



UNIVERSIDAD DE LA  
REPÚBLICA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Montevideo

2014

**MODELAMIENTO GEOLÓGICO EN 3D DEL DEPÓSITO AURÍFERO DE  
TIPO OROGÉNICO ARGENTINITA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO  
MINERO ZAPUCAY, RIVERA.**

---

Aníbal José Furtado Artigalás

Tutor: Dra. Leda Sánchez Bettucci

Co-tutor: Dra. Elena Peel

***DEDICATORIA***

*Este trabajo se lo quiero dedicar a mis padres Martha y Enrique, por ser mi ejemplo de vida.*

*Anibal*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi nueva familia Natalia, Julián y Guillermo por hacerme feliz.*

*A mi familia de siempre padres, abuelos, hermanos, cuñado, sobrinos, por estar siempre apoyándome.*

*A la Universidad de La República, por haberme permitido realizar esta hermosa carrera.*

*A mi tutora Leda, por guiarme en este lindo y difícil camino.*

*A mi cotutora Elena por revisar el trabajo de forma estricta.*

*A Orosur, por el apoyo y los medios para realizar este trabajo.*

*A mis compañeros y ex compañeros de trabajo, especialmente a Sandra, Gabriela, Alfonso, Nicolás, Devin, Luis, han sido referentes para mí, sin su ayuda no hubiera podido realizar este trabajo.*

*A mis compañeros de generación Gonzalo y Santiago, ¡gracias amigos!*

*A Pedro O. por estar siempre dispuesto a responder mis consultas.*

*A mis tíos políticos Ivonne y Mauricio, gracias por quererme como un sobrino más y siempre darme para adelante.*

*Claudio, a la distancia sos un ejemplo de esfuerzo y perseverancia.*



## **TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>RESUMEN.....</b>	<b>14</b>
<b>I</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
	I.1. OBJETIVOS.....	16
	I.1. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.....	17
	I.2. ASPECTOS FISIGRÁFICOS.....	17
	I.4. RED DE DRENAJE.....	19
<b>II</b>	<b>METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....</b>	<b>20</b>
<b>III</b>	<b>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>21</b>
	III.1. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS REGIONALES.....	21
	III.2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DE LA ISLA CRISTALINA DE RIVERA.....	22
	III.3. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DEL DISTRITO MINERO DE ZAPUCAY.....	28
	III.4. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE CIZALLA ZAPUCAY.....	29
<b>IV</b>	<b>ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>31</b>
	IV.1. PROCESAMIENTO Y MANEJO DE DATOS.....	31
	IV.2. MODELAMIENTO 3D.....	34
	IV.3. MODELAMIENTO GEOLÓGICO.....	37
	IV.4. MODELAMIENTO GEOLÓGICO EN 3D MEDIANTE GIS.....	38
<b>V</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO ARGENTINITA.....</b>	<b>40</b>
	V.1. ELABORACIÓN DE MAPA GEOLÓGICO.....	40
	V.2. ANÁLISIS DE DATOS ESTRUCTURALES.....	45
	V.3. ANÁLISIS DE DATOS GEOFÍSICOS.....	52
	V.4. ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y CALCOGRÁFICO.....	59
	V.5. ANÁLISIS DE DATOS GEOQUÍMICOS.....	74
<b>VI</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE TIPO DE DEPÓSITO.....</b>	<b>76</b>
	VI.1. DEPÓSITO DE MENA.....	76
	VI.2. GÉNESIS DE MENA.....	77
<b>VII</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE MODELO GEOLÓGICO EN 3D.....</b>	<b>80</b>
	VII.1. OBTENCIÓN DE DATOS.....	80
	VII.2. MODELO GEOMÉTRICO (MODELAMIENTO DEL DOMINIO EN 3D).....	87
	VII.3. MODELO PREDICTIVO.....	101
<b>VIII</b>	<b>DISCUSION y CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>113</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

- Figura I.1:** Mapa geológico de la Isla Cristalina de Rivera mostrando la ubicación de los principales distritos mineros.
- Figura I.2:** Comparación entre diferentes tipos de depósitos de oro con concentraciones mayores a 100 toneladas del metal. Tomado de Foster (2002).
- Figura I.3:** Ubicación de la zona de estudio: A) ubicación de la “Isla Cristalina de Rivera”, B) ubicación del Distrito Minero Zapucay, y C) delimitación del área de estudio.
- Figura I.4:** Mapa geomorfológico del Uruguay (tomado de Panario, 1988).
- Figura I.5:** Imagen topográfica en 3D con el delineamiento del Arroyo Zapucay y sus principales afluentes.
- Figura III.1:** Collage de cinturones móviles panafricanos rodeando cratones arqueanos y paleoproterozoicos de África y América del Sur (DF. Dom Feliciano; G. Gariep; LA, Luis Alvez; RP. Río de la Plata; SF, Sao Francisco). Extraída de Basei et al. (2005), modificada de Unrug (1996).
- Figura III.2:** Principales unidades tectónicas de Uruguay – Terrenos tectonoestratigráficos Piedra Alta y Nico Pérez (Cratón del Río de la Plata) y Cinturón Dom Feliciano. Extraída de Sánchez Bettucci et al. (2009).
- Figura III.3:** Bloque Rivera según Sánchez Bettucci et al. (2010).
- Figura III.4:** Mapa geológico esquemático del Uruguay mostrando las principales divisiones geológicas. ZCSY (Zona de Cizalla Sarandí del Yí), ZCSB (Zona de Cizalla Sierra Ballena). Modificado de Oyhantçabal et al. (2011) y Sánchez Bettucci y Oyhantçabal (2008).
- Figura III.5:** Mapa geológico del Terreno Nico Pérez y continuidad del Cinturón Dom Feliciano (tomado de Oyhantçabal et al., 2010).
- Figura III.6:** Mapa Geológico de la Isla Cristalina de Rivera mostrando las principales unidades geológicas y la nueva información geocronológica, de Oyhantçabal et al. (2012).
- Figura III.7:** Vena de cuarzo plegada dentro de la zona de cizalla.
- Figura III.8:** Mapa estructural de la Zona de Cizalla Zapucay, modificado de Holcombe (2006). La elipse área de Cantera Zapucay, y el rectángulo el área de Prospecto Argentinita.
- Figura III.9:** Foliación con bajo ángulo de buzamientos (menor a 45°) en el Distrito Minero de Zapucay.
- Figura III.10:** Augen Gneis según Holcombe (2006), (A) perpendicular a la lineación y (B) paralela a la misma.
- Figura IV. 1:** Funcionamiento de Fusion para OMI (extraído de curso de capacitación interno realizado por Century Systems Technologies).
- Figura IV.2:** Planilla de registro geológico antigua empleada por la empresa.
- Figura IV.3:** Planilla de registro geológico actual empleada por la empresa.
- Figura IV.4:** Selección de aplicación.
- Figura IV.5:** Sistema de coordenadas tridimensionales cartesianas.
- Figura IV.6:** Representación tipo malla de un DEM tomado de Charro y Valencia (2007).
- Figura IV.7:** Representación de curvas de nivel sobre una superficie tridimensional generada por una malla TIN.
- Figura IV.8:** Sobreestimación de una reserva mineral basado en un modelo con una incorrecta interpretación geológica (Modificado de Erickson Jr. 1992).
- Figura IV.9:** Complejidad de un objeto geológico frente a uno de ingeniería. Modificado de Turner y Gable (2007).
- Figura IV.10:** Típico Proyecto de Modelamiento. Modificado de Turner y Gable (2007).
- Figura V.1:** Mapa de tendencias de foliación para el área de estudio.
- Figura V.2:** Mapa de afloramientos del área de estudio.
- Figura V.3:** Mapa de afloramientos con interpretación geológica del área de estudio.
- Figura V.4:** Mapa Geológico Interpretativo del área de estudio.

- Figura V.5:** Afloramiento y foliación típica desarrollada en la unidad Rocas Félsicas.
- Figura V.6:** Afloramiento y textura porfírica típica desarrollada en la unidad Rocas Intermedias.
- Figura V.7:** Afloramiento y textura sal-pimienta desarrollada en la unidad Rocas Máficas.
- Figura V.8:** Afloramiento y roca milonitizada en la unidad Zona Deformada.
- Figura V.9:** Unidad Rocas Intermedias milonitizada en zona de cizalla.
- Figura V.10:** A la izquierda lentes de cuarzo, a la derecha presencia de pirita.
- Figura V.11:** Diagrama de frecuencia con las medidas de los tres planos predominantes de foliación.
- Figura V.12:** Análisis estadístico de direcciones aparentes.
- Figura V.13:** Diagrama de frecuencias con conteo de polos (Vidal, 2009).
- Figura V.14:** Campo o nube de polos indicando posible plegamiento. La línea estaría indicando la dirección del plano
- Figura V.15:** Estilo de plegamiento (Lisle et al.2004).
- Figura V.16:** Diagrama de frecuencias con los planos principales de milonización/cizallamiento.
- Figura V.17:** Análisis estadístico de direcciones aparentes.
- Figura V.18:** Diagrama de frecuencia con los principales planos de venas.
- Figura V.19:** Análisis estadístico de direcciones aparentes.
- Figura V.20:** Vena de cuarzo plegada dentro de la zona de cizalla.
- Figura V.21:** Diagrama de frecuencias y estadística de direcciones de planos para medida de fallas.
- Figura V.22:** Mapa estructural de la Zona de Cizalla Zapucay (Modificado de Holcombe 2007).
- Figura V.23:** Ubicación de sondeos analizados sobre imagen topográfica 3D de la zona de estudio.
- Figura V.24:** Susceptibilidad magnética pozo ARGDD024.
- Figura V.25:** Susceptibilidad magnética versus Litología principa en el pozo ARGDD24.
- Figura V.26:** Susceptibilidad magnética versus Deformación.
- Figura V.27:** Susceptibilidad magnética versus Venas de Cuarzo.
- Figura V.28:** Susceptibilidad magnética versus Mineralización.
- Figura V.29:** Susceptibilidad magnética en el pozo DDHARG-07.
- Figura V.30:** Susceptibilidad magnética versus Litología principal.
- Figura V.31:** Susceptibilidad magnética versus Deformación.
- Figura V.32:** Susceptibilidad magnética vesrus Venas de Cuarzo.
- Figura V.33:** Susceptibilidad versus Mineralización.
- Figura V.34:** Ubicación de los pozos dentro del yacimiento Argentinita.
- Figura V.35:** Ubicación de las muestras en el pozo ARGDD024. Susceptibilidad versus Litología Principal.
- Figura V.36:** Augen Gneiss (Holcombe 2006), muestra de mano.
- Figura V.37:** A la izquierda porfiroclastos de microclima fracturada en matriz milonítica rica en filosilicatos, a la derecha ribbons de cuarzo también en matriz milonítica. Polarizadores cruzados, ancho de las imágenes = 1.8 mm.
- Figura V.38:** Cristales euhedrales de magnetita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen = 1.2 mm.
- Figura V.39:** Testigo de Augen Gneiss (Holcombe 2006).
- Figura V.40:** A la izquierda fracturación cataclástica y red de venillas con sericita, a la derecha ribbon de cuarzo y matriz muy rica en sericita en milonita félsica. Polarizadores cruzados, ancho de las imágenes = 1.8 mm.

- Figura V.41:** Izquierda y derecha cristales euhedrales de pirita transformados a óxidos e hidróxidos de hierro. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen = 1.2 mm.
- Figura V.42:** Testigo de Roca félsica deformada indiferenciada.
- Figura V.43:** A la izquierda cuarzo con extinción ondulante y evidencias de grain boundary migration. Matriz sericítica. Granos de feldespato alcalino. A la derecha cuarzo con extinción ondulante y evidencias de grain Boundary migration. Feldespato alcalino mesoprítico. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.
- Figura V.44:** Izquierda y derecha cristales euhedrales de pirita transformados a óxidos e hidróxidos de hierro. Pequeños cristales de magnetita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.
- Figura V.45:** Testigo de Monzonita.
- Figura V.46:** A la izquierda intercrecimientos micrográficos de cuarzo y feldespato alcalino. A la derecha juntas triples en feldespato. Clorita y carbonato secundario. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.
- Figura V.47:** Magnetita con incipiente transformación a hematita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen = 1.2 mm.
- Figura V.48:** Piroxenita, muestra de mano.
- Figura V.49:** Anfíbol pardo y feldespato alterado. Izquierda luz polarizada plana, derecha polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.
- Figura V.50:** A la izquierda ilmenita y pirrotina. A la derecha detalle de pirrotina con flanges de pentlandita. En el extremo izquierdo del cristal de pirrotina inclusión de calcopirita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.
- Figura V.51:** Ubicación de las muestras en el pozo DDHARG-07. Susceptibilidad versus Litología Principal.
- Figura V.52:** Diorita en muestra de mano.
- Figura V.53:** Juntas triples en plagioclasa y piroxeno. Típica textura granoblástica de granulita máfica. Luz polarizada plana izquierda y polarizadores cruzados derecha. Ancho de la imagen = 1.8 mm.
- Figura V.54:** A la izquierda ilmenita y magnetita. A la derecha ilmenita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.
- Figura V.55:** Vena de Cuarzo cizallada en muestra de mano.  
sericita, plegada. Luz polarizada plana a la izquierda y polarizadores cruzados a la derecha. Ancho de las imágenes 1.8 mm.
- Figura V.56:** A la izquierda cubos de pirita en matriz rica en clorita y sericita. A la derecha matriz rica en muscovita y
- Figura V.57:** Magnetita con transformación parcial a hematita (arriba izquierda) y pirita (centro). Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen = 1.2 mm.
- Figura V.58:** Máfica deformada indiferenciada en muestra de mano.
- Figura V.59:** A la izquierda porfiroclastos de cuarzo y plagioclasa en matriz foliada rica en muscovita-sericita y clorita. A la derecha porfiroclastos en matriz foliada rica en muscovita-sericita y clorita. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 2.4 mm.
- Figura V.60:** A la izquierda cristal de pirita y cristal de magnetita parcialmente transformado en hematita. A la derecha dos generaciones de cristales de magnetita, pequeños cristales euhedrales y gran cristal con parcial transformación a hematita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 0.8 mm.
- Figura V.61:** Diorita en muestra de mano.
- Figura V.62:** A la izquierda opacos, piroxeno parcialmente uralitizado y feldespato alterado. A la derecha Juntas triples en plagioclasa y piroxeno. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.
- Figura V.63:** A la izquierda en el centro de la imagen pirita, arriba a la izquierda ilmenita. Imagen derecha ilmenita mostrando características maclas laminares. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.
- Figura V.64:** Augen Gneiss en muestra de mano.

**Figura V.65:** A la izquierda y derecha feldespato alcalino pretectónico, con evidencias de fuerte deformación inmerso en una matriz foliada rica en finos opacos diseminados. A la derecha presencia de vena de clorita. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 2.4 mm.

**Figura V.66:** A la izquierda goethita en pseudomorfosis a magnetita. A la derecha idem anterior (Mt) y fina piritita (Py). Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 0.8 mm.

**Figura V.67:** A la izquierda vena de Augen Gneiss dentro de diorita (proyecto Argentinita). A la derecha el granito se deforma fácilmente dejando bloques angulares de gabro (Finlandia). Extraído de Holcombe (2007).

**Figura V.68:** Cambios en el comportamiento de la deformación en agregados de cuarzo-feldespato con la profundidad. Tomado de Passchier y Trouw (2005).

**Figura V.69:** Disposición de la alteración hidrotermal en un depósito tipo lode-gold. A, un caso simple con una vena de cuarzo o zona de cizalla. B, un caso complejo con varias venas de cuarzo o zona s de cizalla subparalelas muy cercanas. Extraído de Eilu et al. (1999).

**Figura V.70:** Izquierda piritita oxidada en cuarzo hidrotermal. Derecha piritita totalmente transformada a óxidos e hidróxidos de hierro con inclusión de oro nativo. Polarizadores cruzados. Ancho de la imagen = 1.8 mm (izquierda). Luz polarizada plana reflejada. Ancho de imagen = 1.2 mm (derecha).

**Figura VI.1:** Representación esquemática de ambiente cortical compresional – transpresional para depósitos de oro hidrotermal en términos de profundidad de formación. Modificado de Eilu et al. (1999).

**Figura VI.2:** Representación esquemática de ambiente cortical compresional – transpresional para depósitos de oro hidrotermal en términos de profundidad de formación y metamorfismo. Modificado de Goldfarb (2000).

**Figura VI.3:** Distribución de algunos de los mayores depósitos de oro mesotermal. Zonas más oscuras pertenecen a rocas precámbricas (Hodgson 1993).

**Figura VII.1:** Visión General del Proceso de Modelación. Modificado de Almolda Cardona (2007) .

**Figura VII.2:** Esquema de construcción de un Modelo Geológico en 3D.

**Figura VII.3:** Representación de la traza de un sondeo. Extraído de (Turner y Gable 2007).

**Figura VII.4:** Plantilla utilizada para el relevamiento de estructuras.

**Figura VII.5:** Georeferenciamiento de Mapa Geológico Interpretativo.

**Figura VII.6:** Imágenes en planta de la superficie topográfica utilizada. A la izquierda visualizada en forma de TIN y a la derecha con un postproceso de sombreado.

**Figura VII.7:** Vista isométrica del Mapa Geológico Interpretativo con relieve topográfico.

**Figura VII.8:** Ejemplo de interpretación con secciones horizontales.

**Figura VII.9:** Vista en planta de la distribución de los sondeos en la grilla de perforación del área de estudio.

**Figura VII.10:** Izquierda, línea de referencia para la construcción de secciones, Derecha: set de secciones con rumbo N240 y separación de 25m.

**Figura VII.11:** Perfil de colores de tipo de roca.

**Figura VII.12:** Visualización del perfil de colores de tipo de roca.

**Figura VII.13:** Perfil de colores según el tipo de deformación.

**Figura VII.14:** Visualización del perfil de colores según el tipo de deformación.

**Figura VII.15:** Filtrado de porcentajes menores a 20%.

**Figura VII.16:** Visualización del gráfico de barras de porcentaje de venas de cuarzo mayor a 20%.

**Figura VII.17:** Perfil d colores para tipo de estructura.

**Figura VII.18:** Visualización de estructuras geológicas.

**Figura VII.19:** Vista en planta de la ubicación de las secciones.

**Figura VII.20:** Sección tipo del Subdominio Roca Félsica

- Figura VII.21:** Vista isométrica del total de polígonos correspondientes al Subdominio Roca Félsica.
- Figura VII.22:** Sección tipo del Subdominio Roca Intermedia
- Figura VII.23:** Vista isométrica con el total de polígonos correspondientes al Subdominio Roca Intermedia.
- Figura VII.24:** Sección tipo del Subdominio Roca Máfica.
- Figura VII.25:** Vista isométrica con el total de polígonos correspondientes al Subdominio Roca Máfica.
- Figura VII.26:** Sección tipo del Dominio Roca Deformada.
- Figura VII.27:** Vista isométrica con el total de polígonos correspondientes al Dominio Roca Deformada.
- Figura VII.28:** Sección tipo del Dominio Lentes de Cuarzo.
- Figura VII.29:** Vista isométrica con el total de polígonos correspondientes al Dominio Lentes de Cuarzo.
- Figura VII.30:** Vista isométrica de la construcción de cuerpo tridimensional utilizando Build Wireframe.
- Figura VII.31:** Vista isométrica del sólido del Subdominio Roca Félsica.
- Figura VII.32:** Vista isométrica del sólido del Subdominio Roca Intermedia.
- Figura VII.33:** Vista isométrica del sólido del Subdominio Roca Máfica.
- Figura VII.34:** Vista isométrica del Dominio de Roca Caja.
- Figura VII.35:** Vista isométrica del Dominio de Roca Deformada.
- Figura VII.36:** Vista isométrica del Dominio de Lentes de Cuarzo.
- Figura VII.37:** Vista isométrica del Dominio de Roca Deformada + Lentes de Cuarzo.
- Figura VII.38:** Vista isométrica de los Dominios Geológicos + Mapa Geológico Interpretativo.
- Figura VII.39:** Diferencia entre principales rumbos aparentes de la deformación y las venas de cuarzo. Interpretación Geológica y a la derecha Representación en Modelo de Bloques. Extraído Noble (1992).
- Figura VII.40:** Ejemplo de una unidad geológica codificada dentro de un modelo de bloques. A la izquierda
- Figura VII.41:** Bloque de origen en verde y bloque final en rojo. Extraído de Micromine Training Manual (2009).
- Figura VII.42:** Ingreso de coordenadas de los centros de los bloques de origen y final.
- Figura VII.43:** Dimensiones del boque.
- Figura VII.44:** Modelo de bloques en blanco delimitado por Dominio Geológico de Roca Deformada.
- Figura VII.45:** Vista isométrico del Modelo de Bloques en Blanco
- Figura VII.46:** Elipsoide de búsqueda concordante con estructura geológica.
- Figura VII.47:** Esquema ilustrando los ejes de un elipsoide. Micromine Training Manual (2009).
- Figura VII.48:** Elipsoide de búsqueda utilizado.
- Figura VII.49:** Resultado del modelo predictivo para el Dominio Geológico de Lentes de Cuarzo.
- Figura VII.50:** Porcentajes de cuarzo estimados según el modelo predictivo, amarillo 10-30%, rojo 30-70% y violeta 70-
- Figura VII.51:** Modelo Geométrico versus Modelo Predictivo del Dominio Geológico de Lentes de Cuarzo.
- Figura VII.52:** Vista isométrica del Modelo Predictivo.
- Figura VII.53:** Distribución en planta de Modelo Predictivo.
- Figura VIII.1:** Diferencia de aspecto entre la Unidad Geológica Rocas Félsicas (Izquierda) y Rocas Intermedias (Derecha).
- Figura VIII.2:** Ejemplo relevante de variabilidad en la mineralización dentro de la Zona de Cizalla Zapucay (Cantera Zapucay Sur).

**Figura VIII.3:** En rojo arriba cristales lentiformes de cuarzo desarrollados en roca máfica cizallada, imagen microscópica con luz polarizada plana, ancho de la imágenes 1.8 mm. En rojo abajo sector del sondaje de donde se extrajo la muestra analizada (Proyecto Argentinita).

**Figura VIII.4:** Distribución de lentes de cuarzo en sondaje realizado en la Zona de Cizalla Zapucay (Cantera Knob Hill).

**Figura VIII.5:** En rojo distribución de lentes de cuarzo a escala cantera (Cantera Argentinita Sur).

**Figura VIII.6:** Posible explicación de la formación de lentes de cuarzo en el Yacimiento Argentinita (Modificado de Staling 2008).

**Figura VIII.7:** Planos S-C (Esquistocidad y Cizallamiento) (Modificado de Holcombe training module)

**Figura VIII.8:** Disposición de los lentes de cuarzo dentro de la zona de cizalla a escala de depósito y a escala de muestra de mano.

## **ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla III.1:** Cuadro de edades para la isla Cristalina de Rivara (Modificada de Eimer 2010).

**Tabla V.1:** Concentraciones medias en ppm para distintas litologías señaladas por Turekian & Wedepohl (1961), extraído de Siegel (1979).

**Tabla V.2:** Resultados del análisis químico por ICP-MS. En amarillo se señalan las muestras estudiadas en la sección de petrografía y calcografía.

**Tabla VII.1:** Ejemplo de archivo Collar (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).

**Tabla VII.2:** Ejemplo de archivo Survey (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).

**Tabla VII.3:** Tabla de códigos utilizada para la Litología Principal. En rojo se señalan las principales litologías presentes en el Yacimiento Argentinita según la descripción de los sondeos, las mismas son ingresadas en ingles tal cual están en la tabla.

**Tabla VII.4:** Ejemplo de archivo Litología Principal (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).

**Tabla VII.5:** Tabla de códigos de tipos de deformación.

**Tabla VII.6:** Ejemplo de archivo Deformación (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).

**Tabla VII.7:** Tabla de códigos con tipos de venas y composición.

**Tabla VII.8:** Ejemplo de archivo Venas de Cuarzo (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).

**Tabla VII.9:** Ejemplo de archivo Estructuras Geológicas (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).

**Tabla VII.10:** Ejemplo de archivo Estructuras Geológicas de Superficie (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).



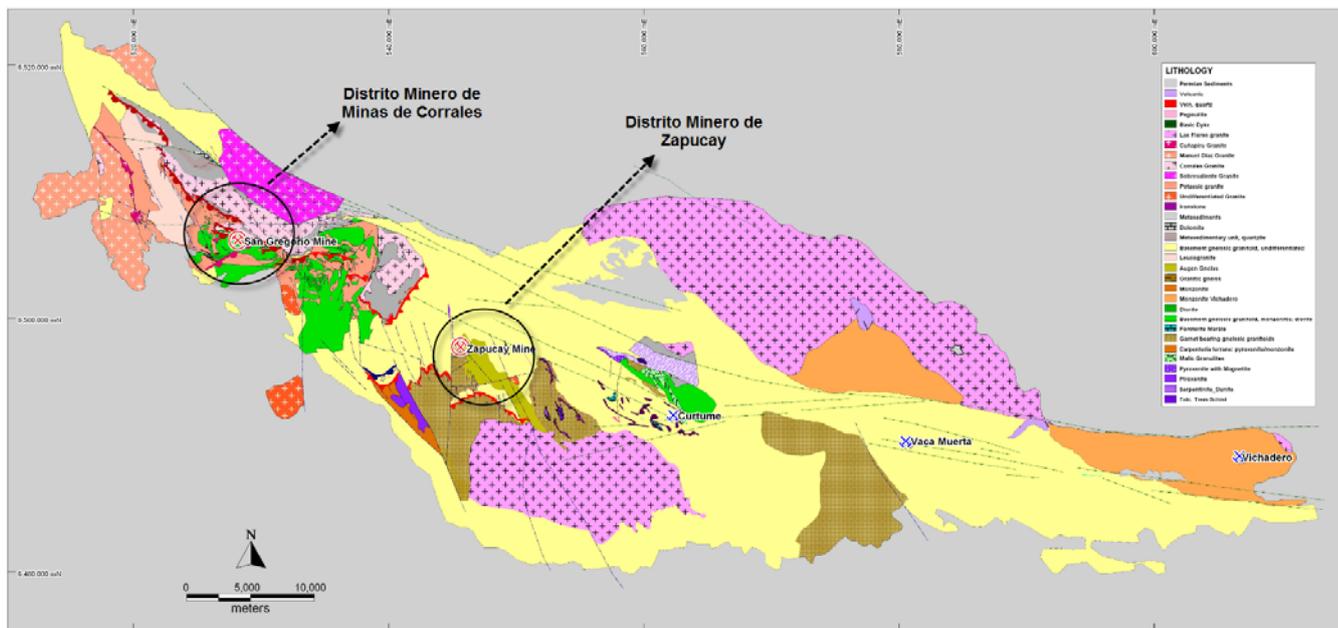
## **RESUMEN**

En este trabajo se presenta la metodología empleada para el diseño de un modelo geológico tridimensional para el depósito Argentinita de tipo orogénico comprendido dentro del Distrito Minero de Zapucay. El modelo resulta fundamentalmente de gran utilidad para la correcta estimación de recursos y posterior planificación de actividades mineras, pero también como punto de partida para futuras campañas de exploración. Los pasos utilizados en este trabajo intentan reflejar el proceso previo a la estimación de recursos. En un emprendimiento minero este proceso es de suma importancia. El mismo puede resumirse como el nexo entre los trabajos realizados por los geólogos de exploración y los trabajos a ser realizados por los ingenieros de minas, encargados de ubicar las reservas minerales existentes dentro de un yacimiento. Fueron tres los pasos fundamentales realizados. El primer paso abarcó la revisión y control de calidad de los datos que fueron utilizados. El segundo paso comprendió la caracterización geológica a través de mapeo geológico a escala 1/5.000; análisis de datos estructurales, de susceptibilidad magnética, petrográfico y calcográfico y de datos geoquímicos. Por último se generó un modelo geológico en 3D del yacimiento Argentinita.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El distrito minero de Zapucay se encuentra en la zona centro oeste de la Isla Cristalina de Rivera (Figura I.1). La misma es una ventana de basamento precámbrico rodeada de sedimentos continentales del Pérmico y de la Cuenca Mesozoica del Paraná ubicada en el Norte de Uruguay. Este distrito junto con los demás distritos de la Isla Cristalina de Rivera conforma una de las principales provincias metalogénicas del país. Las primeras actividades de prospección y explotación de oro en esta provincia fueron reconocidas a mediados del 1800, pero fue recién en 1878 cuando compañías francesas organizaron las actividades mineras y consolidaron el procesamiento del oro con la instalación de una planta motriz hidroeléctrica en el Arroyo Cuñapirú (Bossi & Navarro, 2000).



**Figura I.1:** Mapa geológico de la Isla Cristalina de Rivera mostrando la ubicación de los principales distritos mineros.

En particular, el distrito de Zapucay produjo 100.000 gramos de oro durante el período 1890-1916 (Bossi, 1978) y desde entonces hasta la actualidad ha sido el que ha generado mayor producción y el que posee mayor potencial después del distrito minero de Minas de Corrales.

La mineralización de oro en la provincia minera de la Isla Cristalina de Rivera ocurre en contextos geológicos muy diferentes. Estas diferencias estructurales y litológicas locales fueron importantes controladores en el momento de la ocurrencia de la mineralización. Lindqvist (2004) clasificó a los tipos de depósitos existentes en esta provincia en dos categorías, una donde una zona de cizalla controla el sistema hidrotermal y la ocurrencia de oro; y el otro donde el oro se encuentra en venas de cuarzo desarrolladas dentro de cuerpos graníticos. Según Lindqvist (2004) el depósito de Zapucay representa un sistema híbrido entre los mencionados anteriormente, por estar desarrollado en una zona de cizalla y por la ocurrencia de grandes volúmenes de cuarzo. Estos depósitos donde la mineralización está relacionada con estructuras de tipo cizalla y con la presencia de cuarzo, son denominados mundialmente de diferentes maneras, por ejemplo “*Mother Lode Veins, Greenstone Gold, Archean Lode Gold, Mesothermal Gold-Quartz Veins, Shear-Hosted Lode Gold, Low-Sulphide Gold-Quartz Vein, Lode Gold*”. Según Eilu et al. (1999) todos poseen un origen en común, todos se forman durante procesos de deformación compresional a transpresional en márgenes de placa convergentes durante orógenos acresionales o colisionales. Por este motivo se denomina a este conjunto de depósitos como de tipo Orogénico.

Los depósitos del distrito de Zapucay están comprendidos en una zona de cizalla de bajo ángulo que se encuentra plegada (Holcombe, 2007). Como ya fue mencionado, es notable la presencia de venas de cuarzo, en este caso expresándose principalmente como *lodes* (lentes). Si bien la continuidad individual de estos lentes parece no ser de gran expresión (en el orden de algunos metros), en su conjunto desarrollan un sistema que se

continúa a lo largo de decenas y hasta centenas de metros. La zona de cizalla afecta a una roca máfica con textura *salt and pepper* (sal y pimienta), y a una roca félsica porfirica, las que desarrollan una textura milonítica en las cercanías de la estructura principal. Ambas litologías componen parte del basamento y se les asigna una edad anterior a 1.98 Ga, edad que representa el evento responsable del metamorfismo de alto grado según Oyhantçabal et al. (2012). Las mismas fueron afectadas posteriormente por diversos procesos de deformación vinculados al Ciclo Brasileño de edad neoproterozoica y por la intrusión de cuerpos graníticos a fines de este evento (ver Capítulo III). Los depósitos de tipo orogénicos son la mayor fuente mundial de producción de oro (Figura I.2), y junto con los depósitos de placer son históricamente los más antiguos en ser explotados por poseer oro en su estado nativo (oro libre/visible). Esta característica es notable en el distrito de Zapucay.

En un principio estos depósitos se explotaron de forma artesanal, atacando las venas de cuarzo que afloraban en superficie. Cuando éstas se agotaban se continuaba mediante explotación subterránea por medio de galerías que alcanzaban profundidades de alguna decena de metros. Con el tiempo los métodos de liberación y recuperación de oro han evolucionado y se hace posible extraerlo no sólo del cuarzo, sino también separarlo de los sulfuros diseminados en la roca caja. Allí, el oro se encuentra dentro del mineral en forma de pequeñas partículas. Este avance genera que la roca caja que antes era descartada como ganga/estéril ahora pase a formar parte de la mena. O sea, que en este tipo de depósito en donde la roca caja generalmente se encuentra cizallada, se vuelve de suma importancia no sólo caracterizar los lentes de cuarzo, sino también a la zona de cizalla. Junto con la evolución de los métodos de explotación y recuperación del recurso de estos depósitos, evolucionan también los métodos de exploración. Una parte fundamental de este avance es la utilización de programas de computación mineros. Estos, brindan un sinfín de herramientas dentro de las cuales el modelamiento geológico en tres dimensiones es una de ellas, facilitando la visualización y comprensión del comportamiento del depósito. Aplicar estos avances para el depósito de Argentinita ubicado dentro del distrito minero de Zapucay es de suma importancia, tanto por la complejidad estructural que presenta, como por la importancia económica que posee para la empresa. Esto implica una revisión de un cúmulo de información almacenada durante muchos años que incluye información de superficie y principalmente de subsuperficie.

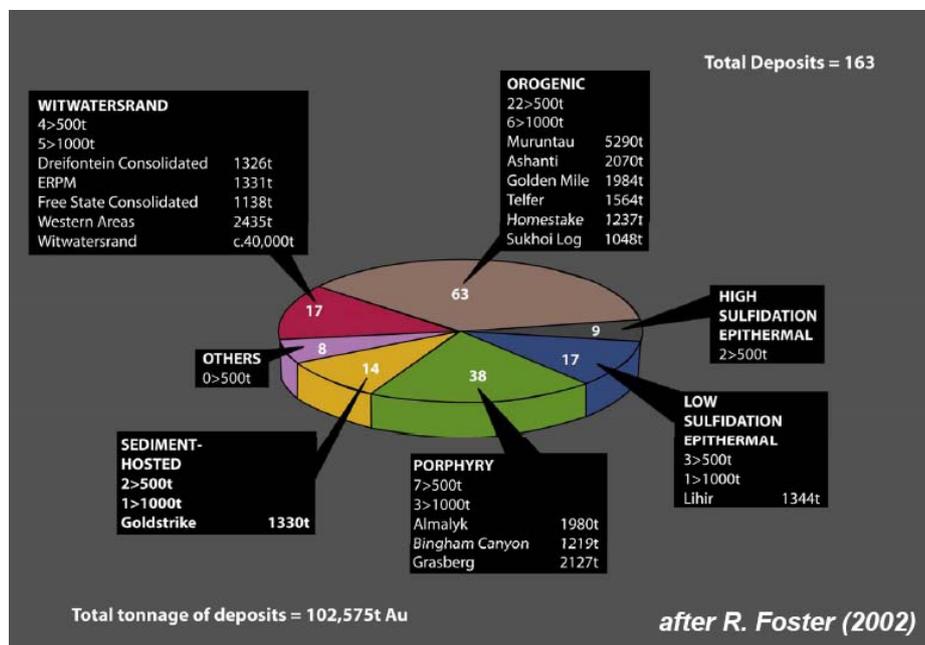


Figura I.2: Comparación entre diferentes tipos de depósitos de oro con concentraciones mayores a 100 toneladas del metal. Tomado de Foster (2002).

## I.1. OBJETIVOS

### I.1.1. Objetivos Generales

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un modelo geológico en tres dimensiones de la Zona de Cizalla Zapucay (definida en este trabajo) y los lentes de cuarzo inmersos en la misma, que corresponde a las principales estructuras mineralizadoras del depósito de Argentinita ubicado dentro del Distrito Minero de

Zapucay. Este modelo nos permitirá mejorar la visualización y la comprensión del comportamiento del yacimiento. Para lograr este objetivo se utilizará el programa *Micromine* con el que desarrollaremos todos los pasos necesarios en la confección de un modelo geológico. Abarcando, desde la confección de un mapa de superficie, pasando por la interpretación en 2D de sondeos, hasta el desarrollo del producto final, un modelo en 3D.

El objetivo secundario es el generar un antecedente dentro de nuestro territorio de este tipo de trabajo. El mismo corresponde a una etapa fundamental en la estimación de recursos minerales de un proyecto. Para esto existen geólogos especializados que se dedican al modelamiento geológico y cumplen la función de nexo entre la geología y la ingeniería minera.

### **I.1.2. Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Mapeo a escala 1/5.000 de la zona de estudio poniendo énfasis en las zonas donde se reconoce la estructura principal (zona de cizalla Zapucay).
- Reconocimiento y caracterización de las principales unidades y estructuras geológicas comprendidas dentro del depósito Argentinita.
- Clasificación del depósito Argentinita a partir de la información recavada.
- Construcción de un modelo geológico en 3D, utilizando el programa *Micromine*.

### **I.2. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO**

La zona de estudio esta ubicada en la Isla Cristalina de Rivera, en la 6ª sección judicial del Departamento de Rivera, República Oriental del Uruguay. Se encuentra cartografiada en las hojas G11 (Amarillo) y G12 (Las Flores) ambas a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar. El acceso principal a partir de Montevideo, es por la Ruta Nacional N° 5, recorriendo 440 Km. en sentido norte hasta el entroncamiento con la Ruta N° 29, situada junto a las Estación Manuel Díaz. En esta ruta se recorren 25 Km. hasta la Villa de Minas de Corrales. De allí hasta la zona de estudio, el acceso es realizado por la Ruta N° 28, en sentido sureste recorriendo 20 Km. hasta las proximidades del Cerro Papagayo, sumándose a este trayecto 9 Km. de camino no pavimentado en sentido este, hasta alcanzar la localidad de Zapucay (Figura I.3).

### **I.3. ASPECTOS FISIOGRAFICOS**

La zona se caracteriza en general por presentar un relieve ondulado de formas convexas, donde alternan pequeñas planicies aluvionales. Estas formas retratan las estructuras de las rocas subyacentes, facilitando las observaciones mediante fotografías aéreas e imágenes satelitales. El suelo presenta un perfil maduro, pudiendo variar en espesor conforme la posición del perfil topográfico y conforme la constitución química-mineralógica de la roca. La cota promedio en relación al nivel del mar (altitud) es de 230 m. Las cuchillas adyacentes a la zona son topográficamente inclinadas y suaves, presentando un buen drenaje superficial. Según Panario (1988) la zona de estudio pertenece a la unidad geomorfológica denominada Sierra del Este e Isla Cristalina de Rivera (Figura I.4) compuesta por un complejo de plegamientos y otros alzamientos. Esta región de sierras representa el paisaje con mayor energía de relieve existente en el país.

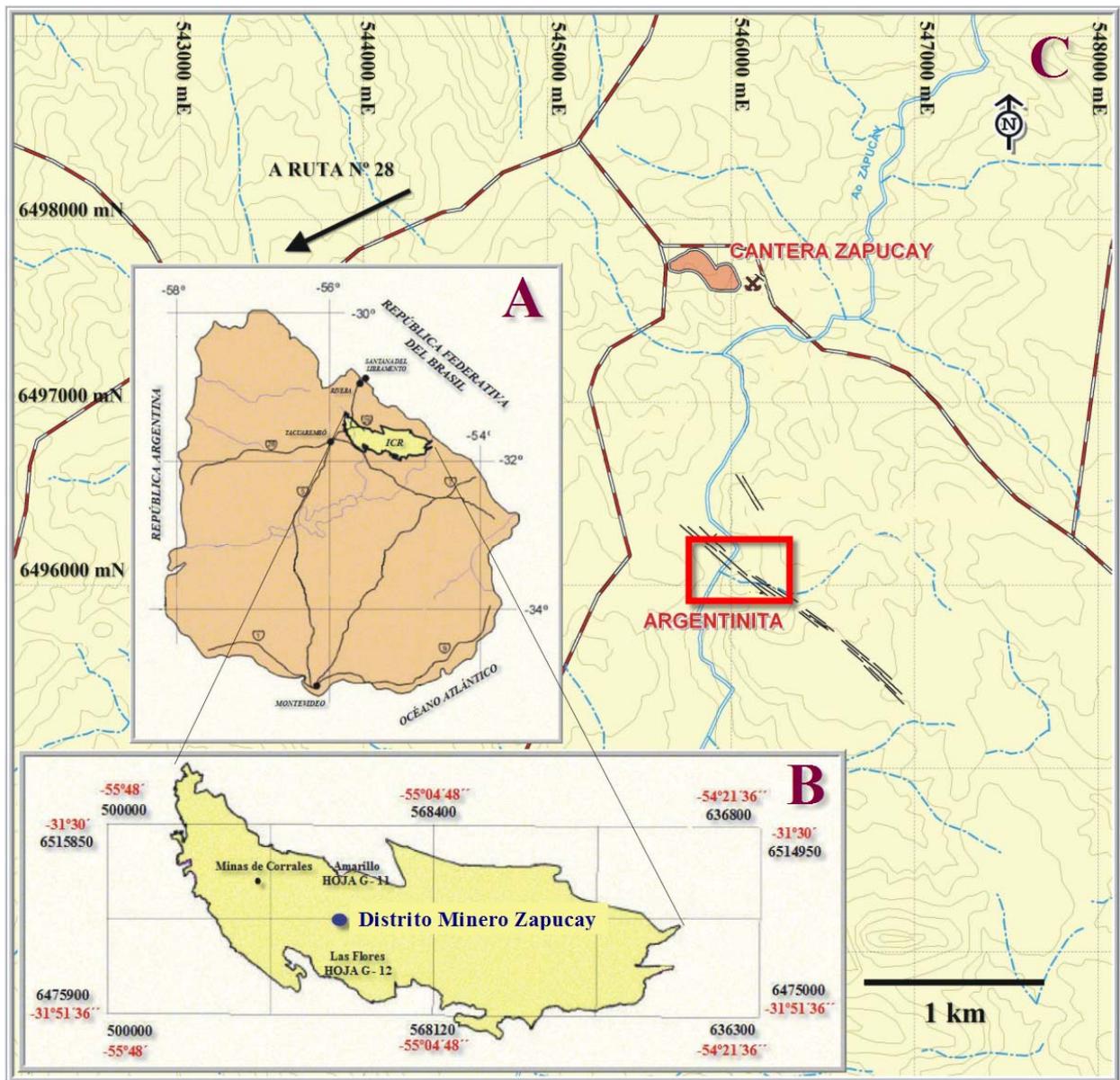


Figura 1.3: Ubicación de la zona de estudio: A) ubicación de la "Isla Cristalina de Rivera", B) ubicación del Distrito Minero Zapucay, y C) delimitación del área de estudio.

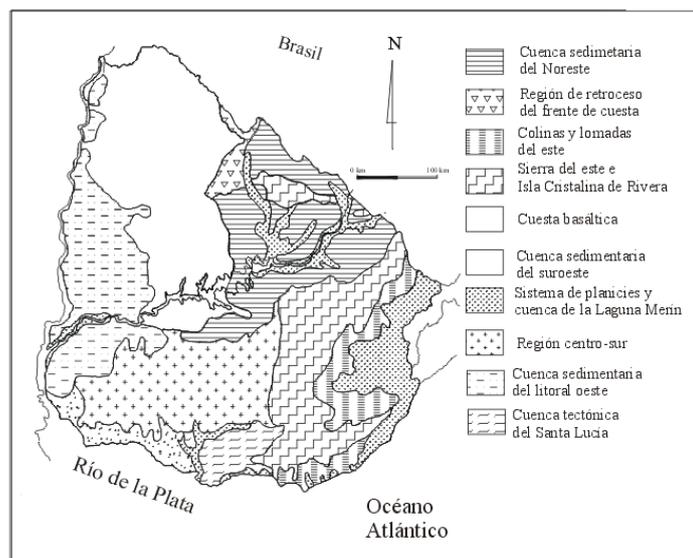
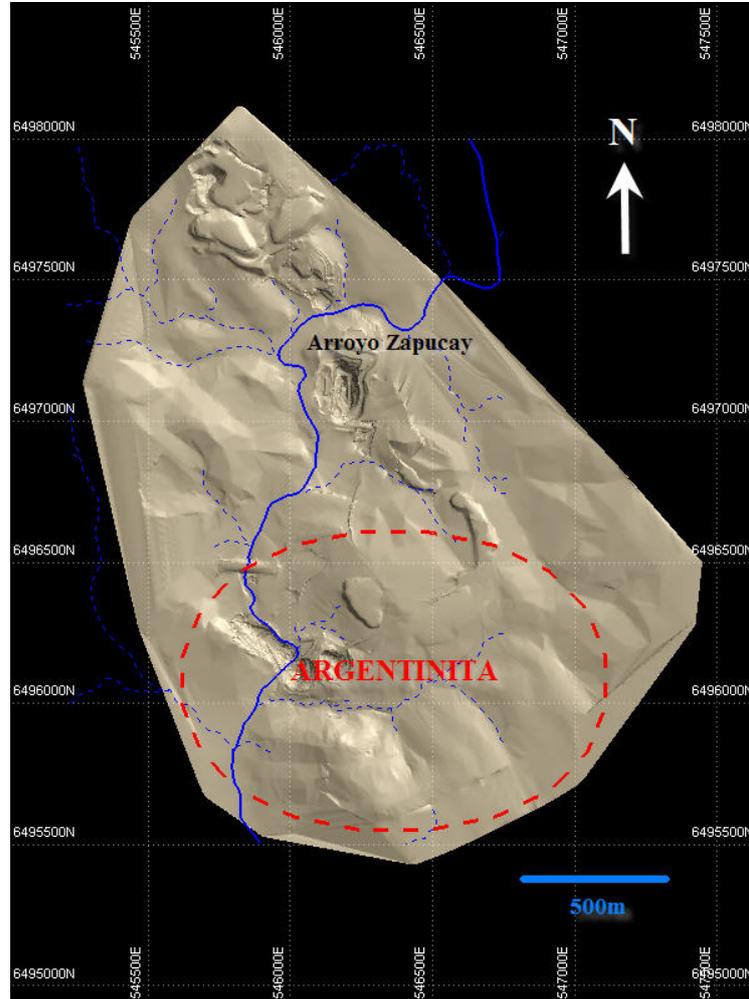


Figura 1.4: Mapa geomorfológico del Uruguay (tomado de Panario, 1988).

#### I.4. RED DE DRENAJE

La red de drenaje es densa y de tipo arborescente. El principal curso de agua es el arroyo Zapucay que atraviesa la zona de estudio de Norte a Sur (Figura I.5). Este curso generalmente corre sobre substrato rocoso en forma encajonada, cortando su propio depósito aluvional y depositando aluviones modernos de variada granulometría y litología en los lugares favorables.



*Figura I.5: Imagen topográfica en 3D con el delineamiento del Arroyo Zapucay y sus principales afluentes.*

## CAPITULO II

### METODOLOGÍA DE ESTUDIO

#### II.1. ETAPAS DEL TRABAJO

Para lograr los objetivos anteriormente mencionados fueron necesarias sucesivas etapas que serán mencionadas a continuación:

1) ***Revisión de antecedentes***

- Revisión de material disponible sobre el área de trabajo ya sea publicado o inédito. La mayor parte del material existente sobre la zona de trabajo pertenece a la empresa.

