

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA OCURRENCIA DE APATITO MAGMÁTICO EN EL GABRO ROSPIDE

Pascale, A¹; Loureiro, J¹; Faraone, M¹; Campal, N²

¹Dirección Nacional de Minería y Geología, Área Geología, División Geología Económica y Exploración.

²Dirección Nacional de Minería y Geología.

Abstract

The Rospide Gabbro integrates the Paleoproterozoic post-orogenic plutonic magmatism from the Piedra Alta Terrane. The main mineralogy consists of hornblende, altered plagioclase, ilmenite, magnetite, apatite, garnet and sparse quartz. From the textural point of view, fine grain, coarse grain and very coarse grain facies were recognized. Associated to this basic body there is an iron-titanium mineralization which occurs as dikes with orientations ranging from vertical to subhorizontal. The analyzes carried out by portable XRF shows average values for phosphate of 0.24% for the fine grain facies, 0.11% in the coarse grain facies and 0.3% in the very coarse grain facies and mineralization. It is important to highlight that the concentration of Fe₂O₃ in the coarse-grained facies reaches values of 64%. On the other hand, enrichment in V in the fine and coarse facies was observed.

Resumen

El Gabro Rospide integra parte del magmatismo plutónico post-orogénico de edad paleoproterozoica del Terreno Piedra Alta. La mineralogía principal consta de anfíbol hornblenda, plagioclasa alterada, ilmenita, magnetita, apatito, granate y escaso cuarzo. Desde el punto de vista textural se reconocieron facies de grano fino, grano grueso y grano muy grueso. Asociado a este cuerpo básico existe una mineralización de hierro-titanio la cual se presenta en forma de diques con orientaciones que van desde vertical a subhorizontal. Los análisis realizados por medio de XRF portátil dieron valores promedio para fosfato de 0.24 % en las facies de grano fino, 0.11 % en las facies de grano grueso y 0.3% en las facies de grano muy grueso y en la mineralización. Es importante destacar la concentración de Fe₂O₃ en las facies de grano grueso, la cual alcanza valores del 64%. Por otro lado, existe un enriquecimiento en V en las facies finas y gruesas.

Introducción

El Gabro Rospide se encuentra ubicado en el Departamento de Florida a unos 5 km al sureste de la ciudad de homónima (Figura 1). El área de estudio se encuentra dentro de la Hoja K25 del Servicio Geográfico Militar a escala 1:50.000. Desde el punto de vista geotectónico integra parte del magmatismo plutónico post-orogénico de edad paleoproterozoica del Terreno Piedra Alta. Esta unidad geotectónica mayor aflorante en el suroeste del Uruguay está compuesta de cinturones de metamórficos de rocas de origen volcanosedimentario separados por grandes áreas granito-neisicas e intrusiones post-orogénicas asociadas (ver Bossi et al., 1993; Oyhantçabal et al. 2011). Según Bossi & Schipilov (2000), el gabro presenta una geometría aproximadamente rómbica definida por fallas de rumbo predominante NS ($\pm 10^\circ$), que lo limita hacia el SO con

metapelitas y metalavas de la Formación Paso Severino y N70E que marca el límite metapelitas también de la Formación Paso Severino. El límite norte corresponde a los granitos-neises de la Faja Florida. Edades U-Pb (SRHIMP) en circones del Gabro Rospide fueron reportadas por Hartmann et al. (2008a) dando valores de 2076 ± 6 y 2086 ± 7 Ma. Dichas edades son similares al resto de los granitos intrusivos del Terreno Piedra Alta lo que indica cierta contemporaneidad del magmatismo. La Figura 2 muestra la carta geológica del área de estudio modificada de Schipilov et al. (1998).

El presente trabajo pretende evaluar la ocurrencia de apatito asociado a la mineralización de hierro-titanio del Gabro Rospide y evaluar la posibilidad de la existencia de facies nelsoníticas o gabro nelsoníticas dentro del Gabro Rospide. En este estudio el término ocurrencia mineral, se aplica para aquellos minerales que son de interés geológico, pero no necesariamente de interés económico.

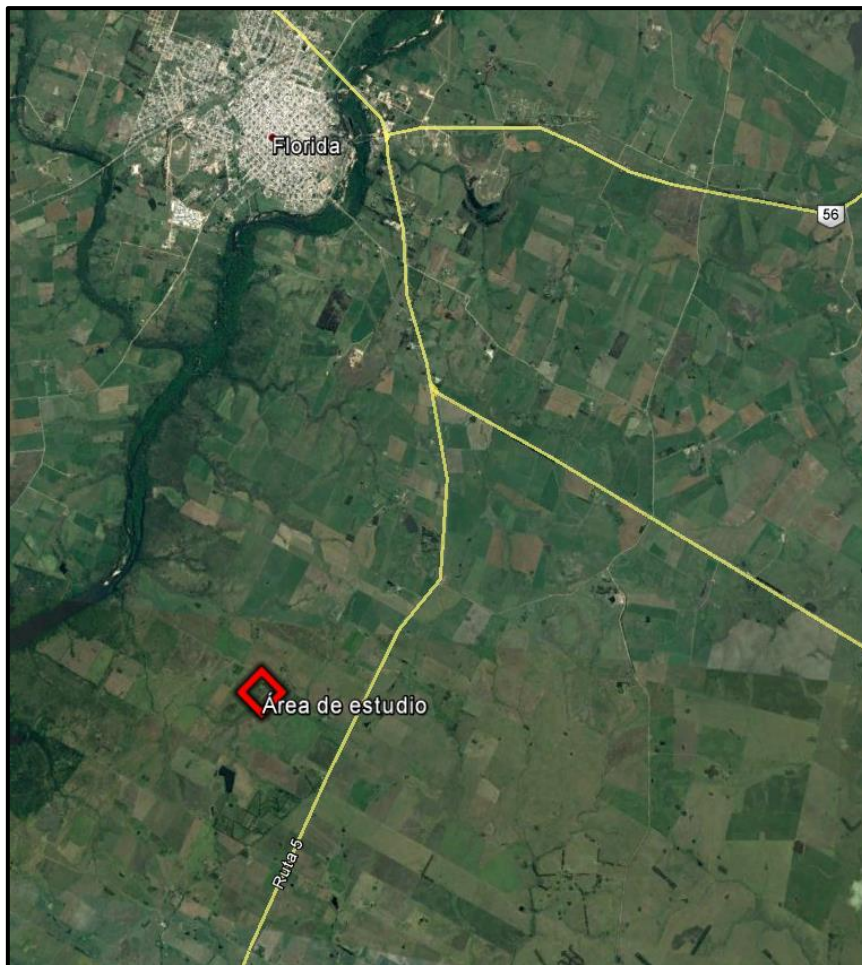


Figura 1. Imagen satelital donde se muestra el área de estudio. Fuente Mapa Base de ESRI. Ancho de la barra equivalen a 900 metros.

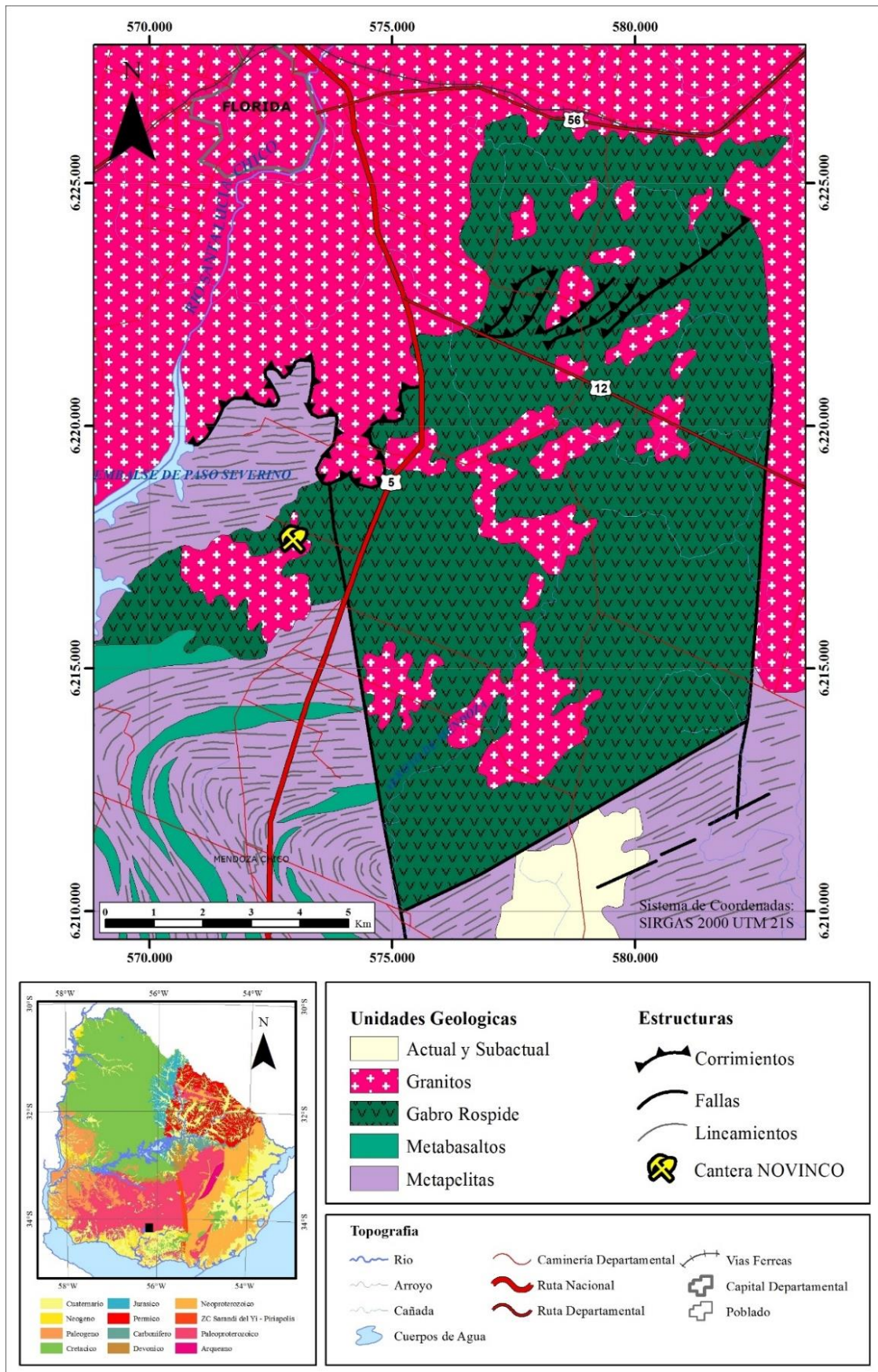


Figura 2. Mapa Geológico del área de estudio modificado de Schipilov et al. (1998).

