

Universidad Nacional de Río Negro

Sede Alto Valle y Valle Medio

Carrera de Licenciatura en Geología

Trabajo Final de Grado

“Análisis petrográfico y geoquímico de las unidades magmáticas del Volcán
Auca Mahuida, Provincia del Neuquén, Argentina”

Autor: Roberto Patricio Mora

Directores: Samanta Serra Varela y Mauro Tellería

2025

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos.....	4
1.2. Ubicación del área de estudio	4
1.3. Metodología de trabajo	5
ANTECEDENTES Y MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	7
2.1. Marco geotectónico de la Cuenca Neuquina	7
2.2. Estratigrafía del área de estudio	8
2.3. Provincia volcánica Payenia	9
2.3.1. Evolución tectónica y magmática	11
2.3.2. Volcán Auca Mahuida.....	12
2.3.2.1. Geomorfología.....	14
2.3.2.2. Evolución estructural y magmática del Volcán Auca Mahuida	15
2.3.2.3. Caracterización Geoquímica.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Geoquímica	19
3.2. Análisis petrográfico.....	19
3.2.1. Análisis de cutting.....	19
3.2.2. Análisis de cortes delgados	20
3.3. Perfilaje de pozo	20
RESULTADOS	21
4.1. Geoquímica de elementos mayoritarios.....	21
4.2. Geoquímica de elementos traza y tierras raras (REE)	23
4.3. Análisis petrográfico.....	29
4.3.1. Muestras del yacimiento Las Manadas - Risco Alto.....	29
4.3.2. Muestras del yacimiento Volcán Auca Mahuida	31
4.4. Análisis de perfiles de pozos	36
DISCUSIONES	40
5.1 Correlación de pozos	40
5.2 Cuerpos ígneos identificados	42

5.2.1. Lacolito de Mulichinco	42
5.2.2. Filones capa.....	46
5.2.3. Dique Cerro Bayito	51
5.2.4. Diques del flanco norte	53
5.3. Composición de los intrusivos y correlación con los tipos volcánicos.....	55
CONCLUSIONES.....	58
AGRADECIMIENTOS.....	59
REFERENCIAS	60
ANEXO	65

RESUMEN

El Volcán Auca Mahuida, ubicado 50 km al norte de la localidad de Añelo (37°44' S, 68°55' O), Provincia de Neuquén, se desarrolla en el noreste de la Cuenca Neuquina y representa la unidad más austral de la Provincia Volcánica Payenia. Se trata de un extenso edificio volcánico, compuesto por una sucesión de lavas acumuladas durante el Pleistoceno, y apoyadas sobre unidades sedimentarias de los grupos Neuquén y Malargüe. En este trabajo se realizó un estudio geoquímico y petrográfico en muestras de rocas ígneas, provenientes de unidades ubicadas en subsuelo del centro eruptivo del Volcán Auca Mahuida. Además, se analizaron datos de perfilaje de pozo facilitados por la empresa de Y.P.F. S.A., que desarrolla las Áreas de Concesión Volcán Auca Mahuida y las Manadas. A partir de los resultados de la clasificación geoquímica de muestras de subsuelo, del análisis petrológico de muestras de *cutting* y de cortes delgados, y la interpretación de datos de perfilaje de pozo, se modeló y clasificó una serie de cuerpos ígneos intrusivos, como un lacolito, diques y filones capa, que permiten ampliar el conocimiento del edificio del Volcán Auca Mahuida y su arquitectura en subsuelo.

ABSTRACT

Auca Mahuida Volcano, located 50 km north of Añelo (37°44' S, 68°55' W), in the Province of Neuquén, lies in the northeastern part of the Neuquén Basin and represents the southernmost unit of the Payenia Volcanic Province. It is an extensive volcanic structure composed of a succession of lavas accumulated during the Pleistocene, overlying sedimentary units of the Neuquén and Malargüe groups. In this work, a geochemical and petrographic study was conducted on igneous rock samples from units located in the subsurface of the eruptive center of Auca Mahuida Volcano. Additionally, well logging data provided by Y.P.F. S.A., which operates the Auca Mahuida Volcano and Las Manadas fields, was analyzed. Based on the results of the geochemical classification of subsurface samples, the petrological analysis of cutting samples and thin sections, and the interpretation of well logging data, a series of intrusive igneous bodies, such as a laccolith, dikes, and sills, were modeled and classified, allowing for an expanded understanding of the Auca Mahuida Volcano structure and its subsurface architecture.

INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es comprender la estructura en subsuelo del Volcán Auca Mahuida, con el fin de poder vincular los distintos aparatos volcánicos y sus rocas ígneas asociadas. Los objetivos específicos que contribuirán al desarrollo de los objetivos generales incluyen:

- Analizar los datos obtenidos del perfilaje de pozos, inéditos de la empresa YPF S.A., y delimitar las unidades de subsuelo.
- Caracterizar la morfología de las unidades intrusivas.
- Analizar los datos geoquímicos y realizar análisis petrográficos de las rocas ígneas, para evaluar una posible vinculación con los distintos pulsos eruptivos y su correlación en subsuelo.

1.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio comprende un sector del volcán Auca Mahuida, cuyas coordenadas de ubicación son 37°49'39"S, 68°48'56"O y 37°41'4"S, 69°0'12"O (Fig. 1.1), localizado 50 km al norte de la localidad de Añelo, provincia del Neuquén, Argentina, enmarcada en el sector oriental la Cuenca Neuquina.

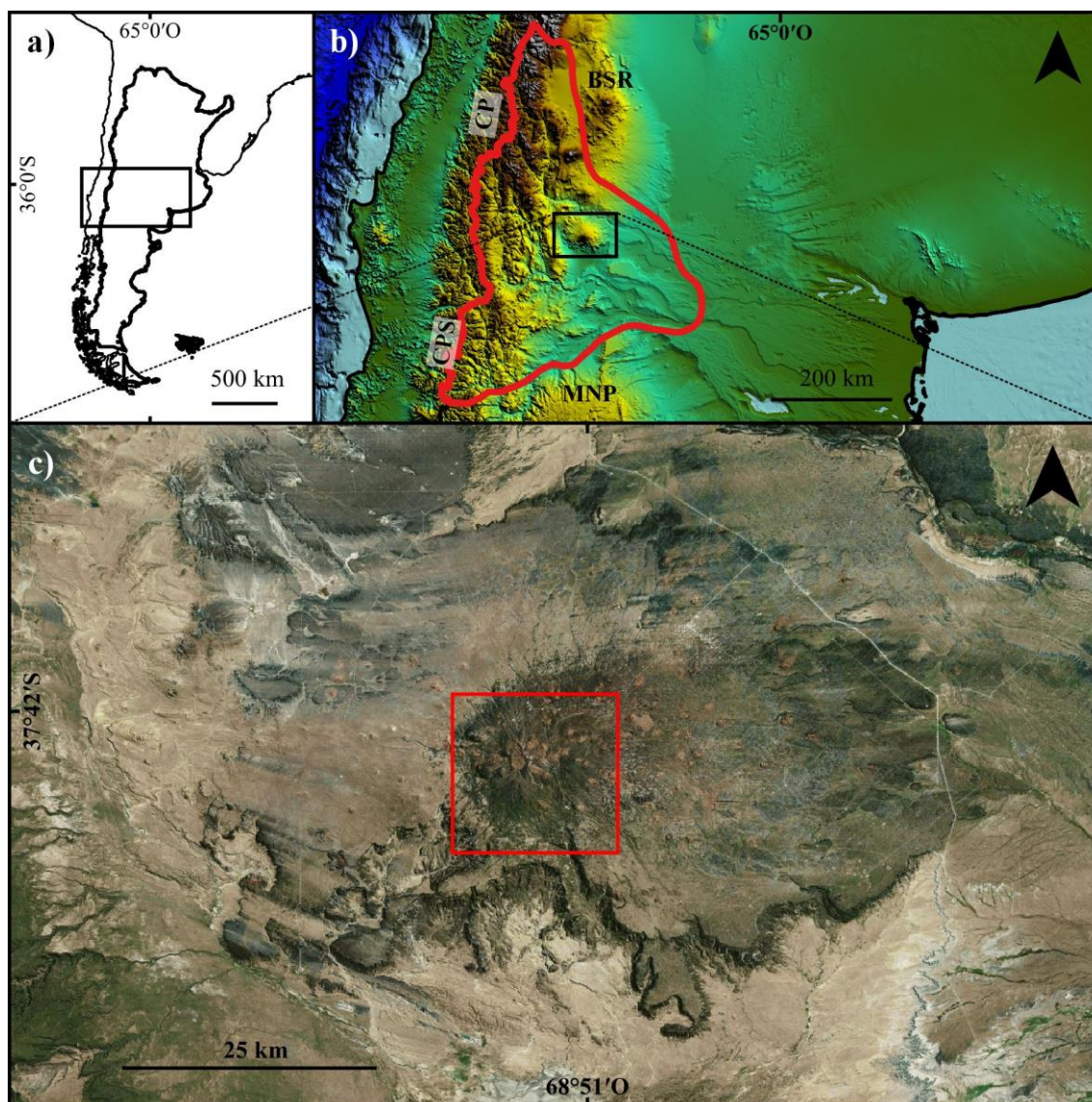


Figura 1.1. Ubicación del área de trabajo: a) Ubicación de la zona con respecto al área de la República Argentina, generado con datos vectoriales libres del Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN, 2022); b) detalle de escala regional usando como base modelos de elevación digital (MDE) libres descargados del servidor del satélite TOPEX (Tozer et al., 2019), con la ubicación de provincias geológicas tomadas de Ramos (1999a), en el que se identifica a la Cuenca Neuquina delimitada en color rojo, limitando con el Macizo Norpatagónico (MNP) al sur, la Cordillera Principal (CP) y la Cordillera Patagónica Septentrional (CPS) al oeste y el Bloque de San Rafael (BSR) al norte; c) ubicación del Volcán Auca Mahuida, usando de base una imagen satelital obtenida del servidor libre de BING, enmarcando en color rojo el área de estudio de este trabajo.

1.3. Metodología de trabajo

El desarrollo de este trabajo se inició con la recopilación de información del área de estudio, con especial énfasis en los trabajos vinculados a la actividad volcánica de la zona.

Los datos de geoquímica de roca total (otorgados por YPF S.A.), se organizaron y recalcularon en base a los elementos mayoritarios al 100% para el posterior análisis de

geoquímica de elementos mayoritarios y de elementos traza, utilizando las herramientas gráficas del *software* Excel para la confección de los gráficos.

Se seleccionaron ocho muestras de *cutting* proveniente de pozos de YPF S.A., y se las preparó en los laboratorios del Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG; UNRN - CONICET) para analizarlas con lupa binocular. Posteriormente, se seleccionaron siete muestras en función a la cantidad de *cutting* disponible y el tamaño de grano, y se solicitó la realización de los respectivos cortes delgados con el fin de realizar una caracterización petrográfica de las diferentes litologías.

Además, se realizó un trabajo de gabinete utilizando los equipos en las instalaciones de YPF S.A., datos de perfilaje combinado de pozos, empleando perfiles de profundidad, PEF, Gamma Ray, datos de perfilaje eléctrico, densidad y neutrónico, ubicados en el área de estudio con el *software* *Petrel*, que permitió generar secciones correlacionando pozos adyacentes, y la confección de mapas de ubicación y estructurales.

ANTECEDENTES Y MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1. Marco geotectónico de la Cuenca Neuquina

El área de estudio de este Trabajo Final de Grado se enmarca en el sector oriental de la Cuenca Neuquina (Fig. 1.1b). Esta cuenca se ubica en el sector centro-occidental de la República Argentina y se desarrolla entre los 35°20' y 40°10' S, y los 66°20' y 70°50' O extendiéndose en las provincias de Neuquén y Mendoza y en menor proporción en las provincias de Río Negro y la Pampa (Fig. 1.1b) (Casadío y Montagna, 2015 y referencias allí citadas). Se encuentra limitada por la Cordillera Principal y la Cordillera Patagónica Septentrional al oeste, el Macizo Norpatagónico al sur y el Bloque de San Rafael al norte (Ramos, 1999a). Registra una columna sedimentaria de más de 6000 m de espesor, y abarca un área con una morfología aproximadamente triangular que cubre 120.000 km² (Howell et al., 2005; Casadío y Montagna, 2015). La Cuenca Neuquina ha sido clasificada a grandes rasgos en seis unidades (Casadío y Montagna, 2015; Fig. 2.1), de las cuales solo tres guardan relación con el complejo volcánico que se estudió en este trabajo: el Dorso de los Chihuidos, Plataforma Nororiental y Engolfamiento Neuquino.

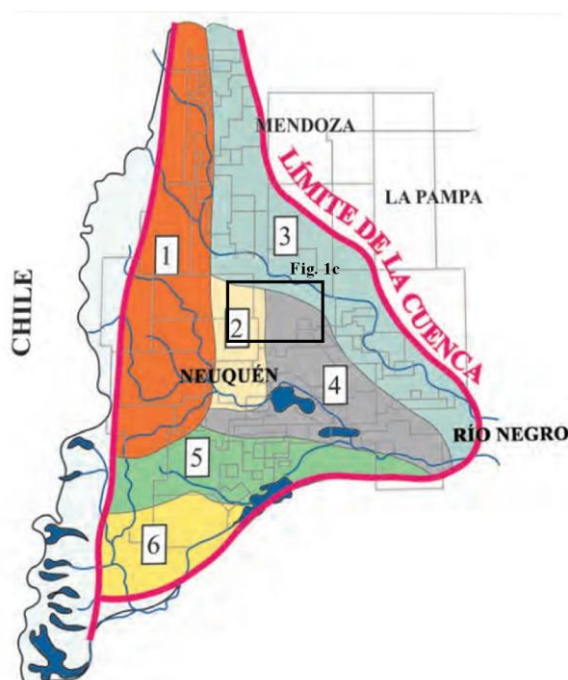


Figura 2.1. Mapa de las unidades morfoestructurales de la Cuenca Neuquina, tomado y modificado de Casadío y Montagna (2015), en donde se enumeran las provincias geológicas correspondiendo al área (1) Faja plegada y corrida del Agrio, (2) Dorso de los Chihuidos, (3) Plataforma Nororiental, (4) Región del Engolfamiento Neuquino, (5) Dorsal de Huincul y (6) área del sur de la dorsal. El recuadro de línea negra señala la ubicación del volcán Auca Mahuida (Fig. 1c).

2.2. Estratigrafía del área de estudio

Las unidades ígneas que forman parte del edificio del volcán Auca Mahuida, se emplazan y apoyan en las formaciones que conforman el relleno sedimentario de la Cuenca Neuquina (Rosello et al., 2002; Llambías et al., 2010; Ramos y Folguera, 2011). En esta región, el registro aflorante comienza con las unidades continentales del Grupo Neuquén (Garrido, 2011) y continúa con las unidades marinas del Grupo Malargüe (Rodríguez, 2011). Las unidades más antiguas de la columna sedimentaria se encuentran en el subsuelo y son muestreadas por los pozos petroleros de YPF S.A. que desarrollan los yacimientos de hidrocarburos. Entre ellas se puede mencionar la presencia de los Grupos Lotena (Arregui, 2011), Mendoza (Leanza et al., 2011) y la Formación Rayoso (Zavala y Ponce, 2011) que suprayace el Grupo Neuquén (Fig. 2.2).

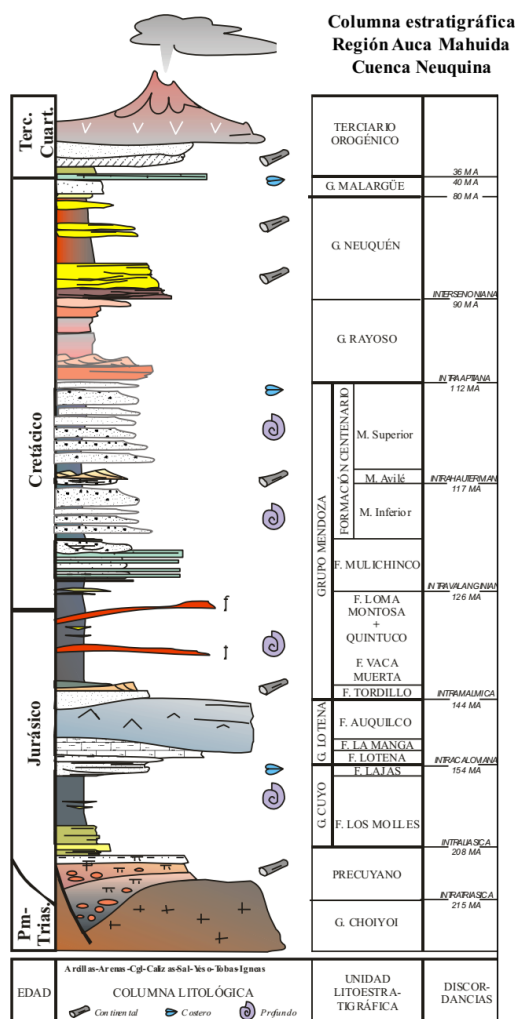


Figura 2.2. Columna estratigráfica correspondiente al área del volcán Auca Mahuida (tomado de Brisson y Veiga, 1999).

2.3. Provincia volcánica Payenia

La provincia volcánica Payenia se ubica en el retroarco andino, al sureste de la provincia de Mendoza, oeste de La Pampa y el norte de Neuquén (Fig. 2.3) (Polanski, 1954, en Llambías et al., 2010). Se generó al sur del segmento de subducción plana Pampeana (Fig. 2.3), a partir de los 33°40' S hasta los 38° S, limitando el Lineamiento Cortaderas, con una actividad que se concentró en el borde occidental del antepaís, dentro la Cuenca Neuquina y del Bloque de San Rafael (Fig. 2.3, 2.4a) (Llambías et al., 2010). El mayor desarrollo de la actividad volcánica de la provincia volcánica está dado en la Faja Deprimida Central (o Depresión Central) de rumbo N-S, donde se registró un abundante volcanismo de composición predominantemente basáltica olivínica alcalina (Fig. 2.4b) (Llambías et al., 2010; Ventura et al., 2012). Esta provincia volcánica se caracteriza por presentar dos períodos de actividad volcánica, el más antiguo durante el Mioceno (26 a 8 Ma) y el más joven entre el Plioceno – Holoceno (menor a 5 Ma) (Llambías et al., 2010).



Figura 2.3. Mapa de ubicación de la provincia volcánica Payenia, destacando su ubicación al sur de la subducción plana Pampeana, tomado y modificado de Ramos y Folguera (2011).

La provincia de Payenia abarca 39.638 km² y está integrada por más de 800 centros volcánicos, considerándose una de las provincias volcánicas más densamente pobladas de Sudamérica (Fig. 2.4a) (Risso et al., 2009; Ramos y Folguera, 2011). Se divide en tres segmentos distintivos de diferentes rasgos geomorfológicos, que generan un volumen de 8400 km³ (Ramos y Folguera, 2011): el segmento norte se compone principalmente por conos monogénicos aislados; el segmento central presenta campos volcánicos con extensos flujos de lava, como los campos volcánicos Cerro Nevado, Llanquanelo y Payún Matrú; y el segmento sur alberga grandes edificios volcánicos con menor extensión de flujos de lava, incluyendo el campo volcánico Auca Mahuida. Søager et al. (2013) determinaron diferencias en la geoquímica de los segmentos norte y sur: las lavas del segmento norte son de composición basáltica, formadas por la adición de fluidos y fundidos derivados de la losa subducida, de fuente mantélica tipo MORB (*Mid-Ocean Ridge Basalt*, o basalto de dorsal centro oceánica), mientras que el sur se compone de basaltos alcalinos de intraplaca derivados de un manto enriquecido EM-1 tipo OIB (*Ocean Island Basalt*, o basalto de islas oceánicas), con mínimas o nulas muestras de derivados de la losa subducida.

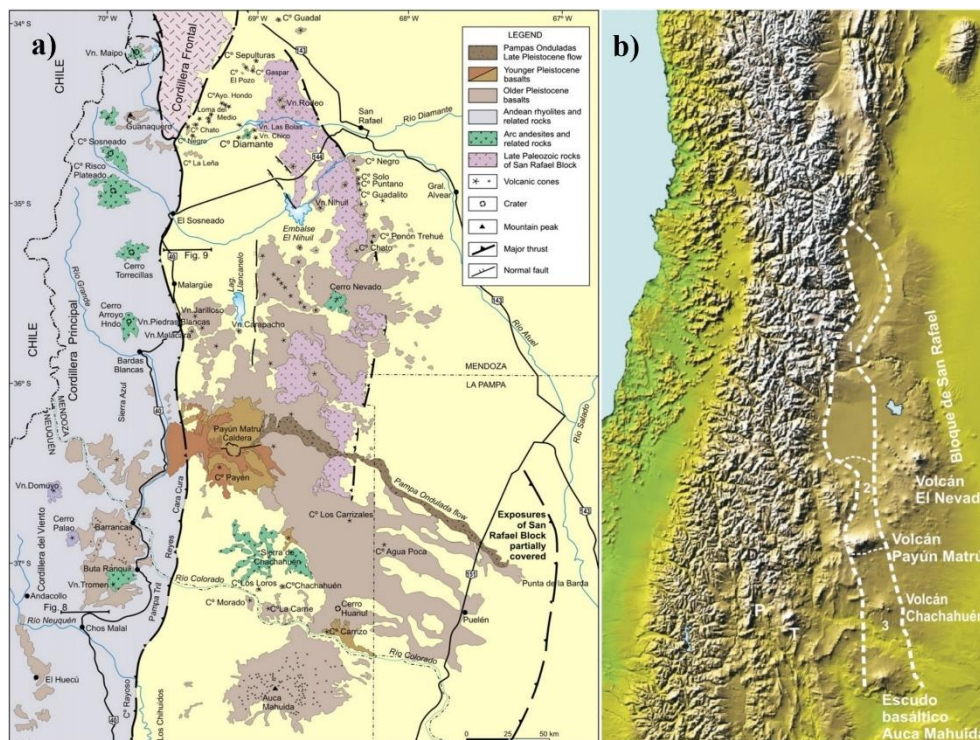


Figura 2.4. a) Mapa de la Provincia Volcánica Payenia, tomado de Ramos y Folguera (2011), que resalta los centros volcánicos y los extensos flujos de basaltos de la provincia volcánica; b) tomada del trabajo de Llambías et al. (2010), resaltando en línea punteada blanca la Faja Deprimida Central.

2.3.1. Evolución tectónica y magmática

El volcanismo de la provincia volcánica Payenia y la estructuración del trasarco están relacionados, según diversos autores, a los movimientos diferenciales de la placa de Nazca en subducción y la placa sudamericana superior (Ramos y Kay, 2006; Ramos y Folguera, 2011; Gudnason et al., 2012). La subducción de la placa de Farallón en el margen occidental de la placa de Sudamérica inició un proceso de rollback, controlando la extensión en el trasarco y generando actividad volcánica durante el Mioceno temprano (Kay et al., 2006; Kay y Copeland, 2006; Gudnason et al., 2012). A fines del Oligoceno se produce la ruptura de la placa de Farallón, y a partir de los 20 Ma se produce el cambio de la convergencia de la placa de Nazca, y el comienzo la horizontalización de la losa subducida, que se mantuvo durante el Mioceno Medio hasta alcanzar el máximo de la subducción plana de Payenia (13-5 Ma) (Kay y Copeland, 2006; Kay et al., 2006; Ramos, 2009).

Durante esta etapa de deformación de la cuenca, Gianni et al. (2017) determinaron en base a trabajos previos (p.ej. Ramos y Folguera, 2011; Søger et al., 2013; Burd et al., 2014; entre otros), la presencia de una pluma mantélica denominada pluma de Payenia, ubicada en la placa de Nazca durante el Mioceno Temprano (Fig. 2.5), que migró hacia el este durante el desarrollo de la subducción en el Mioceno, alcanzando una posición de retroarco antes de los 5 Ma. Alrededor de los 5 Ma, la losa subducida experimentó un desgarre de rumbo noroeste a los 38° S, inducido por el debilitamiento termo-mecánico causado por la pluma subyacente (Fig. 2.5 y 2.6) (Gianni et al., 2017).

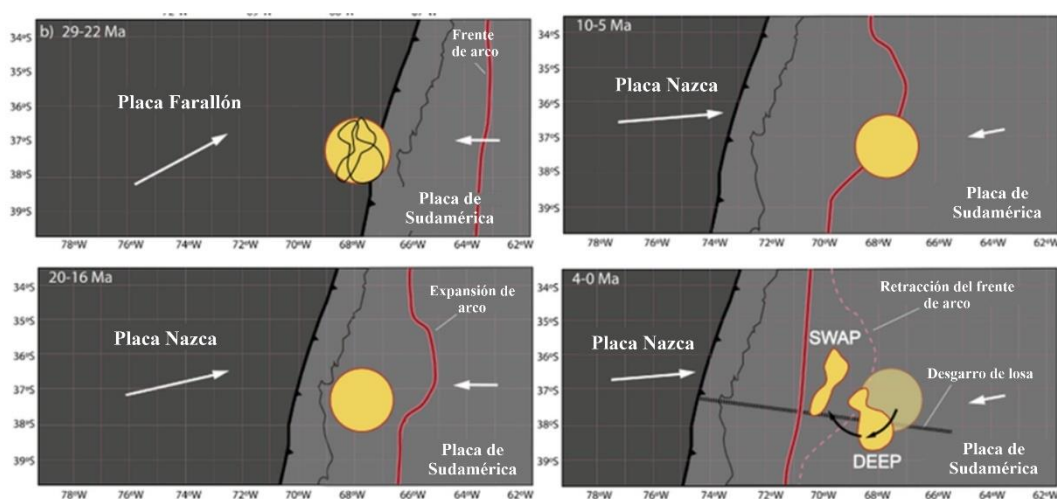


Figura 2.5. Imagen tomada y modificada de Gianni et al. (2017). Reconstrucción de la ubicación de la pluma mantélica de Payenia y su interacción con el margen andino, en color amarillo, desde el Mioceno hasta su posición actual, luego de la separación del SWAP y DEEP durante el Plioceno.

Desde fines del Mioceno, se produjo el empinamiento de la losa subducida (Kay et al., 2006), comenzando a partir del sur donde inicialmente se posicionó la pluma mantélica de Payenia y se desgarró la losa subducida (Fig. 2.6) (Gudnason et al., 2012; Gianni et al., 2017). Esto creó una ventana que permitió el flujo astenosférico, lo que decapitó la pluma ascendente durante el empinamiento de la losa subducida (Burd et al., 2014; Gianni et al., 2017). El influjo de astenósfera caliente en la cuña mantélica generó una amplia fusión parcial debajo de la litósfera, lo que indujo las extensas erupciones basálticas de los campos volcánicos de Auca Mahuida y Río Colorado (Gudnason et al., 2012; Gianni et al., 2017). Posteriormente el empinamiento de la losa subducida avanzó hacia el norte, con el consecuente ascenso de la pluma mantélica y la activación de los centros eruptivos del norte de la provincia volcánica Payenia (Gudnason et al., 2012; Gianni et al., 2017).

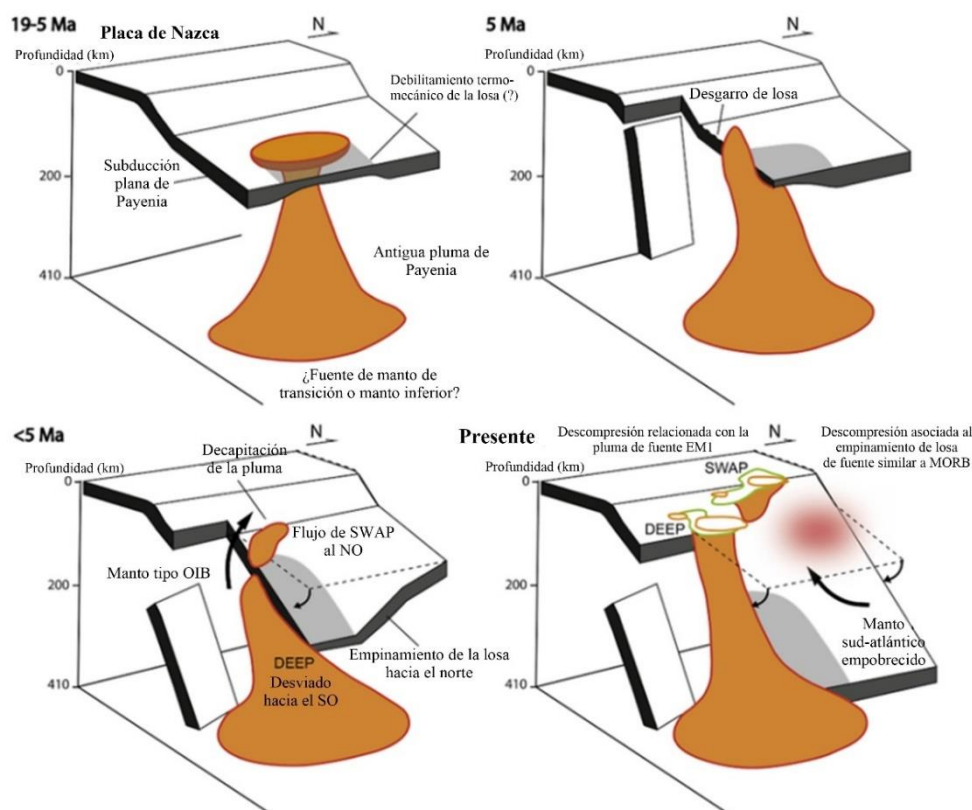


Figura 2.6. Modelo de evolución del ascenso de la pluma mantélica de Payenia, y del empinamiento de la losa subducida, tomada de Gianni et al. (2017).

