Trabajo Final de Licenciatura en Geología

Geología y prospección de mineral de hierro en la región de Vichadero (Departamento de Rivera)

Bach.: Valeria Arballo Fassi

Tutor: Dr. Gerardo Veroslavsky

Montevideo, Uruguay – 2017

Agradecimientos

A Gerardo Veroslavsky por el permanente aporte técnico y profesional, bridándome en todo momento las soluciones adecuadas, y los consejos apropiados para la finalización del trabajo final.

A mis padres por el inmenso esfuerzo, que hicieron para darme la posibilidad de realizar mis estudios en Montevideo. A mi hermano, como así también a cada integrante de la familia que me dio el aliento necesario y desinteresado para juntar las fuerzas en los momentos más difíciles.

A Neldo, por el amor brindado, paciencia, contención y apoyo incondicional.

A mis hermanas del alma, Noel y Vanesa, por las extensas e inolvidables horas de estudio compartidas y su permanente "aguante".

Al "Geoclan", que siempre me transmitieron el ímpetu de seguir adelante en este proyecto.

A Gabriela, Javier y Rodrigo, por las extensas jornadas en el campo, que sin importar el frío y el calor, me brindaron la ayuda necesaria para realizar el relevamiento de campo.

A Iván Garat y Federico González, como miembros de la empresa U.M.G., me brindaron los datos necesarios para perfeccionar el trabajo final.

A Silvana Martínez, que gracias a su capacitación profesional, me aportó las sugerencias apropiadas e inmediatas en la elaboración del informe final de prospección.

Y a cada una de las personas que aportaron su "granito de arena" para que pudiera alcanzar esta meta.

Resumen

El presente trabajo final de Licenciatura aborda la geología y los recursos minerales de la región de Vichadero, departamento de Rivera, y está concebido para abordar los siguientes objetivos: a) elaborar un mapa geológico y su memoria explicativa a escala 1: 40.000 de la localidad de Vichadero y alrededores y b) realizar en un área seleccionada de esa región un informe final de la fase de prospección simulando un ejercicio profesional para evaluar el potencial mineral de hierro. La región seleccionada para la elaboración del mapa geológico comprende un sector del basamento de la Isla Cristalina así como también de la Cuenca Norte. Las unidades litoestratigráficas presentes son el Complejo Gnéisico Valentines-Rivera (Oyhantçabal *et al.*, 2011), la Formación Vichadero (Ellis, 1998), la Zona de Cizalla de Rivera, depósitos sedimentarios que corresponden a la Formación Yaguarí (Bossi, 1966) y sedimentos fluvio-aluviales cuaternarios. El mapa geológico a escala 1:40.000 comprende un área aproximada de 80 km^2, constituye un aporte al conocimiento de la región, no existiendo antecedentes a esa escala de trabajo e incluye descripción de unidades en afloramientos, láminas delgadas así como la confección de un corte geológico representativo de la estructura de la región. El trabajo de simulación de un informe final de prospección constituye un ejercicio técnico, similar al que un egresado en geología, en su actuación profesional realiza para una empresa o persona física titular de un permiso minero. Para su elaboración se siguieron las directrices impuestas por DINAMIGE en los instructivos, para lo que se debieron realizar relevamiento de campo para elaborar un mapa de afloramiento geológico - minero a escala 1: 10.000 con su correspondiente memoria explicativa, recolección de muestras de las distintas litologías que afloran para confeccionar secciones delgadas y toma de 15 muestras de superficie (para analizar por el método de fluorescencia de Rayos X) con el objetivo de adquirir el porcentaje promedio de hierro total de cada una. A partir del mapa de afloramiento geológico - minero se reconocieron 5 cuerpos mineralizados, donde se estimó los recursos inferidos del depósito en 190 Mt. En la parte final del informe de prospección se realizan un conjunto de recomendaciones técnicas al titular del permiso sugiriendo labores más avanzadas para afrontar una eventual etapa de exploración.

Índice

Capítulo 1: Justificación e introducción 1

1.1 Objetivos 2

1.1.1 Generales 2

1.1.2 Específicos 2

1.2 Antecedentes geológicos y mineros de la zona de estudio 3

1.2.1 Geológicos 3

1.2.2 Mineros 8

1.2.3 Geocronológicos 14

1.3 Localización geográfica y vías de acceso 15

Capítulo 2: Geología de la región de Vichadero (Departamento de Rivera) 17

2.1 Introducción 17

2.2 Consideraciones Generales 17

2.2.1 Geomorfología 17

2.2.2 Aspectos socioeconómicos 18

2.2.3 Metodología y Materiales 19

2.3 Unidades geológicas del área de estudio 20

2.3.1 Complejo Gnéisico Valentines – Rivera 22

2.3.2 BIF (Formación Vichadero) 24

2.3.3 Zona de Cizalla de Rivera 27

2.3.4 Diques Félsicos 28

2.3.5 Formación Yaguarí 29

2.3.6 Depósitos cuaternarios (Aluviones) 32

2.4 Estructura geológica del área de estudio 33

2.5 Recursos minerales 34

2.5.1 Metálicos 35

2.5.2 No Metálicos 36

2.5.3 Hidrogeología 36

Capítulo 3: Simulación de la actividad de un geólogo en el marco de la presentación de un informe final de prospección para presentar ante la Dirección Nacional de Minería y Geología 39

Informe Final de la Etapa de Prospección de Mineral de Hierro del Asunto XXX/2016 40

Objetivos 40

Ubicación y accesos *40*
Metodología *43*
Toma y Preparación de Muestras 43
Espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) 44
Resultados *45*
Antecedentes 45
Mapa Geológico – Minero y Memoria explicativa del área de prospección 46
Geoquímica de Roca 53
Análisis estructural de BIF 56
Identificación de zonas favorables y estimación de recursos posibles 60
Conclusiones *62*

Capítulo 4: Consideraciones finales 66

Capítulo 5: Referencias bibliográficas 67

ANEXO I: Puntos de relevamiento de campo 71

ANEXO II: Planilla de Campo 72

ANEXO III: Mapa Geológico de la región de Vichadero a escala 1:40.000 y Corte Geológico 78

ANEXO IV: Mapa Geológico de Afloramientos-Minero a escala 1:10.000 79

ANEXO V: Instructivo Permiso de Prospección 80

Índice de figuras

Figura 1. Compartimentación estructural del Escudo Uruguayo propuesta por Masquelin (2006). 4

Figura 2. Bloque Rivera según Sánchez Bettucci et al. (2010)..... 4

Figura 3. Mapa geológico modificado de Ellis & Fesefeldt (1996) (forma parte del área del mapa geológico que se presenta en este trabajo). 6

Figura 4. Mapa de mineralizaciones de hierro en Vichadero modificado de Alvarado (1959). 9

Figura 5. Mapa geológico del yacimiento Vichadero modificado de Fricke (1959)(forma parte del área del mapa geológico que se presenta en este trabajo). 12

Figura 6. Esbozo geológico de Alborada modificado de Arrighetti et al. (1981) (Sist. coord.: UTM-21S)..... 13

Figura 7. A) Contexto nacional de la zona de estudio. B) Rectángulo rojo: área de Mapa Geológico de la Región de Vichadero, rectángulo amarillo: área correspondiente al informe de prospección. Imagen satélite de Google Earth (Sist. coord.: UTM-21S)..... 15

Figura 8. Rectángulo rojo: ubicación del Mapa Geológico de la región de Vichadero; rectángulo amarillo: área correspondiente al informe de prospección; en Hoja topográfica Vichadero (S.G.M). (Sist. coord: UTM-21S)..... 16

Figura 9. Mapa geológico de la región de Vichadero (Sist.coord.: UTM-21S, Anexo III: Mapa Geológico de la región de Vichadero escala 1: 40.000). 21

Figura 10. A) Muestra de mano de gneiss granulíto félsico. B) Afloramiento de gneiss granulíto. C) Venillas de epidoto en gneiss granulítico. 22

Figura 12. A, B) Afloramiento de Gneis Granulítico en contacto por falla con limolitas de la Formación Yaguarí. 24

Figura 13. A) Vista panorámica de Cerro la Virgen donde aflora BIF (entre líneas punteadas). B) Vista panorámica al noreste del Cerro la Virgen de formaciones de hierro bandeado (entre líneas punteadas). 25

Figura 14. A, B) Afloramiento donde se observa la estratificación original con baja deformación dúctil en BIF. C, D) Afloramiento donde se puede apreciar el plegamiento en BIF producto del alto grado de deformación dúctil que soportaron. 26

Figura 15. A) BIF con polarizadores plana. B) BIF con luz polarizada cruzada (cedida por la compañía UMG). 27

Figura 16. A) Vista general de afloramiento afectado por cizalla. B) Milonita félsica leucócrata de protolito gnéisico exhibiendo cuarzos totalmente estirados. C) Milonita afectada por deformación dúctil en la zona de cizalla. 28

Figura 17. A) Limolitas. B) Areniscas finas con estratificación horizontal plano paralela. 29

Figura 18. A, B) Trozos de troncos fosilizados presentes en la Formación Yaguarí. 29

Figura 19. A) Areniscas finas rojizas. B, D) Arenisca masiva de grano medio de tonalidades amarillas. C) Areniscas finas interestratificadas con limolitas, con orientación N040, 35 SE. . 30

Figura 20. A) Areniscas calcáreas con estratificación horizontal plano paralela. B) Afloramiento de calizas. 30

Figura 21. A, B) Afloramiento de conglomerados correspondiente a la Fm. Yaguarí. 31

Figura 22. A, B) Afloramiento de conglomerado en contacto con arenisca. 31

Figura 23. A) panorámica de un curso de agua en donde se observan depósitos actuales. B) depósitos actuales en donde se pueden aprecian tamaños de materiales superiores a grava. C) depósitos actuales en cauce de arroyos. 32

Figura 24. Corte Geológico del área de estudio en el cual se observan pliegues derechos tardíos afectando el bandeado de los BIF y rocas asociadas (Anexo III: corte geológico a escala real). 34

Figura 25. Ubicación de los recursos minerales en el área de estudio. 35

Figura 26. Cantera de balasto vista desde el Cerro Vichadero hacia el suroeste. 36

Figura 27. Mapa con ocho pozos de agua existentes en la zona de estudio (Sist. coord.: UTM-21S). Fuente: Visualizador Geológico Minero de DINAMIGE. 38

Figura 28. Plano de deslinde del área con permiso de prospección. Por tratarse de una simulación de un informe final de permiso de prospección (no se identificó quien es el propietario de cada padrón involucrado por no corresponder). 42

Figura 29. Proceso de fluorescencia de rayos X. 44

Figura 30. Mapa Geológico del Uruguay elaborado por el Área de Geología de DINAMIGE. 45

Figura 31. Mapa Geológico de Afloramientos-Minero (Sist. coord.: UTM-21S). (Anexo IV: Mapa prospectivo a escala 1:10.000). 46

Figura 32. A) Afloramiento de gneiss granulítico félsico con presencia de cuarzo lechoso. B) Afloramiento de gneiss granulítico félsico donde se observa una orientación preferencial N120. C) Textura de gneiss granulítico félsico en luz polarizada plana. D) Igual captura de imagen que C con polarizadores cruzados. 47

Figura 33. A) BIF plegado con presencia de hematita y limonita producto de la meteorización. B) Afloramiento de BIF. C) BIF con presencia de granate (evidencia de metamorfismo de alto grado). 48

Figura 34. Vista panorámica de afloramiento de BIF desde ruta 6, kilómetro 395 hacia el suroeste. 49

Figura 35. A) BIF en donde se aprecia cuarzo y opacos en luz polarizada plana. B) BIF de "A" pero con polarizadores cruzados. C) Cristal de magnetita transformándose a hematita en imagen calcográfica en luz reflejada. (Cedida por la compañía UMG). 49

Figura 36. A) granulita de composición intermedia a luz polarizada plana. B) granulita de composición intermedia, igual captura de imagen de B en polarizadores cruzados. C) muestra de mano de granulita de composición intermedia (textura "sal y pimienta"). 50

Figura 37. A).Piroxenita en luz polarizada plana. B) Misma toma de imagen de A piroxenita, donde se exhibe punto triple en polarizadores cruzados. C) Muestra de mano de piroxenita. 51

Figura 38. A) Afloramiento de mármol forsterítico. B) Muestra de mano de mármol forsterítico. 52

Figura 39. A) Mármol forsterítico a luz polarizada plana. B) Mármol forsterítico, misma captura de imagen que A en polarizados cruzados. C) Calcita con macla polisintética y unión triple en mármol forsterítico. 52

Figura 40. A) Dique félsico a luz polarizada plana. B) Misma toma de imagen de "A" en polarizadores cruzados, donde se observa esferulitas. C) Muestra de mano de dique félsico. 53

Figura 41. Mapa con puntos de muestreo para fluorescencia de rayos X. Imagen satelital de Google Earth (Sist.coord.: UTM-21S). 55

Figura 42. A, B, C) Afloramientos donde se recolectaron la muestras para análisis geoquímico números tres, ocho y 12, respectivamente. 56

Figura 43: Mapa de ubicación del relevamiento de rumbo y buzamiento en BIF. 57

Figura 44: Diagrama de rosas de direcciones de los planos de estratificación de BIF. 59

Figura 45: Diagrama de concentración de polos para los planos de estratificación de BIF. 59

Figura 46. Mapa interpretativo de los cuerpos mineralizados (Sist. coord.: UTM-21S). 61

Figura 47. Reducción del área de prospección. Imagen tomada de Google Earth (Sist.coord.: UTM-21S). 63

Figura 48. Mapa con campaña de perforación recomendada para futura etapa de exploración. Imagen satelital de Google Earth (Sist. coord.: UTM-21S). 65

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados geoquímico de muestras húmedas según Alvarado (1959). El artículo original del autor no señala el tipo de análisis realizado, ni las coordenadas geográficas de las muestras tomadas. 10

Tabla 2.Resultado geoquímico de muestras de Fricke (1959). El artículo original del autor no señala el tipo de análisis realizado, ni las coordenadas geográficas de las muestras tomadas. 12

Tabla 3. Ubicación de pozos de agua en el área de estudio. Fuente: Visualizador Geológico Minero de DINAMIGE. 37

Tabla 4. Coordenadas del área de permiso de prospección. 40

Tabla 5. Ubicación de muestras para geoquímica y sus resultados. 55

Tabla 6: Ubicación de puntos de relevamiento de rumbo y buzamiento en BIF 58

Tabla 7. Ubicación y características de pozos en fase de exploración. 64

Índice de abreviaturas

Am: Anfíbol

Ar: Argón

As: Arsénico

BIF: Formaciones de Hierro Bandeado

B.R.G.M: Bureau de Recherches Géologiques e Miniéres

Cal: Calcita

CGVR: Complejo Granulítico Valentines Rivera

cm: Centímetros

com. verb.: Comunicación Verbal

DINAMIGE: Dirección Nacional de Minería y Geología

E: Este

Ep: Epidoto

Fe: Hierro

Fe_2O_3: Hematita

Fe_3O_4: Magnetita

Fo: Forsterita

FMn: Formación de Manganeso

Fsp: Feldespato Potásico

g: Gramos

Ga: Giga año

Grt: Granate

h: Hora

has: Hectáreas

Hf: Hafnio

Hm: Hematita

ICR: Isla Cristalina de Rivera

IGU: Instituto Geológico Uruguayo

K: Potasio

Km: Kilómetros

Km^2: Kilómetros cuadrados

l: Litros

Lm: Limonita

m: Metros

m^2: Metros cuadrados

m^3: Metros cúbicos

Ma: Millones de años

Mn: Manganeso

MnO_2: Pirolusita

Mn_3O4: Hausmannita

mm: Milímetros

Mo: Molibdeno

Mt: Magnetita

Mt: Millones de toneladas

Nº: Número

N: Norte

NE: Noreste

NW: Noroeste

Op: Opacos

OSE: Obras Sanitarias del Estado

Pb: Plomo

Phl: Flogopita

Pl: Plagioclasa

Px: Piroxeno

Qtz: Cuarzo

Rb: Rubidio

S: Sur

S_0: Estratificación original

S_n: Estratificación con n deformaciones

SE: Sureste

S.G.M: Sistema Geográfico Militar

SHRIMP: Microsonda Iónica de Alta Sensibilidad y Resolución

Si: Silicio

SiO_2: Sílice

Sist. coord.: Sistema de Coordenadas

Sr: Estroncio

SW: Suroeste

t: Tonelada

Th: Torio

UPA: Unidad Potabilizadora de Agua

U: Uranio

UTM: Universal Transversal de Mercator

XFR: Fluorescencia de Rayos X

Zn: Zinc

Capítulo 1: Justificación e introducción

Desde hace años, se ha constatado el gran interés en la exploración de diferentes minerales a nivel nacional logrando la intervención de capitales extranjeros y nacionales; favoreciendo distintos aspectos de la sociedad y la exploración mineral en sí.

La historia indica que en ciertos territorios, la existencia de antecedentes geológicos y mineros previos resultan favorables para el desarrollo de nuevos esfuerzos exploratorios de depósitos minerales. Este trabajo se centra en un sector de la Isla Cristalina de Rivera (ICR), el más importante distrito minero de Uruguay. Debido a su extensión geográfica y complejidad geológica se hace difícil estudiar ese dominio en su totalidad y detalle, lo que además escaparía a los objetivos de un trabajo final de Licenciatura.

Los principales esfuerzos de este trabajo, se concentraron en un área que tiene como principal localidad la ciudad de Vichadero (departamento de Rivera) donde existían antecedentes académicos y varios trabajos de esfuerzos prospectivos y exploratorios orientados al reconocimiento de áreas potenciales en hierro (entre otros, Caorsi, 1970; Inventario Minero de la Dirección Nacional de Minería y Geología, 1979; Ellis, 1998).

La mineralización de hierro presente en la región de Vichadero está representada por la Formación Vichadero (Ellis, 1998). Esta unidad reúne a un conjunto de litologías donde se destacan las formaciones de hierro bandeado (BIF), formaciones de manganeso, cuarcitas, piroxenita[1], metabasitas, mármoles a forsterita, fels tremolitas subordinado[2] y fels calco-silicato.[3]

Con el objetivo de contribuir al conocimiento geológico del basamento cristalino y a uno de sus principales recursos minerales asociados, en el presente trabajo se confeccionó un mapa geológico a escala 1:40.000 con su correspondiente memoria explicativa.

Asimismo, y tal como se estableció en el plan de trabajo aprobado por la Comisión de la Carrera, se realizó un ejercicio de simulación de la actuación profesional de un geólogo dentro de un permiso de prospección y para estimar el potencial de mineral

[1] Roca metamórfica compuesta por clinopiroxeno, originalmente usada por Jolpin (1968), Winkler (1979), Wimmenauer (1985), Nasir (1989) y Ellis (1998) con el término fels clinopiroxeno.

[2] Roca ácida monomineralica de textura nematoblástica de color verde.

[3] Roca que muestra bandas ricas en componentes sálicos de color blanco, y bandas ricas en feldespato alcalino fuertemente alterados de color rosa pálido y matriz de color verde

de hierro en un área específica de la región de Vichadero, elaborándose también un mapa de afloramiento geológico a escala 1:10.000.

1.1 Objetivos

1.1.1 Generales

Se plantearon en este trabajo los siguientes objetivos generales:

1) Elaboración de un mapa geológico a escala 1:40.000 de la región de Vichadero en el departamento de Rivera, con su respectiva memoria descriptiva.
2) Simulación de la actividad de un geólogo en el marco de la presentación de un informe final de prospección para presentar ante la Dirección Nacional de Minería y Geología (capítulo tres).

1.1.2 Específicos

En el marco de los objetivos generales, resultan los siguientes objetivos específicos planteados:

Históricos:

- Recopilación de antecedentes bibliográficos de la zona de estudio.

Cartográficos:

- Confección de mapa de afloramiento geológico - minero escala 1:10.000 del área seleccionada con permiso de prospección.
- Elaboración de corte geológico para comprender la estructura geológica del área y las relaciones de contacto entre las distintas litologías.

Petrográficos:

- Confección y descripción petrográfica de las distintas litologías que componen las unidades geológicas.

Geoquímicos:

- Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de roca para determinar la concentración promedio de hierro total.

Evaluación Volumétrica del Mineral:

- Estimación de recursos posibles de mineral de hierro en el área con permiso de prospección (este ejercicio forma parte del asesoramiento profesional de un geólogo al titular de un permiso, más allá que no integra el informe final de un permiso de prospección para la autoridad minera).

1.2 Antecedentes geológicos y mineros de la zona de estudio

1.2.1 Geológicos

El Escudo Uruguayo puede ser subdividido de acuerdo con Masquelin (2006) en tres grandes dominios: occidental, central, y oriental (Fig. 1). Los dominios Occidental y Central corresponden a un área de estabilidad tectónica relativa que define al Cratón Río de la Plata (Almeida, 1971). Por otro lado, el Dominio Oriental es un bloque alóctono, acrecionado durante la evolución del Cinturón Don Feliciano (Fragoso César 1980). Recientemente, Oyhantçabal *et al.* (2012) y Oriolo *et al.* (2016) restringen el área del Cratón del Río de la Plata al Dominio Occidental.

Bajo esa síntesis, el Dominio Occidental muestra equivalencia con el denominado Terreno Piedra Alta de Bossi *et al.* (1993), unidad que se desarrolla al Oeste de la Zona de Cizalla de Sarandí del Yí, mientras que el Dominio Central posee correspondencia con el Terreno Nico Pérez de Bossi & Campal (1992), unidad que está comprendida entre las zona de cizallas Sarandí del Yí y Sierra Ballena (Fig. 1).

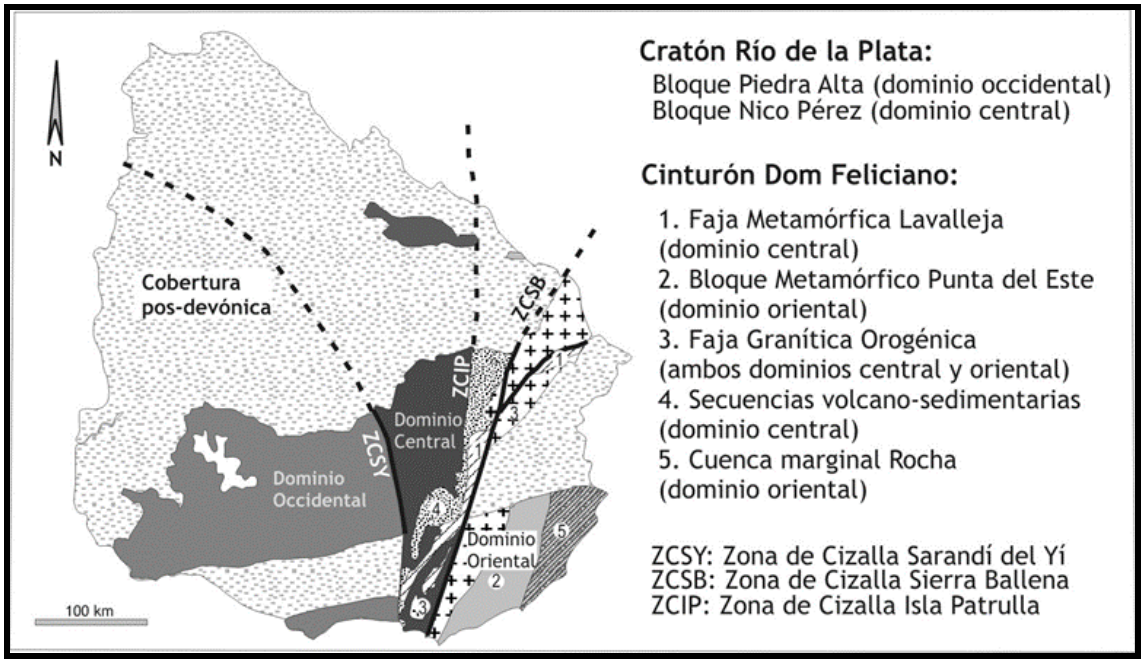


Figura 1. Compartimentación estructural del Escudo Uruguayo propuesta por Masquelin (2006).

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente en el departamento Rivera y geológicamente comprendida en el Terreno Nico Pérez definido, precisamente en el bloque Rivera o ICR (Fig. 2) que es un alto del basamento con orientación preferencial E-W y alto grado metamórfico que asoma en la Cuenca Norte.

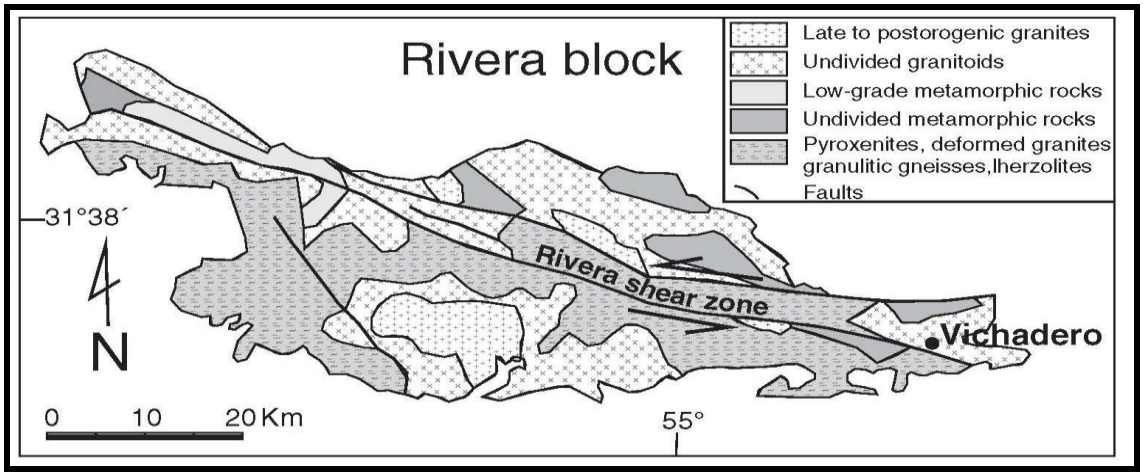


Figura 2. Bloque Rivera según Sánchez Bettucci et al. (2010).

Mac Millan (1931) aportó la siguiente división litológica para los Terrenos Precámbricos del Uruguay: a) Complejo Arcaico, b) Serie de Minas y c) Rocas efusivas e intrusivas.

Cabe destacar que las cuarcitas pertenecientes a la Serie de Minas poseen proporciones de óxidos de hierro y manganeso, ya sea de forma diseminada o en bandas como son los depósitos del Cerro Imán y Papagayo. El autor también destacó que las rocas del islote pre-cámbrico entre Cuñapirú y Zapucay poseen una dirección general E-SE; y que existe una discordancia en los sedimentos y rocas efusivas de la Serie Minas y las del complejo fundamental.

Ferrando & Fernández (1971) reconocen la "Isla Cristalina" de Cuñapirú-Vichadero, en Rivera y la de Aceguá en Cerro Largo; predominantemente compuesta por granitos y bancos de catametamorfitos de dirección E-W correlacionables con la formación Valentines.

Preciozzi *et al.* (1985) (Carta Geológica del Uruguay a escala 1: 500.000) registran las siguientes rocas para la zona que involucra éste trabajo: a) ectinitas indiferenciadas, metamorfitos de bajo grado y granitos indiferenciados pertenecientes al Zócalo de la ICR, de edad Precámbrico Medio. b) granitoides tardipostectónicos de edad Precámbrico Medio. Estas rocas pertenecientes al complejo basal de la ICR poseen una orientación preferencial N70W.

Masquelin (1993) describe la ICR compuesta litológicamente por gneisses granulítico (puntualmente intercalados por cuarcitas ferríferas); gneisses básicos, granate cuarcita con grafito, cuarcitas ferríferas (BIF), meta-anortositas, mármoles con forsterita, piroxenitas, carbo-hidrotermalito (roca de contacto entre un conjunto de mármoles y piroxenitas con un metagranito), y gneisses anfibolíticos. Desde el punto de vista estructural el autor concluyó que la Isla Cristalina de Rivera es una banda plegada con orientación N130; que presenta tres discordancias estructurales. Posterior al metamorfismo regional de alto grado que afecto a la zona se produce una deformación cataclástica que afectó al basamento y granitos brasilianos, que puede ser observada en la zona de "Falla de Vichadero" y de las ultra-cataclasitas asociadas.

Ellis (1998) define la Formación Vichadero compuesta por: a) formación de hierro bandeadas (BIF), b) formación de manganeso (FMn), c) cuarcita, d) mármol forsterita, e) piroxenitas, f) metabasitas, g) fels tremolita subordinada y h) fels calco-silicatos. La localidad de Vichadero da el nombre a dicha formación, su paraestratotipo está situado en el Cerro Imán, ubicado en el centro de la ICR; también aflora en el Cerro Papagayo y Areicuá, en la localidad Curtume y al noreste de Zapucay, entre otros. El área de Vichadero está representada por cerros de dirección E-W con presencia de granate en BIF y FMn que recubren a las rocas básicas (Fig. 3).

Este autor divide a los BIF en las siguientes clases en base a su mineralogía y fabrica: a.1) rocas bandeadas compuestas en 99% en volumen de cuarzo y capas oxidadas de hierro, a.2) rocas bandeadas compuesta por cuarzo, óxidos de Fe-(Mn), clinopiroxeno, anfíboles y granate libre, a.3) rocas ricas en granate con óxidos de Fe-(Mn), clinopiroxeno, anfíbol y cantidades de cuarzo variable, a.4) rocas predominantemente

masiva rica en Mn, cuarzo subordinado o ausente, óxidos de Fe-(Mn), olivino, granate, clinopiroxeno y braunita.

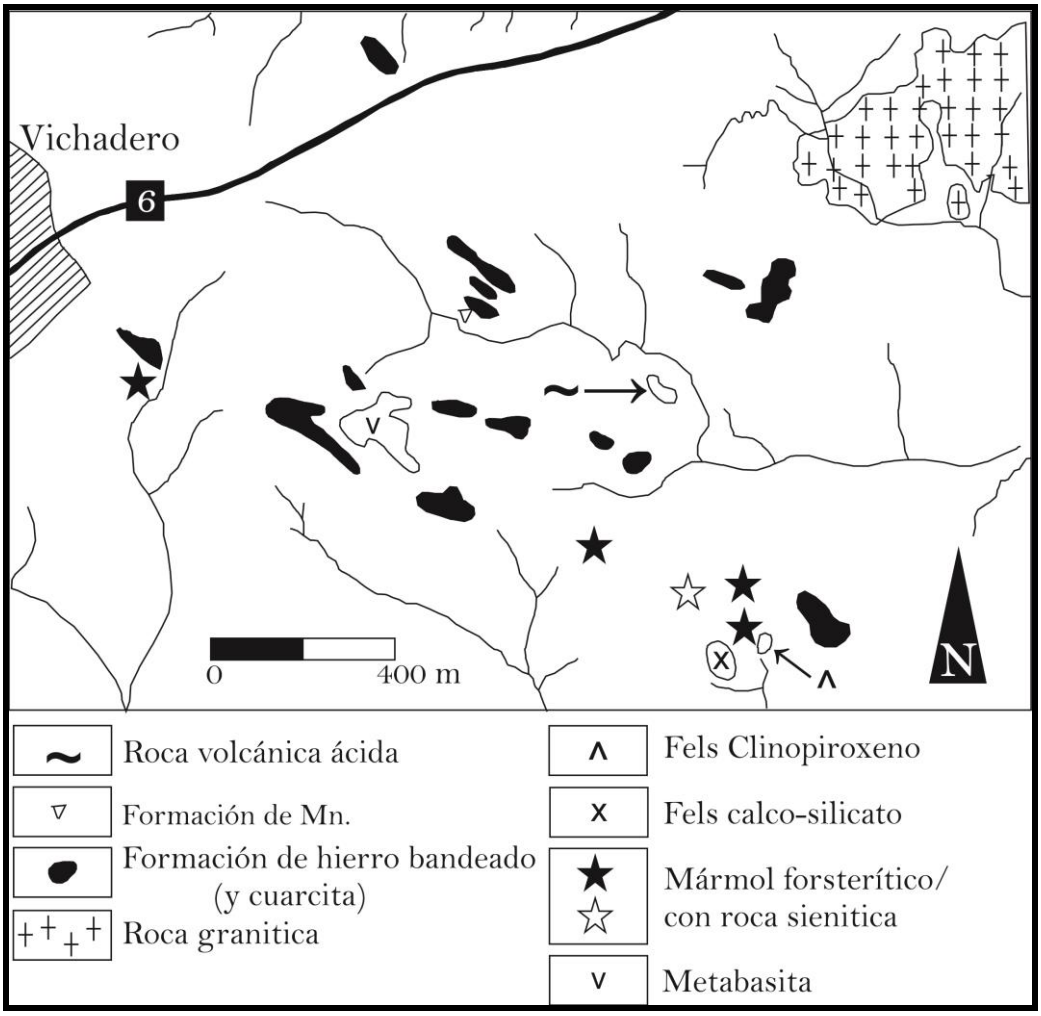


Figura 3. Mapa geológico modificado de Ellis & Fesefeldt (1996) (forma parte del área del mapa geológico que se presenta en este trabajo).