Geología Económica

La empresa NOVINCO S.A. posee a la fecha el título de Concesión para Explotar mineral de hierro (Asunto 76/2005). Se trata de una mina a cielo abierto donde el mineral extraído es comercializado como aditivo para la fabricación de cemento portland (Figura 3).



Figura 3. Vista suroeste de la zona de explotación de hierro, cantera Novinco.

Según Goñi et al. (1962), se trata de un yacimiento de hierro y titanio de origen ortomagmático o de segregación magmática, es decir que los minerales se han formado a partir del magma primario por procesos de cristalización fraccionada más acumulación y posterior segregación.



Figura 4. Fotografías mostrando veta subvertical de la mineralización de hierro-titanio del gabro (izquierda) y detalle de la mineralización (derecha).

En general, los procesos de segregación magmática pueden generar “bolsones” donde se concentran las fases de interés económico o pueden pasar a rellenar fracturas de la propia roca

intrusiva o de la roca de caja. De esta forma, el mineral de interés aparece fuertemente concentrado y con volumen suficiente como para constituir yacimientos (Biondi, 1986). Estos procesos de segregación son verificados para el yacimiento de hierro-titanio del área de estudio. La mineralización se presenta tanto en forma de diques y venas que cortan al gabro con direcciones muy variadas, desde verticales a subhorizontales hasta en forma de bolsones aislados dentro de la propia roca.



Figura 5. Mineral de hierro-titanio, se destaca el brillo grasoso cuando se presenta con hábito masivo y, brillo grasoso a metálico cuando el hábito es subautomorfo.

Geología descriptiva del Gabro Rospide.

El cuerpo intrusivo presenta en general colores y tonalidades variables dependiendo de la composición predominante y del grado de alteración. Los mismos van desde negro azulado cuando la roca está fresca y los minerales máficos son los principales constituyentes, colores verdes pistacho sobre todo en los niveles superiores, donde los procesos de saussuritización predominan, niveles blanco amarillentos por mayor presencia de plagioclasa caolinitizada y saussuritizada y tonos naranjas a rojizos por presencia de óxidos de hierro (Figuras 4 y 5).

Desde el punto de vista petrográfico a escala mesoscópica se destaca la gran variedad textural que presenta el gabro en el área de estudio, identificando en base al tamaño de grano diferentes facies: de grano fino, grano grueso y grano muy grueso. Asimismo, se reconoce una fábrica magmática de tipo bandeado composicional que consiste en niveles con mayor y menor contenido de minerales máficos, la cual es más evidente en la facies de grano grueso y segregación de mineral de hierro-titanio que ocurre como diques de orientación variable.

Facies Grano Fino: presenta textura holocristalina equigranular a inequigranular seriada y ocasionalmente porfírica de color gris oscuro (Figura 6). El tamaño de grano es menor a 2 mm siendo reconocibles a ojo desnudo. Esta facies se encuentra en contacto neto con facies de

grano muy grueso donde puede observarse una delgada zona (de aproximadamente cinco centímetros de ancho) de tamaño de grano más fino definiendo así un margen de enfriamiento. La mineralogía identificada mediante lupa binocular consiste en anfíbol, plagioclasa, cuarzo, granate, esfeno, óxidos de hierro y apatito en matriz (determinado mediante reacción con molibdato de amonio en polvo de roca).

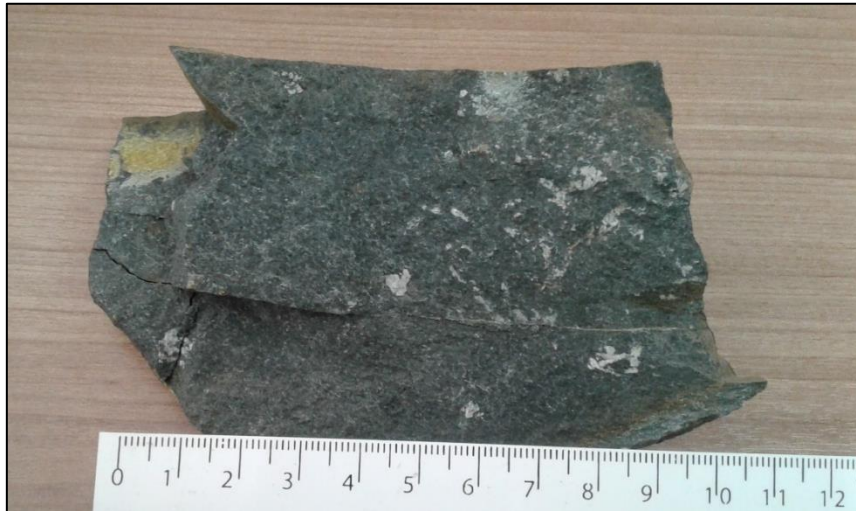


Figura 6. Gabro de grano fino de textura porfirítica.

Facies de Grano Medio a Grueso: son rocas inequigranulares seriadas a veces con textura porfirítica cuyo tamaño de grano se encuentra en un rango de 2 a 7 mm. Se componen de anfíbol, plagioclasa alterada, con bolsones de minerales metálicos (magnéticos). La alteración de la plagioclasa es a epidoto principalmente en los niveles más superficiales y a un material blancuzco pulverulento que probablemente corresponda a caolinita. Esto último será estudiado en una etapa posterior mediante difracción de rayos X. En general presenta una textura isótropa como puede verse en la figura 7A, pero localmente se puede observar cierta orientación preferencial (figura 7b).

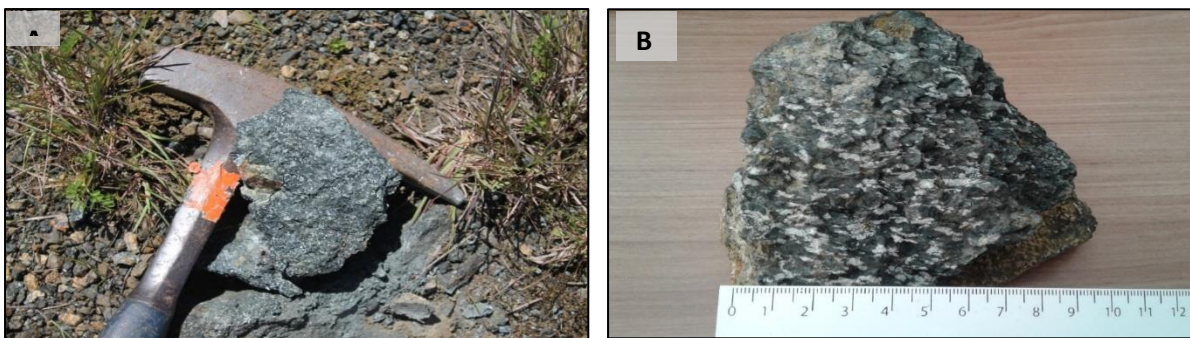


Figura 7. A. Gabro de grano medio isótropo. B. Gabro grano medio a grueso donde se observa orientación preferencial de la plagioclasa alterada.

Facies de Grano Muy Grueso: se trata de rocas de textura inequigranular donde los tamaños de los cristales llegan a sobrepasar los 50 mm, desarrollando así texturas pegmatíticas. La

mineralogía principal corresponde a anfíbol, plagioclasa alterada, epidoto, ilmenita-magnetita como minerales magnéticos y apatito en matriz (Figura 8).



Figura 8. A Facies de grano muy grueso de textura pegmatítica. B. Muestra de gabro de grano muy grueso donde pueden observarse cristales de plagioclasa alterada y tonalidades verdosas debido saussuritización del anfíbol.

Mesoestructuras

A escala de afloramiento es posible identificar estructuras de origen magmático tales como la estratificación que se muestra en la Figura 9 A y B y estructuras de segregación magmática representadas por diques mineralizados (ver Figura 4), estructuras de comportamiento frágil, las cuales vienen dadas por diaclasas conjugadas de tipo sistemáticas, estructuras en régimen frágil-dúctil representadas por diques aplíticos boudinados y zonas de alta deformación evidenciadas por zonas de cizalla (Figura 9C).



Figura 9. A y B estratificación magmática. C. Zona de cizalla afectada por fallamiento inverso.

Mineralogía descriptiva

Desde el punto de vista mineralógico, a ojo desnudo la composición del gabro parece ser constante. Sin embargo, pueden constatar variaciones locales. La mineralogía principal corresponde a un anfíbol de tipo hornblenda, el cual es el mineral predominante, ilmenita y plagioclasa alterada. Los minerales accesorios son apatito y biotita. Localmente aparecen como minerales neoformados granate y actinolita. Hematita especular, epidoto y clorita se presentan como minerales de alteración. Se analizó la mineralogía para las diferentes facies bajo la lupa binocular con aumentos que van desde 6.5 a 40, los minerales identificados son los siguientes:

Anfíbol: corresponde a la variedad hornblenda, la cual se presenta en cristales subautomorfos a automorfos, de tamaño muy variado desde fino a cristales mayores a 5cm. El hábito es prismático columnar a fibroso, brillo vítreo para los primeros y sedoso en la variedad fibrosa,

los colores que van de verde a negro-azulado. Ejemplares de la variedad prismática y fibrosa pueden observarse en la Figura 10.