2.3.2. Volcán Auca Mahuida

El Volcán Auca Mahuida es un extenso volcán de tipo escudo (Fig. 2.7), ubicado en el extremo austral de la provincia volcánica Payenia, alineado con la depresión central de rumbo N-S y limitado al sur por el Lineamiento Cortaderas (Fig. 2.3 y 2.4a) (Llambías et

al., 2010). Este se apoya directamente sobre las sedimentitas del Grupo Neuquén y al sureste también sobre unidades del Grupo Malargüe (Llambías et al., 2010).

Se formó por la superposición de coladas de composición predominantemente basáltica alcalina y traquítica basálticas (hawaiitas), y en menor medida con unidades más evolucionadas de composiciones traquiandesíticas basálticas (mugearítica), traquiandesítica y traquítica (Kay et al., 2013), provenientes de más de un centenar de conos parásitos monogénicos (Holmberg, 1964; Rossello et al., 2002). Holmberg (1964) le asignó a las volcanitas una edad mayormente pleistocena, con unidades del Plioceno superior y Holoceno. Posteriormente, mediante el uso de dataciones Ar-Ar (Rosello et al., 2002; Kay et al., 2006) y K-Ar (Bermúdez et al., 2000, en Kay et al., 2013), se les pudo asignar a las volcanitas un rango de edades entre $1,78 \pm 0,1$ Ma y $0,99 \pm 0,3$ Ma.

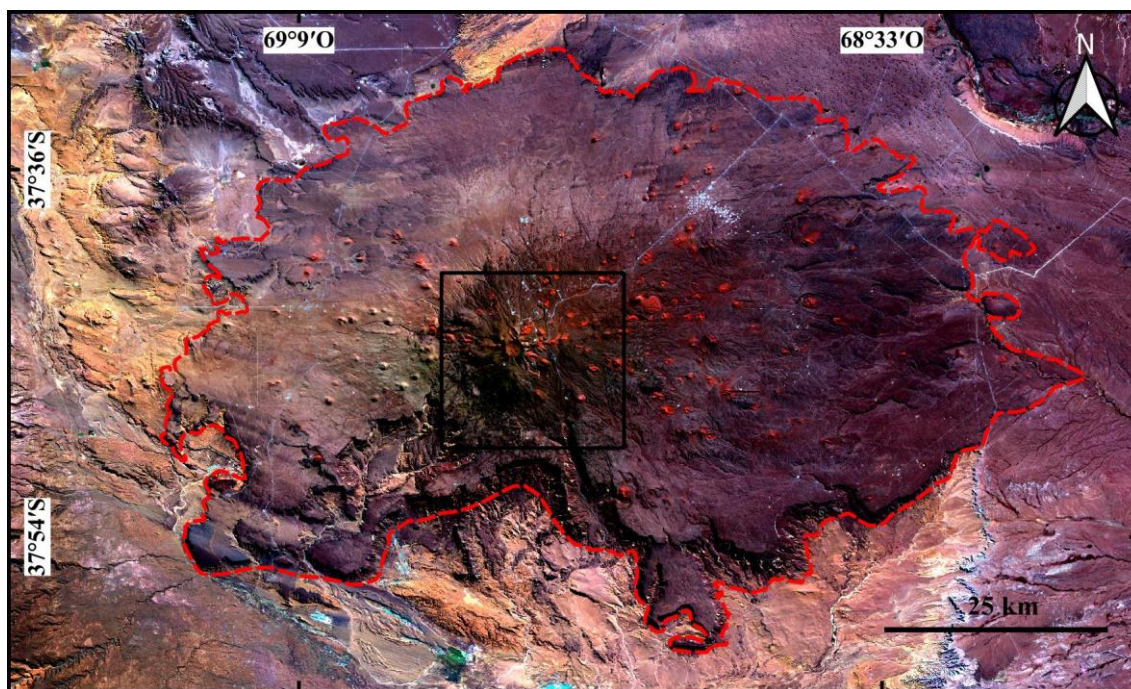


Fig. 2.7. Mapa de ubicación del área de estudio en el volcán Auca Mahuida creado a partir de una composición Landsat 8 en falso color RGB 742, que permite identificar el edificio volcánico (línea punteada roja) conformado por amplias coladas basálticas, y localizados en color rojo los conos monogénicos, vinculados en sistemas fisurales.

Pallares et al. (2016) clasificó la actividad volcánica del Auca Mahuida en cinco fases volcánicas. La primera empezó a los $1,78 \pm 0,1$ Ma, cuenta con afloramientos que únicamente se encuentran en la periferia del volcán escudo y está representada por basaltos evolucionados (basaltos alcalinos y traquibasaltos), con bajo MgO. La segunda fase volcánica de edad entre $1,61 \pm 0,02$ Ma y $1,48 \pm 0,02$ Ma, caracterizada por traquibasaltos de alto MgO a traquitas de bajo MgO, ubicadas en la zona central y

periférica. La tercera fase de erupciones data entre $1,44 \pm 0,02$ Ma y $1,36 \pm 0,02$ Ma, es de composición traquibasáltica, con basaltos primitivos que revelan una actividad intensa y miembros que muestran evolución a basaltos traquiandesíticos. La cuarta fase abarca el período entre $1,35 \pm 0,02$ Ma y $1,26 \pm 0,02$ Ma, y presenta lavas de bajo MgO en el cono principal, con basaltos traquiandesíticos que evolucionan a traquiandesitas. La última fase, desarrollada desde $1,18 \pm 0,02$ Ma a $0,99 \pm 0,04$ Ma, incluye basaltos con alto MgO y los últimos episodios de composición traquibasálticas y traquiandesíticas.

2.3.2.1. Geomorfología

El Volcán Auca Mahuida representa un extenso volcán en escudo, que se construyó por acumulación y superposición de coladas volcánicas basálticas de conos monogénicos en sus flancos (Fig. 2.7) (Holmberg, 1964; Llambías et al., 2010). Con una morfología mesetiforme, alcanza los 2258 m.s.n.m. (m sobre el nivel del mar) en su zona central (de coordenadas $37^{\circ}44'S$ y $68^{\circ}55'O$), con una longitud de 40 km (E-O) y 33 km (N-S), cubre un área aproximada de 2700 km^2 (Rossello et al., 2002; Llambías et al., 2010). Presenta un volumen estimado de 145 km^3 y un espesor que varía desde 500 m en el centro hasta 6-20 m en la periferia (Llambías et al., 2010; Ventura et al., 2012). Los extremos periféricos del edificio volcánico se encuentran afectados por remoción en masa, destacando el extremo sur que presenta deslizamientos y un valle rectilíneo de rumbo NNO-SSE (Ventura et al., 2012; Cristallini et al., 2014).

En la zona central se encuentra el cono principal, de origen poligenético, con flancos de alta pendiente vinculados a coladas de composición traquítica (Ventura et al., 2012), coronado por una caldera de 1,8 km de diámetro rodeado de domos (Llambías et al., 2010; Ventura et al., 2012), al que Llambías et al. (2010) asocian a un domo no aflorante de mayor diámetro, mientras que Delpino y Bermudez (2002, en Kay et al., 2013) la definen como una depresión controlada por fallas. Por otra parte, se reconocen más de un centenar de conos monogénicos que varían en densidad entre $4 \times \text{km}^2$ en la zona central a $2,8 \times \text{km}^2$ en la periferia (Fig. 2.7) (Llambías et al., 2010), alineados en distintos sistemas fisurales que rodean el cono central (Kay et al., 2013). Ventura et al. (2012) reconocen sistemas fisurales de rumbo E-O que se extienden hacia el oeste desde el cono central, que a su vez presentan la mayor densidad de conos monogénicos, y tres poblaciones NO-SE, E-O y NE-SO hacia el este del cono central. Finalmente, hay presencia de domos

traquíticos a traquiandesíticos conformando el cono poligenético central (Ventura et al., 2012; Pallares et al., 2016).

2.3.2.2. Evolución estructural y magmática del Volcán Auca Mahuida

La historia de la estructura del Auca Mahuida es multiepisódica, generada por la interferencia de la estructura andina con el borde de la cubeta Precuyana y amplificada por un levantamiento térmico dado por la intrusión de cámaras magmáticas en profundidad (Cristallini et al., 2014). Según Cristallini et al. (2014), el esquema evolutivo está controlado por una cubeta de rumbo NNO-SSE (Fig. 2.8a) formada durante el ciclo Precuyano, seguida por la estructuración de hemigrábenes de rumbo NO-SE oblicuos al rumbo de la cubeta (Fig. 2.8b), que en conjunto continuaron actuando durante todo el desarrollo de la cuenca. Posteriormente la subsidencia por SAG actúa, activando las estructuras previas, y luego la subsidencia por carga andina. En el Cretácico superior se desarrolla la faja plegada y corrida del Agrio (Ramos y Kay, 2006), con la depositación de los grupos Neuquén y Malargüe (Fig. 2.8c). Este pulso compresivo se propaga hacia el este, aprovechando los bordes de la cubeta Precuyana como zonas débiles y propagando la compresión hasta el fallamiento en los sectores de la cubeta en los que se produce acumulación de deformaciones (Fig. 2.8d), siendo uno de ellos la zona del Volcán Auca Mahuida (Cristallini et al., 2014). Basaldúa (2018) propone además que el esfuerzo compresivo se propagó hacia el este de la cubeta, generando una importante zona de fractura debajo del actual campo volcánico Auca Mahuida.

Durante el Mioceno, se reactivó la faja plegada y corrida del Agrio, lo que resultó en el desarrollo de una estructura de interferencia entre la actividad andina y la cubeta Precuyana, causando un domamiento de 450 m (Fig. 2.8d), lo que provocó la erosión del Grupo Malargüe en la región (Fig. 2.8f) (Cristallini et al., 2014), además de un levantamiento regional de 600-1000 m por compresión (Cevallos y Rivero, 2014).

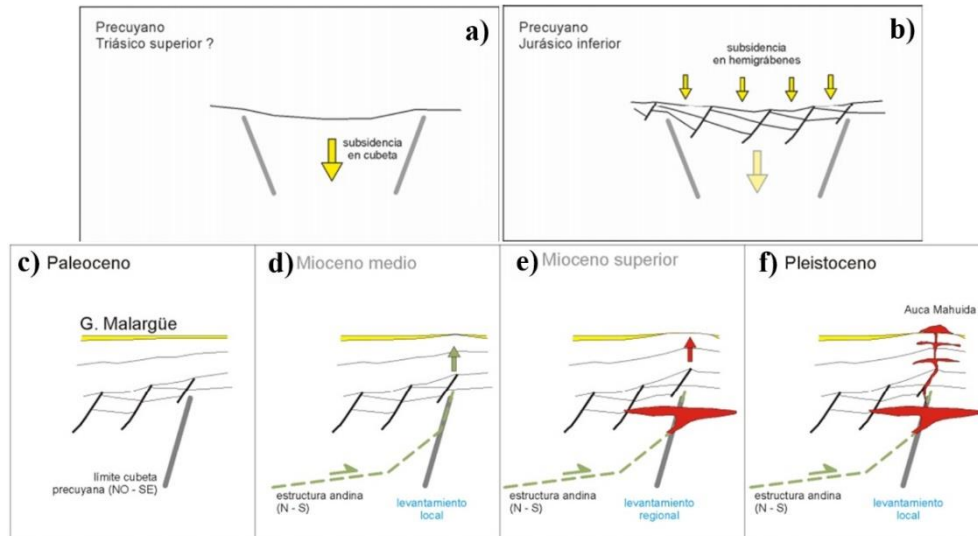


Figura 2.8. Esquemas de la evolución estructural representados en una sección O-E, tomados de Cristallini et al. (2014, en Chiacchiera Lobos, 2019). a) Desarrollo de la cubeta Precuyana, posiblemente durante el Triásico superior; b) Estructuración de los hemigrábenes oblicuos a la cubeta Precuyana; c) Depositación del Grupo Malargüe durante el Cretácico superior-paleoceno, sobre unidades sedimentarias en la cubeta Precuyana; d) Levantamiento por el desarrollo de la faja plegada y corrida del Agrio durante el Mioceno medio; e) Levantamiento regional por el desarrollo de la faja plegada y corrida del Agrio durante el Mioceno superior, e intrusión de cámaras magmáticas; f) Desarrollo del volcanismo del Aca Mahuida con intrusión de unidades subvolcánicas.

Longo (2017) modela que el magma producto de la fusión parcial por efecto de la astenósfera ascendente, asociado al ascenso de la pluma mantélica hace 5 Ma (Gianni et al., 2017), se acumuló y evolucionó en la base de la corteza continental (Fig. 2.8e), en varias cámaras magmáticas. Luego, el magma se habría elevado hasta una profundidad de 6-10 km, donde Sigismondi (2012) modeló con base en datos geofísicos (Fig. 2.9) (métodos gravimétricos y magnéticos), la presencia de una cámara magmática somera debajo del volcán Aca Mahuida, en donde los fundidos se homogeneizaron y dieron lugar a las series más ácidas de la serie (Longo, 2017). Durante el Plioceno-Pleistoceno, se produjo el emplazamiento de una estructura subterránea compuesta por un enjambre de diques e intrusivos controlados por la estratificación de la roca de caja (filones capa, lacolitos) (Fig. 2.8f), junto con la actividad extrusiva del volcán Aca Mahuida, lo que provocó un levantamiento local por intrusiones de aproximadamente 750 m (Cristallini et al., 2014, inédito; Longo, 2017).

Finalmente, se propone que una serie de lineamientos de conos monogenéticos y domos en superficie, estarían controladas por un patrón de fallas de tipo extensionales de rumbo O-E a OSO-ENE, identificadas en subsuelo a partir de datos de pozo y sísmica, y que serían relativamente jóvenes dado que afectan a las unidades volcánicas del complejo

volcánico Auca Mahuida (Cristallini et al., 2014; Ribas et al., 2018, informe interno de YPF). Ribas et al. (2018), interpretan que este sistema de fracturación extensional, de patrón asimétrico respecto al centro volcánico, fue inducido por esfuerzos regionales y no por la influencia de la cámara magmática.

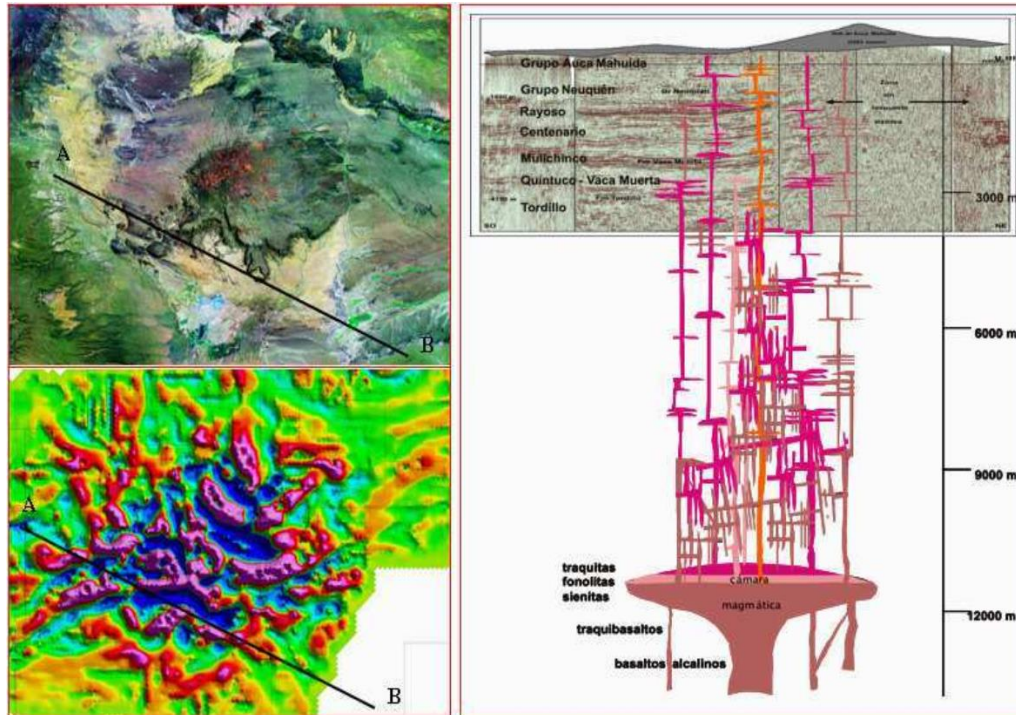


Figura 2.9. Interpretación de la geometría de subsuelo del volcán Auca Mahuida, basado en la integración de distintos datos geofísicos, como métodos sísmicos (derecha, sección sísmica basada de ubicación señalada por la traza A-B) y magnetismo aéreo (izquierda inferior). Tomado de Sigismondi (2012)

2.3.2.3. Caracterización Geoquímica

Diversos autores determinaron que la actividad magmática de la Provincia Volcánica Payenia, durante el período de 24-20 Ma, presenta firmas de intraplaca-trasarco dada por bajas relaciones de La/Ta , Ba/Ta y Ba/La y firmas de manto enriquecido dadas por alta relación de Ta/Hf (Kay y Copeland, 2006; Kay et al., 2006). La horizontalización de la losa subducida iniciada a partir de los 20 Ma, habría provocado que los magmas generados en este período tengan una impronta de contaminación de la losa en la cuña mantélica, con firmas típicas de arco con una caída de elementos inmóviles (HFSE) y altas relaciones de La/Ta , Ba/Ta , Ba/La , y con firmas de manto empobrecido dada por a baja relación Ta/Hf (Kay y Copeland, 2006; Kay et al., 2006). Kay et al. (2006, 2013) identificaron que las unidades del volcán Auca Mahuida provienen de un manto tipo EM1 OIB, y presentarían firmas de trasarco e intraplaca, y proponen que la base de la litósfera tendría una firma de contaminación de derivados de la losa subducida previa a la fusión

(durante la etapa de subducción horizontal de la losa). Por otra parte, Pallares et al. (2016) proponen con base en el análisis de elementos incompatibles como La e Yb, que los magmas se habrían generado en al menos dos fuentes mantélicas distintas, una más profunda de lherzolita portadora de espinela-granate y de una más somera de lherzolita con espinelas e identifican firmas de contaminación cortical en las unidades más evolucionadas (p.ej. traquitas).

Los trabajos previos realizados en la zona de estudio se centran en las unidades de superficie del complejo volcánico Auca Mahuida (Kay et al., 2006, 2013; Pallares et al., 2016, en Fig. 2.10). Kay et al. (2013) definen que las unidades aflorantes del edificio volcánico se componen mayoritariamente por basaltos alcalinos, y en menor medida localizados en el centro volcánico una serie de domos traquítico-traquiandesíticos (Fig. 2.10). Posteriormente, Pallares et al. (2016) dividieron las unidades aflorantes en cuatro poblaciones en función a las características químicas: basaltos primitivos (>8% MgO), basaltos evolucionados (8-5% MgO), basaltos-andesitas (5-3% MgO) y las rocas traquíticas (<3% MgO). Los productos de las cuatro últimas fases evolutivas del volcán se caracterizan por la emisión de basaltos primitivos de alto MgO, que evolucionan a composiciones diferenciadas con menor contenido de MgO, mientras que durante la primera fase solo se encontraron basaltos de bajo MgO (Pallares et al., 2016).

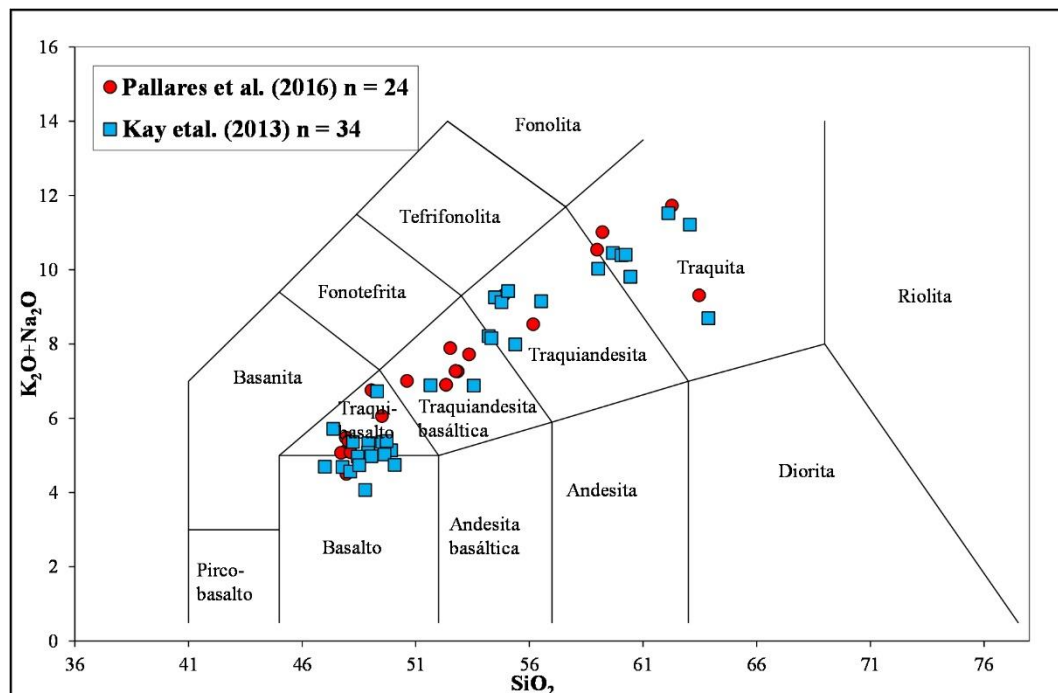


Fig. 2.10. Diagrama de clasificación TAS (Le Bas et al., 1986), que grafica las unidades muestradas por Kay et al. (2013) y Pallares et al. (2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Geoquímica

Se trabajó con datos de geoquímica de roca total de 53 muestras de unidades de subsuelo (Ver Anexo, Tabla 2 a 13), aportados por Y.P.F. SA., determinándose la composición en elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y tierras raras, mediante ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry*) para el análisis de las muestras en laboratorio certificado con normas ISO 9002 (Bermúdez, informes internos). Las 53 muestras fueron recolectadas por la empresa Y.P.F. SA., de las unidades ígneas atravesadas por nueve pozos de desarrollo hidrocarburíferos (Fig. 3.1), ubicados en las proximidades del centro del volcán Auca Mahuida. Tres pozos se encuentran en el yacimiento área de concesión Las Manadas - Risco Alto, denominados RA, RB y RC, al sur de la caldera del Auca Mahuida, mientras que seis pozos se ubican dentro del yacimiento Volcán Auca Mahuida, de denominación VA, VB, VC, VD, VE y VF (Fig. 3.1).

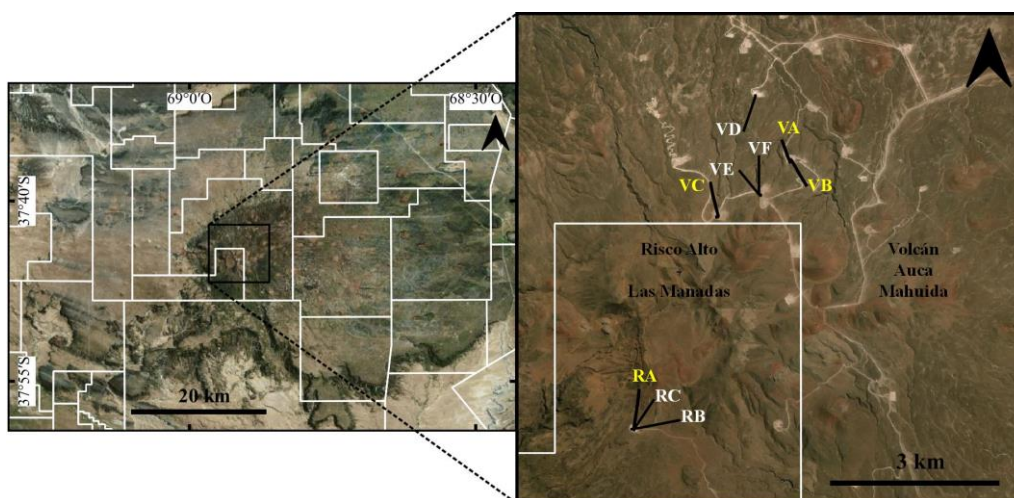


Figura 3.1. Mapa basado en una imagen satelital obtenida del servidor libre BING con las áreas de concesión hidrocarburífera delimitadas en línea blanca y una ampliación de un área de detalle en donde se ubican los pozos de desarrollo de los que Y.P.F. SA. obtuvo las muestras de geoquímica (blanco y amarillo), y de *cutting* (amarillo).

3.2. Análisis petrográfico

3.2.1. Análisis de *cutting*

Se analizó las muestras de *cutting*, conformadas por una sucesión de cucharadas a intervalos de 1 y 2 metros de profundidad, de siete cuerpos seleccionados en base a la interpretación de los datos geoquímicos, con lo cual se buscó abarcar la mayor

variabilidad composicional posible, tomando los pozos RA (RA-1959 Y RA-2032), VA (VA-1872, VA-2667 y VA-2700), VB (VB-1264 y VB-1717) y VC (VC-1710). Las muestras se recibieron en paquetes, cuyo contenido consistió en *cutting* de intrusivos con dato de profundidad respecto de boca de pozo, con cierto contenido de lodo de perforación y fragmentos de roca de caja.

El preparado de las muestras inició con su limpieza mediante el método de decantación, para eliminar los restos de lodo de perforación, y luego se las puso en agua en vasos de Petri y se procedió con los análisis. La descripción del *cutting* fue realizada mediante el uso de una lupa binocular en las instalaciones del Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG; UNRN-CONICET). Se clasificaron las muestras estudiadas a partir del contenido mineral, en base a los criterios de Le Maitre et al. (2002).

3.2.2. Análisis de cortes delgados

A partir del *cutting* analizado, se seleccionaron siete muestras de paquetes individuales, considerando el volumen y granulometría del muestreo para realizar cortes delgados de grano suelto. Los cortes petrográficos fueron confeccionados en su totalidad en las instalaciones y con equipos del IIPG, y posteriormente se analizaron empleando microscopios petrográficos ubicados en el laboratorio de la misma institución.

3.3. Perfilaje de pozo

Para estos análisis, se procesaron los datos de perfilaje de pozo aportados por Y.P.F. SA., en las instalaciones de Y.P.F Talero, ubicada en la ciudad de Neuquén. Para ello, se utilizó el *software* Petrel, con licencia y usuario facilitados por el co-director de este trabajo final de grado, y se procesaron datos e interpretaciones aportados por Ribas, S. (com. pers.l).

El *software* Petrel permite cargar los datos de perfiles combinados a un proyecto, en donde se pudo presentar la ubicación espacial de los pozos en planta, y simultáneamente, realizar transectas donde se visualizaron los distintos perfiles combinados ajustados por el nivel marino. Así, se planteó una serie de transectas en sentido E-O y S-N. Se interpretaron y compararon los datos de perfilaje con las interpretaciones de los datos geoquímicos, análisis de *cutting* y cortes delgados, identificando los cuerpos muestreados en el registro de los pozos. Posteriormente, se extrapolaron las interpretaciones hechas al registro de perfilaje de sesenta y cuatro pozos.

RESULTADOS

4.1. Geoquímica de elementos mayoritarios

Las rocas analizadas fueron clasificadas en primera instancia mediante el diagrama TAS (Le Bas et al., 1986) (Fig. 4.1), donde se observa que las unidades subvolcánicas muestreadas presentan una bimodalidad composicional que varía entre dos grupos composicionales: uno compuesto por traquibasaltos-traquiandesitas basálticas, y otro por traquitas (Fig. 4.1). Las muestras de traquibasaltos-traquiandesitas basálticas corresponden a tres pozos del yacimiento VAM (Fig. 3.1 VA, VB y VC), muestreadas de unidades de espesores que van desde los 4 a 60 m y que se ubican a profundidades que van desde 92 a 483 m.s.n.m. Las unidades traquíticas fueron muestreadas en todos los pozos, representando cuerpos subvolcánicos de espesores que van desde los 5 a 110 m, con presencia de un cuerpo de espesor promedio de 90,3 m (de 72-110 m) ubicado aproximadamente a 1000 m.b.n.m. (metros bajo el nivel del mar) en todos los pozos del yacimiento VAM.

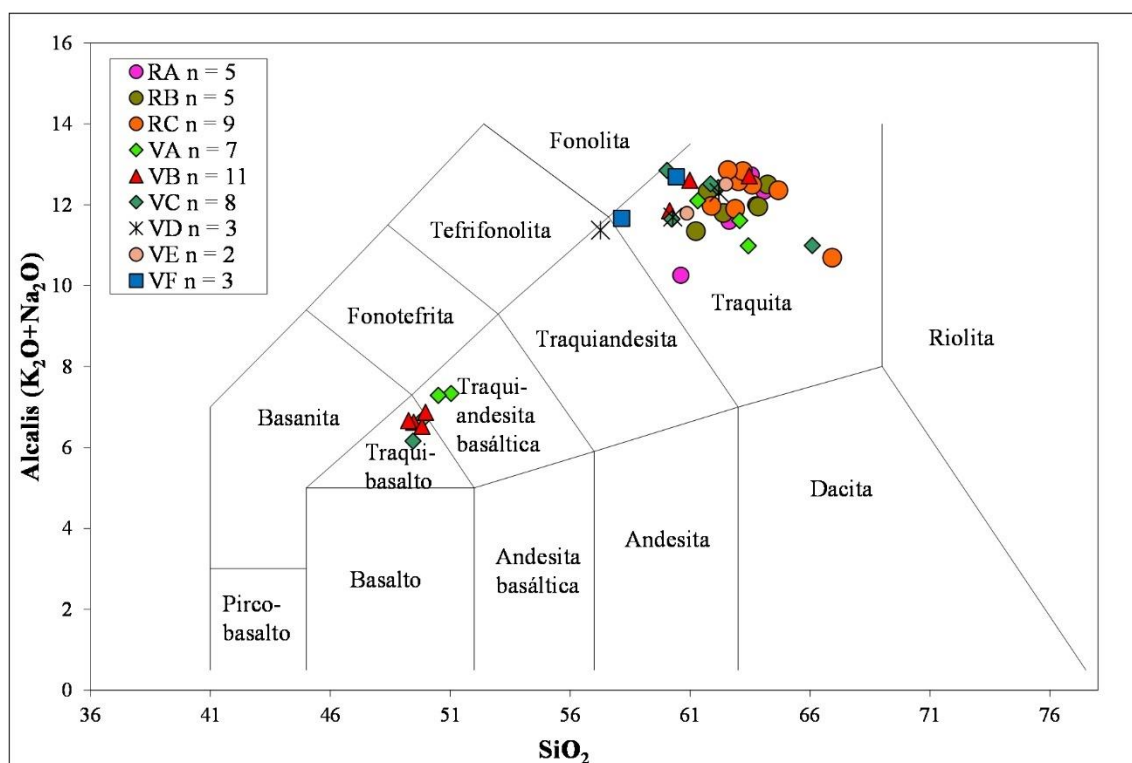


Figura 4.1. Diagrama TAS (Le Bas et al., 1986), en donde se encuentran ploteadas las muestras según el pozo de procedencia. En la leyenda se indica la cantidad de muestras (n) de cada pozo.