2) ***Base de datos***

- Traducir e ingresar datos de sondeos antiguos a una base de datos digital. En esta etapa es importante el control de calidad de los datos.

3) ***Mapeo de superficie***

- Mapeo a detalle de afloramientos poniendo principal énfasis en la intensidad de la deformación y en el relevamiento de medidas estructurales. Estudio de los primeros metros de sondeos realizados en zonas con poca densidad de afloramientos, con el fin de reconocer las litologías presentes. Elaboración de un mapa de afloramientos y mapa un interpretativo.

4) ***Análisis estructural***

- Análisis de las actitudes de la foliación, milonitización, cizallamiento, venas y fallas.

5) ***Análisis de datos geofísicos***

- Medición y análisis de la susceptibilidad magnética en dos sondeos de tipo diamantina de dos zonas estratégicas dentro del área de trabajo.

6) ***Muestras para análisis petrográfico y calcográfico***

- Elección y preparación de muestras para análisis petrográfico y calcográfico a partir de los sondeos de tipo diamantina anteriormente estudiados. Este análisis es fundamental para definir los tipos de roca comprendidos dentro del yacimiento, poniendo principal énfasis en su grado de deformación, hidrotermalismo, presencia de minerales metálicos y reconocimiento de los posibles protolitos. A su vez es importante para explicar ciertos comportamientos en el estudio de la susceptibilidad magnética.

7) ***Análisis geoquímico***

- Análisis de siete muestras por medio del método ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass-Spectrometry*). A partir de la concentración de Cr y Ni (elementos presentes con mayor concentración en rocas básicas, y en particular el Cr con concentraciones altas en rocas ultrabásicas) se intentará reconocer con mayor exactitud el protolito de las mismas.

8) ***Clasificación del tipo de yacimiento***

9) ***Modelamiento Geológico en 3D***

- Interpretación en 2D de secciones transversales a la superficie y construcción de sólidos en 3D a partir de las anteriores. Desarrollo de un modelo predictivo para establecer el comportamiento de los lentes de cuarzo dentro de la zona de cizalla.

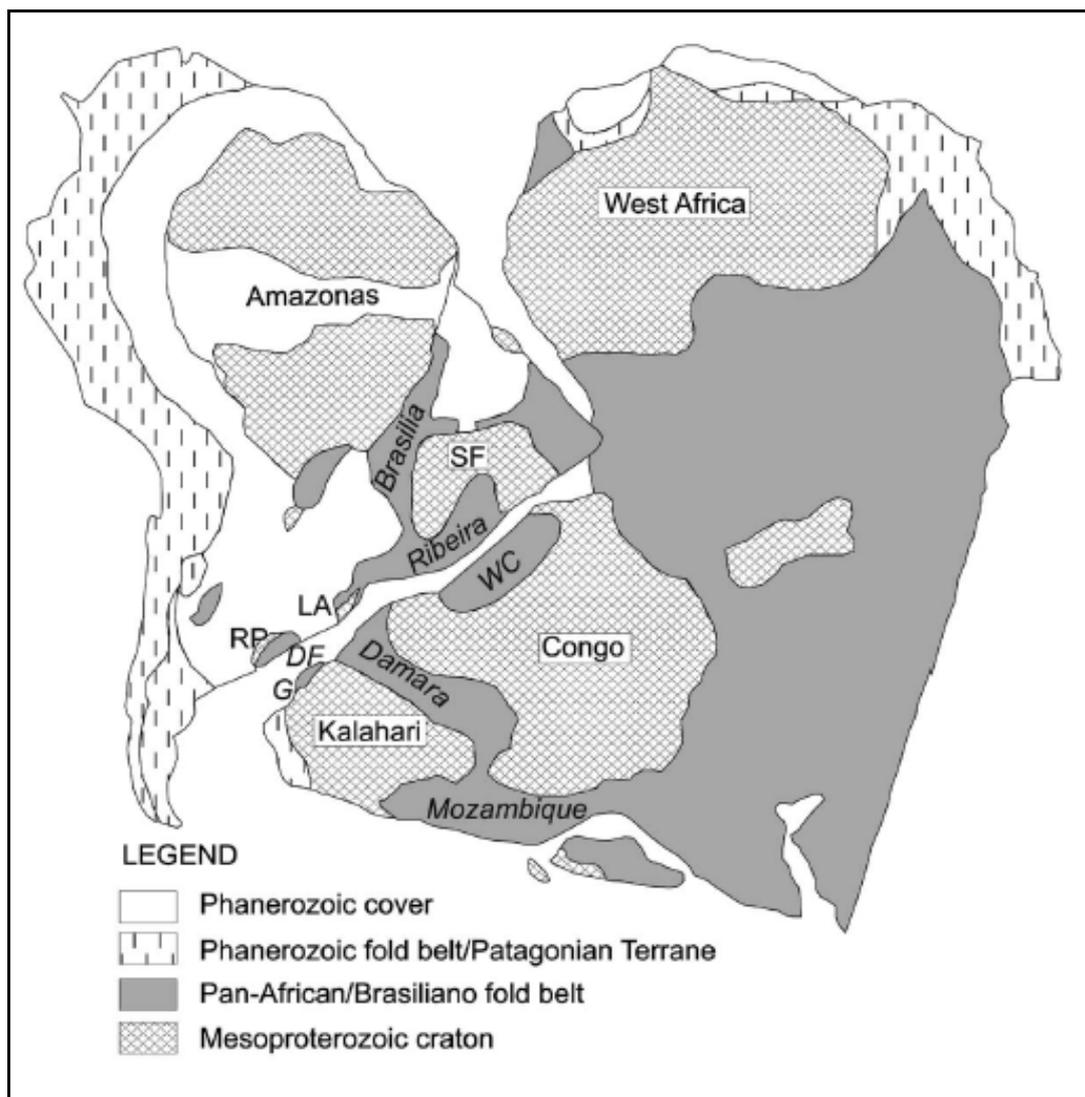
10) ***Interpretación integrada de los resultados y conclusiones***

## CAPITULO III

### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

#### III.1. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS REGIONALES

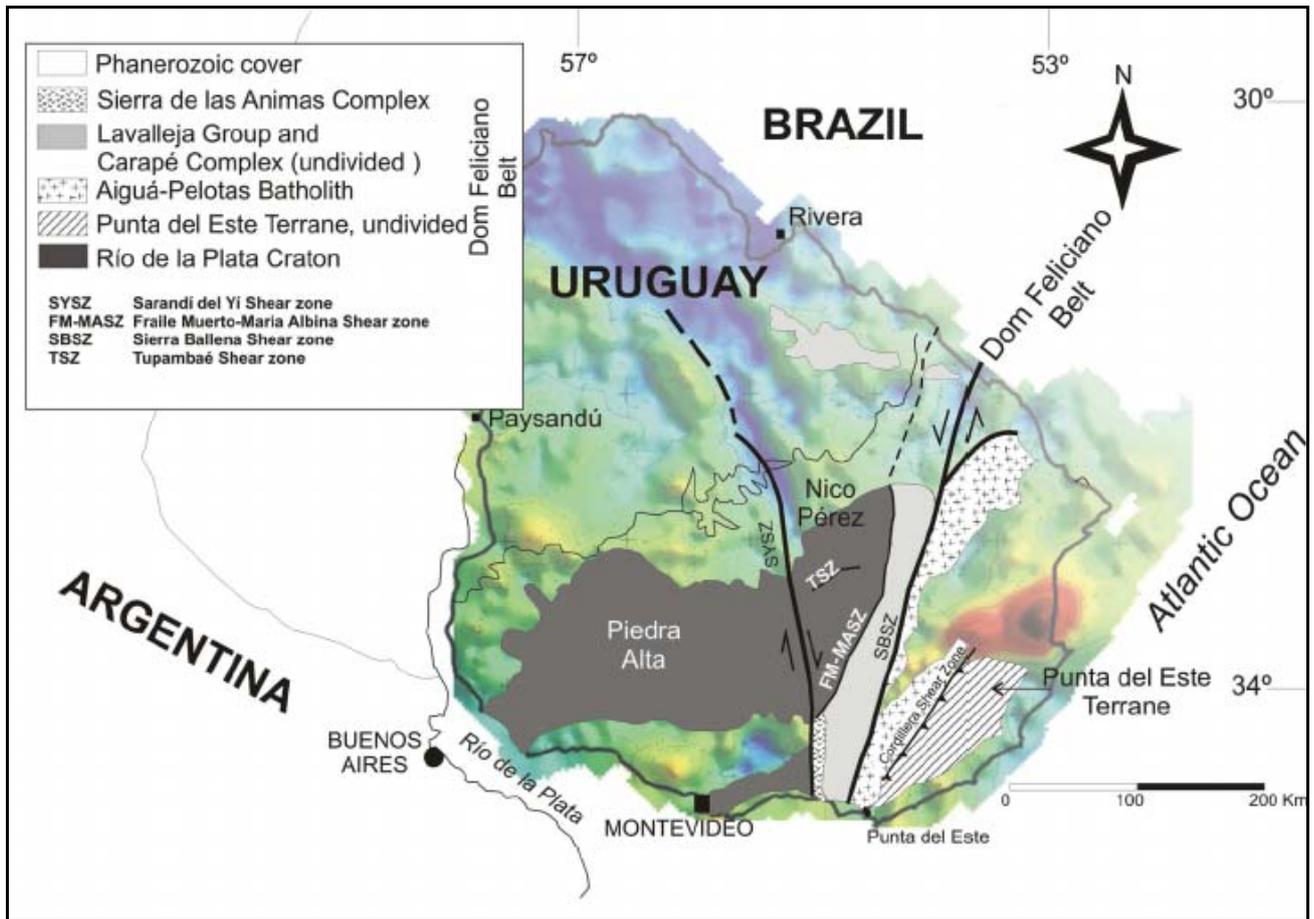
Según Almeida et al. (1973) la plataforma Sudamericana esta compuesta por dos componentes litosféricos, cratones y cinturones orogénicos, parcialmente cubiertos por cuencas sedimentarias. Son cinco los cratones paleoproterozoicos presentes en la región, Río de La Plata, Amazonia, São Francisco, São Luiz y Luis Alves. Basei et al. (2000) mencionan que la geometría sudamericana actual refleja un *collage* de distintos terrenos, que termina con el amalgamamiento del supercontinente Gondwana al finalizar las orogenias Brasiliana (900-620 Ma) y Río Doce (620 – 530 Ma), representadas por los cinturones Ribeira y Dom Feliciano (Figura III.1).



**Figura III.1:** Collage de cinturones móviles panafricanos rodeando cratones arqueanos y paleoproterozoicos de África y América del Sur (DF. Dom Feliciano; G. Gariep; LA, Luis Alvez; RP. Río de la Plata; SF, Sao Francisco). Extraída de Basei et al. (2005), modificada de Unrug (1996).

En Uruguay, el Cratón del Río de La Plata aflora principalmente en la zona oeste del territorio, mientras que el Cinturón Dom Feliciano lo hace al este (Figura III.2).

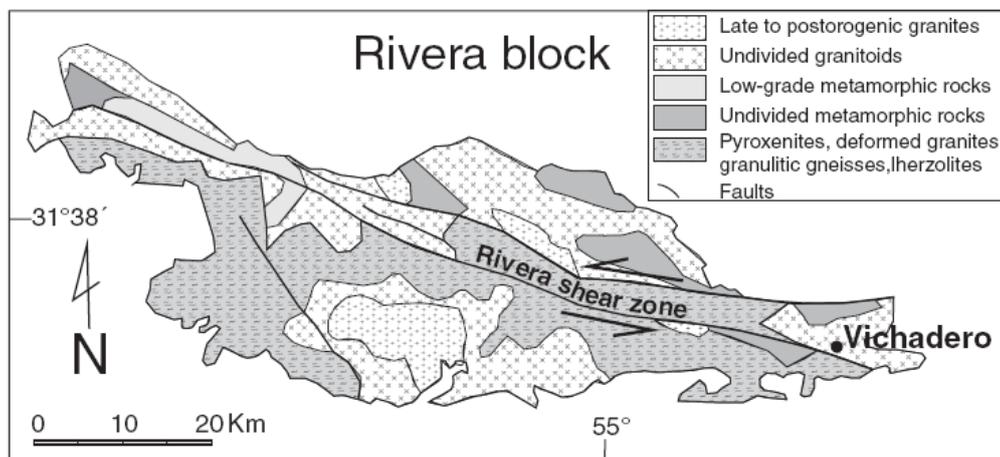
Los ciclos orogénicos registrados en Uruguay son el Ciclo Orogénico Transmazonico (entre 2.5-2.0 Ga) que afectó al Cratón del Río de La Plata, y el ciclo Orogénico Brasiliano-Pan Africano en donde el Cratón del Río de La Plata (según Basei et al., 2000) formó parte del dominio de antepaís.



**Figura III.2:** Principales unidades tectónicas de Uruguay – Terrenos tectonoestratigráficos Piedra Alta y Nico Pérez (Cratón del Río de la Plata) y Cinturón Dom Feliciano. Extraída de Sánchez Bettucci et al. (2010).

### III.2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DE LA ISLA CRISTALINA DE RIVERA

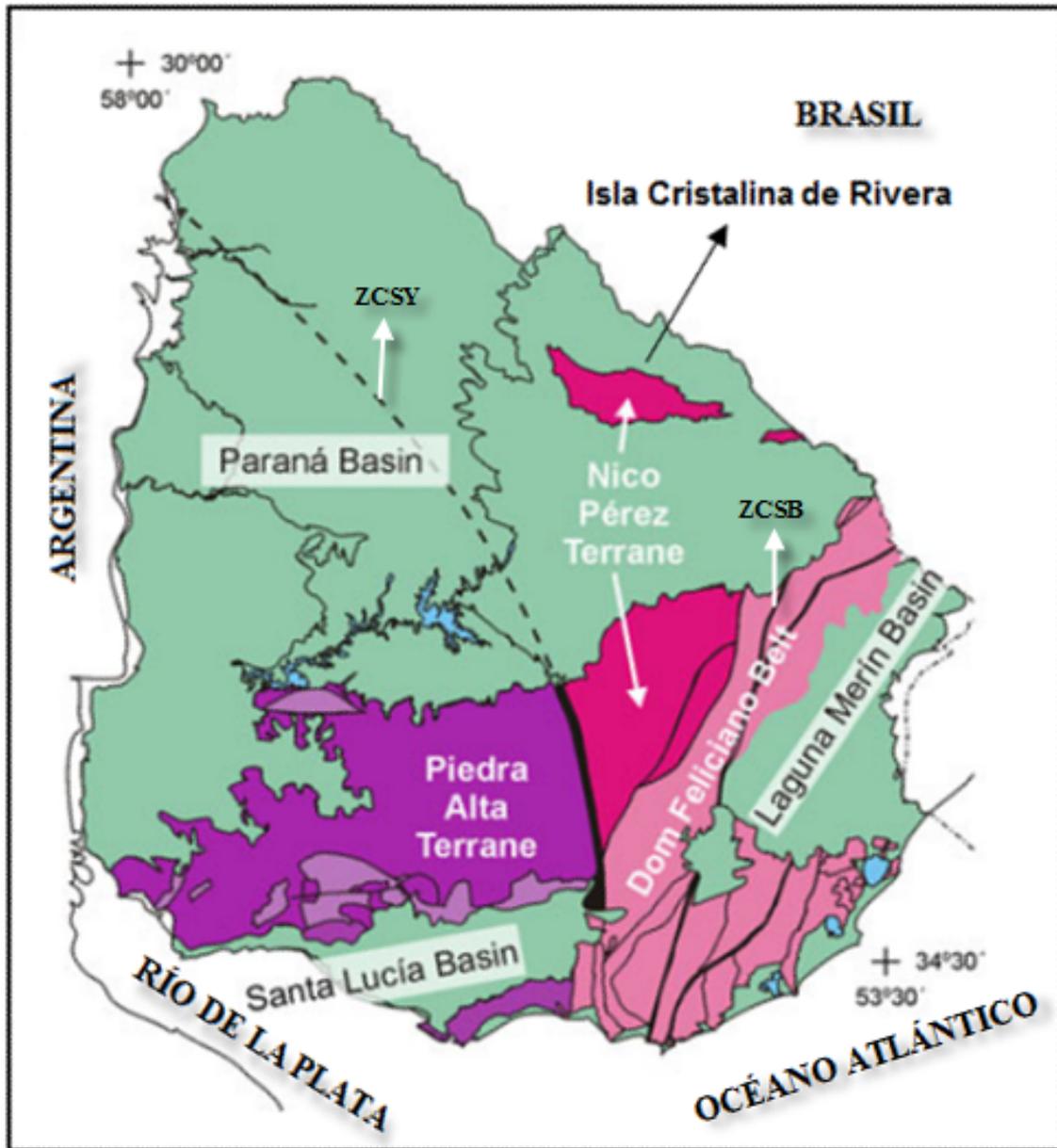
Según Almeida et al. (1973) el basamento de la Isla Cristalina de Rivera, ubicada al noreste del territorio (Figura III.2) formaría parte de una de las unidades que componen el cratón del Río de La Plata. El basamento de la Isla Cristalina de Rivera se encuentra en el Terreno Nico Pérez definido por Bossi y Campal (1992). Sánchez Bettucci et al. (2010) redefinen al Terreno Nico Pérez como Terreno Tectonoestratigráfico Nico Pérez manteniendo los límites de Preciozzi et al. (1979), e incluyendo a éste terreno dentro del Cratón del Río de La Plata, al igual que Almeida et al. (1973). Ubican a la Isla Cristalina de Rivera dentro de una subdivisión que denominan Bloque Rivera (Figura III.3).



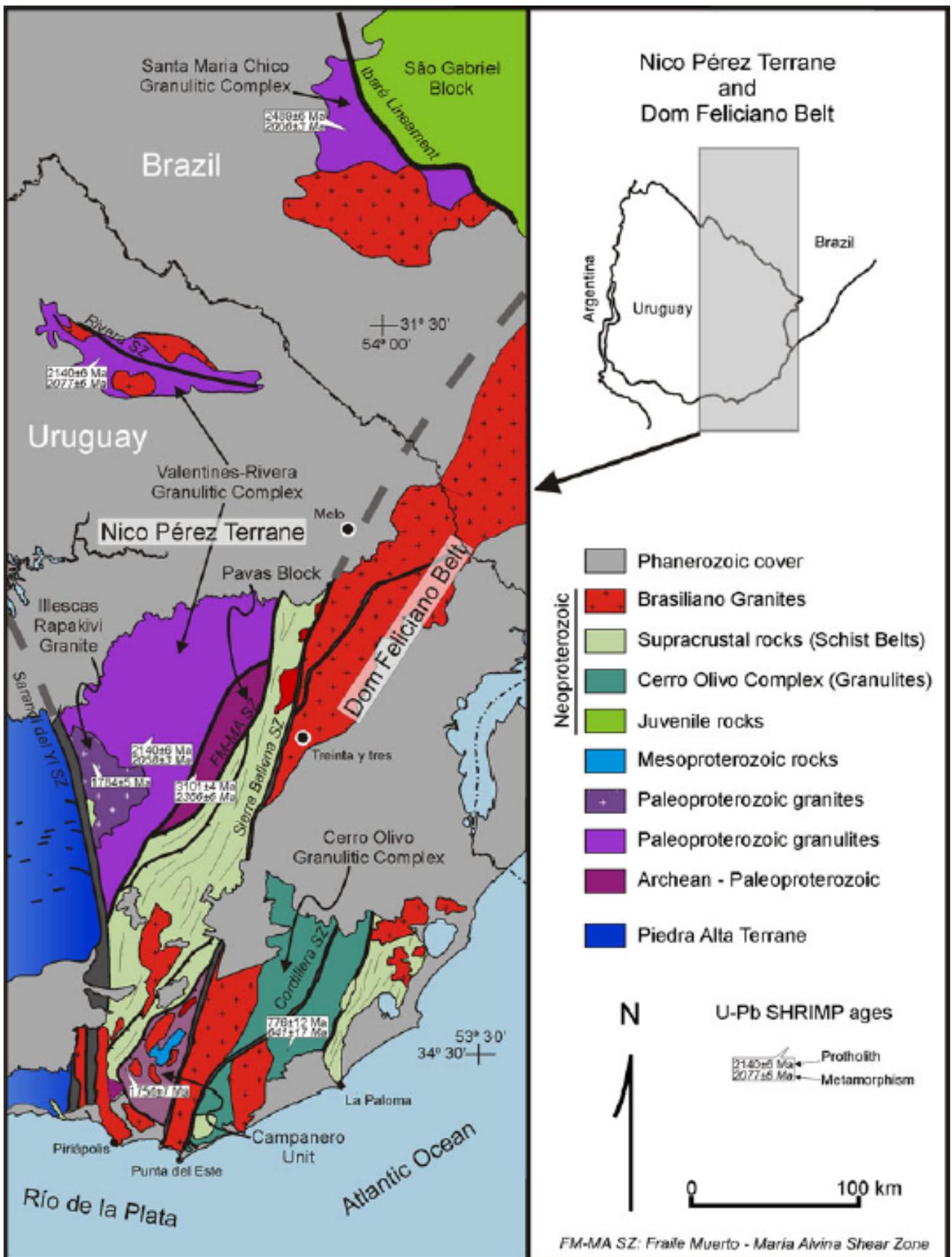
**Figura III.3:** Bloque Rivera según Sánchez Bettucci et al. (2010).

Oyhantçabal et al. (2011) separan al Terreno Nico Pérez del Cratón del Río de la Plata. Esto basado en un fuerte contraste en el comportamiento del Terreno Nico Pérez y del Terreno Piedra Alta frente al evento

tectonotérmico Brasiliano. Mientras que el primero sufre un retrabajamiento intenso, el segundo no muestra evidencias térmicas ni tectónicas neoproterozoicas (Figura III.4 y Figura III.5).



**Figura III.4:** Mapa geológico esquemático del Uruguay mostrando las principales divisiones geológicas. ZCSY (Zona de Cizalla Sarandí del Yi), ZCSB (Zona de Cizalla Sierra Ballena). Modificado de Oyhantçabal et al. (2011) y Sánchez Bettucci y Oyhantcabal (2008).



**Figura III.5:** Mapa geológico del Terreno Nico Pérez y continuidad del Cinturón Dom Feliciano (tomado de Oyhantçabal et al., 2010).

Realizando un breve resumen de los autores que trabajaron en la Isla Cristalina de Rivera podemos mencionar a Mac Millan (1931). Este autor diferenció tres unidades litológicas en las cercanías de Minas de Corrales: i) un basamento compuesto por gneisses y rocas esquistosas; ii) rocas intrusivas, compuestas por granitos félsicos y

granitos a biotita, y iii) rocas sedimentarias con bajo grado metamórfico. Ferrando y Fernández (1971) mencionaron la existencia de dos Islas Cristalinas en la zona norte del país denominándolas Cuñapirú-Vichadero y Aceguá, respondiendo a una estructura con rumbo N 70°O - 80° O. Preciozzi *et al.* (1985) identificaron granitoides tardi a postectónicos, granitos indiferenciados, un complejo basal, metamorfitas de bajo grado y ectinitas indiferenciadas para la Isla Cristalina de Rivera, posicionándolas en el Proterozoico medio. Reconocieron, además, la existencia de rocas metamórficas en facies granulita. Bossi y Navarro (1988), definieron para la Isla Cristalina de Rivera, un área oriental compuesta por granitos sinorogénicos, extensas áreas de migmatitas y restos de metamorfitas, y un área occidental en la cual ocurre el granito de Corrales con evidencias de deformación. Masquelin (1993) mencionó una importante orientación E-O de las estructuras deformacionales en la Isla Cristalina de Rivera, y la presencia de rocas paraderivadas con metamorfismo en facies granulita. Quadros *et al.* (1995) y Quadros (1995), caracterizaron como estructuras primarias aquellas con orientación principal ONO con inflexiones para azimuts NO, las cuales indican, según estos autores, un carácter transcurrente dextral. Las estructuras secundarias señaladas fueron aquellas con orientaciones NNO y NE, donde las estructuras NNO presentan un carácter transcurrente dextral, mientras que las NE tienen un carácter transcurrente sinistral. Posteriormente, Ellis (1998) definió la Formación Vichadero, una secuencia metasedimentaria y metavolcánica que habría sido depositada en un margen continental pasivo y posteriormente afectada por el ciclo Orogénico Transamazónico. Masquelin (2006) mencionó que la Isla Cristalina de Rivera está constituida por: i) un complejo metamórfico de alto grado, ii) una secuencia supracortical siliciclástica y carbonática poco deformada, y iii) granitos neoproterozoicos. La edad de 2.2 Ga indicaría la cristalización de ortogneises pertenecientes al complejo metamórfico de alto grado; mientras que, otra edad de 2.0 Ga señalaría un evento metamórfico posterior. Así también, la existencia de un magmatismo shoshonítico con edades ca. 580 Ma (granito Las Flores) también es mencionado por el autor. Cazaux (2009) propone para el origen del complejo metamórfico de alto grado un rift intracontinental. Esto último basado en evidencias de metamorfismo de alta temperatura y baja a media presión junto a la ocurrencia de tectonitas L, que sugieren un régimen deformacional extensional.

### III.2.1. Antecedentes Geológicos de la mineralización de oro

Martyn (2000) en el marco de un estudio geológico-estructural de la mineralización de oro en el área de Minas de Corrales, realizó una división en tres dominios estructurales. El dominio norte con rocas altamente deformadas, con metamorfismo de alto grado, e intruídas por granitos potásicos y sienitas. El dominio central con sedimentos marinos someros, moderadamente plegados y apoyados sobre un basamento compuesto por un granito alcalino. Este cuerpo granítico presenta a partir de una radiometría aereoportada (DIGHEM-CGG Canada Ltd. 1996) una fuerte respuesta en el canal de torio y potasio que lo delimita claramente de las otras unidades existentes. El dominio sur contiene rocas principalmente máficas en facies esquistos verdes. Estas últimas según Martyn (2000), podrían ser remanentes de rocas arqueanas de tipo *greenstone belt*. Además, propuso dos tipos de depósitos de oro, uno asociado a venas de cuarzo y zonas de silicificación en cuerpos intrusivos graníticos, y otro tipo a lo largo de zonas de cizalla y fajas miloníticas afectadas por un intenso hidrotermalismo. Baker (2006) a partir de la fotointerpretación de casi la totalidad de la Isla Cristalina de Rivera a escala 1:20.000, reconoció tres eventos deformacionales. El primero durante la orogenia Transamazónica (Proterozoico Medio) que generó metamorfismo y deformación dúctil representada por gneises que abarcan una extensa área de la isla. Dentro de estos se pudo reconocer granito-gneisses y bandas de *ironstones*. El segundo evento ocurrió durante el Proterozoico Tardío (Ciclo Brasileño) generando plegamiento en rocas volcánicas y sedimentarias. El mismo culminó con la intrusión del Granito Corrales. Este evento deformacional según Baker (2006) estableció el patrón actual de fallas. Posteriormente, según el mismo autor el Granito Las Flores (Preciozzi *et al.*, 1979) hizo intrusión en el sector central a finales del Proterozoico. El tercer y último evento deformacional se desarrolló durante el fin del ciclo Brasileño donde las direcciones de esfuerzo cambian y las estructuras anteriores son reactivadas, generando desplazamientos dextrales y fallas transtensionales con orientación NO. A este evento se le asocia el episodio principal de mineralización de oro.

Starling (2008) realizó un estudio estructural en el distrito minero de Minas de Corrales sobre el tren de deformación San Gregorio. Este autor propuso una evolución tectónica en cuatro eventos de deformación. Un

primer evento -D1 (2.2-2.0 Ga)- caracterizado por metamorfismo de alto grado y desarrollo de foliación dúctil. Un segundo evento compresivo -D2 (ca. 1200Ma) - con sentido NE-SO que habría generado estructuras con direcciones O-NO; evento que lo asocia a la colisión entre el Terreno Piedra Alta y el Terreno Nico Pérez. Un tercer evento -D3- caracterizado por compresión con sentido NO-SE probablemente desarrollado durante el ciclo Brasiliano que generó una zona transpresional dextral. Finalmente, un cuarto evento -D4- extensional a fines del Paleozoico y Mesozoico.

Holcombe (2006, 2007, 2008, 2009) realizó varios estudios detallados de las unidades litológicas que componen la Isla Cristalina de Rivera proponiendo así un nuevo marco de eventos. En el mapa geológico realizado por este autor se reconocen varias unidades. Un basamento denominado Complejo de Basamento (*Basement Complex*) dividido en dos secuencias. La superior compuesta por un conjunto de granitoides gnéisicos en facies anfibolita. La inferior se compone de una secuencia similar de granitoides gnéisicos pero con crecimiento de granates tardíos, posiblemente en facies granulita y remanentes de bloques bandeados ultramáficos limitados por fallas. Estas dos secuencias están separadas por una zona milonítica de espesor aparente de 100 m. El autor propone una edad Transamazónica para este basamento. Según este autor las áreas principales de mineralización se dan en el contacto tectónico antes mencionado. La parte NE se encuentra afectada por la zona de cizalla Rivera cuya orientación principal es E-O y presenta un desplazamiento sinistral de al menos 25 km. Sedimentos fanerozoicos se encuentran en contacto con rocas precámbricas hacia el sur y en contacto por fallas normales hacia el noroeste.

### III.2.2. Edades

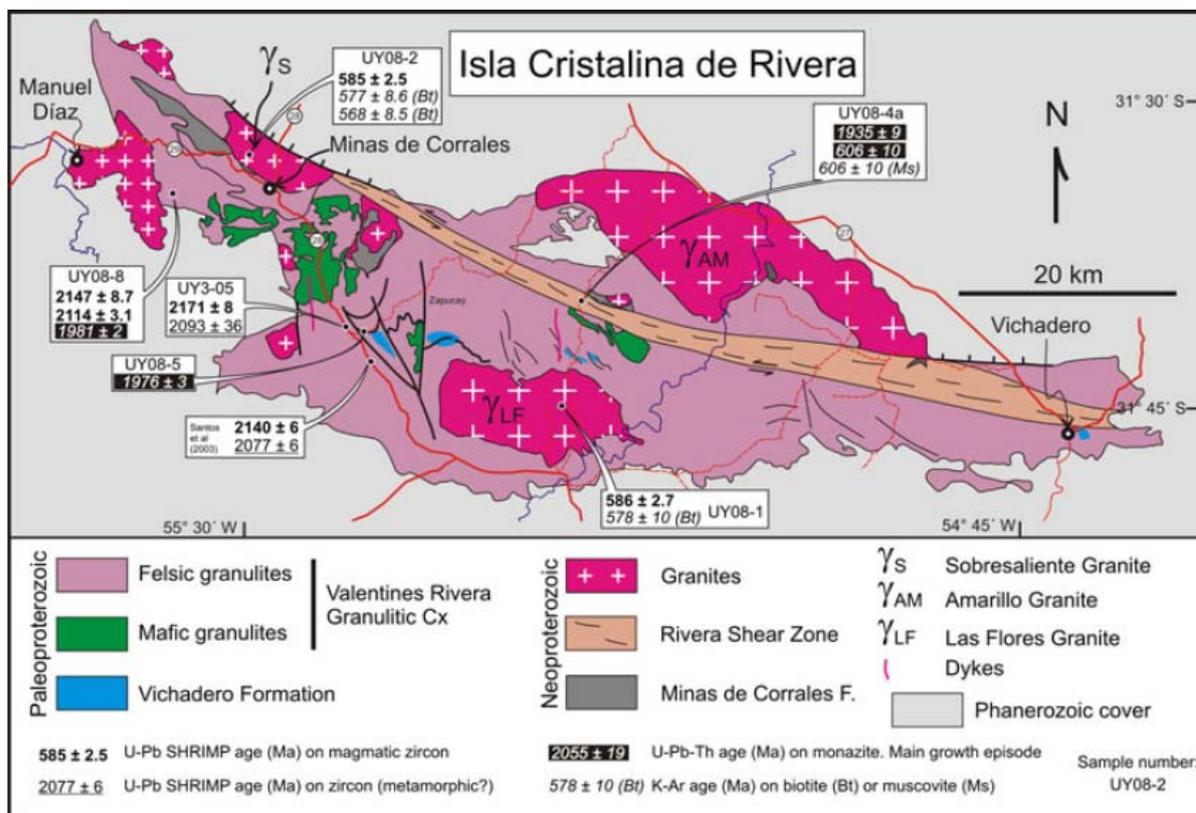
Las dataciones disponibles para esta región permiten evidenciar los principales eventos que afectaron a la Isla Cristalina de Rivera. Soliani (1986) y Cordani y Soliani (1990) propusieron que el ciclo Transamazónico fue el responsable del metamorfismo de los gneises del Complejo Basal (Preciozzi *et al* 1985) basados en una edad Rb-Sr (RT) de  $2.204 \pm 65$  Ma ( $R_0 = 0.703$ ). Los mismos autores obtuvieron una edad de  $680 \pm 22$  Ma ( $R_0 = 0.707$ ) por el método Rb-Sr para granitoides que estarían relacionados a episodios magmáticos sintectónicos del ciclo Brasiliano. Además de una tercera edad de 574 Ma ( $R_0 = 0.707$ ) perteneciente a los granitos tardíos a pos-tectónicos (Preciozzi *et al.*, 1985), y una cuarta edad relacionada con rocas subvolcánicas de 530 Ma, obtenida utilizando el mismo método. Hartman *et al.* (1998) a partir de dataciones U/Pb en circón por el método SHRIMP establecieron la existencia de una generación de corteza continental más antigua que el Complejo Basal de Preciozzi *et al.* (1985). La misma se habría formado en el ciclo Jaquí, entre 2.45 y 2.6 Ga. Santos *et al.* (2003) determinaron una edad de cristalización U-Pb (SHRIMP) de  $2.140 \pm 6$  Ma y una de metamorfismo de  $2.077 \pm 6$  Ma en una metatromhjemita localizada al este de la Villa de Minas de Corrales en las proximidades del Cerro Papagayo. Eimer (2010) aportó nuevas edades para la Isla Cristalina de Rivera y realizó una recopilación de las edades existentes proponiendo así un nuevo ciclo de eventos para la región como se muestra en la Tabla III.1.

Oyhantçabal *et al.* (2012) realizaron nuevas dataciones (U-Pb SHRIMP en circón, Th-U-Pb en monacita y K-Ar en muscovita), obteniendo los siguientes eventos magmáticos y tectonotérmicos para la Isla Cristalina de Rivera (Figura III.6):

1. Magmatismo a los 2.200-2.100 Ma (circones de ortogneises)
2. Un episodio de refusión magmática a los 2.100 Ma (metamorfismo de alta temperatura)
3. Episodio mayor de metamorfismo a los 1.980 Ma (evento granulítico pervasivo de alto grado)
4. Evento principal de cizallamiento a los 606 Ma (Zona de Cizalla Rivera)
5. Edad de 585 Ma para los granitos Las Flores y Sobresaliente, con evidencias que sugieren un enfriamiento rápido.

**Tabla III.1:** Cuadro de edades para la isla Cristalina de Rivara (Modificada de Eimer 2010).

Unidad Litoestratigráfica	Edad	Método	Tipo de Roca	Evento
<b>Mesozoico</b>	(??)  250 - 100 Ma  (??)			Secuencia volcano - sedimentaria sin metamorfismo (Ellis 1998)  Fallas normales E-O y N-S; desplazamiento < 50m; fallas de margen de la Isla Cristalina > 200m de desplazamiento (fallas de cuenca Paleozoica) (Holcombe 2007)  Sistema de fallas frágiles N-O y E-O de tipo <i>strike-slip</i> con sentido dextral (Holcombe 2007)
<b>Neoproterozoico</b>	585 ± 5 Ma 2087 ± 45 Ma 586 - 559 Ma 613 - 557 Ma 2161 ± 14 Ma 595 - 557 Ma 617 - (??) Ma** 617 - 596 Ma** 606,6 ± 10.1 Ma ~620 - 550 Ma (?)	U-Pb circón U-Pb circón K-Ar biotita U-Pb circón U-Pb circón K-Ar biotita U-Pb monacita U-Pb monacita K-Ar muscovita	Granito " " Granito " " " " "	Intrusión del Granito Sobresaliente  Núcleo heredado más antiguo. Edades de enfriamiento  Intrusión del Granito Las Flores  Núcleo heredado más antiguo Edades de enfriamiento  Sistema de cizallamiento / fallamiento Rivera (Principal zona de cizalla sinistral E-O, frágil-dúctil de tipo <i>strike-slip</i> con 25km de desplazamiento (Ellis1998, Holcombe 2007)  Procesos magmáticos o metamórficos en milonitas gnéicas del área del sistema de cizalla de Rivera  Edad de enfriamiento  Intrusión del Granito Corrales
<b>Paleoproterozoico</b>	2019 - 1941 Ma** 2074 - 2030 Ma** 2077 ± 6 Ma 2114 ± 3 Ma 2156 - 2134 Ma 2147 ± 9 Ma 2140 ± 6 Ma	U-Pb monacita U-Pb monacita U-Pb circón U-Pb circón U-Pb circón U-Pb circón	Meta-trondhjemita Granulita Meta-trondhjemita	Comienzo de inyección de fluidos y metamorfismo hidrotermal en la cuarta orogenia del Ciclo Transamazónico, posiblemente relacionado con yacimientos del NE de Sudamérica (Santos et al.2003)  Metamorfismo regional de alto grado relacionado a actividad magmática durante y después de la tercera orogenia del ciclo Transamazónico (Santos et al. 2003)  Metamorfismo en facies anfibolita a granulita relacionado a actividad durante la tercera orogenia del Ciclo Transamazónico (Santos et al. 2003)  Evento metamórfico o magmático desconocido (Granulita del basamento)  Intrusión del protolito de los granitoides gnéicos del basamento (Holcombe 2007)  Eimer (2010) Según Santos et al. 2003
** - posible distorsión del sistema U-Th-Pb-				



**Figura III.6:** Mapa Geológico de la Isla Cristalina de Rivera mostrando las principales unidades geológicas y la nueva información geocronológica, de Oyhançabal et al. (2012).

### III.3. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DEL DISTRITO MINERO DE ZAPUCAY

Según Quadros (2000) en el Distrito de Zapucay los mecanismos de deformación tienen un carácter más dúctil que en el bloque Oeste, debido a la ocurrencia de foliación milonítica y la presencia de gneises como una de las litologías principales. Según el Informe Final de Glendora S. A. (1990) el marco geológico del distrito minero de Zapucay está representado por un paquete de rocas supracorticales, volcánicas a subvolcánicas de naturaleza básica e intermedia con intercalaciones de niveles de rocas sedimentarias químicas (chert con hierro-manganeso-BIF?). Estas fueron sometidas a un intenso proceso de alcalinización y silicificación, y una posterior inyección de magmas graníticos cuarzo-monzoníticos en zonas de cizalla, imprimiendo un aspecto granito-gnéisico típico de regiones de corteza media. Reconoce como principales sistemas de estructuras regionales al cizallamiento EO (260° - 300°) y NS (350° - 20°). El sistema EO es el más antiguo y principal sistema de deformación de la Isla Cristalina de Rivera, y el sistema NS imprime una restructuración global e inyecta granitos tardíos. Ellis (1998) estudió el distrito minero de Zapucay poniendo principal énfasis en los yacimientos de Fe-Mn de los depósitos de Papagayo e Imán. Mencionó para la zona un basamento compuesto por una migmatita (rica en cuarzo y feldespato potásico), gneises graníticos milonitizados y subordinadamente anfibolitas y “píroxenitas”. Baker (2006) ubicó al distrito minero de Zapucay dentro del dominio Zapucay – Las Flores, una angosta zona de gneises dúctilmente deformados con dirección N–NO los cuales contienen intrusiones tardías. Específicamente el distrito minero de Zapucay se ubica en el sector NO de este dominio, referido como Zaballa–Zapucay. El mismo contiene al granito Bengoechea y está limitado hacia el sur por el granito Las Flores, ambos afectados por fallas y cizallamiento durante el Proterozoico. Vidal (2009) realizó un mapa del área de cerro Papagayo que incluye una porción del distrito minero de Zapucay. El autor observó una alternancia de gneises félsicos e intermedios y rocas máficas. Asociadas a las mismas se aprecian formaciones de hierro bandeadas (BIFs) y litologías pertenecientes al Complejo Granulítico de Rivera (Cazaux, 2009). También observa la aparición de rocas con un alto contenido de piroxeno, a veces presentando una fuerte anomalía de Cr/.

### III.4. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE CIZALLA ZAPUCAY

#### Antecedentes Geológicos

Según el Informe de Glendora S. A. (1990) el depósito aurífero de Zapucay está relacionado a milonitas y gneises miloníticos. También se estableció que la zona mineralizada tiene como protolito a una roca granítica porfírica de naturaleza cuarzo-monzonítica con matriz fina. Ésta sufrió intensa alcalinización y silicificación durante evento mineralizante, y en la evolución de la deformación sufrió también plegamiento y fallamiento. Este mismo informe define a la zona mineralizada como compuesta por vetas de cuarzo y rocas encajantes alteradas. La veta principal presenta una potencia entre 1 a 2.5m. Los contactos con las rocas encajantes están representados por fallas y la estructura general es concordante. Las rocas encajantes cuarzo-monzoníticas además de estar recortadas por vetas de cuarzo presentan mayor deformación en las zonas próximas a la veta principal. Esta zona con mayor deformación puede alcanzar espesores de 8m y presentar mineralización de baja ley.

Lindqvist (2004) clasificó a los yacimientos de Zapucay y Argentinita como de tipo *shear zone hosted gold deposits*, y señaló que ambos están relacionados a la misma estructura regional. Holcombe (2006) mencionó que en el área de Zapucay–Argentinita ocurre una zona de cizalla de alto *strain* y de bajo ángulo. El oro, según Holcombe (2006) se asocia a grandes vetas de cuarzo dentro de una zona de cizalla y a la zona adyacente con alteración potásica (Figura III.7). La zona de cizalla posee inclinaciones moderadas que se vuelven subhorizontales en pliegues con ejes hundiendo al SE. La mina de Zapucay se sitúa en la charnela de una gran sinforma abierta mientras que el prospecto Argentinita lo hace en el flanco adyacente. Un conjunto de fallas de comportamiento frágil y rumbos SO disectan y desplazan a la zona de cizalla (Figura III.8).



Figura III.7: Vena de cuarzo plegada dentro de la zona de cizalla.

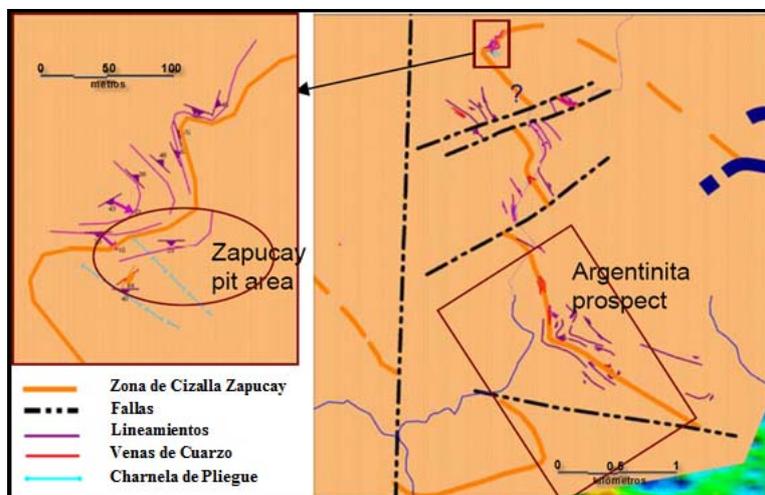
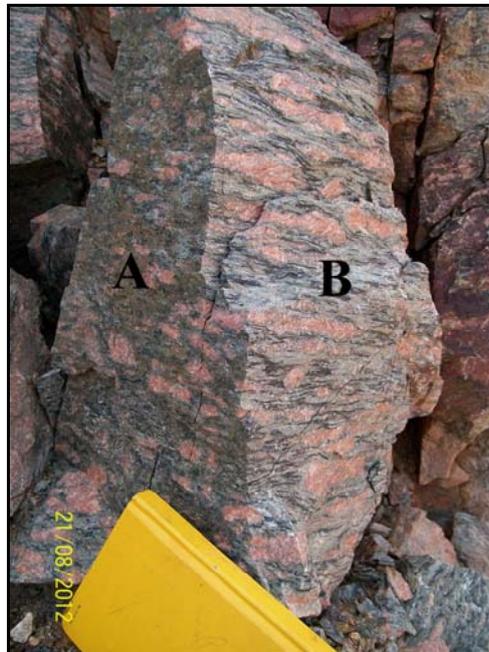


Figura III.8: Mapa estructural de la zona de cizalla Zapucay, modificado de Holcombe (2006). Elipse: Cantera Zapucay; rectángulo: prospecto Argentinita.

Según Bergalli (2006) la mineralización en Argentinita esta relacionada a una zona de cizalla de bajo ángulo y plegada. Esta estructura presenta un tren de deformación con azimut NNO (330°-340°) y buzamientos entre 20°-30° al NE-E (Figura III.9). La alteración de la zona mineralizada se compone de niveles silicificados, cloritizados, carbonatados, sericitizados y sulfurados. El oro se asocia principalmente a los niveles de pirita distribuidos en esa faja milonítica que presenta espesores de aproximadamente 25m. Las rocas afectadas por la faja milonítica son *augen* gneis (Figura III.10) en contacto con rocas máficas.



**Figura III.9:** Foliación con bajo ángulo de buzamientos (menor a 45°) en el Distrito Minero de Zapucay.



**Figura III.10:** Augen Gneis según Holcombe (2006), (A) perpendicular a la lineación y (B) paralela a la misma.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE LOS DATOS

#### IV.1. PROCESAMIENTO Y MANEJO DE DATOS

##### IV.1.1. Introducción

Hoy en día la compañía posee una base de datos digital en la cual se encuentra la mayor parte de la información geológica disponible de todos los proyectos que posee. Existen algunos proyectos principalmente aquellos con una antigüedad mayor a los cinco años que están en proceso de digitalización para su posterior ingreso a la nueva base de datos. Uno de ellos es el proyecto de Argentinita. El procedimiento regular de manejo de datos desde su relevamiento, pasando por su procesamiento y su posterior utilización, se realiza de la siguiente manera:

- **Relevamiento** de datos en el campo e ingreso de los mismos en planillas (formato digital o formato papel) o en libreta de campo.
- **Ingreso** de los datos a la base de datos, de forma manual o digital. Todos los datos ingresados son codificados previamente.
- **Exportación** de los datos desde la base de datos al software específico, según las necesidades de cada área de trabajo.
- **Utilización** de los datos mediante software.