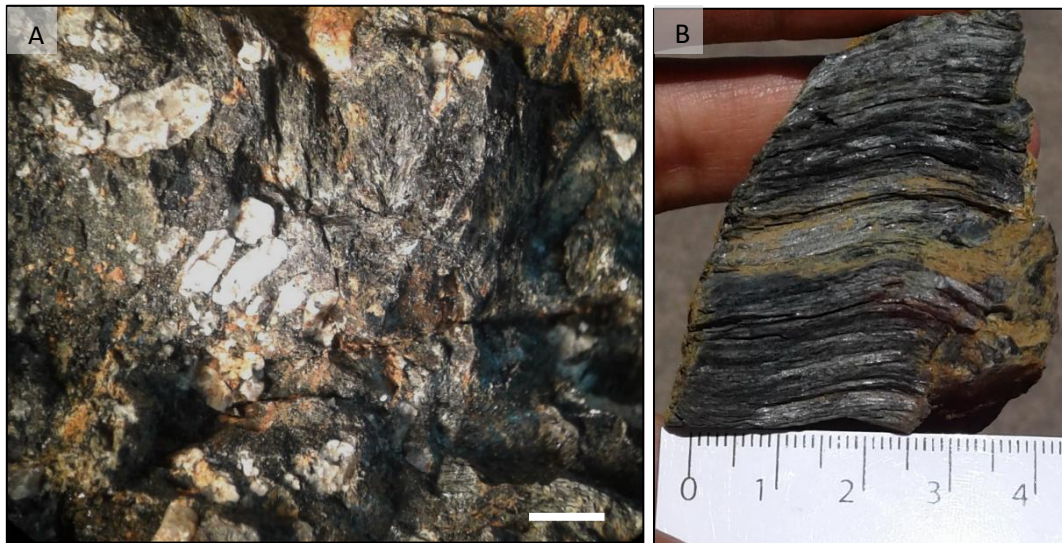


Figura 10. A. Cristales subautomorfos a xenomorfos de hornblenda prismática junto a secciones longitudinales bipiramidales de apatito la barra de escala es de 1cm). B. Variedad fibrosa del anfíbol.

En las facies de grano muy grueso los anfíboles llegan a superar los 3 cm de arista, que sumado a que componen la mayor parte de la roca y la plagioclasa prácticamente ocurre de forma accesoria se les ha dado la denominación de hornblenditas porfiroblásticas. Dichas rocas fueron descritas por primera vez por Walter (1948) quien las identificó en 1930 en el cerro Rospide y al SO de la estación de ferrocarril Palermo en el departamento de Florida. Dicho autor definió estas rocas como “dioritas o gabros porfiríticos”. La Figura 11 muestra un ejemplar de estas rocas donde puede observarse el tamaño de los cristales de anfíbol.



Figura 11. Facies de grano muy grueso compuesta prácticamente por cristales de hornblenda.

Plagioclasa: los cristales se encuentran en su gran mayoría transformados a saussurita, caolinita, hornblenda y cuarzo. La saussurita producto de alteración de la plagioclasa a minerales del grupo del epidoto principalmente, se presenta como un agregado microgranular de color blanco a verde-amarillento. La hornblenda se observa en finos cristales aciculares intercrecidos con remanentes de plagioclasa y el resto de los productos de alteración. El cuarzo

se presenta como un agregado cristalino fino de brillo vítreo. Todo el conjunto constituye un pseudomorfo de la plagioclasa (Figura 12).



Figura 12. A. En el centro de la imagen puede verse el contorno cristalino de hábito prismático de lo que fue la plagioclasa, hoy pseudomorfo compuesto de saussurita, cuarzo, hornblenda. B. Ampliación del pseudomorfo de plagioclasa donde pueden observarse los minerales mencionados en A más un fino cristal de apatito. C. detalle del cristal de apatito automorfo.

Ilmenita: se presenta como cristales granulares macizos a tabulares delgados, a veces romboédricos, con brillo metálico a submetálico y de color gris oscuro a negro (Figura 13C). Se encuentra asociada a magnetita y hematita.

Apatito: los cristales se presentan con hábitos subautomorfos a automorfos con secciones longitudinales prismáticas bipiramidales y secciones basales hexagonales. Ocasionalmente

presenta formas redondeadas u ovaladas debido a deformación dúctil que afecta localmente a la roca, incluso se observan secciones longitudinales levemente flexionadas. Sin embargo, en la mayoría de las muestras los cristales aparecen fracturados. La Figura 13A muestra dos secciones de cristales de apatito asociado a hornblenda. El brillo es vítreo y los colores van desde incoloros, amarillentos y naranjas traslúcidos. El tamaño de los cristales varía alcanzando en algunas secciones longitudinales 8 mm.

Granate: aparece como mineral neoforado en las facies de grano fino y grueso. Se presenta como cristales de color rojo automorfos a subautomorfos, de brillo vítreo y con tamaños de cristal que varía de 0.5 a 1.5 mm (Figura 13D).

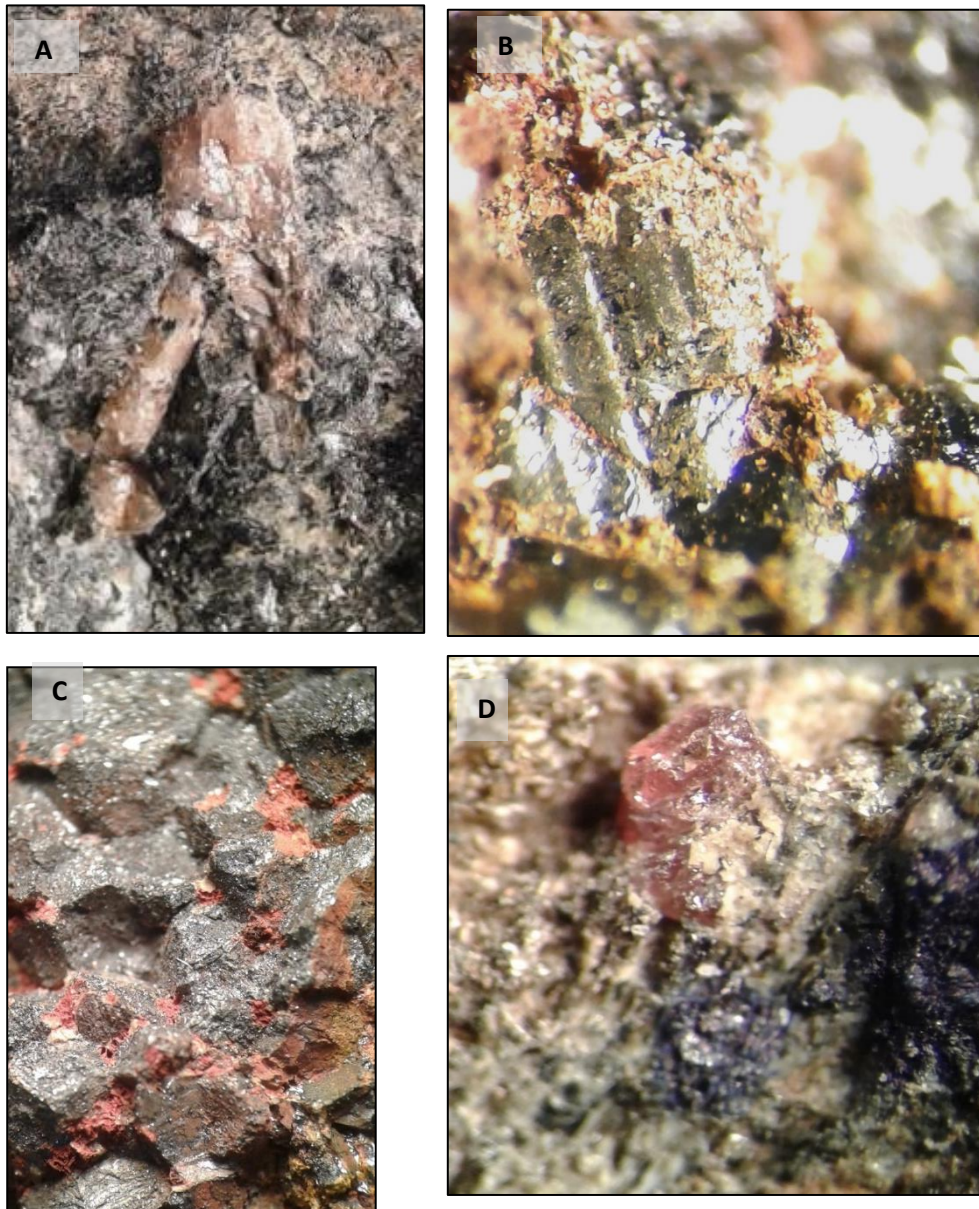


Figura 13. A. Cristales automorfos de apatito donde puede apreciarse el hábito prismático hexagonal que termina en la parte superior en formas piramidales. B. Hematita especular de hábito laminar. C. Agregados de cristales de ilmenita de hábito granular a romboédrico. D. Cristal de granate neoforado subautomorfo.

Epidoto: se presenta principalmente como mineral de alteración de la plagioclasa (proceso de saussuritización) y subordinadamente de la hornblenda. Es más evidente en los niveles superficiales del gabro que corresponden aproximadamente a los primeros 10 metros, apareciendo como un material verde-amarillento terroso a microcristalino.



Figura 14. A. Variedad iridiscente de oligisto. B. Variedad de hematita laminar especular.

Hematita: sus propiedades físicas varían según las variedades presentes. La variedad especular exhibe brillo metálico, hábito laminar y colores grises (véase Figuras 13B y 14 B). El oligisto se presenta con hábito masivo, brillo mate terroso, colores rojos y variedades iridiscentes (figura 14A).

Ocurrencia de apatito magmático

Si bien en los antecedentes bibliográficos del área de estudio que fue consultada no hay información de la ocurrencia de apatito magmático, se conocía a través de comunicaciones personales la ocurrencia de rocas fuertemente enriquecidas en apatito que fueron extraídas del macizo rocoso en el proceso de la antigua explotación del gabro para la extracción de hierro (años 1930). El apatito, la magnetita y la ilmenita cristalizan a partir de prácticamente cualquier magma, y si son suficientemente abundantes pueden llegar a concentrarse por cristalización fraccionada, dando lugar a pequeñas masas que alcanzan sus mejores características desde el punto de vista de su posible explotación minera cuando además son segregados del conjunto magmático. Las rocas cuya paragénesis mineral consiste esencialmente de dos terceras partes hierro, titanio y un tercio apatito son conocidas como nelsonitas o rocas “FTP” (Philpotts, 1967). Según este mismo autor, las rocas FTP se asocian principalmente a anortositas, subordinadamente a complejos ígneos alcalinos y a zonas superiores de intrusiones estratificadas máficas y ultramáficas.