Cazaux (2008) realiza un mapeo de la zona de Curtume en la ICR, y describe el Complejo Granulítico Félsico - Máfico de Rivera compuesto por ortogneisses sienograníticos, ortogneisses cuarzo-monzoníticos, granulitas máficas y metapiroxenitas. La autora plantea un ambiente de rift intracontinental para el origen del complejo, y asocia este evento con el emplazamiento del magma de trondjemita en 2140 Ma. que posteriormente es afectado por metamorfismo de alto grado alrededor de los 2077 Ma.

Vidal (2009) realizó un mapa geológico en detalle de la región del Cerro Papagayo en la ICR y describe el Complejo Granulítico de Rivera, como un conjunto de gneisses leucograníticos, gneisses cuarzo-monzoníticos, BIF, granulitas máficas, fels piroxénicos

con magnetita, granito-gneiss con granate y granulitas grafitosas. Posteriormente se produce magmatismo que origina la intrusión de metapiroxenitas, diques ultramáficos, básicos, intermedios y ácidos. Presenta dos propuestas de evolución geológica extrapolable para toda la ICR: 1) depositación en un margen continental pasivo entre los 2500 a 2140 Ma. de sedimentos que dieron lugar al protolito de la Formación Vichadero, posteriormente afectado por un rift intracontinental en torno a los 2140 Ma., que incorpora magmatismo bimodal que da lugar a protolitos plutónicos; cercano a los 2077 Ma. se produce la primera deformación a altas temperaturas y presiones medias, lo que da origen a granulitas máficas y félsicas, mármoles forsteríticos, fels piroxénicos, BIF´s, metapiroxenitas. Antes de la segunda fase de deformación, se deposita la Formación Minas de Corrales (Arrighetti *et al.*, 1981) o Grupo Arroyo del Soldado (Gaucher 2000). Entre los 650 y 550 Ma., se produce la segunda deformación (Orogénesis Brasiliana) con la intrusión de granitos post-tectónicos, y por último está la tercera etapa de deformación entre los 400 y 100 Ma asociada a la apertura del Océano Atlántico y la formación de la Cuenca del Paraná. 2) Plantea un ambiente inicial de arco de isla depositado en una cuenca marginal, seguido de la secuencia volcano-sedimentaria asociada con magmatismo bimodal, que es el resultado de los protolitos volcánicos y de la Formación Vichadero, posteriormente se darán las mismas tres etapas de deformación que en la propuesta uno.

Bossi & Gaucher (2014) sugieren más bien la presencia de la Formación Valentines en vez de la Formación Vichadero en la ICR, compuesta por gneisses oligoclásticos, piroxenitas, granitos a pertitas cordadas y cuarcitas magnetito-augíticas. Las últimas litologías son BIF con un contenido de óxido de hierro entre 28-35 %, metamorfizados en facies granulitas.

Aboy (2016) realiza un análisis de población de fallas en la región centro y oeste de la ICR y su contacto con la Cuenca Norte. A partir de los datos estructurales, concluye que existen planos de deslizamientos que oscilan en direcciones NW a SE, y cinco campos de paleoesfuerzos, determinan buzamientos de las sedimentitas de la Cuenca Norte hacia el interior de la ICR afirmando que ésta conforma un pilar tectónico reactivado por una tectónica transcurrente.

La cobertura paleozoica correspondiente a la Cuenca Norte en la región de estudio está exclusivamente representada por la Formación Yaguarí (Bossi, 1966). Esta unidad está representada por lutitas, areniscas y calizas; de colores variados por ejemplo verdes, violáceos, amarillos y rojos; las estructuras sedimentarias reconocidas son climbing ripples, ripples y estratificación cruzada de bajo ángulo. Las relaciones estratigráficas de la unidad muestran que el contacto inferior con la Formación Paso Aguiar es transicional, y con la unidad superior la Formación Buena Vista puede ser discordante. La relación de contacto entre la Formación Yaguarí y el basamento (ICR) es de discordancia.

1.2.2 Mineros

Las primeras investigaciones fueron elaboradas por J. D. Kendall en 1910 en el Cerro Papagayo y en el Cerro Imán realizando trabajos mineros de: galerías, zanjas y recolección de muestras, concluyendo que estos cerros están compuestos por magnetita y manganeso combinados en algunos lugares y presencia de roca feldespática en estado de descomposición. Las muestras estudiadas expusieron que el Cerro Imán contenía más porcentaje de hierro que el Cerro Papagayo, alcanzando un 42% y 32% de hierro respectivamente.

Marstrander (1915) reconoce varios depósitos de hierro y manganeso en Uruguay. En el departamento de Rivera son reportados el Cerro Imán, Cerro Papagayo y Zapucay. El mineral aflorante es una mezcla de wad, psilomelana y magnetita. Los resultados obtenidos de muestras analizadas por el Instituto de Geología y Perforaciones dieron valores medios de hierro 34,8 %, manganeso 22, 7 %, sílice 9 %, fósforo 0,03 % y azufre 0,05 %. Se calcularon 80 Mt extraíbles mediantes "tajos abiertos", pertenecientes a las concesiones de *Uruguay Manganese Company.*

En 1959 Benjamín Alvarado, realizó un informe sobre los Yacimientos de Hierro y Manganeso en el Uruguay. Los yacimientos de hierro del Cerro Papagayo e Imán se conocen en su conjunto con el nombre de "Yacimiento Zapucay". Según los estudios de Caorsi y Goñi (1958), el yacimiento Papagayo está compuesto por migmatitas ricas en cuarzo y feldespato ortoclasico, gneisses, granitos milonitizados, algunas anfibolitas, piroxenitas, cuerpos mineralizados de magnetita, cuarzo y óxidos de manganeso, todos pertenecientes al basamento cristalino. Las muestras analizadas mostraron que no existen minerales de manganeso, sino más bien minerales ferro-manganesíferos muy silicosos.

Otro resultado tentativo que presenta el informe de Benjamín Alvarado son las reservas posibles para el yacimiento Zapucay, con un tonelaje total de cuerpos mineralizados igual a 16.800.000 t de las cuales se aprovecharían un 50%.

Respecto al yacimiento "El Imán" se encontró, que geológicamente era muy semejante al yacimiento Papagayo, sumándole la presencia de mármol dolomítico con cristales de forsterita.

Asimismo, Alvarado (1959) calculó preliminarmente las reservas posibles para el depósito del Cerro Imán en 1.200.000 t, y para cerros existentes en los alrededores en 540.000 t.

Alvarado (1959) reconoce que el yacimiento de hierro de Vichadero se encuentra en la porción más oriental del basamento arcaico, compuesto por gneisses, anfibolitas, piroxenitas y esquistos grafitosos, los cuales aparecen recortados por diques básicos,

ácidos y vetas de cuarzo. Aisladamente, señala la presencia de afloramientos de mármol dolomítico y manganeso. Todas las litologías antes mencionadas están en contacto con rocas sedimentarias permocarboníferas. Los cuerpos mineralizados de la región de Vichadero poseen orientación preferencial E-W y se separaron en tres fajas: A) Cerro del Tanque y Cerro de la Virgen, B) Cerro Paradera y C) Cerro de la Carretera (Fig. 4).

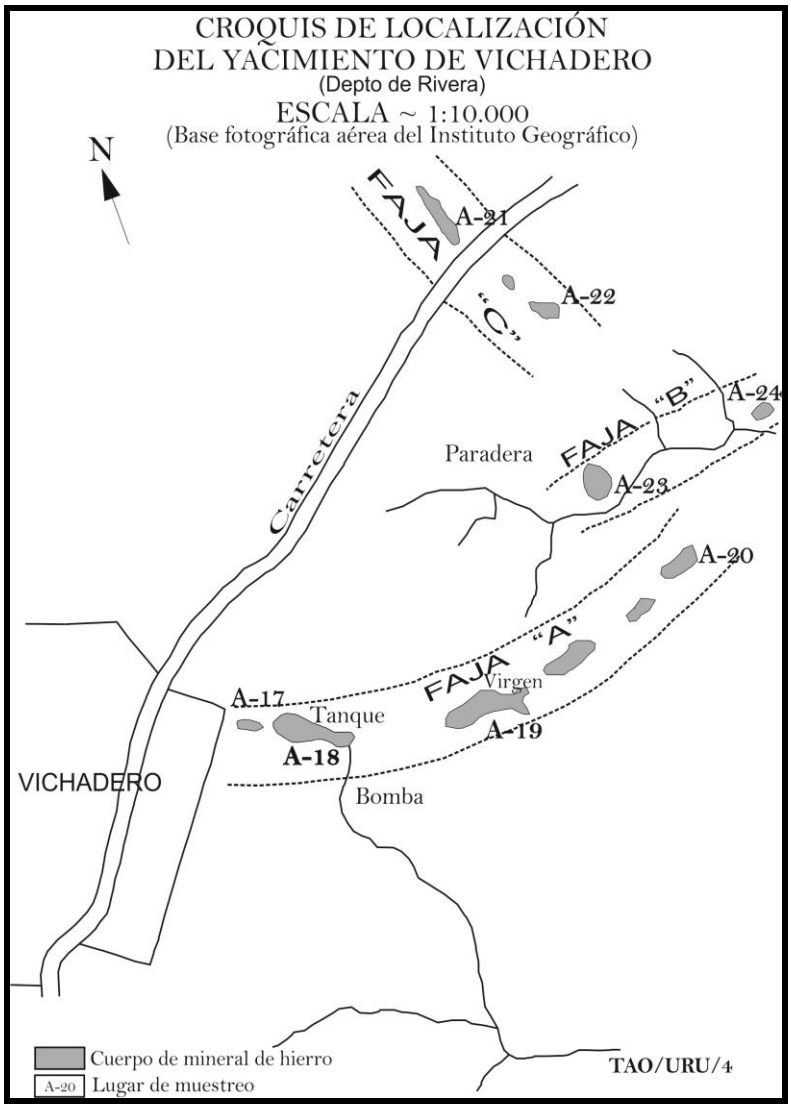


Figura 4. Mapa de mineralizaciones de hierro en Vichadero modificado de Alvarado (1959).

Alvarado (1959) concluye que la faja "A" es la más relevante por su longitud de casi 1 km., siendo el cerro más importante el de la Virgen con 400 m de largo y buzamiento de 80° y espesor entre 20 y 30 m. La faja "B" posee 500 m de largo, de los cuales solo 200 m poseen afloramientos de mineral de hierro, su dirección es igual a la de la faja

"A". La faja "C" está orientada N-S y es la de menor longitud, alcanzando apenas 200 m y con una potencia de 15 m.

Estudios petrográficos elaborados por Goñi en esta zona (com. verb. en Alvarado, 1959), arrojan una hipótesis aún no plasmada en ningún informe, acerca de la formación de los depósitos de hierro y manganeso en la ICR, y la divide en las siguientes fases: 1) donde hoy se encuentran los minerales de hierro y manganeso, antes estaban los sedimentos dolomíticos y los mármoles con forsterita son pequeños indicios de éstos; 2) acción granitizadora en fase sólida, produjo la formación de granitos; 3) posteriormente se formaron rocas ultrabásicas ubicadas en general por debajo de los cuerpos mineralizados; 4) acción físico-química durante el periodo de granitización, hizo que las ferromagnesianas del frente básico empujaran al frente ferro-manganesífero que lo procedía y sustituyó al material dolomítico que metasomáticamente fue transformándose en la mena de magnetita, hematita, ilmenita, psilomelano y wad. De acuerdo a esta hipótesis no puede afirmarse que los cuerpos sean uniformes ni homogéneos, y así como tampoco en lo que respecta a su continuidad en profundidad.

Alvarado estudió muestras en base húmeda que indicaron que el mineral es variable geoquímicamente (véase tabla 1).

Tabla 1. Resultados geoquímico de muestras húmedas según Alvarado (1959). El artículo original del autor no señala el tipo de análisis realizado, ni las coordenadas geográficas de las muestras tomadas.

FAJA	MUESTRA	FE (%)	Mn (%)	SiO_2 (%)
A	A-17	35,53	6,11	36,96
A	A-18	34,62	4,56	38,03
A	A-19	46,12	0,00	31,19
A	A-20	42,54	0,00	36,78
B	A-21	43,67	2,50	33,09
B	A-22	43,96	1,04	34,59
C	A-23	45,62	3,78	26,70
C	A-24	47,60	0,70	30,40

Alvarado (1959) calculó las reservas posibles a partir de los indicios de afloramiento de las tres fajas que conforman el yacimiento Vichadero siendo de 900.000 t aproximadamente.

Fricke (1959) presenta una recopilación de las tareas realizadas en los yacimientos Papagayo, Imán y Vichadero tales como: mapas geológicos a escala 1: 5.000, reapertura de tres fosas y dos galerías y toma de muestras para análisis químicos. En el yacimiento Papagayo las rocas mapeadas fueron anfibolitas, granitos y cuerpos con mineralizaciones de hierro, con estructura de filones y localmente lenticulares, en contacto neto con la anfibolita y el granito. Estos cuerpos de minerales están compuestos principalmente de magnetita, pero también se observó presencia de manganeso (psilomelano).

En el yacimiento Cerro Imán, cuya dirección preferencial es W-E, se obtuvieron los siguientes resultados: las rocas que afloran son a) anfibolita (localmente enriquecida en magnetita), b) granito, c) mármol a forsterita. Para dicho yacimiento se estimó una reserva posible de 2 Mt de mineral, utilizándose solo para el cálculo el área del cerro, no efectuándose en profundidad.

En el yacimiento Vichadero, Fricke reconoció seis masas lenticulares de mineral de hierro de escasa potencia y extensión, buzando casi verticales (Fig. 5), destacando la forma del Cerro Vichadero como cuneiforme, lo que hace estimar poca profundidad para este depósito. Para ese entonces no era rentable el yacimiento debido a las distancias que lo separan de los yacimientos Papagayo e Imán de aproximadamente 100 km. El autor recolectó muestras aisladas para estudios geoquímicos, ya que no era viable hacer un muestreo representativo (véase tabla 2).

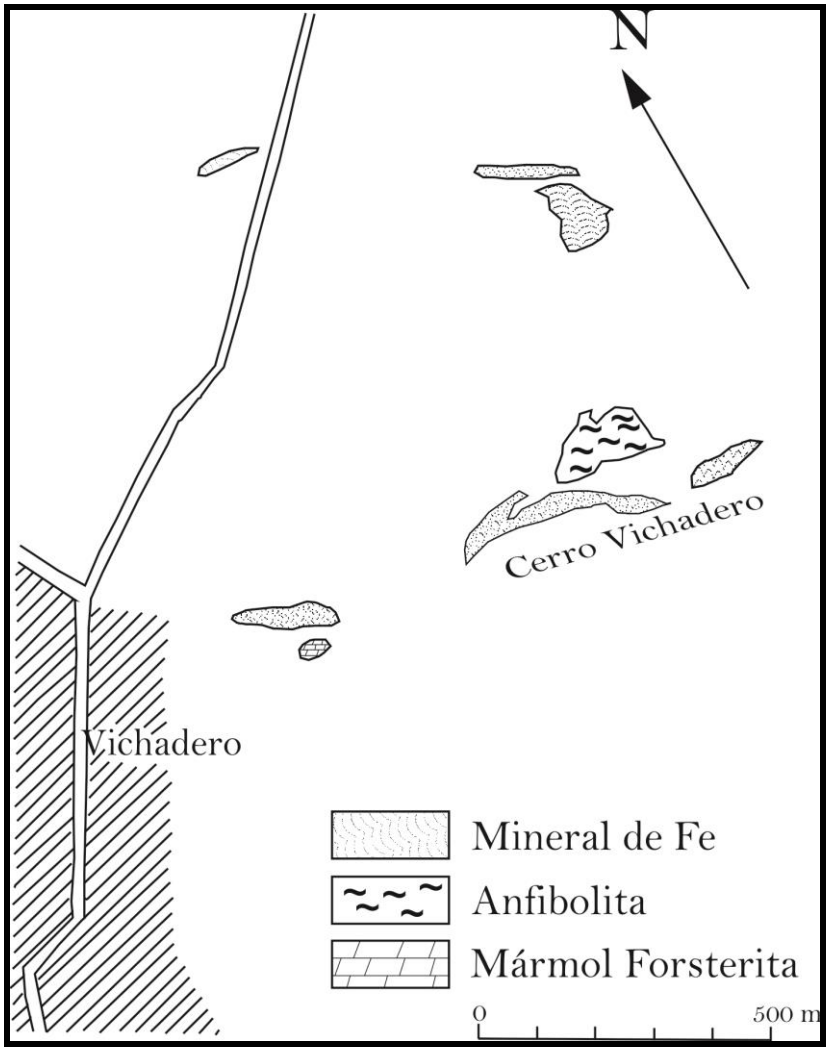


Figura 5. Mapa geológico del yacimiento Vichadero modificado de Fricke (1959) (forma parte del área del mapa geológico que se presenta en este trabajo).

Tabla 2.Resultado geoquímico de muestras de Fricke (1959). El artículo original del autor no señala el tipo de análisis realizado, ni las coordenadas geográficas de las muestras tomadas.

Muestra	Mn (%)	Mn_3O_4 (%)	MnO_2 (%)	Fe (%)	Fe_3O_4 (%)	Fe_2O3 (%)	Residuo (%)
7	0,038	0,054	0,062	31,0	42,9	44,3	54,6
8	1,86	2,58	2,94	35,5	49,1	50,8	42,6
9	4,21	5,85	6,66	27,8	38,4	39,7	51,7

Tschoepke y Therkauf (1966) presentaron un informe parcial en el que resaltan tres zonas de afloramientos de mineral de hierro en el departamento de Rivera, que son las

siguientes: 1) Zapucay/Imán, 2) Curtume y 3) Vichadero; constituidas principalmente por magnetita que localmente esta martitizada y en menor proporción aparece pirolusita como mineral de manganeso. De estos tres sitios se hace énfasis en el desarrollo del proyecto Zapucay, debido a que tiene las mejores vías de acceso respecto al resto de los lugares. Sin embargo los autores concluyen que para esa época no es rentable explotar el proyecto de Zapucay, debido a todo el proceso que necesita el mineral para su utilización.

Caorsi (1970) reconoce dos zonas con presencia de hierro: 1) Valentines (Florida), 2) Zapucay (Rivera), y destaca que los depósitos poseen entre un 30 a 45 % de hierro.

Los trabajos realizados en el Inventario Minero del Uruguay llevados a cabo entre 1979 a 1982 entre DINAMIGE y B.R.G.M., muestran los siguientes resultados: a) presencia de manganeso en la región de Zapucay; b) extracción de oro en zonas aledañas a Minas de Corrales; c) esbozos geológicos a escala 1:50.000 de las hojas topográficas Minas de Corrales, Las Flores, Amarillo, Moirones y Alborada, donde se detectaron anomalías geoquímicas en zinc, arsénico, plomo, molibdeno y bario (Fig. 6); d) indicios negativos para posibles presencias de mineralizaciones en metales bases; e) el oro sería el único interés en la región.

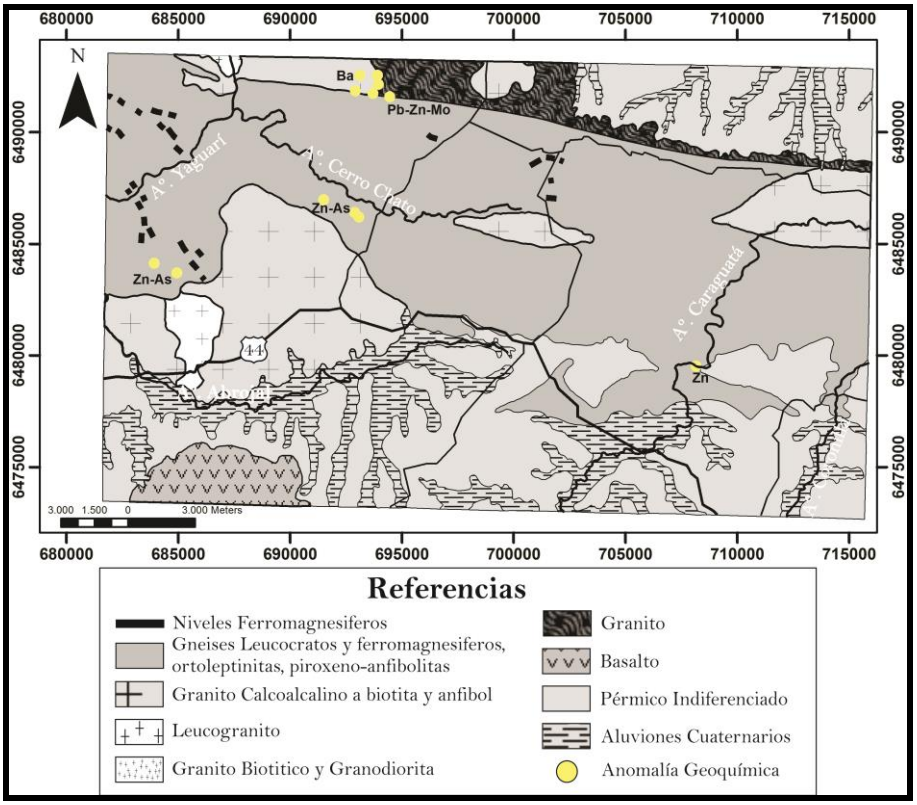


Figura 6. Esbozo geológico de Alborada modificado de Arrighetti et al. (1981) (Sist. coord.: UTM-21S).

Bossi & Navarro (2000) hacen referencia a la provincia ferrífera de Zapucay ubicada en la ICR y es calificada como idéntica a la formación Valentines (Bossi 1978, Bossi & Navarro 1991 y Ellis 1998). En esta provincia los cuerpos con mayor potencial mineral de hierro son: 1) Cerro Papagayo, 2) Cerro Bonito, 3) Cerro Manganeso, 4) Cerro Picudo y 5) Cerro Imán. Estimaron el volumen de mineral para Cerro Papagayo y Cerro Imán a nivel de reservas probables obteniendo 50. Mt.

1.2.3 Geocronológicos

Cordani & Soliani (1990) realizan 18 dataciones por el método K-Ar y 31 por Rb-Sr en distintas litologías de las IC de Rivera y Aceguá. Se obtiene en gneiss una edad de metamorfismo regional de alto grado de 2204 ± 65 Ma. En lo que concierne a las cercanías al área de estudio de este trabajo, las muestras recolectadas fueron cinco en granito porfirítico y una en microgranito para dataciones de Rb-Sr y 2 muestras en granito cataclástico para K-Ar, obteniendo edades de 569 ± 4 Ma. para las seis primeras y de 366 ± 31 Ma. y 414 ± 29 Ma. en las otras dos.

Santos *et al.* (2003) realizan cuatro nuevas dataciones en muestras de rocas del ciclo Transamazónico del Cratón del Río de la Plata por el método U-Pb SHRIMP II en circones. La muestra datada en Rivera corresponde a una metatrondjemita y obtiene edades entre 2163 a 2066 Ma., la edad de emplazamiento del magma de la trondjemita es de 2140 ± 6 Ma, asignada a la segunda orogenia del ciclo Transamazónico, y la del evento metamórfico de alto grado a los 2077 ± 6 Ma., durante la tercera orogenia del ciclo Transamazónico.

Oyhantçabal *et al.* (2012) realizan dataciones por métodos de U-Pb SHRIMP II en circón, Th-U-Pb-EMP en monacita y K-Ar, del basamento granulítico de la ICR, de la zona de cizalla de Rivera y los granitos neoproterozoicos. Los resultados indican para el primer protolito magmático edades entre 2200-2100 Ma; asimismo a los 2100 Ma, se interpreta un episodio de metamorfismo de alta temperatura explicado como refusión magmática. Hacia 1980 Ma, se registra un evento metamórfico de alto grado en facies granulita en la ICR. Es acotada la edad Neoproterozoica de la Zona de Cizalla de Rivera siendo su acontecimiento principal a los 606 Ma. Por último la edad aproximada de los granitos brasilianos es de 585 Ma, obtenida en circones magmáticos y 578 Ma se sugiere a la edad de enfriamiento rápido.

Oriolo *et al.* (2016) obtienen cuatro nuevas dataciones en muestras de la ICR (Terreno Nico Pérez), por el método U-Pb e isótopos de Hf. Dichas muestras corresponden a una granulita máfica, a un ortogneis félsico y a un ortogneis tonalítico-diorítico pertenecientes al Complejo Granulítico de Valentines-Rivera, así como en el Granito Amarillo. Para la granulita máfica se obtuvieron dos edades de media ponderada de $^{207}Pb/^{206}Pb$ que fueron 2095 ± 15 Ma. y 2041 ± 24 Ma. Por el mismo método, en el

ortogneiss granulítico félsico se obtuvo una edad de 2069 ± 16 Ma, y en el ortogneis tonalítico-diorítico de 1857 ± 45 Ma, además de calcularse una edad de concordia para este último de 2087 ± 7,3 Ma. Al mismo tiempo estas tres muestras exponen una edad de T_{DM} (tiempo de vida media) entre 2,62 y 3,81 Ga por el método de isótopos de Hf. Para el Granito Amarillo por el método U-Pb se obtiene una edad de concordia de 596 ± 2,3 Ma y edad modelo por isótopo de Hf entre 2,53 a 3,56 Ga. Asimismo estos autores, al analizar integradamente los datos geológicos, geocronológicos e isotópicos del Complejo Granulítico Valentines-Rivera revelan que el magmatismo fue multiepisódico entre los 2,18 a 2,10 Ga, además indican que el Terreno Nico Pérez es alóctono y su acoplamiento al Cratón del Río de la Plata fue durante el Neoproterozoico.

1.3 Localización geográfica y vías de acceso

La localidad de Vichadero se sitúa a 135 km de la ciudad de Rivera, su acceso es por la ruta Nacional Nº 27 “Mario Heber”. El acceso más conveniente desde Montevideo es por la ruta Nacional Nº 8 “Brigadier General Juan Antonio Lavalleja” hasta la ciudad de Melo, luego por la ruta Nº 7 “General Aparicio Saravia” en dirección oeste, posteriormente la ruta Nº 44 “Coronel Fernando Otorgués”, y por último la ruta Nº 6 “Joaquín Suárez”, donde se debe recorrer 20 km hacia el norte para llegar al área de estudio (Fig. 7).

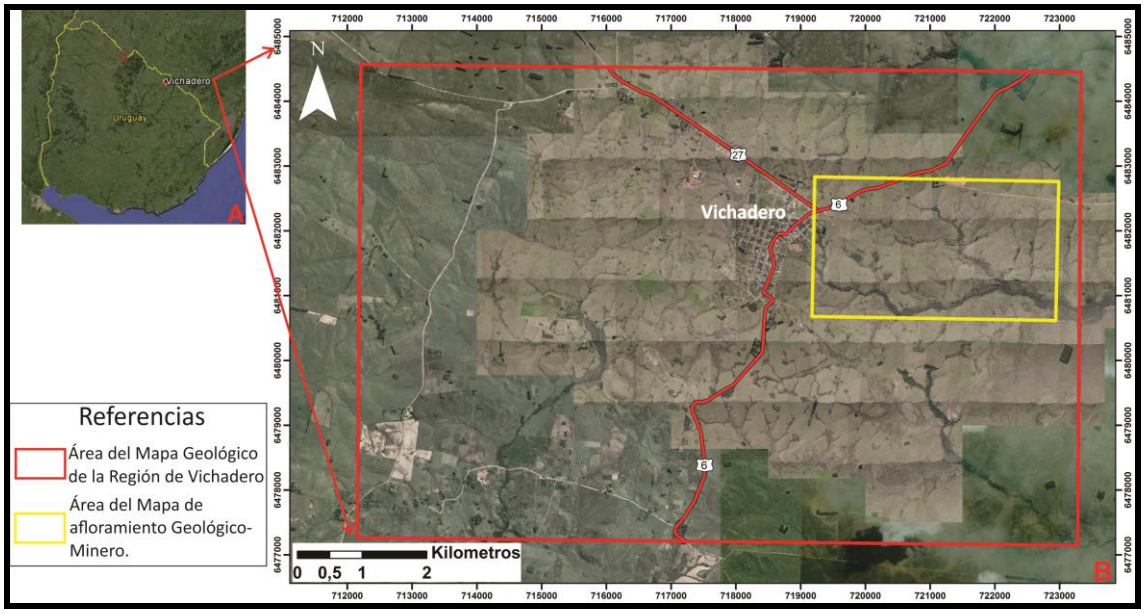


Figura 7. A) Contexto nacional de la zona de estudio. B) Rectángulo rojo: área de Mapa Geológico de la Región de Vichadero, rectángulo amarillo: área correspondiente al informe de prospección. Imagen satélite de Google Earth (Sist. coord.: UTM-21S).

El área del mapa geológico de la región de Vichadero se sitúa en las Hojas topográficas "Vichadero" (E-12) y "Alborada" (F-12) del S.G.M a escala 1:50.000; quedando delimitados sus vértices por las siguientes coordenadas UTM 21S NW: 712184, 6484576; SW: 712191, 6477241; NE: 723360, 6484464; SE: 723297, 6477133; comprendida en una superficie aproximada de 80 km² (Fig. 8).

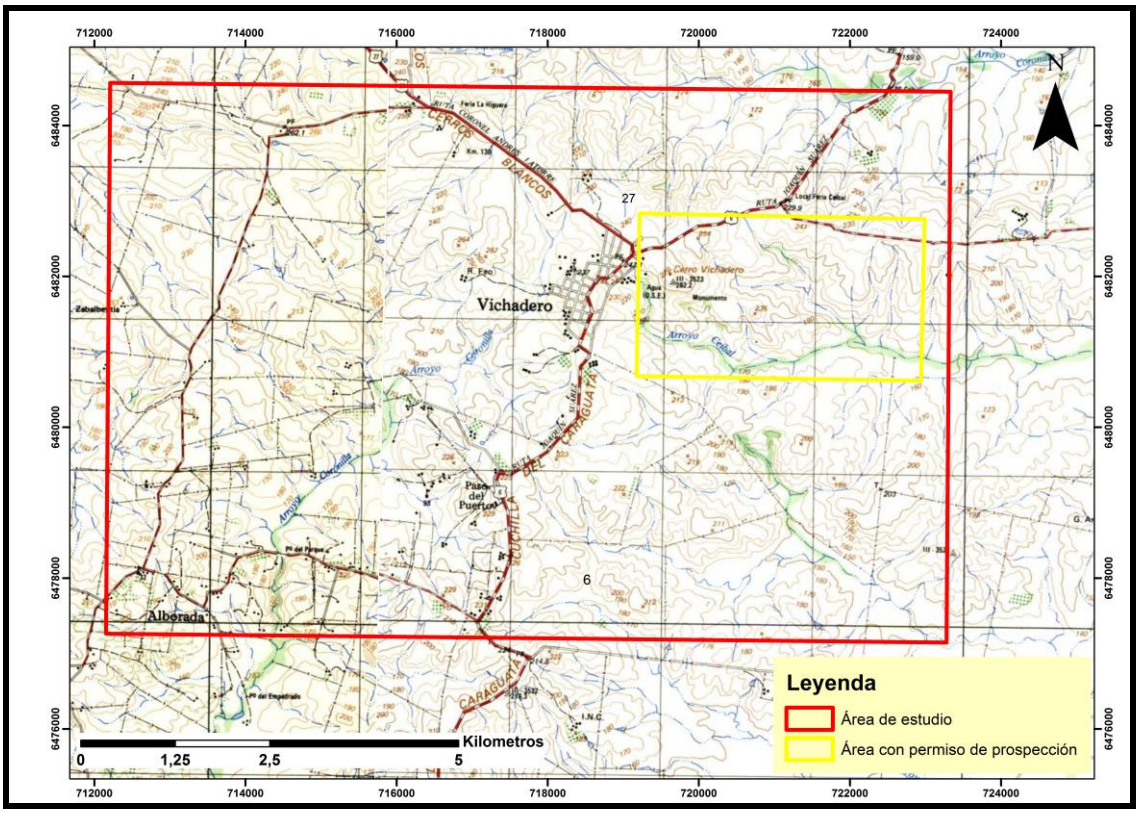


Figura 8. Rectángulo rojo: ubicación del Mapa Geológico de la región de Vichadero; rectángulo amarillo: área correspondiente al informe de prospección; en Hoja topográfica Vichadero (S.G.M). (Sist. coord: UTM-21S).