En el caso de este trabajo además del procedimiento regular de manejo de datos, por la antigüedad del proyecto, fue necesaria la actualización de datos antiguos archivados en formato papel.

##### IV.1.2. Base de Datos

Una base de datos o banco de datos (en ocasiones abreviada con la sigla *BD* o con la abreviatura *b.d.*) es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. Actualmente, y debido al desarrollo tecnológico de campos como la informática y la electrónica, la mayoría de las bases de datos están en formato digital (electrónico), lo cual ofrece un amplio rango de soluciones al problema de almacenamiento de los mismos. Existen programas denominados sistemas gestores de bases de datos, abreviados SGBD, que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada. Las aplicaciones más usuales son para la gestión de empresas e instituciones públicas. También son ampliamente utilizadas en entornos científicos con el objeto de almacenar la información experimental.

Según la variabilidad de los datos almacenados podemos clasificar a las bases de datos en:

*Bases de datos estáticas.* Son bases de datos de sólo lectura, utilizadas fundamentalmente para almacenar datos históricos que posteriormente se pueden utilizar para estudiar el comportamiento de un conjunto de datos a través del tiempo, realizar proyecciones, tomar decisiones y realizar análisis de datos para inteligencia empresarial.

*Bases de datos dinámicas.* Éstas son bases de datos donde la información almacenada se modifica con el tiempo, permitiendo operaciones como actualización, borrado y adición de datos, además de las operaciones fundamentales de consulta.

##### IV.1.3. Base de Datos OMI (*Orosur Mining*)

*Fusion* es el sistema gestor de base de datos dinámica diseñado por *Century Systems Technologies* que dispone OMI para almacenar datos obtenidos desde las diferentes actividades vinculadas a la exploración geológica y minera. Este sistema está estructurado según los requerimientos establecidos por OMI para almacenar, administrar y compartir los datos de información geológica y administración de laboratorios.

Estas tareas se realizan a través de las aplicaciones:

- *DHLogger* – Información de sondeos.

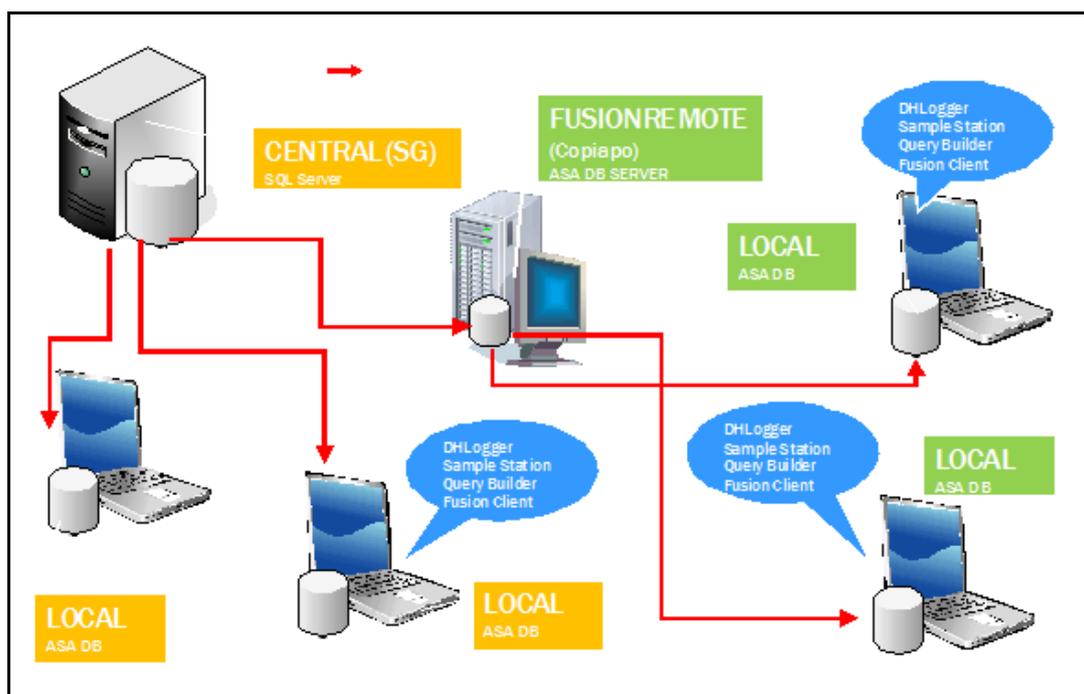
- Sample Station – Información de muestras de superficie.
- Fusion Client – Administración de flujo de información- es la conexión entre base local-base central ó bien base *local-Fusion Remote*.
- QueryBuilder – Consulta a base de datos.
- Fusion Administrator – Configuración y Mantenimiento de la base de datos.
- Fusion Scheduler – Permite transferencias programadas de datos entre base de datos *Central* y *Fusion Remote*.

Todos los datos administrados por estas aplicaciones, son almacenados en una sola base de datos.

#### IV.1.3.1. Fusion OMI

Visión general del sistema implementado para OMI (Figura IV.1):

- Una base de datos Central (base de datos *SQL Server*) ubicada en Minera San Gregorio, Minas de Corrales, Rivera–Uruguay, que almacena todos los datos. Es la base de nivel más alto.
- Una base de datos Fusion Remote (base de datos *adaptive Server anywhere*) ubicada en Santiago de Chile. Es la base de nivel intermedio.
- Base de datos Locales (base de datos *adaptive Server anywhere*) ubicadas en cada PC de lugar de trabajo. Son las bases de nivel más bajo.



**Figura IV. 1:** Funcionamiento de Fusion para OMI (extraído de curso de capacitación interno realizado por Century Systems Technologies).

#### IV.1.4. Traducción, Ingreso y Exportación de Datos del Yacimiento Argentinita

El yacimiento de Argentinita fue definido a partir de más de un programa de perforación, realizados de forma discontinua en un intervalo de tiempo que va desde el año 2004 hasta el 2013. A lo largo de este período los códigos y formatos de las planillas de registro geológico han cambiado. En este sentido es necesario realizar la Traducción de los códigos antiguos a los códigos actuales, esto implica interpretar lo que en su momento el geólogo a cargo de la perforación quiso describir. Para esto fue necesario revisar los sondeos antiguos y compararlos con las nuevas descripciones que se realizan hoy en día. Así pudimos traducirlos e ingresarlos para después, al momento de modelar, poder visualizar e interpretar información que se corresponda una con otra. Para contar con la información completa del Proyecto de Argentinita fue necesario traducir la descripción de los

sondeos realizados comprendidos en el período entre el año 2004 y 2007. En total fueron traducidas 299 planillas de registro geológico y posteriormente ingresadas a la base de datos. Los registros antiguos se caracterizan por poner más énfasis en los comentarios. La descripción del intervalo de interés se hace en forma de un breve resumen de lo observado y unos pocos códigos utilizados para la información más relevante (Figura IV.2). Hoy en día si bien se siguen archivando los registros en formato papel, los códigos pasan a jugar un papel más importante ya que toda la información esta codificada y los comentarios pasan a ser secundarios, sólo para puntualizar algún aspecto en particular (Figura IV.3). Esto sucede por la incorporación de bases de datos digitales, las mismas tienen asignadas para cada información un código determinado. Todas las características relevantes en una descripción litológica tiene un código asignado, así el ingreso de datos a la base es mucho más sencilla y esta disposición de la información nos permite posteriormente visualizarla en los software de modelamiento encendiendo o apagando solamente aquellos atributos que nos sean de interés.

Figura IV.2: Planilla de registro geológico antigua empleada por la empresa.

Figura IV.3: Planilla de registro geológico actual empleada por la empresa.

Seguido a la traducción, se realiza el Ingreso de los datos a la base de datos, este procedimiento se hace a través de la aplicación *DHLogger* del sistema *Fusion*. Para esto es necesario y obligatorio llenar algunas tablas, además de las tablas con las descripciones litológicas, las mismas son:

\_ *COLLAR*: En esta tabla se ingresa por ejemplo el nombre del proyecto, en que distrito minero se encuentra, en que región, tipo de perforación, diámetros de perforación, profundidad final de la perforación, fecha de inicio y fin de la perforación, máquina con la cual se perforó, etc.

\_ *LOCATION*: En esta tabla se ingresan las coordenadas, a su vez se ingresa el sistema de coordenadas utilizado y el instrumento con el cual se midieron las coordenadas.

\_ *SURVEY*: En este caso se ingresa el rumbo y la inclinación del pozo, a su vez se ingresa el instrumento con el cual se midió dicha información.

Como último paso se realiza la Exportación de los datos desde el sistema *Fusion* a *Micromine* (Software de Modelamiento) utilizando la aplicación *ExportDB* de *Century Systems*. Se escoge la aplicación de donde se van a exportar los datos, en este caso *DHLogger*, luego se elige el Departamento Exploración y el Proyecto Argentinita, y se da la orden procesar (Figura IV.4). Desde *Micromine* se escogen y se actualizan los archivos DDL (archivo con un *link* a *Fusion*).



Figura IV.4: Selección de aplicación.

## IV.2. MODELAMIENTO 3D

A partir de 1838 con el desarrollo de la estereoscopia, técnica que crea la ilusión de una tercera dimensión, el avance de la aplicabilidad de la misma ha evolucionado de forma muy notoria permitiéndonos hoy en día utilizar la técnica, tanto en el ámbito del entretenimiento como en el ámbito de trabajo. En el caso de la geología se vuelve de suma importancia desarrollar este tipo de técnicas, que nos permite mediante la confección de modelos tridimensionales explicar de forma gráfica la distribución de las unidades geológicas. A continuación se definirán algunos términos básicos para comprender mejor el procedimiento de construcción de un modelo tridimensional.

### IV.2.1. Conceptos Tridimensionales

#### IV.2.1.1. Modelo y Modelar

Según Tomás *et al.* (2004) los Modelos constituyen simplificaciones de problemas más complejos acordes con la realidad, que permiten comprender mejor el comportamiento o funcionamiento de un sistema. La creación y manipulación de la representación del Modelo según Charro y Valencia (2007) es Modelar.

#### IV.2.1.2. Sistema de Coordenadas Tridimensionales

Es un sistema de referencia formado por tres rectas o ejes coordenados que se cortan en un punto llamado origen formando ángulos de 90° y una unidad de medida. A estas tres rectas también se les llama coordenadas cartesianas respecto al sistema XYZ (Figura IV.5).

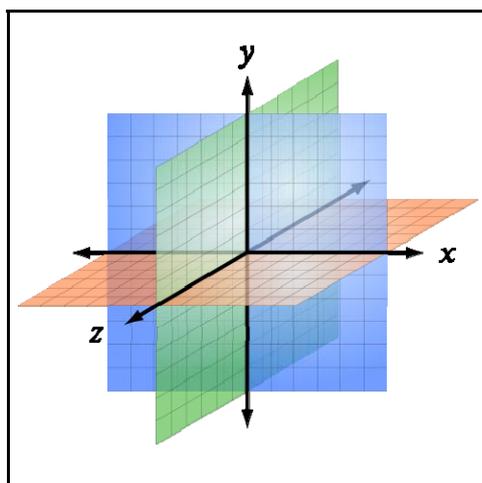


Figura IV.5: Sistema de coordenadas tridimensionales cartesianas.

#### IV.2.1.3. Proyección

Es el proceso que transforma puntos de un sistema de coordenadas de dimensión  $n$  a puntos en un sistema de coordenadas con dimensión menor que  $n$ . En las aplicaciones tridimensionales, es el proceso de reducir tres dimensiones en dos dimensiones para ver una escena en una pantalla (Charro y Valencia, 2007).

#### IV.2.1.4. Vista Tridimensional

En dos dimensiones, las operaciones de visión transfieren puntos bidimensionales en el plano coordenado mundial a puntos bidimensionales en el plano coordenado del dispositivo. En tres dimensiones, la situación se complica más, ya que ahora tenemos algunas alternativas como la perspectiva en que se va a generar la vista. Podríamos visualizar una escena desde el frente, desde arriba o bien desde atrás. También podríamos generar una vista de lo que observaríamos si estuviéramos parados en medio de un grupo de objetos. Además, las descripciones tridimensionales de objetos deben proyectarse en la superficie de visión plana del dispositivo de salida (Charro y Valencia, 2007).

### IV.2.2. Representación de los Datos

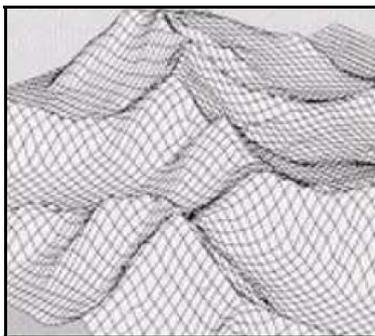
Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Para representar estos objetos existen dos formas de almacenar los datos: *Raster* y *Vectorial*.

#### IV.2.2.1. Datos Raster

Un *Raster* es una malla o matriz regular de celdas de un área determinada. El conjunto de Datos *Raster* representa un grupo de celdas regulares (generalmente en cuadrícula), en las que cada una de ellas presenta unos atributos o valor (altitud, reflectancia, etc.) (Charro y Valencia, 2007).

##### IV.2.2.1.1. Modelo Digital de Elevación (DEM)

Un DEM es una representación de las elevaciones del terreno mediante valores numéricos. Generalmente esta representación es una forma simplificada de la geometría de la superficie del terreno (Figura IV.6). Es decir, un DEM es un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas “X” e “Y” a las que se le agrega un valor “Z” que corresponde a la elevación. Los puntos deben estar espaciados y distribuidos de modo regular, de acuerdo con un patrón que corresponde a una cuadrícula (Charro y Valencia 2007).



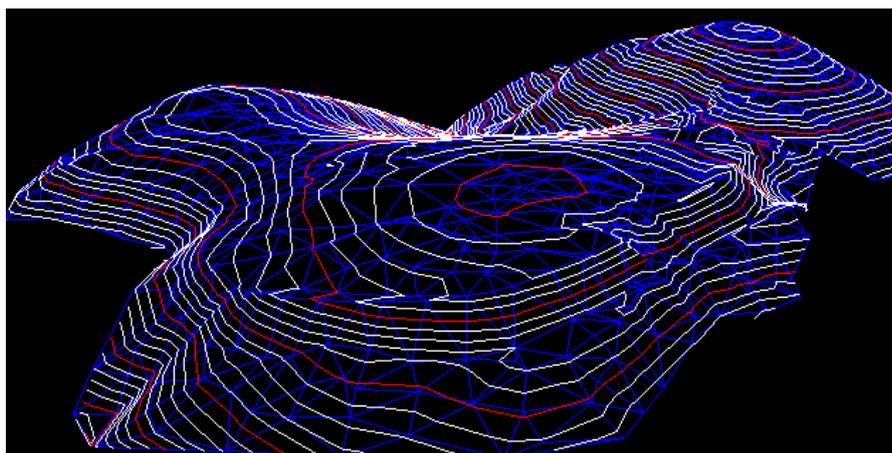
**Figura IV.6:** Representación tipo malla de un DEM tomado de Charro y Valencia (2007).

#### **IV.2.2.2. Datos Vectoriales**

En estos datos el interés de la representación se centra en la precisión de la localización de los elementos geográficos sobre el espacio. Los mismos se expresan como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras. Para modelar digitalmente se utilizan tres elementos geométricos, el punto, la línea y el polígono.

##### *IV.2.2.2.1. Redes Irregulares de Triángulos (TIN)*

Son registros de valores en un punto localizado, que están conectados por líneas para formar una malla irregular de triángulos. La cara de los triángulos representa, por ejemplo, la superficie del terreno (Figura IV.7).



**Figura IV.7:** Representación de curvas de nivel sobre una superficie tridimensional generada por una malla TIN.

#### **IV.2.3. Modelado Tridimensional (Charro y Valencia, 2007)**

##### **IV.2.3.1. Definición**

El modelado 3D es una descripción espacial y situación de objetos tridimensionales, escenas y entornos con ayuda de un computador.

##### **IV.2.3.2. Tipos de Modelados**

- *Modelado CGS (Constructive Solid Geometry).* Este tipo de modelado se centra en las propiedades estructurales, dimensión, volumen, material, etc. Los objetos se construyen a partir de primitivas tales como esferas, cilindros, cubos, etc., y su combinación a través de operaciones lógicas como la unión, intersección o diferencia. Se centra en las propiedades estructurales y físicas del objeto.
- *Modelado de contorno (Boundary).* Al contrario que el modelado CGS, este tipo de modelado no se centra en la estructura del objeto sino en la superficie que lo limita.
- *Modelado poligonal.* Es el tipo de modelo más utilizado por contar con optimizaciones de *hardware*. Estos modelos almacenan una lista de caras del objeto como polígonos planos.

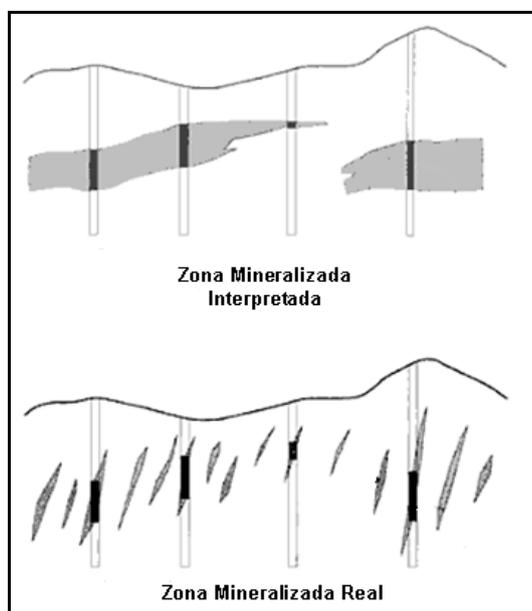
➤ *Modelado mediante parches.* Las superficies curvas se representan mediante parches. En el modelado mediante curvas, cabe destacar el uso de varios tipos de curvas (*Splines*, *B-Splines* y *Nurbs*).

### IV.3. MODELAMIENTO GEOLÓGICO (Modificado de Erickson Jr 1992)

Un modelo geológico consiste en la compilación de toda la información geológica, observaciones y estudios disponibles en el momento, ensamblados de tal forma de visualizar y explicar las observaciones desde un punto de vista tanto empírico como genético. Los modelos geológicos son extremadamente útiles tanto en la guía de exploración a gran escala, como en un control más ajustado en la evaluación de recursos y soporte en trabajos operacionales. La información geológica y la interpretación son los cimientos de los procesos de evaluación y son esenciales para la estimación de recursos y extracción de los mismos.

#### IV.3.1. Metodología

Normalmente los geólogos comienzan con los datos de afloramiento y registros de sondeos. Esta información debe ser de alta calidad y debe ser colectada por medio de rigurosos métodos estandarizados. Los geólogos construyen un mapa geológico de afloramientos que contiene todas las observaciones geológicas. Los datos de éstos deben diferenciarse claramente de los mapas interpretativos e inferidos. Después o en conjunto con el desarrollo del mapa de superficie es esencial construir detalladamente un set de secciones geológicas. Una línea de referencia debe ser dibujada para ayudar en el registro de las secciones, principalmente en aquellas que no son paralelas a la grilla de coordenadas. Toda la información del mapeo de superficie y del registro cuidadoso y sistemático, debe ser colocada en secciones apropiadas, sin interpretación y reproducibles. Estas secciones pueden construirse manualmente o si contamos de la asistencia de un adecuado software, los datos pueden ser ingresados en una base de datos para una rápida visualización para su posterior interpretación. La traza de los pozos y la información asociada debe ser graficada en las secciones a una escala capaz de permitir colocar múltiples variables a lo largo de la traza del pozo. Parámetros normalmente importantes son litología, estructuras, alteración, leyes, y posiblemente contenido de sulfuros (estos parámetros dependen del recurso a ser evaluado). Una interpretación extremadamente riesgosa es la simple correlación de leyes de un pozo a otro sin considerar las características geológicas propias del lugar (Figura IV.8).



**Figura IV.8:** Sobreestimación de una reserva mineral basado en un modelo con una incorrecta interpretación geológica (Modificado de Erickson Jr. 1992).

La construcción de secciones geológicas nos permite determinar entre un pozo y otro las relaciones y continuidad de numerosas características geológicas que pueden influir en la solidez de los recursos y en su posterior extracción. El resultado es un conjunto de múltiples secciones o sets de secciones mostrando la importante relación de las variables geológicas. A partir de estas secciones se podrá construir imágenes en 3D si contamos con un software adecuado.

### IV.3.2. Objetivo

El modelo geológico es construido para proveer una clara imagen de las relaciones geológicas, de numerosos atributos que limitan la distribución de los recursos geológicos en tres dimensiones. Las plantas y secciones utilizadas para desarrollar el modelo forman la base para la estimación de recursos en un esquema convencional de cálculo de reservas.

### IV.4. MODELAMIENTO GEOLÓGICO EN 3D MEDIANTE GIS (Sistemas de Información Geocientíficos)

Desde su primera utilización en 1962 hasta la actualidad los Sistemas de Información Geográfica SIG han sido una herramienta casi fundamental en muchas disciplinas y especialmente útiles en las Ciencias Geológicas. Según Aronoff (1991) los SIG nos permiten, a partir de un poderoso conjunto de herramientas, el almacenamiento, la recuperación, la transformación, la combinación, el análisis y la visualización de datos georreferenciados del mundo real. Estos sistemas están básicamente sustentados en la gestión y análisis en dos dimensiones de los datos y según Turner (2000; 2006) el Modelamiento Geológico requiere de la extensión de los métodos tradicionales de los SIG ya que los geólogos siempre han reconocido la necesidad de ver al mundo como multidimensional (Figura IV.9). Con este fin Turner (1991) menciona que en las últimas dos décadas se han desarrollado una serie de tecnologías para el modelado en tres dimensiones de las condiciones de subsuperficie denominadas Sistemas de Información Geocientíficos o GIS (en su acrónimo inglés).

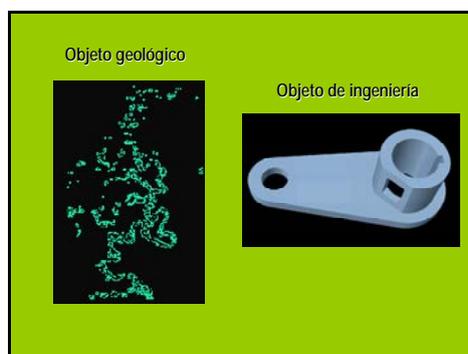


Figura IV.9: Complejidad de un objeto geológico frente a uno de ingeniería. Modificado de Turner y Gable (2007).

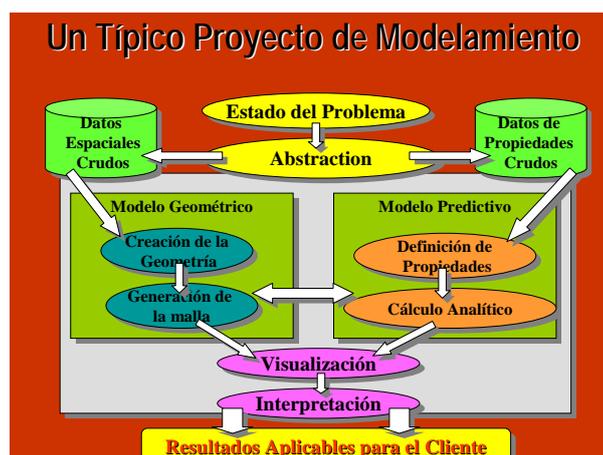


Figura IV.10: Típico Proyecto de Modelamiento. Modificado de Turner y Gable (2007).

Estos sistemas según Turner y Gable (2007) nos permiten, a partir del procesamiento de dos tipos de datos (datos espaciales y datos de propiedades), construir dos tipos de modelos, uno geométrico y otro predictivo (Figura IV.10).

#### Modelo Geométrico

Este modelo se realiza a partir de los datos espaciales y representa el esquema geológico apropiado para la visualización. Sirve para definir y controlar la distribución espacial y la propagación de las propiedades de la roca requeridas por el modelamiento.

## Modelo Predictivo

El objetivo principal de este modelo es predecir mediante un modelo numérico basado en la extrapolación, una propiedad específica en cualquier zona del modelo.

### IV.4.1. Software Utilizado

#### IV.4.1.1. Acerca de Micromine

*Micromine* es un software minero que está comprendido dentro de los GIS. El mismo nos permite desarrollar un proyecto minero desde su inicio a partir de la Prospección Geológica pudiendo visualizar imágenes georreferenciadas, pasando por la Exploración Geológica trabajando con sondeos, siguiendo con el cálculo de Recursos y Reservas aplicando técnicas de modelamiento tridimensional y modelamiento predictivo, y finalizando con la Explotación a partir del diseño de los *Pits*, (*canteras*).

#### IV.4.1.2. Características de Micromine (Fuente <http://es.micromine.com>)

*Micromine* consta de siete módulos que se podrán aplicar a medida que evoluciona el proyecto.

- **Core.** Este módulo permite importar, validar, visualizar información e interpretar datos de superficie, y subsuperficie.
- **Plotting (parte de Core).** Este módulo nos permite, a través de una interfaz de tipo Vizex, preparar y editar imágenes para su futura impresión.
- **Exploración.** Este módulo está especialmente construido para trabajar con información de perforaciones y además efectuar cálculos estadísticos y generar superficies DTM (Modelos Digitales de Terreno) o grillas.
- **Triangulación.** El módulo Triangulación permite construir y manipular triangulación de sólidos y superficies en 3D.
- **Topografía (Levantamiento).** El módulo Topografía comprende herramientas para importar y procesar datos topográficos.
- **Estimación de Recursos.** Este módulo además de brindarnos las herramientas para realizar una correcta clasificación, cuantificación y reporte del grado y tonelaje de un modelo de recursos, nos permite la construcción de modelos de bloques y la aplicación de métodos comunes de interpolación.

Otros módulos están comprendidos dentro del paquete de herramientas que ofrece *Micromine*, los mismos serán nombrados pero no detallados por no haberse utilizado en este trabajo.

- **Optimización de cantera.** Diseño de canteras a partir de los modelos de recursos construidos en el módulo de Estimación de Recursos.
- **Minería.** Control y planificación de la extracción del recurso mineral.

## CAPITULO V

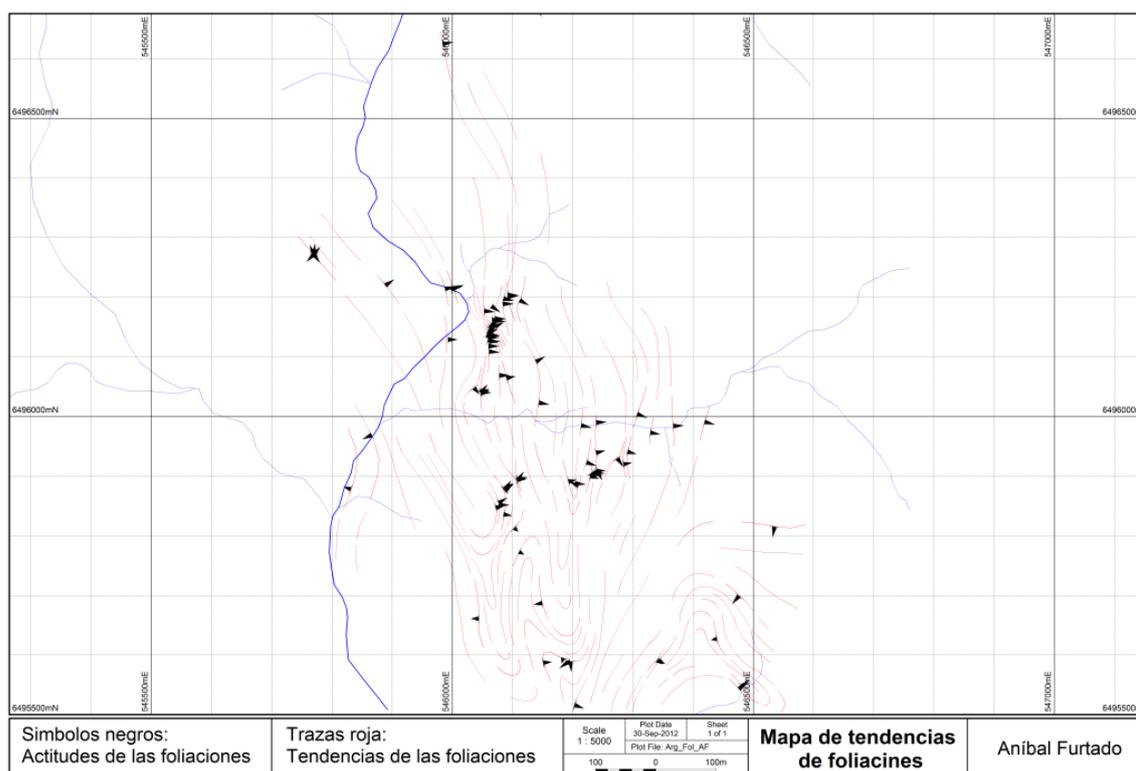
### CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO ARGENTINITA

#### V.1. ELABORACIÓN DE MAPA GEOLÓGICO

En esta sección describiremos los pasos utilizados para la construcción del mapa geológico de superficie. El objetivo de este mapa es mostrar la estructura portadora de la mineralización, que denominamos en este trabajo zona de cizalla Zapucay, como también la distribución de los lentes de cuarzo que se desarrollan dentro de la misma. Las rocas observadas en el área de estudio fueron divididas en tres unidades geológicas que denominamos, rocas félsicas, intermedias y máficas. Esta división fue realizada de modo de simplificar su distribución al momento de generar el mapa geológico ya que el objetivo principal es la descripción de la zona de cizalla. Estas unidades geológicas son afectadas por la zona de cizalla convirtiéndolas en la roca caja del yacimiento Argentinita. Las otras unidades mapeadas fueron las denominadas: Zona Deformada y Lentes de Cuarzo, ambas comprenden al yacimiento Argentinita.

##### V.1.1. Mapa de Tendencias de Foliaciones

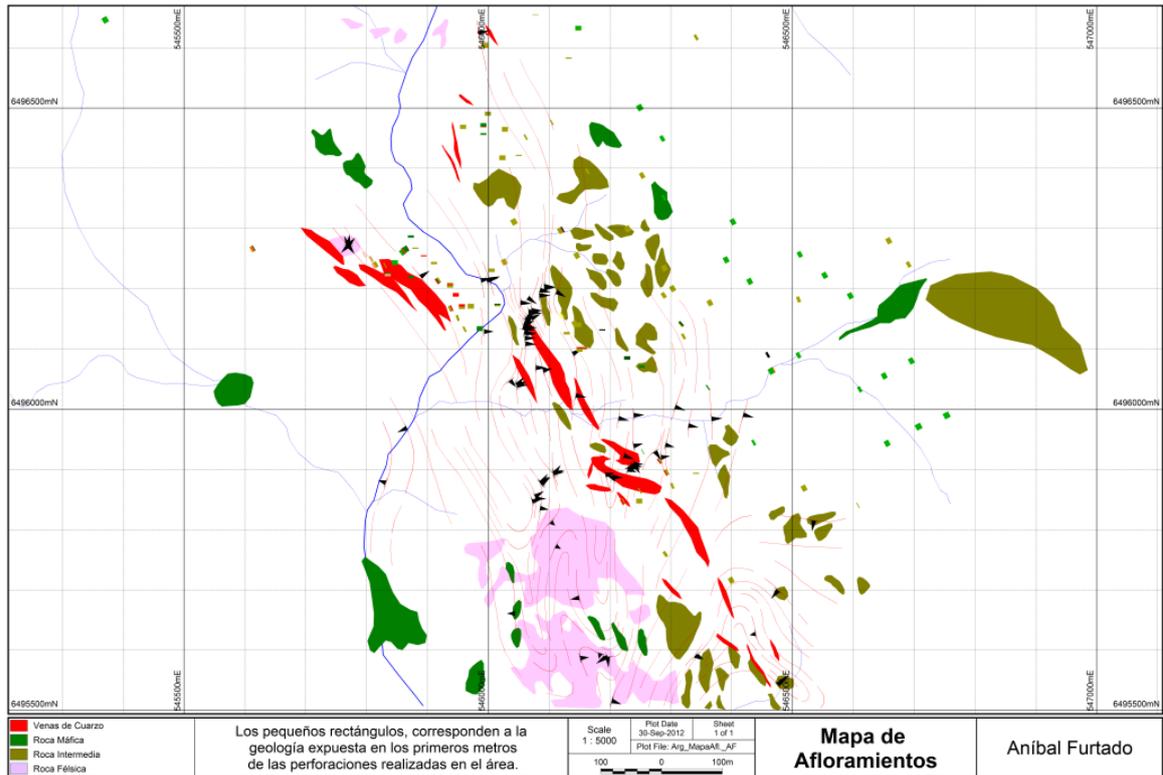
En áreas complejas con monotonía de tipos litológicos y falta de indicios claros de contactos mapeables, como ocurre en varios prospectos de tipo *Orogenic Gold Deposits*, es recomendable obtener el mayor número posible de medidas de foliación (Holcombe 2008). Así, mediante la prolongación de los rumbos y tomando en cuenta las direcciones de buzamiento se generan mapas de tendencias (Figura V.1).



**Figura V.1:** Mapa de tendencias de foliación para el área de estudio.

##### V.1.2. Mapa de Afloramientos

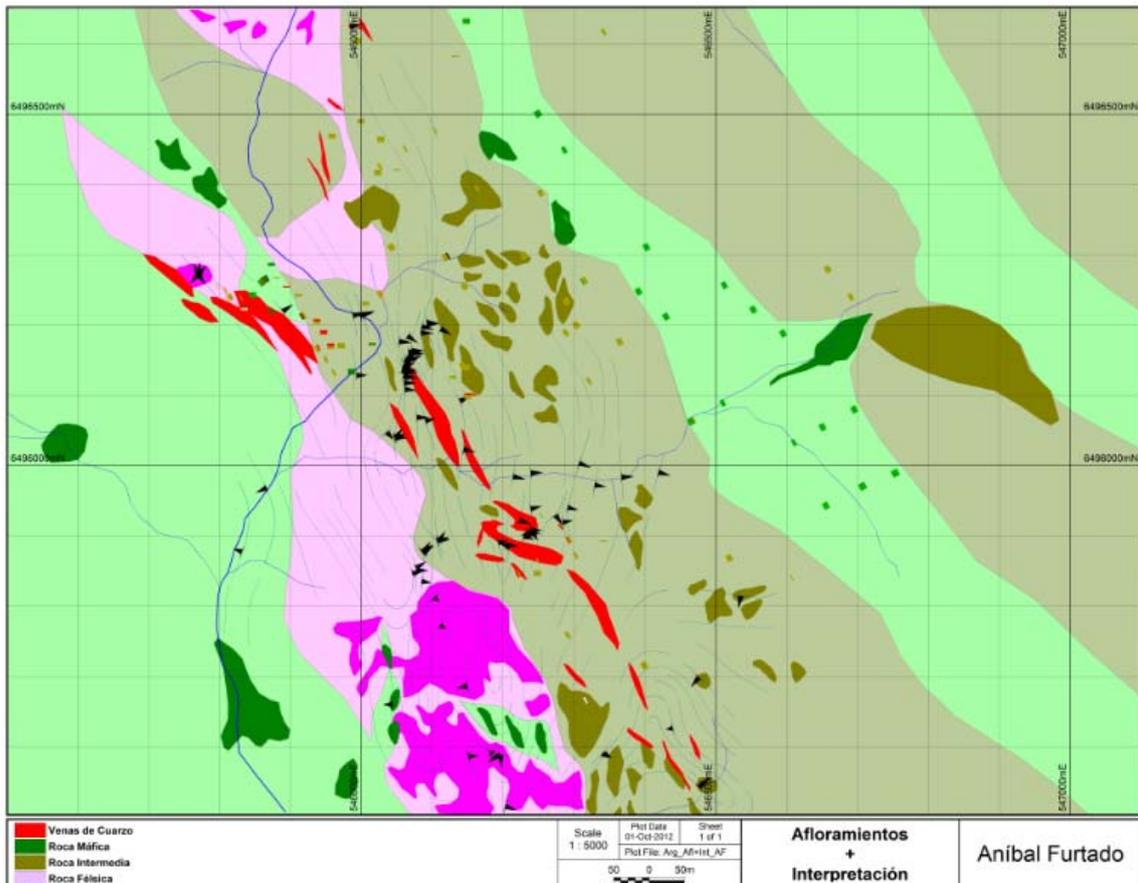
Los mapas de afloramientos muestran la distribución de las rocas aflorantes en el campo. En el caso del Proyecto Argentinita, al ser el mismo un proyecto avanzado con gran cantidad de metros perforados que abarcan casi la totalidad del área estudiada, decidimos además de visualizar los afloramientos mapeados, también visualizar la litología comprendida en los primeros metros de las perforaciones. Mediante esta técnica podremos analizar zonas con poca densidad de afloramiento (Figura V.2).



*Figura V.2: Mapa de afloramientos del área de estudio.*

### V.1.3. Mapa de Afloramientos e Interpretación Geológica

Al superponer el mapa de tendencias con el mapa de afloramientos estamos en condiciones de interpretar la geología presente en la zona de estudio (Figura V.3).



*Figura V.3: Mapa de afloramientos con interpretación geológica del área de estudio.*

### V.1.4. Mapa Geológico Interpretativo

Como resultado de los pasos descritos anteriormente obtenemos un Mapa Geológico Interpretativo de la zona correspondiente al Yacimiento Argentinita.

El mapa presentado en este trabajo está a escala 1:5000 que es la escala adecuada para mapeo de prospectos según Holcombe (2008).

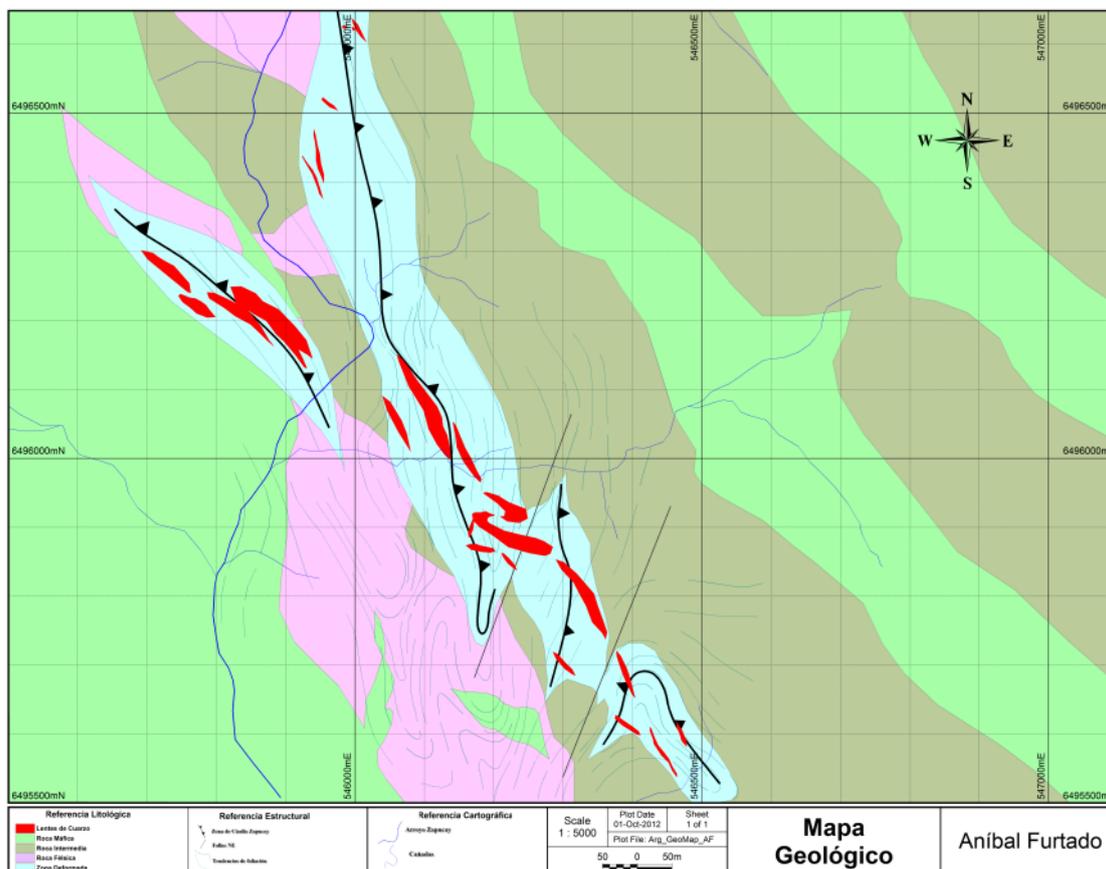


Figura V.4: Mapa Geológico Interpretativo del área de estudio.

### V.1.5. Observaciones a partir del Mapeamiento Geológico

A partir de la información recavada en el campo y de la interpretación para la confección del mapa Geológico, podemos realizar las siguientes observaciones:

#### V.1.5.1. Unidades Geológicas

##### V.1.5.1.1. Rocas Félsicas

Esta unidad comprende a un tipo de roca que posee gran extensión dentro de la Isla Cristalina, varios autores la han mencionado y descrito a detalle (ver Holcombe 2007; Cazaux 2009; Vidal 2009). Esta fue denominada leucogranito gnésico de grano medio color crema (Holcombe, 2007), ortogneis sienogranítico (Cazaux, 2009) y gneis leucogranítico (Vidal, 2009). Este tipo de roca desarrolla buenos afloramientos, los mismos se disponen con dirección NO y aparecen en la zona centro del área de estudio, cercanos a la zona de cizalla. En muestra de mano es una roca de grano medio color rosado a naranja. Según Holcombe (2007) la deformación está evidenciada por una foliación dada por la presencia de cuarcos estirados (Figura V.5). Mineralógicamente la roca esta compuesta principalmente de cuarzo y feldespato alcalino.



**Figura V.5:** Afloramiento y foliación típica desarrollada en la unidad Rocas Félsicas.

#### V.1.5.1.2. Rocas Intermedias

En esta unidad está comprendida una litología que es característica del Distrito Minero de Zapucay, la misma es afectada por la zona de cizalla al igual que las otras que observamos en el área de estudio. Holcombe (2007) define a esta litología como granito potásico augen gnéisico porfirítico de grano grueso, y la denomina “Granito Zapucay”. Según las descripciones de Cazaux (2009) y Vidal (2009) esta unidad podría estar incluida en los ortogneises o gneises cuarzo-monzoníticos. Este tipo de roca no se caracteriza por generar grandes extensiones de afloramientos, sin embargo es posible que sea la unidad con mayor presencia dentro de la zona de estudio. Excelentes sitios para observar a esta unidad se encuentran a lo largo del curso del Arroyo Zapucay (Figura V.6). En muestra de mano presenta una textura porfirítica compuesta por fenocristales de feldespato potásico que alcanzan algunos centímetros de diámetro y fenocristales de cuarzo de menor tamaño incluidos dentro de una matriz verde oscura compuesta principalmente por minerales ferromagnesianos. La deformación en esta litología es evidenciada, como en el caso anterior, por un estiramiento de los cristales de cuarzo, así como también por una planaridad producida en los minerales de la matriz. Esto genera que los cristales de feldespato al ser más resistentes desarrollen formas de lentes (Figura V.6). A medida que nos acercamos a la zona de cizalla también los cristales de feldespato sufren fracturamiento y recrystalización.



**Figura V.6:** Afloramiento y textura porfirica típica desarrollada en la unidad Rocas Intermedias.

#### V.1.5.1.3. Rocas Máficas

Esta unidad comprende a una litología, que al igual que las anteriores posee gran desarrollo dentro de la Isla Cristalina y también ha sido descrita a detalle por diferentes autores. Cazaux (2009) y Vidal (2009) definieron a estas rocas como granulitas máficas a partir del análisis petrográfico de las mismas. Holcombe (2009) las definió como metadioritas o monzonitas de grano fino. Estas litologías son las que presentan menor desarrollo de afloramientos a pesar de ocupar gran extensión dentro del área de estudio, los mejores lugares para observarlas son en los caminos o canteras de balasto (Figura V.7). Son rocas de color verde oscuro frescas, y

marrones cuando sufren meteorización. Presentan textura equigranular de tamaño de grano fino a medio o textura sal-pimienta dada por la presencia homogénea de plagioclasa y ferromagnesianos. Presentan deformación pero no tan evidente como en las litologías anteriores, observándose únicamente una leve orientación de la plagioclasa (Figura V.7). Esto cambia a medida que nos acercamos a la zona de cizalla.



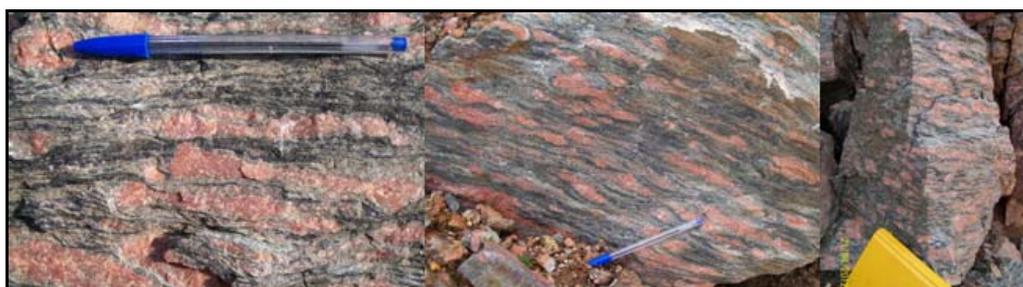
**Figura V.7:** Afloramiento y textura sal-pimienta desarrollada en la unidad Rocas Máficas.

#### V.1.5.1.4. Zona Deformada

Esta unidad comprende a la Zona de Cizalla Zapucay, denominada de este modo en este trabajo, extendiéndose con dirección NS a NNO y afectando a todas las unidades antes mencionadas. Posee un espesor aparente promedio de unos 50m aunque puede alcanzar hasta los 100m en zonas donde se producen inflexiones en la orientación. El plano de deformación buza hacia el E con inclinaciones que van desde casi subhorizontales hasta 50°, aproximadamente. Esta unidad no genera grandes afloramientos (Figura V.8). En superficie la deformación generada por esta zona de cizalla queda claramente evidenciada por una textura milonítica dada por la presencia de lentes de feldespato (recristalización) y la transformación de los minerales de la matriz a muscovita y sericita, los cuales se destacan en los planos de cizalla (Figuras V.8 y V. 9).



**Figura V.8:** Afloramiento y roca milonitizada en la unidad Zona Deformada.



**Figura V.9:** Unidad Rocas Intermedias milonitizada en zona de cizalla.

#### V.1.5.1.5. Lentes de Cuarzo

En esta unidad incluimos a los cuerpos de cuarzo que se desarrollan dentro de la zona deformada, los mismos aparecen principalmente en forma de lentes con poca continuidad, generalmente en regiones plegadas de la zona de cizalla (Figura V.10). Estos lentes poseen dimensiones muy variadas, desde centimétricas a métricas y es muy común la presencia de pirita fresca y oxidada, principalmente en los bordes de los mismos (Figura V.10). Es común también la ocurrencia de oro libre en forma de pequeñas chispas.