Si bien en los niveles mineralizados no se constata a nivel macroscópico la presencia de apatito, si es posible observar cristales mayores a 1mm en las facies de grano grueso y muy grueso del gabro (Figuras 15 y 16). En las facies de grano fino se verificó la presencia de minerales fosfáticos mediante la reacción con ácido clorhídrico y molibdato de amonio (Figura 17).

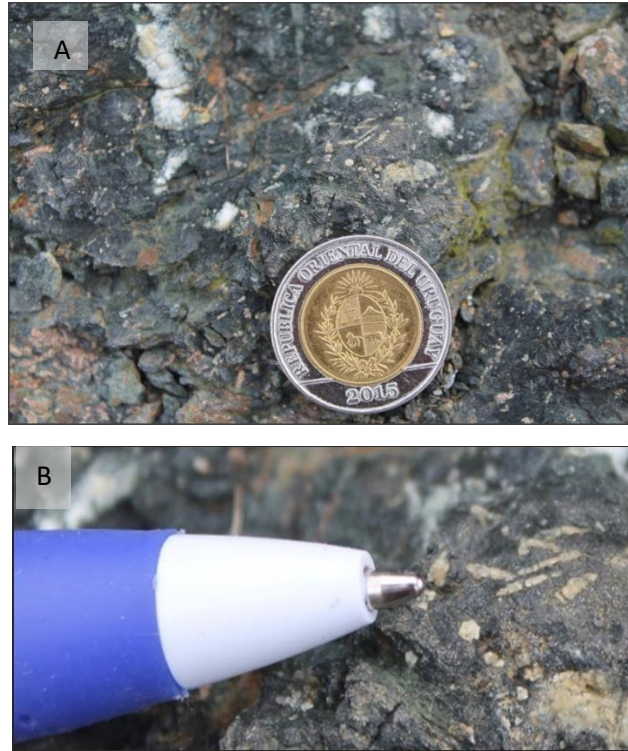


Figura 15. A. Delgados cristales de apatito en gabro de grano muy grueso. B. Ampliación de la imagen anterior donde se señala una sección basal hexagonal de apatito. A la derecha secciones longitudinales de apatito boudinado.

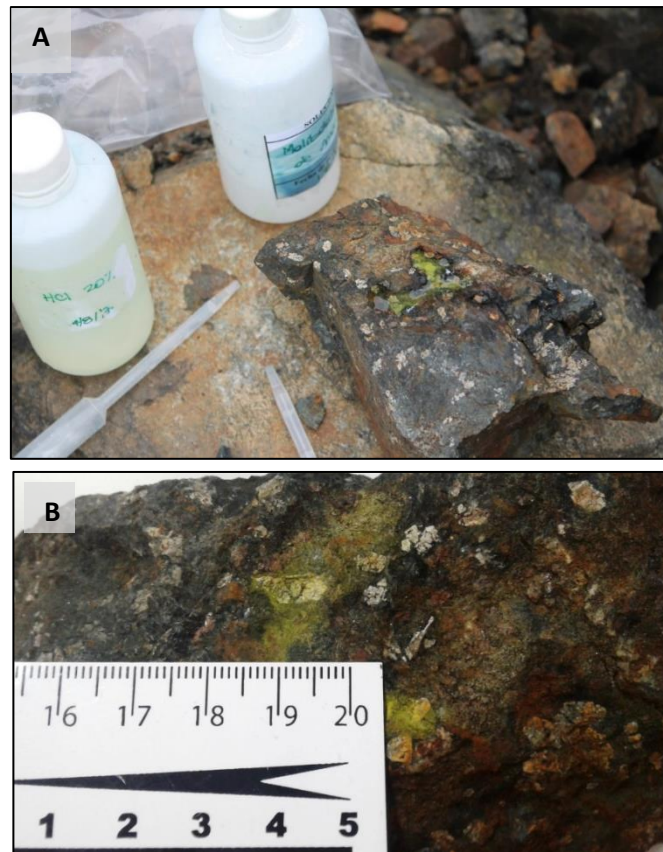


Figura 16.A) Test de molibdato de amonio en secciones longitudinales de cristales de apatito inmersos en la mineralización. El color amarillo canario corresponde a la reacción entre el molibdato de amonio y el fosfato presente en el mineral. B) En el centro y en el extremo superior derecho de la imagen pueden observarse secciones prismáticas bipiramidales de apatito.

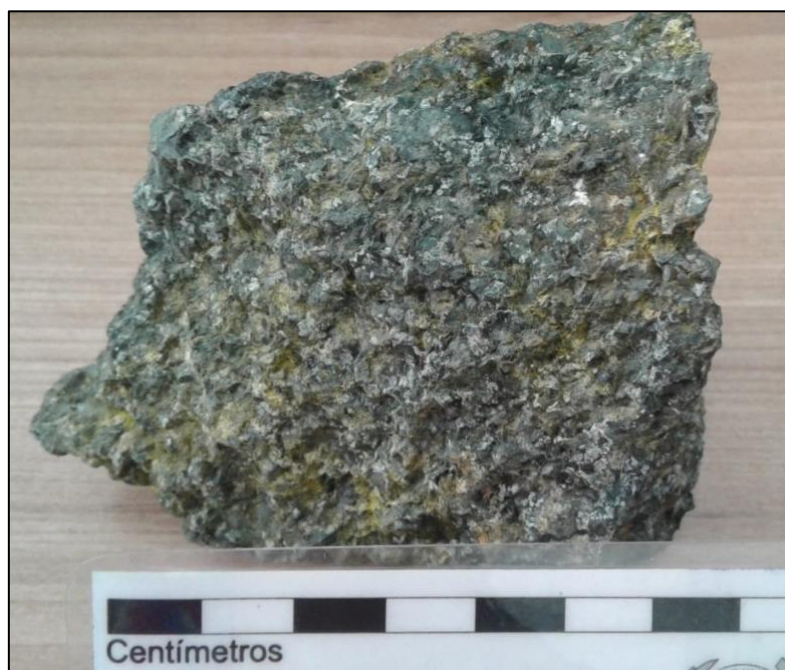


Figura 17. Test de molibdato de amonio en gabro de facies de grano fino

Geoquímica

Fluorescencia de Rayos X con analizador portátil.

La fluorescencia de rayos X (XRF, por sus siglas en inglés) es una técnica que consiste en la emisión de rayos X “secundarios” (o fluorescentes) característicos de un material que ha sido excitado al ser “bombardeado” con rayos X de alta energía o rayos gamma. Esta técnica es utilizada para análisis de elementos y análisis químico, particularmente en metales, así como en estudios geoquímicos. En el presente trabajo se utilizó un analizador portátil XRF, marca Bruker modelo S1 TITAN, propiedad de DINAMIGE (Figura 18). Este equipo utiliza la fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF, por sus siglas en inglés), técnica analítica de muestreo rápida y no destructiva. El mismo utiliza un tubo de rayos X como fuente de energía para excitar la muestra y un SDD (*Silicon Drift Detector*) como detector de la emisión secundaria o fluorescente de radiación X.



Figura 18. Aplicación del XRF portátil.

Este equipo tiene la capacidad de cuantificar o cualificar prácticamente cualquier elemento, desde el magnesio hasta el uranio. Dado el límite de detección del instrumento, se procedió a recalcular al 100% las medidas obtenidas en el campo o en muestras de mano.

El objetivo del análisis mediante este método es el de conocer de forma rápida las concentraciones de fosfatos en las diferentes facies del gabro.

Resultados

Se presentan aquí los resultados del análisis de 10 muestras para elementos mayores, menores y traza, de las cuales nueve corresponden a las facies antes descriptas y una a la mineralización. La tabla 1 resume las características del gabro y el contenido de fosfato en cada una de las muestras analizadas.

Tabla 1. Correspondencia entre la nomenclatura de las muestras y las distintas facies del gabro y la mineralización

Muestra	Facies	P ₂ O ₅ (%)
M1	Grano Fino	0.15-0.42
M2	Grano Grueso	0.04
M3	Grano Grueso	0.10
M4	Grano Fino	0.30
M5	Grano Grueso	0.09
M6	Grano fino	0.21
M7	Grano Grueso	0.07
M8	Grano Fino	0.11
M9	Grano muy grueso	0.3
M10	Mineralización	0.3

Facies de Grano Fino: ensayos m1-174, m1-175, m1-176, m4-181, m6-183 y m8-188

Elementos mayores

En general los análisis realizados muestran una tendencia similar en la distribución de los elementos mayores. La sílice se encuentra entre el 50 % y 70 % con una media de 58 %. El óxido de aluminio presenta escasa variación oscilando entre 11 % y 17 %.

El comportamiento del Fe₂O₃ es variable y se halla entre el 7 % y 25 %. La mayor parte de los análisis presentan un pico de hierro que sobrepasa ampliamente al Al₂O₃ mientras que en los ensayos m1-176 y m8-188 la concentración de aluminio lo supera.

La tendencia general es descendente observándose un pequeño pico de TiO₂ que no alcanza el 2 % (0,7 % a 1,8 %). Por su parte los valores de fosfato (P₂O₅), objetivo de este estudio, oscilan entre 0,11 % y 0,42 % con un promedio de 0,24 %.

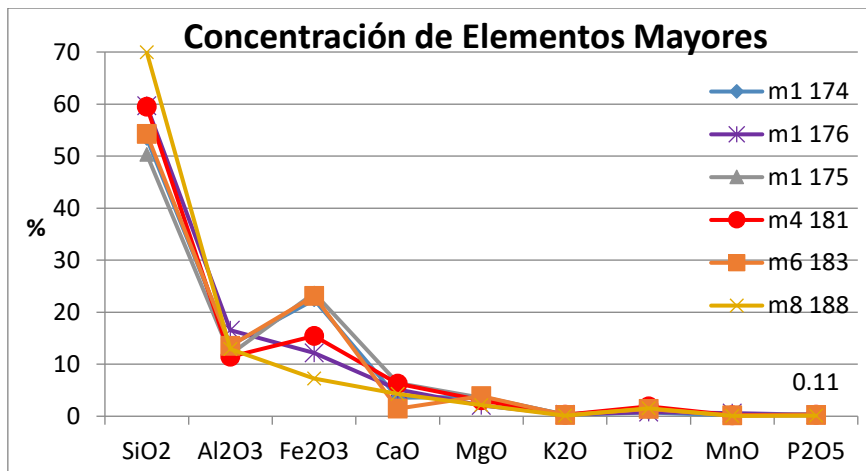


Figura 19-Análisis químico para elementos mayores para la facies de grano fino del gabro.