Capítulo 2: Geología de la región de Vichadero (Departamento de Rivera)

2.1 Introducción

El trabajo de campo realizado, con su posterior procesamiento en gabinete, y los antecedentes recabados permitieron elaborar un Mapa Geológico de la región de Vichadero (Departamento de Rivera) a escala 1:40.000 separando las siguientes unidades litotectónicas para la zona de estudio (Anexo III):

- Complejo Gnéisico Valentines-Rivera (CGVR) (Oyhantçabal *et al.* 2011) constituido por gneiss granulítico félsico.
- Formación Vichadero (Ellis 1998) representada por BIF.
- Zona de Cizalla de Rivera compuesta por milonitas.
- Formación Yaguarí (Bossi 1966, redefinida por Ferrando & Andreis 1986) compuesta por limolitas, areniscas, areniscas calcáreas, conglomerados.
- Depósitos cuaternarios (aluviones) compuesto por materiales de tamaño de grava a arcilla, asociado principalmente a los cursos de agua.

El mapa está acompañado de una memoria descriptiva, con las características más relevantes para cada litología.

2.2 Consideraciones Generales

2.2.1 Geomorfología

El área presenta una amplia variación geomorfológica debido a las diferentes unidades geológicas que se encuentran y cada una de ellas conforma un relieve particular. La determinación de estas características permite diferenciar dos grandes zonas morfológicas:

1- En el norte y centro se encuentran las topografías más altas, representadas por cerros de pendientes acentuadas. El punto más alto corresponde al Cerro Vichadero

con una cota de 282,2 m. Esta elevación presenta importantes afloramientos y se caracteriza por litologías ricas en hierro y gneisses leucócratas.

2- La zona sur se caracteriza en su mayoría por topografías menos elevadas, a causa de la presencia de litologías completamente diferentes que en la zona norte como por ejemplo limolitas, areniscas y conglomerados, dando relieves ondulados y llegando en parte a ser casi planicies. La cota más baja encontrada es de 150 m.

La red de drenaje dominante del área es dendrítica y está representada por los arroyos Coronilla y Ceibal con sus respectivos afluentes, localmente se presentan redes de drenaje paralelo.

2.2.2 Aspectos socioeconómicos

Para la localidad de Vichadero el censo del año 2011 del Instituto Nacional de Estadística (INE), brindó los siguientes resultados: está conformado por 3698 habitantes, de los cuales 1798 son hombres y 1900 mujeres. Existen varios puntos favorables para poder implantar proyectos de índole de exploración en el área. Uno de ellos es que cuenta con un considerable porcentaje de población menor a 40 años, alcanzando porcentajes de 58 y 60 % en hombres y mujeres, respectivamente.

Los servicios de salud están cubiertos, tanto en el ámbito público con una policlínica con buen equipamiento y en el privado con dos mutualistas.

El servicio de electricidad está completamente cubierto, destacándose la presencia de la red de alta tensión que va desde la localidad de Isidoro Noblía a Vichadero, con una potencia de 60 kW que le permite proveer de electricidad a todas las zonas aledañas incluso los pueblos más alejados como es el caso de Ansina y Minas de Corrales. Dicha potencia es convertida por una reductora ubicada en las cercanías de Vichadero de 6000 a 1500 voltios, que es la que se distribuye a toda el área.

La localidad posee un sistema de suministro de agua potable que se extrae del arroyo Coronilla Chico ubicado a cuatro kilómetros al norte de Vichadero. En dicho lugar se cuenta con dos represas que almacenan el agua suficiente para el consumo diario de la localidad, siendo el caudal de agua por hora de 60 m^2.

Vichadero cuenta con un sistema educativo íntegro, dando la posibilidad a sus jóvenes de cursar la educación primaria y secundaria en su totalidad. Desde niveles iniciales proporcionados por centros públicos como lo es la escuela N° 24 y el privado representado por un Colegio. A nivel de secundaria se cuenta con el Liceo Vichadero contando con todos los años correspondientes.

La actividad laboral que caracteriza a la zona es principalmente agrícola y ganadera, encabezada por la producción de arroz; el área cuenta con la posibilidad de acopiar diferentes tipos de granos en un sistema de silos que se encuentran a las afueras de la localidad y que dan eventuales trabajos zafrales. También se cuenta con diferentes comercios, desde oficinas públicas a otros que se dedican a distintos rubros; entre ellos se destacan los de panadería, carnicería, mini mercado, entre otros.

2.2.3 Metodología y Materiales

La metodología empleada para la elaboración del mapa geológico se fundamentó en Nadalin *et al.* (2014), para cumplir ordenadamente la sistemática al momento de recabar la mayor información posible en gabinete y campo, que fue plasmado en el mapa geológico. Para ello se siguió la siguiente metodología:

- Compilación de antecedentes geológicos de la ICR, y especialmente del área de estudio.
- Definir el área a investigar.
- Fotolectura y fotointerpretación a escala 1:20.000 del área correspondiente, pudiendo inferirse distintos tipos de litologías, basadas principalmente en los elementos texturales, estructurales, tonalidades del suelo y lineaciones, que son ratificadas en la etapa de campo.
- El trabajo de campo consistió en relevar los puntos de interés reconocidos en la etapa de gabinete (Anexo I). En afloramiento se realizó la descripción de las rocas presentes, se recabaron datos estructurales y cuando fue posible se registraron las relaciones de contacto entre las distintas rocas (Anexo II). Además se efectuó un registro fotográfico de las rocas que componen las diferentes unidades. Cabe indicar que en el sector sureste del mapa no se pudo relevar debido a la negativa por parte de los propietarios de los campos.
- Se levantó una sección geológica con orientación suroeste-noreste, tomando en cuenta que corta todas las unidades presentes en la zona, con el objetivo de comprender la configuración geológica del área de estudio.
- Recolección de muestras de los principales tipos de roca, para confeccionar secciones delgadas, éstas fueron colocadas en bolsas con doble rótulo para no generar confusión al llegar al laboratorio.

Con toda la información recopilada e interpretada se obtuvo como resultado final el Mapa Geológico de la región de Vichadero a escala 1:40.000.

Los materiales utilizados para la etapa de gabinete, laboratorio y campo fueron los siguientes:

- fotos aéreas a escala 1:20.000: 231-106 a 112, 231-169 a 175, 232-030 a 035, 232-097 a 103 (Servicio Geográfico Militar).
- Hojas topográficas a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar: Vichadero E12 y Alborada F12.
- Martillo geológico Estwing, brújula Brunton, lupa, GPS Garmin, comparadores visuales, imán, cámara de fotos, bolsas de plásticos, libreta de campo y ácido clorhídrico.
- Sierra, cortadora y devastadora geológica Petrothin, polvos abrasivos de variada granulometría, pegamentos, portaobjeto y cubreobjeto, estufa, microscopio Nikon E200**.**
- Software: Google Earth, Global Mapper, ArcGis 10 e Imagej.

2.3 Unidades geológicas del área de estudio

El área de estudio presenta una amplia porción aflorante del complejo metamórfico de alto grado Valentines-Rivera de edad Paleoproterozoica, y elementos rocosos y estructurales asociados a la Zona de Cizalla de Rivera, de edad Neoproterozoica. Sobreyacen en discordancia a esas unidades precámbricas, una sucesión de rocas sedimentarias pérmicas y sedimentos cuaternarios (Fig. 9).

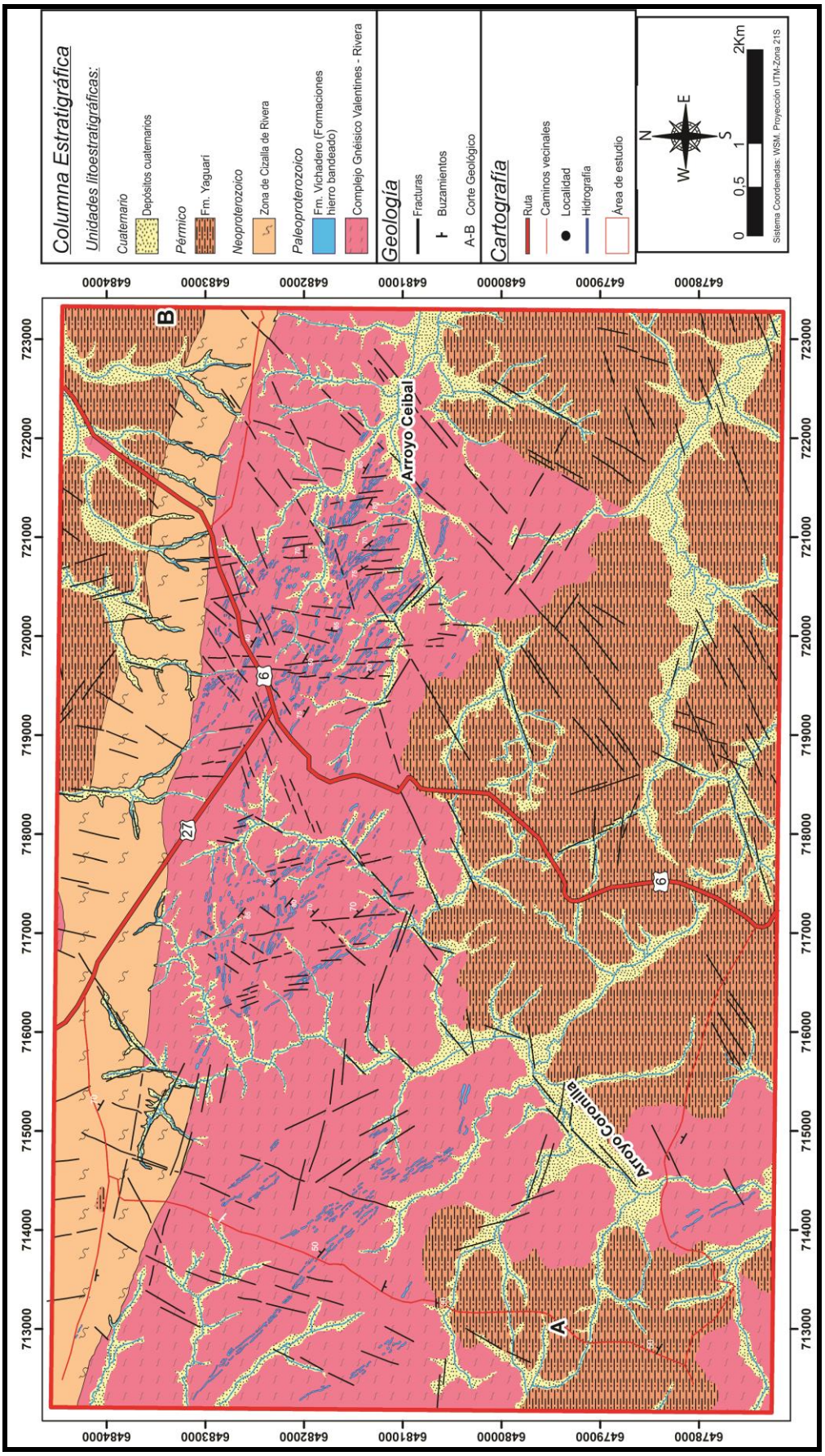


Figura 9. Mapa geológico de la región de Vichadero (Sist.coord.: UTM-21S, Anexo III: Mapa Geológico de la región de Vichadero escala 1: 40.000).

2.3.1 *Complejo Gnéisico Valentines – Rivera*

El CGVR (Oyhantçabal *et al.* 2011) es una asociación bimodal félsica-máfica sometida a alto grado de metamorfismo, anteriormente denominada por Cazaux (2008) como "Complejo Félsico – Máfico de Rivera" y "Complejo Granulítico de Rivera" por Vidal (2009)

Dicho complejo aflora en el área de estudio como gneiss granulítico félsico y es la roca que predomina. Ubicada longitudinalmente en el centro y suroeste, ocupa tanto posiciones elevadas como bajas topográficamente. Se presenta principalmente con textura granoblástica de grano medio a grueso, no obstante se encuentra localmente deformado, evidenciado por la presencia de cuarzos estirados. Su principal componente es el feldespato potásico que da el color naranja, rosado claro y marrón claro de la roca, seguido de cuarzo, también es posible encontrar plagioclasa, anfíbol, venillas de epidoto, carbonato y cuarzo. Los feldespatos están parcialmente transformados a caolín (caolinitización) (Fig. 10).

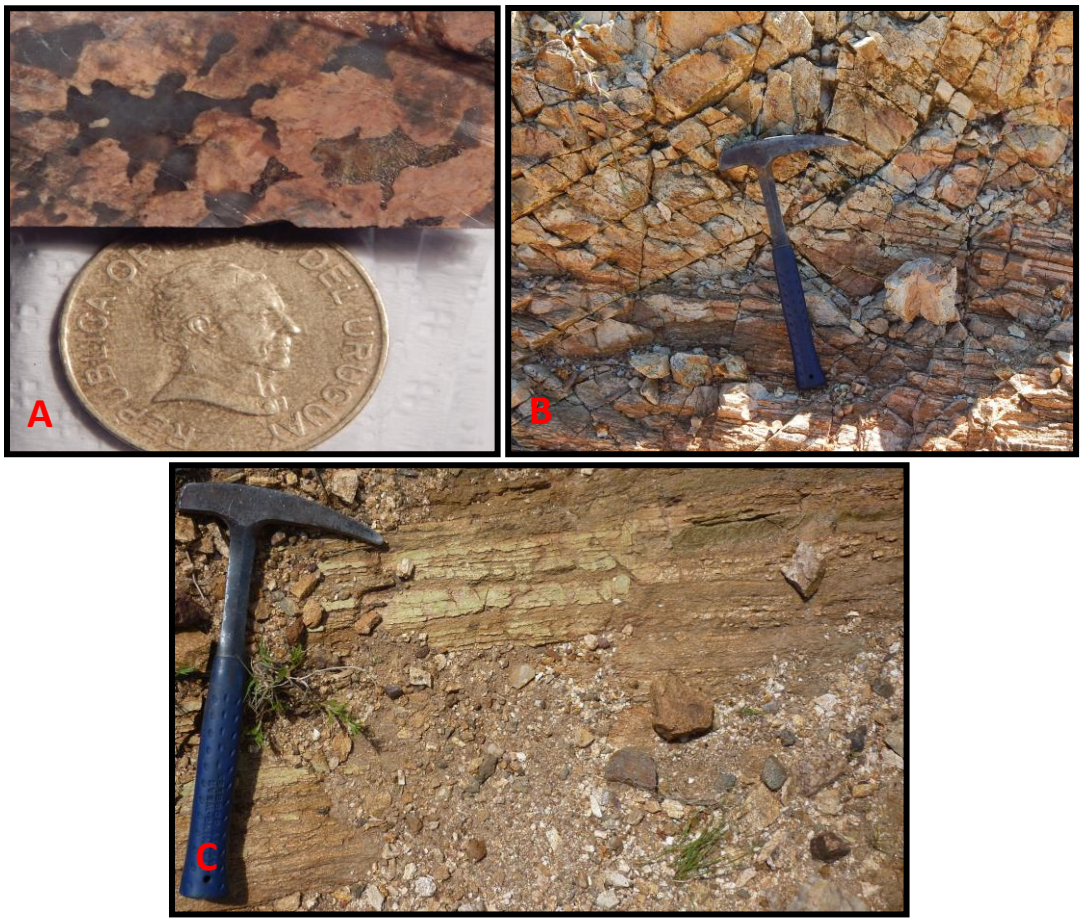


Figura 10. A) Muestra de mano de gneiss granulíto félsico. B) Afloramiento de gneiss granulíto. C) Venillas de epidoto en gneiss granulítico.

En sección delgada el gneiss granulítico félsico está compuesto principalmente por un 40-50 % de granos de feldespato mesopertítico de 0,5 a 1,5 mm, en ocasiones con bordes lobulados. Los granos de cuarzo son anhedrales y varían entre 0,2 y 1 mm, es común la presencia de bordes lobulados (Fig. 11 A, B, D). Los granos de epidoto se encuentran recristalizados, rellenando vetillas y en fisuras de conexión, su abundancia está entre 2-5 %, posiblemente sería clinozoisita (Fig. 11 C).

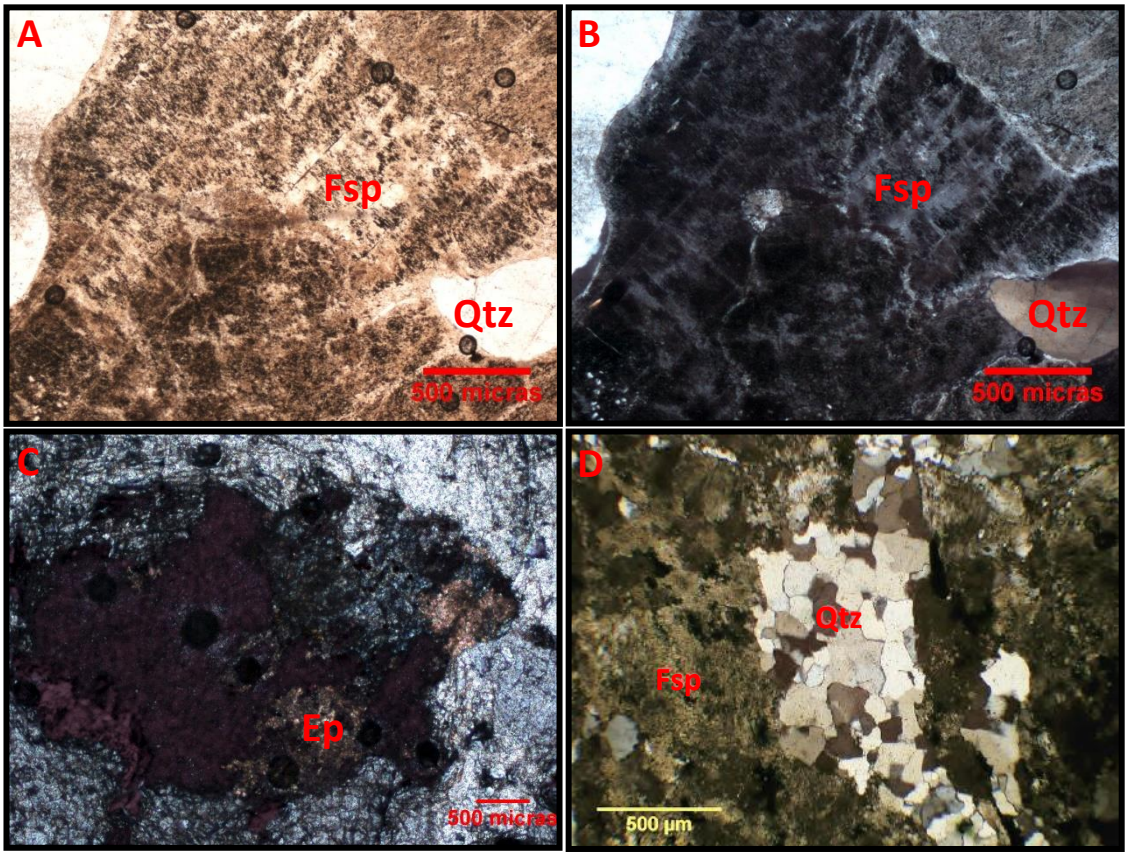


Figura 11. A y B) misma toma donde se observa la textura del gneiss granulítico félsico en luz polarizada plana y polarizadores cruzados. C) cristal de epidoto en polarizadores cruzados. D) Se exhibe la textura del gneiss granulítico félsico en polarizadores cruzados (cedida por la compañía UMG).

El gneiss granulítico está en contacto por falla con limolitas y areniscas rojizas a marrones que se reúnen en la Formación Yaguarí, estructura que posee una orientación N090, 30 SE (Fig. 12).

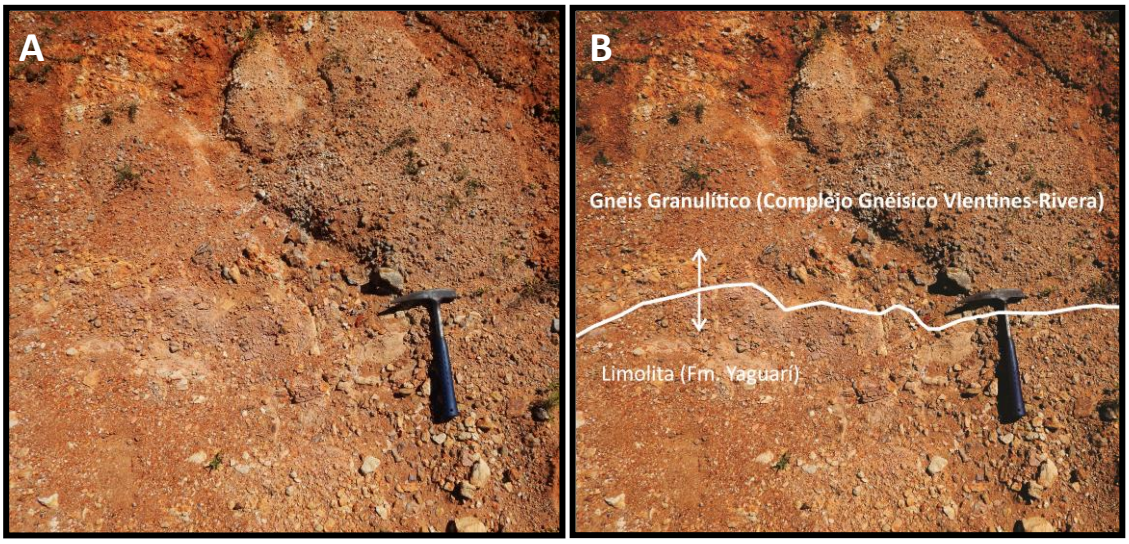


Figura 12. A, B) Afloramiento de Gneis Granulítico en contacto por falla con limolitas de la Formación Yaguarí.

2.3.2 BIF (Formación Vichadero)

La Formación Vichadero (Ellis, 1998) está representada en el área de estudio por formaciones de hierro bandeado[4]. La formación lleva el nombre de la localidad de Vichadero (departamento de Rivera), donde la secuencia se encuentra bien expuesta, en las cercanías del Cerro Vichadero. No obstante su paraestratotipo es considerado el Cerro Imán ubicado en el centro de la ICR (Zapucay). Litoestratigráficamente, sus relaciones estatrigráficas la muestran incluidas dentro del Complejo Gneisico Valentines – Rivera, pero dado que es posible su mapeo a escala de semi detalle y su significación práctica de separarla del complejo, se optó aquí por no innovar la propuesta original de Ellis (1998).

En la zona de estudio los BIF ocupan el centro del mapa, desde oeste a este. Se trata de zonas topográficamente elevadas producto de la resistencia a la erosión de estas rocas y afloran preferentemente como cerros alargados con dirección NW-SE (Fig. 13).

[4] Los conceptos de formaciones de hierro bandeado utilizados son el de James (1954) y Trendall (1983): "sedimento químico, típicamente en capas delgadas o estratificadas, que contiene 15 % o más de hierro de origen sedimentario, y estrictamente no tiene que contener sílice" y "cualquier roca sedimentaria cuya principal característica es un contenido anormalmente alto de hierro" respectivamente.

Figura 13. A) Vista panorámica de Cerro la Virgen donde aflora BIF (entre líneas punteadas). B) Vista panorámica al noreste del Cerro la Virgen de formaciones de hierro bandeado (entre líneas punteadas).

Los BIF están constituidos por intercalaciones de bandas de magnetita y bandas de cuarzo, y en menor proporción se observa piroxeno y granate. La presencia de magnetita y cuarzo es variable en los distintos afloramientos; en ocasiones puede presentarse de forma masiva. Como resultado de la meteorización, la magnetita se alterada a hematita, martita y limonita; cambiando los colores iniciales del BIF que son gris y negro a tonalidades grises, rojos o amarillentos.

Es común localizar BIF fuertemente plegados producto del alto metamorfismo y deformación que sufrieron, mostrando rumbos que oscilan entre N010° a N235° y buzamientos entre 40 a 80° (Fig. 14). Presenta contacto neto con el gneiss granulítico y la foliación es concordante con dicha unidad.

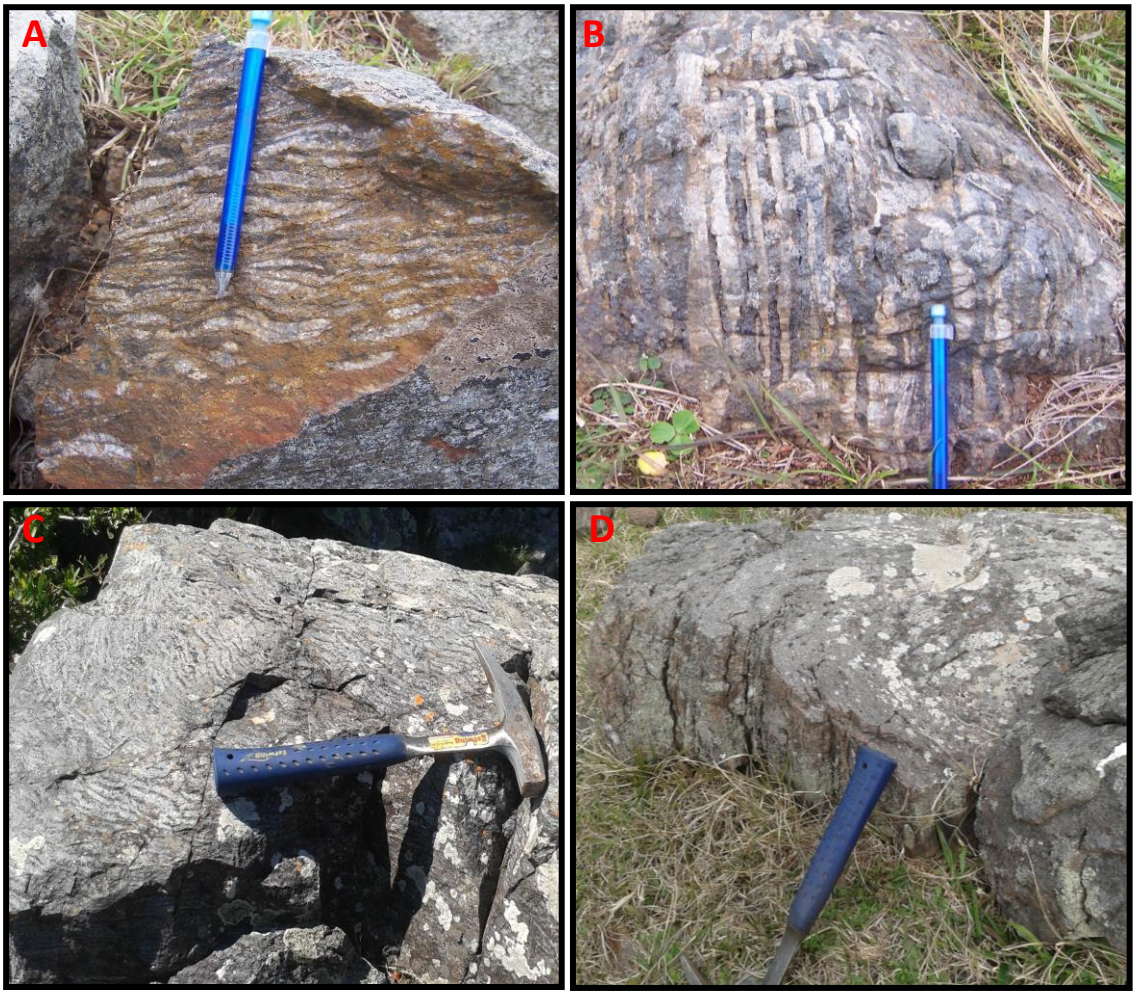


Figura 14. A, B) Afloramiento donde se observa la estratificación original con baja deformación dúctil en BIF. C, D) Afloramiento donde se puede apreciar el plegamiento en BIF producto del alto grado de deformación dúctil que soportaron.

En sección delgada el BIF puede presentar textura granoblástica y una foliación de recristalización definida (Fig. 15), los opacos (principalmente magnetita) se exhiben en cristales euhedrales entre 0,2 a 2 mm; muchas veces estos se encuentran fracturados y boudinados. Su abundancia oscila entre el 35 y 55 % en volumen. Los granos de cuarzo son xenomorfos con extinción ondulosa y con un tamaño que fluctúa entre 0,5 a 2 mm; la cantidad varía entre 20 a 40 % en volumen. Los cristales de granate son pequeños y subhedrales. Es perceptible la presencia en trazas de cristales de apatito euhedrales, prismáticos entre 50 y 100 micras.

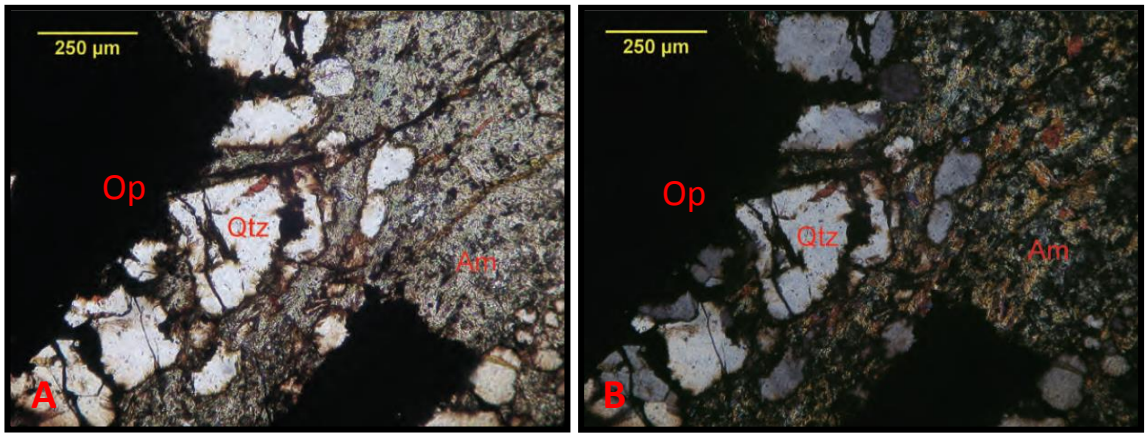


Figura 15. A) BIF con polarizadores plana. B) BIF con luz polarizada cruzada (cedida por la compañía UMG).

2.3.3 Zona de Cizalla de Rivera

La Zona de Cizalla de Rivera posee dirección principal aproximadamente E–W, su ancho aparente es entre 1 a 2 km y el largo es alrededor de 100 km, con dirección general concordante con la ICR. Presenta tanto deformación frágil como dúctil, predominando esta última. Los protolitos de las milonitas comprenden gneiss de alto grado y granulitas, donde la foliación predominante es subvertical y dirección principal NW-W a SE-E. Como indicadores cinemáticos se presentan porfiroclastos con colas asimétricas y desviación de la foliación externa en estructura (Oyhantçabal *et al.*, 2012). Una datación obtenida por el método K-Ar en muscovita y otra por el método U-Th-Pb en monacita (Oyhantçabal *et al.,* 2012) indica una edad Neoproterozoica de 606 ± 10 Ma.

Está ubicada en la porción norte de la zona de estudio, su espesor es variable entre 600 y 1500 m aproximadamente (Fig. 16). Genera áreas elevadas topográficamente. Allí las deformaciones dúctiles y cataclásticas afectan al gneiss granulítico félsico, intercalado con un gneiss granulítico de composición intermedia de espesores centimétricos a métricos, no pudiendo ser separado a esta escala de mapeo. La milonita resultante está formada por feldespato potásico y cuarzo en formas de cintas; la foliación tiene una orientación NW-SE y su buzamiento es hacia el SW. Algunas vetas de cuarzo recortan la milonita, concordante con la foliación. Asimismo se observan pliegues de la foliación milonítica principal.