*Figura V.10: A la izquierda lentes de cuarzo, a la derecha presencia de pirita.*

## V.2. ANÁLISIS DE DATOS ESTRUCTURALES

Se analizaron un total de 513 datos estructurales de superficie y de subsuperficie (obtenidos de los sondeos en diamantina orientados). Para este análisis se utilizó el software *Dips*, con el que podemos realizar proyecciones estereográficas. Los diagramas a utilizar son las denominadas redes estereográficas, las mismas son representaciones en dos dimensiones de una esfera en la cual es posible ubicar estructuras planares como ser fracturas, fallas, foliación, venas, etc. Al trabajar con muchos datos es necesario aplicar algún método estadístico para el análisis de los mismos, este software a través de la utilización del método de Fisher nos permite visualizar la distribución de las medidas y analizarlas según el comportamiento de las poblaciones. Se le dió principal importancia a las medidas de foliación, milonitización-cizallamiento, fallas y venas, ya que nos pueden dar información importante acerca del yacimiento.

Las litologías del distrito minero de Zapucay que son afectadas por la Zona de Cizalla Zapucay portadora de la mineralización de oro, pertenecen a un basamento antiguo con metamorfismo en facies anfíbolita (Holcombe, 2008) o facies granulita (Vidal 2009), denominado Complejo Granulítico de Rivera por Cazaux (2009). Estas rocas, según los autores mencionados previamente, fueron afectadas por el ciclo orogénico Transamazónico en el Paleoproterozoico imprimiéndoles el metamorfismo de alto grado. Posteriormente fueron afectadas por el ciclo orogénico Brasiliano-Panafricano, durante el Neoproterozoico. Este último evento se caracteriza en la zona por un metamorfismo de facies esquistos verdes y al que se le asigna la génesis de la estructura que generó la mineralización en el yacimiento denominado Argentinita.

### V.2.1. Foliación

Fueron analizadas 214 medidas de foliación. En la distribución de los polos se observa un plano principal bien definido, un plano secundario con menor densidad de polos y un tercer grupo de polos que podrían estar indicando otra posible tendencia. Los planos presentan las siguientes actitudes (Figura V.11 y V.12): **FO-1** \_ N05° / 36° E; **FO-2** \_ N317° / 35° SO; **FO-3** \_ N32° / 66° SE.

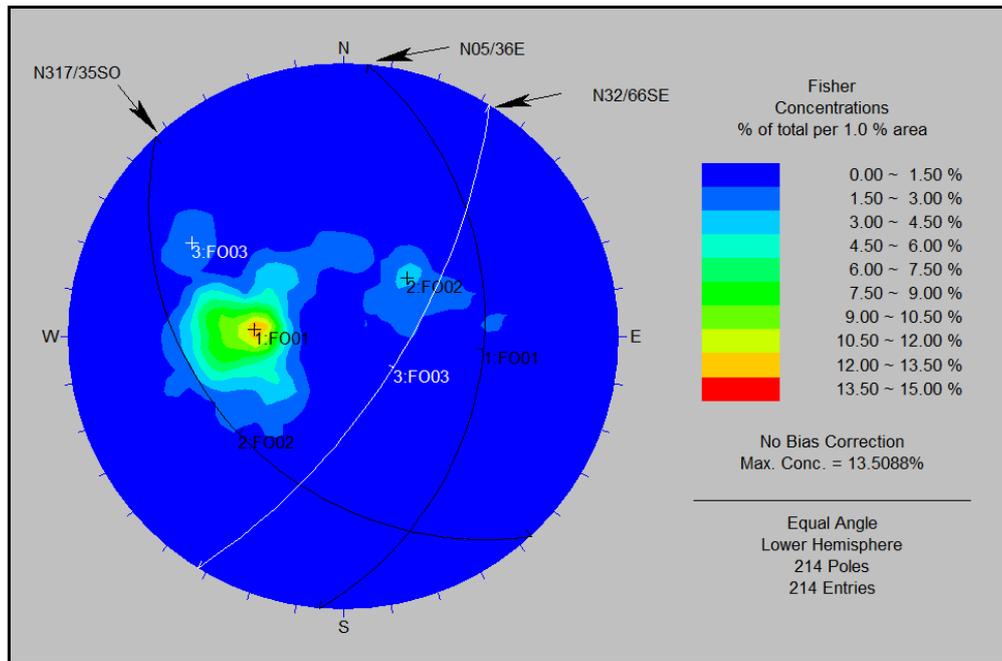


Figura V.11: Diagrama de frecuencia con las medidas de los tres planos predominantes de foliación.

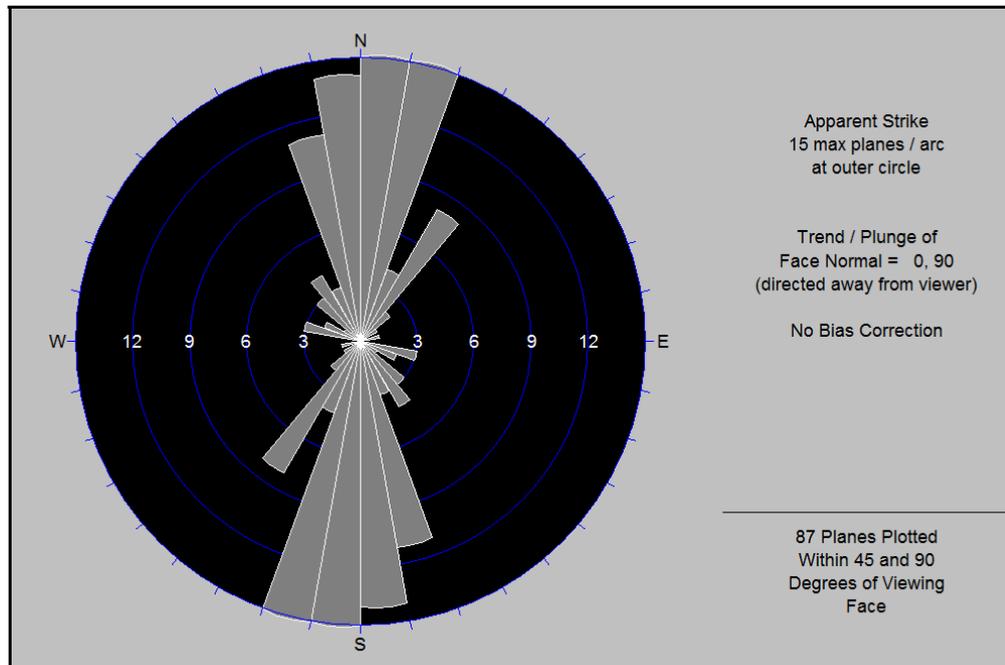


Figura V.12: Análisis estadístico de direcciones aparentes.

Cazaux (2009) y Vidal (2009) mencionaron dos tipos de foliación que presentan estas litologías que pertenecen al Complejo Granulítico de Rivera. Una foliación de alta temperatura asociada al evento metamórfico del ciclo Transamazónico, y otra foliación de baja temperatura para el evento metamórfico del ciclo Brasiliano. La foliación de alta temperatura esta definida según Cazaux (2009) por la presencia de cintas de cuarzos estirados y feldespato recrystalizado, mientras que la de baja temperatura se genera en facies esquistos verdes y si bien el cuarzo presenta recrystalización el feldespato se mantiene estable. Vidal (2009) en su análisis estructural para el Bloque II que abarca parte del Distrito Minero de Zapucay observa la presencia principalmente de foliación de alta temperatura con un plano mayor con actitud  $N20^{\circ}/58^{\circ}$  SE y dos planos secundarios con actitudes  $N353^{\circ}/72^{\circ}$  SO y  $N106^{\circ}/37^{\circ}$  SO (Figura V.13).

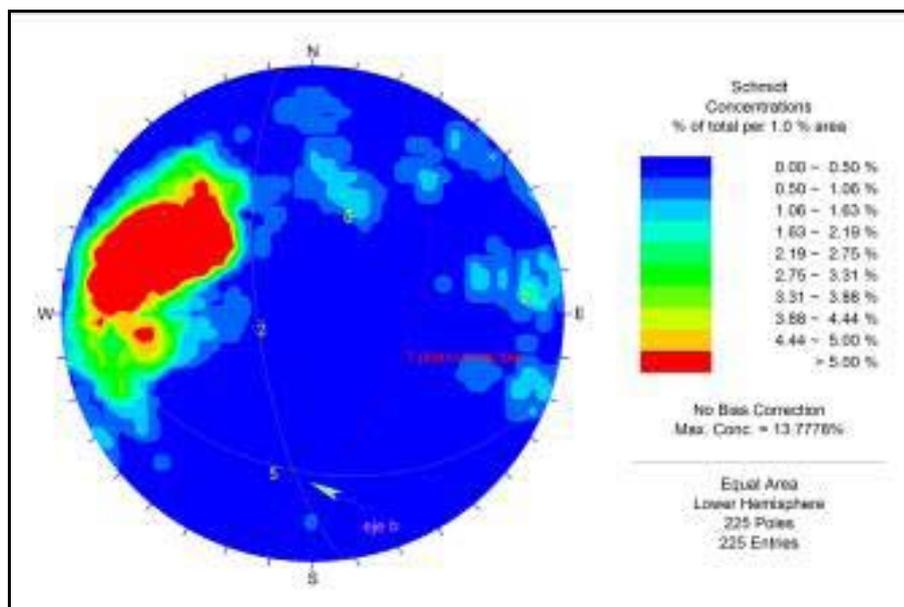


Figura V.13: Diagrama de frecuencias con conteo de polos (Vidal, 2009).

Tomando en cuenta esta información y la información obtenida del análisis petrográfico realizado en este trabajo, establecemos que el evento principal de deformación existente en el área se asocia con el ciclo Brasiliano (deformación de baja temperatura y/o alto *strain rate*). El mismo está representado por los planos de foliación FO-1 y FO-2. El plano FO-3 aunque muy débil podría estar indicando relictos de la foliación de alta temperatura con actitudes similares a las mencionadas por Vidal (2009) en el Bloque II (Figura V.13). Si bien el plano predominante es el FO-1 la ocurrencia de un segundo plano en jerarquía FO-2 podría ser interpretado como un sistema de pliegues con dirección de línea de charnela aproximada  $20^{\circ}/160^{\circ}$  SE y plano axial NO-SE. Esto ya fue mencionado por Bergalli (2006) como fase de deformación D1, que según ese autor afecta a la fase inicial de deformación D0 representada por la estructura Argentinita-Zapucay (Zona de Cizalla Zapucay) generando buzamientos hacia el NE como hacia el SO de la misma. Según el análisis, el eje del plano axial de este sistema tendría un *plunge* hacia el SE (Figura V.14). Observando la distribución de los polos, el ángulo inter-limbo de los pliegues sería más bien abierto (Figura V.15).

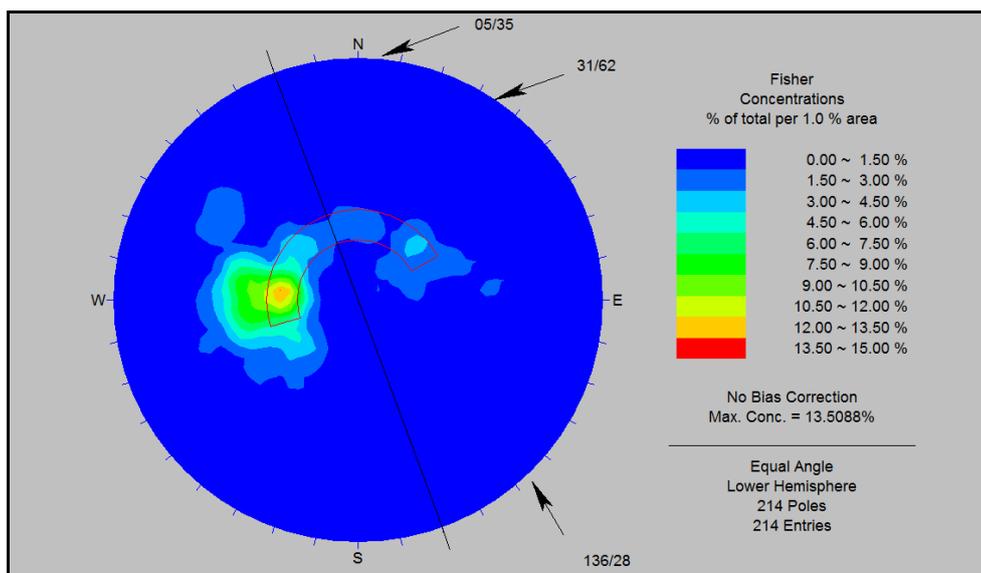


Figura V.14: Campo o nube de polos indicando posible plegamiento. La línea estaría indicando la dirección del plano axial.

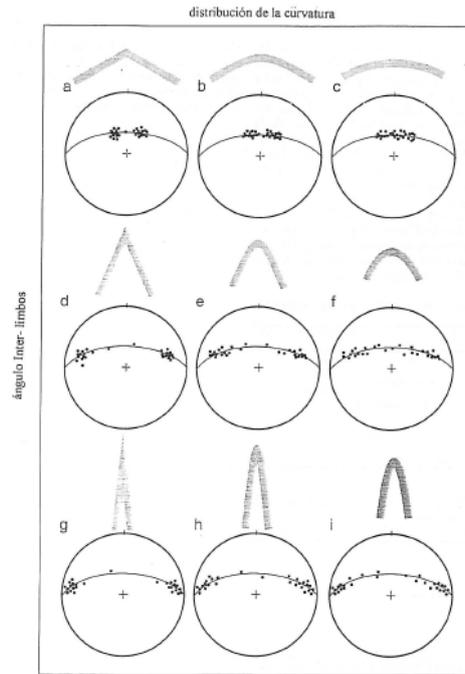


Figura V.15: Estilo de plegamiento (Lisle et al.2004).

### V.2.2. Milonitización y Cizallamiento

Fueron analizadas 153 medidas de milonitización y cizallamiento. En este caso la milonitización y cizallamiento según el análisis petrográfico responde a una deformación de baja temperatura y/o alto *strain rate* en facies esquistos verdes característico del ciclo orogénico Brasiliano (Capítulo V.4). En el diagrama de frecuencias se reconocieron un plano principal de cizallamiento SH-1, dos planos secundarios SH-2 y SH-3, y un plano terciario SH-4 (Figuras V.16 y V.17), todos ellos con las siguientes actitudes **SH-1** \_ N355° / 29° E; **SH-2** \_ N330° / 44° NE; **SH-3** \_ N357° / 50° E; **SH-4** \_ N321° / 20° SO.

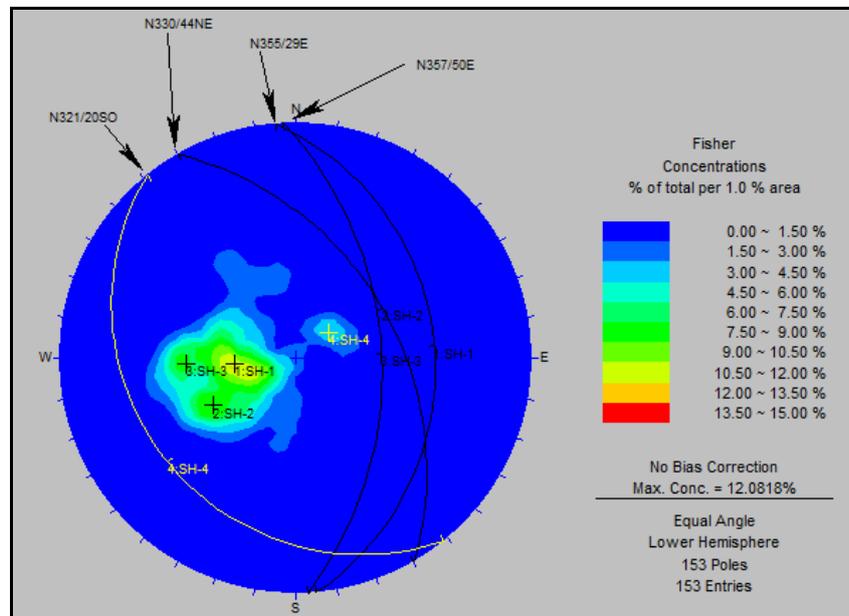


Figura V.16: Diagrama de frecuencias con los planos principales de milonitización/cizallamiento.

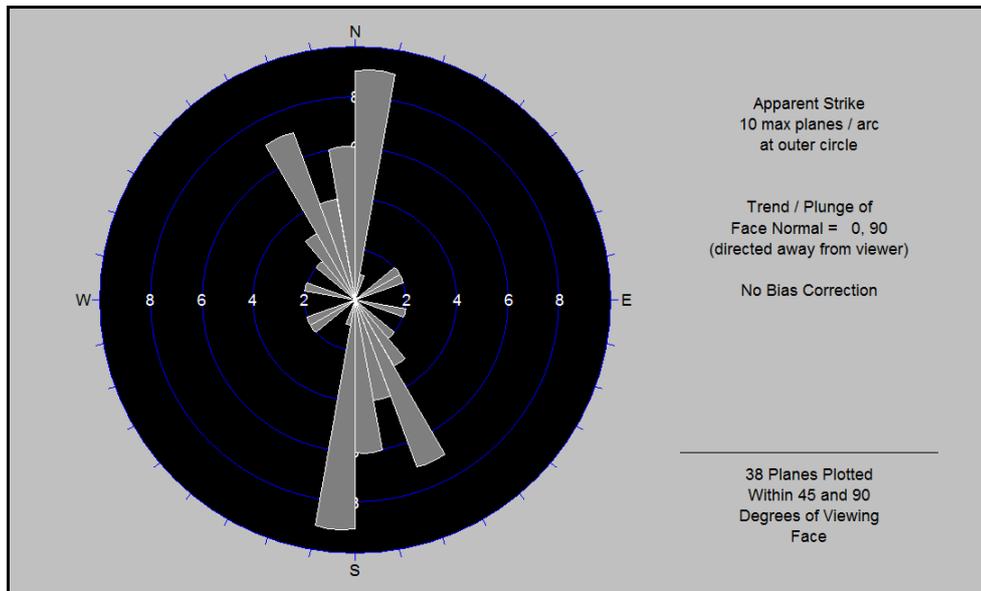


Figura V.17: Análisis estadístico de direcciones aparentes.

Según el análisis, la distribución de los principales planos de cizallamiento SH-1,2 y 3 nos indican una tendencia principal de la deformación con acimuts que varían desde N330° a N357° con buzamientos principalmente hacia el E/ENE. La variación en los ángulos de buzamiento que van desde 29° hasta 50° nos podrían estar indicando un suave plegamiento a lo largo del plano de cizalla. El plano SH-4 estaría representando la fase de deformación D1 (Bergalli, 2006) mencionado en el análisis de la foliación.

### V.2.3. Venas

Fueron analizadas 111 medidas de venas, principalmente venas de cuarzo. Estas venas son generadas durante un evento hidrotermal y están incluidas dentro de la zona de cizalla Zapucay (Holcombe, 2007). Como primera observación, a diferencia de las medidas estudiadas anteriormente la dispersión de las medidas de venas es mayor. Se puede observar un plano mayor VN-1, cuatro planos secundarios y al menos siete planos terciarios (Figura V.18), las actitudes de los mismos se detallan a continuación, **VN-1** \_ N331° / 45° NE; **VN-2** \_ N08° / 55° E; **VN-3** \_ N15° / 33° E; **VN-4** \_ N333° / 1° NE; **VN-5** \_ N50° / 34° NO.

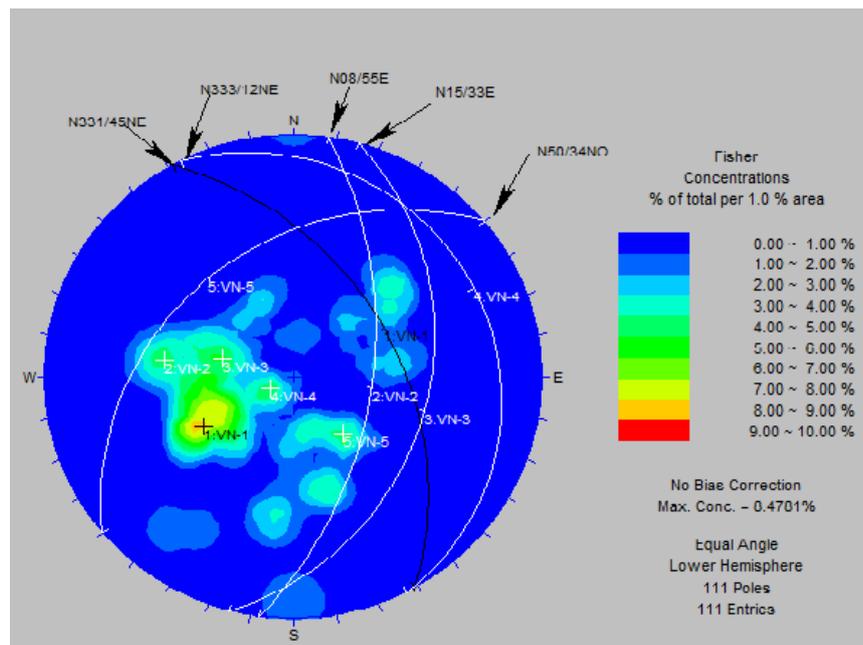
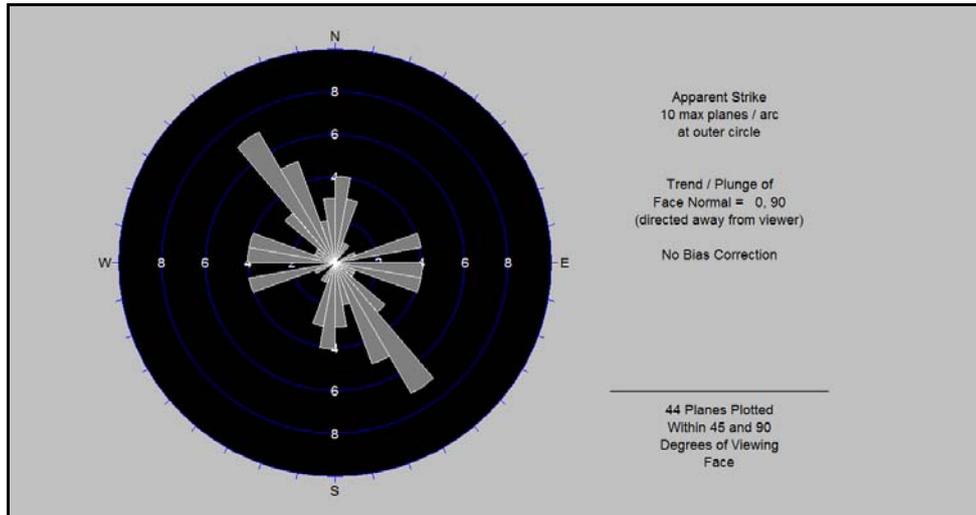


Figura V.18: Diagrama de frecuencia con los principales planos de venas.

En el caso del análisis estructural de las venas de cuarzo, a diferencia de la foliación y la milonitización/cizallamiento que poseen un plano principal cercano a la dirección NS, el plano principal de las

venas tiene una tendencia mayormente NO. También podemos observar otras tendencias importantes que difieren de la anterior, las mismas se pueden observar claramente en el análisis estadístico de direcciones de planos aparentes, como ser la dirección EO (Figura V.19).



**Figura V.19:** Análisis estadístico de direcciones aparentes.

Esta dispersión en las medidas, con diferencias marcadas en las direcciones y buzamientos de los planos, podría estar explicando reiteradas observaciones de campo realizadas en varios trabajos (Glendora S.A. 1990; Bergalli, 2006; Holcombe, 2007) con respecto al plegamiento observado en las venas de cuarzo (Figura V.20).

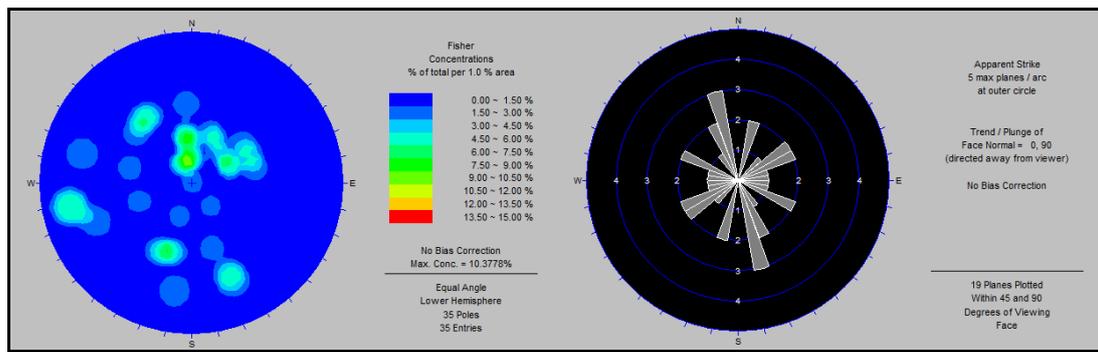


**Figura V.20:** Vena de cuarzo plegada dentro de la zona de cizalla.

Bergalli (2006) menciona una fase de deformación D2 generada por el emplazamiento del granito Las Flores (Preciozzi *et al.*, 1979), en la cual se producen pliegues asimétricos cerrados con planos axiales con direcciones N40° a N65°.

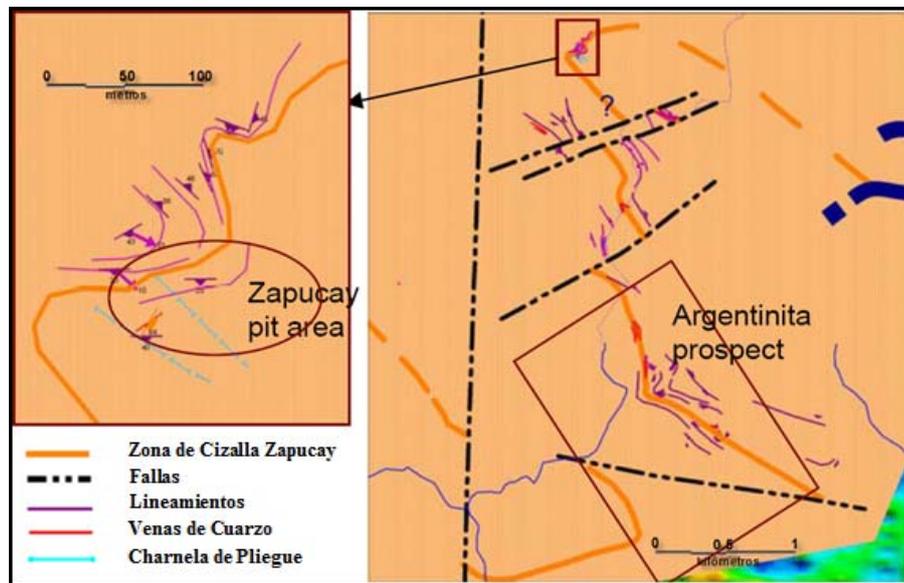
#### V.2.4. Fallas

Fueron analizados 35 planos de fallas principalmente rellenos de arcilla y con un espesor centimétrico. En el diagrama de frecuencias se puede observar una dispersión importante en las medidas que dificulta su interpretación. Sin embargo al observar el análisis estadístico de la dirección de los planos podemos observar ciertas tendencias (Figura V.21).



**Figura V.21:** Diagrama de frecuencias y estadística de direcciones de planos para medida de fallas.

Según la estadística de la dirección de los planos se observa una tendencia principal con dirección NNO similar a la vista en los análisis anteriores. Bergalli (2006) mencionó la ocurrencia de fallas con actitudes NS a N20° y Holcombe (2007) menciona fallas SO las cuales cortan y bisectan la estructura Argentinita-Zapucay (zona de cizalla Zapucay). A su vez, en la síntesis estructural Holcombe (2007) (Figura V.22) muestra la ocurrencia de fallas en sentido NO-SE que se comportan de similar manera que las antes mencionadas. Este grupo de fallas tardías, podría estar representado según la estadística de direcciones de plano, por el conjunto de planos que sigue en jerarquía al plano con dirección NNO.



**Figura V.22:** Mapa estructural de la Zona de Cizalla Zapucay (Modificado de Holcombe 2007).

### V.2.5 Síntesis Estructural

Según los antecedentes estructurales del área de estudio y lo observado en el análisis estructural de las medidas de foliación, milonitización/cizallamiento, venas y fallas, podemos proponer la siguiente síntesis estructural. La existencia de cuatro eventos de deformación D1, D2, D3 y D4, en alguno de los eventos podemos reconocer más de una fase de deformación:

D1- Este evento estaría representado según el análisis de la foliación por el plano FO-3, que presenta actitudes similares a las observadas por Vidal (2009). Como ya fue mencionado este evento desarrolla las foliaciones de alta temperatura (Cazaux 2009; Vidal, 2009) que fueron generadas bajo condiciones de alto grado metamórfico datado a los  $2077 \pm 6\text{Ma}$  por Santos *et al.* (2003).

D2- Este evento se desarrolla durante el Ciclo Orogénico Brsiliano y es el evento principal de deformación, ya que durante el mismo se desarrolla la zona de cizalla Zapucay. En este evento se sugiere la existencia de varias fases de deformación, a saber,

F1- Estaría representada por el plano de foliación FO-1 y por los planos de cizalla SH-1, SH-2 y SH-3. Esta fase de deformación se correlaciona con la fase D0 de Bergalli (2006) en la cual se genera una zona de cizalla con azimut aproximado NS y buzamiento de bajo ángulo hacia el E.

F2- Esta representado por los planos FO-2 y SH-4, y se correlaciona con la fase de deformación D1 de Bergalli (2006), en la cual se producen pliegues simétricos que generan buzamientos hacia el NE y SO con dirección de plano axial hacia el NO y con un *plunge* del eje del pliegue hacia el SE. La similitud del plano principal de venas de cuarzo VN-1 con la dirección de la línea de charnela, nos podría estar indicando que las venas de cuarzo se desarrollaron durante esta fase, quizás en las charnelas de los pliegues.

D3- Este evento se desarrolla durante el fin del ciclo orogénico Brasileño y sería producto de la intrusión del Granito Las Flores (Preciozzi *et al.*, 1979) ubicado al S de la zona de estudio hacia los 613-557 Ma. Este evento esta representado por la dirección E-O de los planos secundarios de venas y está relacionado con el evento D2 de Bergalli (2006) en el cual se genera plegamiento asimétrico.

D4- Este evento está representado por los planos de falla que dislocan la estructura Argentinita-Zapucay y podrían estar relacionadas a un sistema de fallas frágiles que menciona Holcombe (2007) hacia fines del Neoproterozoico o bien generado a fines del Paleozoico e inicios del Mesozoico.

### V.3. ANALISIS DE DATOS GEOFÍSICOS

#### V.3.1. Susceptibilidad Magnética

##### V.3.1.1. Definición

###### V.3.1.1.1. Susceptibilidad Magnética

La susceptibilidad magnética es el grado de magnetización de un material, en respuesta a un campo magnético. Este número se representa con el símbolo  $\chi$ , y es adimensional.

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

$M$  es la magnetización del material (la intensidad del momento magnético por unidad de volumen) y  $H$  es la intensidad del campo magnético externo aplicado (Milsom 2003). Si  $\chi$  es positivo, el material se llama paramagnético, y el campo magnético se fortalece por la presencia del material. Si  $\chi$  es negativa, el material es diamagnético, y el campo magnético se debilita en presencia del material. Si  $\chi \gg 1$  es un material ferromagnético. La susceptibilidad magnética y la permeabilidad magnética ( $\mu$ ) están relacionadas por la siguiente fórmula:

$$\mu = \mu_0(1 + \chi)$$

donde  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética en el vacío

La susceptibilidad magnética de las sustancias se clasifican en:

- Diamagnéticas: Bi, Cu, Au, Ag ( $\chi \sim -10e-5$ )
- Paramagnéticas: Al, Sn, O ( $\chi \sim 10e-5$ )
- Ferromagnéticas: Fe, Co, Ni ( $\chi \sim 10e5$ )

##### IV.3.1.1.2. Susceptibilidad Magnética Másica y Susceptibilidad Magnética Molar

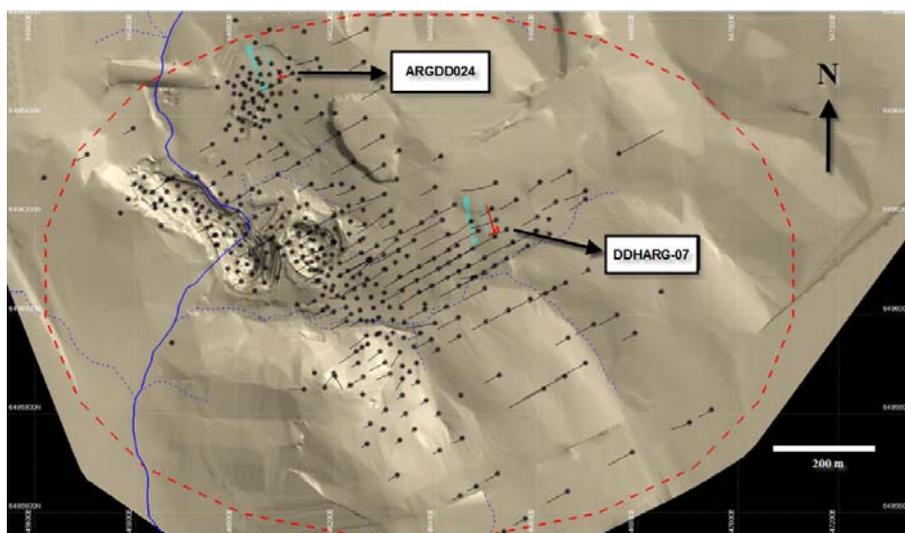
Hay otras dos medidas de la susceptibilidad, la susceptibilidad magnética másica ( $\chi_{\text{mass}}$   $\chi_{\text{g}}$  o, a veces  $\chi_{\text{m}}$ ), medida en  $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  en el Sistema Internacional (SI) o en  $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  en el CGS y la susceptibilidad magnética molar ( $\chi_{\text{mol}}$ ) medida en  $\text{m}^3 / \text{Mol}^{-1}$  (SI) o  $\text{cm}^3 / \text{mol}^{-1}$  (CGS) que se definen a continuación, donde  $\rho$  es la densidad en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (SI) o en  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  (CGS) y  $M$  es la masa molar en  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  (SI) o  $\text{g} / \text{mol}^{-1}$  (CGS).

$$\chi_{\text{mass}} = \chi_{\text{v}} / \rho \quad (\text{másica})$$

$$\chi_{\text{mol}} M \chi_{\text{mass}} = \chi_{\text{v}} / \rho \quad (\text{molar})$$

### V.3.1.2. Análisis

Se analizó la susceptibilidad magnética del testigo extraído de dos pozos diamantina (ARGDD024, DDHARG-07) ubicados en dos zonas características del depósito (Figura V.23) utilizando un susceptibilímetro tipo SM-20 (*Magnetic Susceptibility Meter*).

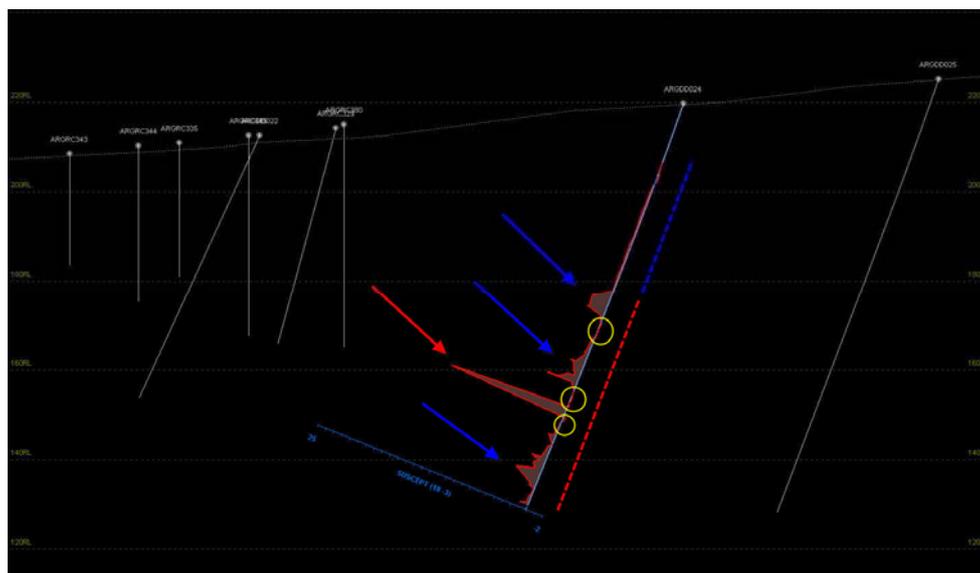


**Figura V.23:** Ubicación de sondeos analizados sobre imagen topográfica 3D de la zona de estudio.

Posteriormente se compararon los datos de susceptibilidad con diferentes atributos geológicos de los sondeos, como ser litología, deformación, presencia de venas de cuarzo y mineralización (representada por la presencia de pirita). Por la naturaleza de los datos los mismos están representados en una gráfica de línea de modo logarítmico natural y de forma exponencial ( $10^{-3}$ ). Los datos crudos pueden ser consultados en el anexo.

#### V.3.1.2.1. ARGDD024

En el caso de pozo ARGDD024 observamos la presencia de cuatro picos en la gráfica que nos indican un aumento en la susceptibilidad magnética, destacándose uno sobre los demás, que alcanza valores realmente anómalos a la media del total de los valores. También observamos un cambio importante en el comportamiento de la susceptibilidad a partir de los  $\sim 47$ m. Antes de esa profundidad el comportamiento es bastante regular, después de esa profundidad se vuelve bastante irregular presentando altos y bajos, que se correlacionan con el incremento o caída de la concentración de materiales ferromagnéticos (Figura V.24).



**Figura V.24:** Susceptibilidad magnética pozo ARGDD024.

Se realizó una correlación entre los factores geológicos y la susceptibilidad magnética.

V.3.1.2.1.a. Susceptibilidad magnética versus litología principal

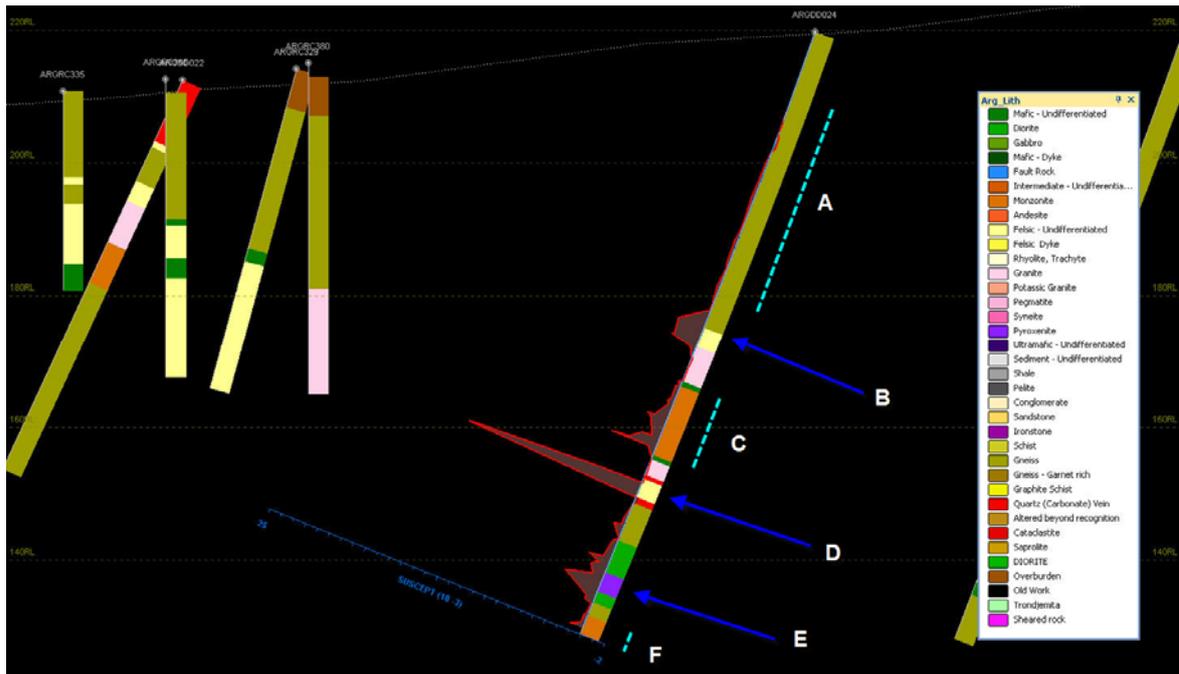
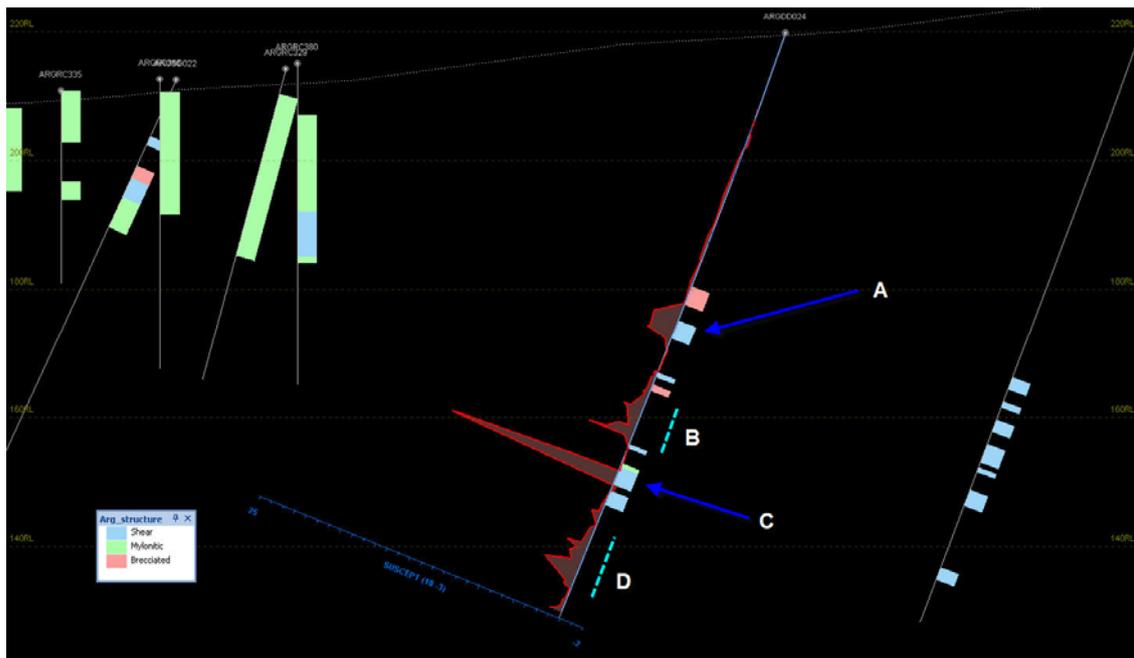


Figura V.25: Susceptibilidad magnética versus litología principal en el pozo ARGDD24.

Fueron analizados seis casos comparando la litología principal versus la susceptibilidad en los intervalos A, B, C, D, E y F del pozo.

- A:** En este intervalo se observa que la susceptibilidad magnética se mantiene estable en el orden de 0, con algún intervalo con valores negativos, el mismo corresponde al litotipo denominado gneis.
- B:** En este caso observamos un aumento en la susceptibilidad magnética alcanzando valores cercanos a 3, este valor coincide con el contacto entre la roca gnésica antes mencionada y una roca félsica indiferenciada.
- C:** Este intervalo está caracterizado por valores positivos de susceptibilidad que van desde 1 hasta 3 y corresponde a un litotipo más máfico definido como Monzonita.
- D:** En esta oportunidad observamos el pico máximo de susceptibilidad magnética alcanzando valores de hasta 17, a su vez este pico se encuentra comprendido entre dos picos con valores negativos. El pico máximo corresponde a una roca félsica indiferenciada mientras que los valores negativos corresponden a la presencia de venas de cuarzo como litología principal.
- E:** En este caso observamos valores positivos de susceptibilidad magnética que varían entre 1 y 4. El pico máximo esta caracterizado por una roca definida como piroxenita mientras el resto del intervalo lo conforma una diorita.
- F:** Al final del sondeo observamos una tendencia positiva de los valores de susceptibilidad la cual es acompañada por la presencia del litotipo definido como Monzonita.

V.3.1.2.1.b. Susceptibilidad magnética versus deformación



**Figura V.26:** Susceptibilidad magnética versus deformación.

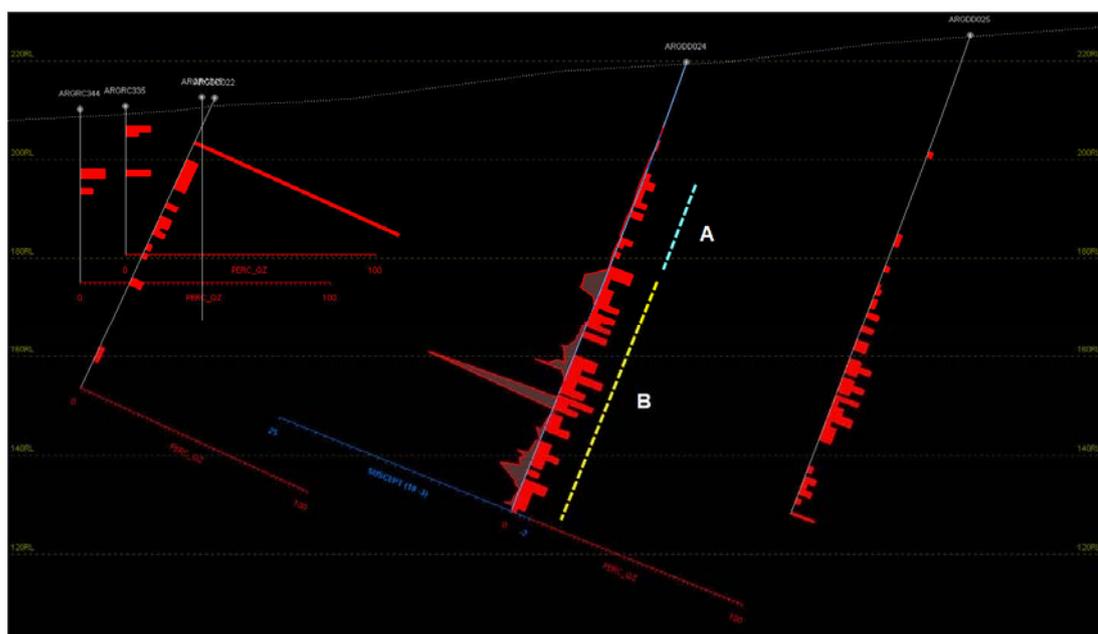
En esta oportunidad destacamos dos tipos de comportamientos A y C, y B y D.