Elementos menores y traza

En el análisis general se observan picos bien marcados de determinados elementos aunque sus concentraciones suelen presentar diferencias importantes. El vanadio da uno de los picos principales con concentraciones entre 141 ppm y 722 ppm siendo su promedio de 465 ppm. El Cu oscila entre 92 ppm y 576 ppm con una media cercana a 300 ppm. Llamen la atención los valores de Sr que alcanzan los 552 ppm, con una media de 273 ppm y un mínimo de 139 ppm. Por su parte los valores de Ag se hallan entre 84 ppm y 52 ppm, mientras que el Mo y el Sn presentan pequeños picos con concentraciones en los rangos 0 a 45 ppm y 0 a 112 ppm respectivamente. Los valores generales de Zr rondan las 100 ppm aunque el ensayo m1 176 arroja valores de 560 ppm. El ensayo m1 176 presenta valores muy disímiles con la tendencia general. Se destaca un gran pico de S que alcanza los 3,9 % mientras que la concentración de este elemento para el mismo cuerpo m1 ronda las 500 ppm y está por debajo de los límites de detección en los demás gabros finos. Adicionalmente, esta muestra presenta otros picos fuera de la tendencia general: Co (427 ppm), Ce (1340 ppm), Ba (530 ppm) y Cl (353 ppm).

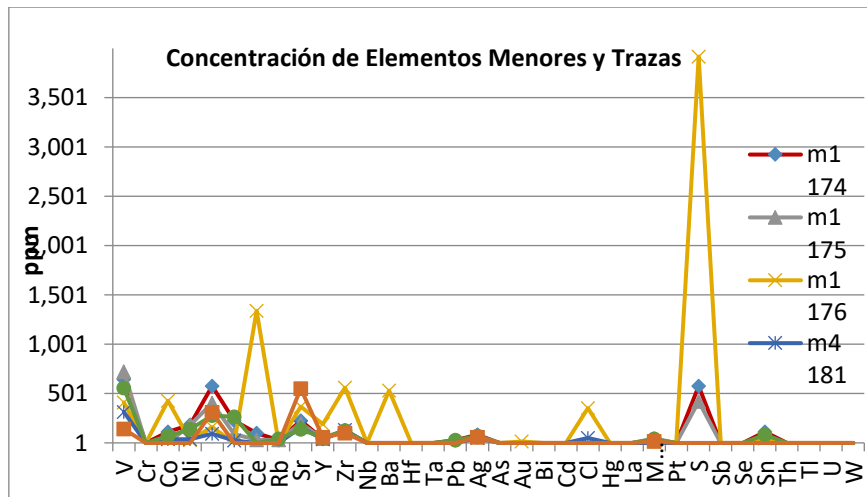


Figura 20. Análisis químico para elementos menores y traza para la facies de grano fino del gabro.

Facies de Grano Grueso: ensayos m2-178, m2-179, m3-180, m5-182, m7-184 y m7-186

Elementos mayores

En esta facies se observan dos tendencias generales diferentes. La predominante, tal como en la facies de grano fino, muestra un pico de hierro que sobrepasa ampliamente al aluminio mientras que la secundaria es monótonamente decreciente (Figura 21). La sílice oscila entre el 29 % y 64 % con una media de 51 %. El óxido de aluminio presenta una variación algo mayor que la facies fina fluctuando entre 8 % y 25 %.

El comportamiento del Fe₂O₃ es muy variable encontrándose entre el 9 % y 57 % con una media de 23%. La mayor parte de los análisis presentan un pico de hierro que supera al Al₂O₃, destacándose el de la muestra m7-186 mientras que en los ensayos m2-179 y m7-186 el aluminio predomina.

Se observa un pequeño pico de TiO₂ (0,2 % a 1,8 %) con una media de 1,1 %.

Los valores de fosfato (P₂O₅) se hallan entre 0,04 % y 0,21 % con un promedio de 0,11 %.

La muestra m7-186 tiene un comportamiento particular, con el mínimo de sílice (29%) y el máximo de Fe₂O₃ (64%).

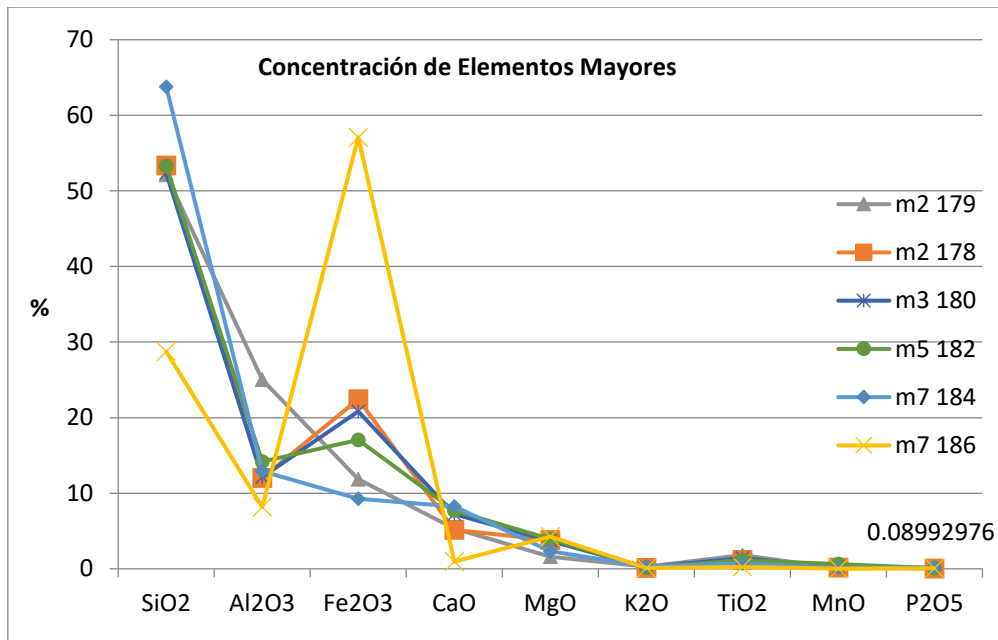


Figura 21. Análisis químico para elementos mayores para la facies de grano grueso del gabro.

Elementos menores y traza

Para esta facies se observan en general picos bien marcados para elementos determinados aunque suelen presentar significativas diferencias en sus concentraciones.

Uno de los picos principales, con valores entre 1024 ppm y 242 ppm es el del vanadio con una media 535 ppm. El Cu fluctúa entre 0 y 360 ppm con una media de 144 ppm mientras que el promedio de concentración de Co es de 157 ppm y un máximo de 429 ppm (Figura 22).

Por otra parte, los valores de Ni se hallan entre 0 ppm y 540 ppm con una media de 133ppm, mientras que el Zn y el Cl presentan concentraciones en los rangos 0 a 129 ppm y 0 a 707 ppm respectivamente.

Al igual que en la facies fina llama la atención los valores de Sr que alcanzan las 1191 ppm, con una media de 474 ppm y un mínimo de 66 ppm.

La concentración de Ag se encuentra entre 0 y 92 ppm con una media de 47 ppm, mientras que los pequeños picos de Mo y el Sn alcanzan valores de 61 ppm y 86 ppm respectivamente.

Los análisis de la muestra m7 dan picos particulares. El ensayo m7-184 presenta valores muy elevados de S que alcanza las 1621 ppm mientras que la concentración promedio de este elemento para esta facies ronda las 360 ppm. También presenta picos para el Cl (707 ppm), Ta (311 ppm) y Ba (880 ppm).

EL ensayo m7-186 por su parte da picos para Ni (540 ppm), Ce (379 ppm), Zr (66 ppm), Pb (170 ppm) y Bi (66 ppm).

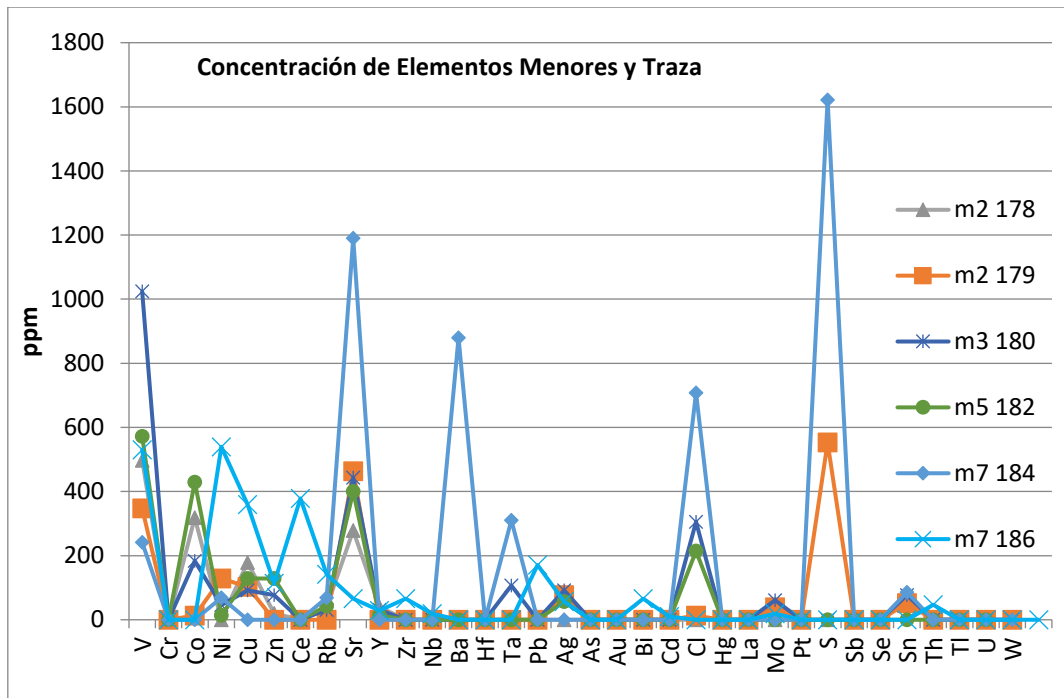


Figura 22-Análisis químico para elementos menores y traza para la facies de grano fino del gabro.