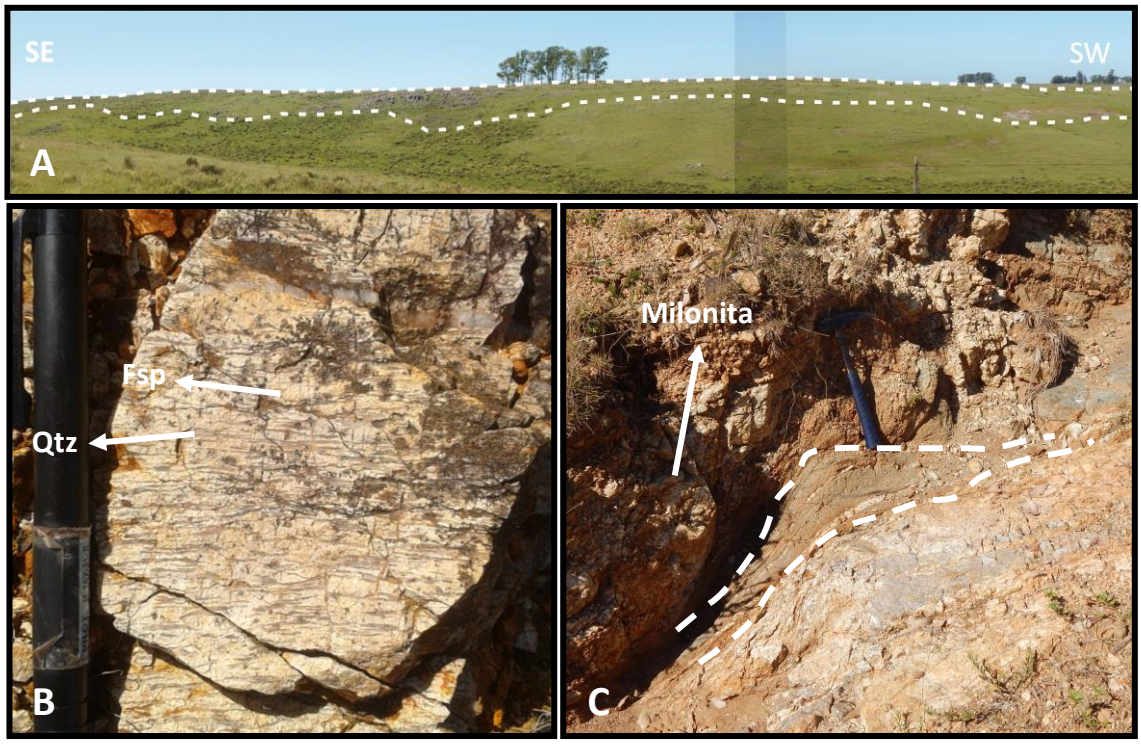


Figura 16. A) Vista general de afloramiento afectado por cizalla. B) Milonita félsica leucócrata de protolito gnéisico exhibiendo cuarzos totalmente estirados. C) Milonita afectada por deformación dúctil en la zona de cizalla.

2.3.4 Diques Félsicos

En la porción centro-este del área de estudio, se han reconocido diques de microgranito, en afloramiento cuya orientación preferencial es N-S y NE-SW con espesores que varían entre 2 a 6 m, y corridas discontinuas que no superan los 150 m de longitud recortando todas las unidades precedentes. Estos diques presentan textura porfirítica con fenocristales de feldespato, predominando el color rosado.

El microgranito se encuentra recortando todas las unidades descritas anteriormente para la región de estudio, de acuerdo a estas observaciones se los relaciona tentativamente con los granitos Neoproterozoicos y diques subvolcánicos descriptos por Oyhantçabal *et al.* (2012). Al no poseer la suficiente expresión areal no pudieron ser cartografiados a la escala planteada para este objetivo.

2.3.5 Formación Yaguarí

La Formación Yaguarí (Bossi, 1966) forma parte de la megasecuencia pérmica del Grupo Cerro Largo (Goso 1995), restricto al sector oriental de la Cuenca Norte. Está conformada preferentemente por areniscas, limolitas y pelitas de colores variados. La Formación Yaguarí se apoya en discordancia sobre el basamento cristalino, observándose el contacto por falla en el área de estudio. La edad asignada a esta unidad es Pérmico Superior, sobre la base de criterios estratigráficos y paleontológicos, (Goso *et al.*, 2001; Piñeiro, 2002).

Esta unidad representa la segunda más conspicua del área. Aflora principalmente en la porción sur y minoritariamente en el sector noreste del mapa. Presenta un relieve ondulado y ocupa zonas topográficamente bajas en comparación con el CGVR.

Las limolitas y areniscas finas de esta formación se disponen en intercalaciones de estratos de colores grises, violáceos, amarillos claros, blancos, ocres y rojizos, con espesores que oscilan entre 0,5 a 10 cm. Exhiben estratificación horizontal plano paralela, estructuras flaser y lenticular (Fig. 17). Es posible encontrar limolitas con muscovita, intercaladas con niveles lenticulares de areniscas y conglomerados, en las que ocasionalmente ocurre la presencia de trozos de troncos fosilizados de diversos tamaños (Fig. 18).

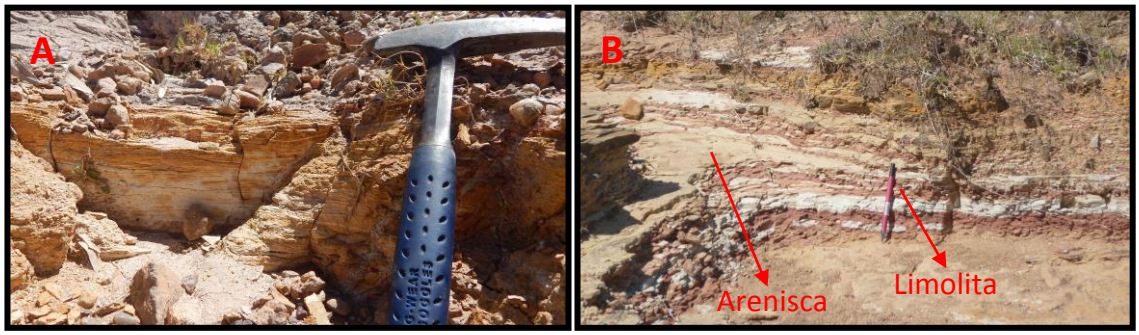


Figura 17. A) Limolitas. B) Areniscas finas con estratificación horizontal plano paralela.

Figura 18. A, B) Trozos de troncos fosilizados presentes en la Formación Yaguarí.

Las areniscas son de grano fino a grueso de colores variados, con estratificación plano paralela y masiva (Fig. 19 A, B, D); cuando afloran cerca de la ICR se encuentran basculadas; en campo se pudo observar buzamientos hacia el noreste y sureste donde marca cambios en la inclinación de la cuenca (Fig. 19). Se encuentran también areniscas conglomerádicas ¨colgadas¨ sobre el basamento, areniscas calcáreas y niveles de calizas laminadas finas recristalizadas que se caracterizan por presentar relieves más pronunciados (Fig. 20).

Figura 19. A) Areniscas finas rojizas. B, D) Arenisca masiva de grano medio de tonalidades amarillas. C) Areniscas finas interestratificadas con limolitas, con orientación N040, 35 SE.

Figura 20. A) Areniscas calcáreas con estratificación horizontal plano paralela. B) Afloramiento de calizas.

Los conglomerados son polimícticos matriz-soporte, con matriz arenosa, y mala selección. Los clastos son redondeados a subredondeados, cuyo tamaño varía entre 3 a 15 cm de diámetro; la composición de los clastos observados son gneiss granulítico, cuarcita y arenisca. La matriz es de arena fina a gruesa, de color marrón y amarillo claro, blanco, rojiza y ocre, (Fig. 21).

Figura 21. A, B) Afloramiento de conglomerados correspondiente a la Fm. Yaguarí.

Se observaron en los conglomerados niveles lenticulares interdigitados de areniscas muy finas y medias. La geometría lenticular con relleno conglomerádico se atribuye a canales fluviales o costeros (Fig. 22).

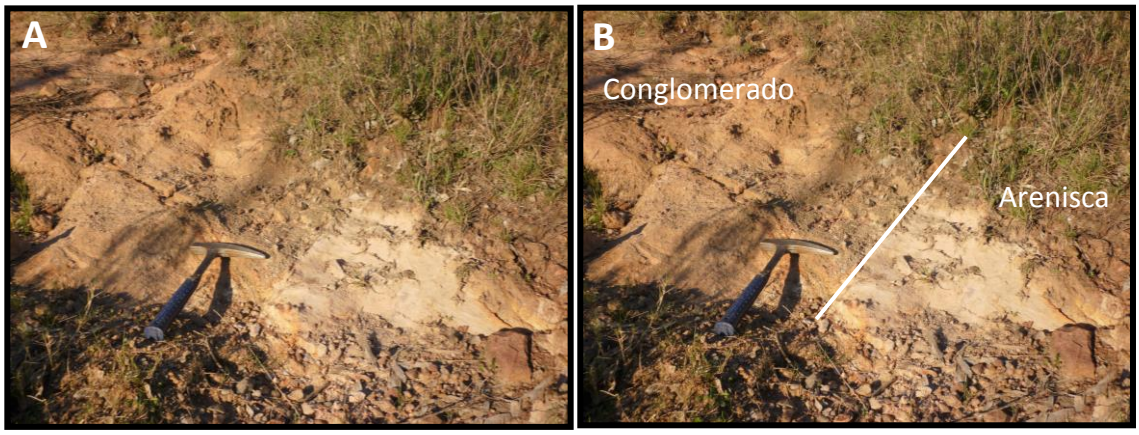


Figura 22. A, B) Afloramiento de conglomerado en contacto con arenisca.

2.3.6 Depósitos cuaternarios (Aluviones)

Los depósitos cuaternarios ocupan una pequeña superficie en el área de estudio, y están representados por limos, arenas y gravillas, preferentemente de tonalidades amarillas, donde su mayor desarrollo se aprecia asociado a los cursos hídricos y donde las pendientes no son demasiado pronunciadas (Fig. 23).

Es posible encontrar aluviones que alcancen granulometría de gravilla, barras de arenas y planicies de inundación con materiales muy finos llegando a fangos. Los materiales son muy mal seleccionados dependiendo de la energía de cada curso de agua, y presentan poco espesor.

Los arroyos Ceibal y Coronilla son los principales generadores de aportes y depósitos de materiales junto con sus afluentes.

Los coluviones están vinculados a las laderas de los cerros, no pudiendo separarlos a la escala de trabajo planteada. Dentro de estos predominan los bloques subangulares a angulares de las distintas litologías anteriormente descriptas para la zona, que conforman los cerros, dichos materiales son transportados por gravedad a la parte baja de los cerros, dentro de materiales arcillosos, limosos y arenosos con muy mala selección en una disposición caótica.

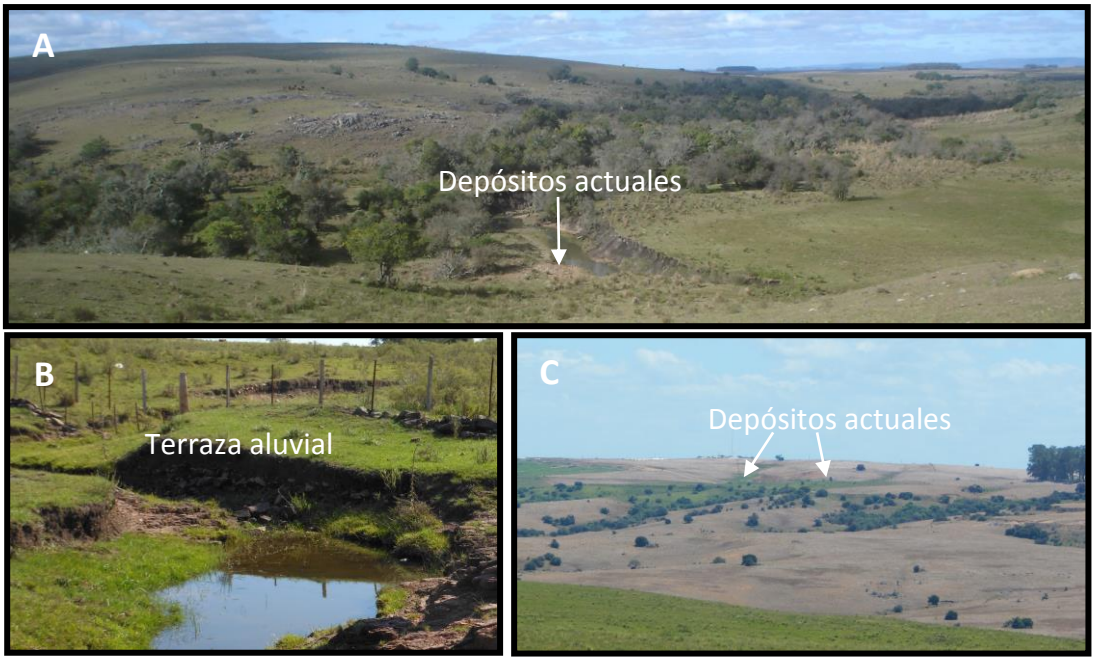


Figura 23. A) panorámica de un curso de agua en donde se observan depósitos actuales. B) depósitos actuales en donde se pueden aprecian tamaños de materiales superiores a grava. C) depósitos actuales en cauce de arroyos.

2.4 Estructura geológica del área de estudio

La evolución de la ICR ha tenido diversos enfoques e interpretaciones. Fundamentalmente, autores como Santos *et al.* (2003) plantean que la meta-trondjemita de Rivera correspondiente al basamento cristalino, tuvo su origen durante el Ciclo Transamazónico de América del Sur a los 2140 ± 6 Ma, siendo sometida a un metamorfismo regional de alto grado a los 2077 ± 6 Ma, como resultado de la intrusión post-tectónica de granitoides potásicos.

Específicamente para el área de estudio, Ellis (1998) planteó una hipótesis sedimentogénica para el BIF y FMn a partir de una cuenca marginal distal asociada con un ambiente volcanogénico hidrotermal exhalativo. Este ambiente volcanogénico habría sido la principal fuente de hierro, manganeso y sílice para formar los BIF. Según ese autor, posteriormente la ICR sería afectada por metamorfismo en facies granulita, y luego metamorfismo retrogrado en condiciones de límite de facies entre anfibolita-esquistos verde. Por último, se habría registrado una alteración metasomática alcalina causada por la intrusión tectónica tardía de rocas sieníticas durante el Ciclo Brasiliano (Neoproterozoico). Asimismo Ellis (1998) y Vidal (2009), proponen que los BIF se originaron en un ambiente de arco de islas, del que provinieron los fluidos hidrotermales responsables de aportar el Fe, Mn y Si, los cuales se van depositando en la cuenca marginal o de tras-arco junto con las fangolitas. El arco de islas habría originado piroxenitas y diques ultramáficos.

A efectos de definir la estructura geológica del área, en el presente estudio se realizó un corte geológico (Fig. 24), de orientación SW-NE, con una extensión de 11 km. En base a dicho corte se pudieron reconocer las siguientes evidencias:

1) la existencia de un basamento conformado por el Complejo Gnéisico Valentines Rivera y la Formación Vichadero, en contacto concordante entre sí, el cual posteriormente sufrió deformación en fase dúctil, originando pliegues derechos sinformes.

2) La presencia de una zona de cizalla, provocando la milonitización del gneiss granulítico félsico. La misma presenta orientación NW- SE y buzamiento subvertical.

3) La presencia de relictos de formaciones paleozoicas representados por la Formación Yaguarí, en contacto por falla sobre el basamento, lo cual sugiere un levantamiento progresivo del área al final del Pérmico y posterior deformación rúptil durante el Mesozoico.

4) La presencia de depósitos cuaternarios, de diferentes granulometrías asociados a los principales cursos de agua.

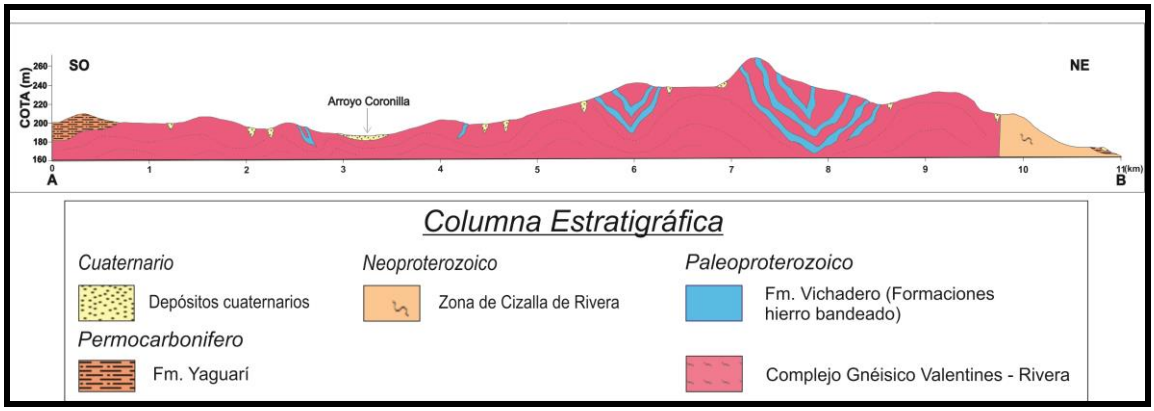


Figura 24. Corte Geológico del área de estudio en el cual se observan pliegues derechos tardíos afectando el bandeado de los BIF y rocas asociadas (Anexo III: corte geológico a escala real).

De acuerdo al corte geológico realizado, se obtuvo la estructura geológica de la zona de estudio y se concluye que coincide con lo planteado por Vidal (2009) para el depósito del Cerro Papagayo. Este modelo estructural es extrapolable para el resto de la ICR.

2.5 Recursos minerales

Fueron identificados los siguientes recursos minerales para el área de estudio (Fig.25).

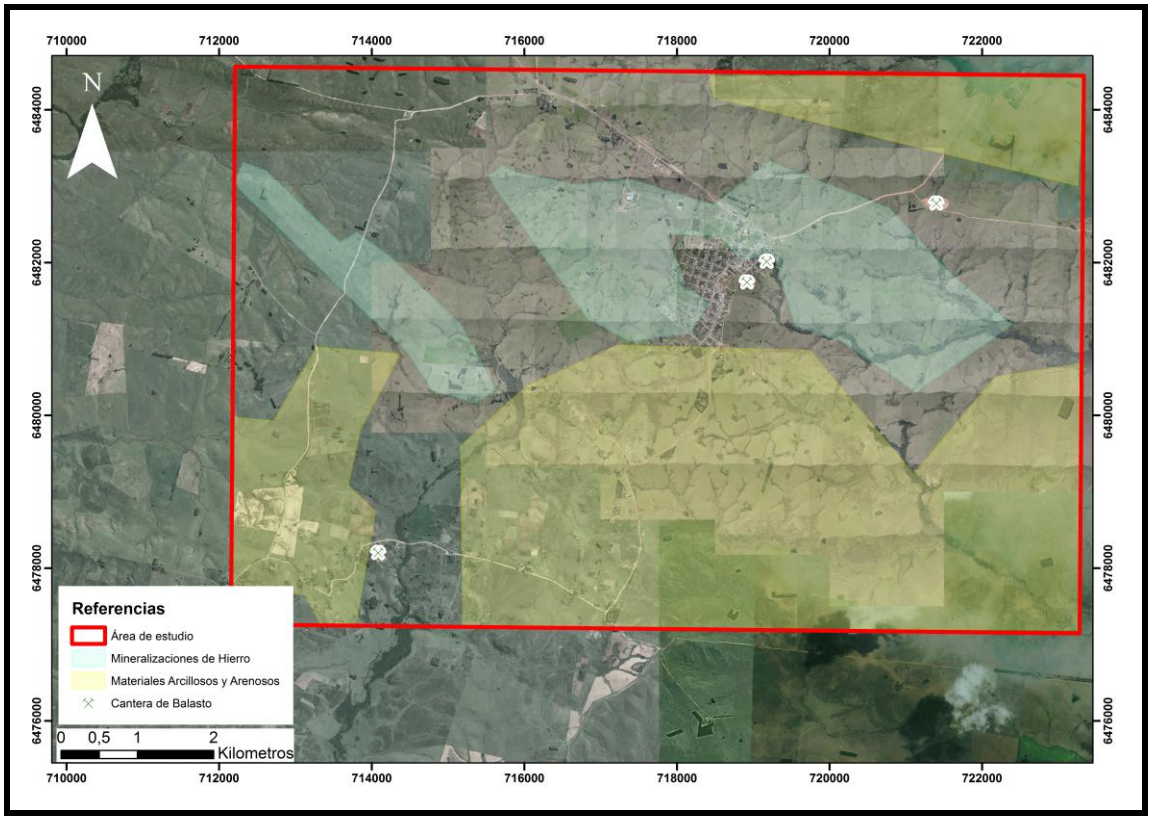


Figura 25. Ubicación de los recursos minerales en el área de estudio.

2.5.1 Metálicos

El principal recurso metálico del área es el hierro (Fig. 25), que está asociado a los BIF perteneciente a la Formación Vichadero. La mineralización ha sido estudiada desde la década del 1950, pero no a la escala de detalle que requiere un depósito de hierro para su eventual desarrollo.

Desde hace unos años atrás, la demanda de consumo de hierro mundial y regional ha crecido, lo que favorece el mercado. En ese marco, las empresas de exploración relacionadas a este recurso emergen en la búsqueda de nuevos yacimientos para satisfacer las necesidades. En la actualidad, lo que no beneficia al mercado es el bajo costo de mineral de hierro, en setiembre del 2016 se ubicó en US$ 56,67/t. Vale recordar que su pico máximo en la última década fue en febrero del 2011 donde alcanzó US$ 187,18/t, luego tuvo algunas fluctuaciones, pero desde febrero del 2013 donde se situaba en US$ 154, 64/t comenzó a decaer logrando su mínimo de US$ 39,6/t en diciembre del 2015 (Index Mundi).

Otros ejemplos de depósitos de hierro en la ICR son localizados en el Cerro Papagayo, Cerro Imán, Cerro Areicuá, Cerro Chato, en las cercanías del pueblo Abrojal y paraje Curtume.

2.5.2 No Metálicos

Los recursos no metálicos se dividen en dos grandes grupos, en relación a la unidad involucrada:

1) Asociado al CGVR, concretamente el gneiss granulítico félsico alterado, es un recurso actualmente en explotación, utilizado como balasto para la construcción y mantenimiento de caminos vecinales; también puede utilizarse como piedra partida cuando la roca está fresca. En el área actualmente existen cuatro canteras (Fig.25), dos en padrones rurales: 13104 y 4916 y las dos restantes en los padrones urbanos: 908 y 776 (Fig. 26). Examinado el catastro minero de DINAMIGE (2016), no fue posible establecer en qué etapa se encuentran las cuatro canteras ubicadas en el área.

Figura 26. Cantera de balasto vista desde el Cerro Vichadero hacia el suroeste.

2) Los materiales clase IV arenosos y arcillosos del área de estudio están vinculado a la Formación Yaguarí. Estos son principalmente utilizados para relleno de terrenos y reparación de caminos vecinales, por parte de particulares y de la Dirección Nacional de Vialidad (Fig. 26).

2.5.3 Hidrogeología

La localidad de Vichadero presenta problemas de suministro del recurso hídrico, mayormente en verano. Vichadero no es provista de agua a través de los pozos, que posee OSE. El abastecimiento de agua es a través de una represa ubicada sobre el

Arroyo Coronilla Chico al norte del pueblo, desde allí el agua es trasladada a la planta potabilizadora ubicada en Vichadero, con una UPA 1000 que tiene la capacidad de almacenamiento entre 100 a 240 m^3 de agua. Esta planta también provee el suministro de agua para los poblados vecinos a la localidad de Vichadero a través de un camión cisterna. La posibilidad de acuíferos en esta región está restricta al basamento, sin embargo este presenta el inconveniente de no tener el caudal suficiente para abastecer la localidad; y por otro lado la Formación Yaguarí funciona como un acuitardo.

En el sitio de estudio se presentan ocho pozos para abastecimiento de agua, proporcionados por el Visualizador Geológico Minero de DINAMIGE (Tabla 3, Fig. 27), de los cuales cuatro están ubicados sobre el basamento y cuatro están sobre la Formación Yaguarí, presentando diferentes caudales e inclusos algunos pozos son secos, todos ellos realizados a distintas profundidades. Se pudo corroborar con personal de OSE en Vichadero, que los pozos números siete y ocho se localizan en la planta de OSE, el siete fue clausurado por problemas de contaminación y el pozo ocho tiene un caudal de 7000 l/h, que es utilizado para ayudar en la potabilización del agua que proviene de las represas en el Arroyo Coronilla Chico.

***Tabla 3. Ubicación de pozos de agua en el área de estudio. Fuente: Visualizador Geológico Minero de DINAMIGE*.**

Nº de Pozo	Este (UTM)	Norte (UTM)	Último caudal (m^3)	Profundidad (m)
1	712558	6478076	0,6	40,65
2	716443	6479075	0,2	63,65
3	717281	6479043	0	46,65
4	718273	6480231	0	89,9
5	718561	6482153	5,5	97,45
6	718601	6482386	0	58
7	719325	6481944	4,8	43,1
8	719297	6481978	7,2	31,05

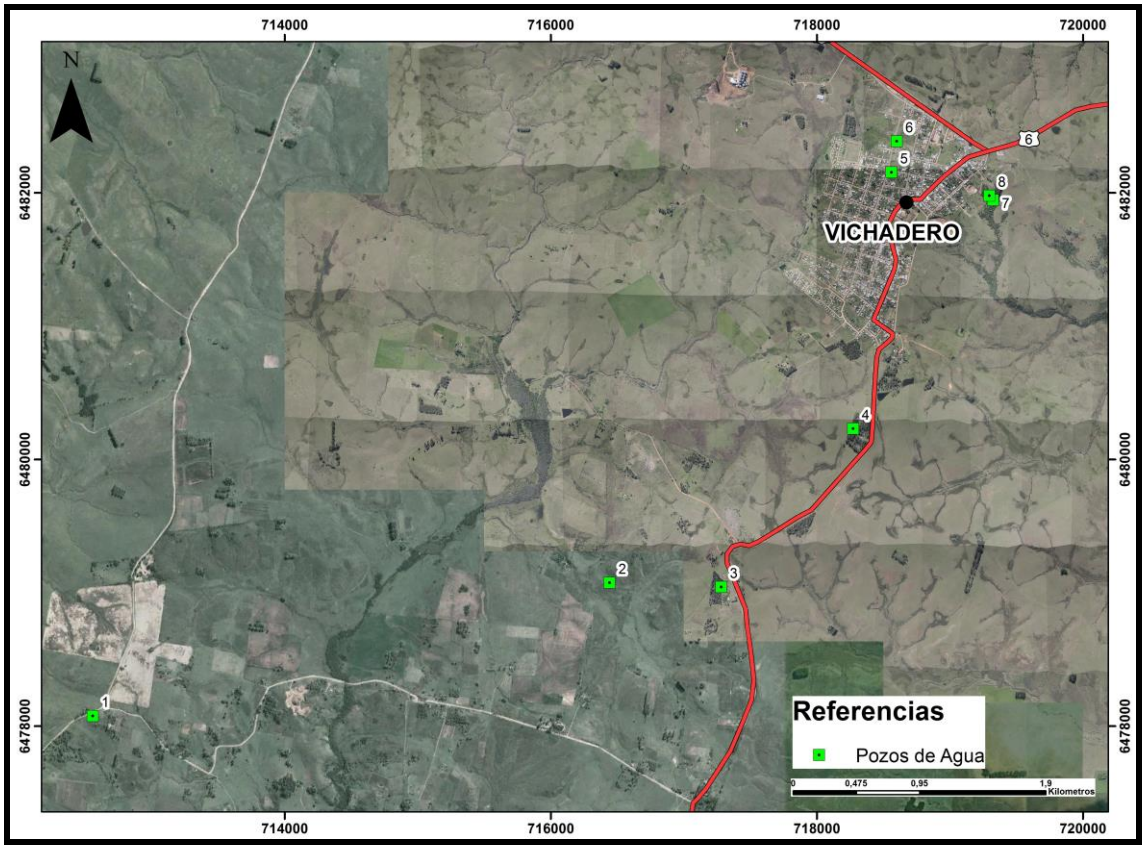


Figura 27. Mapa con ocho pozos de agua existentes en la zona de estudio (*Sist. coord.: UTM-21S*). Fuente: Visualizador Geológico Minero de DINAMIGE.

Capítulo 3: Simulación de la actividad de un geólogo en el marco de la presentación de un informe final de prospección para presentar ante la Dirección Nacional de Minería y Geología

Este capítulo tiene como finalidad plasmar el segundo objetivo general, que es la realización de un informe final en un permiso de prospección de mineral de hierro.

A tales efectos, se seleccionó un área de 799 has del mapa geológico elaborado en el capítulo dos donde se habían reconocido las zonas de mayor concentración de mineralizaciones de hierro. Es obvio que fueron descartadas en esta simulación de trabajo profesional, otras áreas reconocidas durante la elaboración del mapa geológico 1:40.000 (objetivo 1) que poseen un interesante potencial minero para mineral de hierro que podrían ser objetivo de análisis exploratorios.

Bajo ese supuesto, todas las actividades que se desarrollaron estuvieron orientadas a la elaboración de un informe de prospección, bajo un hipotético Asunto XXX/2016 para la prospección de mineral de hierro en la 8va sección catastral del Departamento de Rivera, denominándose al titular del permiso YYYY.

Para la elaboración de este informe final de una etapa de prospección se tuvo como orientación el Instructivo que para tales fines establece la propia DINAMIGE. De esta forma, las actividades que se desarrollaron están descritas dentro del cuerpo de este informe. Si bien, dentro de un permiso de prospección la DINAMIGE sólo exige la delimitación de áreas de mayor favorabilidad del recurso prospectado, en esta simulación se hizo adicionalmente una estimación de reservas de mineral de hierro en el área tal como, comúnmente se realiza por parte de un profesional de geología para orientar al solicitante del estudio geológico – minero.

El texto de instructivo de DINAMIGE para las actividades comprendidas en la etapa de prospección así como el referido al Código de Minería lucen en el Anexo V y tal como señalado sirvió de guía para la elaboración de este “Informe Final”.

Informe Final de la Etapa de Prospección de Mineral de Hierro del Asunto XXX/2016

Objetivos

Identificar la presencia de mineral de hierro, y evaluar su potencial en un área planteada por el titular del permiso.

Ubicación y accesos

El área con permiso de prospección se ubica en el Departamento de Rivera, al este de la localidad de Vichadero (Fig. 28), en la sección Catastral de Rivera Nº 8 afectando parcialmente los padrones 13103, 1815, 10283, 3624, 3626, 13104 y 8507, constituyendo 799 has visualizadas en el plano de deslinde (Fig. 30).

El acceso principal desde Montevideo es por la ruta Nº 8 "Brigadier General Juan Antonio Lavalleja", luego se transita por la ruta Nº 7 "General Aparicio Saravia", posteriormente se continua por la ruta Nº 44 "Coronel Fernando Otorgués", al llegar a la ruta Nº 6 "Joaquín Suarez" se toma hacia el norte donde se ingresa directamente al perímetro en el kilómetro 394 de dicha ruta. Corresponde a la hoja topográfica E-12 Vichadero (Fig. 29), elaborada por el Servicio Geográfico Militar (SGM). El permiso de prospección está definido por las siguientes coordenadas:

Tabla 4. Coordenadas del área de permiso de prospección.

Vértice	Este (UTM)	Norte (UTM)
NW	719213	6482709
NE	722089	6482721
SE	722066	6480927
SW	719190	6480999

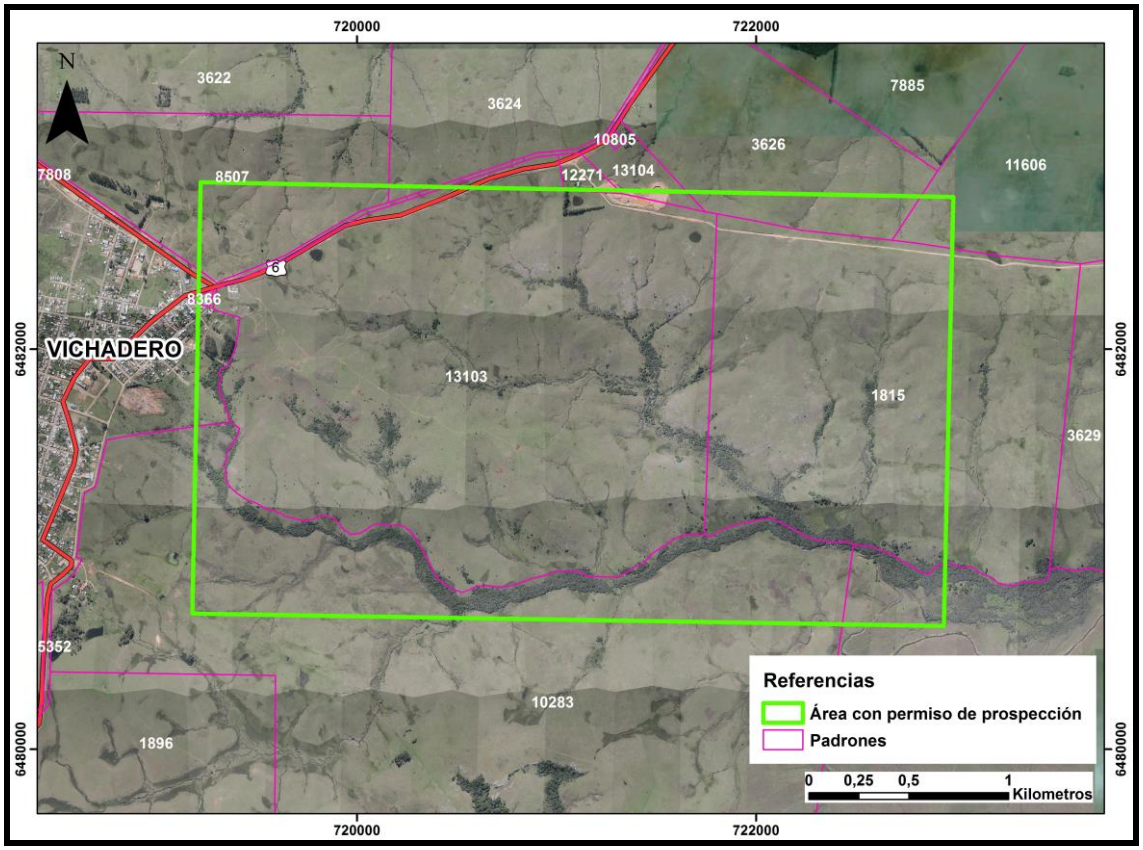


Figura 28. Mapa de localización del área con permiso de prospección. Imagen tomada de Google Earth (Sist. coord.: UTM-21S).

