del Neuquén, Argentina). *Andean geology*, 39 (3): 482-510.
- Gasparini, Z. y Dellapé, D., 1976. Un nuevo cocodrilo marino (Thalattosuchia, Metriorhynchidae) de la Formación Vaca Muerta (Jurásico Superior, Tithoniano) de la Provincia de Neuquén (República Argentina). 1° Congreso Geológico Chileno, Actas, Vol. 1 p. C1-C21. Santiago.
- Giacosa, R. E., 2020. Discontinuidades Estructurales en las Sedimentitas de la Cuenca Neuquina. Fracturas, venas, vetas y bancas de deformación en la faja plegada del Agrio, dorsal de Huincul y dorso de Los Chihuidos, Provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Argentino. Serie Contribuciones Técnicas Geología N°7, 64pp. Buenos Aires.
- Groeber, P., 1929. Líneas fundamentales de la geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección Nacional de Geología y Minera, Publicación 58, 1-110.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1. Hoja Chos Malal. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 1(3): 177-208. Buenos Aires.
- Herrero Ducloux, A. y Leanza, A. F., 1943. Sobre los amonites de la “Lotena Formation” y su significación geológica. Notas Museo de La Plata, 8 (54): 281-304. La Plata.
- Hutton, D., 1997. Syntectonic granites and the principle of effective stress: a general solution to the space problem?. En Bouchez, J., Hutton, D. y Stephens, W. (eds.), Granite: From segregation to melt to emplacement fabrics, 189-197. Kluwer Academic Publishers.
- Kerr, A. y Pollard, D., 1998. Toward more realistic formulation for the analysis of laccoliths. *Journal of Structural Geology* 20: 1783-1793.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sørensen, H. y Woolley, A.R., 2002. Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological

- Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, 2nd Edition. Cambridge University Press, 236 p., Cambridge.
- Leanza, H.A. y Hugo, C.A., 1997. Hoja geológica 3969-III Picun Leufú, Provincia de Neuquén, Argentina. Escala 1:250000. Servicio Geológico Minero (SEGEMAR). Boletín 218: 135 pp. Buenos Aires.
 - Leanza, H. A., Repol, D., Escosteguy, L. D. y Salvarredy Aranguren, M., 2003. Estratigrafía del Mesozoico en la comarca de Fortín 1° de Mayo, cuenca Neuquina sudoccidental, Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas - Geología 1: 1-21. Buenos Aires.
 - Leanza, H., 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie, 11 (2): 145-184.
 - Leanza, H. A., Sattler, F.; Martínez, R. S. y Carbone, O., 2011. La Formación Vaca Muerta y equivalentes (Jurásico tardío-Cretácico temprano) en la Cuenca Neuquina. En C. Arregui, O. Carbone, J.C Danieli, H.A Leanza, J.M Valles (eds), Geología y Recursos naturales de la Provincia del Neuquén. 18° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 113-129.
 - Legarreta, L., Cruz C., Vergani G., Laffitte G.A. y Villar H.J., 2004. Petroleum Mass-Balance of the Neuquén Basin, Argentina: A Comparative Assessment of the Productive Districts and Non-Productive Trends. International Congress and Exhibition of the American Association of Petroleum Geologists. Expanded Abstract, AAPG Bulletin 88, 6p. AAPG International Conference and Exhibition, Cancún, México.
 - Linares, E. y González R.R., 1990. Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina. Asociación Geológica Argentina, Publicación especial N°19: 1-628. Buenos Aires.
 - Llambías, E. J., 2015. Geología de los cuerpos ígneos. Asociación Geológica. Buenos Aires.
 - Magee, C., Stevenson C. T. E., O'Driscoll B. y Petronis M.S., 2012. Local and regional controls on the lateral emplacement of the Ben Hiant Dolerite intrusion, Ardnamurchan (NW Scotland). Journal of Structural Geology 39: 66-82.
 - Magee, C., Muirhead, J.D., Karvelas, A., Holford, S. P., Jackson, C. A., Bastow, I. D., Schofield, N., Stevenson, C.T., McLean, C. y McCarthy, W., 2016. Lateral magma flow in mafic sill complexes. Geosphere 12: 809-841.
 - Menand T., 2011. Physical controls and depth of emplacement of igneous bodies: A review. Tectonophysics 500: 11-19.
 - Magoon, L.B. y Dow, W.G., 1994. The petroleum system. En: Magoon, L.B. y Dow, W.G. (eds.) The Petroleum System from Source to Trap. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60: 3-24.
 - Parent, H., Garrido, A. C., Schweigert, G. y Scherzinger, A., 2011. The Tithonian ammonite fauna and stratigraphy of Picún Leufú, southern Neuquén Basin, Argentina. Revue de Paléobiologie, 30 (1): 45-104.