**A y C:** En estos dos casos observamos que la susceptibilidad magnética aumenta con la deformación, específicamente con zonas de cizalla. Es notorio el mayor aumento en el caso C.

**B y D:** En estos casos a diferencia de los anteriores observamos que, si bien la susceptibilidad magnética aumenta, la deformación por otro lado disminuye.

V.3.1.2.1.c. Susceptibilidad magnética versus venas de cuarzo

Las venas de cuarzo están expresadas en un diagrama de barra de porcentaje de cuarzo.

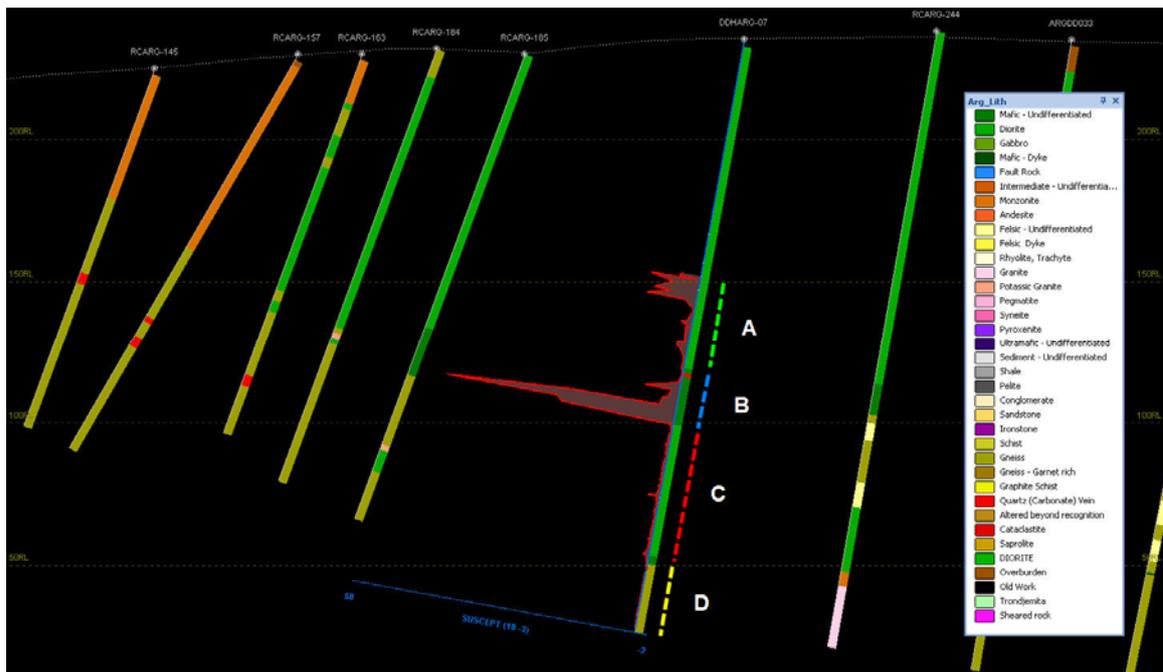


**Figura V.27:** Susceptibilidad magnética versus venas de cuarzo.

Dos zonas, A y B fueron analizadas al comparar la susceptibilidad y la ocurrencia de venas de cuarzo:

**A:** Aquí observamos que la susceptibilidad magnética permanece estable y la ocurrencia de venas de cuarzo es pobre.



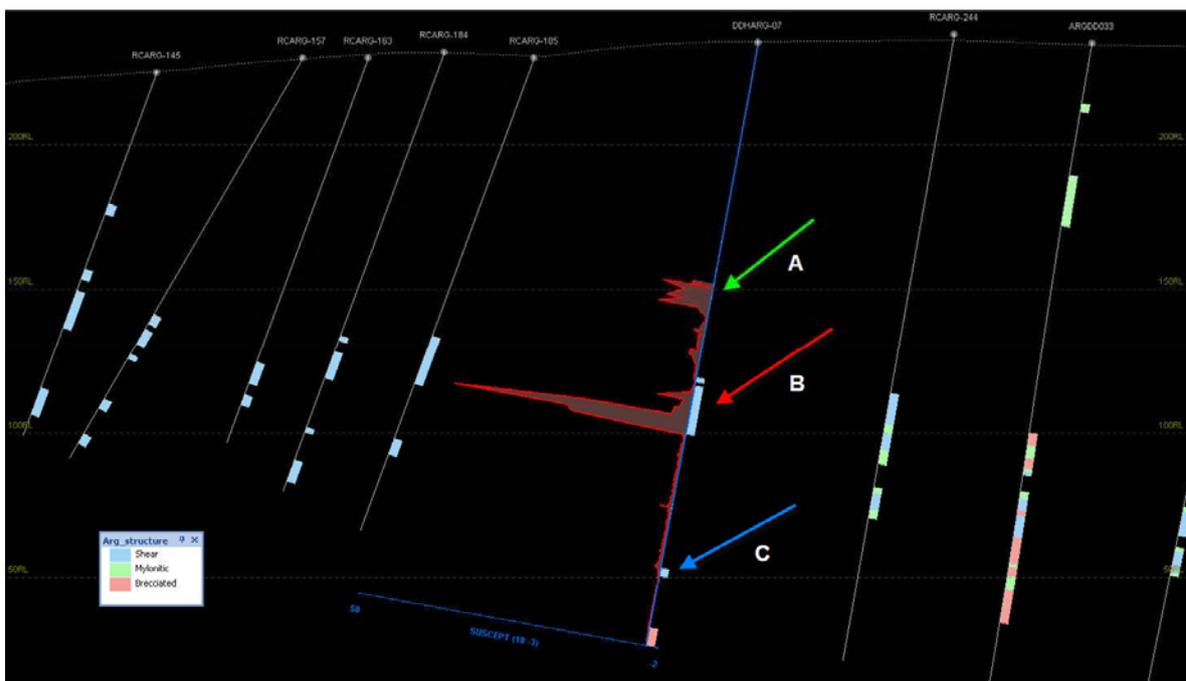


**Figura V.30:** Susceptibilidad magnética versus Litología principal.

En este perfil se diferencian cuatro zonas, A, B, C y D.

- A:** Aquí se observa la presencia de una roca máfica, diorita, con valores altos de susceptibilidad magnética sobre todo en los primeros metros.
- B:** Aquí se destaca un aumento pronunciado de la susceptibilidad magnética con la presencia de una roca indiferenciada máfica deformada.
- C:** Ocurre nuevamente la diorita aunque con valores bajos y estables de susceptibilidad magnética.
- D:** Ocurre un gneiss con valores muy bajos de susceptibilidad magnética y a su vez muy estables.

#### V.3.1.2.2.b. Susceptibilidad magnética versus deformación



**Figura V.31:** Susceptibilidad magnética versus Deformación.

Comparando la deformación con la susceptibilidad magnética destacamos tres casos A, B y C.

- A:** En este caso se observa que el segundo pico en susceptibilidad magnética no se corresponde con una zona deformada.
- B:** Aquí es notoria una relación entre la deformación y la susceptibilidad magnética.
- C:** En este último caso se puede observar una pequeña zona de deformación justo en un cambio sutil de susceptibilidad magnética.

V.3.1.2.2.c. Susceptibilidad magnética versus venas de cuarzo

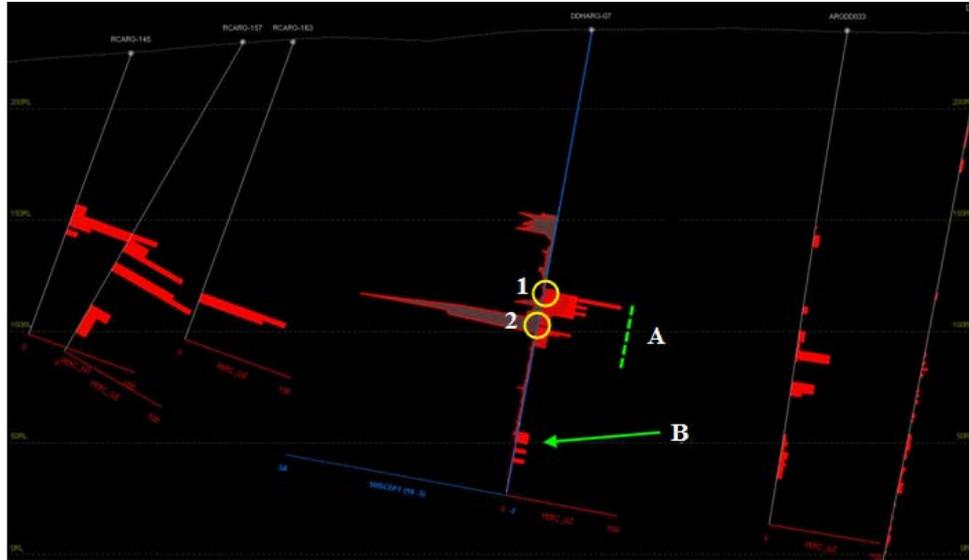


Figura V.32: Susceptibilidad magnética versus venas de cuarzo.

Dos son los casos que destacamos al comparar la susceptibilidad magnética con el porcentaje de cuarzo presente en venas:

- A:** A primera vista, en este intervalo se observa que existe un aumento de la susceptibilidad magnética con el aumento de la presencia de venas de cuarzo. Pero al analizarlo con mayor detalle se observa lo siguiente:
- Pico de mayor presencia de cuarzo con susceptibilidad magnética cercana al 0.
  - Pico de mayor valor de susceptibilidad magnética sin presencia de cuarzo.
- B:** Aquí el porcentaje de cuarzo no es muy alto, justo se da en el descenso de la susceptibilidad a valores nulos o negativos.

V.3.1.2.2.d. Susceptibilidad magnética versus mineralización

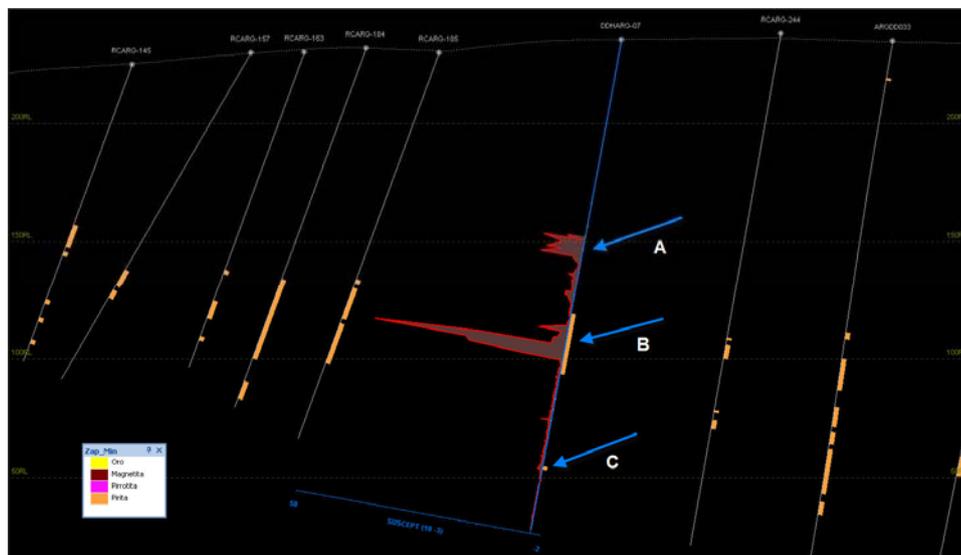


Figura V.33: Susceptibilidad magnética versus mineralización.

Al igual que en los gráficos anteriores al comparar la mineralización representada principalmente por la presencia de pirita versus la susceptibilidad magnética destacamos tres casos: A, B y C.

**A:** Aquí el pico de susceptibilidad magnética no se corresponde con la presencia de pirita.

**B:** Al contrario que en A, en el caso B el aumento en la susceptibilidad ocurre en una zona con presencia de pirita.

**C:** Manteniendo la tendencia de los casos anteriores, en el cambio sutil de susceptibilidad observado en esta zona es perceptible la presencia de pirita.

### V.3.1.3. Observaciones

1. Como primera observación podemos mencionar que la susceptibilidad magnética no responde de la misma forma frente a un mismo atributo geológico, por ejemplo no siempre que aparezca pirita la susceptibilidad va a ser elevada, sino que parece que actúan más de un atributo en el comportamiento de la susceptibilidad magnética.

2. A grandes rasgos, en ambos pozos los picos más altos de susceptibilidad están relacionados con zonas de deformación, presencia de volúmenes considerables de venas de cuarzo y pirita.

3. A medida que nos acercamos a la zona de interés en cada pozo, la susceptibilidad magnética se vuelve inestable.

4. Hay dos litologías predominantes en los dos sondeos que mantienen una respuesta estable de susceptibilidad magnética, siempre y cuando no estén muy cercanas a la zona de mayor deformación. Estas son una diorita y un gneiss, deformados.

5. En los dos sondeos existe un aumento en los valores de la susceptibilidad magnética asociados a contactos litológicos o tectónicos.

## V.4. ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y CALCOGRÁFICO

Fueron analizadas 10 muestras representativas de las principales litologías presentes en el yacimiento, poniendo énfasis en su grado de deformación, alteración hidrotermal y posible identificación del protolito. Estas fueron escogidas de los mismos sondeos a los cuales se les realizó el análisis de susceptibilidad magnética.

### V.4.1. Selección, descripción petrográfica y calcográfica de las muestras

Para escoger estas muestras se utilizaron criterios geológicos como ser tipo de roca, intensidad de deformación y tipo de alteración hidrotermal, y criterios geofísicos. Combinando estos criterios se intentó extraer muestras que nos permitieran una descripción más detallada del yacimiento.

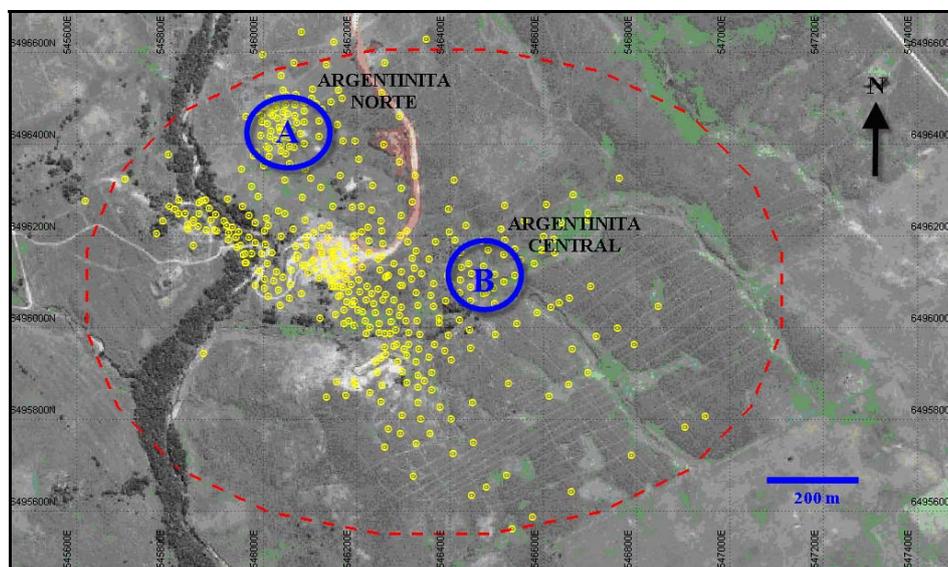


Figura V.34: Ubicación de los pozos dentro del yacimiento Argentinita.

#### V.4.1.1. Sondaje ARGDD024

Un conjunto de cinco muestras fueron recolectadas para su análisis petrográfico. Las mismas corresponden al sondaje en diamantina ARGDD024, que se ubica dentro del yacimiento Argentinita en su zona norte (Figura V.34-A). Esta perforación fue escogida por tener una de las principales litologías del yacimiento denominada MGN (gneis o *augen* gneis, *sensu* Holcombe 2006) al inicio de la perforación. También por contener algunas litologías tales como IPX (piroxenita) y la IM (monzonita). En la Figura V.35 se observa la traza del pozo conteniendo los valores de susceptibilidad magnética y las litologías principales presentes.

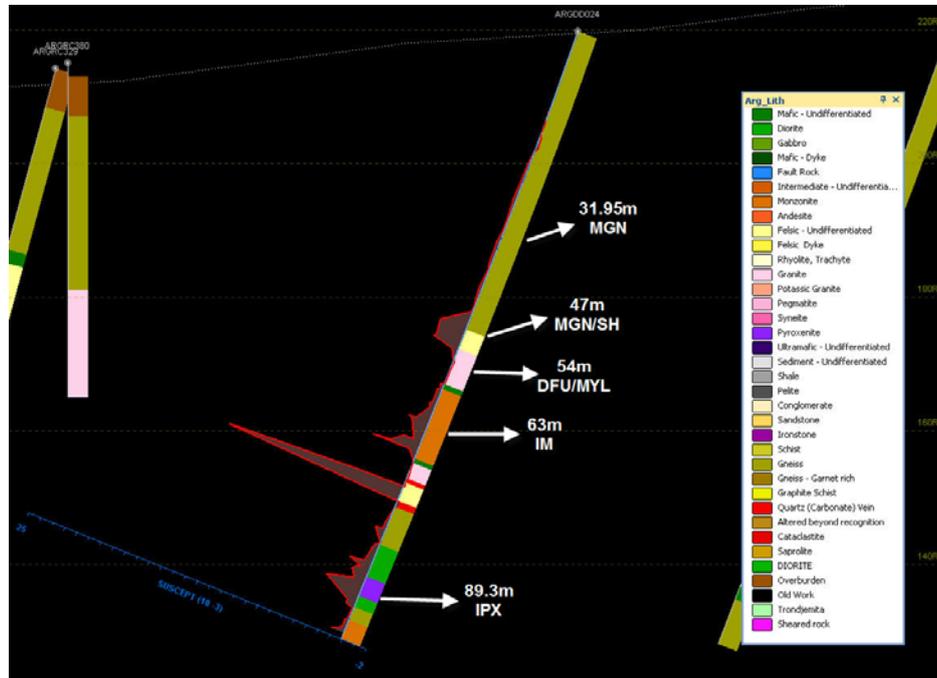


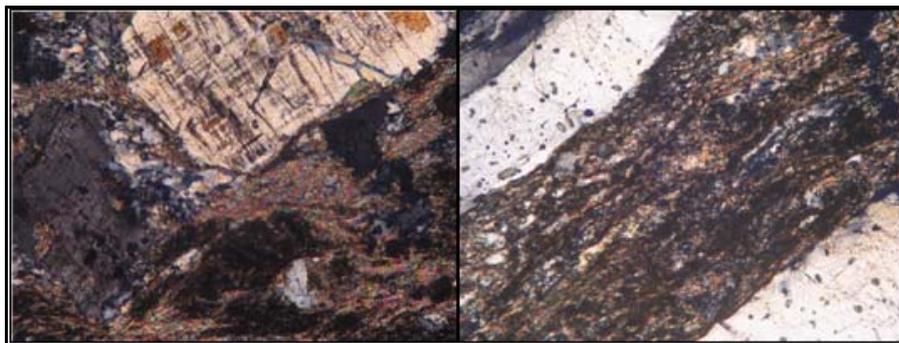
Figura V.35: Ubicación de las muestras en el pozo ARGDD024. Susceptibilidad magnética versus litología principal.

- **31.95 m (MGN):** *Augen* gneis (Holcombe 2006) con débil alteración hidrotermal. Presenta oxidación. Posee valores bajos de susceptibilidad magnética (Figura V.36).



Figura V.36: Testigo de perforación de augen gneis.

Según el análisis petrográfico esta muestra presenta textura milonítica. Su matriz milonítica es rica en filosilicatos y en finos opacos diseminados. Presenta porfiroclastos de feldespato alcalino y *ribbons* de cuarzo de grano fino, fuertemente estirados y recristalizados dinámicamente. Como principales minerales presentes se observan feldespato alcalino, microclina parcialmente sericitizada; cuarzo fuertemente deformado y recristalizado de grano fino; y sericita conformando la mayor parte de la matriz milonítica (Figura V.37).



**Figura V.37:** A la izquierda porfiroclastos de microclima fracturada en matriz milonítica rica en filosilicatos; a la derecha ribbons de cuarzo también en matriz milonítica. Polorizadores cruzados, ancho de las imágenes = 1.8 mm.

Los opacos son muy finos y aparecen diseminados en la matriz milonítica y corresponden a magnetita en ocasionales cristales euhedrales; limonita producto de la alteración parcial de la magnetita, y pirita muy fina, escasa y diseminada (Figura V.38).



**Figura V.38:** Cristales euhedrales de magnetita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen = 1.2 mm.

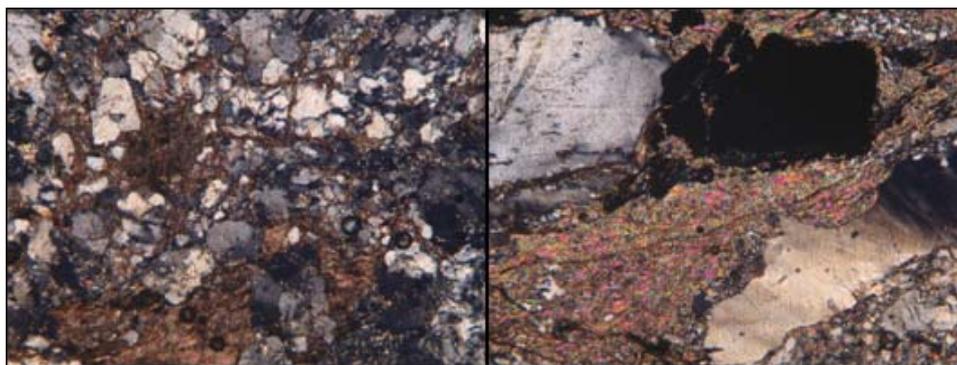
La roca fue definida como milonita de protolito félsico, ya sea granito o gneis leucócrata, con deformación de baja temperatura y/o alto *strain rate*.

➤ **47 m (MGN-SH):** Augen gneis afectado por eventos posteriores a la deformación. Presenta valores altos de susceptibilidad magnética y corresponde a una banda de cizallamiento (Figura V.39).



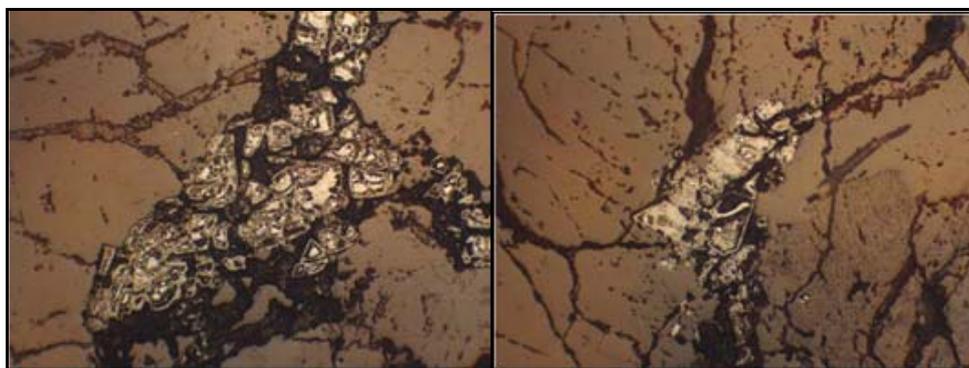
**Figura V.39:** Testigo de augen gneis.

La muestra posee textura milonítica, la matriz cataclástica presenta abundantes clastos angulosos de cuarzo y feldespato. Se observan dominios más ricos en filosilicatos que desarrollan foliación milonítica. Asimismo, se observa feldespato alcalino mesopertítico, que sugiere la posibilidad de que el protolito sea un gneis félsico de alto grado; plagioclasa con cristales subhedrales con macla polisintética con parcial alteración a sericita; cuarzo fuertemente deformado y recrystalizado; y sericita en bandas discontinuas, conformando la matriz milonítica (Figura V.40).



**Figura V.40:** A la izquierda fracturación cataclástica y red de venillas con sericita, a la derecha ribbon de cuarzo y matriz muy rica en sericita en milonita félsica. Polarizadores cruzados, ancho de las imágenes = 1.8 mm.

Los opacos son muy finos y se disponen de forma diseminada en la matriz milonítica. Los principales minerales son, magnetita en ocasionales cristales euhedrales diseminados; pirita oxidada en pequeños cristales euhedrales rellenando fracturas; y limonita producto de la alteración total de la pirita e incipiente de la magnetita (Figura V.41).



**Figura V.41:** Izquierda y derecha cristales euhedrales de pirita transformados a óxidos e hidróxidos de hierro. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen = 1.2 mm.

La roca es definida como milonita de protolito félsico posiblemente gneis leucócrata, con deformación de baja temperatura y/o alto *strain rate*.

➤ **54 m (DFU-MY):** Roca félsica milonitizada. Presenta una caída brusca en los valores de susceptibilidad magnética y se encuentra dentro de la zona de mayor deformación (Figura V.42).



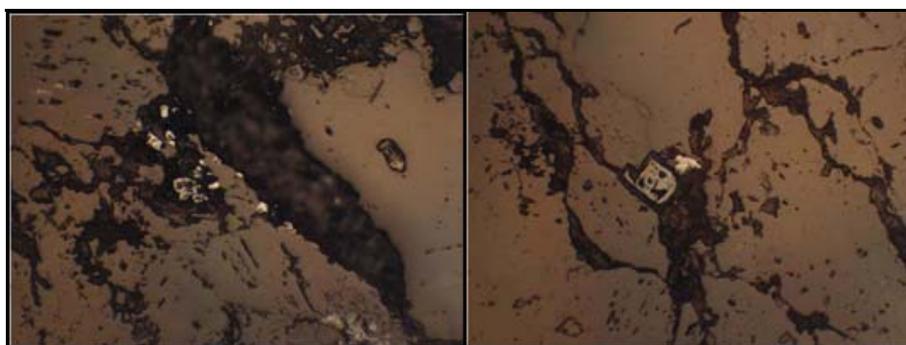
**Figura V.42:** Testigo de roca félsica deformada indiferenciada.

Esta muestra presenta textura cataclástica con clastos angulosos de cuarzo y feldespato. Aparece sericita intersticial. La mineralogía se compone de feldespato alcalino mesopertítico, que al igual que la muestra anterior sugiere que el protolito sea un gneis félsico de alto grado; plagioclasa en cristales subhedrales con macla polisintética; cuarzo deformado, fracturado y parcialmente recrystalizado; y sericita intersticial (Figura V.43).



**Figura V.43:** A la izquierda cuarzo con extinción ondulante y evidencias de grain boundary migration. Matriz sericítica. Granos de feldespato alcalino. A la derecha cuarzo con extinción ondulante y evidencias de grain boundary migration. Feldespato alcalino mesopertítico. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.

Los minerales opacos son escasos y se disponen de forma diseminada. Se reconocen pirita oxidada en pequeños cristales euhedrales, rellenando fracturas; muy escasa magnetita; y limonita como producto de alteración de la pirita (Figura V.44).



**Figura V.44:** Izquierda y derecha cristales euhedrales de pirita transformados a óxidos e hidróxidos de hierro. Pequeños cristales de magnetita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.

La roca fue definida como milonita de protolito félsico posiblemente gneis leucócrata con deformación sobreimpuesta a baja temperatura y/o alto *strain rate*.

➤ **63 m (IM):** Esta roca fue descrita como monzonita y posee picos altos de susceptibilidad magnética (Figura V.45).



**Figura V.45:** Testigo de monzonita.

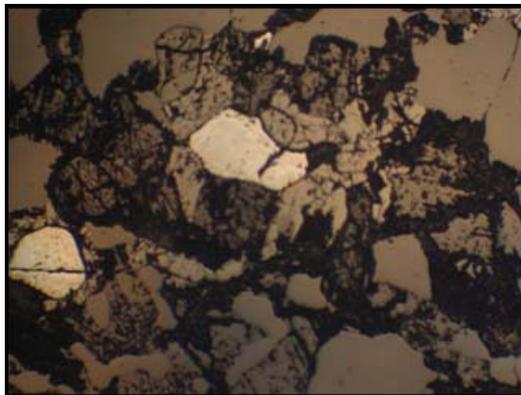
La textura de la muestra es cataclástica con clastos angulosos y abundantes fracturas. Son abundantes los intercrecimientos de cuarzo y feldespato. Se preserva parcialmente la textura del protolito, aparecen piroxenos alterados a anfíbol con textura granoblástica y evidencias de *grain boundary migration*. La mineralogía esta compuesta principalmente por cuarzo en cristales independientes (anhedrales) y en intercrecimientos gráficos; plagioclasa en cristales subhedrales parcialmente alterados; anfíbol de posible retrometamorfismo de piroxeno;

y apatito en cristales prismáticos cortos, diseminados, pertenecientes al protolito. Como minerales de alteración se observan clorita y calcita recortando en venillas (Figura V.46).



**Figura V.46:** A la izquierda intercrecimientos micrográficos de cuarzo y feldespato alcalino. A la derecha juntas triples en feldespato. Clorita y carbonato secundario. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.

Los minerales opacos son escasos y diseminados, principalmente se observa la presencia de magnetita parcialmente alterada a hematita (Figura V.47).



**Figura V.47:** Magnetita con incipiente transformación a hematita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen=1.2 mm.

Se definió a la roca como granulita intermedia a máfica, con retrometamorfismo-alteración (clorita-calcita) e importante cataclasis. La deformación sobreimpuesta es de baja temperatura y/o alto *strain rate*.

➤ **89.30 m (DMU/IPX):** Esta muestra fue descrita como piroxenita y posee valores altos de susceptibilidad magnética (Figura V.48).



**Figura V.48:** Testigo de piroxenita.

Esta muestra presenta textura granoblástica con abundantes prismas de anfíbol color castaño posiblemente de retrometamorfismo de piroxeno; escasa plagioclasa en cristales subhedrales parcialmente alterados; escasos relictos de clinopiroxeno en granos equidimensionales rodeados de anfíbol; y apatito en prismas cortos diseminados. Los minerales de alteración presentes son clorita, calcita y sericita (Figura V.49).



**Figura V.49:** Anfíbol pardo y feldespato alterado. Izquierda luz polarizada plana, derecha polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.

Los opacos son escasos aunque se diferencia pirrotita a veces con *flames* de pentlandita, ilmenita, calcopirita ocasional en pequeños granos, magnetita y pirita en muy pequeños granos (Figura V.50).



**Figura V.50:** Izquierda ilmenita y pirrotina. Derecha detalle de pirrotina con *flames* de pentlandita. En el extremo izquierdo del cristal de pirrotina inclusión de calcopirita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.

Se define a la muestra como granulita máfica, con retrometamorfismo (hornblenda parda) – alteración (clorita-calcita-sericita).

#### V.4.1.2. Sondaje DDHARG-07

Este sondeo fue escogido por contener las dos litologías más representativas del yacimiento, la denominada MGN (gneis) y la IDO (diorita). A su vez, este sondeo se ubica en la parte central del yacimiento (Figura V.34-B) una de las zonas de mayor interés de la compañía por su potencial a ser explotada de forma subterránea. A diferencia del sondeo anterior la roca más afectada por la estructura mineralizante es la roca básica, denominada diorita. Fueron analizadas 5 muestras para este caso (Figura V.51).

➤ **91.25 m (IDO-SR):** Esta muestra se eligió para caracterizar una de las litologías más abundantes en el distrito. En muestra de mano se describe como una diorita con textura sal-pimienta (Figura V.52). Es interesante la caída de valores de susceptibilidad magnética a medida que se acerca a la zona deformada e hidrotermalizada.

La muestra presenta textura granoblástica. Piroxenos y plagioclasas desarrollan juntas triples a 120°, típicas de rocas granulíticas. La mineralogía presente se compone de ortopiroxeno en cristales granulares, subhedrales; clinopiroxeno en cristales granulares, subhedrales; plagioclasa abundante en cristales subhedrales, con macla polisintética; escasa microclina anhedral en cristales intersticiales; anfíbol de color castaño en cristales euhedrales, posiblemente debido a retrometamorfismo de piroxeno; y apatito en prismas cortos y diseminado. Como minerales de alteración aparece clorita y calcita (Figura V.53).

Los minerales opacos son escasos y diseminados, se reconocen ilmenita relativamente abundante, pirrotina en trazas, magnetita con parcial alteración a hematita (martitización) y pirita oxidada, muy escasa y diseminada (V.54).

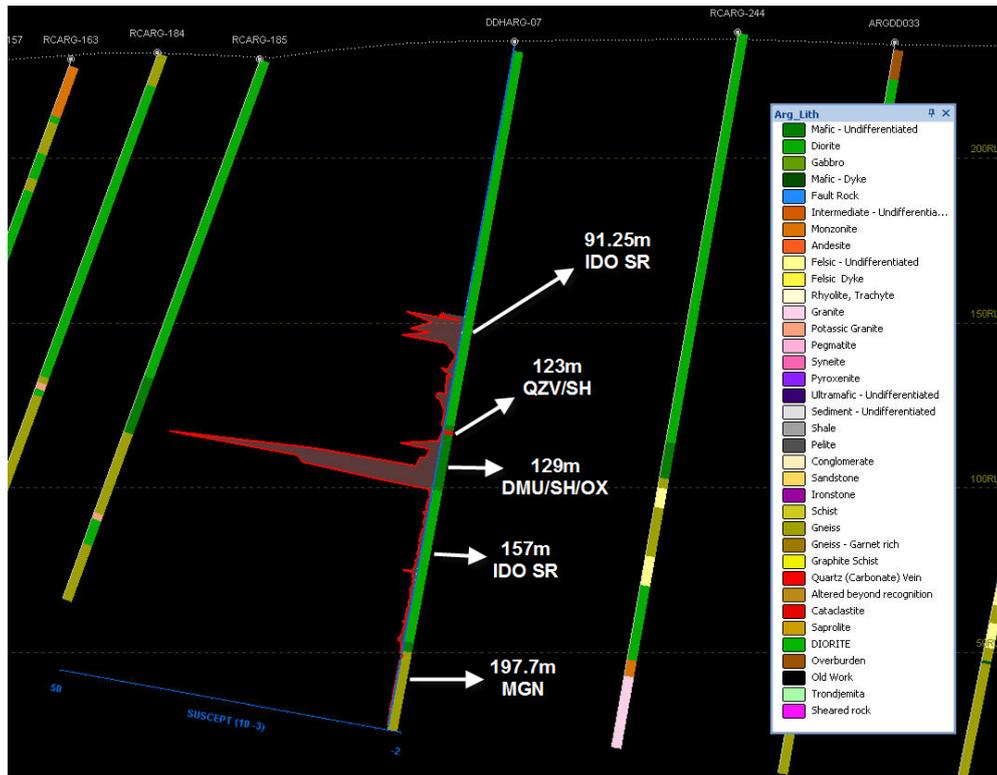


Figura V.51: Ubicación de las muestras en el pozo DDHARG-07. Susceptibilidad magnética versus litología principal.



Figura V.52: Testigo de diorita.

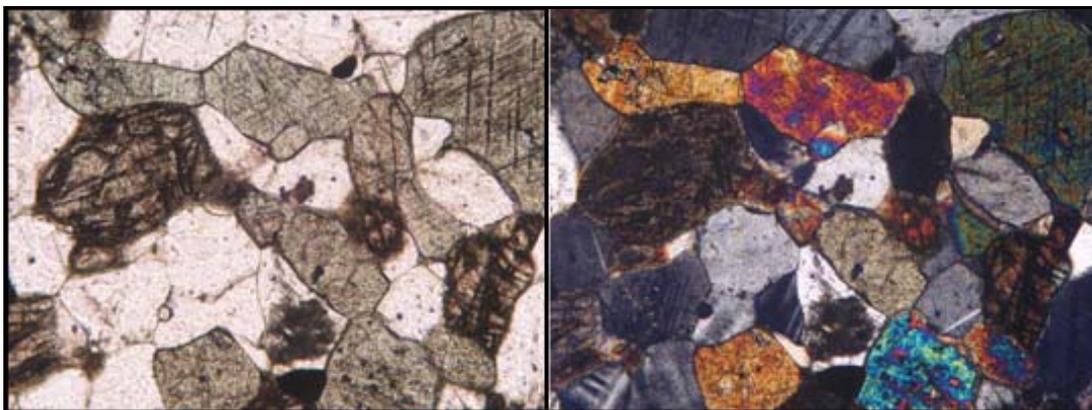
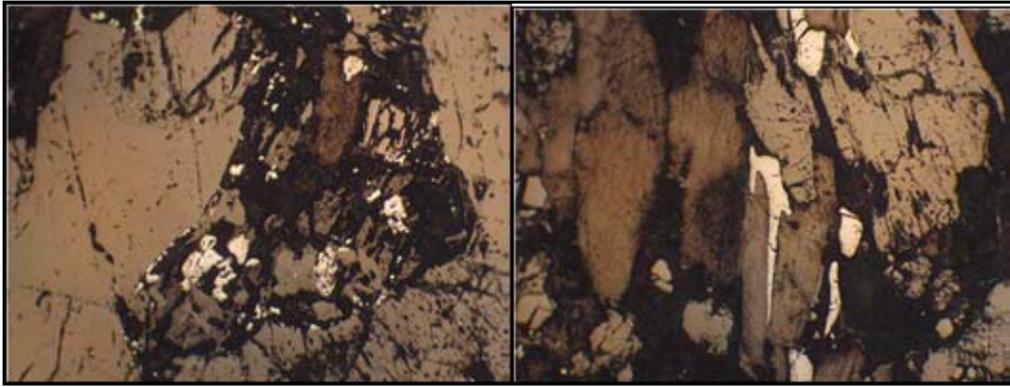


Figura V.53: Juntas triples en plagioclasa y piroxeno. Típica textura granoblástica de granulita máfica. Luz polarizada plana izquierda y polarizadores cruzados derecha. Ancho de la imagen = 1.8 mm.



**Figura V.54:** A la izquierda ilmenita y magnetita. A la derecha ilmenita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.

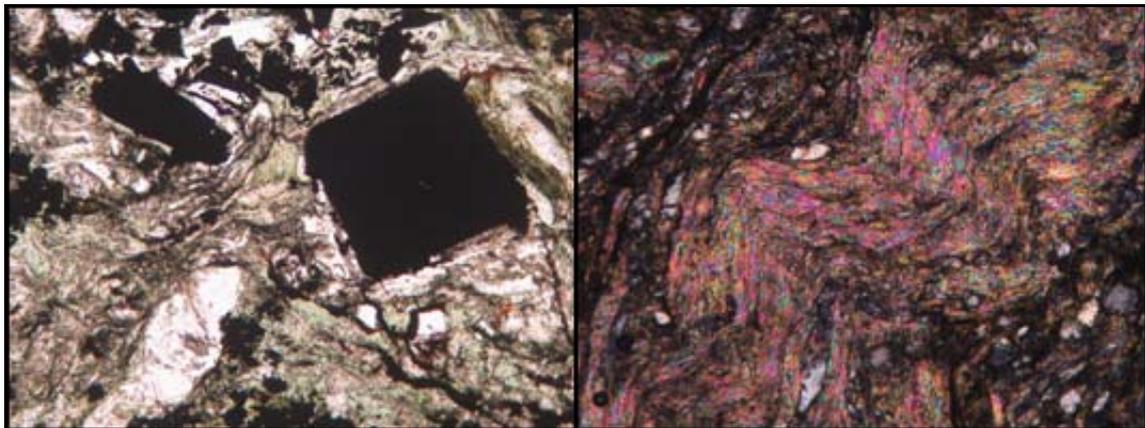
Se define a la muestra como granulita máfica con débil retrometamorfismo y escasa alteración clorita-calcita.

➤ **123 m (QZV/SH):** Esta muestra forma parte de la zona de cizalla, se observa una alternancia de bandas de la roca caja deformada y bandas de cuarzo (Figura V.55). La susceptibilidad magnética baja de forma precipitada.



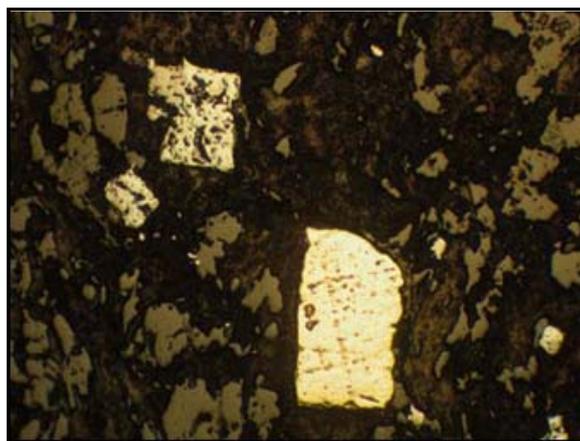
**Figura V.55:** Venas de cuarzo cizallada.

Esta muestra presenta textura milonítica con matriz rica en filosilicatos y porfiroclastos angulosos diseminados. La mineralogía la componen cuarzo en pequeños porfiroclastos angulosos de 0.2-0.5 mm; muscovita en cristales plegados de 1 a 2 mm, probablemente del protolito; clorita y sericita formando parte de la matriz (Figura V.56).



**Figura V.56:** A la izquierda cubos de pirita en matriz rica en clorita y sericita. A la derecha matriz rica en muscovita y sericita, plegada. Luz polarizada plana a la izquierda y polarizadores cruzados a la derecha. Ancho de las imágenes 1.8 mm.

Los opacos se presentan de forma diseminada y en pequeños cristales subhedrales (Figura V.57). Se define a la roca como milonita, probablemente de protolito máfico.



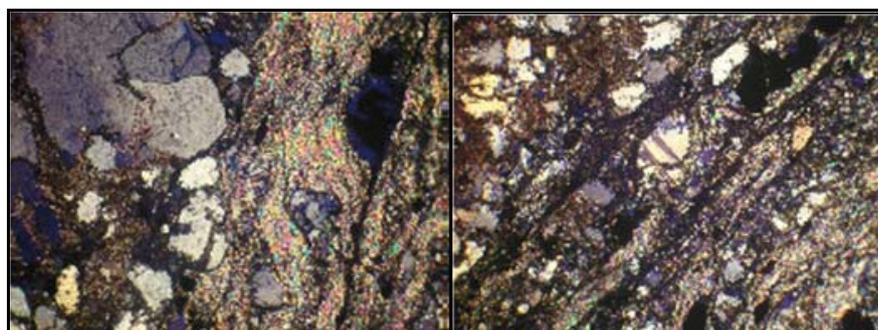
**Figura V.57:** Magnetita con transformación parcial a hematita (arriba izquierda) y pirita (centro). Luz polarizada plana reflejada. Ancho de la imagen = 1.2 mm.

➤ **129 m (DMU/SH/OX):** Esta muestra pertenece a la zona de cizalla. La susceptibilidad magnética en este caso alcanza los valores más altos en el sondeo. En muestra de mano podemos mencionar que la roca presenta un bandeo composicional con predominio de litologías máficas indiferenciadas, deformada. Es rica en pirita y posee un aspecto milonítico (Figura V.58).



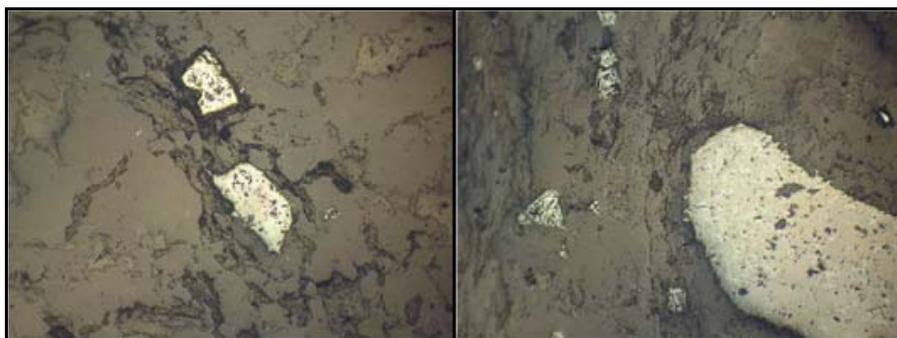
**Figura V.58:** Máfica deformada indiferenciada en muestra de mano.

La muestra presenta textura milonítica con porfiroclastos angulosos de cuarzo y feldespato inmersos en una matriz foliada, muy rica en filosilicatos. La foliación se presenta frecuentemente plegada. Finas venillas de carbonato recortan la roca. La mineralogía está representada por porfiroclastos de cuarzo redondeados de 0.2 - 3 mm, con fuerte extinción ondulante e incipiente recristalización dinámica; plagioclasas también como porfiroclastos de 0.5 a 5 mm, presentan maclas torcidas y fracturación. La matriz está compuesta por muscovita-sericita en abundantes laminillas formando a veces pliegues; clorita aparece concentrada en bandas de 1 a 2 mm; carbonato en cristales de ~ 1 mm; y epidoto en finos cristales granulares (Figura V.59).



**Figura V.59:** A la izquierda porfiroclastos de cuarzo y plagioclasa en matriz foliada rica en muscovita-sericita y clorita. A la derecha porfiroclastos en matriz foliada rica en muscovita-sericita y clorita. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 2.4 mm.

Los opacos aparecen diseminados en la matriz, se reconocen pirita euhedral a subhedral y magnetita en dos generaciones, euhedral postectónica y redondeada envueltos por matriz preectónica del protolito (Figura V.60).



**Figura V.60:** A la izquierda cristal de pirita y cristal de magnetita parcialmente transformado en hematita. A la derecha dos generaciones de cristales de magnetita, pequeños cristales euhedrales y gran cristal con parcial transformación a hematita. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 0.8 mm.

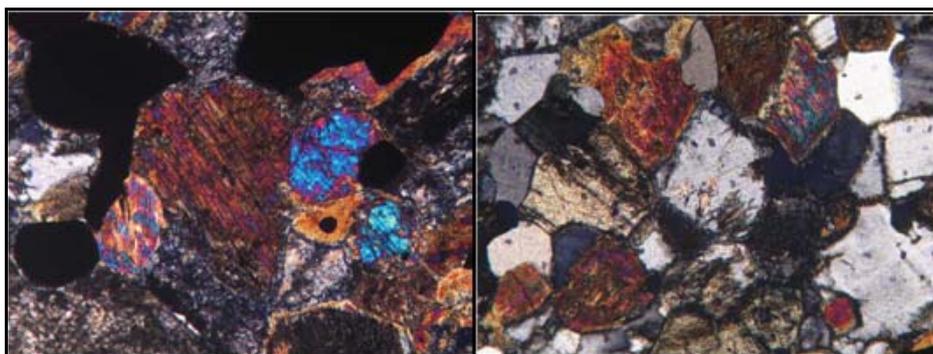
Se define a la roca como filonita, con bandas pobres en filosilicatos, cuyo probable protolito sea una roca granítica. El aspecto de deformación dúctil se asocia a la abundancia de filosilicatos en la matriz y no a la deformación bajo condiciones de mayor temperatura.