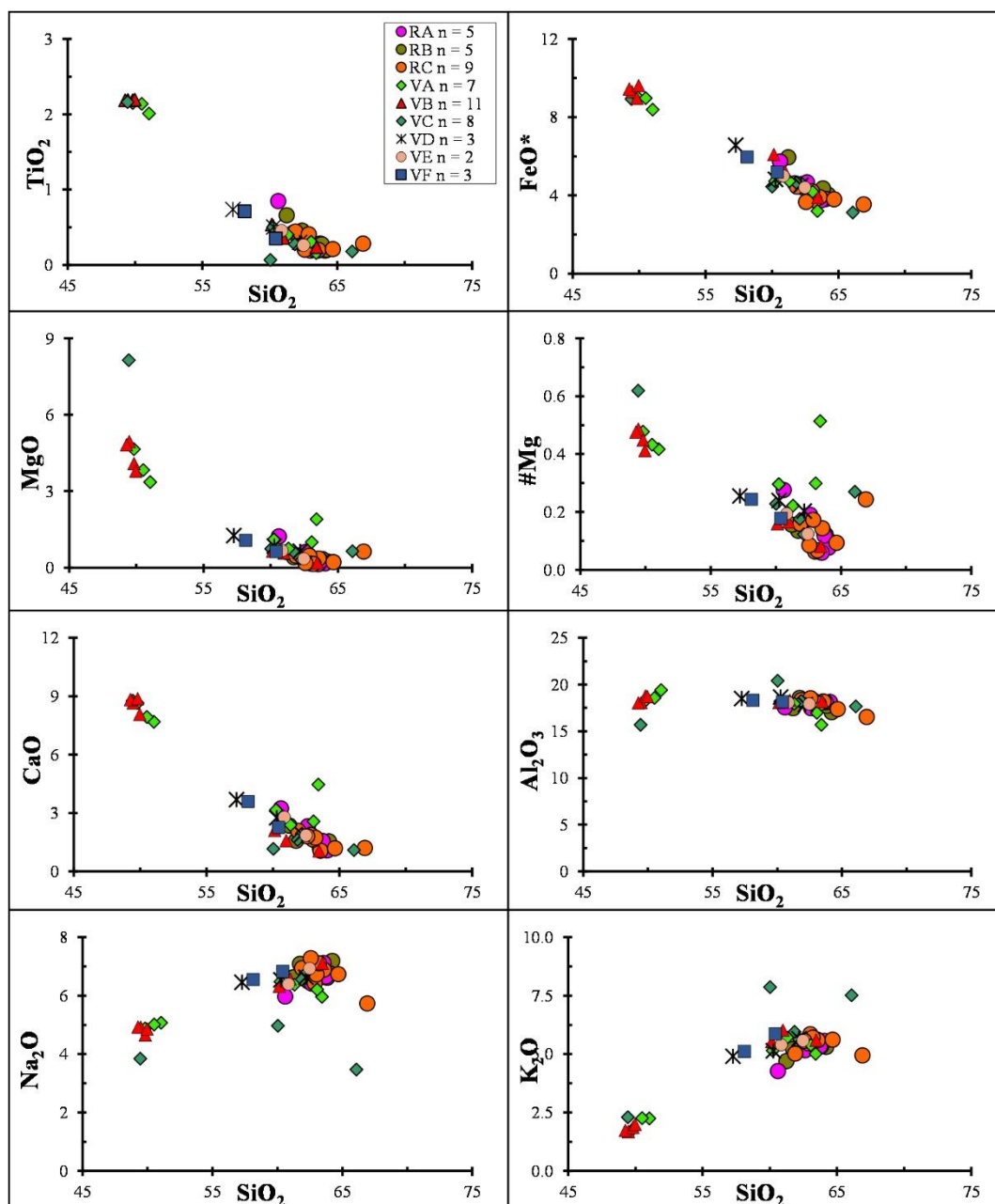


Figura 4.2. Diagramas Harker que grafican los distintos elementos mayoritarios vs el SiO_2 . Contenido de hierro expresado como óxido ferroso total (FeO^*).

A partir de los diagramas Harker (Fig. 4.2) se identificó una tendencia negativa de la mayoría de los óxidos mayoritarios respecto al aumento del SiO_2 , a excepción del Na_2O y K_2O que registraron una tendencia positiva respecto al aumento de SiO_2 , y el Al_2O_3 que tiene pendiente plana. Finalmente, se identifica una bimodalidad compatible con la observada en el diagrama TAS.

Se observó (Fig. 4.2) que en las unidades básicas el $\# \text{Mg}$ ($\text{Mg}/[\text{Mg}+\text{Fe}^{+2}]$ molar) oscila entre 0,41-0,48, con una muestra de 0,62, mientras que en las unidades ácidas el $\text{Mg}\#$

oscila entre 0,06-0,3, con numerosas muestras entre 0,06-0,1 y entre 0,16-0,3, y presentando una medición aislada de 0,51.

4.2. Geoquímica de elementos traza y tierras raras (REE)

Los valores de LOI (*loss on ignition* o pérdida por ignición) de las muestras analizadas, varían entre 1,8% y 10,6%, con un valor promedio de 5,29%. Considerando que el valor del LOI es un indicador del grado de alteración, asociada a una alta movilidad de elementos mayoritarios, además del uso de diagramas de clasificación TAS (Le Bas et al, 1986) se incluyeron diagramas de elementos inmóviles como Ti, Zr, Y, Nb y de Th-Co (Winchester y Floyd, 1977; Hastie et al. 2007). Estos diagramas usan elementos que son de naturaleza inmóvil, en comparación con los elementos mayoritarios de menor potencial iónico, susceptibles a la alteración. Los diagramas de Winchester y Floyd (1977) emplean los cocientes Nb/Y y Zr/TiO₂, como equivalentes a la composición de álcalis y sílice respectivamente (Fig. 4.3a-c). El diagrama de clasificación de Hastie et al. (2007), emplea la relación Th-Co (Fig. 4.3d), como equivalentes a la composición de álcalis y sílice respectivamente.

A partir de los diagramas de Winchester y Floyd (1977) (Fig. 4.3a-c) se corroboró la presencia de la bimodalidad ya observada en el diagrama TAS, con un extremo de composición de basalto alcalino y otro extremo traquítico, con muestras de fonolitas y una traquiandesita aislada. Utilizando el diagrama de Hastie et al. (2007) se identificó un patrón similar, con un extremo de composición basáltica-andesita basáltica del campo calcoalcalino (con tendencia de alto K), y una segunda moda de composición traquítica de alto K, con al menos una muestra de composición andesítica (Fig. 4.3d).

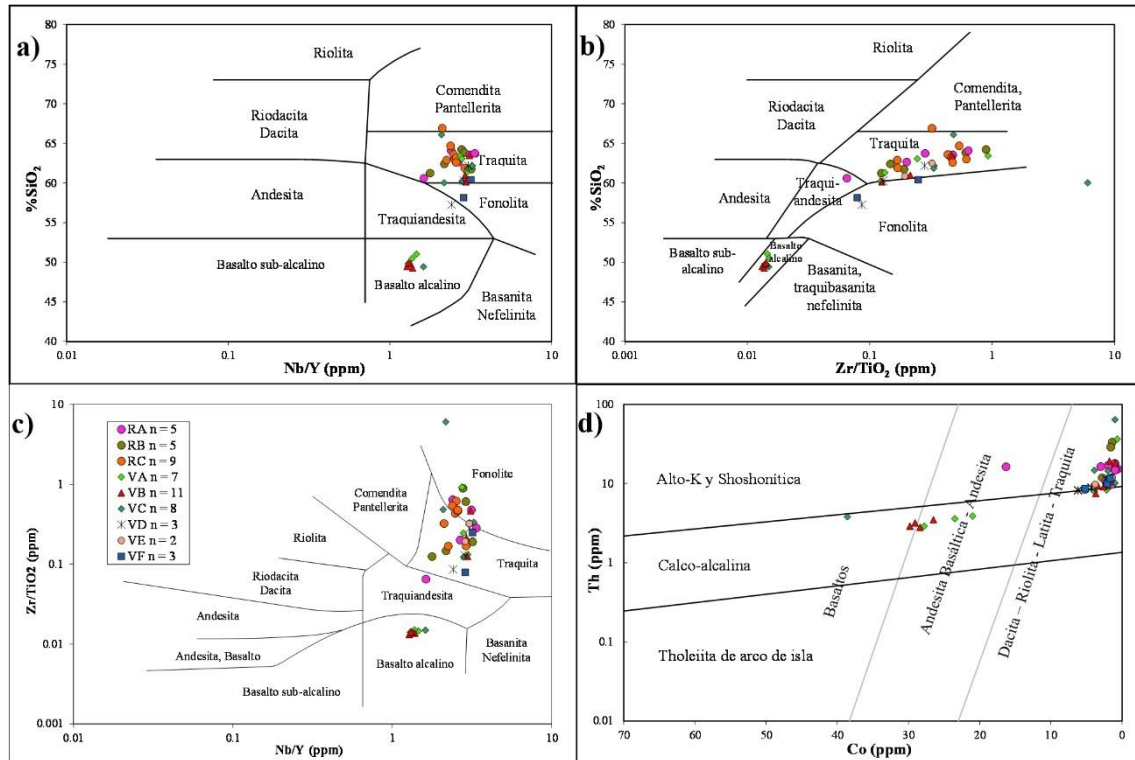


Figura 4.3. Diagramas de clasificación de rocas ígneas basados en el uso de elementos inmóviles, a) Diagrama de clasificación SiO_2 vs. Nb/Y (Winchester y Floyd, 1977), b) Diagrama de clasificación SiO_2 vs. Zr/TiO_2 (Winchester y Floyd, 1977), c) Diagrama de clasificación Zr/TiO_2 vs. Nb/Y (Winchester y Floyd, 1977) d) Diagrama de clasificación Th-Co (Hastie et al., 2007).

Se generaron una serie de diagramas multielementales *Spider* y de Tierras Raras (REE) (Sun y McDonough, 1989), en los cuales se graficaron las firmas de las 53 muestras de geoquímica. A partir de dichos diagramas, se identificaron una serie de patrones de firmas que, dadas sus características en común, permitieron agrupar las muestras en tres grupos representativos, denominados Grupo 1, 2 y 3. Partiendo de esta clasificación, se realizaron los diagramas individuales para cada grupo identificado.

En primer lugar, se realizaron diagramas multielementales *Spider* normalizados a manto primitivo (Fig. 4.4; Sun y McDonough, 1989). Las muestras del Grupo 1 (Fig. 4.4a), presentan una pendiente relativamente baja, con un enriquecimiento de los elementos LILE (*Large-Ion Lithophile Elements*), en el orden de 10 veces mayores relativo al contenido de los elementos HFSE (*High Field Strength Elements*), presentando anomalías positivas de Ba, K, Pb y Sr, y anomalías negativas de Th e Y. Por otra parte, las muestras del Grupo 2 (Fig. 4.4b), presentan una pendiente relativamente mayor que el Grupo 1, con un enriquecimiento de elementos LILE en el orden de 10-15 veces mayor respecto a los elementos HFSE, los cuales muestran un aplanamiento desde el Gd al Lu, y tienen a

su vez anomalías positivas de Th, K, Pb, Nd, Zr y Hf, y anomalías negativas de Ba, Sr, P y Ti. Finalmente, las muestras del Grupo 3 (Fig. 4.4c), presentan una pendiente relativamente alta, con un enriquecimiento de elementos LILE en el orden de 10-15 veces, respecto a los elementos HFSE que muestran un patrón aplanado, y a su vez presentando importantes anomalías positivas de Th, K, Pb, Nd, Zr y Hf, y negativas de Ba, Sr, P, Eu y Ti.

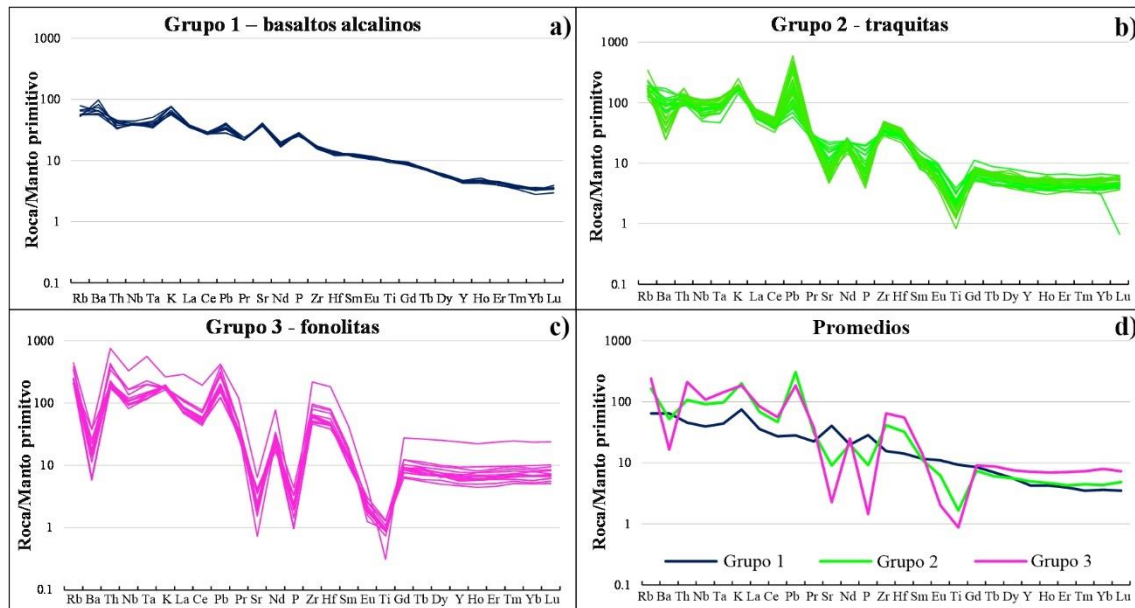


Figura 4.4. Diagramas Spider de los tres grupos de diferentes firmas geoquímicas, normalizados a Manto Primitivo (Sun y McDonough, 1989): a) Muestras denominadas Grupo 1 (Líneas azules); b) Grupo 2 (líneas verdes); c) Grupo 3 (líneas magenta) y d) se calculó la firma promedio de cada grupo, y se seleccionó la muestra más aproximada, siendo la muestra VA-1495 representante del Grupo 1, VB-2710 representante del Grupo 2 y RA-1448 representante del Grupo 3.

En los diagramas de REE normalizados a condrito carbonáceo (Fig. 4.5) (Sun y McDonough, 1989), las muestras del Grupo 1 (Fig. 4.5a) presentan un contenido de LREE (*Light Rare Earth Elements*, tierras raras livianas) 10 veces mayor al contenido de HREE (*High Rare Earth Elements*, tierras raras pesadas), manteniendo una pendiente negativa. En las muestras del Grupo 2 (Fig. 4.5b) se identifica un enriquecimiento de los elementos LREE, 10-15 veces mayor que los HREE, que a su vez, tienen una horizontalización de la pendiente entre los elementos Gd-Lu, y presentan una anomalía negativa de Eu con una relación de $Eu/Eu^* (Eu^*_N = \sqrt{Sm_N * Gd_N})$, (McLennan, 1985, en Rollinson y Peace, 2021), de 0,42-1, con una muestra que presenta anomalía positiva de Eu con Eu/Eu^* de 1,11. Finalmente las muestras del Grupo 3 (Fig. 4.5c) muestran un patrón con fuerte enriquecimiento de LREE en el orden de 10-15 veces a las tierras raras pesadas,

presentando una horizontalización de la pendiente entre los elementos HREE, y con anomalía negativa de Eu con Eu/Eu^* de 0,08-0,33.

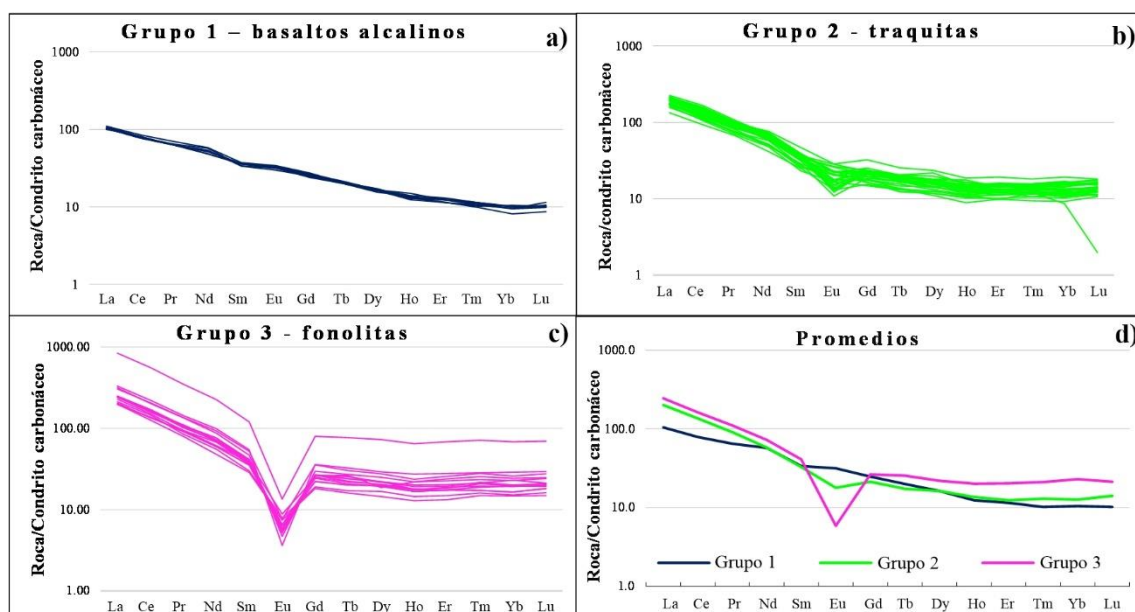


Figura 4.5. Diagramas de tierras raras REE normalizado a condrito carbonáceo (Sun y McDonough, 1989) de los tres grupos de diferentes firmas geoquímicas: a) Muestras denominadas Grupo 1 (líneas azules); b) Grupo 2 (líneas verdes); c) Grupo 3 (líneas magenta) y d) se calculó la firma promedio de cada grupo, y se seleccionó la muestra más aproximada, siendo la muestra VA-1495 representante del Grupo 1, VB-2710 representante del Grupo 2 y RA-1448 representante del Grupo 3.

Por otro lado, también se utilizó un diagrama bivariado que plotea las relaciones normalizadas a condrito carbonáceo de Gd_N/Yb_N vs La_N/Sm_N (Fig. 4.6). Este diagrama sirve para identificar en forma gráfica los cambios de pendiente de las firmas de los diagramas multielementales, y se puede correlacionar con el enriquecimiento de los grupos extremos de elementos. El alto valor de la relación La_N/Sm_N , es indicador de una alta pendiente de los elementos LILE, que se identifica en los grupos 2 y 3 (Fig. 4.4b-c), y se correlaciona con un enriquecimiento de estos respecto a los HFSE. La relación Gd_N/Yb_N sirve como indicadora de la disminución de la pendiente de los elementos HFSE, identificada en los grupos 2 y 3 (Fig. 4.4b-c). Por otra parte, las muestras del Grupo 1 presentan valores de La_N/Sm_N y Gd_N/Yb_N aproximado a las tres unidades, lo que corresponde a una pendiente relativamente baja. En conjunto, se puede observar como en las muestras de los grupos 2 y 3, hay un enriquecimiento de elementos LILE.

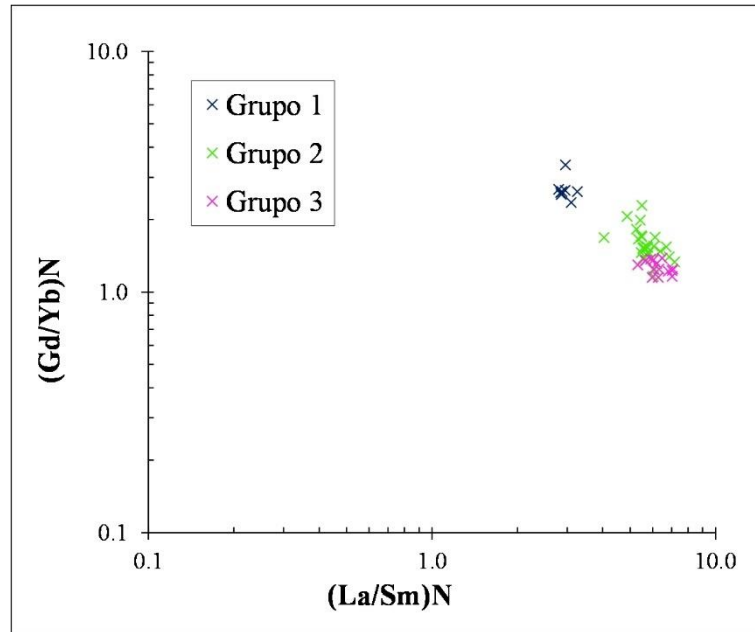


Figura 4.6. Diagrama bivariado $(Gd/Yb)_N$ vs. $(La/Sm)_N$ normalizados a condrito carbonáceo (Sun y McDonough, 1989).

Se extrapoló la clasificación de las muestras de geoquímica deducida de los diagramas multielementales, a los diagramas de clasificación de Winchester y Floyd (1977) y Hastie et al. (2007) (Fig. 4.7) y se observó una equivalencia con los tres grupos identificados (Tabla 1). Partiendo de la bimodalidad observada en los diagramas de la Fig. 4.1 y Fig. 4.3, se identificó que el miembro de composición básica se corresponde con el Grupo 1 (Fig. 4.7). En cambio, el miembro de composición félsica se puede dividir dos grupos bien definidos, el Grupo 2 se ubica en el campo de composición traquítica en todos los diagramas de clasificación, mientras que el Grupo 3 se identifica como traquita según los diagramas de SiO_2 vs. Nb/Y y SiO_2 vs. Zr/TiO_2 (Fig. 4.7a-b), fonolita en el diagrama de Zr/TiO_2 vs. Nb/Y (Fig. 4.7c) y en el diagrama de Th vs. Co entran en el campo de las traquitas de alto K (Fig. 4.7d). La clasificación de las muestras del Grupo 3 se puede correlacionar con las firmas de los diagramas multielementales, que muestran un importante enriquecimiento de elementos LILE y una marcada anomalía negativa de europio en todas las muestras. Considerando esto último, se toma como referencia la clasificación como fonolita del diagrama de Zr/TiO_2 vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977) (Fig. 4.7c).

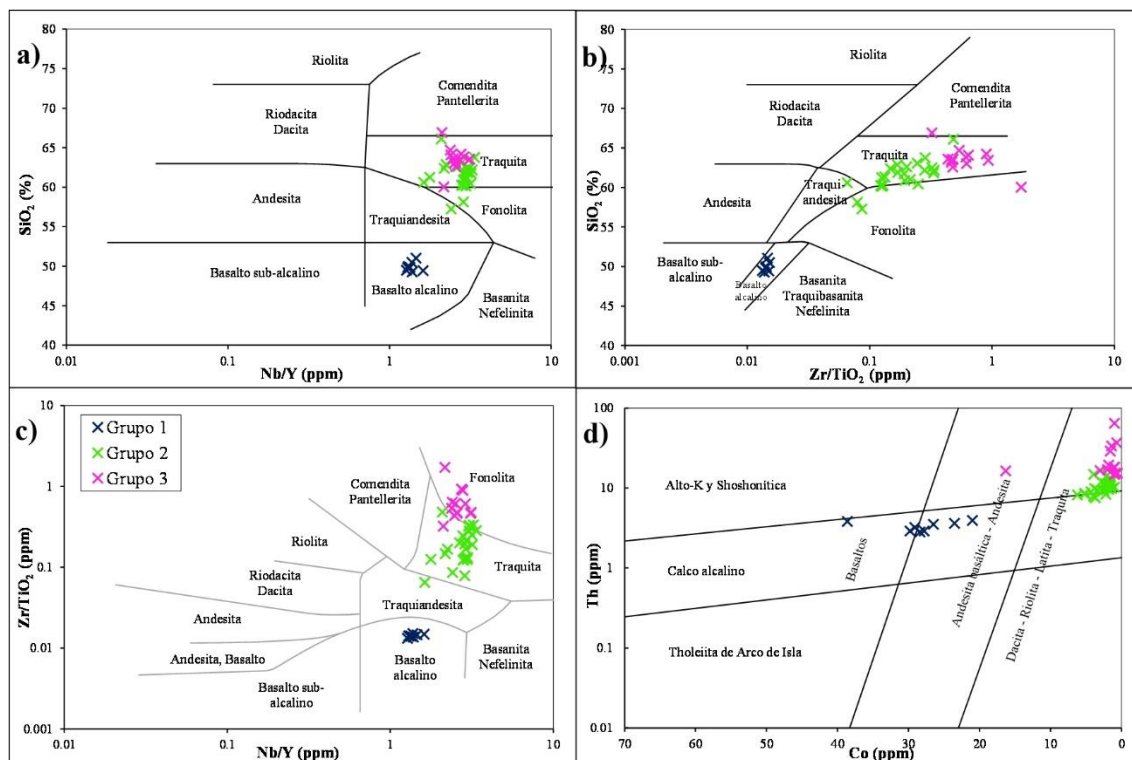


Figura 4.7. Diagramas de clasificación de rocas ígneas basados en el uso de elementos inmóviles, que grafican los grupos identificados a partir de los diagramas *Spider* y REE a-c) Clasificación de Winchester y Floyd (1977) d) Clasificación de Hastie et al., (2007).

Tabla 1. Tabla que resume los grupos identificados a partir de los diagramas de clasificación geoquímica, ordenado según pozo de origen, grupo de muestras correspondientes a cada grupo y finalmente la clasificación geoquímica basada en los diagramas de Winchester y Floyd (1977; Fig. 4.7).

	Grupo de muestra	Nombre de la muestra	Clasificación geoquímica
Grupo 1	VA	VA-1325, VA-1495 y VA-1671	Basaltos alcalinos
	VB	VB-1264, VB-1276, VB-1297 y VB-1366	
	VC	VC-1710	
Grupo 2	RA	RA-1950, RA-2032 y RA-2058	Traquiandesita y traquitas
	RB	RB-1076, RB-1958 y RB-2030	
	RC	RC-1050 y RC-2005	
	VA	VA-2667, VA-2700 y VA-2736	
	VB	VB-2677, VB-2689, VB-2695, VB-2710 y VB-2716	
	VC	VC-2108, VC-2205, VC-2887, VC-2962, VC-2977 y VC-2986	
	VD	VD-2566, VD-2611 y VD-2638	
	VE	VE-2783 y VE-2801	
Grupo 3	VF	VF-2849, VF-2888 y VF-2927	Fonolitas
	RA	RA-1448 y RA-1500	
	RB	RB-1673 y RB-1703	
	RC	RC-1580, RC-1615, RC-1630, RC-2722, RC-2742, RC-2910 y RC-2930	
	VA	VA-1872	
	VB	VB-1714 y VB-1717	
	VC	VC-2135	

4.3. Análisis petrográfico

4.3.1. Muestras del yacimiento Las Manadas - Risco Alto

De este yacimiento se analizó *cutting* y cortes delgados obtenidos del pozo RA (Fig. 3.1), correspondiente a las unidades de procedencia de las muestras geoquímicas **RA-1950** y **RA-2032**.

Unidad correspondiente a la muestra de geoquímica RA-1950

La unidad analizada corresponde a una traquita (Grupo 2), según su clasificación geoquímica. Se estudió el *cutting* proveniente de las profundidades 1954, 1958 y 1962 m.b.b.p. (metros bajo boca de pozo). En lupa binocular se identificó una roca leucocrática de color gris muy claro a pardo claro, de textura porfírica (Fig. 4.8a), que en microscopio se observa también con textura en parte glomeroporfírica (Fig. 4.8b-c), con pasta de grano muy fino a microcristalina. Esta pasta presenta una textura traquítica, en menor medida intergranular (Fig. 4.8b-c). Presenta fenocristales euhedrales de feldespato alcalino de hasta 2 mm (Fig. 4.8a) con textura poiquilítica englobando biotitas y minerales opacos (Fig. 4.8b-c), y pasta con textura traquítica e intergranular en menor medida, conformada casi en su totalidad por microlitos de feldespatos alcalinos de hasta 0,2-0,5 mm de tamaño. Presenta escasos minerales máficos (2-3% según comparadores visuales) como biotita subhedral, y minerales opacos ecuanes menores a los 0,2 mm que se encuentran aislados y también conformando glomérulos con egirina subhedral menor a 0,2 mm (Fig. 4.8). La presencia de plagioclasas euhedrales, feldespatoideos (posible nefelina) y apatita como minerales accesorios, permiten definir esta roca, según criterios de Le Maitre et al. (2002), como una traquita nefelínica biotítica peralcalina. Por último, presentaría alteración argílica pervasiva leve, y disseminación de carbonatos y óxidos de hierro.