Facies Pegmatoide: ensayo m9-217

Elementos mayores

En esta facies se observan una tendencia monótonamente descendente (Figura 23). La sílice representa el 52%, el óxido de aluminio 18 % sobrepasando al hierro que tiene una concentración de 13%. El TiO2 es escaso representando un 0.26% mientras que los valores de P2O5 alcanzan el 0,33 %.

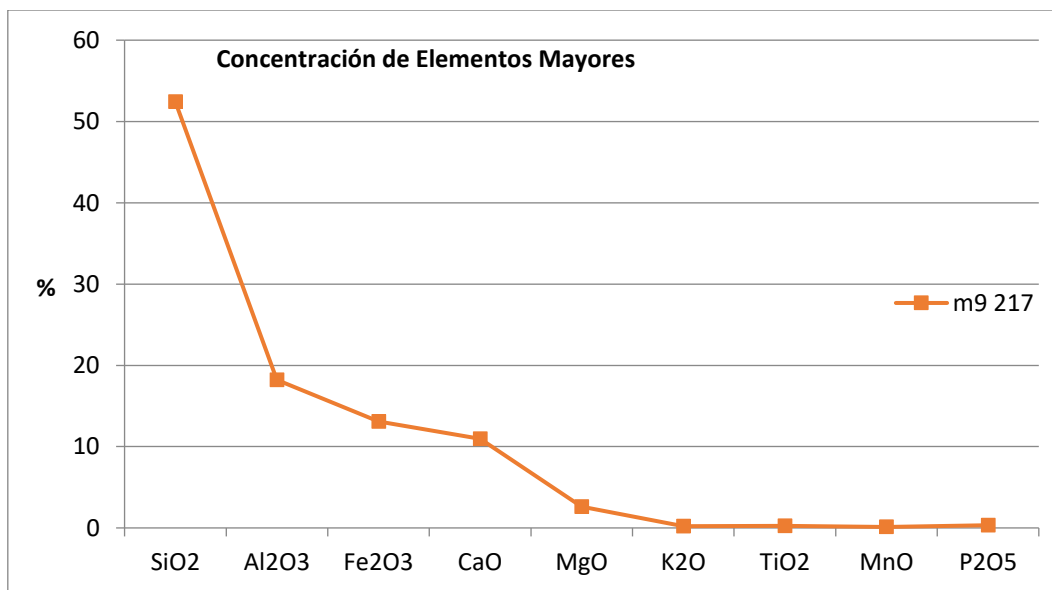


Figura 23. Análisis químico para elementos mayores para la facies pegmatoide del gabro.

Elementos menores y traza

El pico principal está dado por el Sr con 730 ppm, le sigue el Cl con 290 ppm y el Ta con 100ppm.

Por su parte los valores de Ni y V son de 80 ppm y 70 ppm respectivamente. La concentración de Ag es de 50 ppm. También se observa dos pequeños pico de Zn y Sn, ambos con valores de 10ppm.

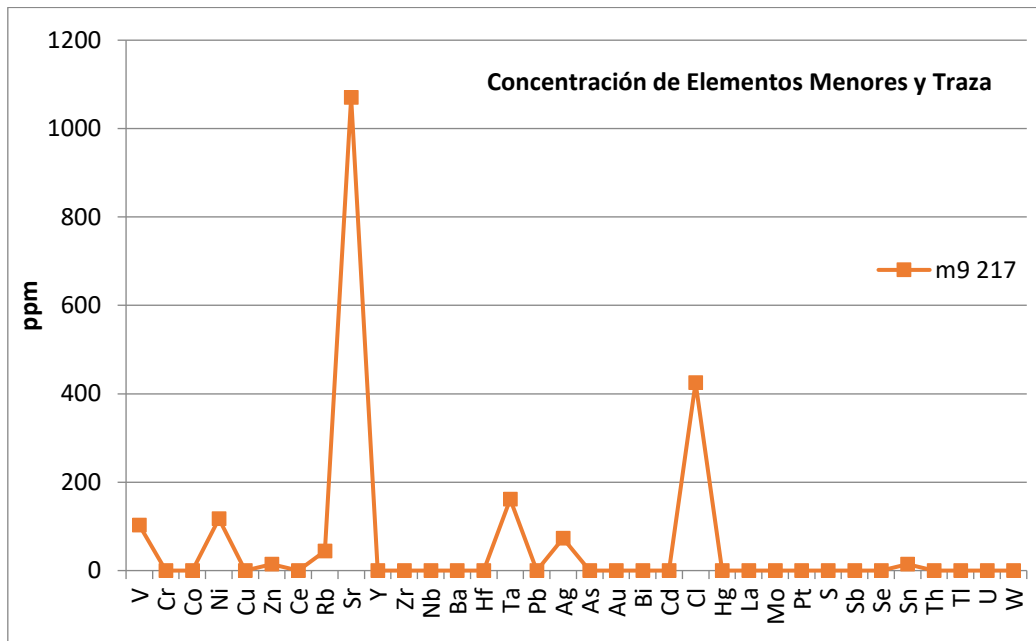


Figura 24. Análisis químico para elementos menores y traza para la facies pegmatóide del gabro.

Mineralización: ensayos m10-214 y m10-215

Elementos mayores

Los análisis realizados muestran una tendencia muy similar en la distribución de los elementos mayores. La sílice se encuentra entre el 26 % y 32 % con una media de 29 % mientras que el óxido de aluminio varía entre 9 % y 13 %.

Se observa presentan un pico de hierro que sobrepasa ampliamente al Al₂O₃ con valores que oscilan entre 43% y 55% con una media de 49 % (ver Figura 25).

Por su parte, el TiO₂ que alcanza el 5,3 % con un mínimo de 2,2% y una media de 3,7% mientras que el Mg está entre 4,8% y 2,6%.

Los valores de fosfato oscilan entre 0,04 % y 0,31 % con un promedio de 0,17 %.

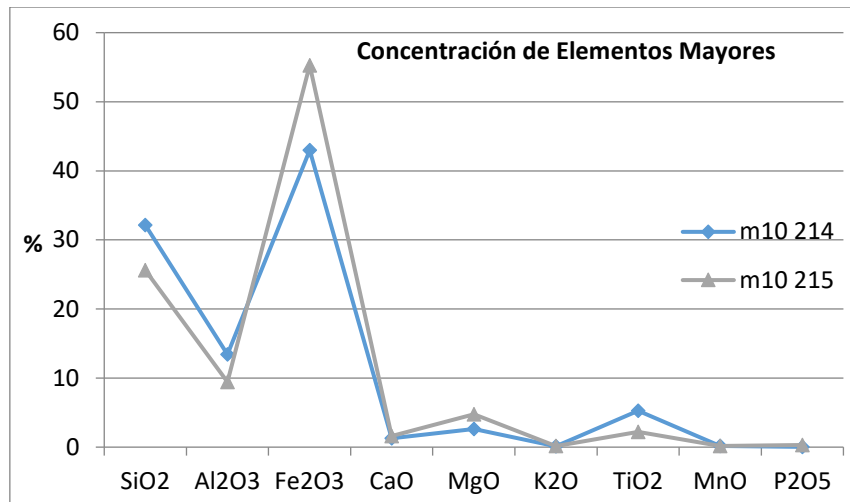
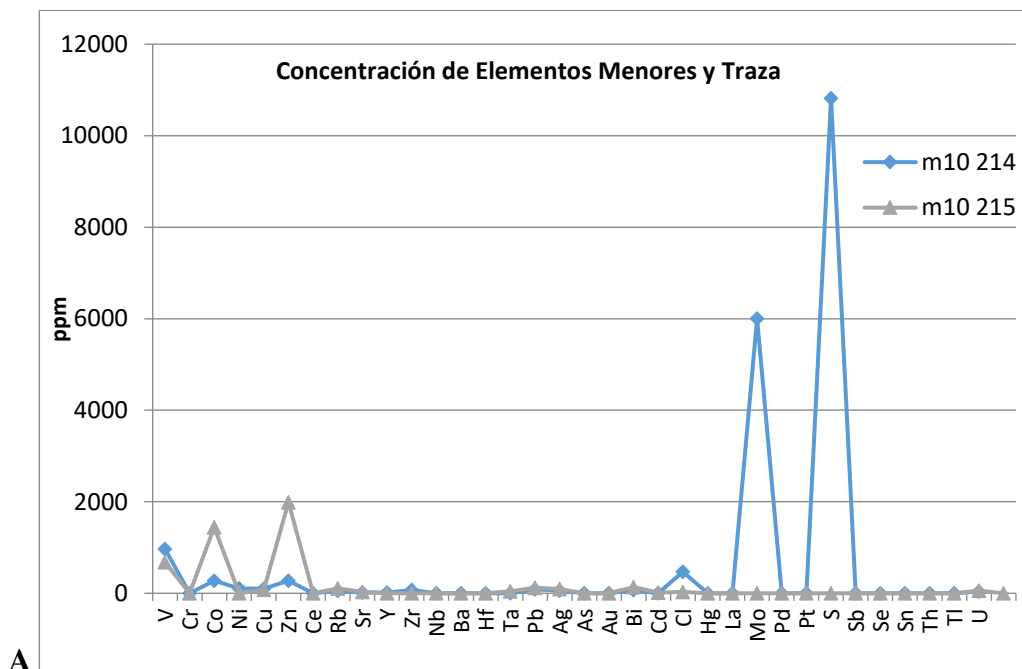