➤ **157 m (IDO-SR):** Esta muestra es similar a la muestra 91.25 m, aunque presenta valores de susceptibilidad magnética menor. Estos valores nos pueden estar indicando algún cambio en la composición, quizás por su mayor cercanía a la zona de mayor deformación (Figura V.61).



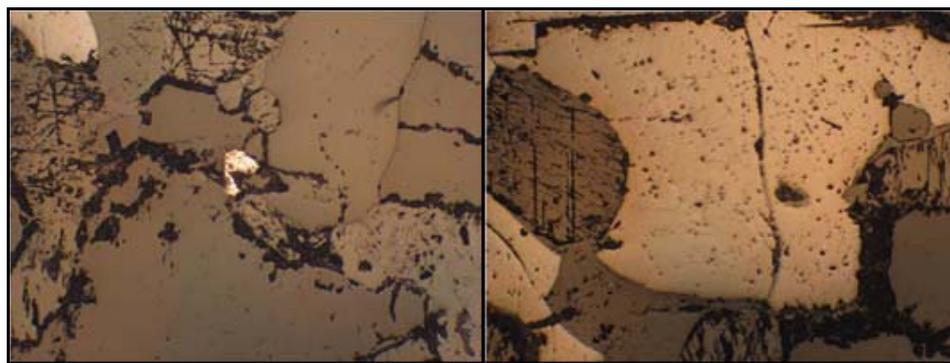
**Figura V.61:** Diorita en muestra de mano.

La muestra presenta textura granoblástica, con piroxenos alterados a hornblenda (retrometamorfismo) y plagioclasas con desarrollo de juntas triples a  $120^\circ$ , típicas de rocas granulíticas. La mineralogía está compuesta por clinopiroxeno en cristales subhedrales parcialmente alterados a anfíbol; anfíbol uralítico de pleocroísmo en tonos de verde; plagioclasas en granos subhedrales, con maclado polisintético; cuarzo anhedral en cristales intersticiales; y apatito en cristales subhedrales diseminados. Como minerales de alteración aparecen clorita y calcita (escasos) (Figura V.62).



**Figura V.62:** A la izquierda opacos, piroxeno parcialmente uralitizado y feldespato alterado. A la derecha juntas triples en plagioclasa y piroxeno. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 1.8 mm.

Los minerales opacos aparecen diseminados, y dentro de los mismos se puede reconocer ilmenita subhedral, pirita euhedral fresca y magnetita con incipiente alteración a hematita (Figura V.63).



**Figura V.63:** A la izquierda en el centro de la imagen pirita, arriba a la izquierda ilmenita. Imagen derecha ilmenita mostrando características maclas laminares. Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 1.2 mm.

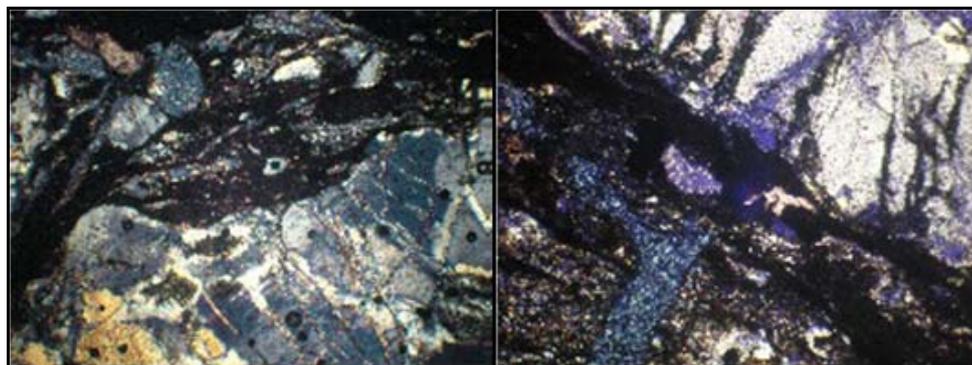
La roca se define como granulita máfica, con retrometamorfismo posiblemente a facies anfibolita con escasa alteración clorita-calcita.

➤ **197.70 m (MGN): Augen gneis** (Figura V.64). Los valores de susceptibilidad magnética descienden a valores cercanos a cero.



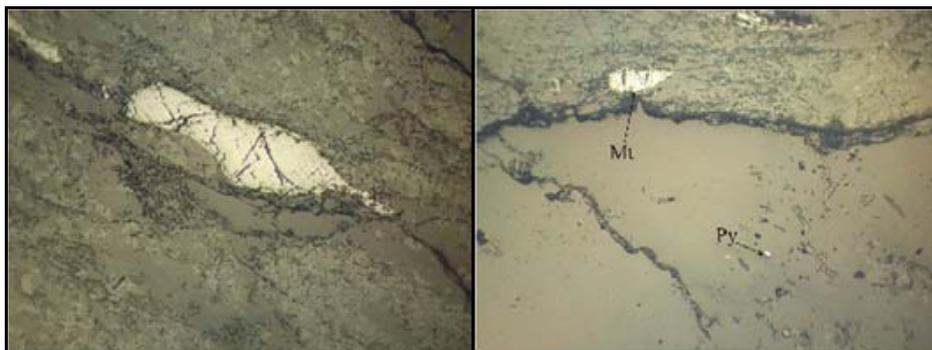
**Figura V.64:** Augen gneis en muestra de mano.

Esta muestra presenta textura milonítica con grandes porfiroclastos de feldespato alcalino inmersos en una matriz foliada. La matriz presenta abundantes cristales euhedrales de apatito, junto a clorita. La mineralogía está compuesta por porfiroclastos de cuarzo redondeados de 0.5 - 2 mm con fuerte extinción ondulante e incipiente recristalización dinámica; feldespato alcalino en forma de grandes porfiroclastos de 3 a 25 mm peritéticos, con extinción ondulante, formación de subgranos y fracturación; plagioclasa alterada (filitizados y saussuritizados). La matriz se compone de moscovita-sericita; clorita en bandas y como relleno de fracturillas; carbonato; epidoto en finos cristales granulares; y apatito en cristales euhedrales heredados del protolito (Figura V.65).



**Figura V.65:** Feldespato alcalino pretectónico, con fuerte deformación inmerso en una matriz foliada rica en finos opacos diseminados. A la derecha presencia de vena de clorita. Polarizadores cruzados. Ancho de las imágenes = 2.4 mm.

Los opacos son finos y están diseminados en la matriz, se reconoce goethita pseudomorfa de magnetita, con geometrías aplanadas que sugieren ser heredadas de una foliación de alta temperatura, y pirita en raros y pequeños cristales euhedrales (Figura V.66).



**Figura V.66:** A la izquierda goethita en pseudomorfosis de magnetita. A la derecha *idem* anterior (Mt) y fina pirita (Py). Luz polarizada plana reflejada. Ancho de las imágenes = 0.8 mm.

Se define a la roca como un augen gneis tectonizado (filonita). El probable protolito sería una roca granítica. La morfología de los pseudomorfos de magnetita indica una fase previa de deformación dúctil en condiciones de media a alta temperatura.

#### V.4.2. Discusión a partir del Análisis petrográfico y calcográfico

A continuación se discutirá acerca de cuatro aspectos que consideramos importantes al momento de caracterizar a nuestro yacimiento. Los mismos son, reconocimiento del protolito de la roca afectada por la zona de cizalla Zapucay; tipo de deformación y metamorfismo presente en la roca; hidrotermalismo y minerales hidrotermales presentes; y reconocimiento de factores que influyen en la susceptibilidad magnética.

##### V.4.2.1. Protolito y deformación - metamorfismo

Como primera observación a partir del análisis petrográfico y calcográfico podemos mencionar que se reconocen rocas pertenecientes a una secuencia félsica y a una máfica. Las dos secuencias se encuentran afectadas, aunque en grado variable, por eventos de milonitización y cataclasis, evidenciados por:

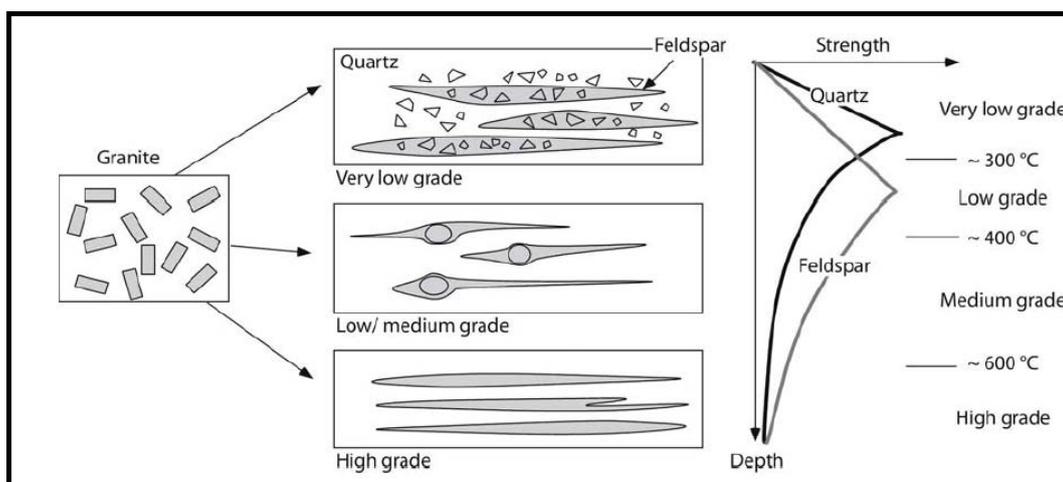
- ribbons de cuarzo fuertemente estirados y recristalizados dinámicamente
- matriz milonítica rica en filosilicatos
- matriz cataclástica conformada por clastos angulosos de cuarzo y feldespato
- presencia de fracturillas en minerales primarios

Es posible observar en una misma muestra zonas con comportamiento principalmente frágil y otras con comportamiento principalmente dúctil (ver muestra ARGDD024\_47 m), esta diferencia en el comportamiento se podría deber al grado de competencia de los componentes de la roca o bien a dos eventos distintos (ver Capítulo V.2). Cuando comparamos dos litologías diferentes presentes en el mismo pozo también ocurre algo similar. Si vemos el comportamiento de la secuencia félsica (ver muestra ARGDD024\_47 m) la misma se comporta de forma más dúctil que la secuencia intermedia a máfica (ver muestra ARGDD024\_63 m). Este comportamiento fue mencionado por Holcombe (2007), quien lo explicó a partir de la diferencia en la capacidad de deformación de rocas ricas en cuarzo y otras pobres en este mineral (Figura V.67).

Existen algunas evidencias que nos permiten deducir que estos eventos milonítico y cataclástico se desarrolla en condiciones de bajo grado metamórfico y hasta de muy bajo grado metamórfico. Estas evidencias son más notables en la secuencia félsica que en la máfica. En condiciones de bajo grado metamórfico entre 300° y 400° C existe un comportamiento diferencial entre cuarzo y feldespato; mientras el feldespato se deforma frágilmente presentando fracturamiento y extinción ondulante, el cuarzo se deforma dúctilmente generando agregados de cuarzo elongados como *ribbons*. En algunos casos como la muestra ALDD024\_47 m se observa que ambos minerales feldespato y cuarzo tienen un comportamiento frágil que nos estaría indicando que las condiciones de metamorfismo serían aún más bajas < 300° C (Passchier y Trouw, 2005) (Figura V.68).



**Figura V.67:** A la izquierda vena de Augen Gneiss dentro de diorita (proyecto Argentinita). A la derecha el granito se deforma fácilmente dejando bloques angulares de gabro (Finlandia). Extraído de Holcombe (2007).



**Figura V.68:** Cambios en el comportamiento de la deformación en agregados de cuarzo-feldespatos con la profundidad. Tomado de Passchier y Trouw (2005).

La presencia de minerales secundarios como sericita y clorita a expensas de minerales primarios también corresponden a paragénesis de bajo grado metamórfico en facies esquistos verdes. A pesar del evento milonítico/cataclástico es posible observar relictos texturales tanto en la secuencia félsica como en la máfica, que nos sugieren, que el protolito es un gneis de alto grado para la secuencia félsica o una roca máfica de alto grado para la secuencia máfica. Para la secuencia félsica se observa la presencia de texturas granoblásticas con desarrollo de juntas triples en feldespatos sugiriendo procesos de *grain boundary migration* y la presencia de feldespatos alcalinos mesoperiticos (Figura V.43).

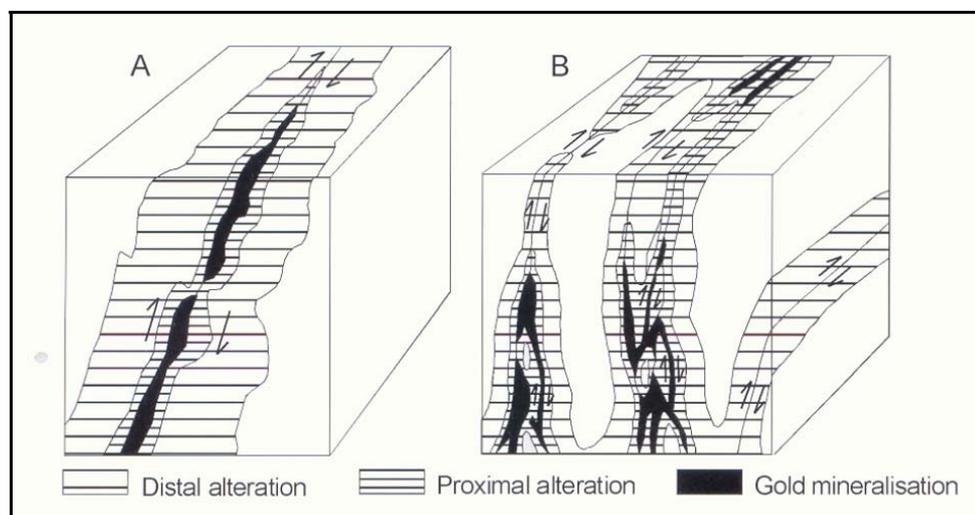
En la muestra DDHARG-07\_179.7 m, se observan geometrías aplanadas heredadas en cristales de goethita en pseudomorfos de magnetita, que sugieren una foliación de alta temperatura anterior al evento milonítico/cataclástico (Figura V.66).

En la secuencia máfica también es notoria la presencia de texturas que nos indican metamorfismo de alto grado. Al igual que en la secuencia félsica son comunes los contactos poligonales con juntas triples características de rocas granulíticas (Figuras V.49, 53, 62), así como también la presencia de la paragénesis  $Pl + Cpx + Opx$  es indicativa de altas temperaturas (aproximadamente 800 °C), y presiones bajas (4 a 6 Kbar) (Pattison *et al.* 2003) (ver muestra DDHARG-07\_91.25 m).

Dentro de la secuencia máfica se observa la existencia de anfíbol de color castaño con pleocroísmo en tonos verdes (uralítico) (Figura V.49). Cazaux (2009) propone para el anfíbol un origen por retrometamorfismo a partir de piroxeno. En los casos en que la roca contiene únicamente anfíbol y poco o nada de feldespatos, se podría hablar de una piroxenita como protolito. En la sección siguiente de este capítulo se analizará el contenido de Cr y Ni en siete muestras pertenecientes a la secuencia máfica con el fin de confirmar la existencia de rocas ultramáficas dentro del yacimiento.

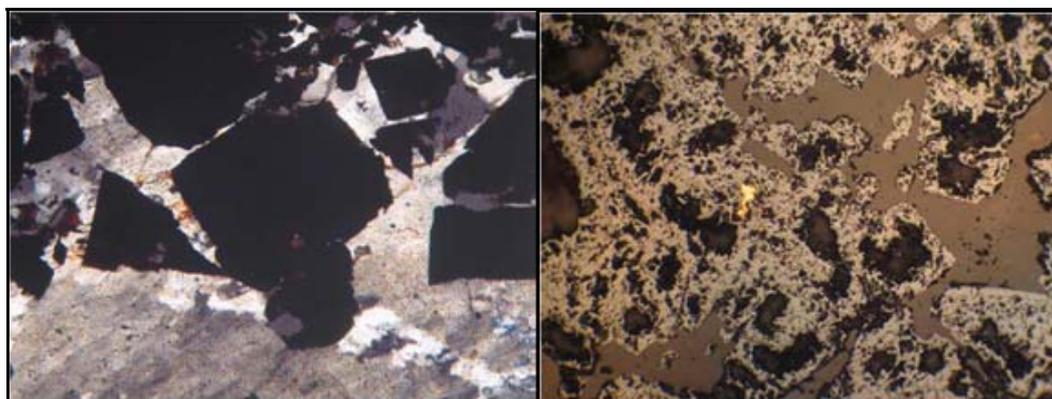
#### V.4.2.2. Hidrotermalismo

El hidrotermalismo presente no es muy intenso y los minerales hidrotermales se concentran principalmente en la matriz de las rocas que presentan mayor deformación de baja temperatura. Esto hace que sea bastante difícil realizar una zonación típica hidrotermal. Además la presencia de más de una vena de cuarzo de dimensiones pequeñas provoca mayor complejidad (Figura V.69). A pesar de esto podemos diferenciar una zona hidrotermal proximal compuesta por la paragénesis  $Qz + Se + Py \pm Au \pm Mg$  en la zona de mayor deformación, y a medida que nos alejamos una zona hidrotermal distal compuesta principalmente por la paragénesis  $Ch + Cb \pm Ep$ .



**Figura V.69:** Disposición de la alteración hidrotermal en un depósito tipo lode-gold. A. un caso simple con una vena de cuarzo o zona de cizalla; B. un caso complejo con varias venas de cuarzo o zonas de cizalla subparalelas muy cercanas. Extraído de Eilu et al. (1999).

Si bien en las muestras analizadas no se observa la presencia de cuarzo hidrotermal, la existencia del mismo es muy notoria tanto en las perforaciones realizadas como en afloramiento. El cuarzo hidrotermal se encuentra fuertemente relacionado con la presencia de oro. Esto se puede observar en el corte petrográfico realizado a una muestra de cuarzo hidrotermal situado en un yacimiento cercano al yacimiento de argentinita. El mismo se encuentra en la misma estructura mineralizadora en la zona de cizalla Zapucay (Figura V.70). La sericita conforma la mayor parte de la matriz en la zona con mayor deformación, aparece principalmente en bandas discontinuas (Figura V.40) o de forma intersticial (Figura V.43). La pirita aparece en forma de pequeños cristales euhedrales, afectada por procesos de oxidación parcial o total. En el caso de la magnetita se observan dos generaciones, una subhedral pre-tectónica y otra euhedral pos-tectónica de origen hidrotermal (Figura V.60). Es común observar martitización en los cristales de magnetita (Figura V.63). La clorita y el carbonato suelen aparecer conformando venillas que recortan los minerales primarios (Figuras V.46, 65) o dentro de la matriz.



**Figura V.70:** Izquierda pirita oxidada en cuarzo hidrotermal. Derecha pirita totalmente transformada a óxidos e hidróxidos de hierro con inclusión de oro nativo. Polarizadores cruzados. Ancho de la imagen = 1.8 mm (izquierda). Luz polarizada plana reflejada. Ancho de imagen = 1.2 mm (derecha).

### V.4.2.3. Susceptibilidad Magnética

Al analizar la composición de las muestras podemos inferir que los cambios responden principalmente a dos factores:

- **Protolito.** La secuencia félsica posee menor contenido en opacos, aunque predomine la magnetita. La susceptibilidad magnética es menor que en la secuencia máfica, esta secuencia además de magnetita posee ilmenita y suele contener sulfuros. Estas respuestas se mantienen estables en la periferia de la estructura mineralizadora.
- **Hidrotermalismo.** A medida que nos acercamos a la zona hidrotermal, observamos una caída importante de la susceptibilidad magnética, principalmente en la secuencia máfica, que podría deberse a la transformación de la magnetita en limonita. Pero al llegar a la zona proximal aumenta de forma precipitada, este aumento se podría deber a la mayor concentración de pirita hidrotermal y un posible enriquecimiento también de magnetita hidrotermal (ver muestra DDHARG-07\_129 m).

## V.5. ANÁLISIS DE DATOS GEOQUÍMICOS

A partir de los resultados obtenidos en el análisis petrográfico y calcográfico de la sección anterior, pudimos constatar la presencia de rocas con una composición mineralógica que nos estaría indicando un protolito máfico (sondeo ARGDD024, muestras 63 m y 89.30 m; sondeo DDHARG-07, muestras 91.25 m y 157 m). A su vez, la presencia de altos contenidos de anfíbol color castaño (retrometamorfismo de piroxeno) podrían estar evidenciando la presencia de protolitos ultramáficos dentro del yacimiento. Esto último no sería algo nuevo para el distrito ya que algunos autores han reconocido este tipo de rocas en la zona (Ellis 1998; Vidal 2009).

Según Siegel (1979) los elementos Cr, V, Ni, Cu y Co tienen tendencia a presentarse con mayor concentración en rocas básicas. El Cr es un componente normal y abundante de rocas ricas en olivino como ser las dunitas; por lo tanto, las rocas con mayor concentración de Cr son las rocas ultrabásicas. El níquel y el cobalto son elementos siderófilos por lo que abundan en las rocas básicas y escasean en las rocas ácidas. Con la intención de identificar la presencia de este tipo de rocas dentro de nuestro yacimiento se analizó la concentración de Cr, V, Ni, Cu y Co.

### V.5.1. Procedimientos y Fundamento Teórico

Fueron analizadas un total de siete muestras de las cuales cuatro poseen descripción petrográfica y calcográfica en la sección anterior. Las muestras descritas en la sección anterior, y analizadas en esta sección fueron definidas como: Granulita intermedia a máfica (ARGDD024 – 63 m), Granulitas máficas (ARGDD024 – 89.30 m, DDHARG-07 – 91.25 m, DDHARG-07 – 157 m).

Las muestras fueron analizadas por el método de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, *Inductively Coupled Plasma Mass-Spectrometry*) en el laboratorio de la compañía ubicado dentro del predio de la Minera San Gregorio, Minas de Corrales, Departamento de Rivera, Uruguay. Los parámetros determinados fueron Cr, Ni, Co, Ba y Cu, el V y Ti no fueron analizados debido a las restricciones del laboratorio. En la tabla V.1 se muestra la concentración media de los elementos para diferentes litologías.

**Tabla V.1:** Tenores medios (ppm) para distintas litologías (Turekian y Wedepohl, 1961, tomado de Siegel 1979).

		V	Cr	Ni	Co	Ba	Ti	Cu	Cr/Ni
Rocas ígneas	Peridotíticas	40	1600	2000	150	0,4	300	10	0,8
	Basálticas	250	170	130	48	330	13800	87	1,3
	Graníticas ricas en Ca	88	22	15	7	420	3400	30	1,5
	Graníticas pobres en Ca	44	4,1	4,5	1	840	1200	10	0,9
	Sienitas	30	2	4	1	1600	3500	5	0,5
Rocas sedimentarias	Pelitas	130	90	68	19	580	4600	45	1,3
	Areniscas	20	35	2	0,3		1500		17,5
	Carbonatos	20	11	20	0,1	10	400	4	0,6
Sedimentos marinos profundos	Carbonatos	20	11	30	7	190	770	30	0,4
	Arcillas	120	90	225	74	2300	4600	250	0,4

## V.5.2. Resultados

La tabla V.2 muestra los resultados del análisis qde las 7 muestras escogidas, los resultados están en ppm (partes por millón).

**Tabla V.2:** Resultados del análisis químico por ICP-MS (ppm).

Nombre de pozo	Muestra	desde (m)	hasta (m)	Cr	Ni	Co	Ba	Cu	Cr/Ni
ARGDD024*	1	61,6	62,5	146	17	18	231	9	8,6
ARGDD024*	2	89,2	90,1	10	7	32	45	3	1,4
DDHARG-02	3	54,05	55	36	34	25	170	30	1,1
DDHARG-07*	4	92,3	93,7	92	25	24	55	27	18,4
DDHARG-07*	5	156,8	157,8	24	22	24	82	28	1,1
DDHARG-08	6	86,75	87,6	24	18	22	169	21	1,3
DDHARG-10	7	100,25	101,1	28	32	18	89	30	0,9

\* muestras estudiadas en la sección de petrografía y calcografía

Las muestras analizadas presentan variaciones en los valores de Cr entre 146 y 10ppm, del Ni entre 7 y 34 ppm, del Co entre 18 y 32 ppm, del Ba entre 45 y 231 ppm, y del Cu entre 3 y 30 ppm. Estos valores son mucho menores que los señalados por Turekian y Wedepohl (1961) para las litologías ultramáficas. Asimismo, la relación Cr/Ni resulta ser mayor que aquella señalada para las rocas ultramáficas. Tanto los valores como la relación Cr/Ni se ajustan más a protolitos de origen sedimentario.

## V.5.3. Discusión

Según Vidal (2009) en este bloque se da la particularidad de la aparición de rocas constituidas exclusivamente por piroxeno, pudiendo corresponder a una lasca de una intrusión ultramáfica (piroxenita). Estas rocas se asocian a una fuerte anomalía en Cr/Ni, aunque en el área también existen además rocas ricas en piroxeno pero pobres en Cr y Ni, que de acuerdo a Ellis (1998) pueden corresponder a niveles fangolíticos, que producto del alto grado metamórfico generaron los llamados “fels piroxénicos”. Estos últimos están asociados espacialmente con los BIFs, y presentan alto porcentaje de magnetita.

## V.5.4. Conclusiones

A partir del análisis químico podemos concluir que ninguna de las muestras analizadas poseen concentraciones de los elementos ni relaciones Cr/Ni que sugieran su clasificación dentro del grupo de las rocas ultramáficas, aunque podrían corresponder a protolitos sedimentarios como fue propuesto por Ellis (1998).

## CAPITULO VI

### CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE DEPÓSITO

En este capítulo se clasifica al depósito (yacimiento), en un tipo determinado, según las características o atributos que posee (Collins (1993); <http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/PublicationsCatalogue>).

#### VI.1. DEPÓSITO DE MENA

##### VI.1.1. Tipo de Recurso

Para realizar esta clasificación es necesario definir algunos conceptos básicos como ser el de Recursos Naturales, estos son aquellos bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza sin alteración por parte del ser humano; y que son valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y desarrollo de manera directa (materias primas, minerales, alimentos) o indirecta (servicios ecológicos y/o ambientales indispensables para la continuidad de la vida en el planeta) (Lopresti 2007). Los Recursos Primarios (materias primas) son todas aquellas sustancias líquidas, sólidas o gaseosas que se utilizan en la fabricación de productos elaborados (Aznar y Cabanelas, 2009). Dentro de los Recursos Primarios los denominados Recursos de la Tierra, son aquellos encontrados naturalmente dentro de la corteza terrestre o en algunos casos sobre la superficie. Estos recursos se diferencian de los demás recursos naturales por ser según Collins (1993) limitados en abundancia, de concentración desconocida, y no renovables. Los Recursos de la Tierra pueden ser divididos en dos categorías principales (Collins 1993), Recursos Minerales que son aquellos compuestos por sustancias con una estructura cristalina que pueden ser metálicos y no metálicos, y Recursos Combustibles que son sustancias no cristalinas.

Dentro de los Recursos Minerales Metálicos existe una nomenclatura que es utilizada para caracterizar al depósito (Collins 1993). En el caso del depósito mineral de Argentinita podemos mencionar que:

- El *depósito de mena*, por definición es un depósito con alta concentración de minerales metálicos suficientemente rico como para ser viable su extracción minera, sería la suma de los minerales de mena más los minerales de ganga.
- Los *minerales de mena*, que son aquellos que contienen al metal de valor comercial, son en orden de jerarquía para Argentinita: oro nativo y pirita.
- Los *minerales de ganga*, que son aquellos sin valor comercial pero que se encuentran intercrecidos con los minerales de mena, son en orden de jerarquía para Argentinita: cuarzo, sericita, clorita, calcita y epidoto.
- La *mena* es la roca de la cual uno o mas metales pueden ser extraídos como ganancia, en nuestro caso la mena sería: oro + pirita + cuarzo + roca huéspedes cizallada.

##### VI.1.2. Forma del depósito de mena

Una característica muy importante de los depósitos minerales es la forma, la misma es comúnmente controlada por algún factor físico (estratificación, fallas, fracturas). Asimismo, existen dos formas fundamentales de depósitos minerales (Collins 1993), concordantes y discordante.

El depósito de Argentinita esta controlado por una zona de cizalla, que si bien en muchas oportunidades se da en el contacto entre dos unidades litológicas, aunque en ciertas zonas esta estructura atraviesa los contactos y por lo que es discordante.

De acuerdo con Collin (1993) existen varios tipos de discordancias, en el caso de Argentinita se observan lentes de cuarzo con bordes netos, incluidos en una zona deformada o cizallada.

##### VI.1.3. Geometría del Depósito de Mena

La geometría de un depósito mineral es muy importante dentro de la clasificación del mismo. En el caso del depósito de Argentinita penemos principal énfasis en la geometría de la zona de cizalla que contiene al depósito.

La misma sería:

- Azimut: NS
- Buzamiento: entre 20° y 50° hacia el E
- Largo del azimut: 1100 m
- *Largo del buzamiento*: 830 m
- Espesor: 5 a 60 m

## **VI.2. GÉNESIS DE MENA**

La génesis de mena es el origen o mecanismo de formación de un depósito de mena (mineral). Los procesos geológicos responsables de la formación de los depósitos minerales, en la mayoría de los casos, son los mismos procesos formadores de rocas e incluyen procesos ígneos plutónicos y volcánicos, procesos sedimentarios, procesos metamórficos, circulación superficial o profunda de agua subterránea, y meteorización de rocas (Collins 1993).

### **VI.2.1. Tipo de génesis de mena**

Genéticamente, existen dos tipos principales de depósitos minerales (Collins 1993), los singenéticos, que se forman al mismo tiempo que la roca huésped y los epigenéticos, que se forman algún tiempo después de la formación de la roca huésped.

En el caso del depósito de Argentinita, y en general en los depósitos de oro de la isla cristalina de Rivera, se considera de tipo epigenético dado que se trata de rocas paleoproterozoicas mineralizadas durante la orogenia Brasileña.

### **VI.2.2. Proceso de concentración de minerales de mena**

Un aspecto importante en la clasificación de un depósito mineral es el proceso responsable de la concentración de los minerales de mena. En este sentido podemos resumir a estos procesos en (Collins 1993), ígneos, sedimentarios, metamórficos, intempéricos, e hidrotermales.

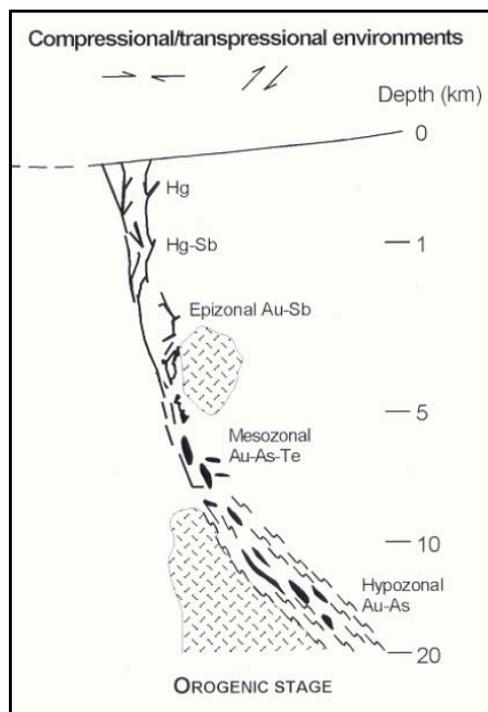
Como mencionamos anteriormente el evento de mineralización de oro en la provincia metalogénica de la isla cristalina de Rivera está relacionado al período comprendido entre el Neoproterozoico y el Cámbrico. Este lapso se caracteriza por presentar un ambiente de engrosamiento cortical debido a procesos colisionales. Procesos metamórficos de desvolatilización o fusión parcial (anatexis), tanto de la corteza inferior como de la placa subducida, generan fluidos que circulan a través de profundas zonas de fallas. La reiteración de este proceso de circulación de fluidos acuosos a alta temperatura genera una reacción química entre la roca caja y el fluido, que en zonas de descenso de presión, principalmente en el nivel de transición frágil-dúctil de la corteza terrestre, produce la depositación de oro, tal como ocurrió en el depósito analizado.

### **VI.2.3. Proceso hidrotermal**

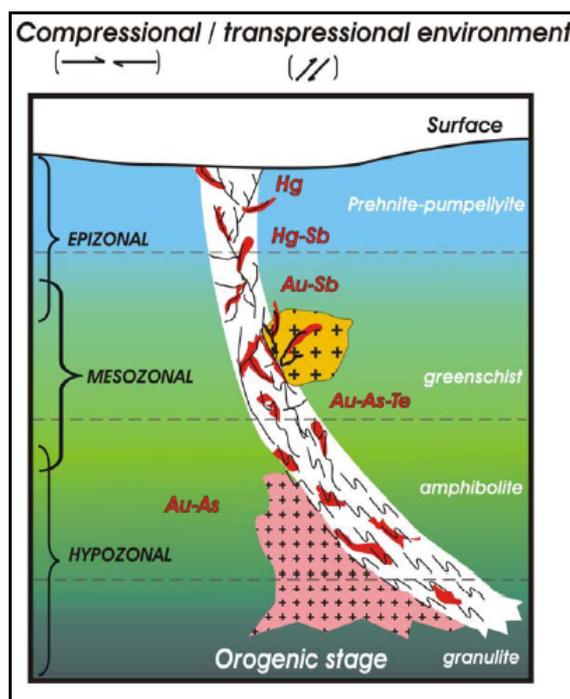
La precipitación a partir de la circulación de soluciones acuosas a alta temperatura puede generarse en diferentes procesos (Collins 1993). En el caso del depósito de Argentinita el ambiente en el que se desarrolló el depósito es metamórfico, en condiciones de facies esquistos verdes en zona de transición frágil/dúctil.

### **VI.2.4. Profundidad del proceso hidrotermal**

Este tipo de depósito de venas en fallas producidas por compresión o transpresión regional (colisión de terrenos) se da en niveles cercanos a la zona de transición frágil-dúctil a profundidades entre 6-12 km (Ash *et al.* 1996). Tomando en cuenta la profundidad podemos clasificar al depósito de Argentinita dentro de los depósitos de oro hipotermales-mesotermales (Collins 1993) (Figura VI.1). El metamorfismo generado durante el desarrollo de la zona de cizalla solo alcanzó la facies esquistos verdes, lo que coloca a nuestro depósito dentro de los depósitos de oro mesotermales (Figura VI.2) posiblemente en el límite con los depósitos hipotermales.



**Figura VI.1:** Representación esquemática de ambiente cortical compresional – transpresional para depósitos de oro hidrotermal en términos de profundidad de formación. Tomado de Eilu et al. (1999).



**Figura VI.2:** Representación esquemática de ambiente cortical compresional – transpresional para depósitos de oro hidrotermal en términos de profundidad de formación y metamorfismo. Tomado de Goldfarb (2000).

### VI.2.5. Proceso geológico

A partir del proceso geológico que dió origen a nuestro depósito podemos clasificar al mismo como un depósito de oro metamórfico (Collins 1993).

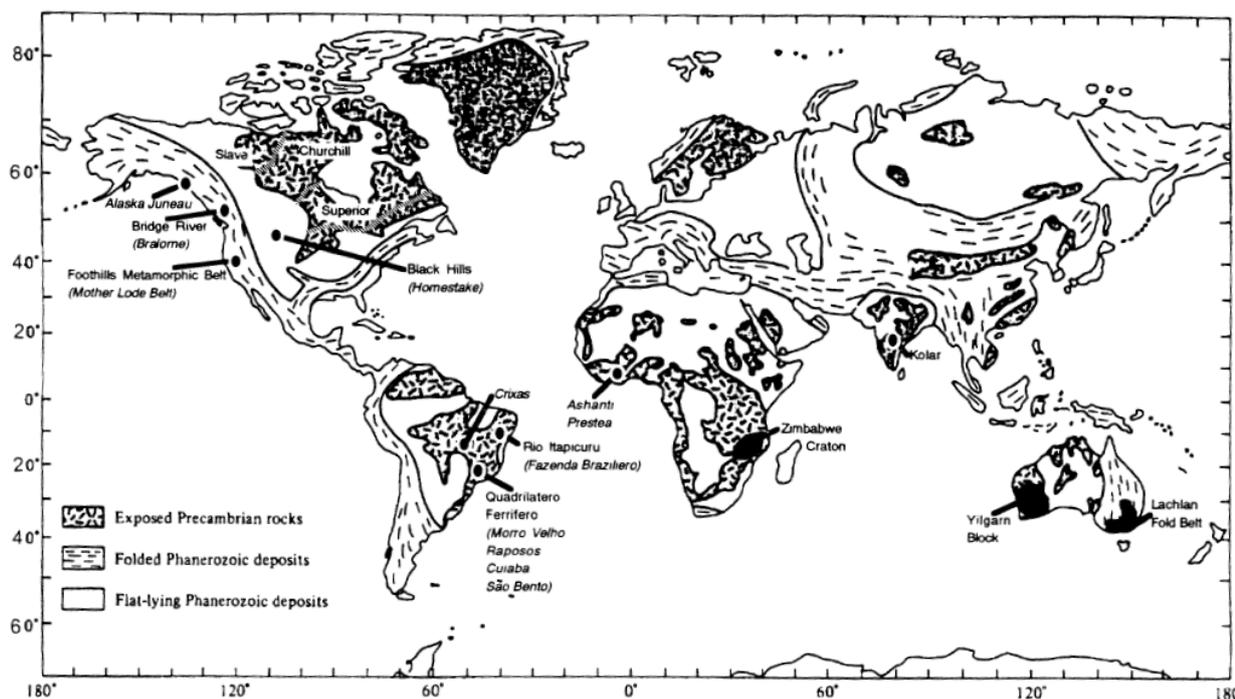
### VI.2.6. Asociación de rocas de los principales tipos de depósito

En el caso de los depósitos en ambientes metamórficos encontramos (Collins 1993) los producidos por procesos metasomáticos (skarns y reemplazo de otros tipos de rocas); los producidos por procesos metamórficos (oro en fisuras) o modificados por estos.

A partir de las características observadas en el depósito de Argentinita podemos concluir que es un depósito producido por metamorfismo y que el oro se aloja a lo largo de fisuras.

### VI.3. CONCLUSIONES

Habiendo clasificado al yacimiento de Argentinita dentro de los depósitos de oro mesotermales, podemos mencionar que la mayoría de los mismos según Hodgson (1993) están relacionados a venas de cuarzo y que el oro se deposita asociado a rocas cajas con alteración carbonática. Estos depósitos son característicos de terrenos con metamorfismo de grado bajo a medio en cinturones supracorticales de todas las edades (Figura VI.3). La mayor producción de los mismos, según Woodall (1979), se dió en los cinturones de rocas supracorticales precámbricas. Aunque, los mayores depósitos de este tipo pertenecen a terrenos de rocas arqueanas.



*Figura VI.3: Distribución de algunos de los mayores depósitos de oro mesotermal. Zonas más oscuras pertenecen a rocas precámbricas (Hodgson 1993).*

Las características más resaltantes de estos depósitos según Hodgson (1993) son,

- Relación oro/plata alta, característica notoria de los depósitos de la isla cristalina de Rivera y en particular del depósito Argentinita.
- Continuidad en profundidad del depósito
- Alteración carbonática predominante
- Posible origen metamórfico de los fluidos hidrotermales
- Emplazamiento sintectónico
- Presencia de pirita
- Mineralización en cualquier tipo de roca
- Mineralización en venas, sistema de venilleo, diseminada en zonas de reemplazo
- Zonas mineralizadas hospedadas en fallas inversas o transcurrentes frágiles de alto ángulo y zonas de cizalla dúctil
- Zonas de cizalla controladas por estructuras preexistentes
- A escala regional asociados a zonas de fallas transcurrentes mayores

Algunos de los depósitos mesotermales precámbricos más importantes son, Ashanti (Ghana), Homestake (Dakota del Sur, Estados Unidos) y Fazenda Brasileiro (Bahía, Brasil).

## CAPITULO VII

### CONSTRUCCIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO EN 3D

Como ya hemos mencionado dentro de la minería, el modelamiento geológico forma parte de uno de los pasos fundamentales y previos a la estimación de recursos minerales. Posteriormente a una campaña de exploración los datos obtenidos de las diferentes fuentes, ya sea mapeo de superficie, perforación, etc., deben ser organizados e ingresados en una base de datos. Posteriormente de forma integrada deben ser interpretados, así lograremos desarrollar un modelo geológico (Figura VII.1).

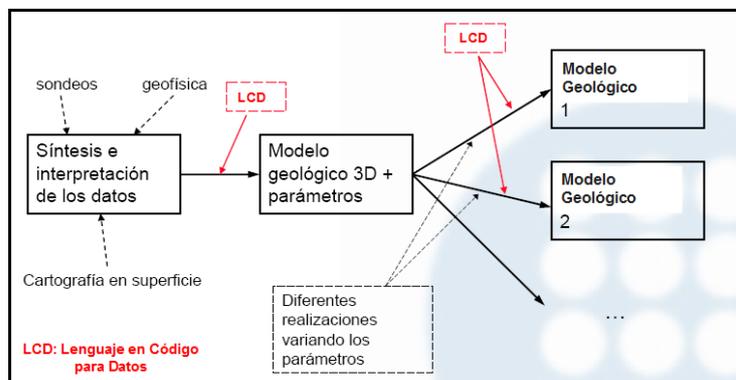


Figura VII.1: Visión General del Proceso de Modelación. Modificado de Almolda Cardona (2007).

Para crear un modelo geológico en 3D utilizando la ayuda GIS (Figura VII.2) son necesarios varios pasos que detallaremos a continuación:

- Obtención de datos (sondeos, cartografía geológica de superficie, superficie topográfica)
- Modelo geométrico (definición de secciones y de los dominios o restricciones geológicas, interpretación en secciones verticales, modelamiento de sólidos)
- Modelo Predictivo (creación del modelo de bloques e interpolación de datos)

#### VII.1. OBTENCIÓN DE DATOS

Como fue mencionado en el Capítulo IV, la compañía cuenta con una base de datos denominada *Century* y de un GIS denominado *Micromine*. Estos dos sistemas trabajan de forma integrada con el fin de tener acceso rápido a la información recabada en el campo y de poder disponer de los datos para trabajos de interpretación geológica, cálculos estadísticos, cálculos de volúmenes, etc.

##### VII.1.1. Base de datos de sondeos

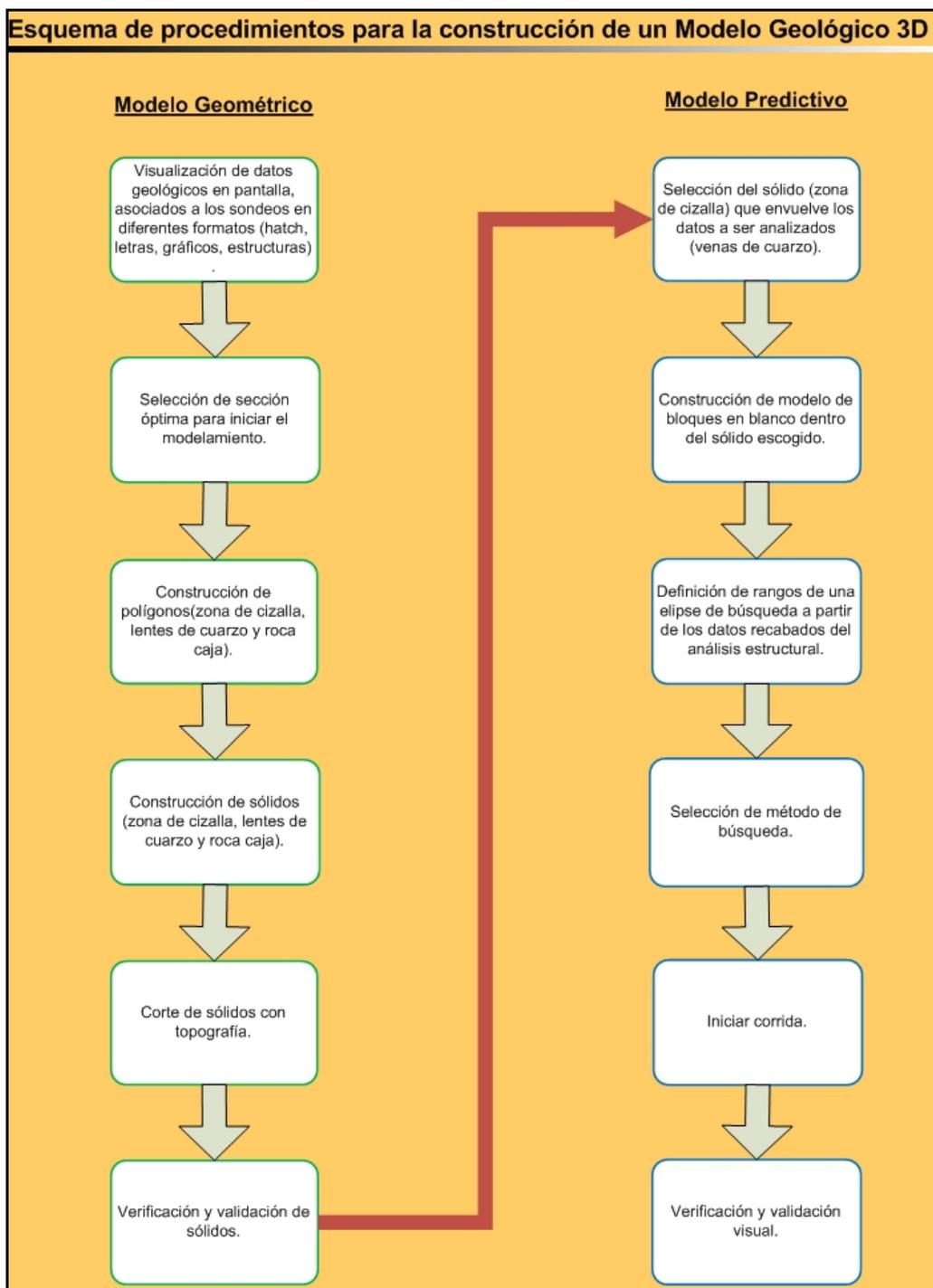
###### VII.1.1.1. Archivos de orientación espacial de sondeos

Para trabajar con sondeos es necesaria cierta información para ubicarlos en el espacio, la misma puede presentarse en dos archivos diferentes, *Collar* o archivo de boca de sondeos y *Survey* o archivo de desviación.