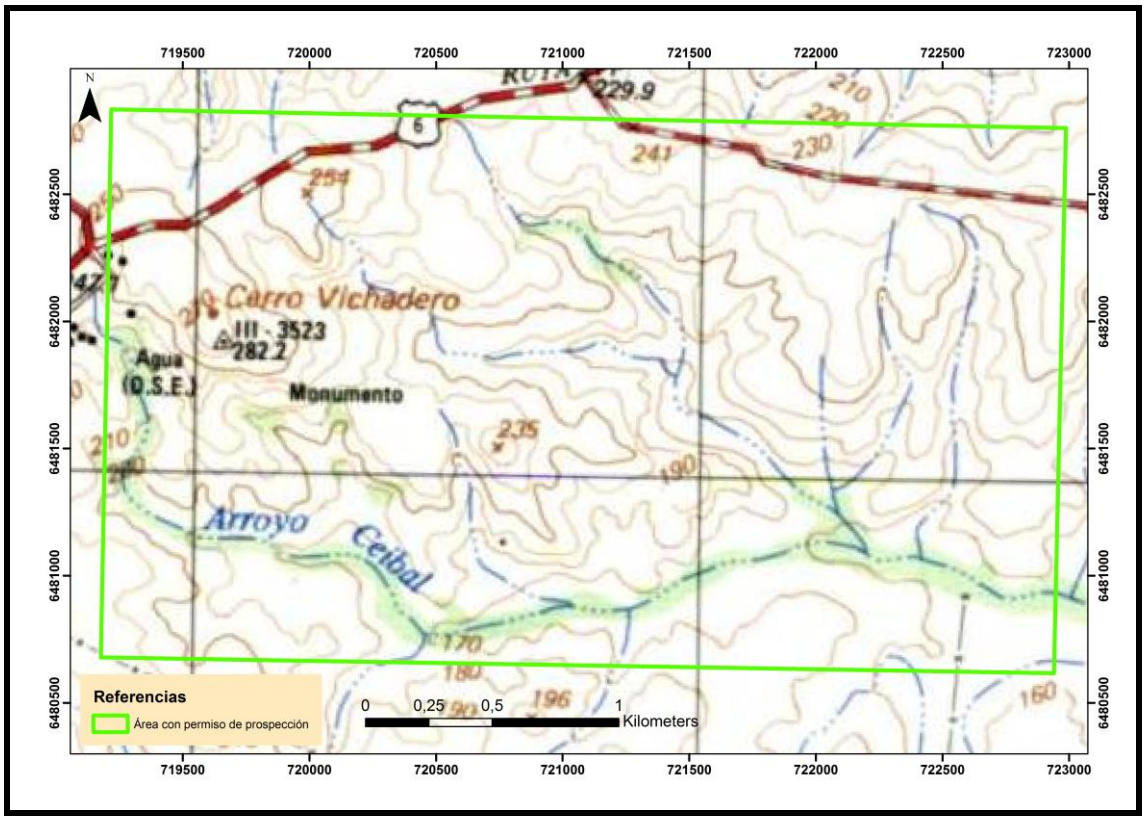


Figura 29. Recuadro verde: ubicación del área con permiso de prospección (rectángulo verde) en Carta Topográfica Vichadero del SGM (Sist. coord.: UTM-21S).

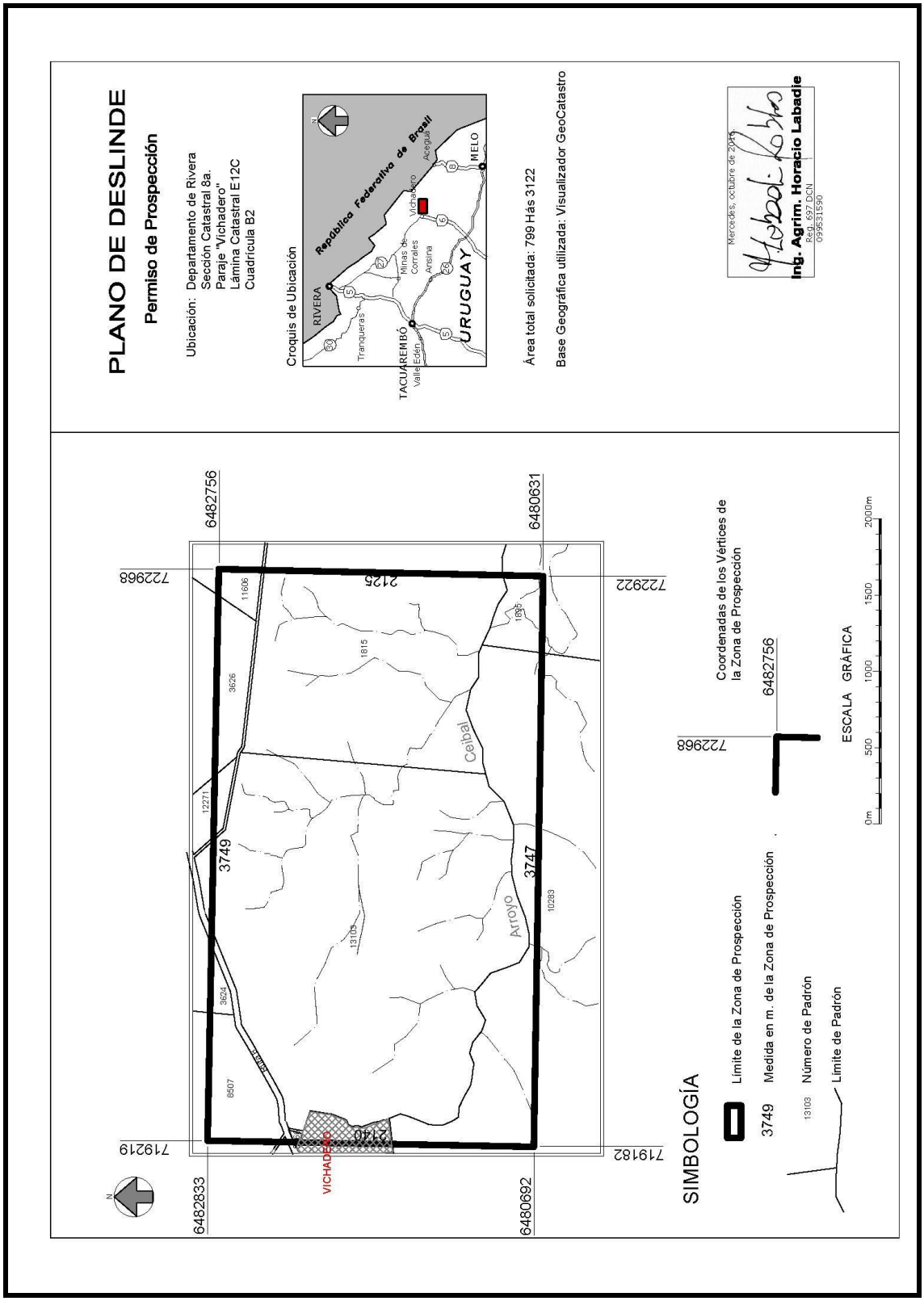


Figura 28. Plano de deslinde del área con permiso de prospección. Por tratarse de una simulación de un informe final de permiso de prospección (no se identificó quien es el propietario de cada padrón involucrado por no corresponder).

Metodología

La metodología empleada para la realización del informe de prospección consistió en las siguientes etapas:

- Revisión de antecedentes geológicos.
- Fotolectura y fotointerpretación.
- Reconocimiento de campo y mapeo geológico de afloramientos a escala 1:10.000 en el área con mayor potencial para el recurso mineral de hierro.
- Colecta de muestras de las diferentes litologías para la confección de secciones delgadas.
- Recolección de muestras de rocas para análisis geoquímicos (véase Toma y Preparación de Muestras).

Por el tipo de recurso mineral estudiado, es ventajoso realizar una campaña de magnetometría, la cual no pudo ser efectuada debido a que no se logró conseguir el permiso para acceder a los predios linderos involucrados en el asunto hipotético XXX/2016, necesarios para obtener resultados precisos de dicha campaña.

Toma y Preparación de Muestras

La toma de muestras para análisis geoquímico consiste en seleccionar el afloramiento con mejor exposición y recolectar aproximadamente entre tres y cinco kg de muestra lo más representativa y fresca posible. La información de la misma se ingresa en una planilla previamente elaborada, en la que contenga el número de identificación de cada muestra, coordenadas geográficas, litología, datos de susceptibilidad magnética con el medidor SM-30 de ZH instrumentos, en afloramiento y en muestra (si es posible), peso de la muestra. Luego las muestras son enviadas al laboratorio (Global ALS Patagonia S.A en Argentina) para preparación (triturado, pulverizado, cuarteado) y posteriormente despachadas al laboratorio ALS Perú S.A (Lima, Perú) para el análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF). La muestra analizada en el laboratorio de ALS Perú S.A es de 0,66 g (la muestra original que fue pulverizada y cuarteada a 0,66 g), la misma se fusiona en la proporción de 12:22 con metaborato de litio – tetraborato de litio e incluye también un agente oxidante como es nitrato de litio, la mezcla es vertida a un molde de platino para luego ser analizada por XRF.

Para la confección de secciones delgadas se toma un fragmento de roca de cada litología diferente presente en el área, lo más fresca posible, que luego es preparada en laboratorio.

Espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)

La espectrometría de fluorescencia de rayos X es un método de análisis elemental cualitativo y cuantitativo, no destructivo asentado en la medición de longitudes de ondas o energía de rayos X, emitidas por la muestra luego de ser bombardeada por una radiación primaria (Fig. 31). Ésta permite determinar varios elementos a la vez comprendidos entre el berilio y uranio, analizar muestras en estado líquido, gaseoso y sólido; puede medir diferentes concentraciones de elementos. El equipo puede ser portátil o fijo dependiendo de la muestra, concentraciones de elementos a analizar y la precisión que se necesite de la información. Es la técnica más utilizada para el análisis de minerales de óxidos de hierro en la industria, en combinación con la fusión de borato de litio.

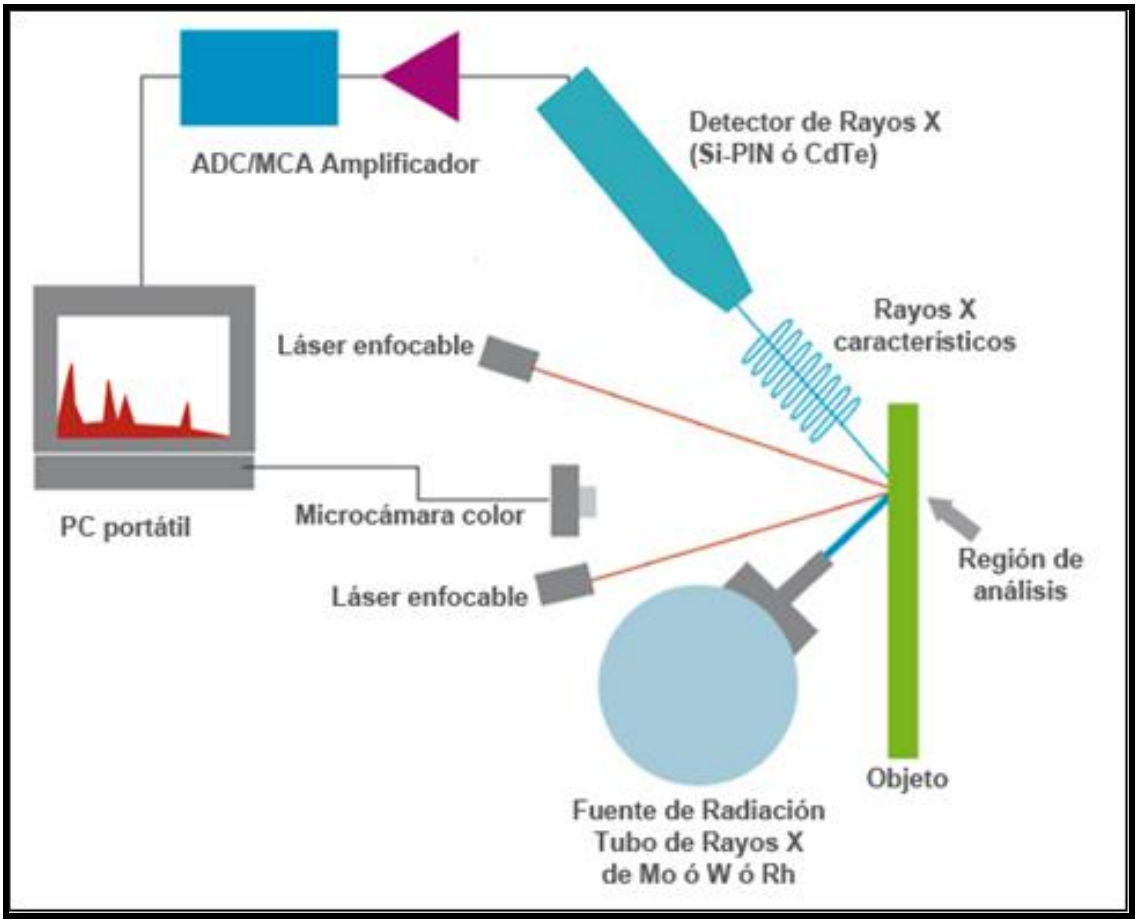


Figura 29. Proceso de fluorescencia de rayos X.

Resultados

Antecedentes

De acuerdo al Mapa Geológico del Uruguay a escala 1:500.000, actualizado en el año 2012 por el Área de Geología de DINAMIGE, las unidades geológicas que afloran en el área son el Complejo basal y Granitoides Tardipostectónicos (Fig. 30):

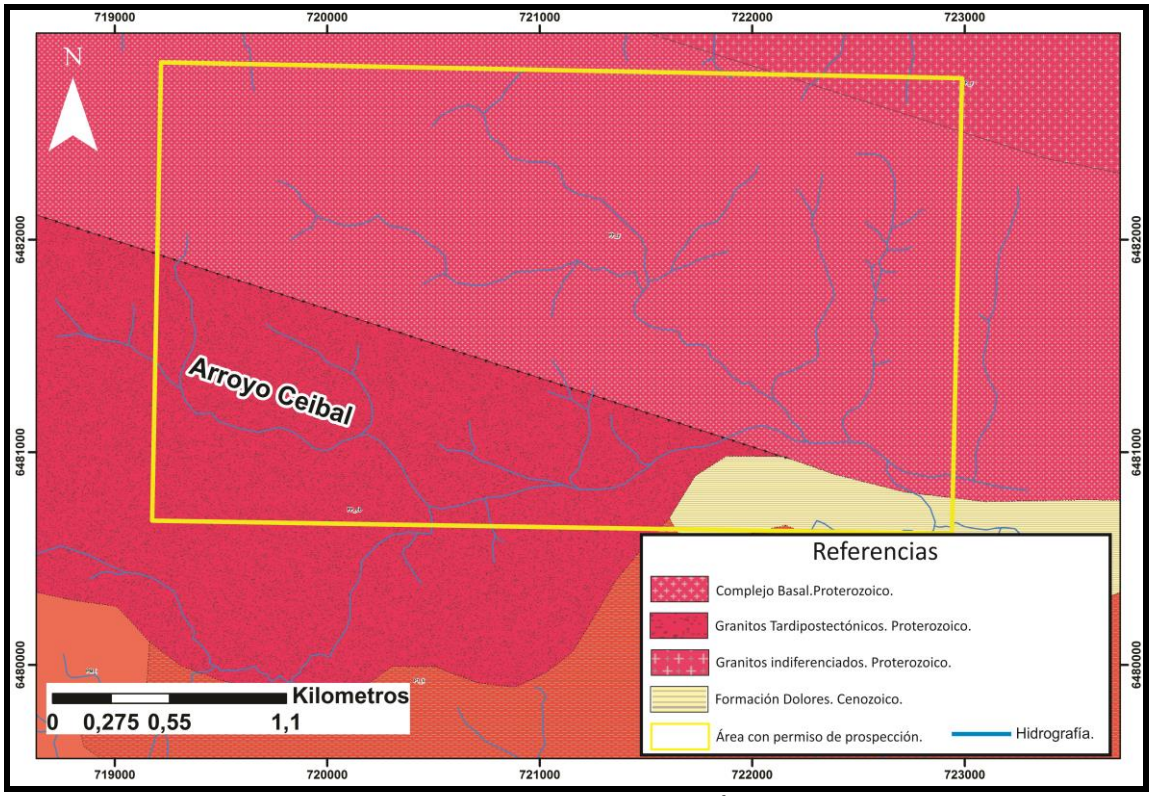


Figura 30. Mapa Geológico del Uruguay elaborado por el Área de Geología de DINAMIGE.

Complejo Basal (PP_cb): gneisses moscovíticos y/o biotíticos, gneisses anfibólicos y anfibolitas. Ortogneisses ácidos y básicos, cuarcitas, leptinitas y esquistos. Migmatitas de texturas variadas predominando las oftalmíticas y granudas. Frecuente intercalación de rocas graníticas. Metamorfitos profundos (granulitas). Origen: ígneo metamórfico. Edad: Proterozoico.

Granitoides Tardipostectónicos (PP_y): leucogranitos de grano medio a grueso, isoxenomórficos a biotita y/o hornblenda, granitos de grano grueso a porfiroides biotíticos y/o a dos micas, granitos de grano fino a biotita, granodioritas de textura granuda, hornblendo-biotíticas, microgranodioritas biotíticas, dioritas de grano medio a grueso. Origen: ígneo metamórfico. Edad: Proterozoico - Paleoproterozoico.

Granitoides indiferenciados (PP_y): granitos calco alcalinos de grano medio a porfiroide, generalmente hornblenda-biotíticos; leucogranitos de grano medio a grueso; granodioritas hornblenda-biotíticas; metagranitos y granitos orientados. Origen: plutónico. Edad: Proterozoico – Paleoproterozoico.

Formación Dolores (Q1_d): lodolitas y areniscas arcillosas muy finas, de colores pardos. Origen: sedimentación continental, relacionada a fenómenos eólicos y de coluviación, con formación de flujos de barro, que se depositan en las zonas topográficamente más bajas. Edad: Fanerozoico Cenozoico Cuaternario Pleistoceno.

Es de destacar que en las proximidades del permiso de prospección se han realizados esbozos geológicos a escala 1:50.000 por parte del Instituto Geológico del Uruguay entre los años 1979 y 1982 (IGU).

Mapa Geológico – Minero y Memoria explicativa del área de prospección

El primer resultado obtenido luego de recorrer en su totalidad el área, fue un mapa de afloramientos a escala 1:10.000 con su memoria explicativa (Fig. 31). Determinándose como recurso inferido el mineral de hierro.

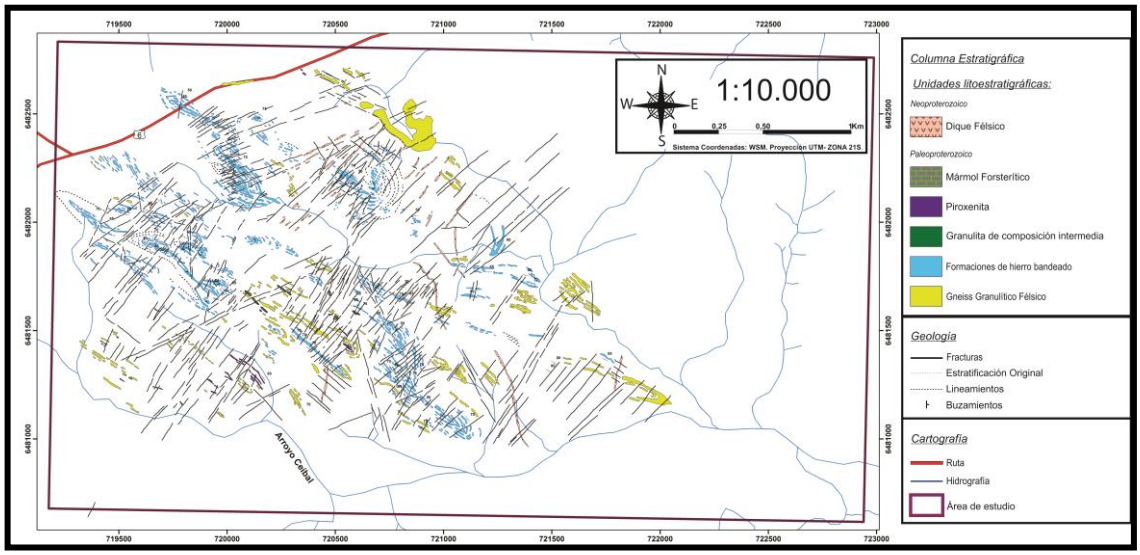


Figura 31. Mapa Geológico de Afloramientos-Minero (Sist. coord.: UTM-21S). (Anexo IV: Mapa prospectivo a escala 1:10.000).

De acuerdo a la información recaba en campo y luego confirmada con la elaboración de secciones delgadas fueron reconocidas seis litologías diferentes que se describirán en detalle a continuación:

1. El gneiss granulítico félsico (CGVR) se encuentra ocupando topografías elevadas formando grandes cerros, asimismo aflora en cañadas. Está compuesto principalmente de feldespato potásico y cuarzo, recortado habitualmente por vetillas de epidoto y cuarzo. Esporádicamente se puede encontrar magnetita diseminada y granate. Como consecuencia de la meteorización los feldespatos se encuentran parcialmente alterados a arcilla. Su textura es granoblástica masiva, pero localmente se puede encontrar débilmente foliada (cuarzos estirados), sus colores varían entre rosados, naranjas y blancos (Fig. 32 A y B). Al microscopio petrográfico el gneiss granulítico félsico presenta textura granoblástica, conformado principalmente por feldespato mesopertítico, seguido de cuarzo, plagioclasa, granate y opacos. La forma de los cristales es anhedral o subhedral, y los tamaños varían entre 0,2 y 5 mm. Pueden observarse uniones triples, cuarzos con bordes lobulados y feldespatos recristalizados, que demuestra metamorfismo de alta temperatura (Fig. 32 C y D).

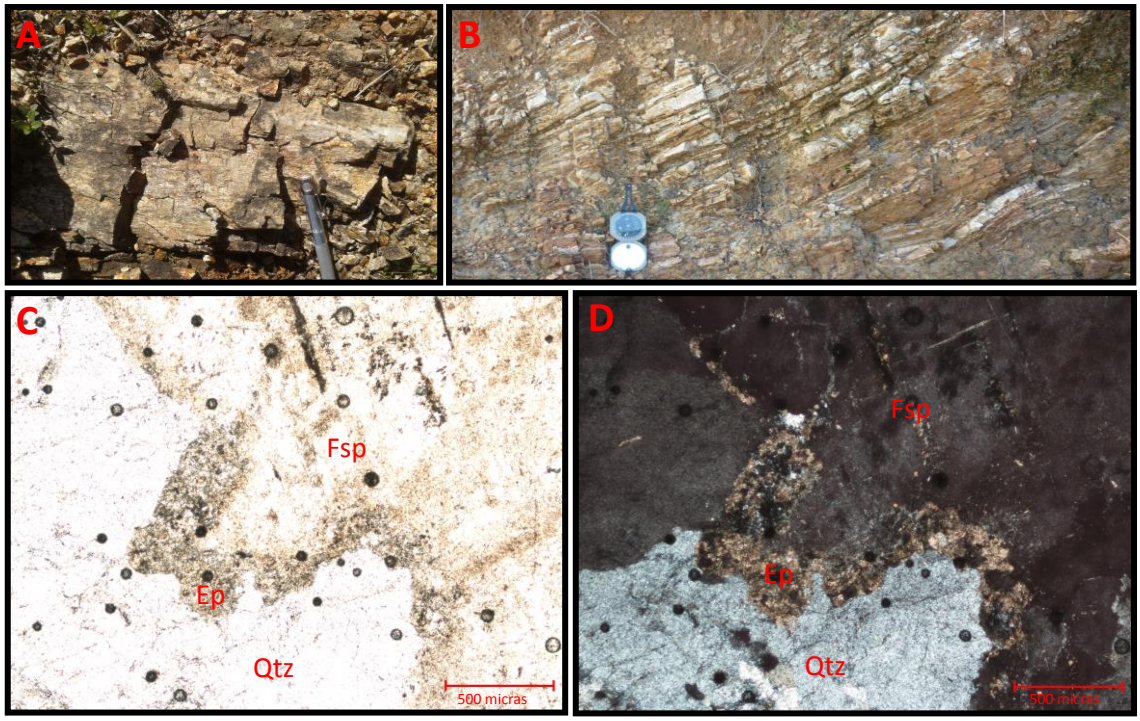


Figura 32. A) Afloramiento de gneiss granulítico félsico con presencia de cuarzo lechoso. B) Afloramiento de gneiss granulítico félsico donde se observa una orientación preferencial N120. C) Textura de gneiss granulítico félsico en luz polarizada plana. D) Igual captura de imagen que C con polarizadores cruzados.

2. Los BIF se encuentran ubicados en el permiso de prospección en dirección noroeste-sureste, aflora presentando morfologías con relieve positivo en su conjunto, ocupan las crestas de los cerros, pero no se descarta que también aflore en zonas topográficamente más bajas (Fig. 34).

En muestra de mano, la roca está compuesta por magnetita en porcentajes de volumen que oscilan entre 30 y 55 %, y el resto está compuesto por cuarzo, escaso piroxeno y granate, siendo su textura frecuentemente bandeada o granoblástica. Producto de la meteorización en afloramiento se reconoce la alteración de magnetita a martita, limonita y hematita.

Usualmente se observa en el campo que el BIF está muy plegado, como resultado de la intensa deformación que sufrió el complejo de alto grado. Las rocas metamórficas registran la presencia de granate en numerosos afloramientos, que evidencia alto grado de metamorfismo (Fig. 33).

Se encontraron algunos niveles métricos ricos en manganeso (pirolusita, psilomelana y jacobsita), no mapeables a la escala que se realizó este trabajo, pero no hay que restarle importancia ya que presentan concentraciones de manganeso con posible significado económico, de encontrarse espesores significativos, por lo que son interesantes como objeto de futuras investigaciones. Por este motivo se decidió incluir el porcentaje de manganeso en los análisis geoquímicos.

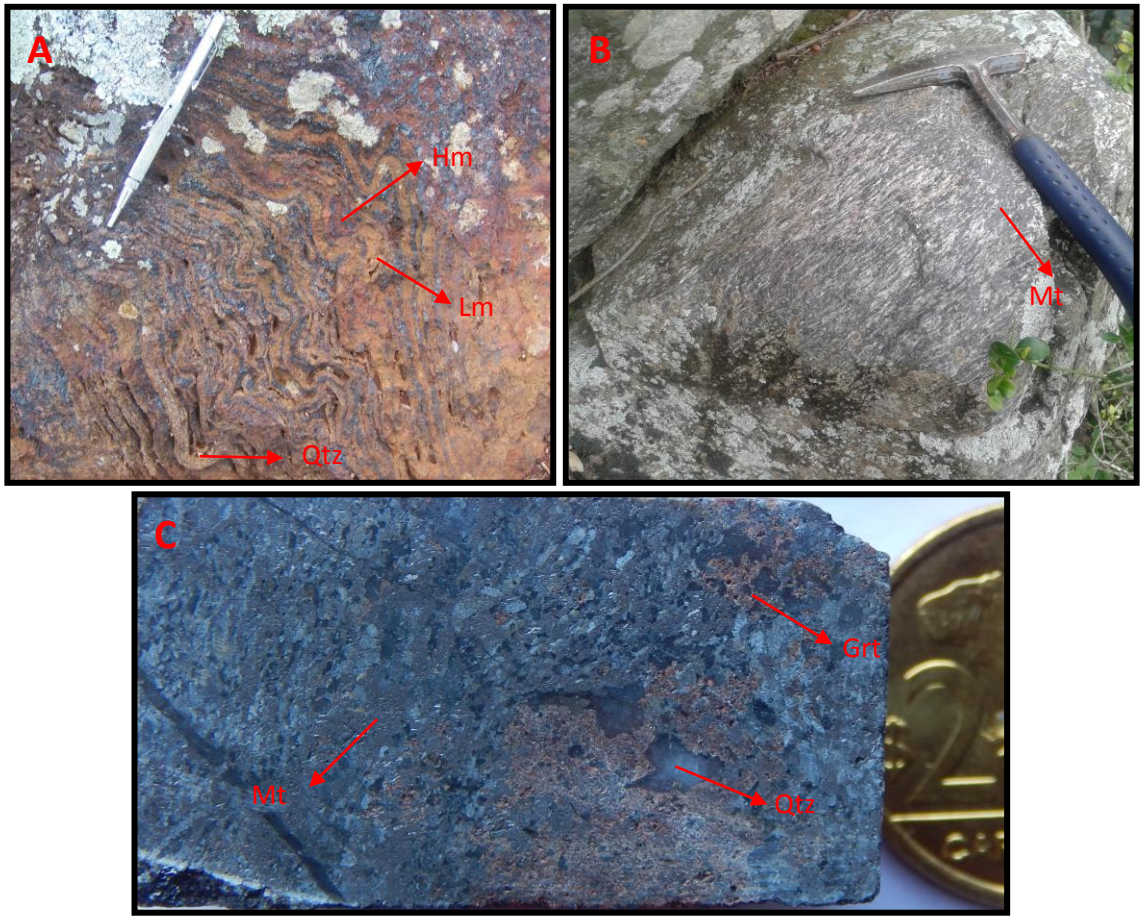


Figura 33. A) BIF plegado con presencia de hematita y limonita producto de la meteorización.
B) Afloramiento de BIF.
C) BIF con presencia de granate (evidencia de metamorfismo de alto grado).

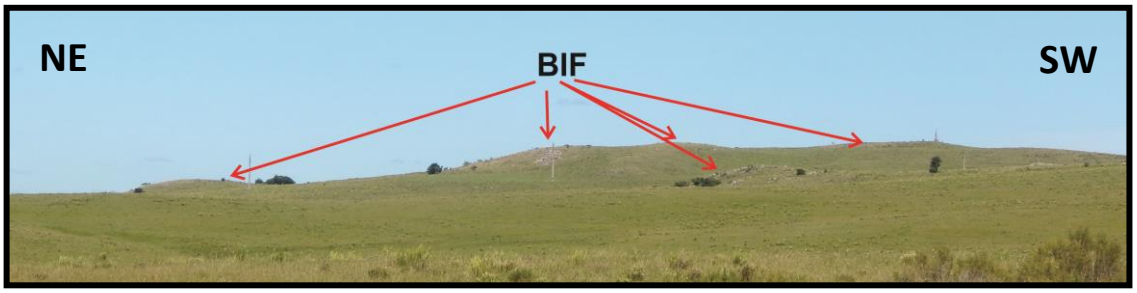


Figura 34. Vista panorámica de afloramiento de BIF desde ruta 6, kilómetro 395 hacia el suroeste.

En sección delgada los BIF presentan textura granoblástica, y también se observa foliación, debido a la alternancia de bandas ricas en magnetita y cuarzo. El porcentaje en volumen de magnetita fluctúa entre 25 y 45 %, el resto está compuesto por cuarzo, feldespato alterado, anfíbol, piroxenos alterados a clorita, granate, hematita y trazas de apatito. Los tamaños de los cristales varían desde 0,1 a 2 mm (Fig. 35).