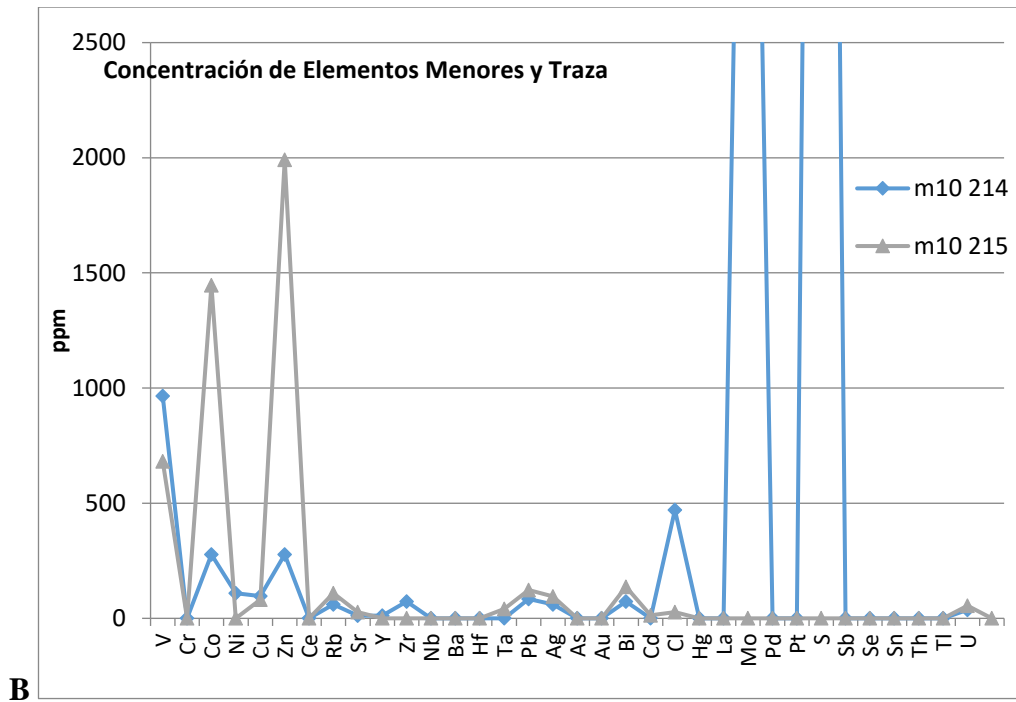
Figura 25. Análisis químico para elementos mayores para la mineralización de hierro.

Elementos menores y traza

En el análisis general se observan picos bien definidos de determinados elementos, aunque suelen presentar variaciones significativas en su concentración. El vanadio se encuentra con concentraciones que varían entre 682 ppm a 965 ppm siendo su promedio de 823 ppm. El Co oscila entre 277 ppm y 1446 ppm con una media de 862 ppm. Por su parte los valores de Zn se hallan entre 277 ppm y 1991 ppm, mientras que el Rb y el Pb presentan pequeños picos con concentraciones en los rangos 60ppm a 109 ppm y 84 ppm a 123 ppm respectivamente. Llamen la atención los valores de U que alcanzan los 55 ppm, con una media de 45 ppm y un mínimo de 36 ppm. La Ag y el Bi presentan picos pequeños con concentraciones que fluctúan entre 60 ppm y 95 ppm y entre 72 ppm y 136 ppm respectivamente. El ensayo m10 214 presenta algunos picos muy importantes de S (1, 1%) y Mo (6005ppm) así como un pico de Cl de 470 ppm.



A



B Figura 26-Análisis químico para elementos mayores para la mineralización de hierro. A. Escala vertical de 0 a 12.000ppm donde se visualizan los picos elevados y medios. B. Escala vertical de 0 a 2500ppm donde se visualizan los picos moderados y menores.



Figura 27. Gráficos de análisis químico para elementos mayores, menores y traza de facies de grano fino del gabro.

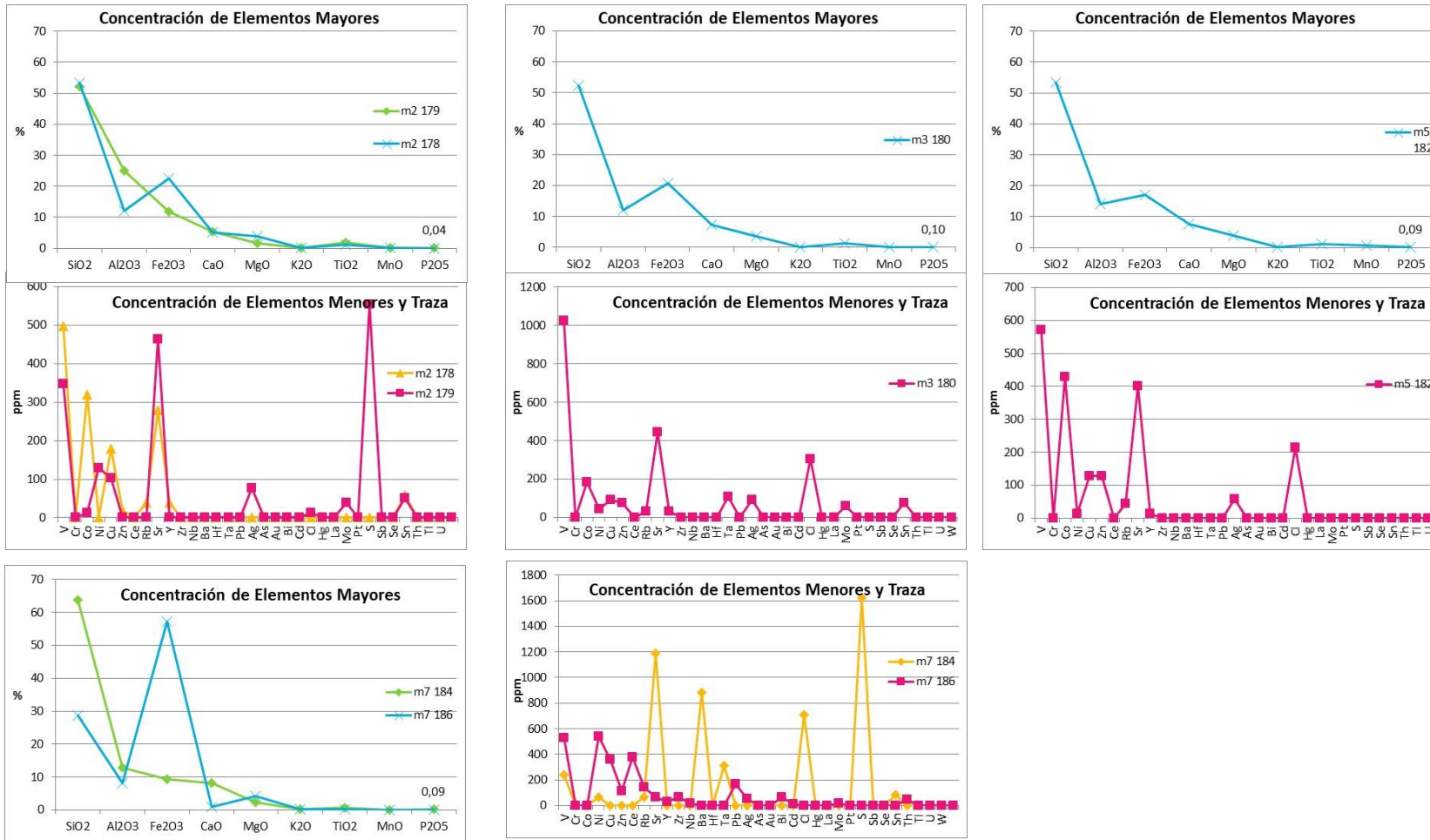


Figura 28. Gráficos de análisis químico para elementos mayores, menores y traza de facies de grano grueso

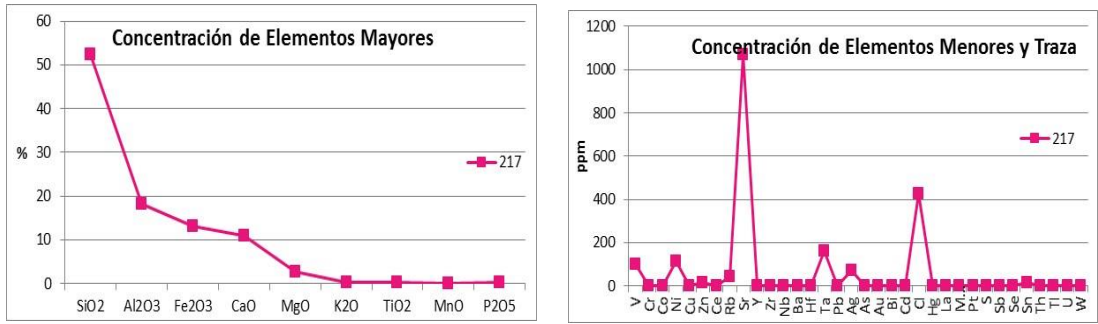


Figura 29-Graficos de análisis químico para elementos mayores, menores y traza de facies de grano muy grueso-hornblenditas.

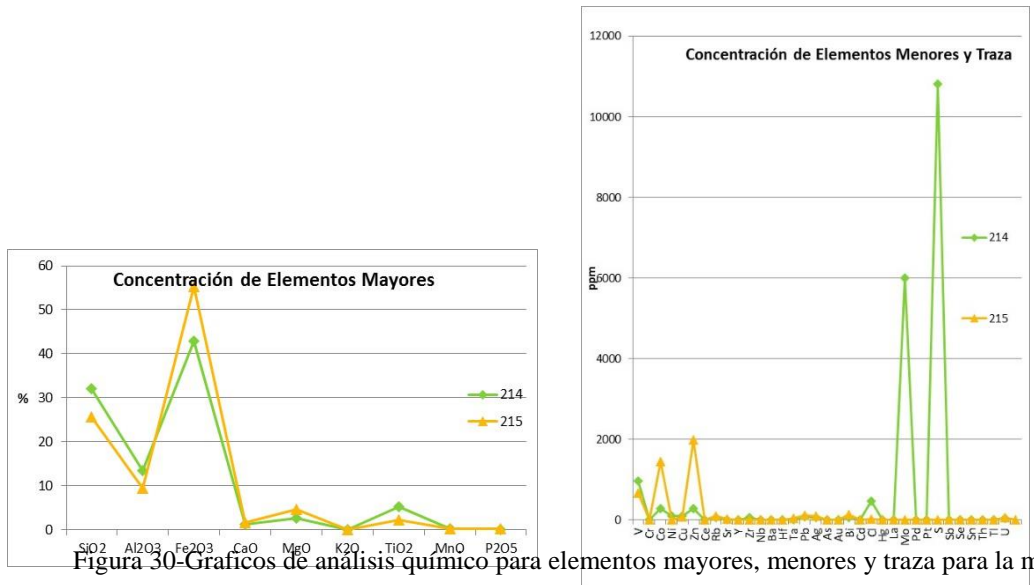


Figura 30-Graficos de análisis químico para elementos mayores, menores y traza para la mineralización.