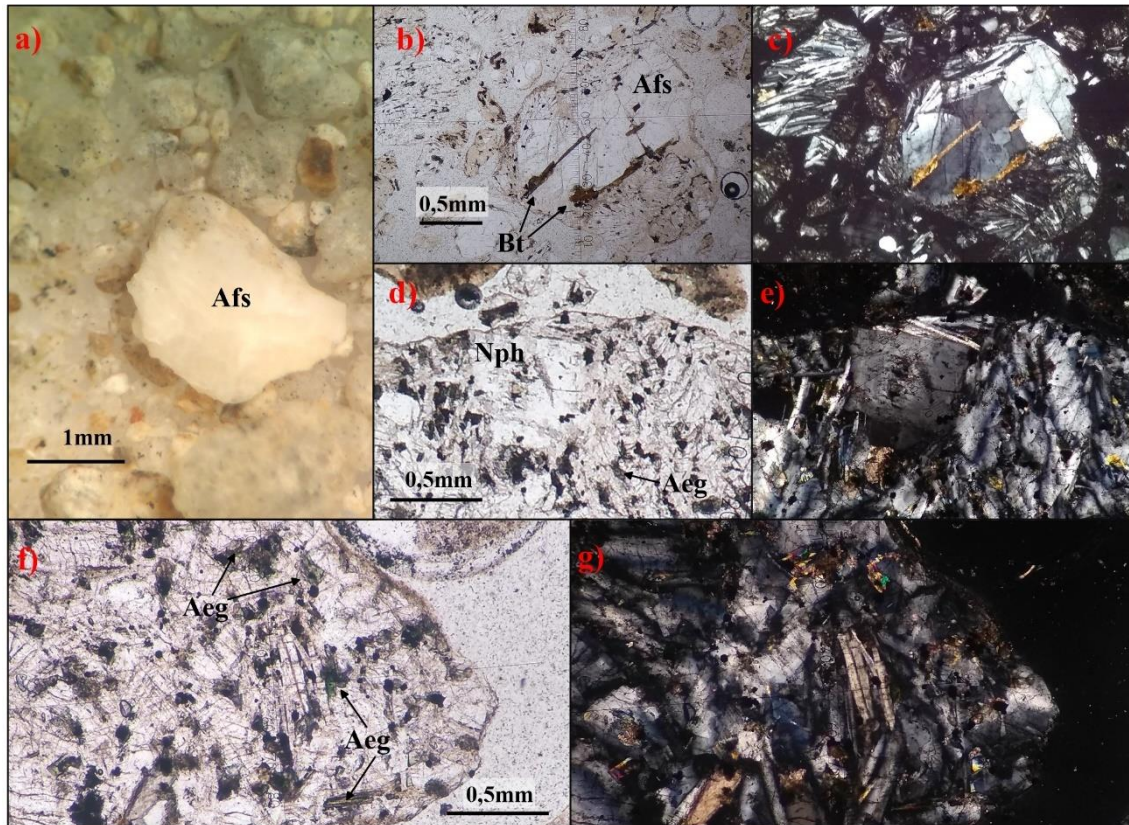


Figura 4.8. Fotografía y fotomicrografía de la muestra **RA-1950**, a) Detalle de muestra de *cutting*, donde se identifica un fragmento con un fenocristal de feldespato alcalino (Afs), y fragmentos de pasta microscópica; b) y c) Detalle de la muestra de corte delgado, en nicols paralelos y cruzados respectivamente, en donde se observa un glomérulo de fenocristales de feldespatos alcalinos y biotitas (Bt); d) y e) detalle de corte delgado en nicols paralelos y cruzados respectivamente, en donde se identifica un fenocristal de nefelina (Nph) en una pasta de microlitos de feldespato alcalino con minerales egirina (Aeg) y minerales opacos diseminados; f) y g) detalle de corte delgado en nicols paralelos y cruzados respectivamente, en donde se identifica un fragmento de *cutting* compuesto por microlitos de feldespatos alcalinos con egirinas (Aeg) diseminadas y conformando glomérulos con minerales opacos.

Unidad correspondiente a la muestra de geoquímica RA-2032

La unidad analizada corresponde a una traquita (Grupo 2), según su clasificación geoquímica. Se estudió el *cutting* proveniente de las profundidades 2030, 2034, 2036 y 2040 m.b.b.p. Se identificó en lupa binocular una roca leucocrática, color gris claro y en partes pardo claro a oscuro, de textura porfírica y glomeroporfírica, con pasta holocristalina (Fig. 4.9a-b), con textura traquítica (Fig. 4.9c-d), con sectores intergranulares. Se identificaron fenocristales de feldespatos alcalinos subhedrales a euhedrales de hasta 2 mm, de textura poiquilítica, en una pasta compuesta casi totalmente por microlitos de feldespatos alcalinos de 0,2 mm hasta 0,5 mm. Las muestras contienen minerales máficos en forma minoritaria (~3-5%), mayoritariamente compuesto por minerales opacos ecuanes y prismáticos diseminados en la pasta (Fig. 4.9c) y biotitas

subhedrales-euhedrales como fenocristales presentes en los glomérulos (Fig. 4.9a). Se identificaron minerales accesorios como anfíboles fibrosos solo vistos en muestras de *cutting* (Fig. 4.9a), apatitas euhedrales como inclusiones en fenocristales de feldespatos alcalinos, plagioclasas euhedrales y piritas anhedrales aisladas (Fig. 4.9b). Considerando lo descrito anteriormente, esta unidad se clasificó como una traquita biotítica. Finalmente, presenta zonas con alteración argílica pervasiva leve, también presenta alteración carbonática conformada por carbonatos diseminados (Fig. 4.9c-d) ocupando espacios intergranulares, venas de carbonato, y por otra parte, presenta diseminación de óxidos de hierro.

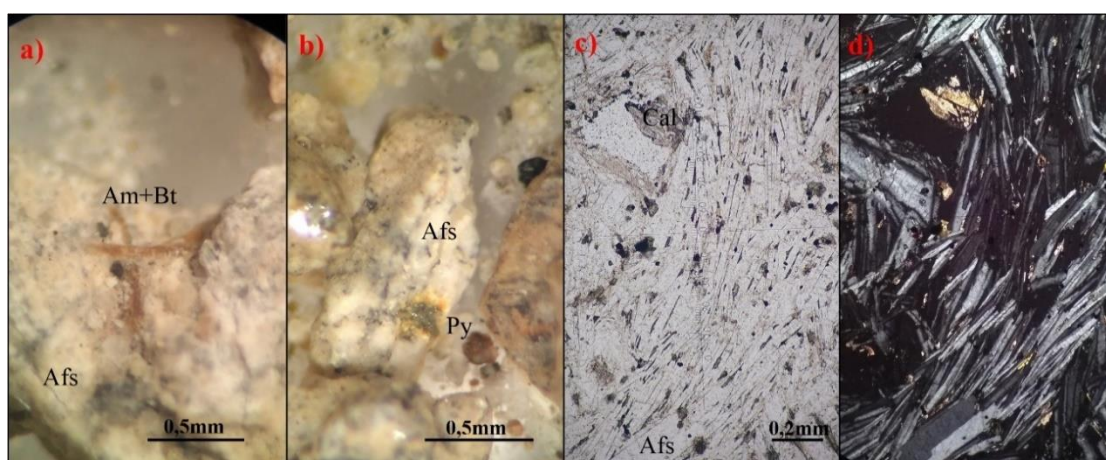


Figura 4.9. Fotografías y fotomicrografías de la muestra RA-2032, a) un fragmento de *cutting* en el que se identifica un fenocristal de feldespato alcalino (Afs) subhedral, anfíboles (Am) euhedrales fibrosos y biotitas (Bt) subhedrales b) Fragmento de *cutting* en el que se identifican microlitos de feldespatos alcalinos y un cristal anhedral de pirita (Py) aislado; c) y d) Fotomicrografía en nicols paralelos y cruzados respectivamente, donde se identifica un fenocristal de feldespato alcalino, con pasta conformada por microlitos de feldespatos alcalinos, con carbonatos (Cal) y minerales opacos diseminados.

4.3.2. Muestras del yacimiento Volcán Auca Mahuida

Proveniente de los pozos del yacimiento Volcán Auca Mahuida (VAM; Fig. 3.1), se analizó el *cutting* y cortes delgados correspondientes a las unidades de procedencia de las muestras geoquímicas obtenidas de los pozos VA (VA-1872 y VA-2700), VB (VB-1264 y VB-1717) y VC (VC-1710).

Unidad correspondiente a la muestra de geoquímica VA-1872

La unidad analizada corresponde a una fonolita (Grupo 3), según su clasificación geoquímica. Se estudió el *cutting* proveniente de las profundidades 1854, 1857, 1860, 1863 y 1866 m.b.b.p. Se identificó una roca leucocrática de color gris muy claro y pardo

claro (Fig. 4.10a), holocristalina, de textura porfírica de pasta de grano muy fino (entre 0,2-0,5 mm) de textura traquítica, en partes intergranular. Los fenocristales de feldespatos alcalinos euhedrales a subhedrales, alcanzan 1 mm de tamaño, mientras que la pasta se compone casi en su totalidad por microlitos euhedrales de feldespato alcalino (Fig. 4.10b-c). El contenido de minerales máficos no supera el 2% y se compone de opacos ecuanes subhedrales microcristalinos diseminados. Contiene minerales accesorios como egirina anhedral menor a 0,2 mm, apatita euhedral de 10-20 μm y cristales de cuarzo anhedral aislados de 0,1 mm. Con esto, la unidad se identificó como una traquita peralcalina. Los fragmentos presentan una fuerte alteración carbonática pervasiva, con diseminación de carbonatos euhedrales a anhedrales, rellenando intersticios intergranulares y reemplazando minerales, detectado incluso en la roca de caja, y una leve alteración argílica pervasiva. Finalmente, se identifican fragmentos aislados de una roca mesocrática compuesta por plagioclasa, clinopiroxenos y minerales opacos que también presenta carbonatos diseminados.

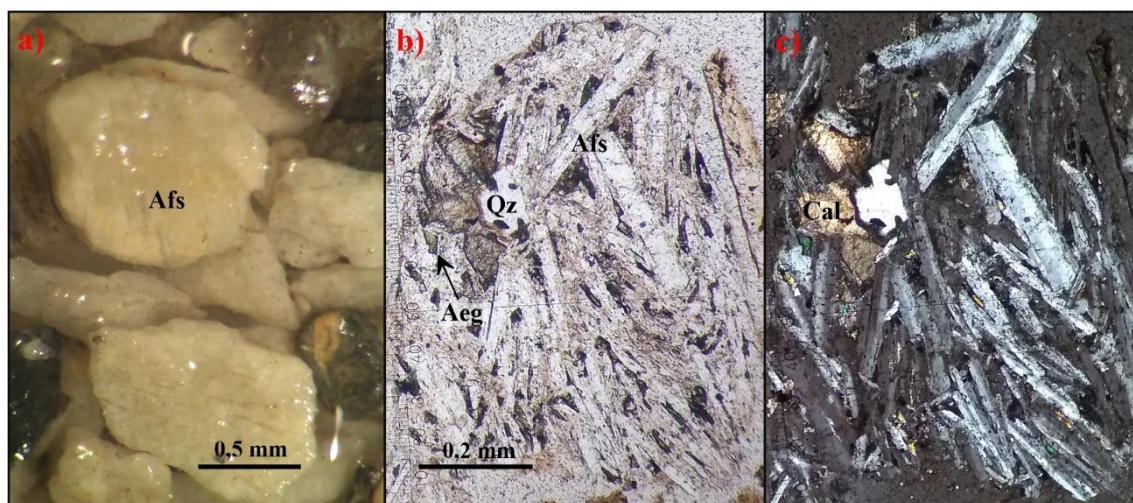


Figura 4.10. Fotografías y fotomicrografías de la muestra VA-1872, a) Muestra *cutting* en la que se observó fragmentos leucocráticos, conformados por fenocristales de feldespatos alcalinos (Afs) en una pasta de textura afanítica; b) y c) Fotomicrografía del *cutting*, en nicoles paralelos y nicoles cruzados respectivamente, en las que se identifica un fragmento leucocrático con textura traquítica, conformada por microlitos de feldespatos alcalinos, en el que además se identificó egirina (Aeg) anhedral, un cristal de cuarzo (Qz) anhedral y calcita (Cal) diseminada.

Unidad correspondiente a la muestra de geoquímica VA-2700

La unidad analizada corresponde a una traquita (Grupo 2), según su clasificación geoquímica. Se estudió el *cutting* proveniente de las profundidades 2667, 2679, 2700 y 2706, y un corte delgado generado a partir de *cutting*. Se identificó una roca leucocrática

de color blanco a gris muy claro, holocristalina, porfírica con pasta granular de grano fino a muy fino (Fig. 4.11a-b). Los fenocristales son de feldespatos alcalinos subhedrales de textura poiquilítica de hasta 1,5 mm y de plagioclasas euhedrales de hasta 1 mm. La pasta presenta una textura granuda (Fig. 4.11c-d), compuesta mayoritariamente por feldespatos alcalinos euhedrales de 0,2-0,5 mm, con plagioclasas euhedrales aisladas. También se observan escasos minerales máficos en la pasta, casi en su totalidad conformados por opacos ecuanes menores a 0,2 mm y en menor medida biotitas subhedrales. Se identificó como minerales accesorios nefelinas subhedrales a anhedrales de hasta 0,2 mm, magnetitas y apatitas euhedrales menores a 20 µm incluidas en oikocristales de feldespatos alcalinos. La muestra se clasificó como una sienita nefelínica. Finalmente, las muestras presentan alteración argílica pervasiva baja, intensa alteración carbonática con cristales aislados y diseminados con zeolitas asociadas y diseminación de óxidos de hierro.

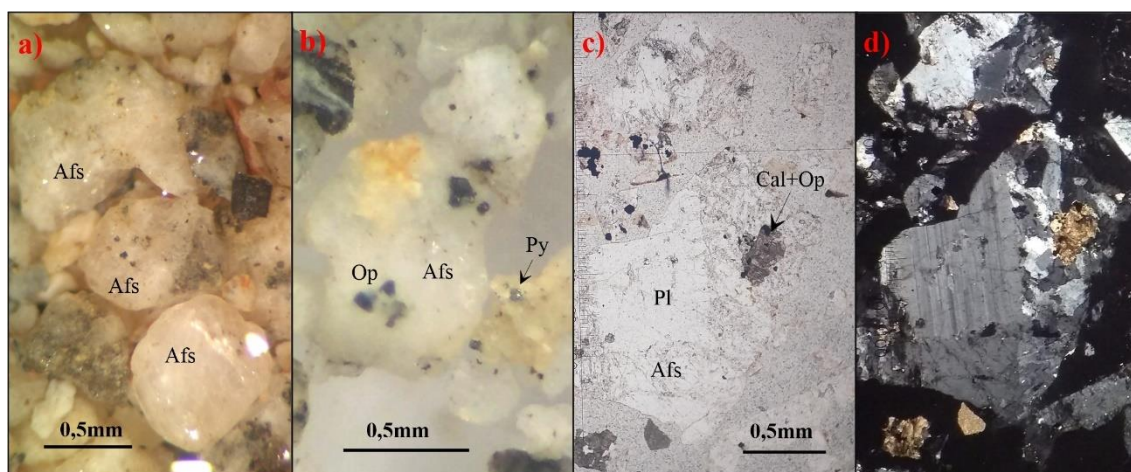


Figura 4.11, a) muestra de *cutting*, en la que se observa una roca leucocrática granular, con fenocristales de feldespato alcalino (Afs), un glomérulo de minerales opacos (Op) y una pirita (Py) aislada; b) muestra de *cutting* en donde se señala un fenocristal de feldespato alcalino, y fragmentos de pasta granular, inequigranular; c) y d) fotomicrografías del corte delgado, de nicoles paralelos y nicoles cruzados respectivamente, en los que se identifica un glomérulo, con fenocristales de plagioclasa (Pl) y feldespato alcalino euhedrales, en una pasta granular de grano muy fino.

Unidad correspondiente a la muestra de geoquímica VB-1264

La unidad analizada corresponde a un basalto alcalino (Grupo 1), según su clasificación geoquímica. Se estudió el *cutting* proveniente de las profundidades 1264, 1267 y 1270 m.b.b.p. Se identificó como una roca melanocrática de color gris oscuro (Fig. 4.12a), holocristalina, granosa de grano muy fino, con textura traquitoide. Se identificó que la muestra contiene un gran contenido de minerales félsicos, conformados por microlitos de

plagioclasas euhedrales de 0,2 mm y hasta 0,5 mm. Los minerales máficos representan el 25-30% según comparadores visuales, y es con el análisis del corte delgado que, se identifica se componen mayoritariamente por clinopiroxenos (grupo de las augitas) de hasta 0,2 mm, que a su vez conforman agrupaciones minerales, con ortopiroxenos aislados y opacos ecuanes subhedrales (Fig. 4.12b-c). Con estos datos, esta unidad se clasifica como un micro-gabro. Finalmente, se identificó que las muestras presentan vetillas y zonaciones con serpentina con opacos asociados, sobre estas y afectando a toda la muestra una alteración argílica pervasiva leve, y alteración carbonática, asociada a vetillas de carbonatos y a cristales aislados.

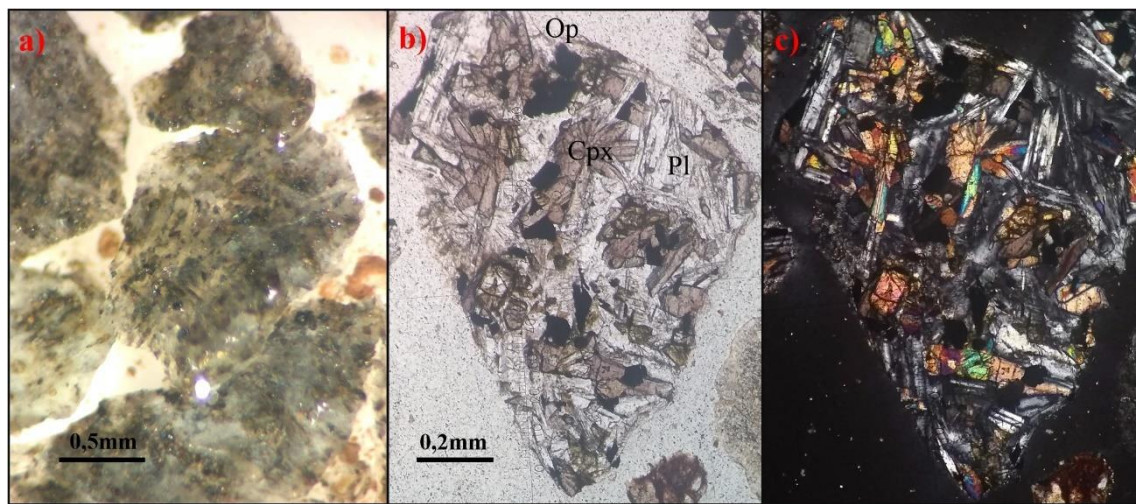


Figura 4.12, a) muestra de *cutting*, en donde se identifican una muestra melanocrática con minerales máficos y microlitos de plagioclasas blancas; b) y c) figuras del corte delgado, de nicols paralelos y nicols cruzados respectivamente, donde se identifican agrupaciones de clinopiroxenos (Cpx) y opacos (Op), y microlitos de plagioclasas (Pl) conformando una textura traquitoide.

Unidad correspondiente a la muestra de geoquímica VB-1717

La unidad analizada corresponde a una fonolita (Grupo 3), según su clasificación geoquímica. Se estudió el *cutting* proveniente de las profundidades 1714, 1717 y 1726 m.b.b.p. Se identificó una litología leucocrática de color gris a gris verdosa y azulada (Fig. 4.13a), holocristalina, de textura porfírica, con fenocristales conformando glomérulos, con pasta de grano muy fino y textura traquítica, en menor medida intergranular. Contiene fenocristales de feldespatos alcalinos euhedrales de hasta 1,5 mm (Fig. 4.13a-b-c), y de nefelina subhedral menores a 1 mm. La pasta se compone ampliamente por microlitos de feldespatos alcalinos euhedrales de 0,2 mm, y minerales máficos definidos por egiirina subhedral y minerales opacos. Contiene minerales

accesorios como biotita y sodalita aislada (Fig. 4.13d-e). Con esto, la unidad se clasifica como una fonolita nefelínica peralcalina. Las muestras analizadas presentaron alteración argílica pervasiva leve, alteración carbonática baja, con diseminación de carbonatos, y una intensa diseminación de óxidos de hierro.

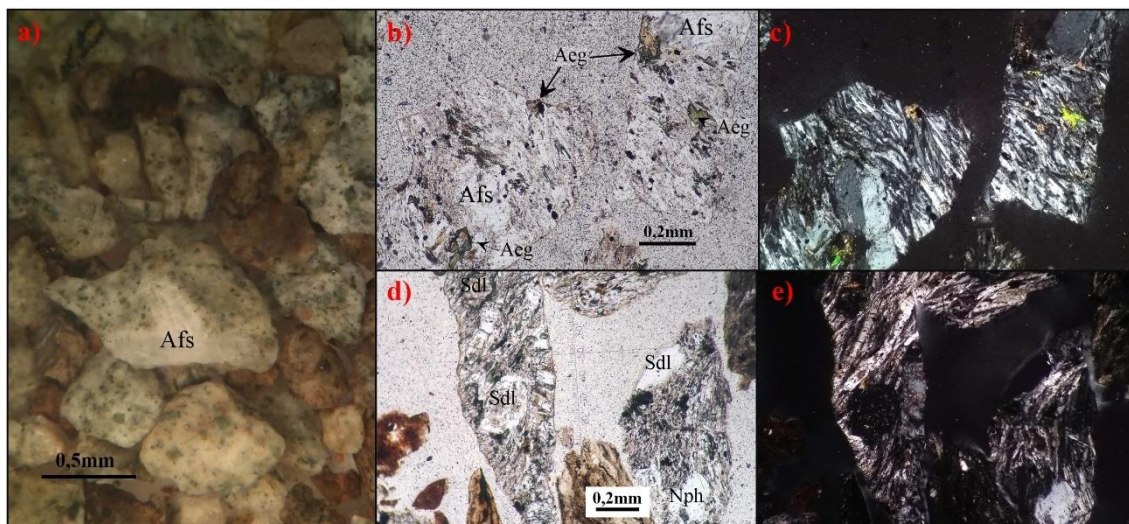


Figura 4.13, a) muestra de *cutting*, en la que se identifican fragmentos de textura porfírica con fenocristales de feldespato alcalino (Afs), en una pasta de grano muy fino a microcristalina, color verde azulada; b) y c) corte delgado, en nicoles paralelos y nicoles cruzados respectivamente, donde se identifican fenocristales de feldespatos alcalinos con macla de Carlsbad, en una pasta de microlitos de feldespatos alcalinos, con egrinas (Aeg) anhedrales, diseminación de minerales opacos; d) y e) fragmentos de roca de caja (color marrón) y de los intrusivos (color pálido), en donde se identificó fenocristales de sodalita (Sdl) isótropa y de nefelina (Nph), en una pasta de microlitos de feldespatos alcalinos con egrinas anhedrales y diseminación de minerales opacos.

Unidad correspondiente a la muestra de geoquímica VC-1710

La unidad analizada corresponde a un basalto alcalino (Grupo 1), según su clasificación geoquímica. Se estudió el *cutting* proveniente de las profundidades 1710 y 1715 m.b.b.p. Se identificó una roca melanocrática de color gris oscuro a negro (Fig. 4.14a), holocristalina, granosa de grano muy fino a microcristalino y con textura traquitoide. El contenido de los minerales leucocráticos representa la mayor parte de la muestra, hasta aprox. un 60%, y se componen casi en su totalidad por microlitos de plagioclasas (Fig. 4.14b-c) de 0,2-0,5 mm y feldespatos alcalinos subhedrales de 0,2-0,5 mm (1-2%). Los minerales máficos se componen mayoritariamente de clinopiroxenos (posiblemente de la serie de las augitas) subhedrales a euhedrales de hasta 0,2 mm, que a su vez son los que conforman ampliamente una serie de agrupaciones, luego contiene ortopiroxenos subhedrales de 0,2 mm en menor medida, biotitas subhedrales de 0,1 mm y finalmente

opacos ecuanter microcristalinos. Estas rocas contienen apatitas euhedrales accesorias, menores a 0,1 mm. Con esto, la unidad muestreada se clasifica como un micro-gabro. Finalmente, se identificó vetas y zonaciones con una asociación mineral criptocristalina con serpentina y, por otra parte, se identificó una alteración carbonática pervasiva y con diseminados.

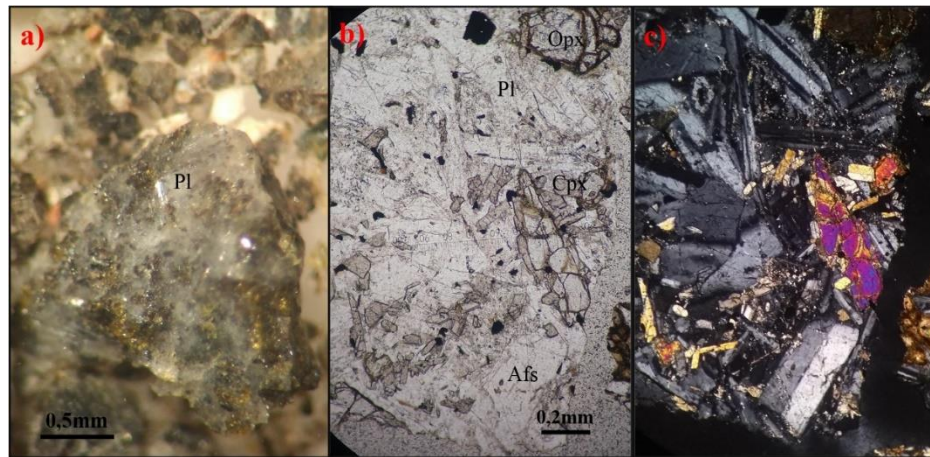


Figura 4.14, muestra equivalente a VC-1710, a) muestra de *cutting*, muestra de textura traquitoide de grano muy fino a microcristalino, con microlitos de plagioclasa (Pl); b) y c) corte delgado en nicols paralelos y cruzados respectivamente, donde se observó una agrupación mineral dada por clinopiroxenos (Cpx) subhedrales, un feldespato alcalino (Afs) euhedral y plagioclasas (Pl) subhedrales, y microlitos de plagioclasas de menor tamaño conformando una textura traquitoide.

4.4. Análisis de perfiles de pozos

Tomando como base los diagramas de clasificación geoquímica generados y los análisis petrológicos realizados, se extrapolan los resultados a los análisis de perfilaje de pozo, de los nueve pozos muestreados para este trabajo. Con motivo de no generar un trabajo de excesiva extensión, se presentan los perfiles más representativos de cada grupo geoquímico.

Representativos del Grupo 1, en el pozo VB, se analizó la unidad más somera correspondiente a la muestra VB-1264 (Fig. 4.15a), de composición basáltica alcalina (Fig. 4.15c), ubicada a una profundidad 1263-1285 m.b.b.p. (Fig. 4.15a). Se leyó valores de Gamma Ray (GR) entre 50-60 gAPI, mediciones del perfil de factor fotoeléctrico (PEF) entre 4,63-5,25, valores del perfil de densidad (DEN) con valores entre 2,62-2,77 g/cm³ y un perfil neutrónico (NEU) con mediciones entre 0,08 y 0,13.

En el pozo VC se analizó la unidad de la que se muestreó la muestra **VC-1710** (Fig. 18b), de composición basáltica alcalina (Fig. 4.15c), localizada a una profundidad entre 1678 y 1738 m.b.b.p. (Fig. 4.15b). Se midió un valor de GR entre 52-62 gAPI, valores del perfil PEF de 4,76-5,25, densidad medida entre 2,82-2,93 g/cm³, y valores del neutrónico de 0,05-0,08.