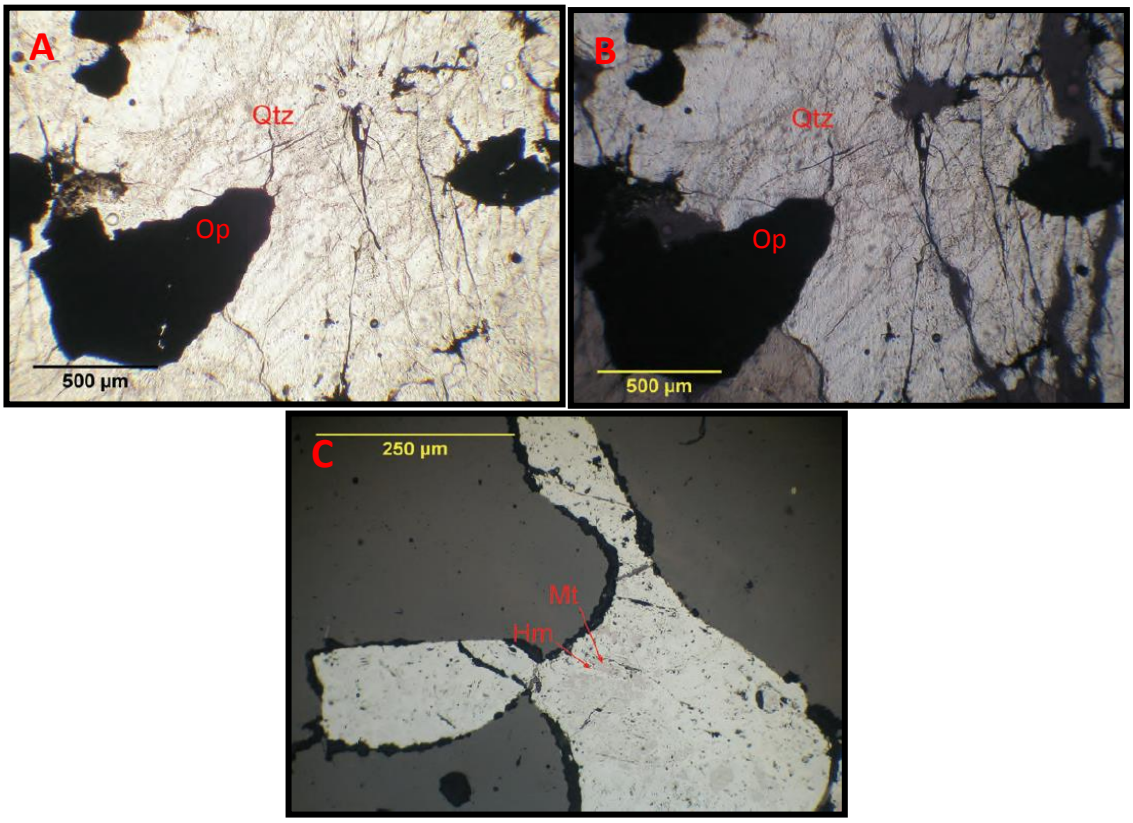


Figura 35. A) BIF en donde se aprecia cuarzo y opacos en luz polarizada plana.
B) BIF de "A" pero con polarizadores cruzados.
C) Cristal de magnetita transformándose a hematita en imagen calcográfica en luz reflejada. (Cedida por la compañía UMG).

3. Las granulitas de composición intermedia (CGVR) son las rocas que menos afloran en el área encontrándose restrictas al suroeste. Morfológicamente se presentan en colinas onduladas, generalmente se localizan en zonas topográficamente intermedias a bajas. Posee textura granoblástica ("sal y pimienta" Vidal, 2009), masiva, donde predominan los colores verdes oscuros, gris oscuro y blancos (Fig. 36 C). De acuerdo a su composición química son rocas muy afectadas por la meteorización, encontrándose muchas veces en afloramiento los feldespatos alterados a arcilla. En sección delgada, se observa textura granoblástica poligonal con uniones triples entre los granos de feldespato alcalino, piroxenos y plagioclasa, que son los minerales de mayor abundancia en la roca, en proporciones menores se presenta biotita, calcita y apatito. Es posible encontrar piroxenos alterados a anfíbol (uralitización). Los cristales presentan formas subhedrales, anhedrales y euhedrales, y su tamaño oscila entre 0,05 a 0,5 mm (Fig. 36 A, B).

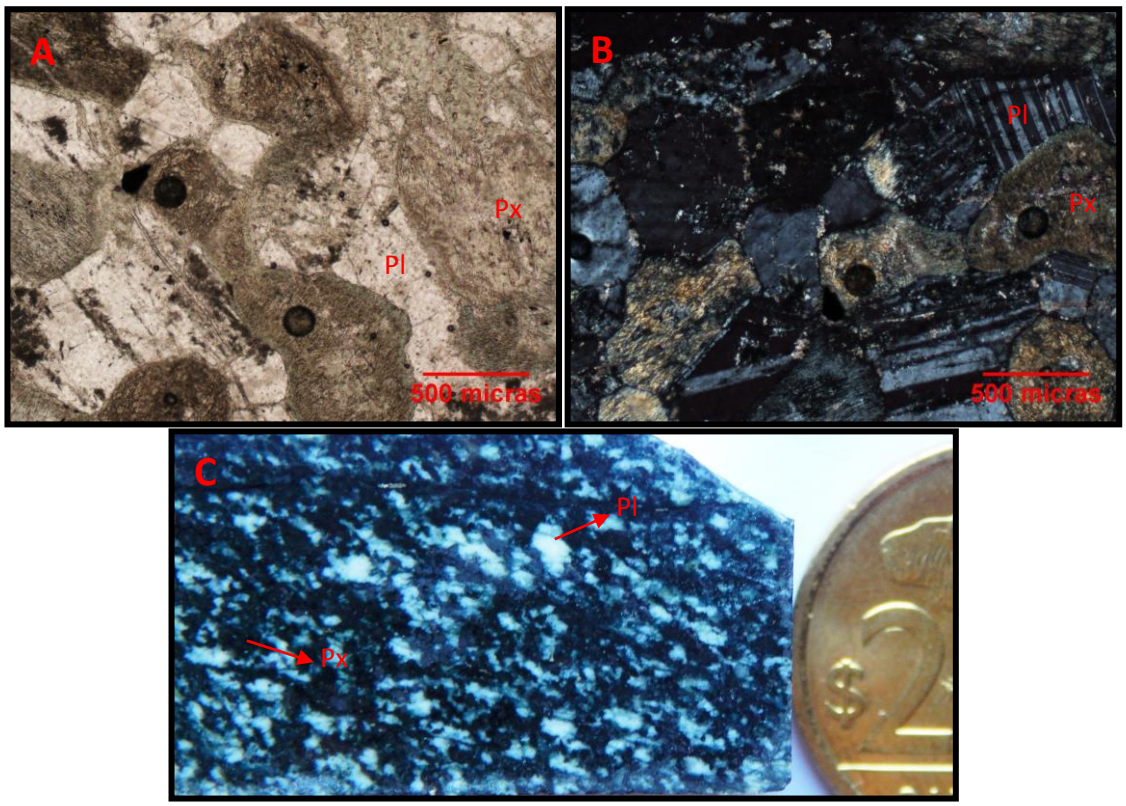


Figura 36. A) granulita de composición intermedia a luz polarizada plana.
B) granulita de composición intermedia, igual captura de imagen de B en polarizadores cruzados.
C) muestra de mano de granulita de composición intermedia (textura "sal y pimienta").

4. Piroxenita (Formación Vichadero) o fels clinopiroxeno se encuentra aflorando principalmente desde el centro hacia el oeste del área prospectada. Las morfologías asociadas son cerros de escasa altura. Es una roca de grano grueso,

compuesta principalmente por orto y clinopiroxeno, con alteración clorítica. En algunos casos se reconocieron piroxenitas con gran concentración de magnetita diseminada (ver Tabla 5, muestra 6), las cuales pueden tener interés para la exploración. Es habitual encontrar granate en estas rocas, que evidencia el alto grado metamórfico registrado (Fig. 37 C). En sección delgada la piroxenita exhibe una textura granoblástica, donde el principal mineral es el clinopiroxeno entre un 75 y 85 % en volumen de abundancia, seguido de ortopiroxeno, magnetita y, en menor proporción anfíbol y apatito. En todos los granos predominan formas anhedrales, subhedrales y prismáticas, y tamaños de cristales que fluctúan entre 0,1 a 5 mm. Es común encontrar uniones triples entre piroxenos (Fig. 37 A y B).

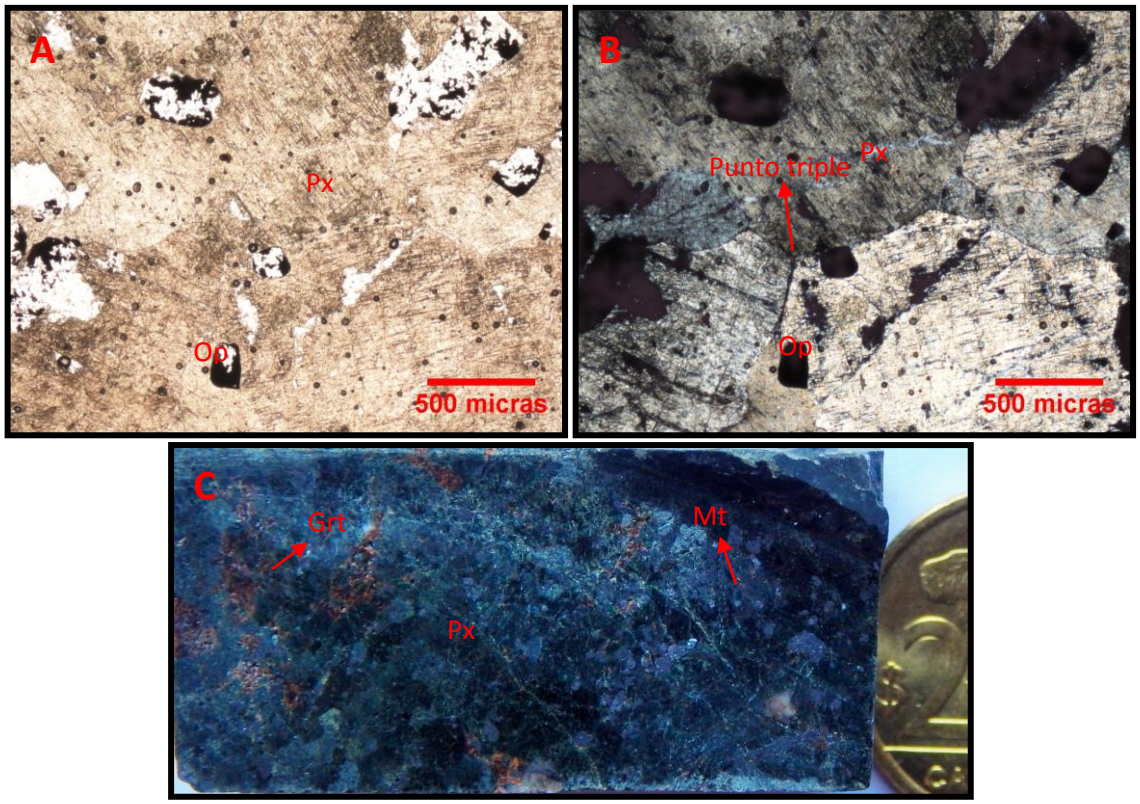


Figura 37. A).Piroxenita en luz polarizada plana.
B) Misma toma de imagen de A piroxenita, donde se exhibe punto triple en polarizadores cruzados.
C) Muestra de mano de piroxenita.

5. El mármol forsterítico (Goñi, 1962) aflora en el centro del área de estudio, la morfología característica son relieves aplanados y ocupan zonas topográficas intermedias a bajas. Es una roca de grano grueso, con porfiroblastos de forsterita dispersos en una matriz de carbonato de color blanco a gris claro (Fig. 38 B). En afloramiento la roca es de color gris oscuro y la superficie es rugosa debido a la resistencia de la forsterita a la meteorización con respecto a los

carbonatos (Fig. 38 A). Al microscopio expone textura granoblástica, compuesta principalmente por calcita en cristales anhedrales, forsterita en menor proporción, seguida por flogopita en láminas euhedrales, epidoto y espinela; es posible observar serpentinización en forsterita (Fig. 39).

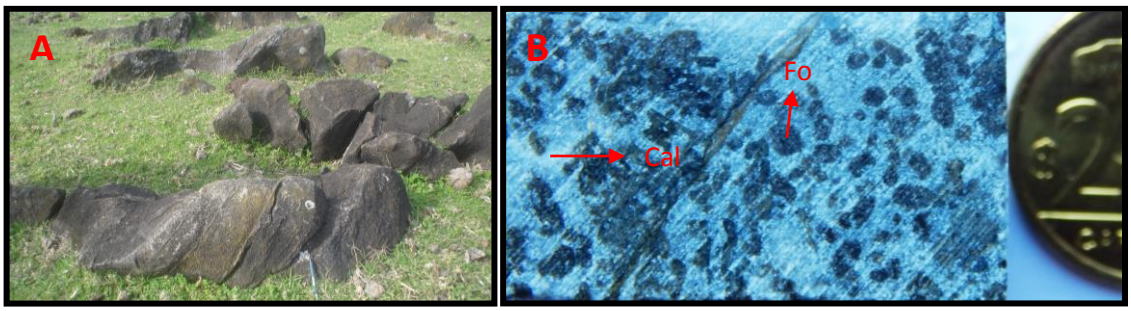


Figura 38. A) Afloramiento de mármol forsterítico. B) Muestra de mano de mármol forsterítico.

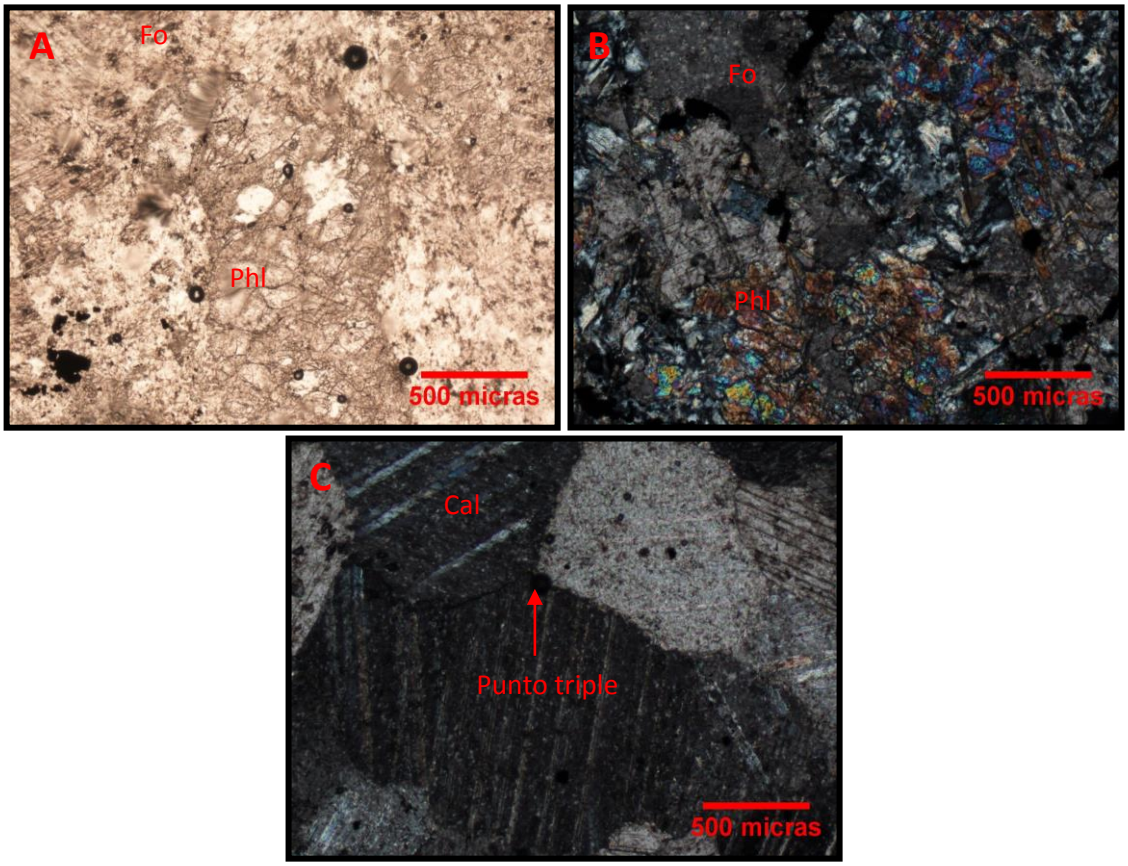


Figura 39. A) Mármol forsterítico a luz polarizada plana.
B) Mármol forsterítico, misma captura de imagen que A en polarizados cruzados.
C) Calcita con macla polisintética y unión triple en mármol forsterítico.

6. Los diques félsicos se localizan desde el centro hacia el este del área prospectada y recortan todas las unidades presentes, cuya orientación

preferencial es N–S y NE-SW, habitualmente afloran en colinas de baja a media altura. Presentan textura porfirítica con fenocristales de feldespato (Fig. 40 C), el color varía entre rosado claro y marrón claro. En sección delgada exhiben textura porfirítica con fenocristales de cuarzo y feldespato alcalino con forma euhedral y subhedral, y como accesorio pirita. La matriz es compuesta por cuarzo, feldespato y óxidos de hierro. En ocasiones se observan esferulitas e intercrecimiento micrográficos cuarzo-feldespático (Fig. 40 A, B).

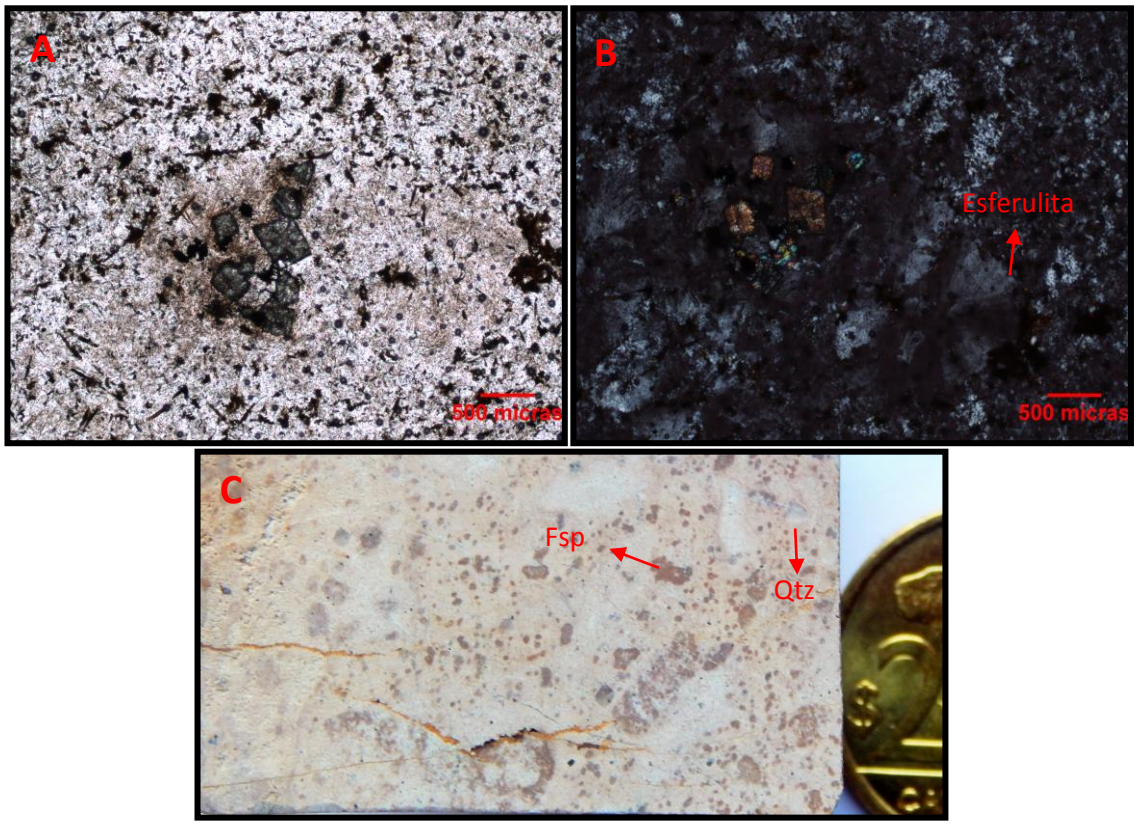


Figura 40. A) Dique félsico a luz polarizada plana.
B) Misma toma de imagen de "A" en polarizadores cruzados, donde se observa esferulitas.
C) Muestra de mano de dique félsico.

Geoquímica de Roca

Una vez finalizada la etapa de mapeo a escala 1:10.000 para el área con permiso de prospección, se realizó el muestreo de los principales cuerpos mineralizados (Fig. 41),

donde se analizó cada muestra por el método de fusión de fluorescencia de rayos X, obteniendo como resultado el contenido de hierro total, sílice y manganeso[5] (Tabla 5).

De acuerdo a los resultados obtenidos (valor promedio es X%Fe); la muestra con mayor porcentaje de hierro total fue la número tres con 44,81 % (Fig. 42), y la de menor proporción fue la 15 con 16,58 %. Es de destacar que la muestra número seis si bien composicionalmente no es un BIF, presenta alta concentración de hierro total 36,41%, por lo cual el porcentaje de hierro puede ser un criterio a tener en cuenta en la etapa de exploración, más allá de la composición litológica de la muestra.

Cabe mencionar que en Uruguay existen depósitos de hierro investigados con mayor detalle, como por ejemplo Valentines (Treinta y Tres) y Zapucay (Rivera); en dichos depósitos los porcentajes de hierro promedio presentes en la magnetita in situ fluctúa entre 25 y 50 %. Luego del tratamiento en planta (trituración, molienda y beneficiamiento) se obtiene un polvo de magnetita pura que puede contener hasta 72 % de Fe, dependiendo de la presencia de "contaminantes" unidos a la magnetita.

En base a los estudios geoquímicos realizados y cotejados con estos depósitos de similares características en Uruguay, se pudo determinar que la mayoría de las muestras poseen valores por encima del porcentaje estipulado (25-50 % de Fe in situ); motivo suficiente para poder seguir con estudios más avanzados correspondientes a la etapa de exploración, y para determinar si es un área propicia para la explotación.

[5] La compañía UMG cedió los datos geoquímicos de 15 muestras de rocas con todos los parámetros analizados: Fe total, SiO_2, Mn, Al_2O_3, As, Ba, CaO, Cl, Co, Cr_2O_3, Cu, K_2O, MgO, Na_2O, Ni, P, Pb, S, Sn, Sr, TiO_2, V, Zn y LOI, por el método de fusión de fluorescencia de Rayos X, examinadas en un laboratorio relacionado a actividades mineras (ALS Perú S.A); habiéndose autorizado a utilizar los datos de Fe total, sílice y manganeso.

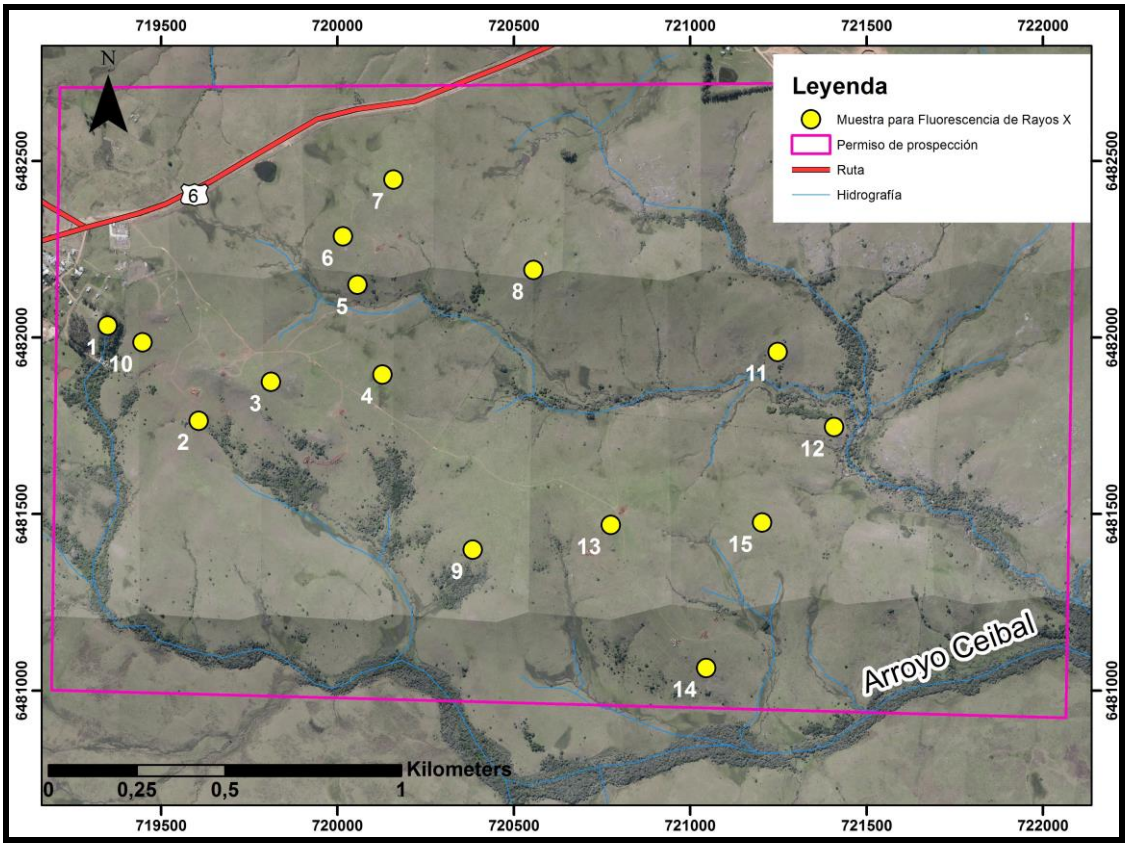


Figura 41. Mapa con puntos de muestreo para fluorescencia de rayos X. Imagen satelital de Google Earth (Sist.coord.: UTM-21S).

Tabla 5. Ubicación de muestras para geoquímica y sus resultados.

Nº	X (ESTE)	Y (NORTE)	Litología	Susceptibilidad Magnética		Peso (kg)	Fe total (%)	SiO_2 (%)	Mn (%)
1	719349	6482033	BIF	105	30,5	3,5	39,7	33,1	4,5
2	719607	6481764	BIF	39,7	14,1	4,3	44,2	32,4	0,3
3	719812	6481874	BIF	43,6	68	3,8	44,8	33,7	0,1
4	720128	6481895	BIF	17,6	10,9	4,6	38,5	42,4	0,0
5	720057	6482149	BIF	8,4	15,5	5	35,3	28,4	8,1
6	720016	6482286	BIF/Fels clinopiroxeno	61,9	41,1	3,3	36,4	44,2	0,0
7	720159	6482447	BIF	44,9	8,5	4,2	42,0	34,8	1,1
8	720556	6482191	BIF	54,7	85,3	4,8	44,0	33,6	0,1
9	720384	6481399	BIF	84,8	146	5	42,1	35,2	0,1
10	719448	6481986	BIF	51,8	48,8	3	41,8	37,8	0,1
11	721248	6481959	BIF	9,24	8,65	3,9	39,6	35,5	1,0
12	721408	6481746	BIF	3,07	100	4	39,5	39	0,5
13	720775	6481469	BIF	47,4	113	3,7	38,4	41,9	0,0
14	721046	6481064	BIF	69,3	91,6	4,1	35,0	44,4	0,1
15	721204	6481476	BIF	0,14	0,18	4,5	16,5	72,6	0,1

Figura 42. A, B, C) Afloramientos donde se recolectaron la muestras para análisis geoquímico números tres, ocho y 12, respectivamente.

Análisis estructural de BIF

En simultáneo con la realización del mapeo de afloramientos se recogieron 44 datos de rumbo y buzamiento en planos de estratificación del BIF, donde la S_0 es paralela a la S_{n+1} (Fig. 43; Tabla 6). De acuerdo a los datos relevados, se destaca la presencia mayoritaria de planos de estratificación con altos a medios buzamientos hacia el NE y SW.

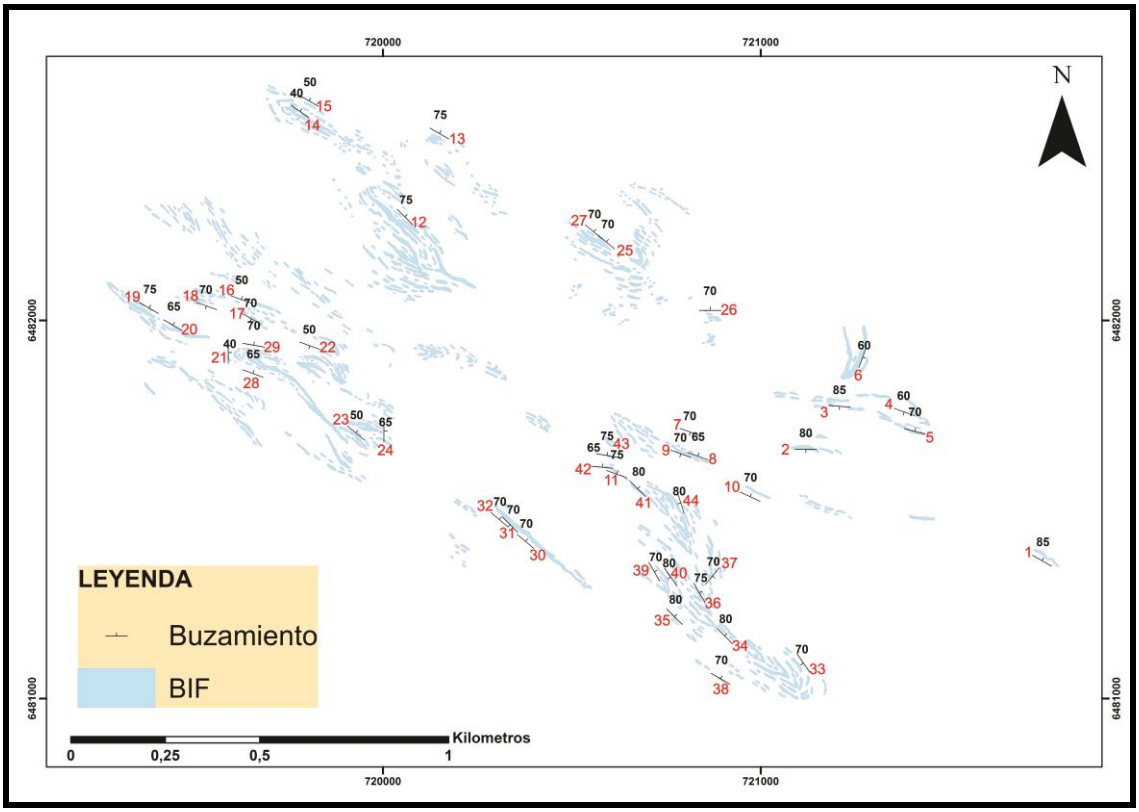


Figura 43: Mapa de ubicación del relevamiento de rumbo y buzamiento en BIF.

Tabla 6: Ubicación de puntos de relevamiento de rumbo y buzamiento en BIF

Punto	Rumbo	Buzamiento	Punto	Rumbo	Buzamiento
1	30	85	23	40	50
2	180	80	24	90	65
3	185	85	25	40	70
4	200	60	26	0	70
5	15	70	27	40	70
6	110	60	28	20	65
7	200	70	29	10	70
8	20	65	30	40	70
9	200	70	31	225	70
10	25	70	32	40	70
11	20	75	33	235	70
12	45	75	34	45	80
13	30	75	35	45	80
14	35	40	36	60	75
15	30	50	37	130	70
16	20	50	38	30	70
17	210	70	39	60	70
18	200	70	40	235	80
19	30	75	41	45	80
20	30	65	42	5	65
21	90	40	43	10	75
22	200	50	44	250	80

Los datos recabados se analizaron en el software Dips 5.0. Los resultados obtenidos en la rosa de direcciones (Fig. 44) de los planos de estratificación en el área con permiso de prospección, fueron tres familias principales con rumbo principal NW-SE, y la presencia de otras familias de menor presencia con rumbos NNE-SSW Y E-W.

Conforme al diagrama de densidad de polos (Fig. 45) de los planos de estratificación de los BIF, se distingue el máximo de concentración de polos en torno a N210/20, una segunda concentración en torno a N039/001 y una tercera concentración en torno a N300/29.

En una futura etapa de exploración, los niveles de hierro deben perforarse lo más perpendicular posible para poder obtener con mayor exactitud la potencia de dichos niveles; basados en el diagrama de concentración de polos, es posible determinar que las orientaciones que hay que perforar son NE y SW.