**Collar.** Este archivo es fundamental para ubicar la boca del sondeo en el espacio y la profundidad del mismo. Contiene nueve columnas: nombre del sondeo (*Hole ID*), coordenadas X, Y y Z, o E, N y cota (RL), profundidad final del sondeo (*Depth*), sistema de coordenadas (*Coord. Type*), instrumento de medición de coordenadas (*Survey Type*), tipo de sondeo (*Hole Type*) y diámetro de sondeo (*Size Type*) (Tabla VII.1).

Tabla VII.1: Ejemplo de archivo Collar (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio)

Hole ID	N	E	RL	Survey Type	Coord Type	Depth	Hole Type	Size Type
ARGDD022	6496436,150	546034,400	207,030	TSTAT	GKY:	64,65	DD	HQ
ARGDD023	6496461,820	546069,860	210,580	TSTAT	GKY:	66,60	DD	HQ
ARGDD024	6496486,950	546113,970	214,620	TSTAT	GKY:	97,60	DD	HQ
ARGRC325	6496487,380	546029,570	213,330	TSTAT	GKY:	50,00	RC	5 1/2
ARGRC326	6496467,470	546014,920	210,870	TSTAT	GKY:	50,00	RC	5 1/2
ARGRC327	6496470,280	546043,080	213,840	TSTAT	GKY:	50,00	RC	5 1/2



**Figura VII.2:** Esquema de construcción de un Modelo Geológico en 3D.

**Survey.** Este archivo brinda la ubicación en el espacio de la traza del sondeo y consta de cinco columnas, nombre del sondeo (*Hole ID*), profundidad de medición (*Depth*), rumbo (*Azimuth*), buzamiento (*Dip*) e instrumento de medición (*Test Type*) (Tabla VII.2).

**Tabla VII.2:** Ejemplo de archivo Survey (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio)

Hole ID	Depth	Azimuth	Dip	Test_Type
ARGDD022	0,00	240,00	-65,00	Comp-Geo
ARGDD022	27,00	241,00	-65,70	R EZ-Sho
ARGDD022	45,00	240,70	-65,50	R EZ-Sho
ARGDD022	63,00	241,00	-65,20	R EZ-Sho
ARGDD023	0,00	242,00	-70,00	Comp-Geo
ARGDD023	20,00	245,90	-69,80	R EZ-Sho

A partir de esta información podemos generar una correcta representación de lo que sería la traza del sondeo (Figura VII.3).

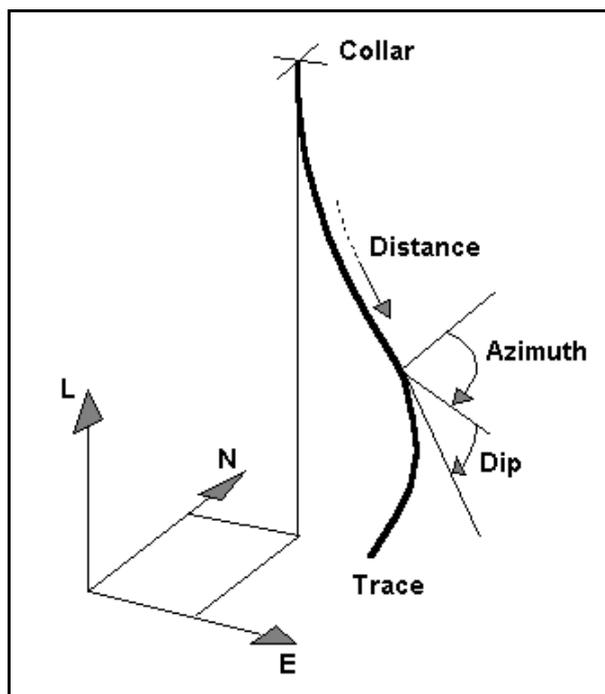


Figura VII.3: Representación de la traza de un sondeo. Extraído de Turner y Gable (2007).

#### VII.1.1.2. Archivos de atributos litológicos de sondeos

Estos archivos van a contener la información geológica que será la base para la confección de nuestro modelo geológico. Esta información es recabada de las descripciones realizadas en los sondeos de tipo circulación reversa RC (*Reverse Circulation*) y diamantina DDH (*Diamond Drill Hole*). En nuestro caso utilizaremos cuatro archivos fundamentales:

##### **Litología Principal**

- Es el tipo de roca que predomina en el intervalo estudiado.
- Se ingresa en forma de código que responde a un tipo determinado de roca (Tabla VII.3).
- El archivo correspondiente consta de cuatro columnas: nombre de sondeo (*Hole\_Number*), desde (*Depth\_From*), hasta (*Depth\_To*) y litología (*Rock\_Type\_Code*) (Tabla VII.4).

##### **Deformación**

- Este archivo contiene el tipo de deformación presente en el intervalo analizado.
- También es ingresado en forma de códigos, los mismos corresponden al tipo de deformación que presenta la roca en el intervalo estudiado (Tabla VII.5).
- El archivo correspondiente consta de cuatro columnas principales: nombre de sondeo (*Hole Number*), desde (*Depth\_From*), hasta (*Depth\_To*) y estructura (*Structure*) (Tabla VII.6).

##### **Venas de Cuarzo**

- Este archivo contiene el tipo y la cantidad de cuarzo en forma de venas presente en el intervalo estudiado.
- Es ingresado en forma de códigos y su abundancia en porcentajes (Tabla VII.7).
- El archivo consta de seis columnas: nombre de sondeo (*Hole Number*), desde (*Depth\_From*), hasta (*Depth\_To*), tipo de vena (*Qz\_Type*), porcentaje de cuarzo (*Perc\_QZ*) y composición (*Quartz\_Min*) (Tabla VII.8).

**Tabla VII.3:** Tabla de códigos utilizada para la litología principal. Sombreado, principales litologías presentes en el yacimiento Argentinita, las mismas son ingresadas en ingles tal cual están en la tabla

<b>Lithology</b>					
<b>Description</b>	<b>Code</b>	<b>Description</b>	<b>Code</b>	<b>Description</b>	<b>Code</b>
<b>VOLCANIC ROCKS</b>		<b>METAMORPHIC ROCKS</b>		<b>INTRUSIVE ROCKS</b>	
Volcanic felsic (undiff)	<b>VFU</b>	Amphibolite	<b>MAM</b>	Anorthosite	<b>IAN</b>
Volcanic mafic (indiff)	<b>VMU</b>	Banded Iron Form	<b>MBF</b>	Aplite	<b>IAP</b>
Rhyolite	<b>VRY</b>	Cataclasite	<b>MCC</b>	Carbonatite	<b>ICB</b>
Dacite	<b>VDA</b>	Felsic (undiif)	<b>MFU</b>	Diorite	<b>IDO</b>
Andesite	<b>VAN</b>	Gneiss	<b>MGN</b>	Dolerite	<b>IDL</b>
Basalt	<b>VBA</b>	Gneiss - Granitic	<b>MGG</b>	Dunite	<b>IUD</b>
Komatiite	<b>VKO</b>	Gneiss - Ortho	<b>MGO</b>	Felsic (undiif)	<b>IFU</b>
Trachyte	<b>VTA</b>	Gneiss - Para	<b>MGP</b>	Gabbro	<b>IGB</b>
Tuff	<b>VTF</b>	Gneiss - Felsic	<b>MGF</b>	Gabbro Norite	<b>IGN</b>
Phonolite	<b>VPO</b>	Gneiss - Mafic	<b>MGM</b>	Granite	<b>IGR</b>
<b>SEDIMENTARY ROCKS</b>		Marble	<b>MLS</b>	Potassic Granite	<b>IGK</b>
Sediment (undiff)	<b>SSU</b>	Meta-Chert	<b>MCT</b>	Leucogranite	<b>IGL</b>
Arkose	<b>SAK</b>	Meta-Conglomerate	<b>MCG</b>	Granodiorite	<b>IGD</b>
Black Shale	<b>SBS</b>	Meta-Greywacke	<b>MGW</b>	Kimberlite	<b>IKB</b>
Chemical Precipitate	<b>SCP</b>	Meta-Pelite	<b>MPL</b>	Mafic (Undiff)	<b>IMU</b>
Chert	<b>SCH</b>	Meta-Quartz Arenite	<b>MQA</b>	Monzonite	<b>IM</b>
Conglomerate	<b>SCG</b>	Meta-Sediment (undiff)	<b>MSU</b>	Norite	<b>IUN</b>
Dolomite	<b>SDL</b>	Meta-Volcanic (undiff)	<b>MVU</b>	Picrite	<b>IPC</b>
Evaporite	<b>SEV</b>	Meta-Volcanic - Felsic	<b>MVF</b>	Pegmatite	<b>IPG</b>
Greywacke	<b>SGW</b>	Meta-Volcanic - Basic	<b>MVB</b>	Peridotite	<b>IPD</b>
Ironstone	<b>SIS</b>	Meta-Volcanic - Inter	<b>MVI</b>	Pyroxenite	<b>IPX</b>
Limestone	<b>SLS</b>	Migmatite	<b>MMG</b>	Olivine Gabbro	<b>IOG</b>
Lithic Arenite	<b>SLA</b>	Phyllite/Slate	<b>MPT</b>	Olivine Pyroxenite	<b>IOP</b>
Mudstone	<b>SMS</b>	Schist	<b>MST</b>	Syenite	<b>ISY</b>
Quartz Arenite	<b>SQA</b>	Graphite Schist	<b>MSG</b>	Tonalite	<b>ITO</b>
Quartzite	<b>SQZ</b>	Serpentinite	<b>MSP</b>	Troctolite	<b>ITL</b>
Sedimentary Breccia	<b>SBX</b>	Talc Rock	<b>MTC</b>	Ultramafic (undiff)	<b>IUU</b>
Shale	<b>SSH</b>	Mafic (Undiff)	<b>MMU</b>	Mafic Dyke	<b>IMD</b>
Siltstone	<b>SSS</b>	Ultramafic (Undiff)	<b>MUU</b>	Felsic Dyke	<b>IFD</b>
Sandstone	<b>SSD</b>				
<b>Description</b>	<b>Code</b>	<b>Description</b>	<b>Code</b>	<b>Description</b>	<b>Code</b>
<b>UNDIFFERENCIATED</b>		<b>ALTERED ROCK</b>		<b>UNCONSOLIDATED</b>	
		Altered beyond recognition	<b>A</b>	Alluvium	<b>OAL</b>
		Plus dominant alteration mineral		Overburden (undiff)	<b>OVB</b>
Felsic	<b>UFE</b>	Sericite Altered	<b>ASE</b>	Colluvium	<b>OCL</b>
Intermediate	<b>UIN</b>	Silica Altered	<b>ASK</b>	Gravels	<b>OGV</b>
Mafic	<b>UMA</b>	Carbonate Altered	<b>ACB</b>	Pad / Road Fill	<b>OFL</b>
				Soil	<b>OSO</b>
<b>Description</b>	<b>Code</b>			Mud (stream Seds)	<b>OMD</b>
<b>DEFORMED ROCK</b>				Sand (stream Seds)	<b>OSD</b>
Deformed beyond recognition				Clay (stream Seds)	<b>OCY</b>
Undiff Felsic	<b>DFU</b>			Saprolite	<b>SAP</b>
Undiff Intermediate	<b>DIU</b>			<b>VEINS</b>	
Undiff mafic	<b>DMU</b>			Quartz Vein	<b>QZV</b>
				Carbonate Vein	<b>CBV</b>
				Quartz/Carbonate Vein	<b>QCV</b>

**Tabla VII.4:** Ejemplo de archivo litología principal (los datos en la tabla pertenecen al yacimiento en estudio)

HOLE_NUMBER	depth_from	depth_to	rock_type_code
ARG-RAB-B1-01	0,00	1,70	OVB
ARG-RAB-B1-01	1,70	5,10	QZV
ARG-RAB-B1-01	5,10	8,50	MGN
ARG-RAB-B1-01A	0,00	1,70	OVB
ARG-RAB-B1-01A	1,70	3,40	QZV
ARG-RAB-B1-01A	3,40	11,90	IDO

**Tabla VII.5:** Tabla de códigos de tipos de deformación

7. STRUCTURE TYPE	
Bedding	BD
Banding	BN
Breccia	BR
Cleavage	CL
Contacts	CN
Dyke	DK
Fold (axis)	FD
Foliation	FO
Fracture	FR
Fault	FT
Joint	JN
Lineation	LN
Mylonitization	MYL
Schistosity	SC
Shear	SH
Stringer	ST
Structure (Undiff)	STR
Stockwork	SW
Unconformity	UF
Vein	VN
Veinlet	VLT

**Tabla VII.6:** Ejemplo de archivo deformación (los datos en la tabla pertenecen al yacimiento en estudio)

HOLE_NUMBER	Depth_From	Depth_To	Structure
ARGDD022	9,60	10,10	MY
ARGDD022	10,10	11,10	MY
ARGDD022	11,10	13,60	FO
ARGDD022	13,60	14,60	FO
ARGDD022	14,60	16,70	BR
ARGDD022	16,70	20,00	MY

**Tabla VII.7:** Tabla de códigos con tipos de venas y composición

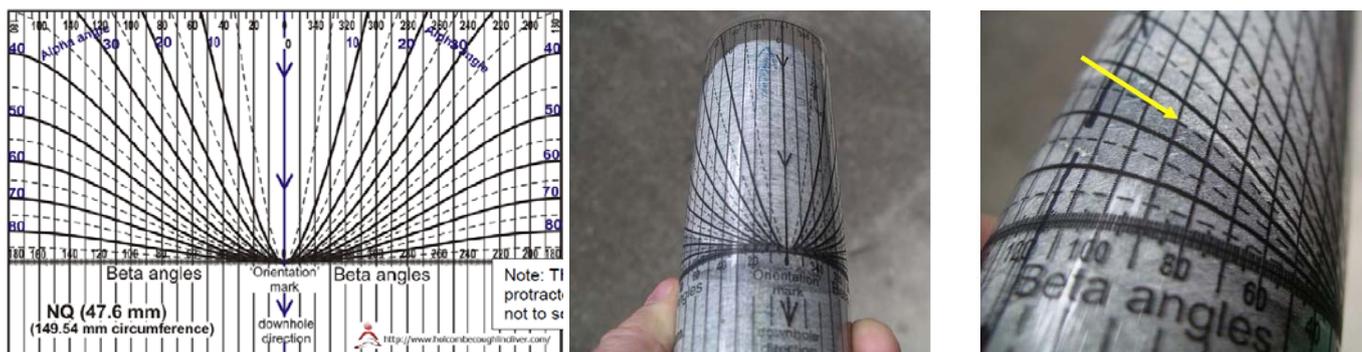
6. VEIN TYPE		6. QUARZ - VEIN TYPE	
Brecciated	BR	K-Feldspar	KF
Colloform	CO	Quartz	QZ
Crackle vein	CR	Quartz-Carbonate	QZCB
Fibrous	FB	Gray Quartz	QZg
Laminated	LM	Gray Quartz-Pyrite	QZgPY
Milky	MK	Quartz-KFeldspar	QZKF
Massive	MX	Quartz-KFeldspar-Pyrite	QZKFPY
Sheared	SH	Milky Quartz	QZm
Smokey	SM	Milky Quartz-Carbonate	QZmCB
Stringer	ST	Milky Quartz-Galena	QZmGA
Stockwork	SW	Milky Quartz-Galena-Pyrite	QZmGAPY
		Milky Quartz-Pyrite	QZmPY
		Quartz-Pyrite	QZPY
		Quartz-Pyrite-Carbonate	QZPYCB

**Tabla VII.8:** Ejemplo de archivo Venas de Cuarzo (los datos en la tabla perteneces al yacimiento en estudio).

HOLE_NUMBER	Depth_From	Depth_To	Qz_Type	Perc_Qz	Quartz_Min
ARGDD029	73,48	73,62	MX	60	QZ
ARGDD029	73,62	74,75	ST	4	QZ
ARGDD029	74,75	75,30	MX	70	QZ
ARGDD029	75,30	77,60	ST	2	QZ
ARGDD029	77,60	79,45	MX	90	QZ
ARGDD029	79,45	81,10	ST	5	QZCB

**Estructuras geológicas**

- El archivo “estructuras geológicas” contiene las estructuras medidas a lo largo del sondeo.
- El tipo de estructura es ingresado mediante los códigos señalados en la Tabla VII.5 y la actitud de la estructura una plantilla (Figura VII.4) que mide dos ángulos, alfa y beta, que posteriormente son transformados por el software en medidas como rumbo y buzamiento. Esta transformación se realiza tomando en cuenta el rumbo y buzamiento de la traza del sondeo en el punto donde se toma la medida.
- El archivo consta de diez columnas: nombre de sondeo (*Hole Number*), profundidad de medida (*Depth*), tipo de estructura medida (*Structure\_Type*), ángulo alfa (*alpha\_angle*), ángulo beta (*beta\_angle*), rumbo del sondeo (*core\_azimuth*), buzamiento del sondeo (*core\_dip*), buzamiento calculado (*calculated\_dip*), rumbo calculado (*calculated\_strike*) y dirección de buzamiento (*dip\_direction*) (Tabla VII.9).



**Figura VII.4:** Plantilla utilizada para el relevamiento de estructuras.

**Tabla VII.9:** Ejemplo de archivo “estructuras geológicas” (datos del yacimiento en estudio)

HOLE_NUMBER	depth	STRUCTURE_TYPE	alpha_angle	beta_angle	core_azimuth	core_dip	calculated_dip	calculated_strike	dip_direction
ARGDD030	89,00	MYL	50,00	0,00	246,10	-75,50	-54,51	336,10	66,10
ARGDD030	91,70	SH	60,00	330,00	246,40	-75,48	-43,13	314,95	44,95
ARGDD030	93,00	VN	50,00	350,00	246,60	-75,47	-54,36	328,71	58,71
ARGDD030	94,80	SH	55,00	350,00	247,00	-75,45	-49,38	329,46	59,46
ARGDD030	97,40	VN	55,00	0,00	247,50	-75,42	-49,58	337,50	67,50
ARGDD030	99,40	SH	55,00	350,00	247,90	-75,41	-49,43	330,37	60,37

**VII.1.2 Cartografía geológica de superficie**

Los datos de superficie son utilizados para la confección del modelo geológico, entre ellos el mapa geológico interpretativo y los datos estructurales de superficie son fundamentales en esta etapa.

**VII.1.2.1 Mapa geológico interpretativo**

Para la utilización del mapa geológico interpretativo (ver Capítulo V) en el software es necesario que esté georreferenciado. Este proceso se realiza directamente desde el software y es bastante sencillo haciendo coincidir las grillas de coordenadas del mapa y del software (Figura VII.5).

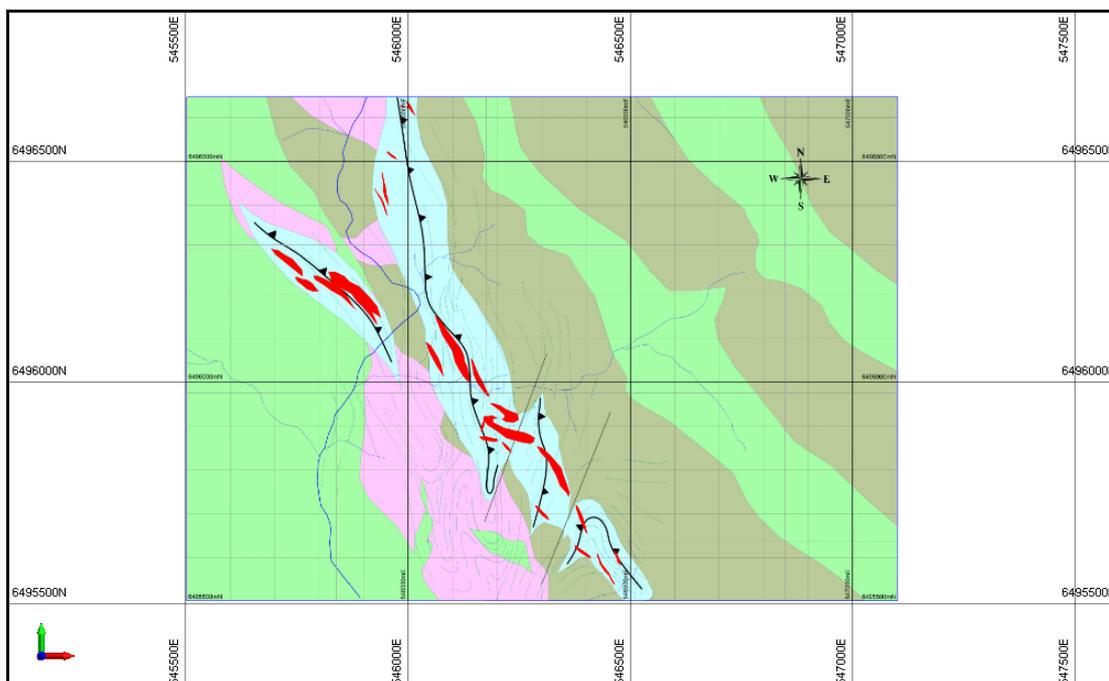


Figura VII.5: Georreferenciación de mapa geológico interpretativo.

### VII.1.2.2 Medidas geológicas estructurales de superficie

El poder visualizar las estructuras geológicas de superficie al momento de modelar, es fundamental para poder proyectar las tendencias observadas en profundidad. En este sentido debemos definir un archivo para este tipo de estructuras que denominaremos “estructuras geológicas de superficie”.

#### Estructuras Geológicas de Superficie

- Este archivo contiene las estructuras geológicas relevadas en superficie. El tipo de estructura es ingresado mediante códigos al igual que el tipo de roca que la comprende (Tablas VII.3 y VII.5). El archivo consta de nueve columnas: nombre de estación (*Point*), Este (*Easting*), Norte (*Northing*), elevación (*Elevation*), rumbo (*Strike*), buzamiento (*Dip*), dirección de buzamiento (*Dip Direction*), tipo de estructura (*Structure Type*) y tipo de roca (*Rock Type*).

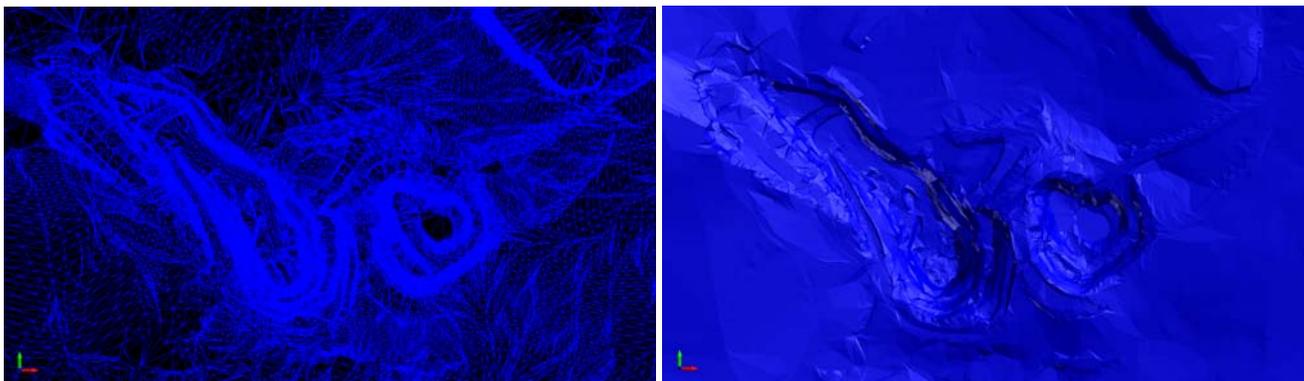
Tabla VII.10: Ejemplo de archivo “estructuras geológicas de superficie” (datos del yacimiento en estudio)

Point	Easting	Northing	Elevation	Strike	Dip	Dip Direction	Structure Type	Rock Type
AF155	551911	6498377	277	125,00	80,00	215,00	fo	sis
AF158	552962	6497047	279	160,00	70,00	250,00	fo	dfu
AF160	552752	6497070	274	190,00	70,00	280,00	fo	dfu
AF161	552338	6497276	266	200,00	85,00	290,00	vn	qz
AF163	551883	6497501	257	45,00	75,00	135,00	vt	qz
AF164	551755	6497502	253	100,00	50,00	190,00	vt	qz

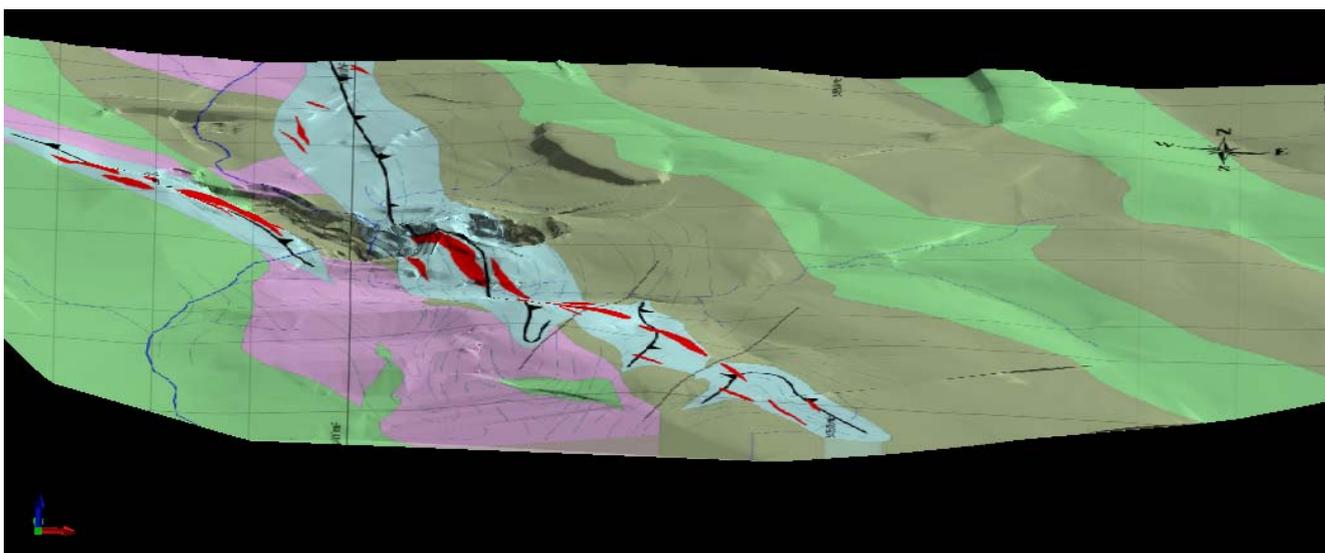
### VII.1.3 Superficie topográfica

Es fundamental contar con una superficie topográfica para trabajar con modelos en 3D de zonas subterráneas. En nuestro caso, la superficie topográfica que utilizamos fue confeccionada por el departamento de Topografía de la compañía y fue relevada con estación total, instrumento que logra errores del orden de los centímetros. La misma posee una fecha del 30/06/2012 y su visualización está representada mediante redes irregulares de triángulos (TIN) (ver Capítulo IV.2.2.2) (Figura VII.6).

Combinando el mapa geológico interpretativo georreferenciado con la superficie topográfica es posible obtener un mapa geológico con topografía (Figura VII.7).



*Figura VII.6: Imágenes en planta de la superficie topográfica utilizada. A la izquierda visualizada en forma de TIN y a la derecha con un postproceso de sombreado.*



*Figura VII.7: Vista isométrica del mapa geológico interpretativo con relieve topográfico.*

## **VII.2. MODELO GEOMÉTRICO (MODELAMIENTO DEL DOMINIO EN 3D)**

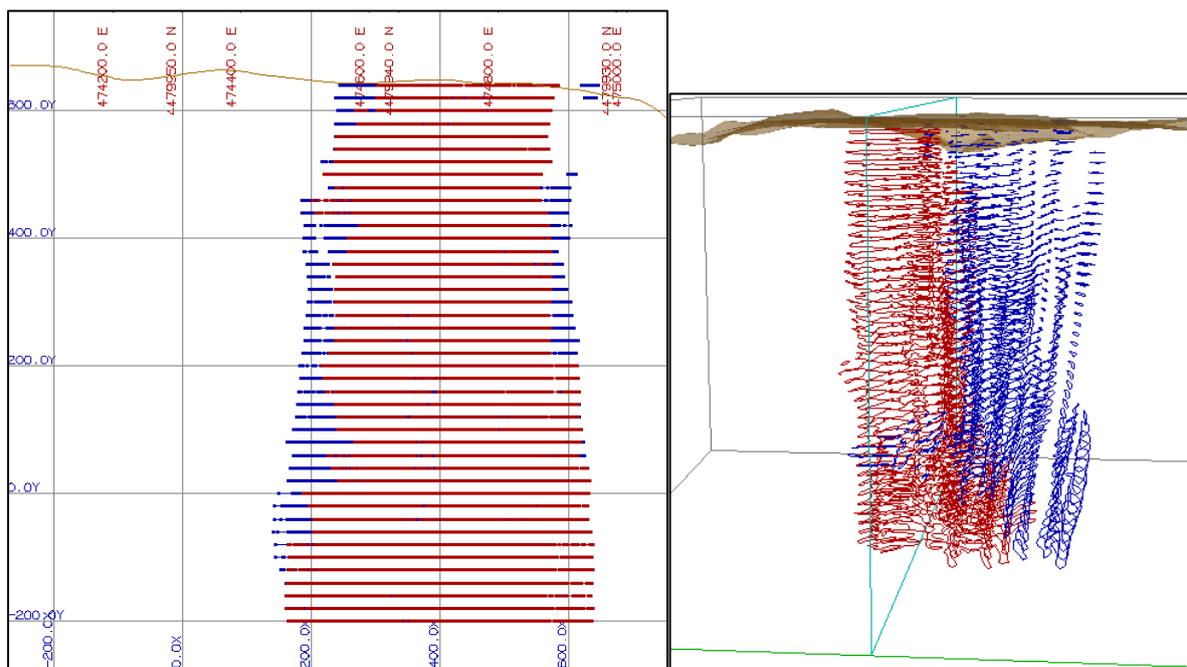
El método de interpretación que aplicamos comprende a grandes rasgos la construcción de polígonos utilizando un conjunto de secciones que posteriormente, conectándolos, generamos sólidos de las diferentes unidades geológicas (Ver Capítulo IV.3 Modelamiento Geológico).

### **VII.2.1. Definición de secciones**

Para definir las secciones que utilizamos en la construcción del modelo, es necesario comprender la disposición espacial de la estructura o las estructuras que queremos modelar. De esta manera intentamos cortar de forma perpendicular al plano de la misma, con el fin de poder visualizarlas lo mejor posible. Es común la utilización de secciones horizontales, secciones verticales, o la combinación de ambas (Figura VII.8).

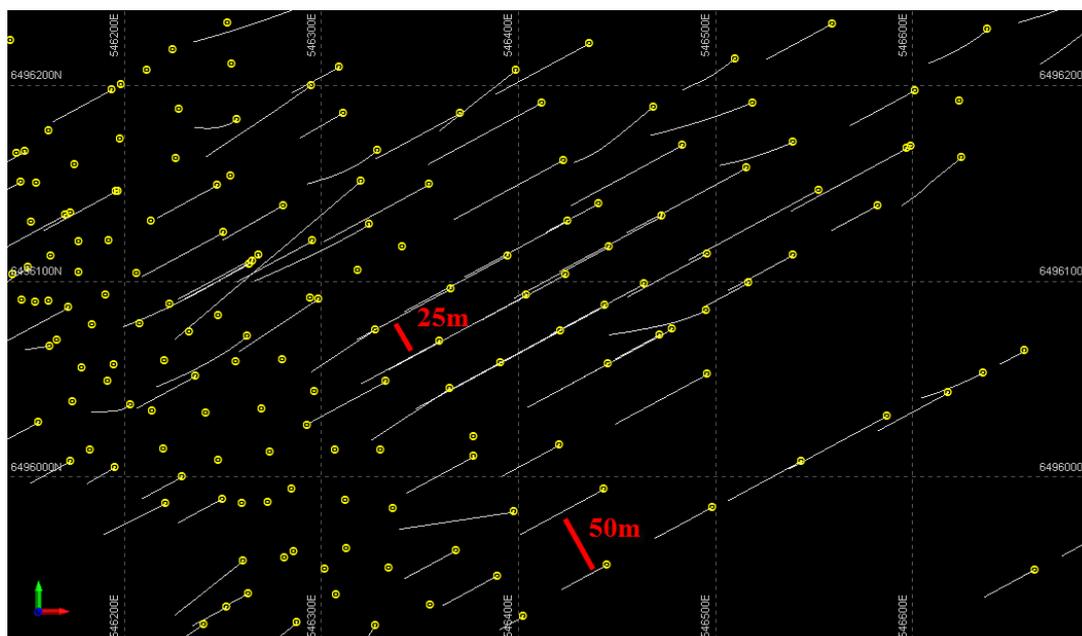
La separación entre las secciones va a depender de la variabilidad del depósito; si en el depósito varían sus características en corta distancia, la separación deberá ser menor que en un depósito homogéneo donde sus características no cambian en largas distancias. De este modo no se perderá información. En el caso de depósitos comprendidos en zonas de cizalla, los mismos se caracterizan por tener una variabilidad bastante alta y no conviene utilizar secciones muy separadas.

La definición de las secciones está directamente relacionada también a la grilla de perforación. Es importante definir secciones que abarquen en lo posible más de dos perforaciones, por este motivo en depósitos sin una grilla regular la definición de las secciones se hace más dificultosa, y en ciertas ocasiones la separación entre las secciones debe ser modificada para abarcar toda la información.



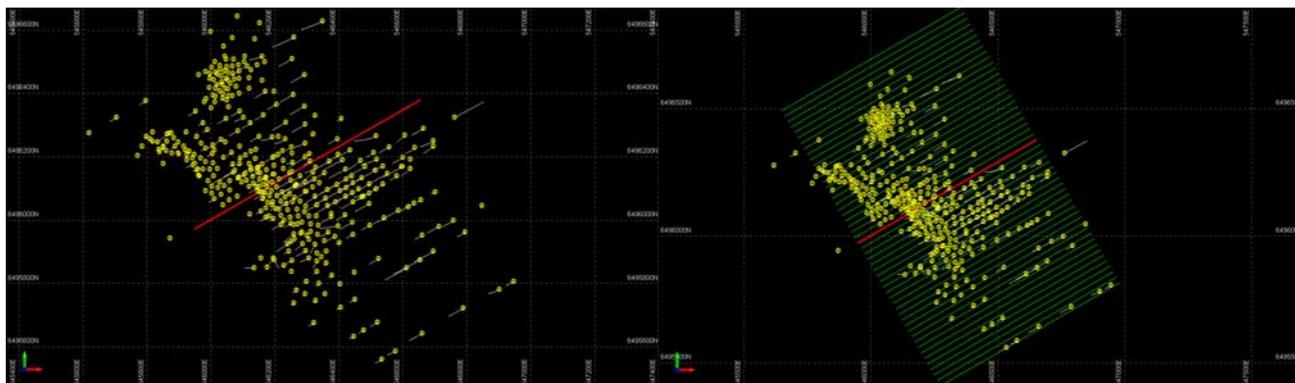
**Figura VII.8:** Ejemplo de interpretación con secciones horizontales.

La grilla de perforación que fue utilizada en la exploración del yacimiento Argentinita es bastante regular, con una separación entre las líneas de sondeos de 25m en las zonas con mayor mineralización, y 50m o mayor (aunque siempre múltiplos de 25) en zonas no tan mineralizadas o menos exploradas. A su vez la grilla está dispuesta de forma que los sondeos tengan rumbo N240° (Figura VII.9).



**Figura VII.9:** Vista en planta de la distribución de los sondeos en la grilla de perforación del área de estudio.

Tomando en cuenta esta información podemos definir nuestro conjunto de secciones que estará compuesto por secciones perpendiculares. Esta disposición de las secciones se ajusta bien a estructuras de bajo ángulo como la zona de cizalla Zapucay (Ver Capítulo V.2, Análisis de Datos Estructurales). A su vez nuestras secciones estarán separadas 25m que es una distancia que se ajusta a la grilla de perforación y a la variabilidad de este tipo de depósitos. Por último escogemos un rumbo de N240° para las secciones, al igual que la separación entre secciones, el mismo se ajusta a la grilla de perforación y corta de forma aceptable a las principales estructuras portadoras de la mineralización (Ver Capítulo V.2. Análisis de Datos Estructurales, Milonitización y Cizallamiento, y Venas) (Figura VII.10).



**Figura VII.10:** Izquierda, línea de referencia para la construcción de secciones, Derecha: conjunto de secciones con rumbo N240° y separación de 25m.

### VII.2.2. Definición de los dominios o restricciones geológicas

Existen tantos dominios geológicos como información existe en el depósito (litología, alteración, estructuras, zona mineral, etc.). Un dominio geológico agrupa las áreas del depósito que tengan similares características geoestadísticas. Dominios que puedan estar basados en ley, tipo de roca, estructuras, modelos de alteración, orientación, contenido de sulfuros o una combinación de múltiples criterios. En el caso del yacimiento Argentinita fueron definidos tres dominios basados en tres criterios geológicos diferentes:

**Roca Caja.** Este dominio se basa en el tipo de roca y comprende a las litologías afectadas por la zona de Cizalla Zapucay, estructura portadora de la mineralización de oro en el yacimiento. El mismo fue dividido en tres subdominios según la caracterización geológica realizada en el Capítulo V.

- Roca Félsica (Ver Capítulo V, Sección V.1.5.1.1): Algunos de los códigos utilizados para este tipo de roca son MFU, DFU, IFU, UFE.
- Roca Intermedia (Ver Capítulo V, Sección V.1.5.1.2): Algunos de los códigos utilizados para este tipo de roca son MGN, DIU, UIN, MGO.
- Roca Máfica (Ver Capítulo V, Sección V.1.5.1.3): Algunos de los códigos utilizados para este tipo de roca son DMU, MMU, IDO, IMU.

**Zona deformada.** Este dominio se basa en la deformación presentada por las litologías que comprenden la roca caja generada por la zona de cizalla Zapucay. Los principales códigos utilizados para definir este dominio fueron BR, MY, SH.

**Lentes de cuarzo.** Este dominio se basa en la presencia de venas de cuarzo. La intensidad con la cual aparecen se mide en función del porcentaje de las mismas en el intervalo estudiado, el dominio comprende presencia de cuarzo mayor al 20%.

### VII.2.3. Interpretación en secciones verticales (polígonos)

La interpretación en secciones nos permite determinar y relacionar la continuidad de ciertos atributos geológicos entre un sondeo y otro, utilizando herramientas de diseño gráfico, ya sean líneas, polígonos, puntos, etc. En este trabajo se utilizaron polígonos como herramientas para limitar los dominios geológicos previamente establecidos. El objetivo de nuestra interpretación es modelar los atributos geológicos que creemos son los controladores de la mineralización de oro.

#### VII.2.3.1. Visualización de atributos geológicos

Para comenzar a construir los polígonos es necesario definir la forma de visualización de los atributos geológicos utilizados como base para la interpretación. Es necesario entonces definir el perfil de colores de tipo de roca, el perfil de colores de tipo de deformación, el gráfico de barras de porcentaje de venas de cuarzo, y el visualizador de estructuras geológicas. Para definir el perfil de colores de tipo de roca necesitamos asignarle un color específico a cada código litológico utilizado, para esto el *software* consta de una herramienta de visualización que se denomina *hatch*, la misma se define como se muestra en la Figura VII.11.

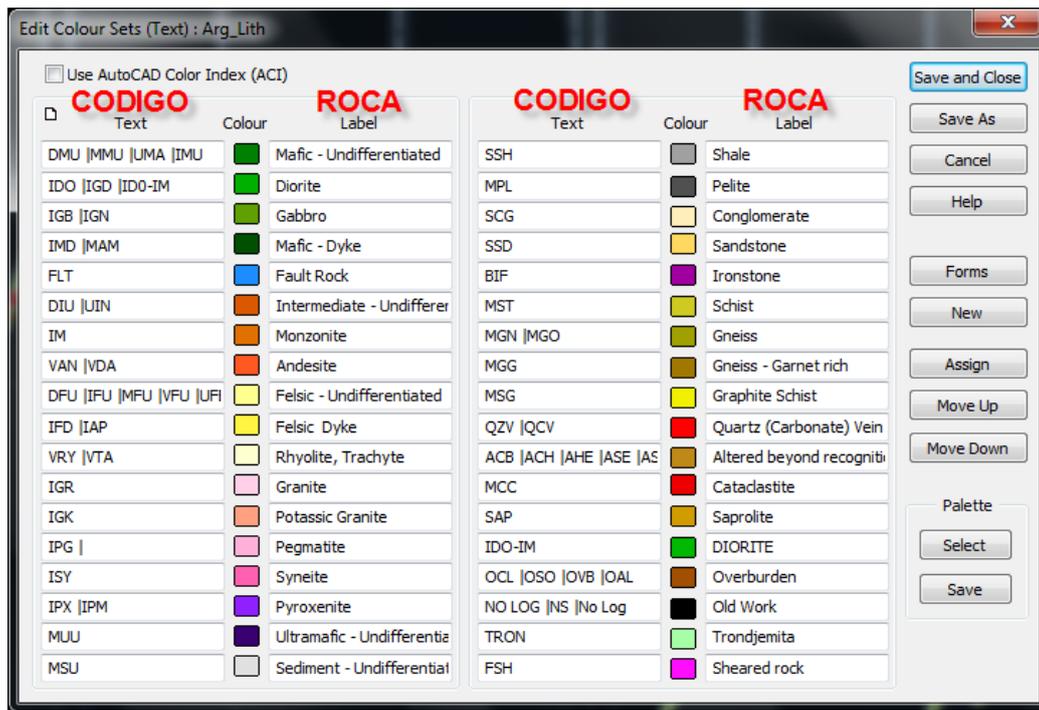


Figura VII.11: Perfil de colores de tipo de roca.

El perfil de colores se visualiza en forma de una barra a un lado de la traza del sondeo (Figura VII.12).

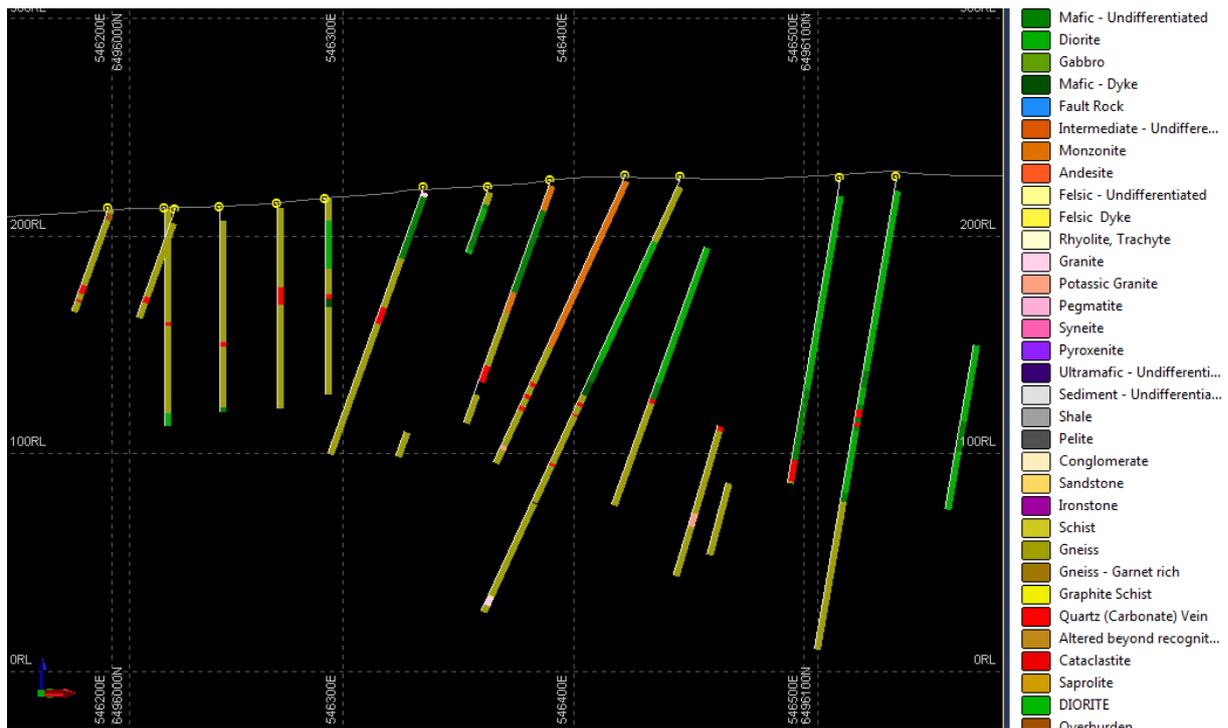


Figura VII.12: Visualización del perfil de colores de tipo de roca.

Al igual que el perfil de colores según el tipo de roca, utilizamos la misma herramienta para asignar un color específico a los códigos de deformación que nos interesan (Figura VII.13). También lo visualizamos a un lado de la traza del sondeo (Figura VII.14).

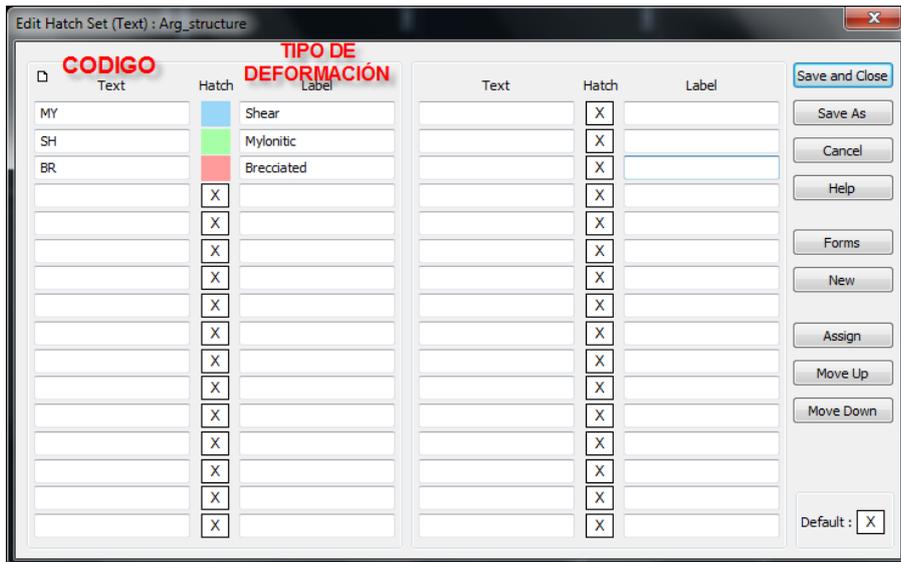


Figura VII.13: Perfil de colores según el tipo de deformación.