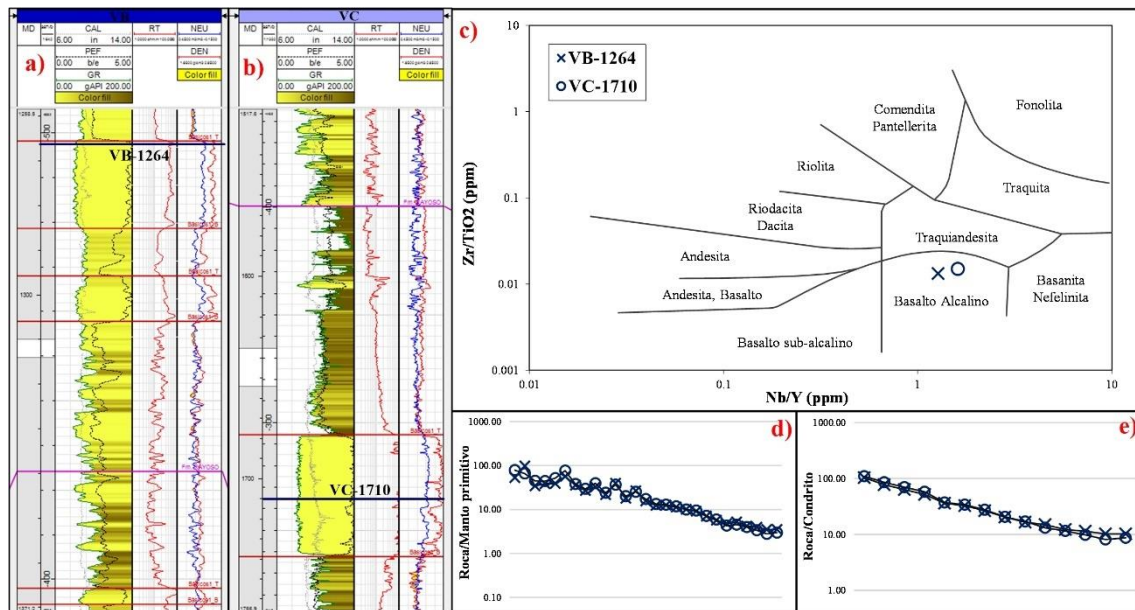


Figura 4.15, a) detalle del perfilaje del pozo VB, desde 1258,5 y 1371,2 m.b.b.p., en donde se remarca la ubicación de obtención de la muestra de geoquímica VB-1264; b) detalle del perfilaje del pozo VC, desde 1517,6 y 1766,9 m.b.b.p., en donde se remarca la ubicación de obtención de la muestra de geoquímica VC-1710; c) diagrama de Winchester y Floyd (1977), en donde se grafica la composición de las muestras del perfil de pozo; d) Diagrama Spider (Sun y McDonough, 1989) con las firmas de las muestras presentadas en el perfil de pozo; e) Diagrama REE (Sun y McDonough, 1989) con las firmas de las muestras presentadas en el perfil de pozo.

Se identificó unidades del Grupo 2 en el Área de concesión Las Manadas - Risco Alto (Fig. 3.1), en los perfiles combinados del pozo RA del que se obtuvo las muestras **RA-1950** y **RA-2032** (Fig. 4.16a). A la profundidad de obtención de la muestra **RA-1950**, de composición traquítica (Fig. 4.16c), se identificó un cuerpo ubicado entre 1904-1984 m.b.b.p., con mediciones de GR entre 140-150 gAPI, mediciones de PEF entre 3,2-3,38, densidad entre 2,38-2,45 gr/cm³ y neutrónico entre 0,075-0,110 V/V. Por otra parte, la muestra **RA-2032** de composición traquiandesítica (Fig. 4.16c), se vinculó a un cuerpo entre 2021 y 2030,5 m.b.b.p., y presentó mediciones de GR de 112-120 gAPI, PEF entre 3,6-3,72, densidad entre 2,42-2,5 gr/cm³ y neutrónico de 0,093-0,120.

En el área de concesión Volcán Auca Mahuida (Fig. 3.1), en el perfilaje del pozo VA se analizó las muestras **VA-2667** y **VA-2700**, ambas de composición traquítica (Fig 4.16c), identificando que ambas provienen de una misma unidad ubicada entre 2658 y 2745 m.b.b.p. (Fig. 4.16b). La muestra **VA-2667** presentó valores de GR entre 160-170 gAPI, con picos mayores a 180 gAPI, PEF presentando valores entre 3,22-3,35, del perfil de densidad con valores de 2,43-2,51 g/cm³, y neutrónico entre 0,03-0,06. La muestra **VA-2700** presentó valores de GR entre 126-135 gAPI, PEF entre 3,3-3,5, densidad con mediciones entre 2,49-2,56 g/cm³ y neutrónico entre 0,069-0,083.

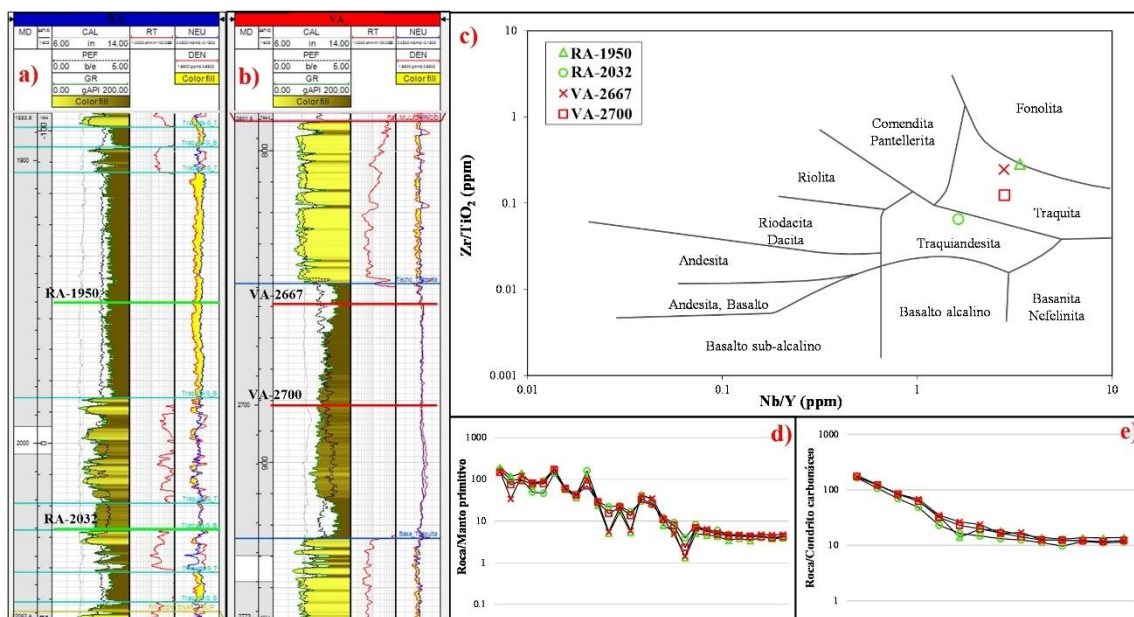


Figura 4.16. a) Detalle del perfilaje del pozo RA, entre 1883,5 y 2062,4 m.b.b.p., en donde se remarca la ubicación de obtención de las muestras de geoquímica RA-1950 y RA-2032; b) Detalle del perfilaje del pozo VA, desde 2601,6 hasta 2773 m.b.b.p., en donde se remarca la ubicación de obtención de las muestras de geoquímica VA-2667 y VA-2700; c) Diagrama de Winchester y Floyd (1977), en donde se grafica la composición de las muestras señaladas en los perfiles combinados; d) Diagrama Spider (Sun y McDonough, 1989) con las firmas de las muestras presentadas en el perfil de pozo; e) Diagrama REE (Sun y McDonough, 1989) con las firmas de las muestras presentadas en el perfil de pozo.

Finalmente, se identificó unidades representativas del Grupo 3, en el pozo VA se analizó la muestra **VA-1872**, de composición fonolítica (Fig. 4.17c), proveniente de una unidad más somera entre 1855 y 1880 m.b.b.p. (Fig. 4.17a). Para esta unidad se leyó valores de GR entre 296-315 gAPI, con picos de 360 gAPI y un valor extremo en el núcleo de 144 gAPI, valores de PEF entre 3,0-3,2, valores de densidad de 2,43 g/cm³ y que oscilan hasta 2,37 g/cm³ en los bordes, y valores del perfil neutrónico de 0,14 en el núcleo del cuerpo hasta 0,07-0,12 en los bordes.

Del pozo VB se analizó la muestra **VB-1717**, de composición fonolítica (Fig. 4.17c) se obtuvo de un cuerpo entre 1737 y 1709 m.b.b.p. (Fig. 4.17b). Se leyó valores de GR entre 160-180 gAPI en el núcleo y 210-225 gAPI en los bordes, valores de PEF entre 3,0-3,2, valores del perfil de densidad con valores entre 2,39-2,48 g/cm³ en el núcleo y 2,47-2,52 g/cm³ en los bordes, y un perfil neutrónico con valores entre 0,09-0,13 en el núcleo y 0,05-0,09 en los bordes.

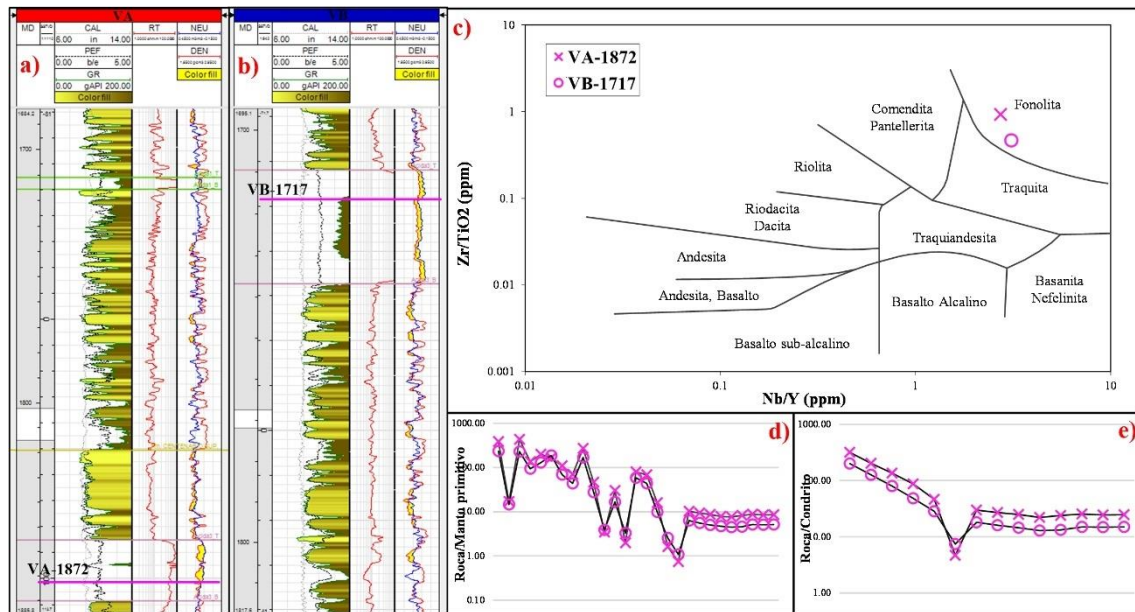


Figura 4.17. a) Detalle del perfilaje del pozo VA, desde 1684,2 hasta 1885,8 m.b.b.p., en donde se remarca la ubicación de obtención de la muestra de geoquímica VA-1872; b) Detalle del perfilaje del pozo VB, desde 1695,1 y 1817,6 m.b.b.p., en donde se remarca la ubicación de obtención de la muestra de geoquímica VB-1717; c) Diagrama de Winchester y Floyd (1977), en donde se grafica la composición de las muestras del perfil de pozo; d) Diagrama Spider (Sun y McDonough, 1989) con las firmas de las muestras presentadas en el perfil de pozo; e) Diagrama REE (Sun y McDonough, 1989) con las firmas de las muestras presentadas en el perfil de pozo.

DISCUSIONES

A partir de los análisis geoquímicos se identificó que las unidades de subsuelo muestreadas presentan una bimodalidad composicional, con una moda de composición básica (traqui-basaltos según el diagrama TAS) y otra moda de composición ácida (traquitas según el Diagrama TAS). Con base en los diagramas multielementales, se pueden definir los tres grupos de muestras que se utilizan en este trabajo, siendo dos grupos de composición ácida, que se pueden diferenciar por anomalías positivas y negativas más pronunciadas en el Grupo 3, p. ej. un marcado incremento de la anomalía de europio. Posteriormente se pueden verificar en los análisis petrográficos y observación de perfilajes de pozo, que los grupos tienen características que los diferencian entre ellos.

Pallares et al. (2016), identifican que el magma del complejo volcánico Auca Mahuida proviene de dos fuentes mantélicas de distinta profundidad, las cuales se mezclan en una cámara magmática somera y posteriormente tienen una diferenciación por asimilación de roca de caja, dando lugar a la serie de composiciones que identificaron de los cuerpos volcánicos y coladas asociadas, compuestos por basaltos alcalinos, hasta traquitas y traquiandesitas. La bimodalidad identificada en este trabajo, se interpreta que es correspondiente a las unidades que abarcan esos extremos composicionales observados en superficie.

5.1 Correlación de pozos

Sumado a los perfiles combinados de los nueve pozos con geoquímica, se contó además con datos del perfilaje combinado de setenta y cuatro pozos (cincuenta y siete perfiles combinados de pozo del área de concesión Volcán Auca Mahuida y dieciséis perfiles combinados de pozo del área de concesión Las Manadas – Risco Alto), de desarrollo, exploración y avanzada, aportados por Y.P.F. S.A. Éstos, mayoritariamente perforan hasta los niveles basales de la Formación Mulichinco o el techo de la Formación Quintuco, con pozos puntuales que perforan hasta los niveles cuspidales de la Formación Auquilco, p.ej. el pozo V1. En base a las unidades con clasificación geoquímica y el análisis de cutting, el análisis de los datos de pozo permitió identificar y clasificar diferentes unidades ígneas subvolcánicas. Dentro del Grupo 1 se agrupan las unidades de composición basálticas, mientras que en el Grupo 2 se englobaron las muestras de composición traquítica mayoritariamente, que puede incluir muestras de composición fonolítica con bajo

contenido de álcalis, hasta traquiandesitas. Finalmente, el Grupo 3 se compone de muestras de composición fonolítica.

Tabla 2. Resumen de los grupos establecidos mediante la clasificación geoquímica junto con su correspondiente litología y valores de GR y de densidad.

Herramienta Moda	Litología englobada	Gamma Ray - GR (gAPI)	Densidad (g/cm ³)
Grupo 1	basaltos, basaltos alcalinos, traquibasaltos	Entre 30 - 60 hasta 80	> 2,6
Grupo 2	traquitas, fonolitas con bajo contenido de álcalis y traquiandesitas de alto contenido de álcalis	entre 100 - 175	2,45 - 2,5 hasta 2,6
Grupo 3	Fonolitas	> 175	< 2,45 - 2,5

Considerando los valores de referencia de la Tabla 2, obtenidos de los análisis de las unidades intrusivas con interpretación geoquímica, se realizó el análisis de los perfiles combinados de los restantes pozos aportados por YPF S.A. Los mismos se cargaron y visualizaron mediante el *software* Petrel, en donde se identificaron en total unas cuatrocientos noventa y tres unidades ígneas. Mediante el uso de este *software* se integraron los datos de perfilaje combinado de sesenta y cuatro pozos a un proyecto, en donde se realizaron una serie de transectas y se visualizaron los distintos perfiles ajustados al nivel del mar. Como ya se ha mencionado, se utilizó estas visualizaciones para extrapolar las interpretaciones geoquímicas a los restantes sesenta y cuatro pozos.

Con estas características, se delinearon transectas que incluyen ambos sectores, para identificar diferencias en los intrusivos entre ambos. En el área de concesión VAM, se identificó que los intrusivos se distribuyen principalmente en la Formación Mulichinco, Centenario (Inferior y Superior) y Rayoso, y en menor medida unidades afectando a los niveles del Grupo Neuquén. En general, los pozos perforan y muestrean hasta los niveles del techo de la Formación Quintuco, con la excepción de seis pozos que perforan hasta los niveles cuspidales de la Formación Auquilco, atravesando facies de las formaciones Tordillo, Vaca Muerta y Quintuco. En el área de concesión Las Manadas – Risco Alto se identificó una mayor densidad de intrusivos afectando las formaciones Mulichinco, Centenario y Rayoso, con gran densidad de potentes unidades identificadas en los niveles del Grupo Neuquén, las cuales, finalmente no se pudo correlacionar debido a la escasez y dispersión de datos de esta área.

5.2 Cuerpos ígneos identificados

A partir del análisis de las interpretaciones geoquímicas y análisis petrográficos, y la posterior extrapolación a los datos de perfilaje de pozo, se pudo identificar en distintos pozos adyacentes la presencia de unidades de similar firma eléctrica medidas con los distintos sensores, espesor y profundidad. A partir de la correlación entre las unidades que comparten los mencionados atributos, se interpretaron unidades intrusivas en subsuelo. Adicionalmente, se toma como base la interpretación estructural de subsuelo de Ribas et al. (2018, informe inédito, en Chiacchiera Lobos, 2019), trabajo en el que se identificó una serie de fallas de alto ángulo de rumbo E-O, NE-SO, NO-SE y N-S, para identificar las estructuras que pueden ejercer un control durante la intrusión de los cuerpos subvolcánicos interpretados (Fig. 5.1).

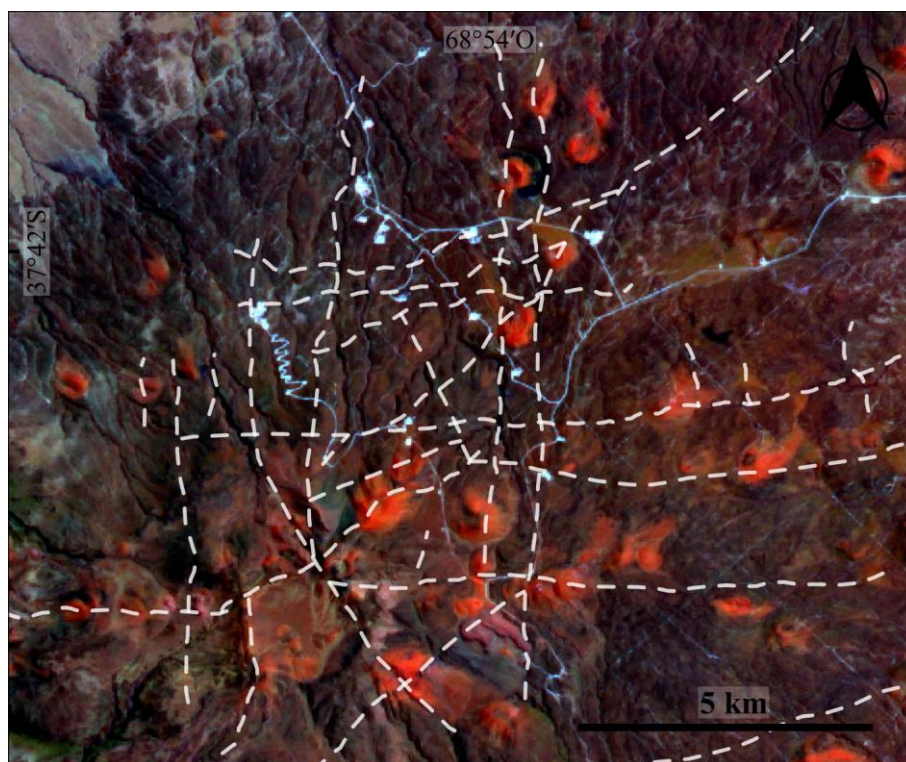


Figura 5.1, mapa de ubicación generado a partir de una imagen ASTER RGB 431, con trazas de fallas extensionales en línea blanca punteada, de rumbo N-S, E-O y NE-SO, extrapoladas a partir de datos sísmicos del trabajo de Ribas et al. (2018, en Chiacchiera Lobos, 2019)

5.2.1. Lacolito de Mulichinco

Se identificó en los pozos que perforan el subsuelo del flanco norte del cono central, una serie de rocas ígneas ubicadas entre 800-900 m.b.n.m., intruyendo el paquete de areniscas del techo de la Formación Mulichinco (Fig. 5.2 y 5.3). Dichas rocas se encuentran

relacionadas por sus características similares en los perfilajes de pozo, profundidad equivalente y potencia, a las muestras **VA-2667** y **VA-2700**, clasificadas geoquímicamente como traquitas del Grupo 2 (Fig. 4.16b), incluyendo las muestras VA-2736, VB-2677, VB-2689, VB-2695, VB-2710, VB-2716, VC-2887, VC-2962, VC-2977, VC-2986, VD-2566, VD-2611, VD-2638, VE-2783, VE-2801, VF-2849, VF-2888 y VF-2927 (Tabla 7-15), y al corte delgado VA 2706 y *cutting* asociados (Fig. 4.11), clasificados como sienita nefelínica. A partir de la correlación de las unidades identificadas, se interpretó un cuerpo ígneo laminar de morfología elongada en dirección S-N de aproximadamente 4 x 3 km, con aproximadamente 12 km² de superficie extrapolada a partir del mapa isopáquico-estructural generado por interpolación de datos de pozo (Fig. 5.4), con un espesor promedio de 86,5 m y alcanzando un máximo de 115 m. Este cuerpo se clasifica como un lacolito, de acuerdo con los criterios de Cruden et al. (2018 y referencias allí citadas), quienes consideran que estos se definen por la morfología, caracterizada por una base normalmente plana, bordes con alta pendiente, techo convexo hacia arriba, y por la relación diámetro/espesor entre 2-50, teniendo este cuerpo un valor de diámetro/espesor de 46,2 (tomando el valor de la dirección S-N de máxima elongación). Se observó que esta unidad presenta una morfología de techo levemente abovedado (Fig. 5.2 y 5.3), similar a la morfología de los lacolitos punzantes (*punched laccolith*) (Llambías et al., 2015; Cruden et al., 2018), con base y techo aproximadamente paralelos a la estratificación, con escasa variación de espesor. El lacolito estaría limitado en los extremos norte, este, sur, y posiblemente en el oeste, por una serie de fallas subverticales (Fig. 5.1 y 5.4), que habrían controlado su emplazamiento, y con la particularidad que el sector sur del lacolito limita con un intrusivo ígneo denominado Dique Cerro Bayito (Fig. 5.4 y 5.9). En el sector sur del dique Cerro Bayito, posiblemente dada la poca densidad de pozos, el lacolito solo se puede identificar en un solo pozo (Fig. 5.4). En los pozos que perforan la periferia del lacolito se identificó enjambres de intrusivos de registros similares en los perfiles de pozo, que intruyen el techo de la Formación Mulichinco y la base de la Formación Centenario Inferior, y se interpreta que su génesis se relaciona con la intrusión del lacolito (Fig. 5.2, 5.3 y 5.4).

Las unidades identificadas en los perfiles de pozo, presentan valores de GR y densidad similares a la firma del perfil de la Fig. 4.15b, mostrando variación de los registros en el sector del núcleo respecto del techo y base del cuerpo. En los pozos que perforan el

lacolito (Fig. 5.4, zona rojo-naranja), los registros de pozo presentan un núcleo de espesor variable entre 30-40 m de potencia, con valores de GR de entre 75-100 gAPI y densidad de 2,55-2,65 g/cm³, cuyas mediciones cambian progresivamente hacia las zonas de techo y base, en donde presentó valores de GR entre 150-170 gAPI, con picos mayores a 180 gAPI, y valores de densidad de 2,50-2,55 g/cm³. La diferencia entre los valores medidos entre núcleo y bordes de contacto con la roca de caja, se interpretan como el resultado de un proceso de diferenciación magmática que ocurren en el interior de los cuerpos subvolcánicos, que favorecen la formación de rocas más ácidas hacia el centro del cuerpo (González y Aragón, 2000), que en este lacolito presentaría contactos con mayor contenido de minerales alcalinos y con un núcleo de textura granular con mayor contenido de sílice.

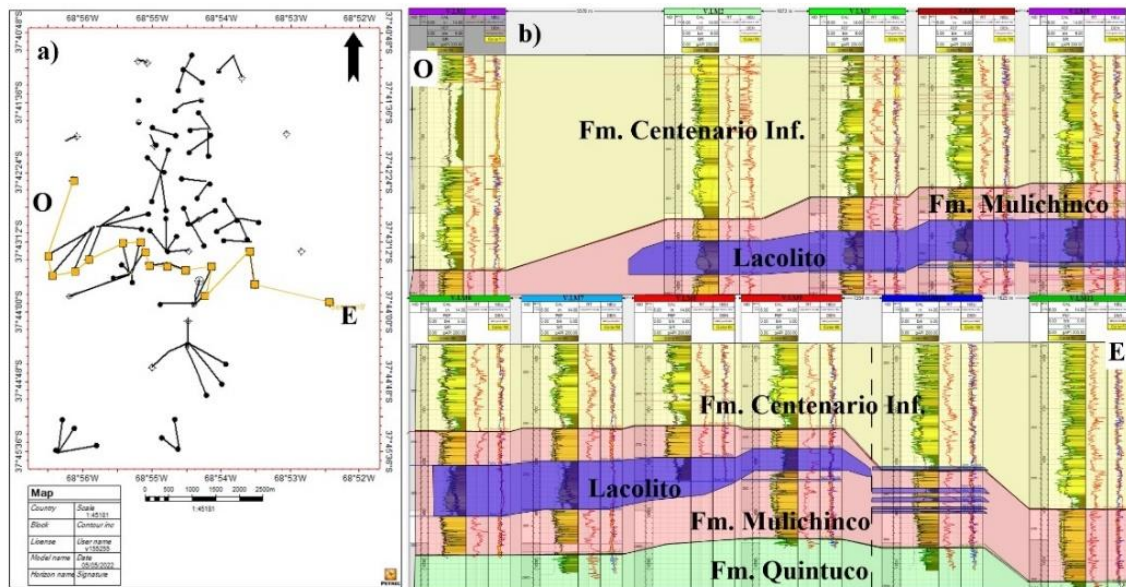


Figura 5.2. Secciones que muestran los perfiles que atraviesan el lacolito en sentido O-E, en donde se identifica la morfología del intrusivo, la morfología convexa hacia arriba de la roca de caja, y al Este un enjambre de filones capa (b).

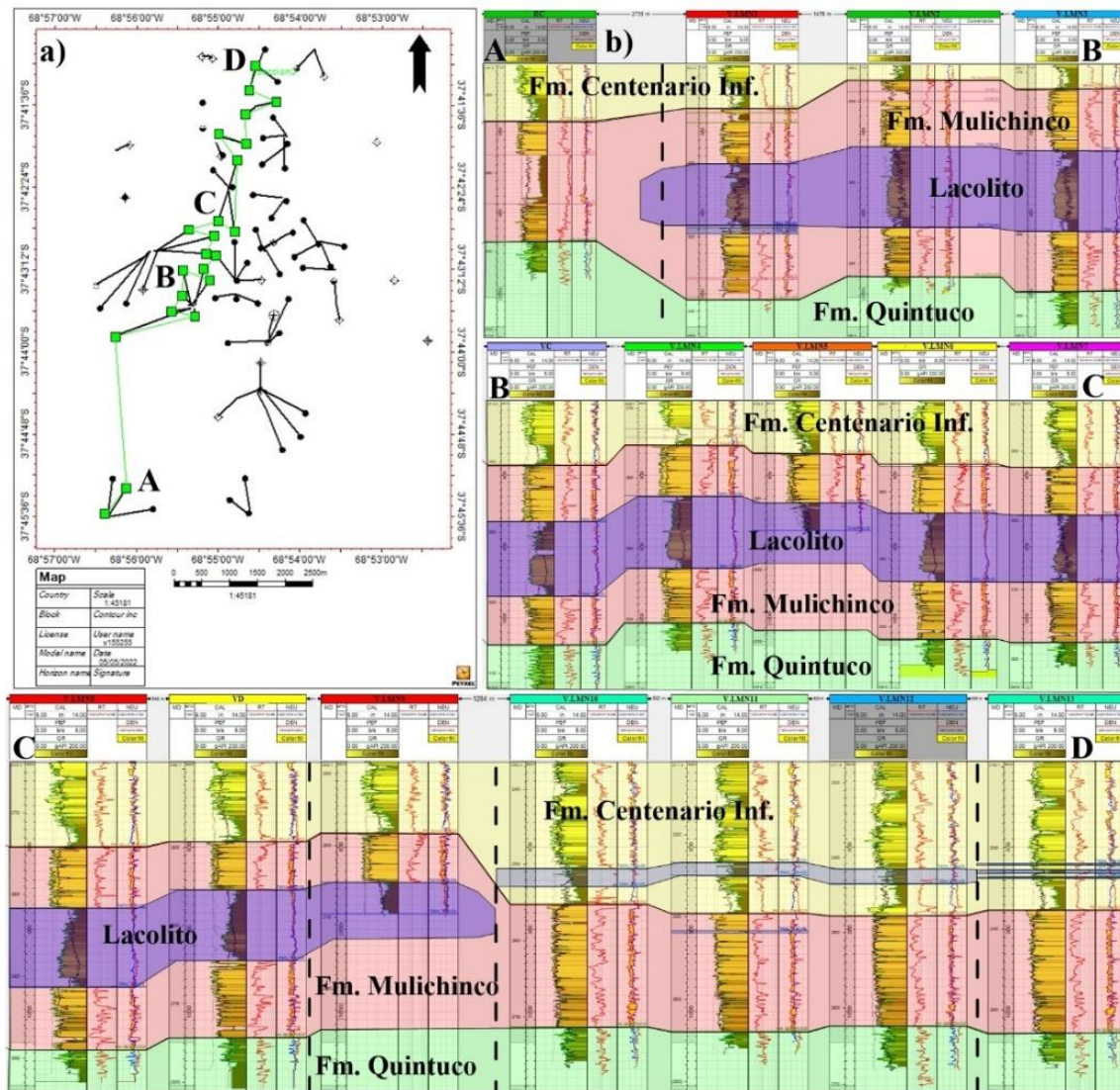


Figura 5.3. a) Mapa de ubicación de una sección de pozos que atraviesan el lacolito de Mulichinco. b) Secciones estructurales A-B, B-C y C-D, conformadas con datos de pozos donde se observa la morfología convexa hacia arriba de la roca de caja.