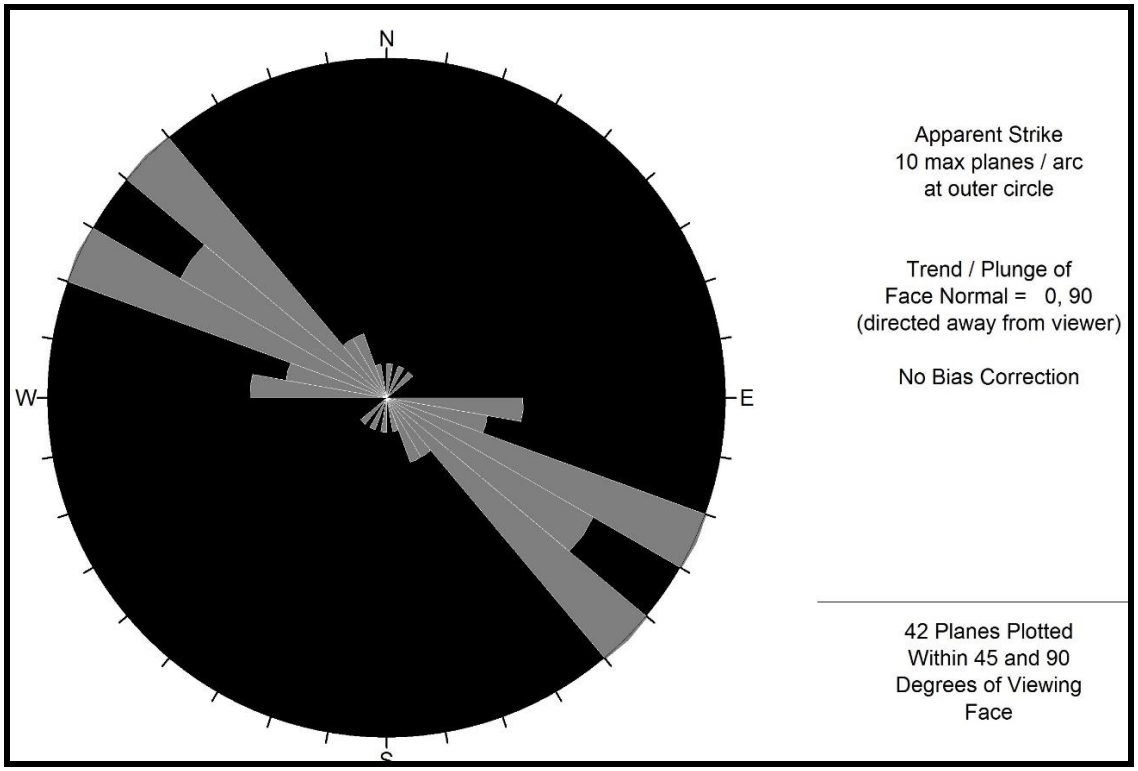


Figura 44: Diagrama de rosas de direcciones de los planos de estratificación de BIF.

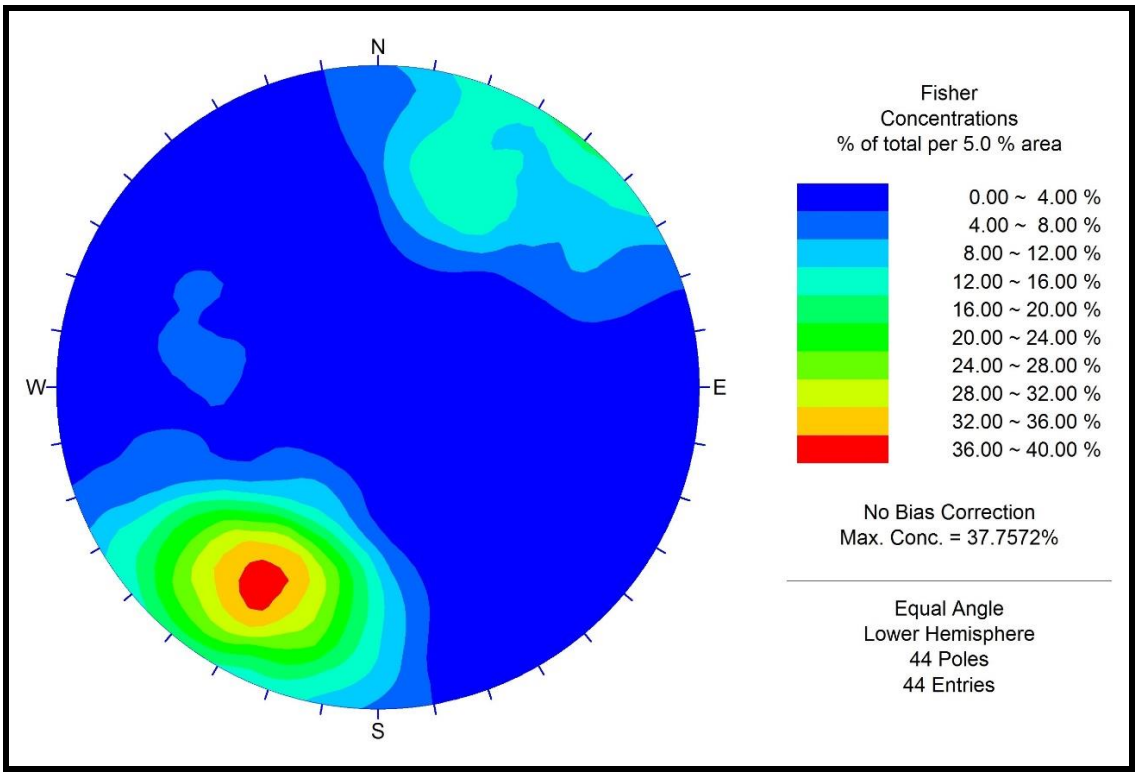


Figura 45: Diagrama de concentración de polos para los planos de estratificación de BIF.

Identificación de zonas favorables y estimación de recursos posibles

En base al mapeo elaborado en campo y su posterior interpretación, se identificaron cinco cuerpos mineralizados importantes, presentando una orientación preferencial NW–SE, representados en su mayoría por pliegues sinformes con su *plunge* hacia el SW. Dichos cuerpos no se encuentran afectados por fallas importantes, tan solo se observan diaclasas con orientaciones preferenciales SW–NE; existen evidencias de varias fases de deformación, siendo la última compresiva con dirección SW–NE que es la que controla la disposición actual de los cuerpos mineralizados.

Para estos cinco cuerpos mineralizados se calcularon recursos posibles o inferidos[6] de hierro, que es el alcance para esta etapa de trabajo (Fig. 46); para cálculos más avanzados, hay que tener presente la ley de hierro, espesores de las capas, perforaciones, magnetometría, futuros ensayos metalúrgicos, etc.. La profundidad (130 m) utilizada para la realización de los cálculos es totalmente interpretativa de los datos estructurales obtenidos en campo y fundada en otros depósitos de similares características que existen en el Uruguay donde las mineralizaciones de hierro pueden alcanzar los 500 m.

En la estimación de este trabajo se procedió con las siguientes ecuaciones:

Volumen = largo (m) x ancho de la capa (m) x profundidad hipotética (m)

Masa = volumen x densidad (t/m^3) = Recursos Posibles o Inferidas

[6] Se entiende por recursos inferidos según el código JORC (Joint Ore Reserves Committee de las autoridades australianas) aquella parte de un recurso mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume pero no se cerífica la continuidad geológica ni la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localización de afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta.

La U.S Bureau of Mines and the U.S Geological Survey define recurso inferido a las estimaciones basadas en un supuesta continuidad más allá de los recursos medidos y/o indicados, para los cuales hay evidencia geológica. Los recursos inferidos pueden o no estar respaldados por muestras o mediciones.

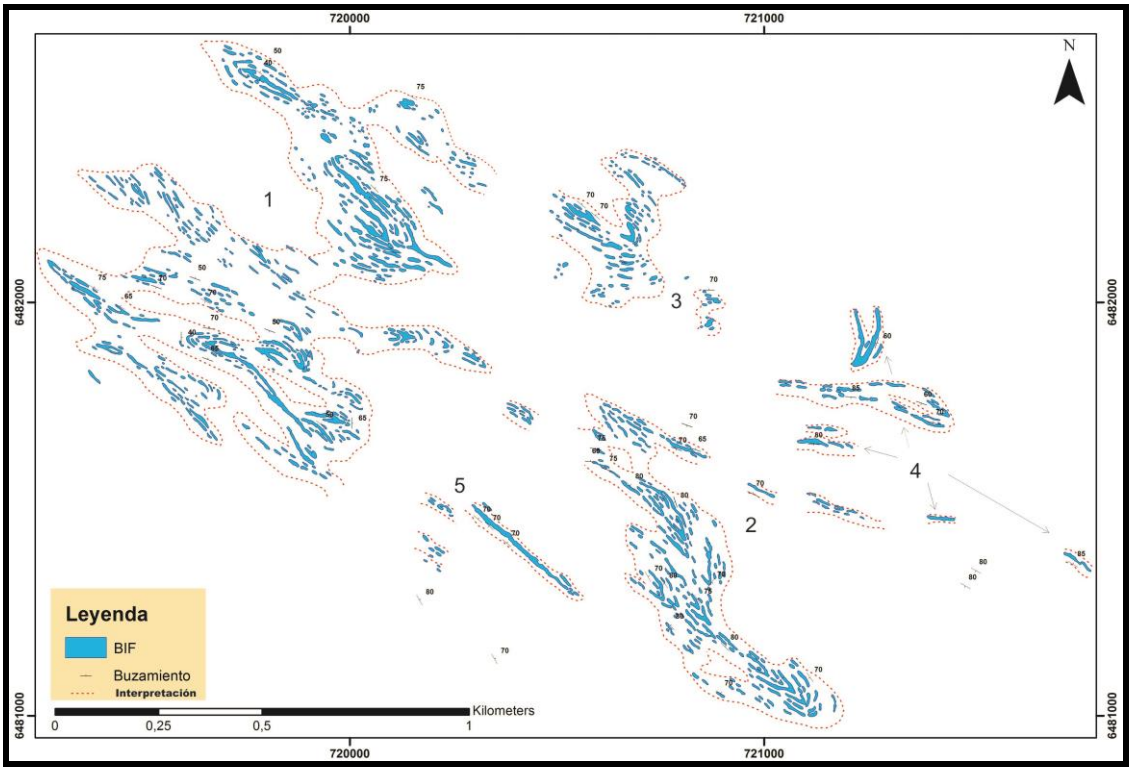


Figura 46. Mapa interpretativo de los cuerpos mineralizados (Sist. coord.: UTM-21S).

Estimación de recursos posibles por cuerpo es:

Cuerpo 1[7]:

Volumen = [(300 m x 50 m x 130 m) + (700 m x 130 m x 130 m) + (500 m x 50 m x 130 m) + (800 m x 40 m x 130 m) + (800 m x 80 m x 130 m)] = 29500000 m^3

Recursos posibles = masa = 29,5 m^3 x 3,4 t/m^3 = 100,3 Mt

Cuerpo 2:

Volumen = 900 m x 150 m x 130 m = 17,5 m^3

Recursos posibles = masa = 17,5 m^3 x 3,4 t/m^3 = 59,5 Mt

Cuerpo 3:

Volumen = 180 m x 150 m x 130 m = 3,5 m^3

Recursos posibles = masa = 3,5 m^3 x 3,4 t/m^3 = 11,9 Mt

[7] Para poder facilitar la estimación del cálculo de volumen en el cuerpo 1 fue fraccionado en cinco cuerpos menores debido a la complejidad de la geometría.

Cuerpo 4[8]:

Volumen = [(50 m x 100 m x 130 m) + (400 m x 50 m x 130 m) + (80 m x 50 m x 130 m) + (200 m x 30 m x 130 m)] = 4,5 m^3

Recursos posibles = masa = 4,5 m^3 x 3,4 t/m^3 = 15,3 Mt

Cuerpo 5:

Volumen = 300 m x 25 m x 130 m = 975000 m^3

Recursos posibles = masa = 975000 m^3 x 3,4 t/m^3 = 3,3 Mt

Acorde a los cálculos realizados de estimación de recursos posibles el total es 190,3 Mt de mineral hierro, suficiente para que el proyecto continúe en etapa de exploración.

Conclusiones

Conforme a toda la información recabada en trabajos de campo y basado en los análisis geoquímicos de 15 muestras, se pudo definir la estructura geológica del depósito de hierro, estimar el volumen de los cuerpos mineralizados, y concluir que los porcentajes de hierro obtenidos son valores relativamente altos en comparación con los depósitos de hierro de Valentines y Zapucay. Es de destacar que si estos trabajos son realizados por una compañía de exploración, el número de muestras de superficie requeridos en la etapa de prospección asciende considerablemente.

Se ha considerado relevante hacer las siguientes recomendaciones para pasar a una etapa de exploración:

- Desafectar un área específica de aproximadamente 305 has (Fig. 47).

[8] El volumen del cuerpo 4 es el conjunto de cuatro cuerpos menores.

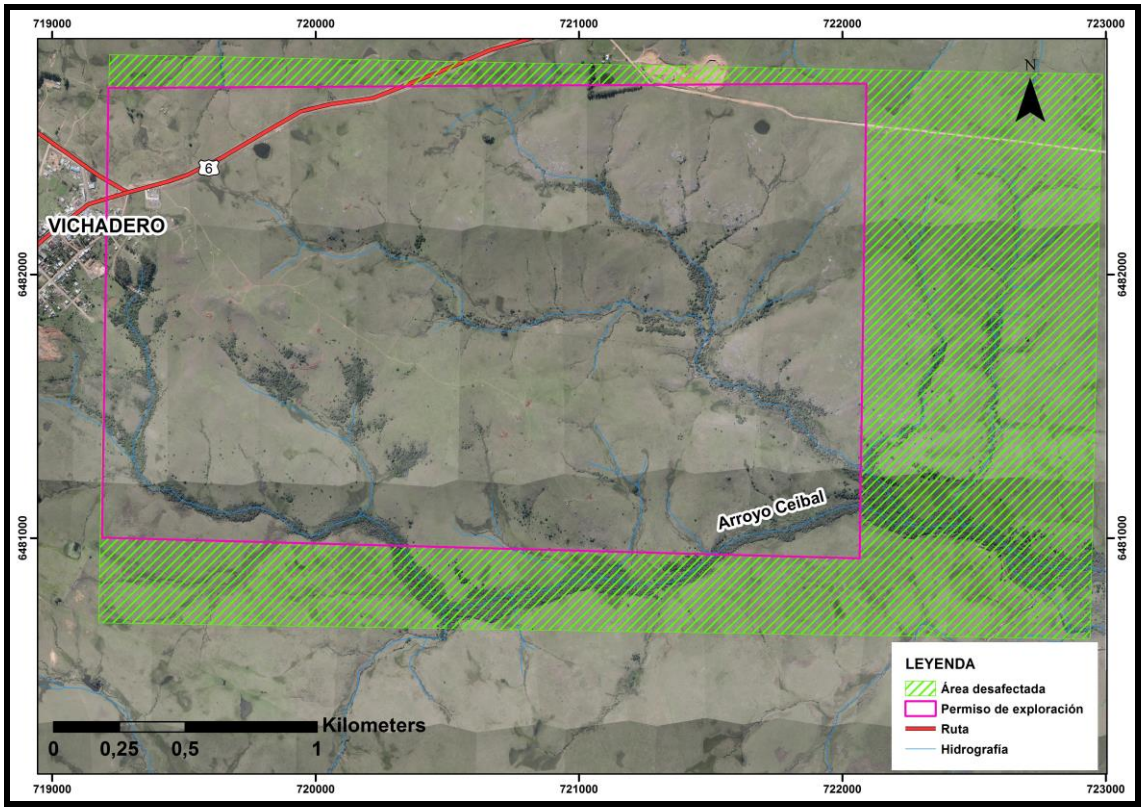


Figura 47. Reducción del área de prospección. Imagen tomada de Google Earth (Sist.coord.: UTM-21S).

- Realizar una campaña de magnetometría al detalle, que cuente con separación de 100 m entre cada línea de trabajo y con orientación N-S debido a la orientación que presentan los cuerpos mineralizados.

- Efectuar un mapeo al detalle a escala 1:2000.

- Ejecutar una campaña de perforación planificada en testigo continuo, comprendida por 18 pozos (Tabla 7, Fig. 48). Lo que permite dicha campaña es esbozar y comprender mejor la estructura geológica del cuerpo mineralizado, del mismo modo avanzar en la cuantificación y cualificación del contenido de mineral.

Tabla 7. Ubicación y características de pozos en fase de exploración.

Nº de Pozo	Este (UTM)	Norte (UTM)	Profundidad (m)	Inclinación (°)	Azimut (°)
1	719780	6482607	200	50	210
2	720062	6482342	250	70	210
3	720144	6482228	250	70	210
4	721423	6481728	150	90	
5	720585	6482223	200	70	210
6	720735	6482259	350	60	210
7	720705	6481538	150	90	
8	721083	6481038	150	90	
9	728887	6481237	210	70	210
10	720743	6481305	100	90	
11	720720	6481408	250	60	30
12	719645	6481904	150	90	
13	720026	6481789	300	50	210
14	719791	6481861	200	70	30
15	720083	6482151	150	90	
16	719643	6482048	200	70	30
17	719372	6482048	200	70	210
18	719560	6482319	250	60	210

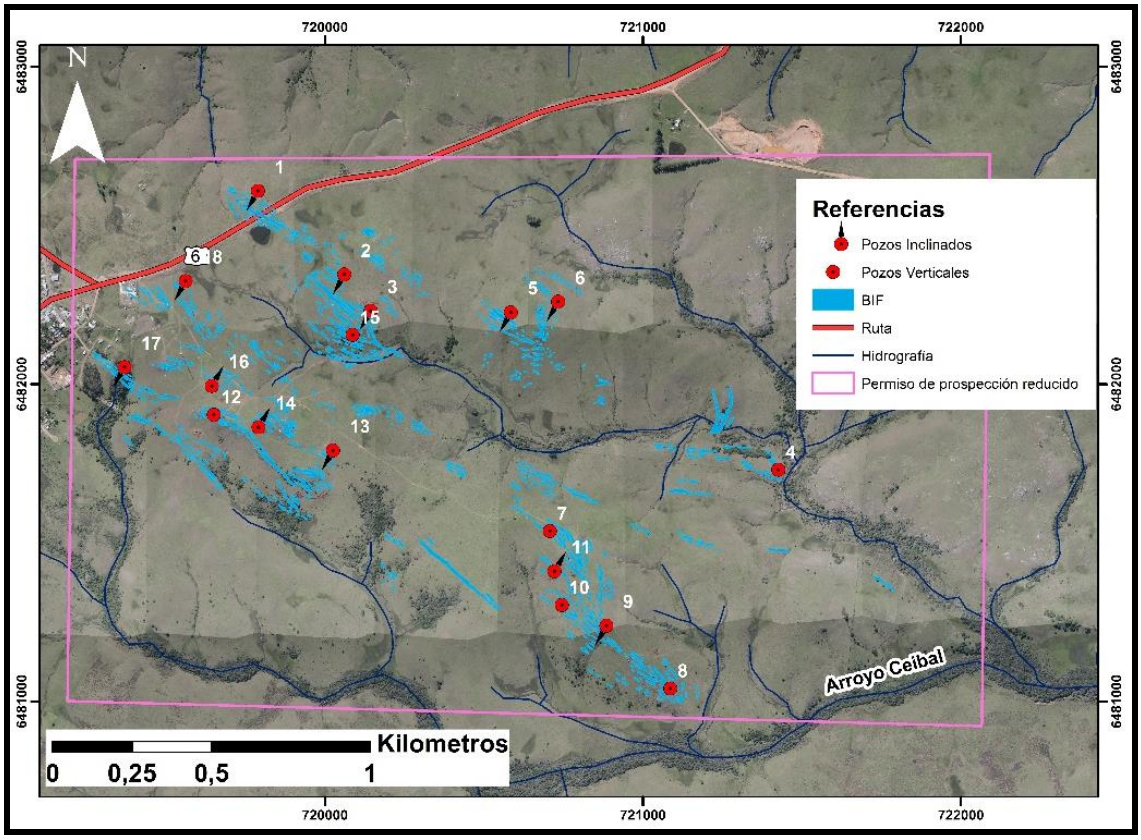


Figura 48. Mapa con campaña de perforación recomendada para futura etapa de exploración. Imagen satelital de Google Earth (Sist. coord.: UTM-21S).

- Efectuar nuevamente los cálculos de recursos, para pasar de recursos inferidos calculados en el capítulo 3.4.4 a probables con la información obtenida en la etapa de exploración.
- Profundizar en estudios geoquímicos en muestras de BIF tanto de superficie como de testigos de perforación, para evaluar con mayor exactitud el contenido de hierro total, sílice, fosfatos, azufre, etc., que deben ser tenidos en cuenta al momento del procesamiento en la etapa de producción.
- Realizar estudios metalúrgicos orientativos, para poder evaluar los materiales y métodos de beneficiamiento adecuados.
- Realizar un estudio de impacto ambiental y social, debido a que el depósito se localiza en las cercanías de un área urbana.

Capítulo 4: Consideraciones finales

- A partir del mapa geológico realizado a escala 1:40.000 se pudo determinar la presencia de las litologías relevadas en los antecedes bibliográficos, y se aportó mayor detalle al conocimiento geológico del área afectada.
- Con el relevamiento de campo y las secciones petrográficas elaboradas, queda demostrado que el área sufrió un metamorfismo de alto grado y deformación, evidenciado por la presencia de rocas como mármol, piroxenitas y granulitas. Asimismo la existencia de granate, uniones triples a *ca*. 120°, cuarzos con bordes lobulados y feldespatos recristalizados, reafirman la deformación que afectó la zona.
- Se identificó una zona con potencial de hierro, en la que se realizó un mapa de afloramiento geológico-minero a escala 1:10.000, reconociéndose cinco cuerpos mineralizados principales.
- En lo referente a los análisis geoquímicos efectuados en BIF, se obtuvieron excelentes concentraciones de hierro total que oscilan entre 35 y 45 %; que favorecen el desarrollo de investigaciones más avanzadas. Es de destacar la presencia de litologías con alto contenido de hierro que no son BIF exclusivamente, sino que fels clinopiroxeno (piroxenita).
- Luego de definir la estructura geológica del depósito, se estimaron los recursos posibles de los cinco cuerpos mineralizados, obteniendo un volumen total de 190,3 Mt, resultado muy favorable para una etapa de prospección, si es viable se sugiere al propietario del permiso de prospección continuar con estudios avanzados vinculados a la etapa de exploración.

Capítulo 5: Referencias bibliográficas

- Aboy M. (2016). "*Deformación Frágil de la Isla Cristalina de Rivera y su Relación con la Cuenca Norte Uruguaya".* Tesis de Licenciatura, Universidad de la Republica, Uruguay, pp 1-169.
- Alvarado, B. (1959). "*Yacimiento de Hierro y Manganeso en el Uruguay".* Programa de asistencia Técnica de Naciones Unidas.
- Babín Vich, R. & Gómez Ortiz D. (2010). "*Problemas de Geología Estructural. 9. Análisis structural mediante diagramas de contornos".* Reduca (Geología). Serie Geología Estructural. 2(1): 148-192.
- Basei, M.; Rocha Campos, A. & Nutman, AP. (2004). "*Idade e proveniencia de ziroes de rochas neopaleozoícas do Brasil: resultados preliminaries".* Simposio 40 Anos de Geogronología no Brasil (USP), Boletim de Resumos 9, Sao Paulo.
- Bossi, J. (1965). "*Informe preliminar sobre materias primas minerales".* C.I.D.E, pp 1-4.
- Bossi, J. (1966). "*Geología del Uruguay"*. Dpto. Publ., Univ. De la Rep., Montevideo, pp 1-414.
- Bossi, J. & Campal, N., (1992). *"Magmatismo y tectónica transcurrente durante el Paleozoico Inferior en Uruguay".* In: J.G. Gutiérrez-Marco, J. Saavedra, I. Rabano (Editores): Paleozoico Inferior de Iberoamérica. Universidad de Extremadura, Mérida, pp 343-356.
- Bossi, J.; Preciozzi, F.; Campal, N., (1993). "*Predevoniano del Uruguay. Parte 1: Terreno Piedra Alta"*. DINAMIGE, Montevideo, pp 1-50.
- Bossi, J. & Ferrando, L., (2001). "*Carta Geológica del Uruguay, escala 1:500.000*, versión 2.0. Versión Digital". Ed. Cátedra de Geología, Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.
- Bossi, J.; Gaucher, C., (2014). "Geología del Uruguay". Tomo 1. Predevónico. Montevideo: PDU "Geología y Recursos Minerales", pp 171-189.
- Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, (1979). "*Inventario Minero Nacional".* Ministerio de Industria y Energía-Instituto Geológico del Uruguay, pp 1-22.
- Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, (1982). "*Inventario Minero del Uruguay, Primera Fase".* Ministerio de Industria y Energía-Instituto Geológico del Uruguay, pp 1-107.
- Caorsi, J.H. & Goñi, J.C., (1958). "*Geología Uruguaya".* Boletín de Instituto Geológico del Uruguay, 37: 1-41.
- Caorsi, J., (1970). "*Los minerales de hierro en la República Oriental del Uruguay".* Grupo T.A.M.H.I.S. Ministerio de Industria y Comercio, pp 1-44.
- Cazaux, S., (2008). "*Geología, petrología y análisis estructural de Curtume-zona centro de la Isla Cristalina de Rivera"*. Tesis de Licenciatura, Universidad de la Republica, Uruguay, pp 103.
- Cordani, U.G. & Soliani Jr., E., (1990). "*Idades K-Ar e Rb-Sr das "Ilhas Cristalinas" de Rivera e Aceguá (Uruguai e Rio Grande do Sul) e seu enquadramento no*

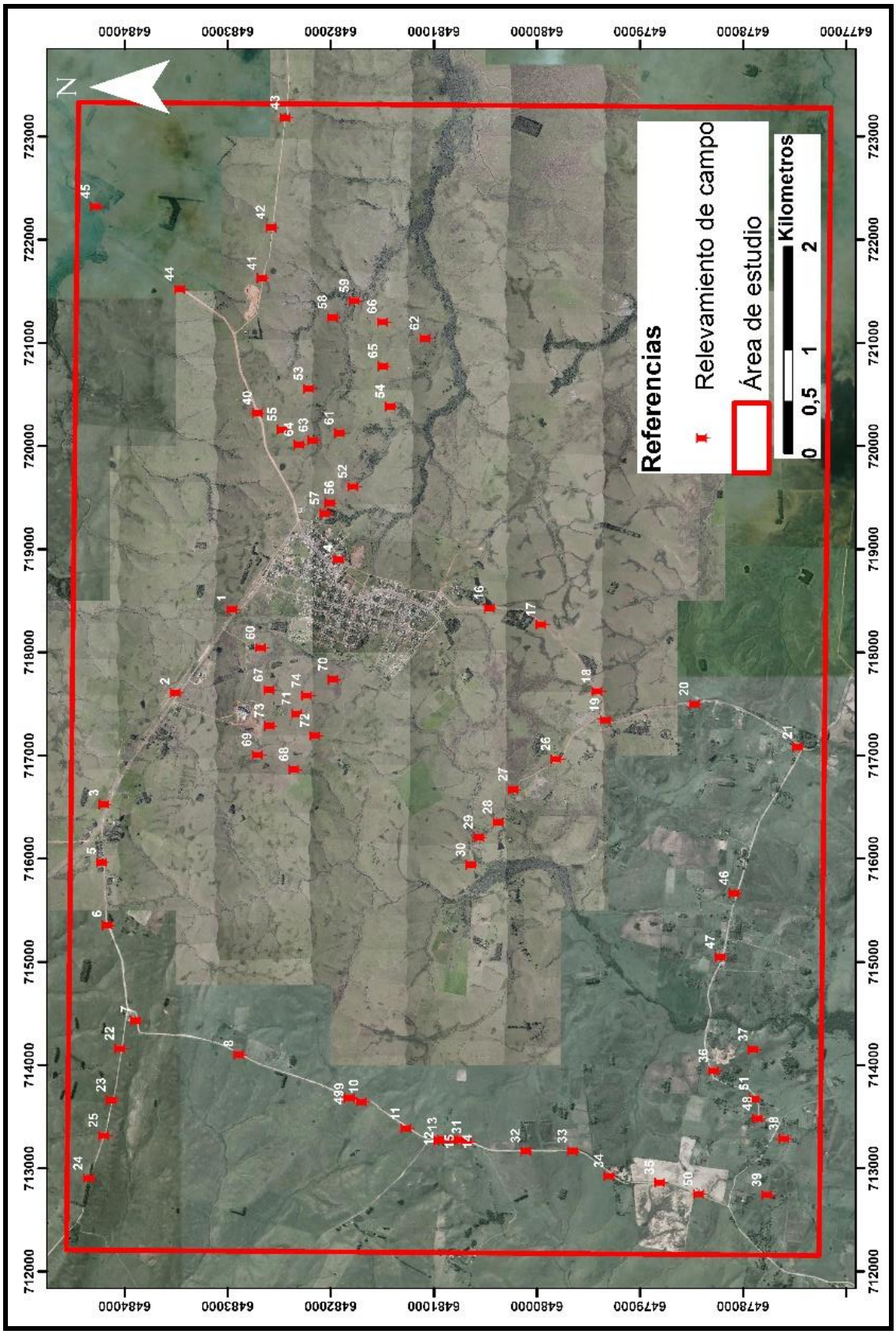
contexto geotectónico regional". Academia Brasileira de Ciências, Anais, 62(2): 145-156. Rio de Janeiro.

- De Santa Ana, H., (1989). "*Consideraciones tectónicas y deposicionales de la Cuenca Norte uruguaya"*. Boletín Técnico de ARPEL, 18(4): 319-339.
- De Santa Ana, H. & Veroslavsky, G., (1993). "*Cronoestratigrafía de las secuencias paleozoicas de la Cuenca Norte Uruguaya (borde Sureste de la Cuenca de Paraná)"*. I Simposio sobre Cronoestratigrafía da Bacia do Paraná, Resúmenes Ampliados, Rio Claro, pp 41-43.
- DINAMIGE. "*Instructivo Permiso de Prospección".* Unidad de Evaluación, Control y Gestión de Proyectos Minero. División Minería.
- DINAMIGE. "*Instructivo Permiso de Exploración".* Unidad de Evaluación, Control y Gestión de Proyectos Minero. División Minería.
- DINAMIGE. "*Mapa Geológico del Uruguay a escala 1:500.000", año 2012, versión digital, Área de Geológia.*
- Ellis, J.; Mucke, A. & Fesefeldt, K., (1996). *"The manganese and banded iron-formation of the Isla Cristalina de Rivera, northern Uruguay.* Terra Nostra, 8/96, pp. 40.
- Ellis de Luca, J. H., (1998). "*The Precambrian supracrustal rocks of the Isla Cristalina de Rivera in northern Uruguay and their ore deposits"*. Univ. Heidelberg, pp 1-196.
- Fragoso César, A.R.S., (1980). "*O Craton do Rio de la Plata e o Cinturao Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul Riograndense".* XXXI Congresso Brasileiro de Geología, SBG. Camboriú. Anais 5: 2879-2891.
- Ferrando, L. & Andreis, RR., (1986). "*Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay".* I Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos – Arpel, Actas V1, Buenos Aires, pp. 295-322.
- Ferrando, L.A. & Fernandez, A., (1971). "*Esquema tectónico-cronoestratigráfico del Predevoniano en Uruguay*". In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXV, Soc. Brasileira de Geologia, Núcleo RGS, Anais, pp 199-210.
- Fricke, W., (1959). "*Investigación de los yacimientos minerales del Uruguay".* Hannover, Alemania.
- Goso, C., (1995). *Análise estratigráfica da Formação São Gregorio na borda leste da Bacia Norte uruguaia*. Dissertação de Mestrado (inédito), IGCE–Unesp, Rio Claro, SP, 214 pp.
- Goso, C.; Piñeiro G.; de Santa Ana, H.; Rojas, A.; Verde, M. & Alves C., (2001). "*Primeros resultados del análisis bio-crono y litoestratigráfico en depósitos Permo–Triásicos de las formaciones Yaguarí y Buena Vista, en el borde oriental de la Cuenca Norte uruguaya"*. XI Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo de Geología, Actas, CD-Rom, Montevideo.
- Index Mundi: www.indexmundi.com.
- INE.; Censo 2011. Instituto Nacional de Estadística www.ine.gub.uy. Uruguay.
- Kendall, J.D. (1910). "*Informe sobre los depósitos de mineral manganesíferos en el Cerro Papagayo y el Cerro Imán en el Uruguay, Sud América"*. Friars House. New Broad Street. London E.C., pp 1-19.