Discusión

Se procedió a comparar los resultados obtenidos en este estudio para las diferentes facies del gabro con las abundancias promedio de elementos químicos para rocas básicas continentales de Yaroshevsky (2006).

Tabla 2. Abundancias de óxidos promedio para rocas básicas continentales (modificado de Yaroshevsky, 2006).

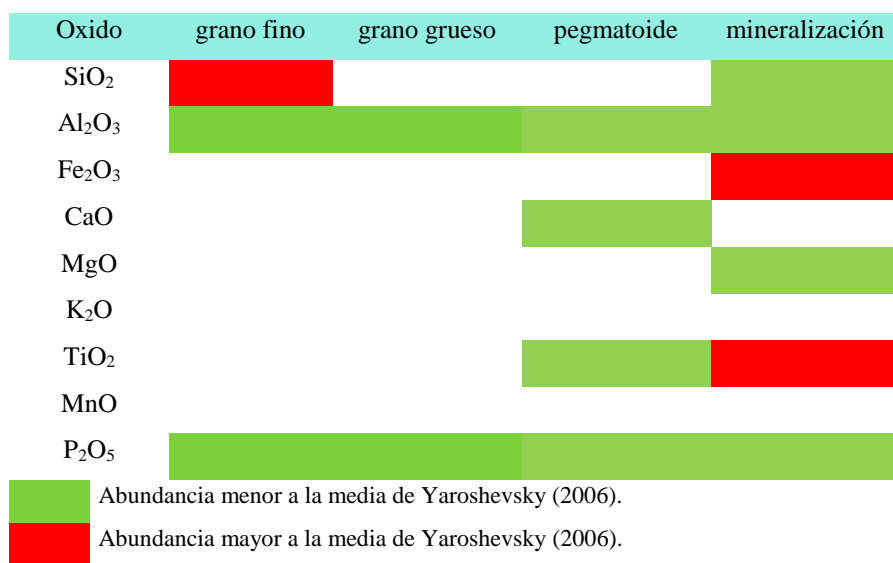
Óxido	%	Óxido	%
SiO2	51,429	K2O	2,001
Al2O3	33,093	TiO2	1,500
Fe2O3	24,457	MnO	0,258
CaO	9,408	P2O5	0,641
MgO	7,500		

Tabla 3. Abundancias de elementos menores y traza promedio para rocas básicas continentales (modificado de Yaroshevsky, 2006).

Elemento	ppm	Elemento	ppm
V	200	As	2
Cr	200	Au	0,004
Co	45	Bi	0,007
Ni	160	Cd	0,19
Cu	100	Cl	50
Zn	130	Hg	0,09
Ce	45	La	27
Rb	2	Mo	0,2
Sr	10	Pt	0,1
Y	0	S	300
Zr	30	Sb	1
Nb	1	Se	0
Ba	300	Sn	0,05
Hf	1	Th	3
Ta	0,48	Tl	0,2
Pb	8	U	0
Ag	0,1	W	0,05

La tabla siguiente es el resultado de la comparación de la abundancia de los elementos mayores de los análisis realizados y las abundancias promedio.

Tabla 4. Comparación de las abundancias obtenidas para los óxidos y las abundancias promedio de Yaroshevsky(2006).



De la observación de esta tabla surge que los elementos mayores presentan en su mayoría una abundancia normal para el tipo de roca. Sin embargo, es de destacar el empobrecimiento en Al_2O_3 y P_2O_5 para todas las litologías. La facies pegmatoide muestra además empobrecimiento en Ca y Ti, mientras que la facies de grano fino está enriquecida en sílice. La mineralización muestra enriquecimiento en Fe y Ti mientras que está empobrecida en Al, Si, Mg y P (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de las abundancias obtenidas para los elementos menores y traza y las abundancias promedio de Yaroshevsky (2006).

Elemento	grano fino	grano grueso	pegmatoide	mineralización
V	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia menor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Cr				
Co	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Ni		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados	Abundancia menor a la media de Yaroshevsky (2006)	
Cu	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)			
Zn			Abundancia menor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Ce	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados			
Rb				Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Sr	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Y				
Zr	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)			
Nb				
Ba	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados			
Hf				
Ta		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	
Pb		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Ag	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
As				
Au				
Bi		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Cd				
Cl	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados		Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Hg				
La				
Mo	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)			
Pt				
S	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados			Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
Sb				
Se				
Sn	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)	
Th				
Tl				
U				Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006)
W				

Abundancia menor a la media de Yaroshevsky (2006).
 Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006).
 Abundancia mayor a la media de Yaroshevsky (2006) ensayos aislados

Esta tabla sugiere que las facies gruesas y finas se comportan de manera muy similar mientras que la pegmatoide y la mineralización son algo diferentes. Cabe señalar en enriquecimiento en V de las facies finas y gruesas, así como en la mineralización mientras que en la facies pegmatoide está empobrecido. Con el Co sucede algo similar, así como con el S.

Con excepción de la mineralización, todas las facies muestran alto enriquecimiento en Sr y Sn.

A los efectos de observar la segregación y detectar anomalías composicionales dentro del cuerpo se realizó una comparación entre los promedios de cada facies de la caja y la mineralización (ver tabla 5).

Tabla 5. Comparación de las abundancias obtenidas para los óxidos en la mineralización respecto a las facies de la roca caja.

E	M	E	M	E	M	E	M	E	M
Si		V	■	Y		Au		Sb	
Al		Cr		Zr		Bi	■	Se	
Fe	■	Co	■	Nb		Cd		Sn	
Ca		Ni		Ba		Cl		Th	
Mg		Cu		Hf		Hg		Tl	
K		Zn	■	Ta		La		U	■
Ti		Ce		Pb	■	Mo	■	W	
Mn		Rb		Ag		Pt			
P		Sr		As		S	■		

E: elemento; M: mineralización.

De esta gráfica destaca el enriquecimiento de la mineralización en Fe, V, Co, Zn, Pb, Bi, Mo, S y U, respecto a la roca de caja.

Conclusiones

En base al tamaño de grano se identifican en el área de estudio tres facies para el Gabro Rospide: grano fino, grueso y muy grueso. Para las tres facies la mineralogía es casi constante consistiendo en anfíbol hornblenda, plagioclasa, ilmenita, magnetita, apatito. Los minerales de alteración corresponden a hematita, clorita y epidoto principalmente.

Se destaca la presencia de granate como mineral neoforado en las facies de grano fino y grueso.

Dada la paragénesis mineral de las distintas facies estudiadas no se verifica la presencia de nelsonitas ni de gabro-nelsonitas.

La mineralización de hierro-titanio se presenta en forma de diques que recortan al gabro con orientaciones y espesores variables. También se encuentra en forma de lentes o bolsones principalmente en las facies de grano grueso y muy grueso.

Mediante estudio macroscópico y test de molibdato de amonio es posible constatar la ocurrencia de apatito en todas las facies del gabro.

Del análisis con XRF portátil se desprende que los valores de fosfato se encuentran entre entre 0.11 % y 0.42 % con un promedio de 0.24 % en las facies de grano fino, entre 0.04 % y 0.21 % con un promedio de 0.11 % en las facies de grano grueso y 0.3% tanto para la facies de grano muy grueso como para la mineralización. Los valores de Fe₂O₃ en las facies de grano grueso alcanzan valores del 64%. En general los elementos mayores presentan la abundancia normal de los gabros, no obstante es de destacar el empobrecimiento en Al₂O₃ y P₂O₅. La facies pegmatoide muestra además empobrecimiento en Ca y Ti, mientras que la facies de grano fino está enriquecida en sílice. Se

observa un enriquecimiento en V de las facies finas y gruesas Con el Co y el S sucede algo similar. Con excepción de la mineralización, todas las facies muestran alto enriquecimiento en Sr y Sn. Todas las facies presentan una concentración de Ag ligeramente anómala. Respecto a la roca caja, la mineralización está enriquecida en Fe, V, Co, Zn, Pb, Bi, Mo, S y U.

Agradecimientos

Al señor Jorge Gutiérrez encargado de cantera por sus aportes y por permitirnos trabajar con absoluta libertad.

Bibliografía

- Biondi, J.C (1986). Depósitos de Minerais Metálicos de Filiação Magmática. Sao Paulo: T.A.Queiroz pag
- Bossi J; Preciozzi F; Campal N (1993). Predevoniano del Uruguay Tomo I-Terreno piedra Alta. Ed. DINAMIGE. 50p
- Bossi J, Schipilov A. (2000). Rocas Ígneas Básicas del Uruguay Volumen II-Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, p 56-59.
- Goñi J; Goso H, Silva Issler R. (1962). Estratigrafia e Geologia Econômica do Prè-Cambriano e Eopaleozóico Uruguaio e Sul-Riograndense-Contribuição ao XVI Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, Avulso N° 3.
- Hartmann LA, Bossi J, Santos JOS, Mc Naughton NJ, Piñeyro D (2008). Geocronología SHRIMP U-Pb en circones del Gabro Rospide del Cinturón Paleozoico San José, Terreno Piedra Alta, Uruguay: una prueba geocronológica de magmas coetáneos. Revista Sociedad Uruguaya de Geología N° 15, p 40-53.
- Oyhantçabal P, Siegesmund S, Wemmer K (2011) The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. Int J Earth Sci 100:201–220
- Philpotts, A.R. (1967): Origin of certain iron-titanium oxide and apatite rocks- Economic Geology, v. 62, 303-315.
- Schipilov A, Iardino G, Bossi J, Piñeyro, D. (1998): Gabros hornbléndicos Eo Proterozoicos del Cinturón San José. Uruguay. IV Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Universidad Nacional del Sur: 309-316. Bahía Blanca. Argentina.
- Walther, K (1948): El Basamento Cristalino de Montevideo-Relaciones con yacimientos análogos del Uruguay y de los países vecinos. Instituto Geológico Minero del Uruguay, Montevideo, Boletín 33.
- Yaroshevsky, A. A. (2006): Abundances of chemical elements in the Earth Crust. Geochemistry International. V.44, No 1 pp. 48-55.