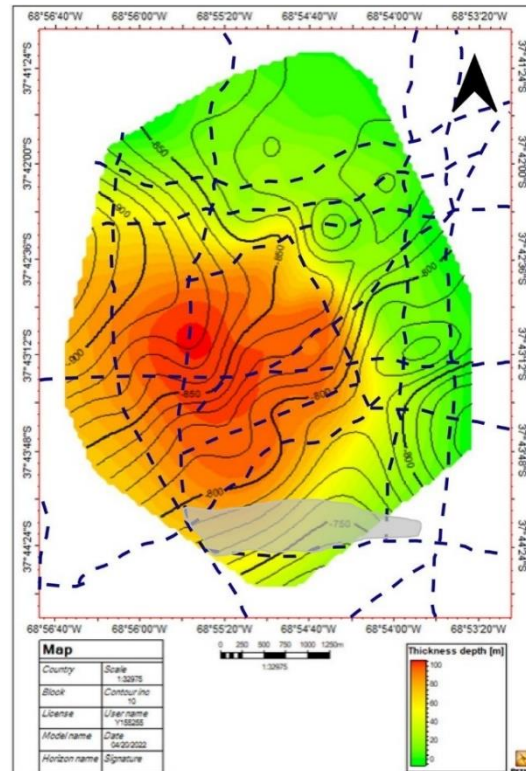


Figura 5.4. Mapa isopáquico en donde se identifica el espesor en gradación de color, y curvas de nivel del techo del lacolito identificado en la Formación Mulichinco, producido mediante la interpolación de los datos de subsuelo identificados en los pozos en el flanco norte del centro eruptivo, presentando en color gris la ubicación del dique Cerro Bayito (Fig. 5.8). El área que abarca rango de coloración rojo-naranja se interpreta como el propio lacolito, y en color verde en la periferia del cuerpo, la extensión de los filones capa asociados.

5.2.2. Filones capa

Ubicados en el flanco norte del volcán Auca Mahuida, se identificó en el registro de perfilaje combinado de los pozos, cuatro cuerpos diferentes en distintos niveles formacionales que, por su extensión y espesor aproximadamente continuo, se clasificaron como intrusivos laminares. Estos cuerpos al ser para-concordantes respecto a la sedimentación, se catalogaron como filones capa.

Filones capa de la Formación Rayoso

En pozos del flanco nororiental del cono central, se correlacionó una serie de unidades aproximadamente a los 0 m.s.n.m., ubicadas en la Formación Rayoso, identificadas como filones capa (Fig. 5.5 y 5.6). A partir del perfilaje de los pozos señalados en la Fig. 5.5 (perfiles A-A' y B-B'), se identifica que un cuerpo que presenta un espesor muy poco variable de entre 10-15 m, con valores de GR entre 70-120 gAPI, correspondientes a un rango intermedio entre el Grupo 1 y el Grupo 2 (Tabla 2), y con valores del perfil de

densidad entre 2,45 y 2,65 gr/cm³. Teniendo en consideración que no se dispone de muestras de geoquímica o *cutting* del intrusivo interpretado en los pozos señalados en la Fig. 5.5, la definición de su clasificación litológica se basa en los valores de GR y densidad observados, comparados con los valores de las traquitas de las unidades modelo, y además, tomando en cuenta la distribución composicional observada en el complejo, estas unidades se pueden interpretar como traquiandesitas.

En los perfiles combinados de pozo señalados en la Fig. 5.6, se observa una unidad que tiene un espesor de 50-60 m, que en sectores cambia abruptamente a 10-20 m y que pierde potencia hacia el norte (Fig. 5.6). Presenta firmas con variación interna, en donde se distinguen núcleo y bordes observables en las mediciones de GR y densidad, presentando el núcleo características del Grupo 2 (Tabla 2), equivalente a una composición traquítica de alto GR (entre 120-160 gAPI), y bordes con características del Grupo 3, de composición fonolítica (GR mayor a 170 gAPI) (Fig. 5.6b, perfil D-D'). Adicionalmente, se vinculan a este cuerpo las muestras de geoquímica **VA-1872** y **VB-1717** (Fig. 4.16), tomadas del pozo del extremo occidental del perfil D-D' (Fig. 5.6b), de composición fonolítica y con composición relativamente elevada de elementos LILE según los diagramas multielementales.

Estas unidades se interpretan como filones capa dada la concordancia del techo y base, con la estratificación de la roca de caja. A partir de las secciones generadas, se interpreta que los intrusivos tendrían una morfología de escalonamiento (*step-wise*) (Galland et al. 2018), cuyo emplazamiento posiblemente estuvo controlado por fallas subverticales, que se propone que habrían influido durante la propagación del magma concordante a la estratificación (Fig. 5.5 y 5.6). Finalmente, se observó que en una serie de pozos en los perfiles B-B', C-C' y D-D' (Fig. 5.5b y 5.6b), las unidades correspondientes a los filones capas, presentarían sectores con firma característica de un cuerpo de composición basáltica (muy bajo GR y alta densidad), los cuales se interpretaron como intrusivos posteriores en relación de corte, tratados en el apartado "Dique del flanco norte".

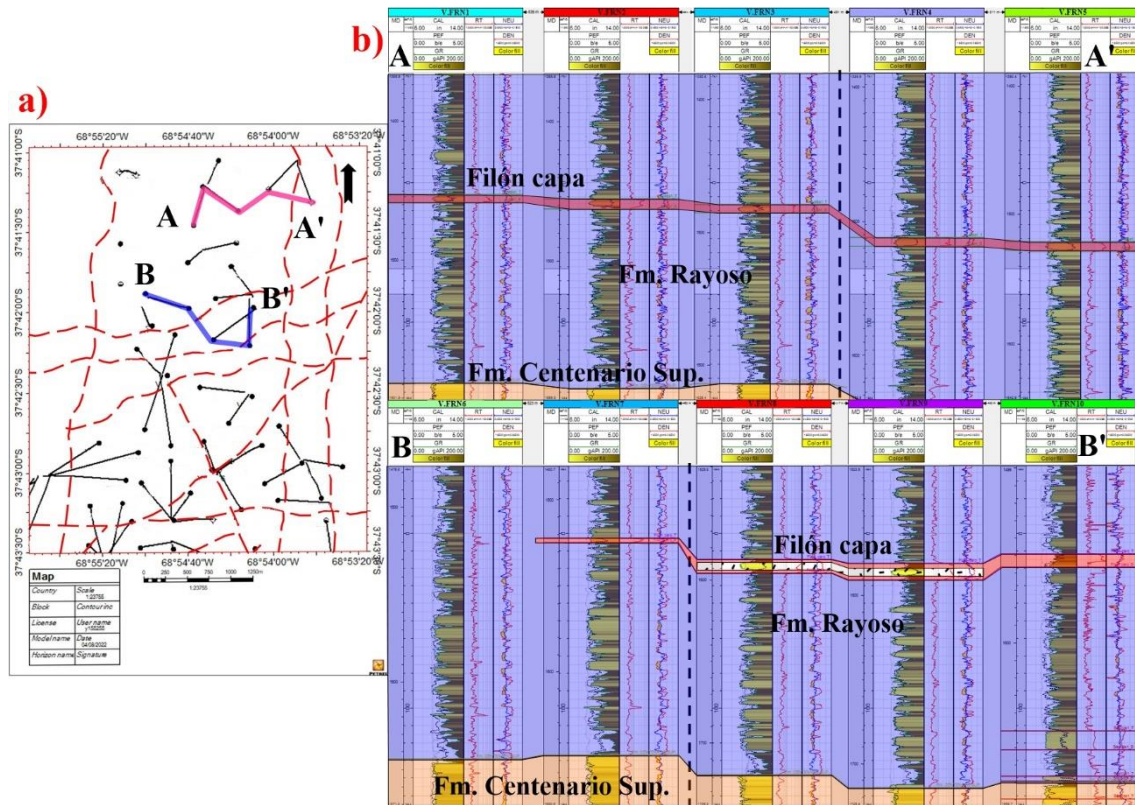


Figura 5.5. a) Mapa de ubicación de los pozos, con trazas rojas punteadas que representan el arreglo estructural dado por las fracturas extensionales subverticales, y con la referencia de los pozos que contienen las secciones A-A' y B-B'; b) secciones A-A' y B-B' generadas a partir de la interpretación de los datos de perfilaje de pozo, en donde se identifican las unidades de las formaciones Centenario Superior y Rayoso, la presencia de fallas extrapoladas del mapa (línea punteada), y los intrusivos identificados, señalando en color rojo el filón capa y en rastra punteada la presencia de intrusivos en relación de corte con el filón capa.

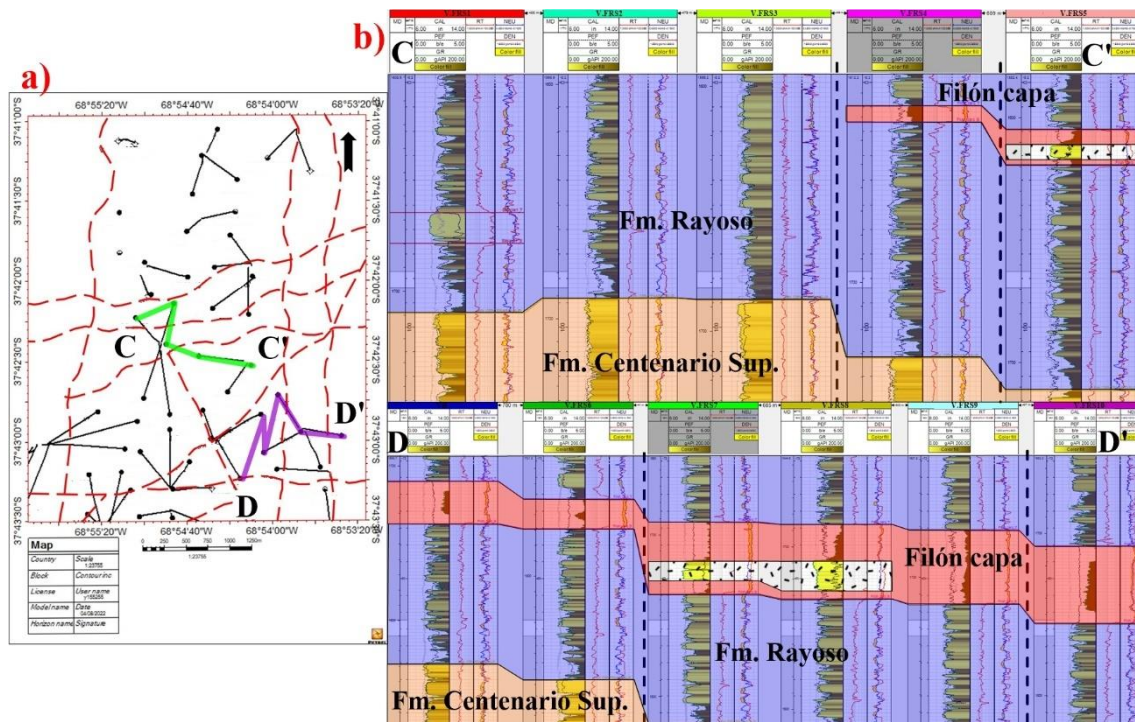


Figura 5.6. a) Mapa de ubicación de los pozos, con trazas rojas punteadas que representan el arreglo estructural dado por las fallas subverticales, y con la referencia de los pozos que contienen las secciones C-C' y D-D'; b) secciones C-C' y D-D' generadas a partir de la interpretación de los datos de perfilaje de pozo, en donde se identifican las unidades de las formaciones Centenario Superior y Rayoso, la presencia de fallas extrapoladas del mapa (línea punteada), y los intrusivos identificados, señalando en color rojo el filón capa y en rastra punteada la presencia de intrusivos en relación de corte con el filón capa.

Filón Capa Noroeste

En el área del flanco noroeste del centro volcánico, se analizó los datos de perfilaje de pozo de una transecta de rumbo E-O, en los que se registró la presencia de unidades ígneas con firma correlacionable al Grupo 1, con espesores de 23-40m, identificadas a una profundidad de aproximadamente a 400 m.s.n.m., en unidades pelíticas del techo de la Formación Rayoso (Fig. 5.7). Tomando como referencia estos factores, se interpreta que se trataría de un filón capa, el cual no se pudo identificar en datos de pozos aledaños, y se propone un control litológico para su emplazamiento, considerando que esta litología puede presentar menor resistencia a la propagación del magma. Finalmente, se estima que se puede vincular con un posible dique alimentador asociado a las zonas de falla de alto ángulo que se encuentran en la zona.

Las unidades identificadas en la sección analizada se caracterizan por presentar una medición de GR de 30gAPI en el núcleo, y de 60 gAPI en techo y base, con valores de densidad de de 2,95 g/cm³ en el núcleo y de 2,85 g/cm³ en techo y base, lo que permite clasificar este cuerpo como un intrusivo de composición basáltica alcalina (Grupo 1).

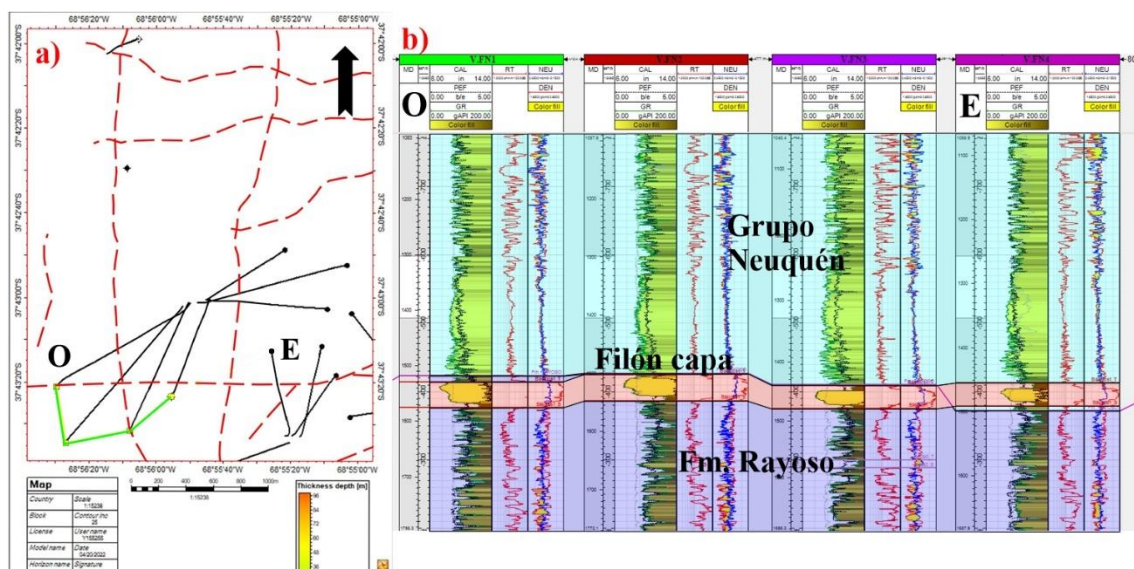


Figura 5.7. a) Mapa de ubicación de pozos de YPF ubicados al NO respecto del cono central, en el que se señalan en línea roja punteada las trazas de fractura, tomado y modificado de la interpretación de Ribas et

al. (2018, en Chiacchiera Lobos, 2019) y se identifica en línea verde la transecta generada a partir de datos de perfilaje combinado de pozos dirigidos; b), figura de la sección A-B generada con datos de perfilaje de pozos, corregidos según profundidad (m.b.n.m.), señalando en azul la Formación Rayoso y en celeste del Grupo Neuquén, en donde se correlacionan las unidades ígneas que conformarían el filón capa en color rojo.

Filón Capa de la Formación Vaca Muerta

Las unidades ígneas intrusivas más profundas se identificaron en la Formación Vaca Muerta, a partir de los pozos V1, V2 y V3, ubicados en el flanco norte del centro volcánico (Fig. 5.8). Longo (2017) corroboró mediante el uso de métodos sísmicos la presencia de un filón capa intruyendo en la Formación Vaca Muerta, que se correlaciona con la unidad identificada en el pozo V1, a los 1520 m.b.n.m. En este trabajo se identificó en los pozos V1 y V2 de la sección A-A', múltiples unidades ígneas aisladas con firmas de composición características de los grupos 1 y 2, y al menos ambos pozos presentan una unidad correlacionable por la firma del GR, de composición básica (GR de hasta 60 gAPI mínimo) y con contactos diferenciados (GR mayor a 200 gAPI), en una posición equivalente. En el pozo V3 se identifica a la misma profundidad la aparición de múltiples unidades con firma de composición del Grupo 1. Estas unidades correlacionables con diferencias de espesor (Fig. 5.8b), son coherentes con las observaciones de Longo (2017), quien identificó un filón capa con variación de su espesor.

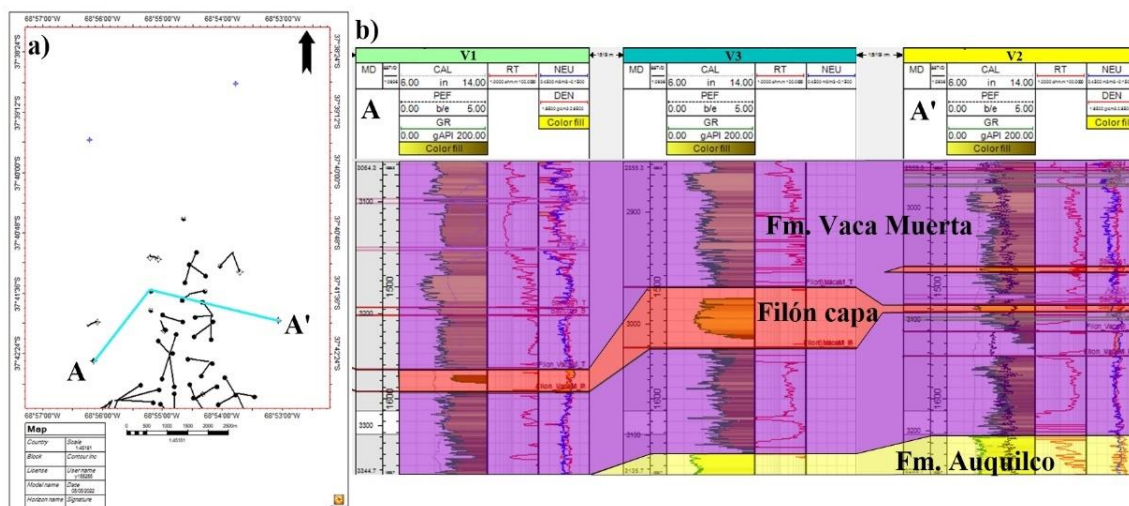


Figura 5.8. a) Mapa de ubicación de la sección A-A' generada con los pozos que atraviesan el filón capa identificado en la Formación Vaca Muerta; b) sección A-A' conformada por el pozo V1 y los dos pozos que muestrean el filón capa mencionado.

5.2.3. Dique Cerro Bayito

Ubicado inmediatamente al NE del cráter del centro volcánico del Auca Mahuida, se identificó en subsuelo la presencia de un potente intrusivo, perforado por un pozo vertical y cinco pozos dirigidos (Fig. 5.9). A partir del pozo vertical CA, que perfora hasta aproximadamente 2630 m bajo boca de pozo, se registró la presencia de una firma poco variable en la totalidad del pozo (Fig. 5.9), lo cual fue interpretado como un dique de buzamiento vertical. A partir de los pozos dirigidos que se distribuyen desde el pozo CA (Fig. 5.9) se delimitó un cuerpo de rumbo O-E de hasta 500 m de espesor real. Todos los pozos presentaron un registro muy similar de los sensores, con firma equivalente a las unidades del Grupo 1, con valores de GR de 70-80 gAPI, y densidad mayoritariamente de 2,55 gr/cm³, con variaciones de 2,50-2,75 gr/cm³, que se interpreta como un cuerpo de composición basáltica a basáltica alcalina.

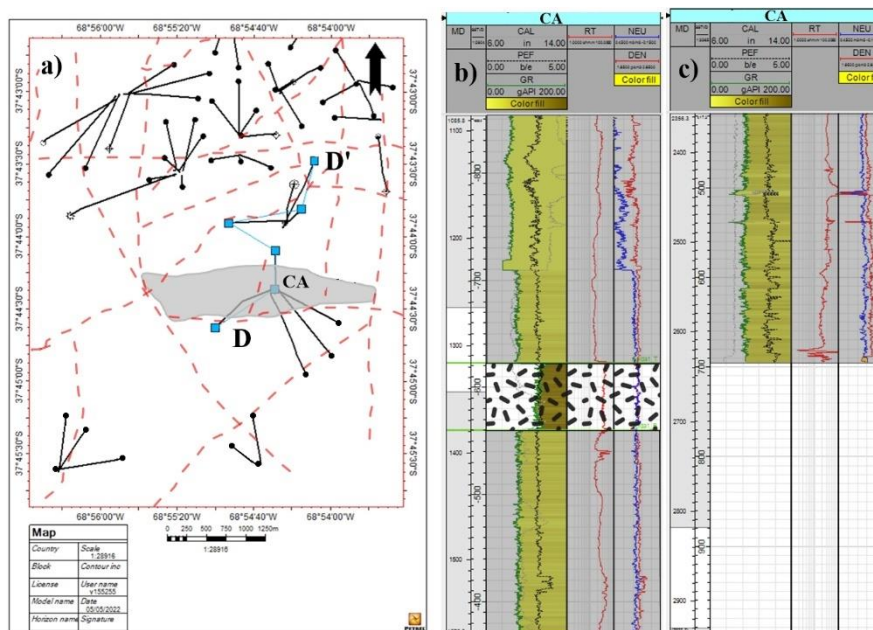


Figura 5.9. a) Mapa de ubicación del pozo vertical CA, con la interpretación estructural y del dique Cerro Bayito en planta, tomadas de Ribas (2018, en Chiacchiera Lobos, 2019); b) segmento del techo del perfil del pozo CA, en donde se identifica la firma del intrusivo (color gris), y cómo este es cortado en partes por cuerpos de distinta composición (rastra punteada); c) segmento de la base del perfil del pozo CA, en donde se identificó la firma continua del intrusivo (en color gris) perforado hasta los 2630 m bajo boca de pozo.

Filones capa asociados al dique Cerro Bayito

A partir de los pozos que perforan el dique Cerro Bayito y cinco pozos ubicados inmediatamente al norte del intrusivo en cuestión (Fig. 5.9a), se identificó una serie de

unidades laminares intruyendo en la roca de caja sedimentaria y se analizó su relación con el dique.

Se pudo observar a la profundidad de 600 m.s.n.m. en los pozos que perforan el dique Cerro Bayito, se identificó la presencia de unidades que presentan valores de GR y densidad característicos de las unidades del Grupo 2, de composición mayoritaria traquítica, de hasta 60 m de espesor y que se interpreta que son intrusivos posteriores y que afectan al dique (Fig. 5.10). A su vez, a la profundidad de 700 y 600 m.s.n.m. (Fig. 5.10), dos cuerpos emplazados en las areniscas basales del Grupo Neuquén, para-concordantes con las unidades sedimentarias e interpretados como filones capa. El cuerpo emplazado a aproximadamente 700 m.s.n.m. presenta una firma que lo relaciona con las unidades del Grupo 2, de composición mayoritariamente traquítica, de 50-65 m de espesor, y la unidad de 600 m.s.n.m. que presenta una firma relacionada con las unidades del Grupo 3, de composición fonolítica, con un espesor de hasta 50 m.

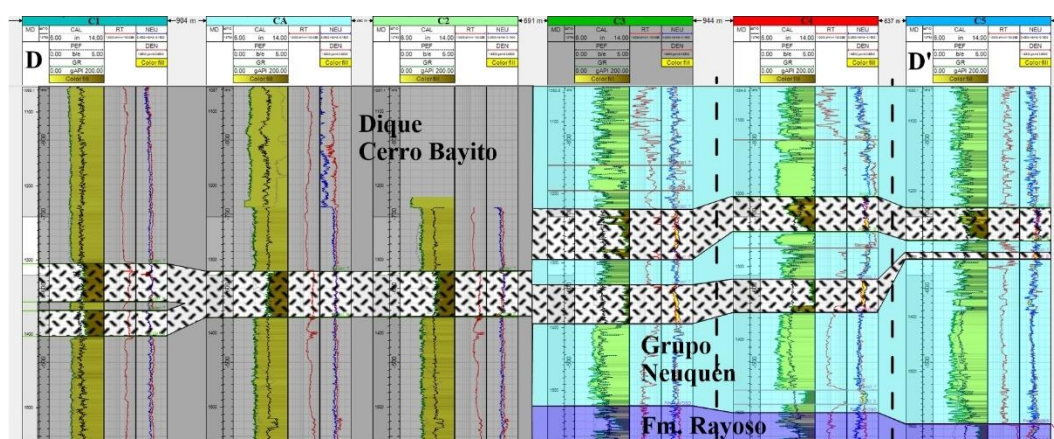


Figura 5.10. Sección D-D' generada a partir de los pozos de la Fig. 5.9a Conformada por seis perfiles combinados a la profundidad de 872 a 387 m.s.n.m., identificando en línea vertical negra punteada las fallas extrapoladas del mapa de la Fig. 5.9a. En los tres pozos de la sección que perforan el dique Cerro Bayito, se identifica que contienen una unidad emplazada en relación de corte, con firma característica del Grupo 2, de composición traquítica (rastra punteada). En los pozos C3, C4 y C5, ubicados al Norte del intrusivo (Fig. 5.9a), se observan las sedimentitas del techo de la Formación Rayoso y de la base del Grupo Neuquén, en donde se identifican dos filones capa para-concordantes respecto a la estratificación, con rastra punteada.

En la profundidad de 25 a 223 m.b.n.m. (Fig. 5.11), se identifica en los tres pozos al norte del dique Cerro Bayito (C3, C4 y C5), con emplazamiento en la roca de caja de la Formación Centenario Superior, unidades ígneas intrusivas con firma propia del Grupo 2 (Tabla 2), de composición traquítica, correlacionables por su posición y composición. Se interpreta pertenecen a un cuerpo laminar que tendría un marcado control estructural. El

dique Cerro Bayito se observa en los pozos CA y C2, y a esta posición se pudo observar que presenta un enjambre de intrusivos en relación de corte con firma propia del Grupo 2 (Tabla 2), de composición traquítica, que por su firma composicional y posición se correlaciona con la unidad emplazada en la roca de caja.

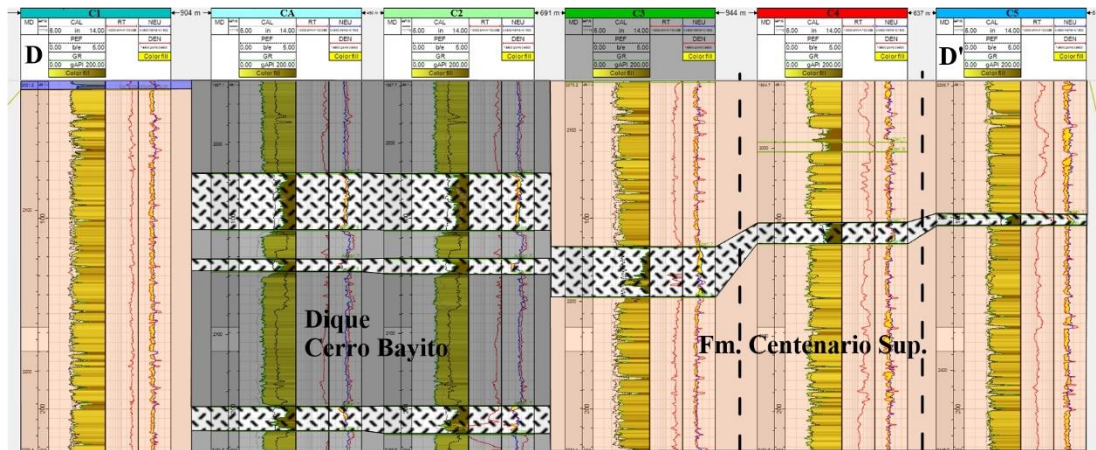


Figura 5.11. Sección D-D' generada a partir de los pozos de la Fig. 5.9a. Conformada por seis perfiles combinados a la profundidad de 25 a 223 m.b.n.m. En los pozos CA y C2, se identifica el dique Cerro Bayito, con valores de GR y densidad asociados al Grupo 1 de composición basáltica (Tabla 2), y que contienen una serie de unidades emplazada en relación de corte, con firma asociada con unidades del Grupo 2, de composición traquítica (Tabla 2). En los tres pozos correspondientes al norte de la transecta (Fig. 5.9a), que a esta profundidad muestrean unidades de la Formación Centenario, se ubica un intrusivo de firma equivalente a unidades del Grupo 2.

5.2.4. Diques del flanco norte

Tomando como base la interpretación estructural de subsuelo de Ribas et al. (2018), la interpretación de los datos de pozos dirigidos que perforan las zonas de falla, permitió inferir la posible presencia de intrusivos laminares tipo dique.

Diques Norte-Sur

Ubicado en el área NE del cráter del centro volcánico del Auca Mahuida (Fig. 5.12a-b), se tomó el dato de perfilaje de pozos en el sector de intersección con las trazas de falla de rumbo N-S (Fig. 5.12b) y se registró la presencia de unidades con firma identificada como composición basáltica (Grupo 1; Fig. 5.11c). Se identificó estas unidades en una sucesión de pozos dirigidos (Fig. 5.12b-c, V.DN1, V.DN2 Y V.DN3), a la profundidad en donde se muestrean las unidades del “Filón capa en la Formación Rayoso” (Fig. 5.5), circunscriptas únicamente a las trazas de zona de falla S-N. Al tratarse de pozos dirigidos, el *software* Petrel corrige los datos tomados según la altura respecto del nivel del mar, y los representa en forma vertical. A partir de esta corrección, se infirió que las unidades

identificadas en el perfilaje de los pozos dirigidos V.DN1, V.DN2 Y V.DN3 (Fig. 5.12c), son unidades de firma asociada al Grupo 1, con valores de GR entre 60-80 gAPI y densidad en el orden de $2,7 \text{ gr/cm}^3$, correspondientes a una composición basáltica a basáltica alcalina, y que se encontrarían en relación de corte con el filón capa identificado. El rumbo de la presente traza de falla de alto ángulo se puede prolongar hacia el norte (Fig. 5.12a), donde identifica una posible correlación con un lineamiento de conos volcánicos en superficie, al norte del área de estudio del presente trabajo.