- Ley Nº 15.242. *Codigo de Minería.* Diario Oficial de la República Oriental del Uruguay. Montevideo, 16 de febrero de 1982, versión actualizada 28 de febrero de 2014.
- Mac Millan, J.G. (1931). "*Regiones mineras de Cuñapirú, Corrales, Zapucay y Curtumé. Instituto de Geología y Perforaciones"*. Montevideo. Boletín N 14.
- Mac Millan, J.C., (1933). Terrenos Precámbricos del Uruguay, Boletín IGU. No.18, Uruguay.
- Martínez J. (1991) "*Mapas Geológicos*". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad de Oviedo.
- Masquelin, H. (1993). "*Petrografia e feições estruturais dos granulitos da Ilha Cristalina de Rivera, Uruguay*". In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia – Bol. Resumos. Curitiba.
- Masquelin, H. (2006). "*El Escudo Uruguayo"*. En: Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos minerales – Paleozoico. G. Veroslavsky, M. Ubilla y S. Martínez. Ed. DIRAC. Cap. 2, pp. 37-106. Montevideo.
- Marstrander, R. (1915). "*Isla Cristalina de Rivera*", Bol. Inst. Geol. Perf., N°2.
- Marstrander, R. (1916). "*Informe Preliminar sobre las Riquezas Minerales de República Oriental del Uruguay*". Boletín IGU. No 2, Uruguay.
- *Mines and mineral resources - United States - Classification*. Principles of a Resource/Reserve Classification For Minerals. Series: United States. Geological Survey. Circular; 831. Año 1980.
- Nadalin, R.; Chemas, E.; Salamuni, E.; Nadalin, L.; Angulo, R.; De Souza, M.; Fonseca, F.; Castro, L; Stevanato, R. "*Tópicos Especiais em Cartografia Geológica".* Curitiba: Ed. UFPR, 2014. 296p.: il. Color.21cm.
- Oriolo, S.; Oyhantçabal, P.; A.S. Basei, M.; Wemmera, K.; Siegesmund, S., (2016). ''*The Nico Pérez Terrane (Uruguay): From Archean crustal growth and connections with the Congo Craton to late Neoproterozoic accretion to the Río de la Plata Craton",* Precambrian Research, 280: 147-160.
- Oyhantcabal, 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. (Geol Rundsch) 100: 201–220.
- Oyhantcabal, P.; Wagner Eimer, M.; Wemmer, K.; Schulz, B.; Frei, R.; Siegesmund, S. (2012). "*Paleo- and Neoproterozoic magmatic and tectonometamorphic evolution of the Isla Cristalina de Rivera (Nico Pérez Uruguay)",* International Journal of Earth Sciences, 101:7, 1745-1762.
- Piñeiro G (2002*). "Paleofaunas del Pérmico–Eotriásico de Uruguay".* Tesis de Maestría, Universidad de la República–PEDECIBA, pp 1-208.
- Preciozzi, F.; Spoturno, J.; Heinzen, W. & Rossi, P. (1985). "*Carta Geológica del Uruguay, escala 1:500.000*". DI.NA.MI.GE. Montevideo, pp 1-97.
- Quadros, T., Koppe, J., Strieder, A., Costa, J.F. (2002). "*Arcabouço Estrutural da Ilha cristalina de Rivera (Uruguai) e sua implicação na potencialidade mineral"*. Revista Escola de Minas, 55(1). OuroPreto.

- Raith M., Raase P. & Reinhardt J. (2012). "*Guía para la Microscopía de Minerales en Lámina Delgada",* traducido al español por Oyhantçabal, P., Universidad de Bonn-Alemania, Universidad de Kiel-Alemania, Univerdidad de KwaZulu-Natal-Sudáfrica, pp 1-134.
- Sánchez Bettucci, L.; Peel, E.; Maquelin H. (2010). "*Precambrian geotectonic units of the Río de la Plata craton"*, International Geology Review, 52: 1, 32-50.
- Santos, J.; Hartmann, L.; Bossi, J.; Campal, N.; Schipilov, A.; Piñeyro, D.; Mcnaughton, N. (2003). "*Duration of the Trans-Amazonian Cycle and Its Correlation within South America Based on U-Pb SHRIMP Geochronology of the La Plata Craton, Uruguay"*, *International Geology Review*, 45, pp 27–48.
- Tschoepke R. & Therkauf E. (1966). "*Yacimientos de Minerales de Hierro de Zapucay en la República Oriental del Uruguay"*, Misión Alemana, pp 1-41.
- Vassallo L. (2008). "*Yacimientos minerales metálicos".* Centro de Geociencias, UNAM, Querétaro-México, pp 1-138.
- Veroslavsky, G.; Ubilla, M.; Martinez, S. (2006). "*Cuenca Norte: Estratigrafía del Carbonífero-Pérmico"*. Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Geología, paleontología y recursos naturales. Paleozoico. II ed. Montevideo: DI.R.A.C., pp 1-303.
- Vidal, H., (2009). "*Estudio Geológico-Estructural del área de Cerro Papagayo, Isla Cristalina de Rivera-Uruguay"*. Tesis de Licenciatura, Universidad de la Republica, Uruguay. pp 65.
- Zeegers H. & Spangenberg J., Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (1981). "*Resultados de la Prospección Geoquímica de los Fotoplanos Moirones y Alborada, Inventario Minero del Uruguay".* Ministerio de Industria y Energía-Instituto Geológico del Uruguay, pp 1-151.

ANEXO I: Puntos de relevamiento de campo



ANEXO II: Planilla de Campo

Punto	Este (UTM)	Norte (UTM)	Cota (m)	Descripción
1	718417	6482937	230	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso, de textura granular levemente deformado (observado en los cuarzos estriados). Localmente vetillas de cuarzo y diques ácidos recortando a la roca caja, de espesor aproximado entre 40 a 70 cm, con orientaciones preferenciales N100.
2	717610	6483485	239	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso de textura granular, presenta deformación; leucócrata.
3	716529	6484176	248	Gneiss granulítico félsico de grano medio, moderada deformación; recortada por vetillas de cuarzo de espesores aproximados entre 5 a 20 cm y diques ácidos de 30 a 60 cm con orientaciones preferenciales de N050. Orientación de cuarzos deformados N135.
4	718901	6481905	234	Gneiss granulítico félsico de grano medio, granular masivo.
5	715965	6484201	254	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso, con deformación observado en los cristales de cuarzo, recortado por vetillas de epidoto de 5 a 10 cm de espesor con dirección preferencial de N130 a N160.
6	715357	6484145	255	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso con orientación preferencial N120, 70NE, localmente muy plegado, intercalado con paquetes de andesita de 50 a 90 cm de espesor y dos niveles de BIF de 30cm de espesor. Recortado por vetillas de cuarzo y diques ácidos de 50 a 100 cm de espesor aproximadamente.
7	714432	6483872	260	Gneiss granulítico félsico de grano medio, textura granular masiva, moderada deformación.
8	714101	6482868	247	Gneiss granulítico félsico de grano medio; recortado por vetillas de cuarzo de espesor aproximado de 15 cm.
9	713685	6481795	240	BIF de grano medio, de aproximadamente 10 m de espesor, y rumbo N130, 50NE.

10	713646	6481682	230	Gneiss granulítico félsico
11	713389	6481249	222	Gneiss granulítico félsico de grano grueso débilmente deformado, recortado por vetillas de cuarzo de 20 a 40 cm de espesor con orientación preferencial entre N120 a N135.
12	713268	6480925	222	BIF de grano medio.
13	713280	6480891	222	BIF en contacto con la cuenca, arenisca conglomerádica de clastos redondeados entre 3 a 15 cm de diámetro con matriz arena fina de color mostaza. Posiblemente "colgada" sobre el basamento. Gneiss granulítico félsico sin deformar.
14	713275	6480793	223	Gneiss granulítico félsico de grano medio, intercalado con paquetes de piroxenita de grano medio a fina débilmente deformada con presencia de magnetita diseminada.
15	713278	6480727	221	Gneiss granulítico félsico de grano medio a fino de textura granular masiva, recortado por vetillas de cuarzo de espesor aproximado entre 10 a 30 cm.
16	718431	6480438	220	Conglomerado de matriz arena fina a limo de color amarillo pálido, blanco y localmente color ocre, con mala selección de sus clastos que van desde tamaño arena gruesa a gravilla compuestos por cuarzos, carbonatos y feldespatos. Presencia de troncos fosilizados
17	718270	6479938	220	Arenisca de grano medio a grueso de colores rojos y naranjas claros, compuesta de cuarzo, feldespato y carbonato, localmente intercalados por niveles y/o nódulos de limo color ocre. Presencia de troncos fosilizados.
18	717624	6479396	216	Conglomerado con matriz arena fina de color marrón, mala selección (similar a pto. 16).
19	717345	6479314	226	Conglomerado con matriz arena fina a media de color marrón rojiza, con mala selección de sus clastos que van desde los 0.5 mm a 5 cm de diámetro (igual a pto. 18). Presencia de lentes de arenisca muy fina color ocre y niveles de arenisca de grano medio de color rojo.

20	717500	6478449	221	Limolita con estratificación plano paralela, intercalaciones de diferente niveles de colores amarillo pálido, blanco, y rojizo, con espesores que van desde los 0.5 mm a los 7 cm aproximadamente. Ésta se encuentra en contacto con conglomerado igual al punto 19.
21	717085	6477446	230	Limolita con estratificación plano paralela, de colores violáceos, amarillos, blancos. Con intercalación con niveles conglomerádicos de matriz arenosa, y niveles de arenisca de tamaño grano medio y colores blancos, amarillo clarito deposita en discordancia angular con el conglomerado anteriormente descrito.
22	714160	6484024	270	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso, muy deformado, localmente epidotizado.
23	713662	6484107	254	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso, deformado, con orientación preferencial de cuarzos estirados entre N095 a N105
24	712904	6484328	259	Gneiss granulítico félsico de grano medio débilmente deformado, recortado por vetillas de epidoto de 5 cm de espesor y por un nivel de BIF de aproximadamente 7m de espesor. Recortado también por vetillas de cuarzo de 1m máximo de espesor.
25	713318	6484181	243	BIF de grano medio, bien laminada, de aproximado 5 m de espesor. En contacto neto con gneiss granulítico félsico.
26	716967	6479791	233	Limolita con estratificación plano paralela, de colores amarillo claro, grises, rojizos y ocre.
27	716672	6480208	207	Arenisca calcárea de grano medio a fino con estratificación plano paralela, colores rojizos y amarillos, con presencia de muscovita.
28	716356	6480354	208	Gneiss granulítico félsico de grano medio.
29	716209	6480541	195	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso, con orientación preferencial N150.
30	715941	6480616	190	Gneiss granulítico félsico.

31	713255	6480655	208	Contacto de basamento (Gneiss granulítico félsico) con la cuenca norte (limolita con estratificación plano paralela de colores amarillos, rojizos, ocres, grises y marrón clarito) N090, 30SE. Unos metros hacia el sur aflora arenisca de grano medio de color amarillo claro de no más de 10 m de espesor y luego continúa la limolita.)
32	713168	6480085	204	Limolita de colores grises claro, amarillos, con estratificación plano paralela; intercalados con niveles de areniscas de grano medio a grueso de color rojo oscuro.
33	713167	6479633	199	Limolita de color amarillo claro y gris claro con estratificación plano paralela, intercalado con niveles de arenisca de grano medio color rojo oscuro y estratificación plano paralela.
34	712926	6479276	195	Pelita de color gris, ocre, amarillo y rojizo claro, con estratificación plano paralela y estructura de decantación tipo flaser y lenticular, con presencia de mica. Posiblemente es la base de la Formación Yaguarí.
35	712862	6478785	199	Limolita con estratificación plano paralela, de colores gris claro, amarillo y rojos intercalados entre sí, con espesores que van desde 1cm a 10 cm, ocasionalmente superiores.
36	713944	6478264	194	BIF.
37	714151	6477877	183	BIF.
38	713288	6477580	172	Gneiss granulítico félsico.
39	712742	6477746	198	Gneiss granulítico félsico.
40	720321	6482688	238	Gneiss granulítico félsico de grano grueso débilmente deformado, localmente presenta mayor deformación. Presencia de óxidos y vetillas alteradas a arcilla.
41	721629	6482644	241	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso muy débilmente deformado.
42	722120	6482557	229	Gneiss granulítico félsico de grano grueso, masivo, casi sin deformación, con presencia de vetillas de epidoto.
43	723184	6482421	222	Gneiss granulítico félsico de grano medio, presenta deformación; posible presencia de óxidos por el color de la roca que es rojiza, en comparación con el color

				característico que es naranja clarito.
44	721521	6483443	179	Gneiss granulítico félsico de grano fino a medio, masivo, deformado, recortado por vetillas de carbonato y cuarzo de espesor entre 0,5 mm a 5 cm.
45	722323	6484258	140	Conglomerado de matriz arena fina a media color amarilla, con mala selección de sus clastos, de diámetros entre 3 a 15 cm, polimíctico con clastos de gneiss granulítico félsico, cuarzo y arenisca.
46	715666	6478061	189	Limolita con estratificación plano paralela, niveles de 2cm de espesor de colores rojizos, violáceos y grises.
47	715049	6478199	186	Gneiss granulítico félsico de grano medio a grueso, con orientaciones preferenciales de sus cuarzos estriados de N120, recortado por vetillas de cuarzo de espesores aproximados a los 20 cm.
48	713483	6477835	155	Arenisca de color amarillo claro, composicionalmente compuesta en mayor porcentaje por cuarzo, y en menor porcentaje óxidos y feldespatos.
49	713679	6481800	250	BIF de grano medio. La topografía registra un cambio, pasando a observarse mayor cota.
50	712750	6478409	227	Areniscas calcáreas y calizas laminadas finas con recristalización, de grano medio, color rojo y anaranjado. Cambio de inclinación de la cuenca a N120, 50NE.
51	713674	6477869	184	Arenisca ídem punto 48. N090, 35SE.
52	719607	6481764	250	BIF bandeado a masivo con magnetita parcialmente hematitizada. Presencia de limonita.
53	720556	6482191	229	BIF roca de grano fino masiva, conformada por magnetita, cuarzo, hematita, limonita, martitización leve.
54	720384	6481399	210	BIF de grano medio, color rojiza, laminada. Presenta martitización.
55	720159	6482447	252	BIF laminada de grano fino a medio de compuesta por cuarzo, magnetita, piroxeno, débil manganeso. Moderada martitización.

56	719448	6481986	253	BIF masivo grano fino a medio. Composición: magnetita, cuarzo, hematita (trazas), martitización leve.
57	719349	6482033	256	BIF masiva de grano medio, magnetita (50 %) y piroxeno (50 %).
58	721248	6481959	189	BIF de grano medio masiva, martitización leve. Composición: piroxeno, magnetita, cuarzo, hematita.
59	721408	6481746	179	BIF de grano fino masiva compuesta por cuarzo, magnetita, hematita. Martitización moderada.
60	718045	6482659	228	BIF masivo, compuesto casi en su totalidad por magnetita y mínima presencia de piroxeno.
61	720128	6481895	237	BIF, roca de grano medio laminar-masiva. Martitización leve a media. Composición: cuarzo, magnetita, hematita.
62	721046	6481064	192	BIF masivo de grano fino; composición: magnetita, cuarzo, martitización leve.
63	720057	6482149	240	BIF, roca de grano fino, masiva; composición: magnetita, cuarzo, manganeso.
64	720016	6482286	251	BIF o piroxenita roca de grano medio. Masiva martitización leve a moderada. Composición: magnetita, piroxenita, cuarzo, hematita, limonita.
65	720775	6481469	221	BIF de grano fino masivo, composición: magnetita, piroxeno, cuarzo, martitización moderada.
66	721204	6481476	204	BIF masivo de grano fino. Composición: cuarzo, magnetita, hematita martitización leve.
67	717636	6482579	241	BIF masiva de grano medio a fina, martitización moderada.
68	716868	6482333	260	BIF de grano fino a medio, laminado, martitización media, composición: magnetita, cuarzo, hematita.
69	717009	6482691	246	BIF de grano fino, masiva, martitización media, composición: cuarzo, magnetita, piroxeno.
70	717739	6481954	228	BIF de grano medio, laminado, martitización baja, composición: cuarzo, magnetita, hematita.
71	717407	6482307	257	BIF de grano fino, masiva, composición: cuarzo,

				magnetita, hematita.
72	717195	6482130	260	BIF de grano medio laminada, martitización media, composición: cuarzo, magnetita, hematita.
73	717290	6482571	263	BIF de grano fino, masiva, martitización media, composición: magnetita, cuarzo, piroxeno.
74	717581	6482210	249	BIF de grano medio, martitización media, composición: magnetita, cuarzo, hematita.

ANEXO III: Mapa Geológico de la región de Vichadero a escala 1:40.000 y Corte Geológico

ANEXO IV: Mapa Geológico de Afloramientos-Minero a escala 1:10.000

ANEXO V: Instructivo Permiso de Prospección

Exigencias del Informe Final de un Permiso de Prospección

El informe final, detallado y documentado, de la labor realizada que debe presentar el permisario al término de la Prospección (Articulo 91 del Código de Minería) debe contener como mínimo la siguiente información:

1. Metodología, antecedentes, materiales

- Detalle de la metodología utilizada para realizar la prospección

- Antecedentes geológicos y mineros del área en estudio

- Materiales utilizados

2. Carta Geológica-minera

- Identificación y separación de unidades geológicas y/o litológicas

- Principales elementos estructurales

- Ubicación precisa de puntos de muestreo (con identificación de campo y tipo de muestra), de puntos de observación, de ocurrencia mineral y de anomalías geoquímicas.

- Todos los datos obtenidos en la prospección, geoquímicos, geofísicos, geológicos, ubicación de cateos, toma de muestras, etc., deberán ser presentados en formato digital (planilla de cálculo Excel o similar).

- Ubicación precisa de labores mineras anteriores

- Separación de zonas favorables

3. Memoria explicativa

- Descripción detallada de unidades geológicas o litologías mapeadas

- Descripción del tipo de muestras de las cuales se debe detallar como mínimo: identificación de campo, ubicación (coordenadas UTM o XYZ SGM), valor analítico.

- Detalle de los resultados alcanzados en el estudio prospectivo.

- Planillas de los ensayos químico/físico realizados con identificación clara del Laboratorio y firma del técnico responsable.

4. Formato de documentos gráficos

- Todos los planos y mapas deben ser claros, legibles y originales.

- Deben estar firmado por un técnico competente. Se deben identificar en forma clara y precisa los principales elementos geográficos

- Se debe aclarar la base Geográfica utilizada (cartas del SGM, fotos aéreas, etc.).

- Leyenda con descripción clara de la simbología geológica, minera y geográfica empelada en la carta.

- Escala grafica

- Los documentos gráficos deberán presentarse en soporte electrónico, según corresponda, planos archivos con extensión dwg o shp (compatibles con CAD y SIG); imagines y fotos en archivos con extensión jpg o bmp.

5. Técnico responsable

- Los documentos que se confeccionen en los ítem 1 al 3 (Cartas y texto) deben ser realizados y firmado por un técnico en "geología" (Licenciado en Geología o técnico con amplia experiencia en la actividad minera). En este sentido se deberá entregar un Currículo Vitae del técnico responsable, antes de presentar el informe final de la Prospección.

- Todos los estudios químicos y/o físicos deben presentar la identificación del Laboratorio y el técnico responsable.

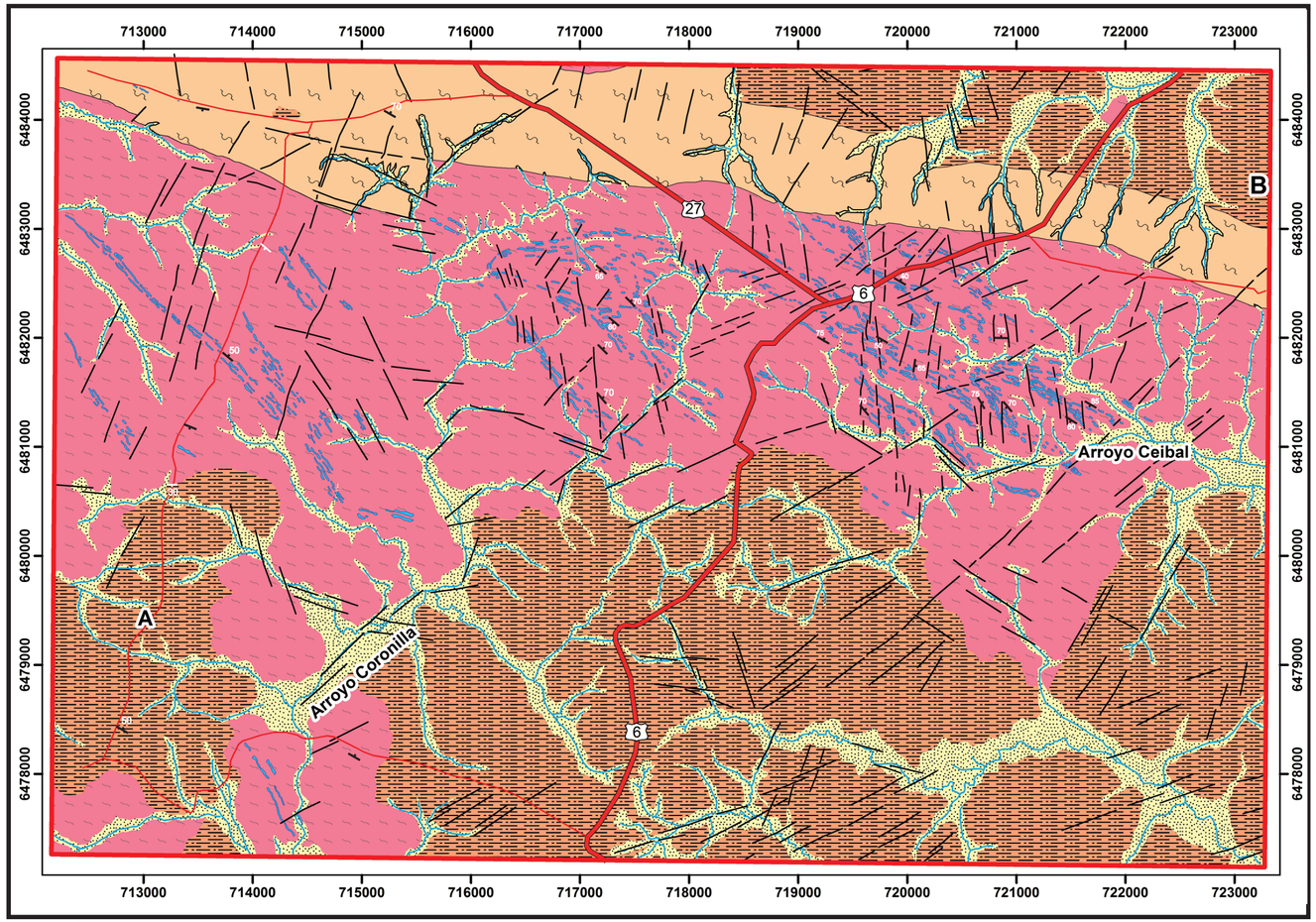
- Si se realizara un estudio geofísica, deberá presentarse el informe respectivo con la firma del técnico geofísico responsable

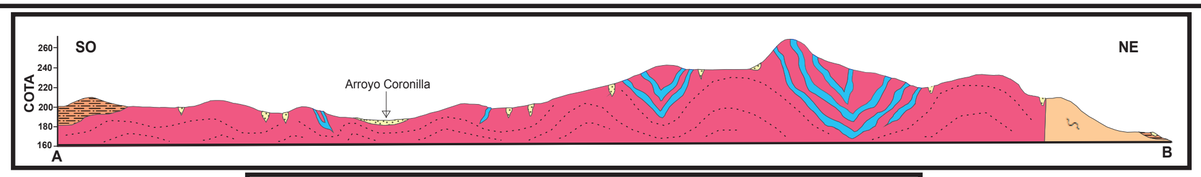
6. Muestreo en la Etapa de Prospección

- En esta etapa del estudio prospectivo solo se podrán tomar muestras de tipo superficial: muestras de suelo, muestras de afloramientos rocosos, muestras de sedimentos de corriente o muestras de aluvión. No se permite los usos de maquinaria como perforadoras, retroexcavadoras, etc. para la realización de tareas de muestreo prospectivo.

MAPA GEOLÓGICO DE LA REGIÓN DE VICHADERO

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA



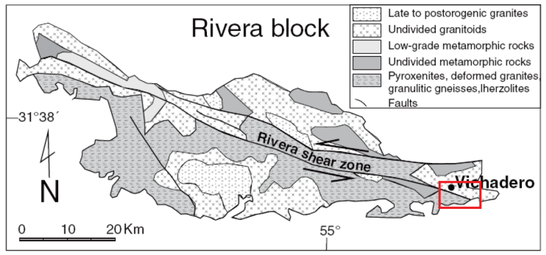


Coordenadas geográficas de los vértices del mapa

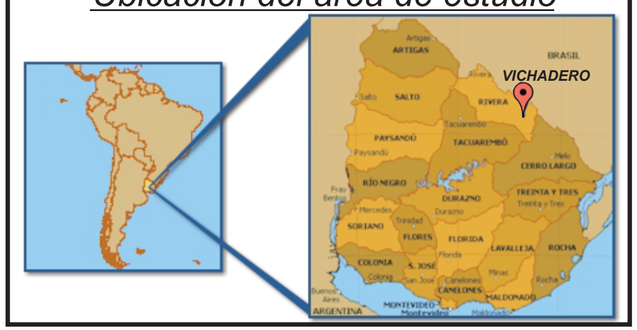
	ESTE (UTM)	NORTE (UTM)
NO	712184	6484576
SO	712191	6477241
NE	723360	6484464
SE	723297	6477133

Contexto Tectónico Regional

Bloque Rivera (modificado deSanchez Bettucci et al., 2010)

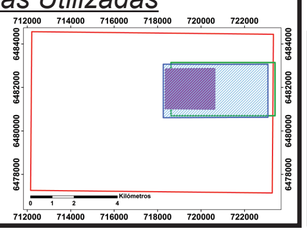


Ubicación del área de estudio



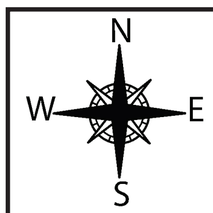
Fuente Geológicas Utilizadas

- Área de estudio
- Fricke 1959. "Investigación de los yacimientos minerales del Uruguay".
- Alvarado 1959. "Yacimiento de Hierro y Manganeso en el Uruguay".
- Ellis 1998. "The Precambrian supracrustal rocks of the Isla Cristalina in northern Uruguay and their ore deposits"



Base Topográfica

ALBORADA	VICHADERO
LA HUMEDAD	ZANJA HONDA



1:40.000

0 0,5 1 2Km

Sistema Coordenadas: WGS 84. Proyección UTM- ZONA 21S.

Columna Estratigráfica

Unidades litoestratigráficas:

Cuaternario

- Depósitos cuaternarios

Pérmico

- Fm. Yaguarí

Neoproterozoico

- Zona de Cizalla de Rivera

Paleoproterozoico

- Fm. Vichadero (Formaciones hierro bandeado)
- Complejo Gnéisico Valentines - Rivera

Geología

- Fracturas
- Buzamientos
- A-B Corte Geológico

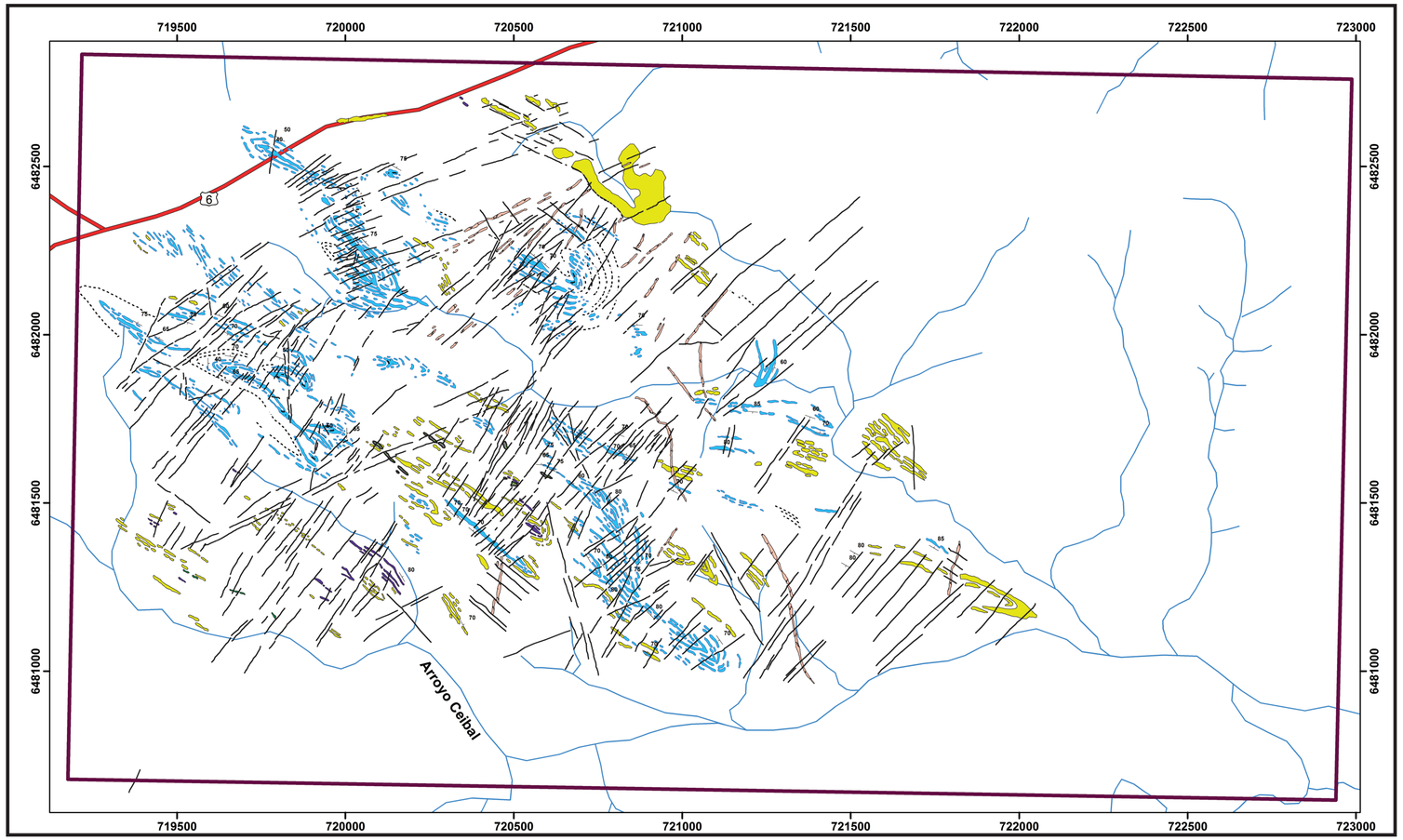
Cartografía

- Ruta
- Caminos vecinales
- Localidad
- Hidrografía
- Área de estudio

Arballo V. 2017

MAPA GEOLÓGICO DE AFLORAMIENTOS-MINERO

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

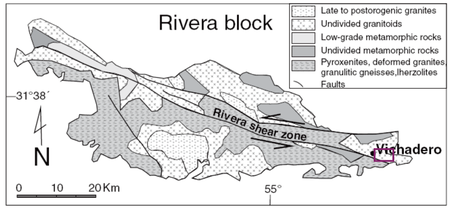


Coordenadas geográficas de los vértices del mapa

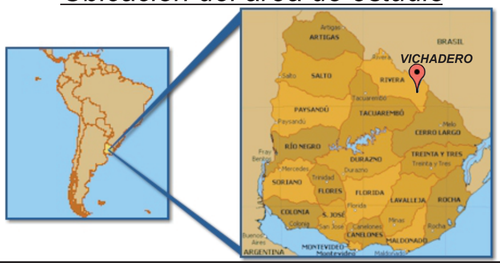
	ESTE (UTM)	NORTE (UTM)
NO	719213	6482709
SO	719190	6480999
NE	722089	6482721
SE	722066	6480927

Contexto Tectónico Regional

Bloque Rivera (modificado deSanchez Bettucci et al., 2010)



Ubicación del área de estudio



N
W E
S

1:10.000

0 0,25 0,50 1Km

Sistema Coordenadas: WGS 84. Proyección UTM- ZONA 21S.

Base Topográfica

ALBORADA	VICHADERO
LA HUMEDAD	ZANJA HONDA

Columna Estratigráfica

Unidades litoestratigráficas:

Neoproterozoico

- Dique Félsico

Paleoproterozoico

- Mármol Forsterítico
- Piroxenita
- Granulita de composición intermedia
- Formaciones de hierro bandeado
- Gneiss Granulítico Félsico

Geología

- Fracturas
- Estratificación Original
- Lineamientos
- Buzamientos

Cartografía

- Ruta
- Hidrografía
- Área de estudio

Arballo V. 2017