- Ramos, V. A., 1981. Descripción geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional, Boletín 182: 103 pp. Buenos Aires.
- Ramos, V. y Barbieri, M., 1988. El vulcanismo de Huantraico: Edad y relaciones isotópicas iniciales, Provincia del Neuquén. Revista de la Sociedad Geológica Argentina 43 (2): 210-223.
- Ramos, V.A., 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: R. Caminos (ed.), Geología Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29: 41-96. Buenos Aires.
- Ramos, V. A., Folguera, A. y García Morabito, E., 2011. Las provincias geológicas del Neuquén En C. Arregui, O. Carbone, J.C Danieli, H.A Leanza, J.M Valles (eds), Geología y Recursos naturales de la Provincia del Neuquén. 18° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 317-326. Neuquén.
- Rodríguez Monreal, F., Villar, H., Baudino, Delpino, D. y Zencich, S., 2009. Modeling an atypical petroleum system: A case study of hydrocarbon generation, migration and accumulation related to igneous intrusions in the Neuquén Basin, Argentina. Marine and Petroleum Geology 26: 590-605.
- Senger, K., Millett, J., Planke, S., Ogata, K., Eide, C. H., Festøy, M., Galland, O. y Jerram, D. A., 2017. Effects of igneous intrusions on the petroleum system: a review. First Break, 35: 47-56.
- Silvestro, J. y Zubiri, M., 2008. Convergencia oblicua: Modelo estructural alternativo para la dorsal neuquina (39°S) – Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63 (1): 49– 64.
- Spacapan, J. B., Palma, J. O., Rocha Vargas, M. E., Leanza, H. A., D'Odorico, A., Rojas Vera, E. A., Manceda R, Galland, O., Medialdea, A. y Cattaneo, D. M., 2018. Maduración de las Formaciones Vaca Muerta y Agrio ocasionado por el emplazamiento de un complejo intrusivo magmático en el sector sur mendocino de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 75 (2): 199-209.
- Spalletti, L., Gasparini, Z., Veiga, G., Schwarz, E., Fernández, M. y Matheos, S., 1999. Facies anóxicas, procesos deposicionales y herpetofauna de la rampa marina titoniano-berriasiana en la Cuenca Neuquina (Yesera del Tromen, Neuquén, Argentina). Revista Geológica de Chile 26 (1): 123-137.
- Spalletti, L., Franzese, J., Matheos, S. y Schwarz, E., 2000. Sequence stratigraphy of a tidally dominated carbonate siliciclastic ramp; the Tthonian-Early berriasian of the Southern Neuquén Basin, Argentina. Journal of the Geological Society of London, 157: 433-446.
- Spalletti, L. A., Arregui, C. D. y Veiga, G. D., 2011. La Formación Tordillo y equivalentes (Jurásico Tardío) en la Cuenca Neuquina. En C. Arregui, O. Carbone, J.C Danieli, H.A Leanza, J.M Valles (eds), Geología y Recursos naturales de la Provincia del Neuquén. 18° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 99-111. Neuquén.

- Stern, C. R., 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista geológica de Chile*, 31 (2): 161-206.
- Turienzo M., Dimieri L., Frisicale M. y Araujo V., 2010. Evolución de las estructuras andinas en la región del río Diamante (34°40'ls): vinculación entre la faja corrida y plegada de Malargüe y la cordillera frontal. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (3): 352-366.
- Turienzo M., Dimieri L., Frisicale M. y Araujo V. y Sánchez N., 2012. Cenozoic structural evolution of the Argentinean Andes at 34°40'S: A close relationship between thick and thin-skinned deformation. *Andean Geology* 39: 317-357
- Turner, J.C.M. y Baldis, B.A.J., 1978. La estructura transcontinental del límite septentrional de la Patagonia. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 225-238, Buenos Aires.
- Uliana, M. A., Legarreta, L., Laffitte, G. A. y Villar, H. J., 1999. Estratigrafía y geoquímica de las facies generadoras de hidrocarburos en las cuencas petrolíferas de la Argentina. Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas 4, 1-61. Mar del Plata.
- Uliana, M.A. y Legarreta, L., 1993. Hydrocarbons habitat in a Triassic to Cretaceous sub-Andean setting: Neuquén Basin, Argentina. *Journal of Petroleum Geology* 16, 397–420.
- Vergani, G. D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J., 1995. Evolución tectónica y paleogeográfica de la Cuenca Neuquina, Argentina. *American Society of Petroleum Geologists, Memoria* 62, 383–402.
- Weaver, C., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of west central Argentina. *Memoir University Washington* 1: 1-469. Seattle.
- Vergani, G. D., 2005. Control estructural de la sedimentación Jurásica (Grupo Cuyo) en la Dorsal de Huinul, Cuenca Neuquina. *Modelo de falla lítrica rampa–plano, invertida. Boletín de informaciones Petroleras Agosto P: 3–44.*
- Zavala, C.A., 1993. Estratigrafía y análisis de facies de la Formación Lajas (Jurásico Medio) en el sector suroccidental de la Cuenca Neuquina, provincia del Neuquén. República Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. 268 pp. Bahía Blanca.
- Zavala, C., Arcuri, M., Di Meglio, M., Zorzano, A., & Otharán, G., 2020. Jurassic Uplift Along the Huinul Arch and Its Consequences in the Stratigraphy of the Cuyo and Lotena Groups. Neuquén Basin, Argentina. In *Opening and Closure of the Neuquén Basin in the Southern Andes*, pp: 53-74.