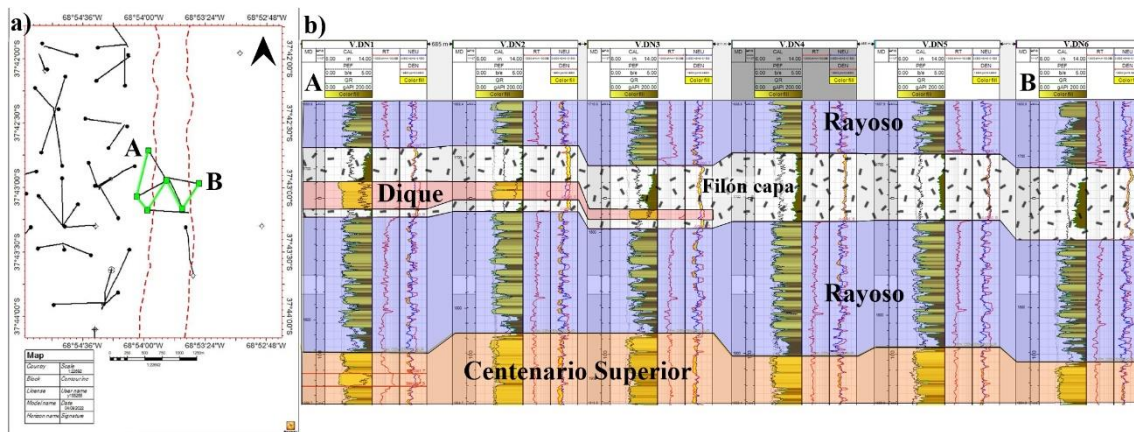


Figura 5.12. a) Mapa de ubicación de pozos de YPF, en el que se señalan trazas de falla de rumbo N-S en línea roja punteada, contiene la sección de perfiles de pozo A-B. b) Figura de la sección generada con datos de perfilaje de pozos dirigidos, corregidos según profundidad (m.b.n.m.), en donde se identifica la firma de un cuerpo ígneo intrusivo definido previamente como filón capa de composición fonolítica, que presenta en relación de corte un intrusivo de composición basáltica.

Dique Nornoroeste

Ubicado en el flanco noreste del centro volcánico del Auca Mahuida (Fig. 5.12a y 5.13a), se analizó los datos de perfilaje de pozo de una serie de pozos dirigidos, los cuales se disponen con rumbo paralelo a una zona de falla de alto ángulo, identificada con traza de rumbo NNO-SSE (Fig. 5.13a). Se identificó en los datos de perfilaje de pozo la presencia de enjambres de cuerpos con similar firma, no correlacionables lateralmente, los cuales se propone que se pueden vincular genéticamente con un dique emplazado en la zona de falla de alto ángulo mencionada.

Las unidades identificadas presentan valores de GR entre 40-60 gAPI, y densidad de $2,7-2,8 \text{ g/cm}^3$, lo que permite clasificar este cuerpo como un intrusivo de composición basáltica alcalina (Grupo 1). Esta unidad se vinculó a las muestras de geoquímica VA-1325, VA-1495, VA-1671, VB-1276, VB-1297 y VB-1366 (Fig. 4.3), y a la muestra VB-

1264 (Fig. 4.17), clasificadas mediante los diagramas de clasificación de Winchester y Floyd (1977) como basalto alcalino (Fig. 4.7).

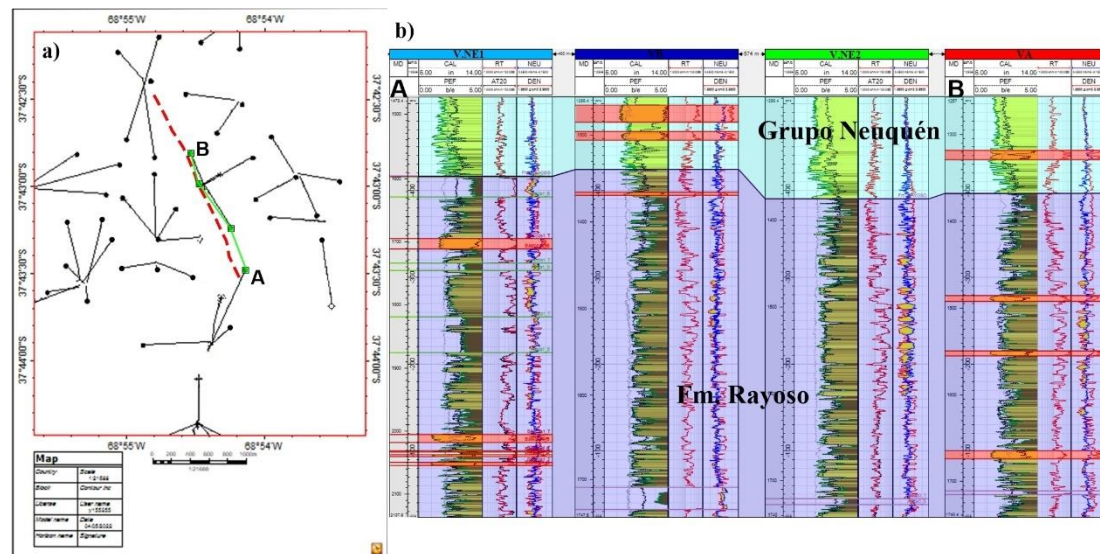


Fig. 5.13. a) Mapa de ubicación de pozos de YPF, ubicados al NE del cono central (Fig. 5.12a), en el que se señala en línea roja punteada una traza de fractura de rumbo NNO-SSE, tomada y modificada de Ribas et al. (2018, en Chiacchiera Lobos, 2019), la cual se propone como vinculada genéticamente al dique Normoroeste, y señalando en línea color verde los pozos que conforman la sección perfiles de pozo A-B.

5.3. Composición de los intrusivos y correlación con los tipos volcánicos

A partir de las interpretaciones realizadas y tomando como base los datos de perfiles combinados de pozo, se determinó que los intrusivos laminares horizontales (filones capa y lacolitos), serían mayoritariamente de composiciones relativamente enriquecidas en sílice, como traquitas/sienitas y fonolitas de los grupos 2 y 3 (Fig. 4.7), mientras que los diques de buzamiento de alto ángulo serían de composiciones relativamente empobrecidas en silicio, como los basaltos alcalinos del Grupo 1 (Fig. 4.7).

Las unidades del Grupo 1 de composición mayormente basáltico alcalina, identificadas en este trabajo se pueden correlacionar con las muestras Basalto Rincón del Infiernillo (Pallares et al., 2016) y Volcanitas Aguada Lastra (Kay et al., 2013; Pallares et al., 2016) (Fig. 5.14). Las muestras de geoquímica del Grupo 1, se recolectaron del propuesto dique Normoroeste (Fig. 5.13), cuya firma de los datos de perfilaje de pozo (Fig. 4.17) es correlacionable con los registros de pozo de las unidades Diques Norte-Sur (Fig. 5.12), que se propone en este trabajo que se vincularían a los sistemas de fallas de alto ángulo de rumbo N-S.

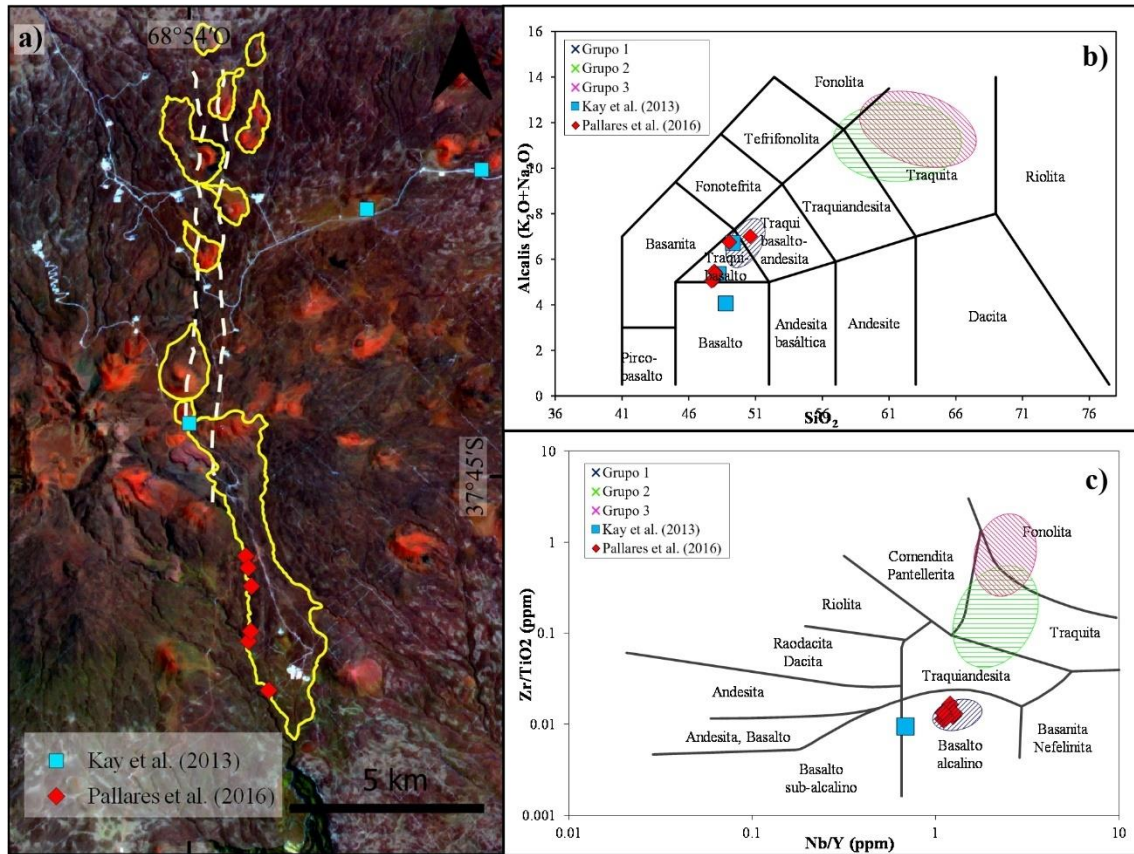
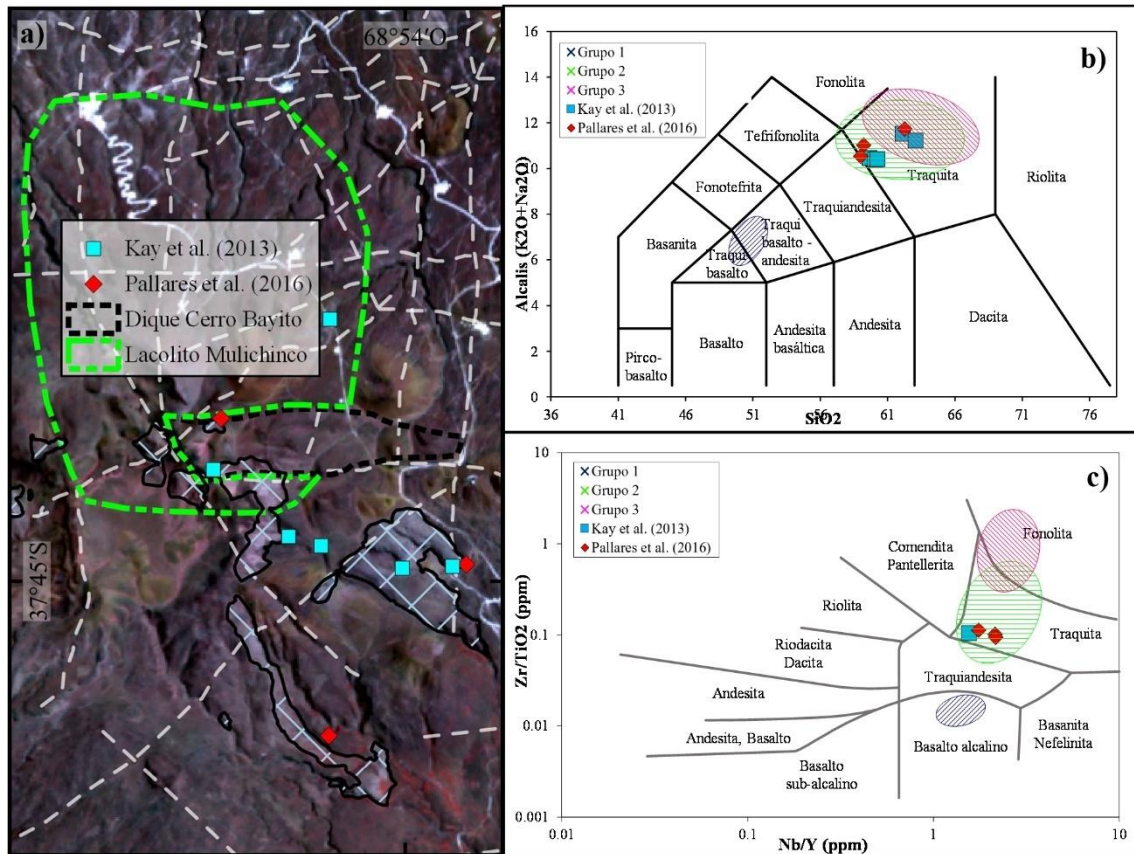


Figura 5.14. a) Mapa de ubicación utilizando una imagen ASTER RGB 431, con la locación de las muestras de Kay et al. (2013) y Pallares et al. (2016), señalando en línea de color amarillo la ubicación de conos monogénicos y sus respectivas coladas, tomado y modificado de Pallares et al. (2016), y líneas punteadas de color blanco señalando trazas de falla de alto ángulo tomadas y modificadas de Ribas et al. (2018, en Chiacchiera Lobos, 2019). b) y c) diagramas de clasificación TAS (Le Bas et al., 1986) y de Winchester y Floyd (1977), respectivamente, comparando las muestras de geoquímica tratadas en este trabajo final, con las muestras de Kay et al. (2013) y Pallares et al. (2016).

Las muestras de geoquímica del Grupo 2, de composición mayormente traquítica, son correlacionables con las muestras tomadas de los domos traquíticos y flujos asociados ubicados en la zona del centro eruptivo (Fig. 5.15). Las muestras de geoquímica del Grupo 2 provienen del lacolito de Mulichinco mayoritariamente, y de diversos intrusivos más someros identificados en los pozos de las áreas de concesión Las Manadas - Risco Alto y Volcán Auca Mahuida. Se propone que los domos y domos fluidos, ubicados en la periferia de la caldera del centro eruptivo, podrían vincularse al lacolito de Mulichinco, y cuyo emplazamiento en superficie se habría propiciado por un conducto facilitado por una zona de debilidad, generada por el dique Cerro Bayito y también por el sistema de fallas de alto ángulo presentes en la zona de la caldera.



5.15. a) Mapa de ubicación utilizando una imagen satelital del servidor Bing, con la locación de las muestras de Kay et al. (2013) y Pallares et al. (2016), señalando en línea de color negra y rastra cuadriculada la ubicación de domos de composición traquítica y coladas asociadas, tomado y modificado de Pallares et al. (2016), y líneas punteadas de color blanco señalando trazas de falla de alto ángulo (Ribas et al. 2018, en Chiacchiera Lobos, 2019). b) y c) diagramas de clasificación TAS (Le Bas et al., 1986) y de Winchester y Floyd (1977), respectivamente, comparando las muestras de geoquímica tratadas en este trabajo final, con las muestras de Kay et al. (2013) y Pallares et al. (2016).

Finalmente, las muestras de geoquímica del Grupo 3, de composición fonolítica, no se pudieron correlacionar con ninguna muestra de los trabajos mencionados. Se puede interpretar, que el magma de esta composición no llegó a manifestarse en la superficie.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los antecedentes de la zona, el análisis petrográfico, mineralógico y textural de las rocas ígneas, el análisis geoquímico y las respuestas espectrales de los cuerpos ígneos en profundidad, se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

- La correlación de las clasificaciones geoquímicas de las unidades ígneas en subsuelo, con los análisis de las muestras de cutting, y la interpretación de datos de perfilaje de pozo aportados por Y.P.F., permitió proponer la presencia y morfología de diferentes intrusivos ígneos subvolcánicos.

- Se identificaron los mismos extremos composicionales a partir de la correlación de datos de geoquímica de superficie con los datos de subsuelo estudiados en este trabajo, lo cual, sumado a la presencia de muestras con similar firma geoquímica en diagramas de tierras raras, permite afirmar que las unidades ígneas de subsuelo serían unidades subvolcánicas que estarían relacionadas genéticamente con las unidades volcánicas aflorantes.

- Para corroborar que las unidades del sistema de diques propuesto y denominado “*Diques Norte-Sur*”, se vinculan con un lineamiento de conos monogénicos de rumbo N-S y sus respectivas coladas lávicas en superficie, es recomendable el análisis de la geoquímica y dataciones radiométricas de los cuerpos identificados en los registros de pozo.

- Los domos traquíticos presentes en el centro eruptivo, podrían estar vinculados genéticamente con el lacolito punzante de Mulichinco. Una recolección de datos de geoquímica y dataciones radiométricas, tanto de superficie como de subsuelo, podría proporcionar una correlación más precisa.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que me acompañaron durante mis años de estudio. En primer lugar, a mi Directora Samanta Serra-Varela, por su enorme paciencia y guía durante mi trayecto, y a mi Co-director Mauro Tellería, sin el cual este trabajo no sería posible.

Agradecer a YPF S.A. por proveer los datos e información necesaria, el espacio y el software para desarrollar este trabajo.

Habiendo transitado toda mi formación en instituciones públicas, agradezco a la educación pública en general, y en particular a la Universidad Nacional de Río negro, por brindarme la posibilidad de formarme como profesional.

A los profesores, por su disposición y calidad humana. A Ceci y Pablo por su gran apoyo. A María por su gran ayuda al final de mi trayecto.

A los compañeros con quienes compartí la cursada. Las amistades que supe hacer, con y sin vinculación a la Geología, hicieron que la carrera, de por si genial, esté acompañada de inolvidables vivencias.

A mi familia. Mi hermano. A mis padres, por su apoyo incondicional.

REFERENCIAS

Arregui, C., Carbone, O. y Sattler, F. 2011. El Grupo Lotena (Jurásico Medio-Tardío) en la cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén 9, 91-111.

Casadío, S. y Montagna, A. O. 2015. Estratigrafía de la cuenca Neuquina. Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros. Una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo. Fundación YPF and Universidad Nacional de Río Negro, Buenos Aires, 8-21.

Cevallos, M. F. y Rivero, M. T. 2014. El proceso de exhumación neógeno y sus consecuencias en las acumulaciones de hidrocarburos del borde noreste de la cuenca Neuquina, Argentina. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Rompiendo Paradigmas. Mendoza, Tomo 1, 155-178.

Chiacchiera Lobos, S. A. 2019. Controles estructurales y magmáticos en reservorios de la Formación Mulichinco en el yacimiento Volcán Auca Mahuida, Provincia de Neuquén, Argentina. Trabajo final de grado. Río Negro: Universidad Nacional de Río Negro.

Cristallini, E., Tomezzoli, R., Pando, G., Gazzera, C., Martínez, J. M., Quiroga, J., Buhler, M., Bechis, F., Barredo, S. y Zambrano, O. 2009. Controles precuyanos en la estructura de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 65(2), 248-264.

Cristallini, E., Tomezzoli, R., Mendez, M. A., Santiago, E., Villar Benvenuto, M. y Ghiglione F. 2014. Caracterización estructural y evolución tectónica de la región de los cerros Auca Mahuida y Bayo (provincia del Neuquén). Informe final YPF S.A.

Cruden, A. R., McCaffrey, K. J. y Bungler, A. P. 2018. Geometric scaling of tabular igneous intrusions: Implications for emplacement and growth. En Breikreuz, C. y Rocchi, S. (eds). Physical geology of shallow magmatic systems: Dykes, sills and laccoliths. Advances in Volcanology. Springer, 11-38.

Franzese, J. R. y Spalletti, L. A. 2001. Late Triassic-early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. Journal of South American Earth Sciences 14, 257-270.

Gale A., Dalton, C. A., Langmuir, C. H., Su, Y. y Schilling, J.G. 2013. The mean composition of ocean ridge basalts. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 14, 489–518.

Galland, O., Bertelsen, H. S., Eide, C. H., Guldstrand, F., Haug, Ø. T., Leanza, Héctor A., Mair, K., Palma, O., Planke, S. 2018. Storage and Transport of Magma in the Layered Crust—Formation of Sills and Related Flat-Lying Intrusions. En Burchardt, S. (ed). Volcanic and Igneous Plumbing Systems: Understanding Magma Transport, Storage, and Evolution in the Earth's Crust. Elsevier, 113–138.

Garrido, A. C. 2011. El Grupo Neuquén (Cretácico Tardío) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén 21, 231-244.

Gianni, G. M., García, H. P. A., Lupari, M., Pesce, A. y Folguera, A. 2017. Plume overriding triggers shallow subduction and orogeny in the southern Central Andes. Gondwana Research, 49, 387-395.

González, P. D. y Aragón, E. 2000. El cerro Bayo de la sierra Negra, Neuquén: ejemplo de lacolito tipo Árbol de Navidad. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 55 (4), 363-377.

Gudnason, J., Holm, P. M., Søger, N. y Llambías, E. J. 2012. Geochronology of the late Pliocene to recent volcanic activity in the Payenia back-arc volcanic province, Mendoza Argentina. Journal of South American Earth Sciences 37, 191-201.

Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. y Mitchell, S. F. 2007. Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks using Immobile Trace Elements: Development of the Th-Co Discrimination Diagram. Journal of Petrology, 48(12), 2341-2357.

Holmberg, E. 1964. Descripción Geológica de la Hoja 33d, Auca Mahuida, provincia del Neuquén. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 94, 88 pp. Buenos Aires.

Howell, J. A., Schwarz, E., Spalletti, L. A. y Veiga, G. D. 2005. The Neuquén Basin: an overview. En Veiga, G. D., Spalletti, L. A., Howell, J. A. & Schwarz, E. (eds). The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics. Geological Society of London, Special Publications 252, 1-14.

Jordan, T. E., Burns, W. M., Veiga, R., Pfiingaro, F., Copeland, P., Kelley, S. y Mpodozis, C. 2001. Extension and basin formation in the southern Andes caused by increased convergence rate: A mid-Cenozoic trigger for the Andes. Tectonics 20 (3), 308-324.

Kay, S. M. 2001. Tertiary to recent magmatism and tectonics of the Neuquén basin between 36.5° and 38° S latitude. Final report to Repsol/YPF, 210 pp.

Kay, S. M. y Copeland, P. 2006. Early to middle Miocene backarc magmas of the Neuquén Basin: Geochemical consequences of slab shallowing and the westward drift of South America. En Kay, S. M. y Ramos, V. A. (eds). *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39°S lat)*. Geological Society of America Special Paper 407, 185–213.

Kay, S. M., Burns, W. M., Copeland, P. y Mancilla, O. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En Kay, S. M. y Ramos, V. A. (eds). *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39°S lat)*. Geological Society of America Special Paper 407, 19–60.

Kay, S. M., Jones, H. A. y Kay, R. W. 2013. Origin of Tertiary to Recent EM- and subduction-like chemical and isotopic signatures in Auca Mahuida region (37–38S) and other Patagonian plateau lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166 (1), 165–192.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. y Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. *Journal of Petrology*. Oxford. Vol.27, 745–750.

Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H. y Woolley, A. R. 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press, 236 p. New York.

Leanza, H. A., Hugo, C., Repol, D., González, R., Danieli, J. C. y Lizuain, A. 2001. Hoja Geológica 3969-I, Zapala. Provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Boletín 275, 134 p. Buenos Aires.

Llambías, E. J., Bertotto, G. W., Risso, C. y Hernando, I. 2010. El volcanismo cuaternario en el retroarco de Payenia: una revisión. *Revista Geológica Argentina* 67 (2), 278–300.

Llambías, E. J. 2015. *Geología de los cuerpos ígneos*. Asociación Geológica Argentina – Serie B – Didáctica y complementaria N° 31, Buenos Aires.

Ramos, V. A. 1999a. Las provincias geológicas del territorio argentino. En Caminos R. (ed.) Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Anales 29, 41-96, Buenos Aires.

Ramos, V. A. 1999b. Evolución Tectónica de la Argentina. En: Caminos, R. (ed.) Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Anales 29, 715-759, Buenos Aires.

Ramos, V. A. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. En: Kay, S.M., Ramos, V.A. y Dickinson, W.R. (eds). Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision: Geological Society of America Memoir 204, 31–65.

Ramos, V. A. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En Veiga, G. D., Spalletti, L. A., Howell, J. A. y Schwarz, E. (eds). 2005. The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics. Geological Society, London, Special Publications, 252, 15-35.

Ramos, V. A. y Kay, S. M. 2006. Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35°–39°S latitude). En: Kay, S. M. y Ramos, V. A. (eds). Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39°S latitude). Geological Society of America Special Paper 407, 1–17.

Ramos, V. A. y Folguera, A. 2011. Payenia volcanic province in the Southern Andes: An appraisal of an exceptional Quaternary tectonic setting. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 201 (1-4), 53–64.

Ramos, V. A., Folguera, A. y García Morabito, E. 2011a. Las provincias geológicas del Neuquén. Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén 27, 317-326.

Ramos, V. A., Mosquera, A., Folguera, A. y García Morabito, E. 2011b Evolución tectónica de los Andes y del Engolfamiento Neuquino adyacente. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén 29, 335-348.

Risso, C., Németh, K. y Nullo, F. 2009. Guía de Campo a los campos volcánicos de Payún Matru y Llanquanelo, Malargüe-Mendoza 3IMC. 3º Conferencia Internacional sobre Maars, 14 –17, 2009. Malargüe, Argentina 28 pp.

Rodríguez, M. F. 2011. El Grupo Malargüe (Cretácico Tardío-Paleógeno Temprano) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén 22, 245-264.

Rosello, E. A., Cobbold, P. R., Diraison, M. y Arnaud, N. 2002. Auca Mahuida (Neuquén Basin, Argentina): a quaternary shield volcano on a hydrocarbon-producing substrate. En: 5th international symposium Andean Geodynam Toulouse, 549–552.

Rollinson, H. R. y Pease, V. 2021. Using geochemical data: to understand geological processes (2nd Edition). Cambridge University Press, Cambridge, 346 pp.

Schmidt, M. W. y Jagoutz, O. 2017. The global systematics of primitive arc melts. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 18, 2817–2854.

Sigismondi, M. E. 2012. Estudio de la deformación litosférica de la cuenca Neuquina: estructura termal, datos de gravedad y sísmica de reflexión. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Søager, N., Holm, P. M. y Llambías, E. J. 2013. Payenia volcanic province, southern Mendoza, Argentina: OIB mantle upwelling in a backarc environment. *Chemical Geology* 349, 36–53.

Sun, S. S. y McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313-345.

Tozer, B., Sandwell, D. T., Smith, W. H. F., Olson, C., Beale, J. R. y Wessel, P. 2019. Global bathymetry and topography at 15 arc seconds: SRTM15+, Accepted Earth and Space Science. En línea: https://topex.ucsd.edu/WWW_html/srtm15_plus.html

Ventura, G., De Ritis, R., Longo, M. y Chiappini, M. 2012. Terrain characterization and structural control of the Auca Mahuida volcanism (Neuquén Basin, Argentina). *International Journal of Geographical Information Science* 27 (7), 1469–1480.

Winchester, J. A. y Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.

Zavala C. y Ponce, J. J. 2011. La Formación Rayoso (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén 19, 205-222.

ANEXO

POZO UNIDAD Intrusivo Muestra	RA				
	Gr. Neuquén		Fm. Rayoso		
	Prof. 1425- 1475	Prof. 1489- 1519	Prof. 1906- 1990	Prof. 2022- 2036	Prof. 2052- 2062
	RA-1448	RA-1500	RA-1950	RA-2032	RA-2058
-SiO ₂ -	60.88	60.39	60.55	55.78	58.72
-Al ₂ O ₃ -	17.24	17.29	17.23	16.18	16.39
-Fe ₂ O ₃ -	4.04	4.09	3.97	5.88	4.88
-MnO-	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13
-MgO-	0.17	0.13	0.27	1.13	0.58
-CaO-	1.04	1.13	1.49	2.99	2.18
-Na ₂ O-	6.43	6.77	6.33	5.50	6.02
-K ₂ O-	5.29	5.34	5.07	3.94	4.85
-TiO ₂ -	0.18	0.18	0.27	0.78	0.37
-P ₂ O ₅ -	0.03	0.02	0.11	0.33	0.14
L.O.I.	4.40	4.40	4.40	7.10	5.50
TOTAL	99.83	99.86	99.81	99.74	99.76
Rb	153.5	153.6	121.2	109.3	122.8
Ba	116	79	818	678	727
Sr	48.2	46.4	106	465.7	180.5
Sc	<1	<1	2	3	2
Ni	0.4	0.4	0.7	4.2	3.9
Co	1	1.1	1.5	5.2	2.3
Cu	5.7	5.8	5.7	7.9	12.1
V	<8	<8	<8	<8	<8
Ga	30	30.1	23.1	19.6	21.5
Zn	90	98	96	74	93
Zr	726.2	542.3	482.6	330.8	474.2
Y	32.3	27	15.5	21.8	18.2
W	1.6	2.7	1.6	2	2.2
Pb	13.1	10.8	7.6	11.3	15.5
Th	18	17.8	11.9	8.4	10.7
La	58.2	59.1	39.1	40.2	40.9
Ce	99.1	104.6	64.9	74.2	70.1
Pr	10.51	10.34	6.58	7.96	7.1
Nd	33.8	35.5	22.4	31.6	26.9
Sm	6.3	6.33	3.52	5.33	4.14
Eu	0.34	0.3	0.95	1.53	0.98

Gd	5.42	5.51	3.03	4.87	3.75
Tb	0.95	0.89	0.49	0.61	0.5
Dy	5.6	5.62	3.16	4.36	3.2
Ho	1.14	1	0.63	0.71	0.62
Er	3.37	3.03	1.61	2.03	1.83
Tm	0.54	0.53	0.3	0.31	0.3
Yb	3.9	3.34	1.88	1.95	2.1
Lu	0.54	0.53	0.29	0.31	0.31
Nb	77.4	84.5	52.1	35.4	48.5
Ta	5.9	6.1	3.9	1.9	3.1
Hf	17.2	13.7	10.1	7.5	10.1

Tabla 3, datos de geoquímica del pozo RA, aportados por YPF SA.

POZO	RB				
UNIDAD	Gr. Neuquén	Fm. Rayoso			
Intrusivo	Prof. 1047- 1103	Prof. 1667- 1685	Prof. 1698- 1712	Prof. 1945- 1962	Prof. 2014- 2060
Muestra	RB-1076	RB-1673	RB-1703	RB-1958	RB-2030
-SiO ₂ -	59.14	60.97	60.26	57.46	60.12
-Al ₂ O ₃ -	17.81	16.2	16.75	16.41	17.65
-Fe ₂ O ₃ -	4.93	4.27	4.58	6.21	4.71
-MnO-	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12
-MgO-	0.39	0.23	0.32	0.58	0.5
-CaO-	1.52	1.48	1.19	2.22	1.78
-Na ₂ O-	6.8	6.83	6.25	6.23	6.26
-K ₂ O-	5.01	5.04	5.04	4.42	5.11
-TiO ₂ -	0.41	0.19	0.26	0.62	0.44
-P ₂ O ₅ -	0.17	0.04	0.09	0.19	0.16
L.O.I.	3.4	4.4	4.9	5.3	2.9
TOTAL	99.71	99.78	99.77	99.77	99.75
Rb	116.8	222.1	210.7	110.6	136.7
Ba	1199	109	155	601	792
Sr	152.7	32.4	53.1	187.2	212
Sc	2	2	2	5	2
Ni	3	1.4	1.7	1.4	0.8
Co	2.2	1.4	1.6	2.8	1.8
Cu	9	12.7	8.2	6.6	8.9
V	<8	<8	<8	<8	<8
Ga	23.6	33.3	33	26.8	22.4
Zn	93	90	115	114	94
Zr	489.2	1072.1	1004.3	494.5	403.8
Y	16.8	42.6	40.4	32.5	19.5
W	1.4	4.5	4.6	1.6	1.7
Pb	13.2	21.4	27.1	10.1	4.1
Th	10	33.3	28.9	11.9	9.6
La	41.5	78.2	72.6	44.5	37.2
Ce	69.2	136.5	126.2	84.1	67.5
Pr	6.87	13.63	12.88	9.14	7.2
Nd	24.3	46.1	43.6	35.5	22.9
Sm	3.91	8.37	7.96	7.12	4.34
Eu	1.32	0.21	0.44	1.66	1.21
Gd	3.37	7.35	7.32	6.64	3.65

Tb	0.46	1.22	1.13	0.95	0.58
Dy	2.99	7.38	6.98	5.96	3.35
Ho	0.58	1.55	1.34	1.06	0.64
Er	1.68	4.62	4.26	3.18	1.98
Tm	0.27	0.72	0.71	0.46	0.31
Yb	1.99	4.89	4.41	3.26	1.98
Lu	0.28	0.75	0.7	0.46	0.34
Nb	53.6	118.4	116.7	57.7	42.4
Ta	3.3	9.3	8.2	3.5	2.7
Hf	9.8	24.7	23.5	10.4	8.4

Tabla 4, datos de geoquímica del pozo RB, aportados por YPF SA.

POZO	RC				
UNIDAD	Gr. Neuquén	Fm. Rayoso			
Intrusivo	Prof. 1028- 1115	Prof. 1577- 1587	Prof. 1605- 1620	Prof. 1625- 1630	Prof. 1975- 2012
Muestra	RC-1050	RC-1580	RC-1615	RC-1630	RC-2005
-SiO ₂ -	60.12		60.55	63.65	60.42
-Al ₂ O ₃ -	17.84		17.33	15.73	17.50
-Fe ₂ O ₃ -	4.82		4.15	3.75	4.28
-MnO-	0.13		0.12	0.10	0.11
-MgO-	0.46		0.35	0.61	0.45
-CaO-	2.04		1.02	1.16	1.81
-Na ₂ O-	6.75		6.57	5.46	6.18
-K ₂ O-	4.88		5.33	4.71	5.26
-TiO ₂ -	0.43		0.19	0.27	0.39
-P ₂ O ₅ -	0.17		0.05	0.07	0.14
L.O.I.	2.10		4.20	4.30	3.30
TOTAL	99.74		99.86	99.81	99.84
Rb	116.60	151.40	154.40	130.00	147.20
Ba	1078.00	183.00	123.00	263.00	661.00
Sr	165.20	38.00	15.30	46.30	173.50
Sc	2.00		1.00	3.00	2.00
Ni	33.00		<20	<20	<20
Co	2.00	2.00	16.30	3.00	1.40
Cu	8.80	7.40	6.50	7.90	6.40
V	<8	14.00	<8	17.00	<8
Ga	23.80	30.80	29.40	24.20	22.90
Zn	98.00	93.00	96.00	82.00	85.00
Zr	447.80	728.70	519.80	548.50	408.70
Y	18.20	31.10	30.40	27.50	19.70
W	2.10	1.60	2.60	2.00	7.80
Pb	7.20	11.00	12.30	11.40	6.20
Th	10.50	16.90	16.30	16.40	9.80
La	40.8	57.2	58.2	48.4	37.4
Ce	69.7	97.1	101.6	82.8	66.5
Pr	6.96	10.03	10.01	9.01	7.02
Nd	24.1	35.7	32.1	28.5	24.2
Sm	3.93	5.88	6.07	5.89	4.16
Eu	1.19	0.38	0.33	0.51	1.04
Gd	3.34	5.38	5.41	5.15	3.57

Tb	0.51	0.99	0.9	0.82	0.55
Dy	2.99	4.75	5.56	5.18	3.6
Ho	0.6	1.25	1.09	1.02	0.7
Er	1.89	3.74	3.2	2.85	1.85
Tm	0.3	0.6	0.55	0.49	0.32
Yb	1.79	3.87	3.41	3.28	2.02
Lu	0.31	0.61	0.53	0.49	0.33
Nb	52.80	79.20	75.40	58.00	44.20
Ta	3.5	5.3	5.7	4.8	2.8
Hf	9.30	14.60	11.80	13.50	8.20

Tabla 5, datos de geoquímica del pozo RC, aportados por YPF SA.

POZO	RC			
UNIDAD	Fm. Centenario Inferior		Fm. Mulichinco	
	Prof. 2703-2743		Prof. 2876-2935	
Muestra	RC-2722	RC-2742	RC-2910 (cutting)	RC-2930
-SiO2-	59.55	61.22	57.78	58.78
-Al2O3-	17.06	16.44	16.43	17.43
-Fe2O3-	4.42	4.01	3.83	3.83
-MnO-	0.12	0.11	0.11	0.11
-MgO-	0.15	0.21	0.14	0.18
-CaO-	1.55	1.13	1.59	1.709
-Na2O-	6.36	6.38	6.5	6.85
-K2O-	5.53	5.32	5.23	5.23
-TiO2-	0.18	0.2	0.19	0.19
-P2O5-	0.04	0.05	0.02	0.02
L.O.I.	4.8	4.7	8	8
TOTAL	99.76	99.77	99.82	102.33
Rb	159.6	151.4	133.4	133.4
Ba	44	101	41	41
Sr	42.1	48.5	88.9	88.9
Sc	<1	1	1	1
Ni	3.1	3.4	0.3	0.3
Co	0.6	0.9	1	1
Cu	7.7	8.5	5.2	5.2
V	<8	<8	<8	<8
Ga	28.9	26.9	27.6	27.6
Zn	117	119	110	110
Zr	703.6	681.5	577.7	577.7
Y	30.9	29.1	25.7	25.7
W	1.8	2.8	2.2	2.2
Pb	14.5	14	8.7	8.7
Th	15.3	15.3	14.8	14.8
La	57.1	54.3	47	47
Ce	100.9	92.6	84	84
Pr	9.66	8.95	8.65	8.65
Nd	33.2	31.5	27.9	27.9
Sm	5.69	5.56	5.37	5.37
Eu	0.32	0.37	0.37	0.37
Gd	5.45	4.99	4.57	4.57

Tb	0.84	0.78	0.75	0.75
Dy	5.14	4.88	4.99	4.99
Ho	0.99	0.95	0.95	0.95
Er	3.13	2.89	2.88	2.88
Tm	0.5	0.48	0.44	0.44
Yb	3.26	3.31	2.8	2.8
Lu	0.51	0.5	0.46	0.46
Nb	77.7	69.2	66.1	66.1
Ta	5.7	4.8	4.7	4.7
Hf	15	13.4	13.8	13.8

Tabla 6, datos de geoquímica del pozo RC, aportados por YPF SA.

POZO	VA			
UNIDAD	Gr. Neuquén		Fm. Rayoso	
Intrusivo	Prof. 1315-1327	Prof. 1496	Prof. 1486-1672	Prof. 1664-
Muestra	VA-1325	VA-1495	VA-1671	
-SiO ₂ -	48.17	45.93	46.03	
-Al ₂ O ₃ -	17.67	17.49	16.92	
-Fe ₂ O ₃ -	9.76	8.4	9.1	
-MnO-	0.14	0.12	0.14	
-MgO-	4.5	3.03	3.5	
-CaO-	8.37	6.92	7.24	
-Na ₂ O-	4.72	4.57	4.57	
-K ₂ O-	1.73	2.03	2.07	
-TiO ₂ -	2.08	1.81	1.95	
-P ₂ O ₅ -	0.56	0.56	0.55	
L.O.I.	2	8.9	7.7	
TOTAL	99.70	99.76	99.77	
Rb	36.1	41.2	42.9	
Ba	390	453	515	
Sr	859.4	852.1	794.4	
Sc	17	12	13	
Ni	21.9	12.7	12	
Co	27.8	21	23.5	
Cu	32	23.1	26.3	
V	207	150	172	
Ga	22.5	20.4	20.9	
Zn	63	105	76	
Zr	181.4	175.9	193.6	
Y	21.7	19.4	21	
W	0.6	0.7	<0.5	
Pb	2.7	2	2.9	
Th	2.9	3.9	3.6	
La	24.4	24.8	25.8	
Ce	47.4	48.3	49.1	
Pr	5.98	6.16	5.98	
Nd	24.6	26.8	25.3	
Sm	5.49	5.18	5.12	
Eu	1.9	1.84	1.74	
Gd	5.38	5.1	5.13	

Tb	0.77	0.75	0.75
Dy	4.39	4.13	3.94
Ho	0.74	0.7	0.77
Er	2.12	1.9	2.05
Tm	0.29	0.26	0.27
Yb	1.7	1.79	1.62
Lu	0.25	0.26	0.27
Nb	28.1	28.3	28.9
Ta	1.4	1.8	1.6
Hf	3.8	4.4	4.3

Tabla 7, datos de geoquímica del pozo VA, aportados por YPF SA.

POZO	VA			
UNIDAD	Fm. Centenario Sup.	Fm. Mulichinco		
Intrusivo	Prof. 1855-1881	Prof. 2658-2745		
Muestra	VA-1872	VA-2667	VA-2700	VA-2736
-SiO ₂ -	59.28	59.14	56.82	58.32
-Al ₂ O ₃ -	14.67	15.94	17.15	17.08
-Fe ₂ O ₃ -	3.34	4.37	4.96	5.01
-MnO-	0.11	0.13	0.12	0.13
-MgO-	1.78	0.94	1.05	0.72
-CaO-	4.17	2.41	2.99	2.27
-Na ₂ O-	5.58	5.83	6.12	6.07
-K ₂ O-	4.69	5.06	4.87	5.44
-TiO ₂ -	0.15	0.29	0.47	0.38
-P ₂ O ₅ -	0.04	0.12	0.28	0.2
L.O.I.	6	5.6	5	4.2
TOTAL	99.81	99.83	99.83	99.82
Rb	243.5	95.6	92	73.5
Ba	119	237	515	331
Sr	72.9	114.9	317.7	142.3
Sc	1	3	4	4
Ni	1	1.2	2	2.4
Co	0.7	1.7	3.9	2.2
Cu	9.3	6.8	10.8	8.1
V	<8	<8	13	<8
Ga	29.9	22.8	23.2	17.4
Zn	123	80	83	75
Zr	890.9	453.6	368	317.7
Y	35.4	21.1	20.2	15.4
W	4.7	2.4	1.4	1.2
Pb	19	7.2	4.9	7.3
Th	36.5	10.4	7.9	8.3
La	75.1	42.9	41.4	31.5
Ce	124.3	76	74.7	57
Pr	12.82	8.11	7.9	6.32
Nd	40.6	29.1	29	19.3
Sm	7.12	5.07	4.87	3.81
Eu	0.27	0.81	1.33	0.76
Gd	6.11	4.06	4.04	3.15
Tb	1.01	0.69	0.62	0.5

Dy	6.34	3.92	3.57	2.82
Ho	1.25	0.78	0.71	0.5
Er	3.95	2.15	2.04	1.63
Tm	0.65	0.35	0.31	0.24
Yb	4.14	2.3	1.97	1.57
Lu	0.63	0.35	0.31	0.27
Nb	96.6	58.8	56.6	45.8
Ta	8.1	3.7	3.2	2.8
Hf	21.1	10.8	8.1	6.8

Tabla 8, datos de geoquímica del pozo VA, aportados por YPF SA.

POZO	VB					
UNIDAD	Grupo Neuquén			Fm. Rayoso		
Intrusivo	Prof. 1262-1281		Prof. 1295-1301	Prof. 1364-1368	Prof. 1708-1737	
Muestra	VB-1264	VB-1276	VB-1297	VB-1366	VB-1714	VB-1717
-SiO ₂ -	47.65	47.11	46.73	45.76		61.94
-Al ₂ O ₃ -	17.41	17.25	17.61	17.14		17.78
-Fe ₂ O ₃ -	9.98	10.05	9.36	9.81		4.25
-MnO-	0.14	0.14	0.14	0.14		0.12
-MgO-	4.77	4.61	3.84	3.47		0.19
-CaO-	8.34	8.45	8.32	7.39		1.04
-Na ₂ O-	4.75	4.71	4.37	4.46		6.94
-K ₂ O-	1.63	1.66	1.75	1.83		5.47
-TiO ₂ -	2.11	2.09	2.05	2.01		0.23
-P ₂ O ₅ -	0.56	0.58	0.57	0.57		0.07
L.O.I	2.3	3	5	7.1		1.8
TOTAL	99.64	99.65	99.74	99.68		99.83
Rb	33.4	34.8	35.3	35.4	150.2	149
Ba	680	466	580	411	97	102
Sr	833.8	835.5	865.6	773.9	76	81.4
Sc	18	17	16	15		1
Ni	25.7	23.7	26.1	17.4	0.4	1.8
Co	29.8	28.4	29.1	26.5	1	1.8
Cu	33	31	31.6	27.6	6	6.2
V	201	203	203	195	<8	<8
Ga	21.3	20.8	21.9	20.6	25.6	27.2
Zn	66	64	66	72	84	84
Zr	173.5	180.2	184	187.3	688.9	657.5
Y	21.5	21	20.9	20.6	23	21.4
W	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	3.1	3.1
Pb	2.3	2.4	2.5	2	22.8	12
Th	2.9	2.8	3.2	3.5	18.2	19.3
La	24.4	23.8	25	24	50.2	47.4
Ce	47.5	49.7	49.2	49.6	89.4	77.6
Pr	5.99	5.97	6	5.98	8.08	7.6
Nd	24.1	22.6	24.5	22.7	25.9	22.5
Sm	5.55	5.49	5.48	5.43	4.59	4.36
Eu	1.89	1.96	1.88	1.86	0.46	0.43
Gd	5.42	5.49	5.22	4.96	3.91	3.73

Tb	0.76	0.8	0.77	0.75	0.64	0.6
Dy	4.21	4.25	4.24	4.08	4.24	3.68
Ho	0.85	0.79	0.73	0.76	0.82	0.73
Er	2.02	2.17	2.05	1.88	2.47	2.2
Tm	0.29	0.29	0.28	0.27	0.41	0.38
Yb	1.73	1.7	1.63	1.61	2.59	2.51
Lu	0.26	0.26	0.29	0.25	0.41	0.38
Nb	27.4	29	28	26.9	69.1	66.3
Ta	1.6	1.5	1.7	1.5	4.9	5.3
Hf	3.8	3.7	4.2	4	14	13.5

Tabla 9, datos de geoquímica del pozo VB, aportados por YPF SA.

POZO	VB				
UNIDAD	Fm. Mulichinco				
Intrusivo	Prof. 2645-2717				
Muestra	VB-2677	VB-2689	VB-2695	VB-2710	VB-2716
-SiO ₂ -			56.15	57.59	
-Al ₂ O ₃ -			16.89	17.3	
-Fe ₂ O ₃ -			6.34	5.48	
-MnO-			0.15	0.13	
-MgO-			0.61	0.55	
-CaO-			1.98	1.51	
-Na ₂ O-			5.9	6.21	
-K ₂ O-			5.17	5.69	
-TiO ₂ -			0.5	0.34	
-P ₂ O ₅ -			0.32	0.19	
L.O.I			5.8	4.8	
TOTAL			99.81	99.79	
Rb	106.6	96	95.8	105.2	96.1
Ba	293	493	501	366	524
Sr	111.7	213.1	254.9	191.5	241.7
Sc			4	4	
Ni	0.3	0.7	4.9	3.2	1.3
Co	1.6	2.5	3.7	2.6	3.4
Cu	9.2	6.4	11.4	12.2	9.6
V	<8	<8	10	8	<8
Ga	24.7	22	23.2	24.6	22.6
Zn	105	103	130	87	176
Zr	517.8	438.4	402.8	462	452.9
Y	24.5	25.1	22.2	22.5	23.3
W	1.5	1.9	1.4	1.9	1.4
Pb	42.1	29.9	25.5	21.7	25.7
Th	10.7	9.4	7.5	9.1	9.4
La	53	50	45.8	47.5	50.3
Ce	101.8	95.1	83.3	82.9	96.6
Pr	10.02	9.59	8.88	8.61	9.55
Nd	32.4	34.1	32.5	27.1	34.2
Sm	5.66	5.96	5.62	5.01	5.94
Eu	0.99	1.29	1.3	1.04	1.32
Gd	4.85	5.18	4.73	4.4	4.71
Tb	0.77	0.76	0.66	0.65	0.75

Dy	5	4.53	3.97	4.12	4.26
Ho	0.93	0.82	0.7	0.77	0.83
Er	2.52	2.22	2.18	2.06	2.37
Tm	0.4	0.35	0.29	0.33	0.36
Yb	2.59	2.15	2.14	2.15	2.27
Lu	0.41	0.35	0.35	0.36	0.36
Nb	76.7	67.4	65.8	65.6	63.2
Ta	4.9	4	3.6	4	4
Hf	9.8	8.8	8.5	10	9

Tabla 10, datos de geoquímica del pozo YPF.Nq.VAM-31d, aportados por YPF SA.

POZO	VC			
UNIDAD	Fm. Rayoso	Fm. Centenario Superior		
Intrusivo	Prof. 1678-	Prof. 2106-	Prof. 2123,5-	Prof. 2200-
Muestra	1738	2114	2135,5	2206
	VC-1710	VC-2108	VC-2135	VC-2205
-SiO ₂ -	47.77		53.45	62.33
-Al ₂ O ₃ -	15.18		18.18	16.67
-Fe ₂ O ₃ -	9.6		4.42	3.28
-MnO-	0.13		0.2	0.1
-MgO-	7.87		0.66	0.61
-CaO-	8.48		1.04	1.04
-Na ₂ O-	3.72		4.43	3.28
-K ₂ O-	2.23		7.01	7.09
-TiO ₂ -	2.09		0.06	0.17
-P ₂ O ₅ -	0.53		0.04	0.08
L.O.I.	2		9.9	5.2
TOTAL	99.60		99.39	99.85
Rb	50	146.6	279.9	218.7
Ba	455	391	265	595
Sr	771.2	172.1	134.6	98.8
Sc	20		<1	2
Ni	181		<20	<20
Co	38.6	3.9	1	2
Cu	55.1	7.3	9.3	6.3
V	208	58	<8	10
Ga	21.3	21.8	62	22.5
Zn	63	61	263	72
Zr	193.7	473.8	2440.7	521.8
Y	19.6	24.9	108.5	20.8
W	0.9	2.5	2.1	2.1
Pb	2.8	28.1	29.9	9.6
Th	3.8	14.7	64.1	14.5
La	26.1	45.1	199.3	40.7
Ce	52.2	79.4	342.3	72.6
Pr	6.62	8.6	33.3	7.58
Nd	27.1	27.4	105.6	23.4
Sm	5.7	4.77	18.34	4.35
Eu	1.98	0.78	0.78	0.63
Gd	5.64	4.31	16.36	3.85

Tb	0.77	0.7	2.87	0.62
Dy	4.33	3.66	18.55	3.72
Ho	0.74	0.86	3.65	0.66
Er	1.91	2.64	11.26	2.21
Tm	0.25	0.4	1.82	0.34
Yb	1.38	2.88	11.63	2.74
Lu	0.22	0.38	1.76	0.39
Nb	31.6	38.2	235	43.4
Ta	2.1	3.2	22.9	3.3
Hf	4.1	9.8	56.1	11.2

Tabla 11, datos de geoquímica del pozo VC, aportados por YPF SA.

POZO	VC			
UNIDAD	Fm. Mulichinco			
Intrusivo	Prof. 2881-2991			
Muestra	VC-2887	VC-2962	VC-2977	VC-2986
-SiO ₂ -	59.37	56.82		58.79
-Al ₂ O ₃ -	17.12	17.15		17.34
-Fe ₂ O ₃ -	4.95	4.96		4.93
-MnO-	0.14	0.12		0.14
-MgO-	0.35	1.05		0.53
-CaO-	1.85	2.99		1.55
-Na ₂ O-	6.47	6.12		6.23
-K ₂ O-	5.39	4.87		5.67
-TiO ₂ -	0.26	0.47		0.26
-P ₂ O ₅ -	0.1	0.28		0.12
L.O.I.	3.8	5		4.3
TOTAL	99.80	99.83		99.86
Rb	112.6	92	120.5	121.1
Ba	170	515	225	174
Sr	114.3	317.7	163.3	126.5
Sc	3	4		3
Ni	2.5	2	1.2	1.2
Co	1.7	3.9	1	1.6
Cu	9	10.8	8	8.3
V	10	13	17	<8
Ga	27.2	23.2	28.1	27.8
Zn	99	83	86	73
Zr	547.1	368	540.5	545.4
Y	24.3	20.2	25.3	26.2
W	1.8	1.4	2.3	1.9
Pb	15	4.9	34.8	6.7
Th	11	7.9	10.2	10.8
La	50.8	41.4	49.9	51
Ce	92.5	74.7	85.7	91
Pr	9.54	7.9	9.25	9.36
Nd	32.7	29	34.4	32
Sm	5.71	4.87	5.67	5.7
Eu	0.75	1.33	0.86	0.77
Gd	4.74	4.04	4.54	4.79
Tb	0.74	0.62	0.77	0.73

Dy	4.35	3.57	5.51	4.56
Ho	0.87	0.71	0.87	0.92
Er	2.55	1.97	2.42	2.5
Tm	0.4	0.31	0.4	0.4
Yb	2.76	1.46	2.76	2.72
Lu	0.45	0.05	0.44	0.41
Nb	78.7	56.6	72	79.7
Ta	4.6	3.2	4.6	4.6
Hf	11.5	8.1	10.9	11.5

Tabla 12, datos de geoquímica del pozo VC, aportados por YPF SA.

POZO	VD		
UNIDAD	Fm. Mulichinco		
Intrusivo	Prof. 2552-2643		
Muestra	VD-2566	VD-2611	VD-2638
-SiO ₂ -	58.42	52.91	57.26
-Al ₂ O ₃ -	16.77	17.11	17.73
-Fe ₂ O ₃ -	4.74	6.75	5.1
-MnO-	0.13	0.15	0.12
-MgO-	0.61	1.17	0.81
-CaO-	1.79	3.41	2.63
-Na ₂ O-	6.24	5.97	6.22
-K ₂ O-	5.32	4.54	4.89
-TiO ₂ -	0.28	0.68	0.48
-P ₂ O ₅ -	0.12	0.4	0.28
L.O.I	5.4	6.7	4.3
TOTAL	99.82	99.79	99.82
Rb	105	79.4	84.6
Ba	243	613	484
Sr	129.6	429.1	351.8
Sc	3	6	4
Ni	1.7	4.2	2.5
Co	2.2	6.2	4.3
Cu	7.7	12.3	11.4
V	9	25	17
Ga	26.2	23.4	23.5
Zn	77	120	76
Zr	502	380.5	388.9
Y	22.7	21.6	18.9
W	2.3	1.5	1.9
Pb	11	9.8	8.1
Th	11.3	8.2	8.9
La	46.7	41.3	41.6
Ce	82.6	76.6	76.4
Pr	8.74	8.55	8.1
Nd	30.2	30.5	27.9
Sm	5.4	5.6	5.13
Eu	0.8	1.63	1.27
Gd	4.52	4.71	4.53
Tb	0.71	0.71	0.67

Dy	4.31	4.18	4.02
Ho	0.81	0.73	0.74
Er	2.4	2.15	2.15
Tm	0.38	0.33	0.3
Yb	2.44	2.25	2.06
Lu	0.4	0.32	0.31
Nb	69.2	52	54.1
Ta	4.8	3.8	3.7
Hf	11.3	8.6	8.9

Tabla 13, datos de geoquímica del pozo VD, aportados por YPF SA.

POZO	VE	
UNIDAD	Fm. Mulichinco	
Intrusivo	Prof. 2775-2850	
Muestra	VE-783	VE-2801
-SiO ₂ -	59.34	57.29
-Al ₂ O ₃ -	17	17.02
-Fe ₂ O ₃ -	4.65	5.23
-MnO-	0.14	0.12
-MgO-	0.33	0.63
-CaO-	1.76	2.62
-Na ₂ O-	6.58	6.02
-K ₂ O-	5.3	5.08
-TiO ₂ -	0.25	0.43
-P ₂ O ₅ -	0.09	0.22
L.O.I	4.4	5.1
TOTAL	99.84	99.76
Rb	106.5	100.1
Ba	173	469
Sr	118.5	321.3
Sc	3	4
Ni	0.9	2.8
Co	1.4	3.8
Cu	6.1	16.3
V	<8	23
Ga	26.3	23.4
Zn	119	87
Zr	509.2	529.5
Y	22.8	22.4
W	2	2.1
Pb	17.3	9.7
Th	12	9.8
La	49.5	46.1
Ce	87.4	80.6
Pr	8.95	8.42
Nd	30.8	32.4
Sm	5.6	5.08
Eu	0.71	1.17
Gd	4.73	4.61
Tb	0.73	0.65

Dy	4.58	4.07
Ho	1	0.76
Er	2.34	2.19
Tm	0.39	0.36
Yb	2.53	2.29
Lu	0.4	0.34
Nb	69.3	64.2
Ta	4.7	3.8
Hf	11.6	10.6

Tabla 14, datos de geoquímica del pozo VE, aportados por YPF SA.

POZO	VF		
UNIDAD	Fm. Mulichinco		
Intrusivo	Prof. 2839-2936		
Muestra	VF-2849	VF-2888	VF-2927
-SiO ₂ -		51.48	54.71
-Al ₂ O ₃ -		16.2	16.44
-Fe ₂ O ₃ -		5.87	5.22
-MnO-		0.14	0.15
-MgO-		0.95	0.57
-CaO-		3.18	2.04
-Na ₂ O-		5.8	6.18
-K ₂ O-		4.53	5.31
-TiO ₂ -		0.63	0.32
-P ₂ O ₅ -		0.37	0.14
L.O.I		10.6	8.8
TOTAL		99.75	99.88
Rb	97.8	81	107.5
Ba	318	638	223
Sr	145.2	385.6	158.5
Sc		5	3
Ni	1	2.5	0.8
Co	2.1	5.2	1.7
Cu	8	8	7.4
V	<8	14	<8
Ga	22.9	21.8	25.7
Zn	98	58	67
Zr	480.2	336.8	527.6
Y	22.8	18.4	23.8
W	1	1.5	2
Pb	11.9	5.7	6.6
Th	10	8.6	11.6
La	47.9	40	49.4
Ce	92.5	73.6	89
Pr	9.17	8.07	9.28
Nd	32.7	29.3	31.4
Sm	5.37	5.24	5.76
Eu	1.03	1.5	0.88
Gd	4.48	4.29	4.44
Tb	0.71	0.65	0.76

Dy	4.33	3.67	4.32
Ho	0.8	0.7	0.86
Er	2.38	2.09	2.47
Tm	0.37	0.27	0.38
Yb	2.42	1.75	2.66
Lu	0.42	0.29	0.41
Nb	64.9	52.6	75.7
Ta	4.4	3.4	5
Hf	11.3	8.4	11.7

Tabla 15, datos de geoquímica del pozo VF, aportados por YPF SA.