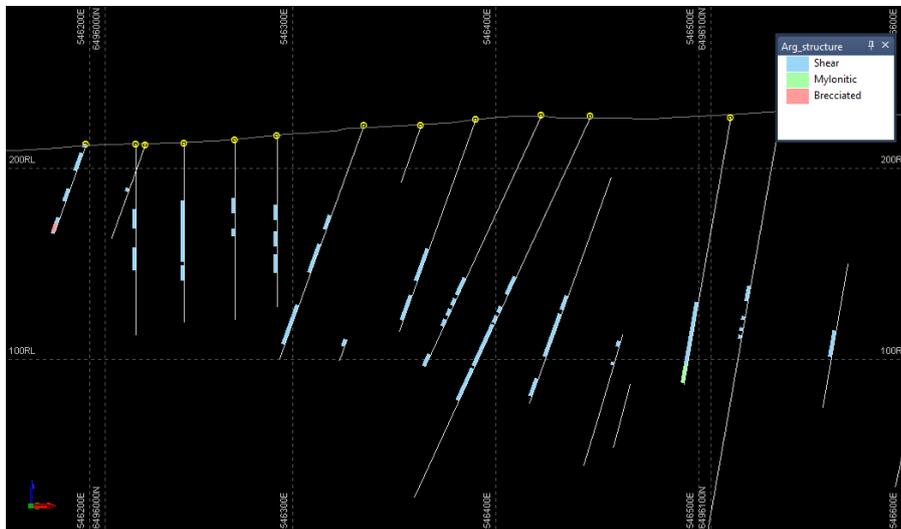


Figura VII.14: Visualización del perfil de colores según el tipo de deformación.

Para definir la visualización de este atributo geológico escogemos la herramienta *Drillhole Graph* la cual nos permite graficar cualquier valor en forma de histogramas o gráficas lineales a lo largo de la traza del sondeo. Para el Dominio Lentes de Cuarzo solo se visualizarán los porcentajes de cuarzo mayor a 20% de acuerdo a su definición. Para esto es necesario filtrar el resto de los porcentajes (Figura VII.15).

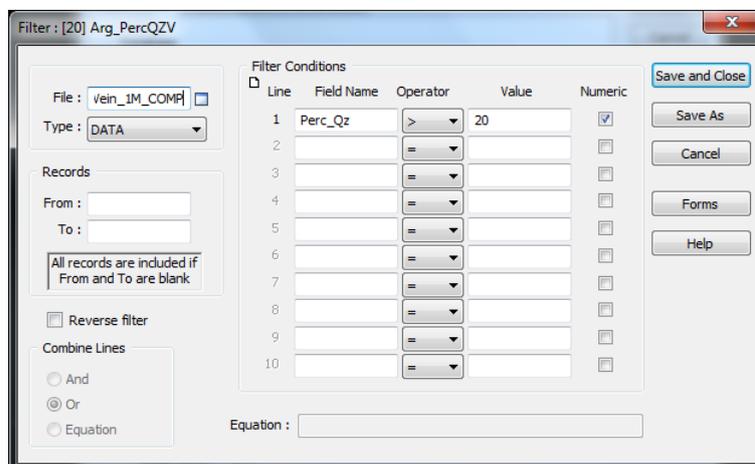
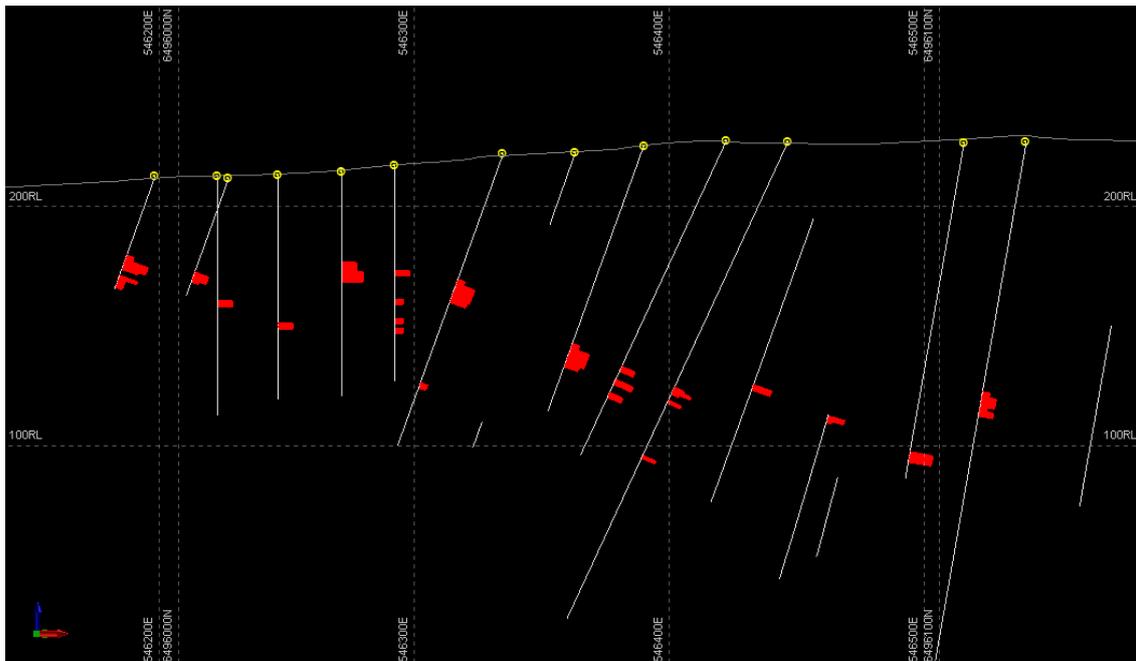


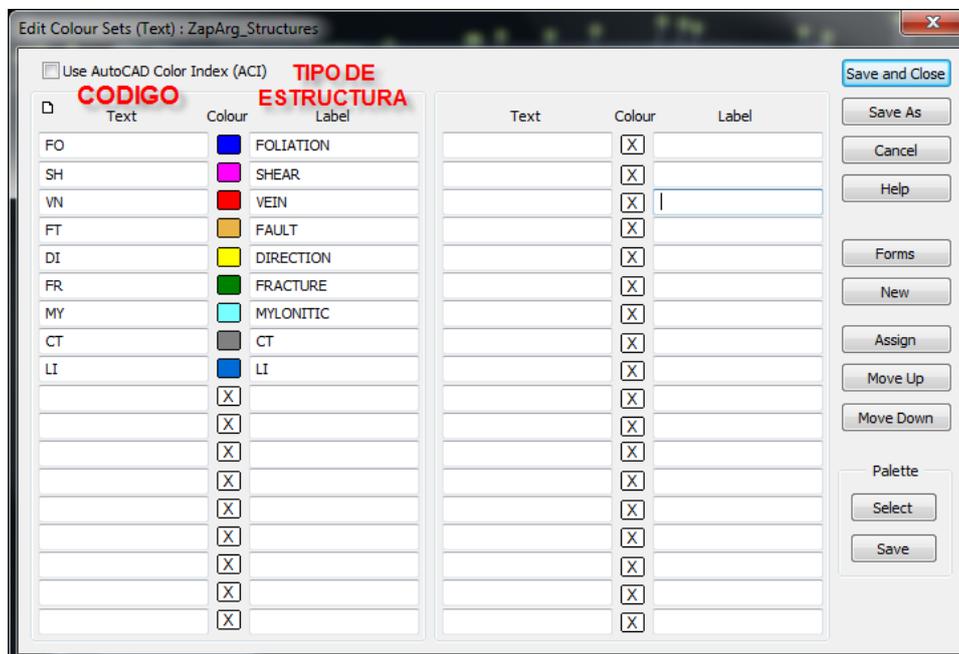
Figura VII.15: Filtrado de porcentajes menores a 20%.

Escogimos como forma de visualización un gráfico de barras de color rojo (Figura VII.16).



**Figura VII.16:** Visualización del gráfico de barras de porcentaje de venas de cuarzo mayor a 20%.

La visualización de las estructuras al momento de interpretar es fundamental para la correcta definición de los límites y tendencias de los dominios geológicos. Además, debe tomarse en cuenta la información obtenida en el análisis estructural. Para esto el *software* posee la herramienta *Drillhole Structures* que nos permite ver los tipos de estructuras relevados tanto en superficie como en los sondeos de tipo diamantina orientados, así como también sus actitudes. Debido a los perfiles de colores, los tipos de estructuras se visualizarán con un color determinado según su código (Figura VII.17). La actitud se visualizará mediante el posicionamiento en el espacio de un triángulo como muestra la Figura VII.18.



**Figura VII.17:** Perfil d colores para tipo de estructura.

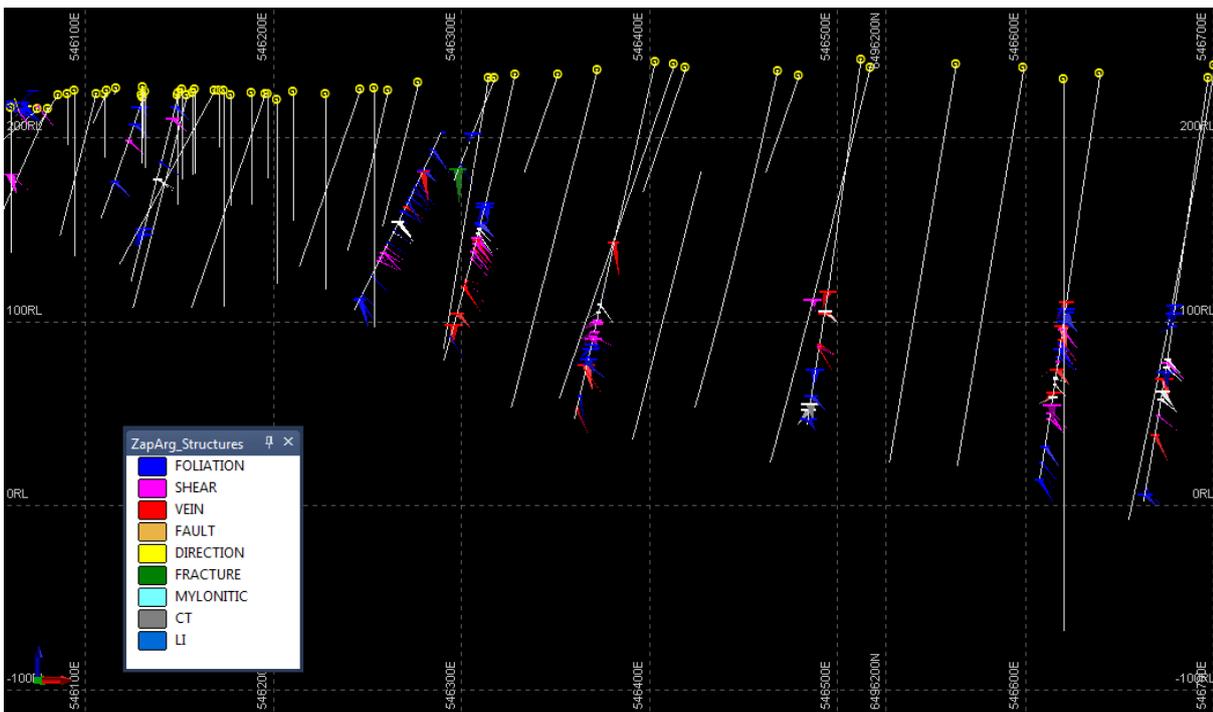


Figura VII.18: Visualización de estructuras geológicas.

### VII.2.3.2. Interpretación mediante polígonos

Luego de organizar los datos con los que vamos a trabajar, y definir cómo vamos a visualizarlos iniciamos con el proceso de interpretación. Este proceso no es automatizable e interviene la experiencia y los conocimientos del geólogo. La metodología de trabajo consiste en realizar varias pasadas, sección por sección, de sur a norte, dibujando mediante la utilización de polígonos, los dominios geológicos antes definidos. Estas pasadas consecutivas buscan darle continuidad a los cuerpos que se van modelando. Unas 44 secciones separadas cada 25m fueron definidas para abarcar la extensión total del yacimiento (Figura VII.19).

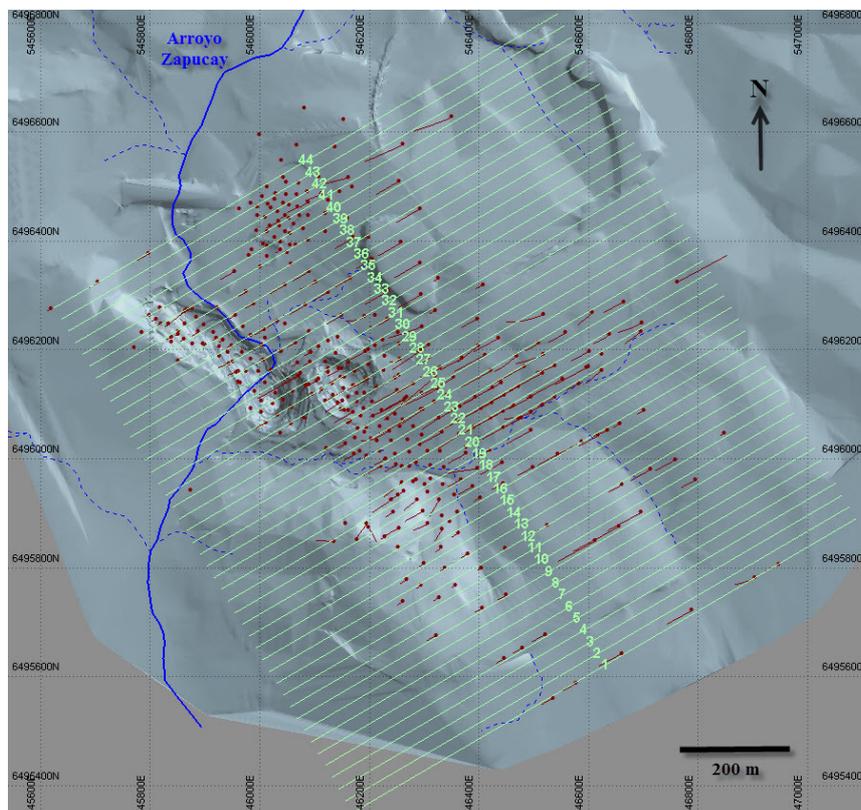


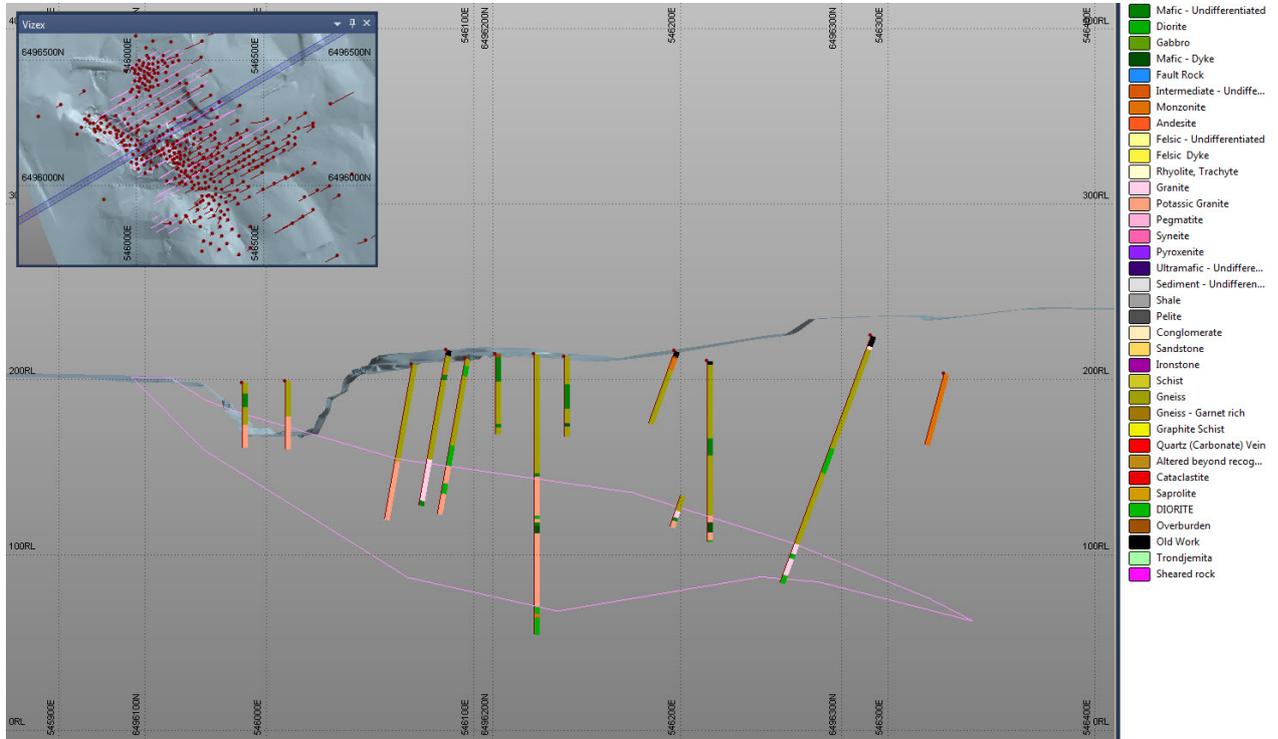
Figura VII.19: Vista en planta de la ubicación de las secciones.

### VII.2.3.2.1. Resultados obtenidos a partir de la interpretación mediante polígonos

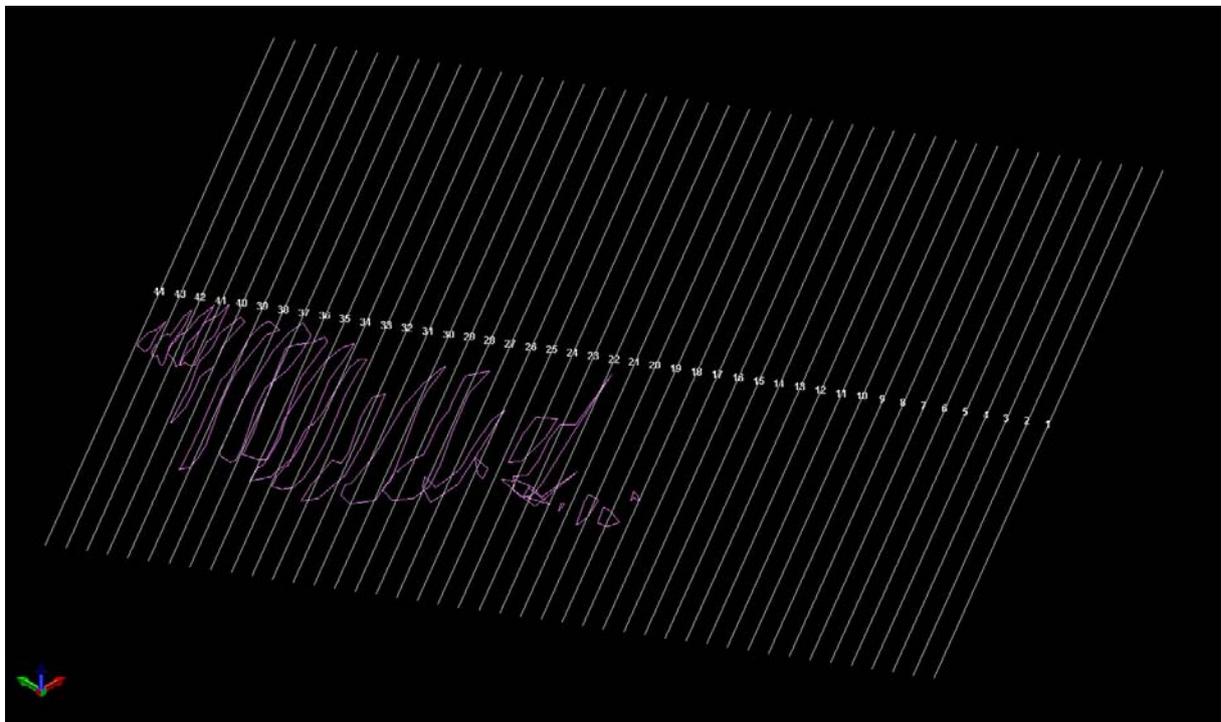
Los siguientes resultados son un resumen del producto obtenido a partir del modelamiento de cada dominio geológico.

#### Dominio de roca caja

##### ➤ Subdominio roca félsica

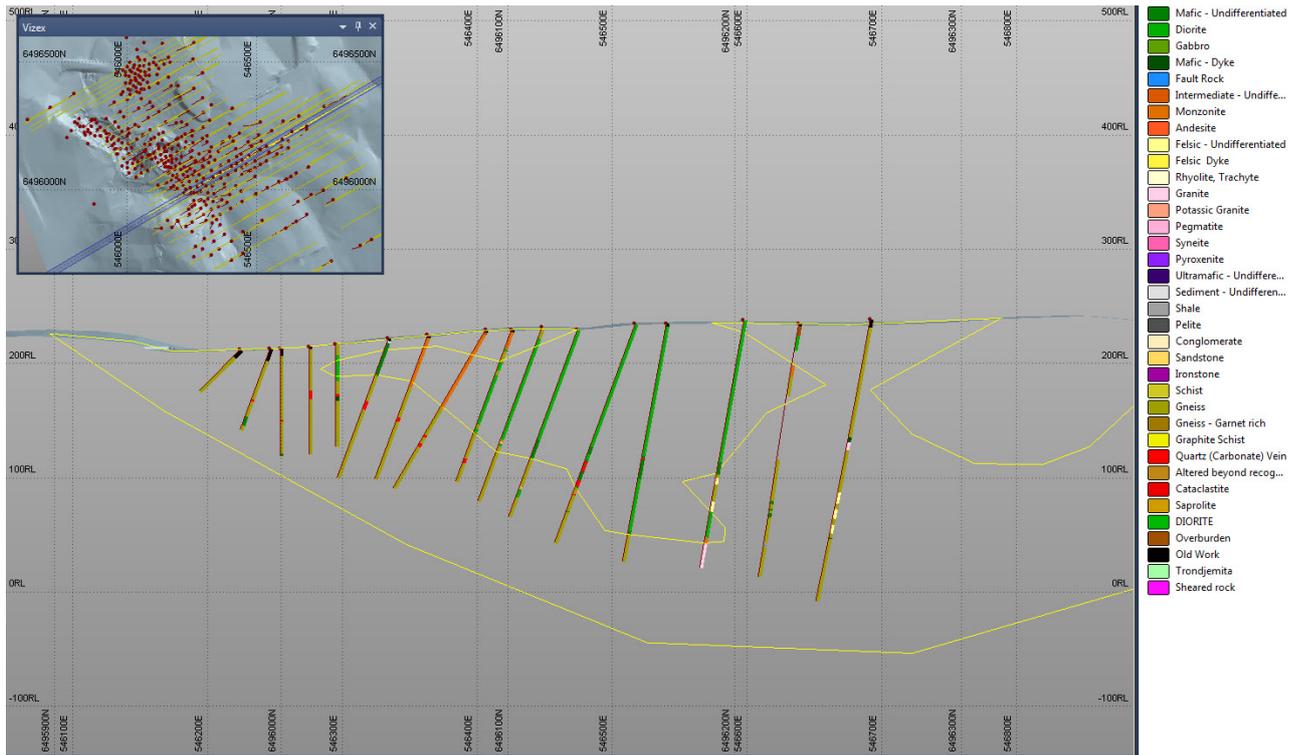


**Figura VII.20:** Sección tipo del Subdominio Roca Félsica

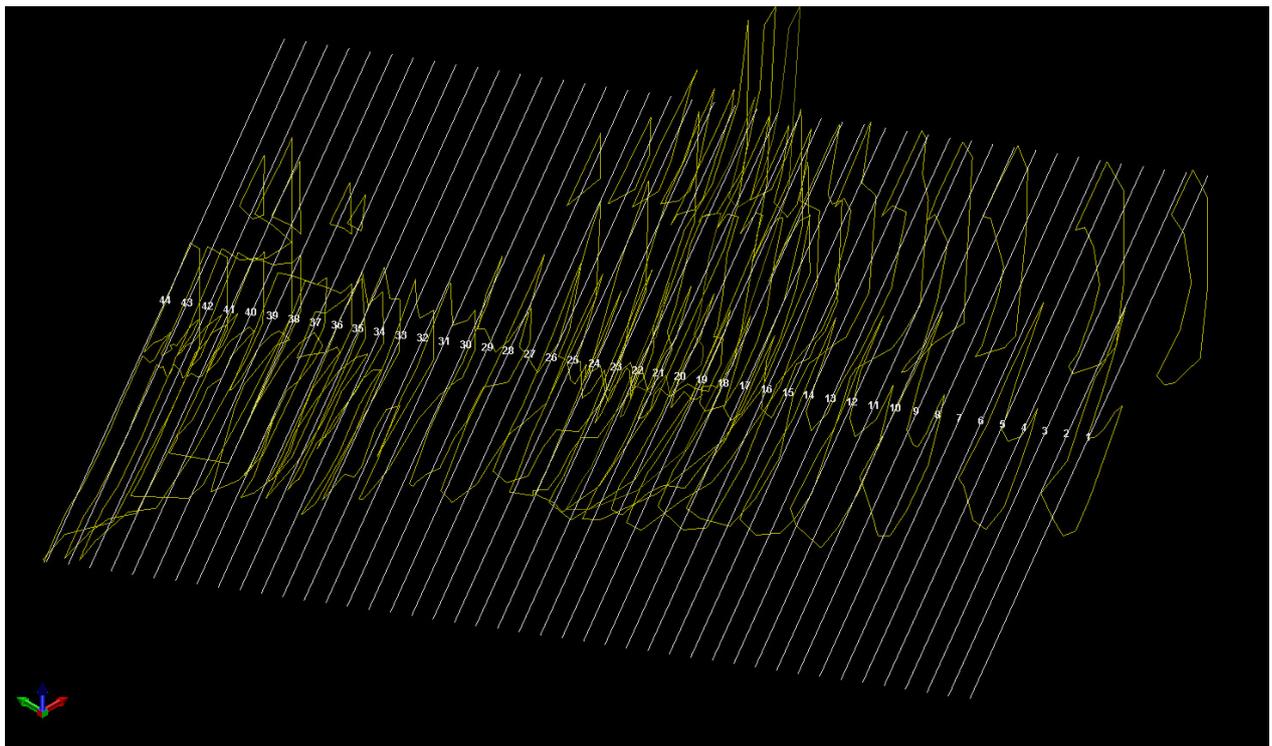


**Figura VII.21:** Vista isométrica del total de polígonos correspondientes al Subdominio Roca Félsica.

➤ *Subdominio roca intermedia*



**Figura VII.22:** Sección tipo del Subdominio Roca Intermedia



**Figura VII.23:** Vista isométrica con el total de polígonos correspondientes al Subdominio Roca Intermedia.

➤ Subdominio roca máfica

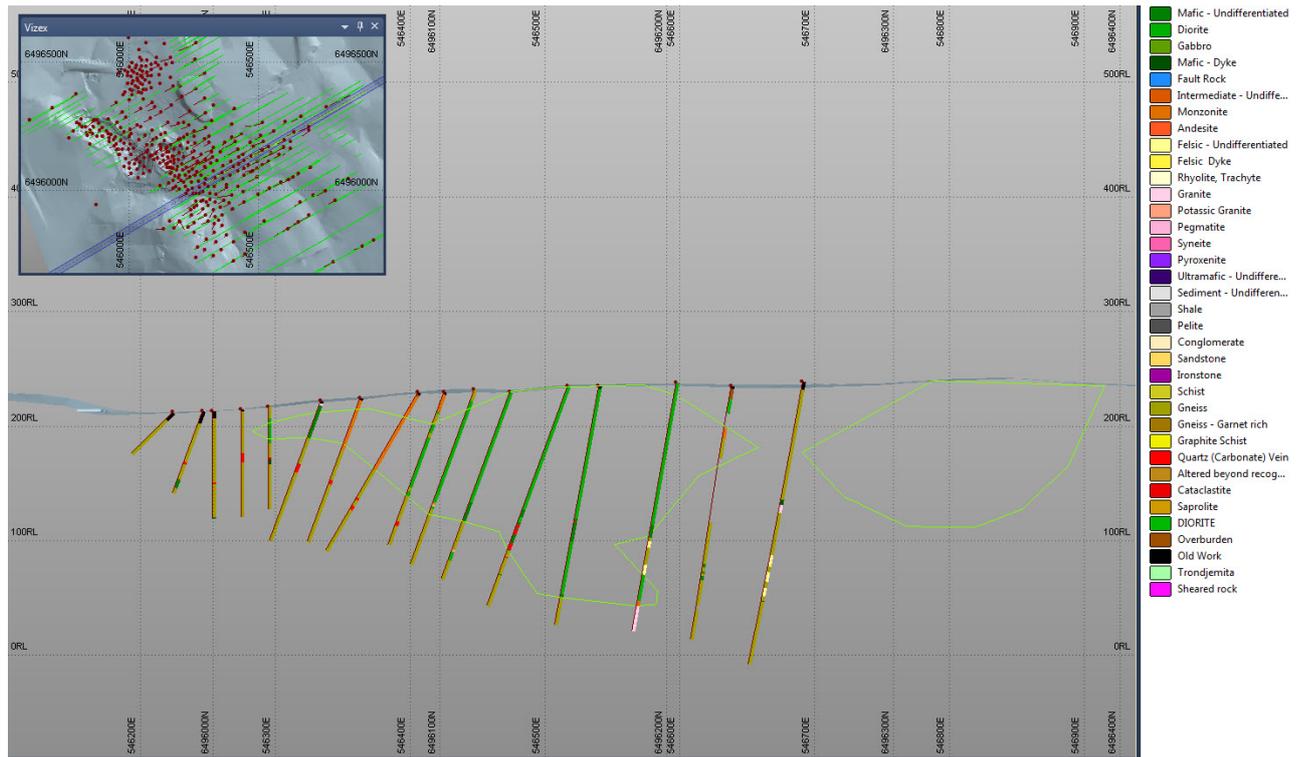


Figura VII.24: Sección tipo del Subdominio Roca Máfica.

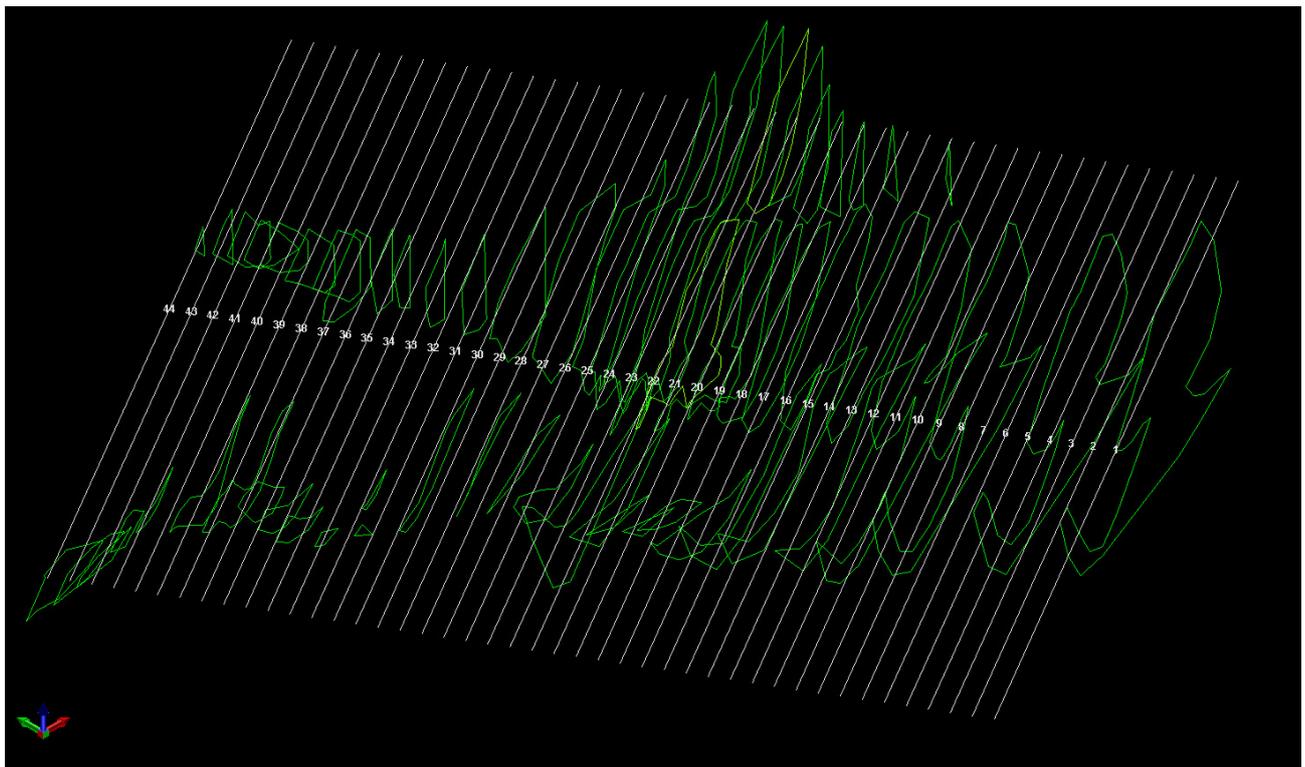
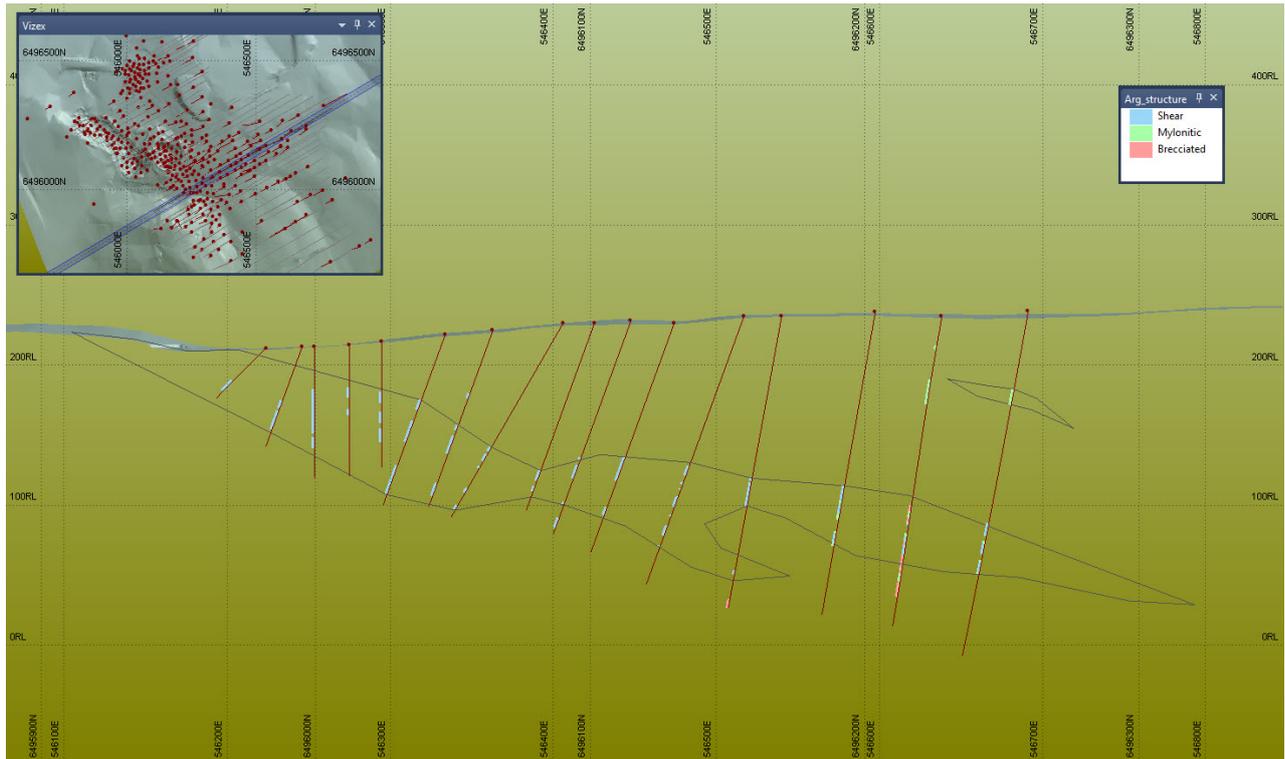
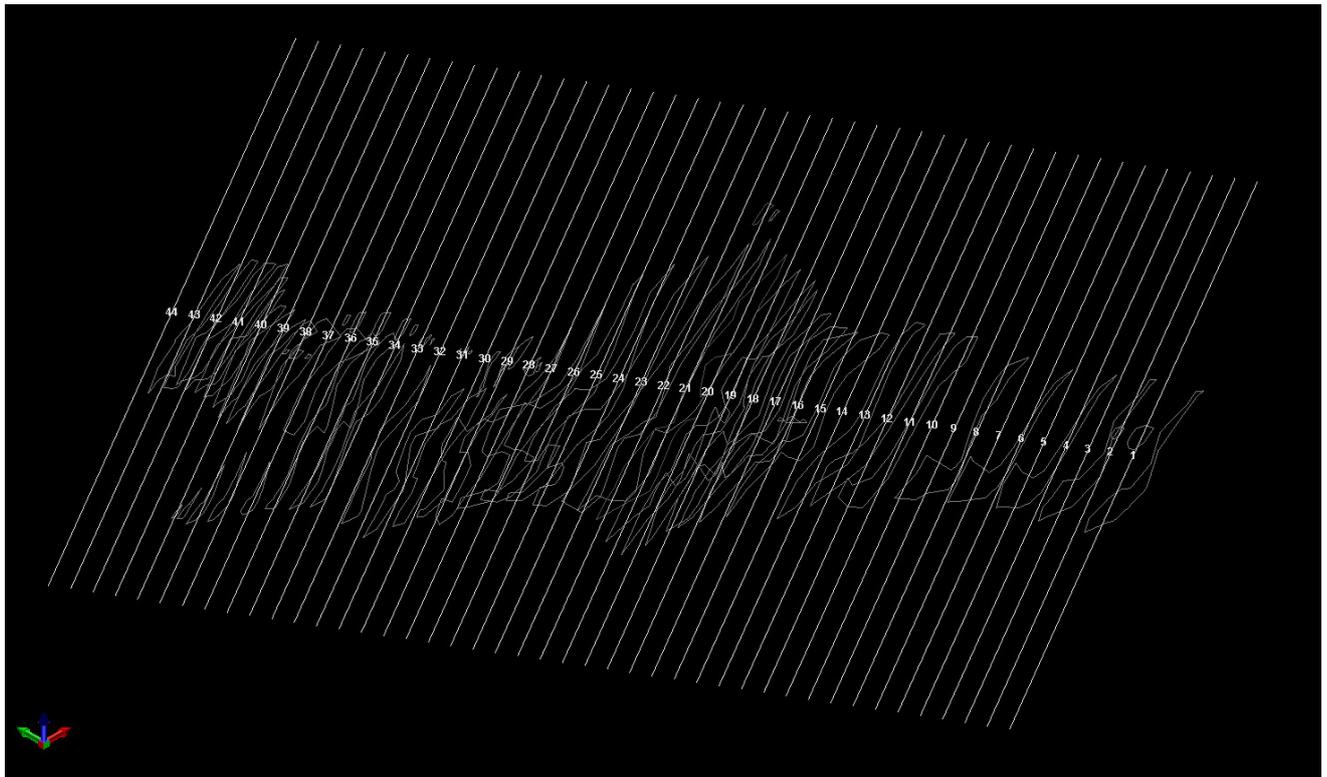


Figura VII.25: Vista isométrica con el total de poligonos correspondientes al Subdominio Roca Máfica.

### Dominio de roca deformada



**Figura VII.26:** Sección tipo del Dominio Roca Deformada.



**Figura VII.27:** Vista isométrica con el total de polígonos correspondientes al Dominio Roca Deformada.

### Dominio de lentes de cuarzo

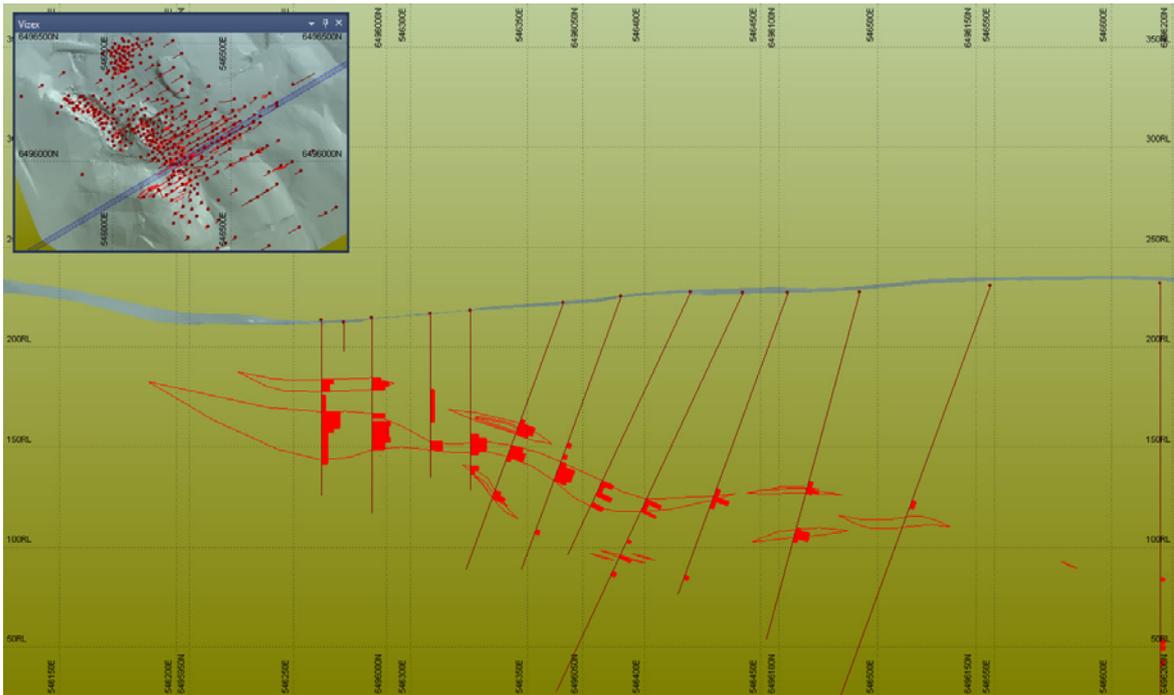


Figura VII.28: Sección tipo del Dominio Lentes de Cuarzo.

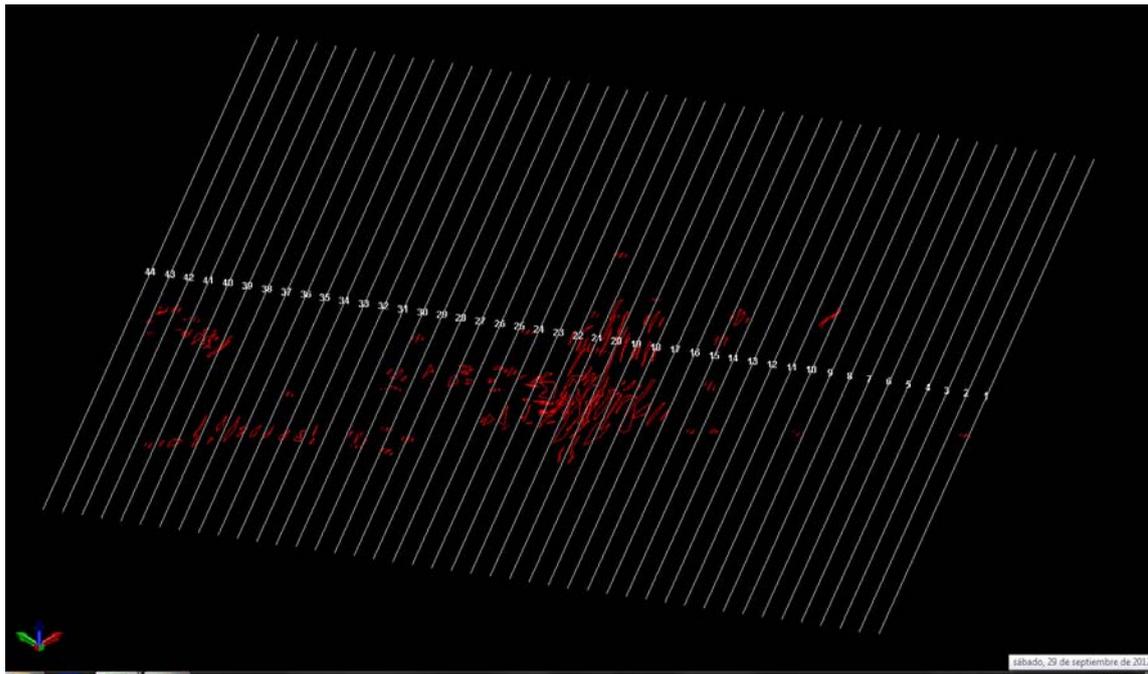
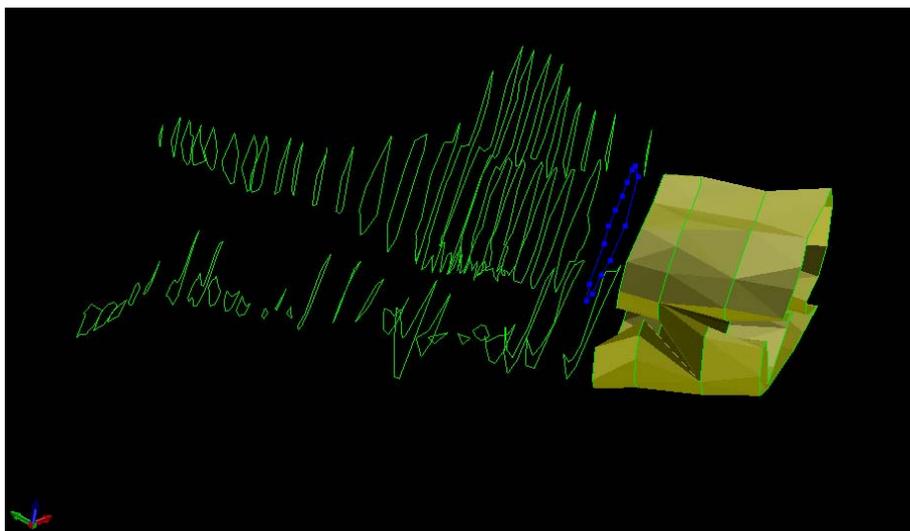


Figura VII.29: Vista isométrica con el total de polígonos correspondientes al Dominio Lentes de Cuarzo.

#### VII.2.4. Modelamiento de sólidos

Luego de tener definidos nuestros dominios geológicos mediante la interpretación por secciones y construcción de la secuencia de polígonos, el último paso restante para el modelamiento de los cuerpos tridimensionales es conectar a estos polígonos mediante redes irregulares de triángulos (TIN). Para esta función el *software* cuenta con la herramienta *Build Wireframe* que nos permite ir conectando un polígono con otro de forma consecutiva (Figura VII.30).

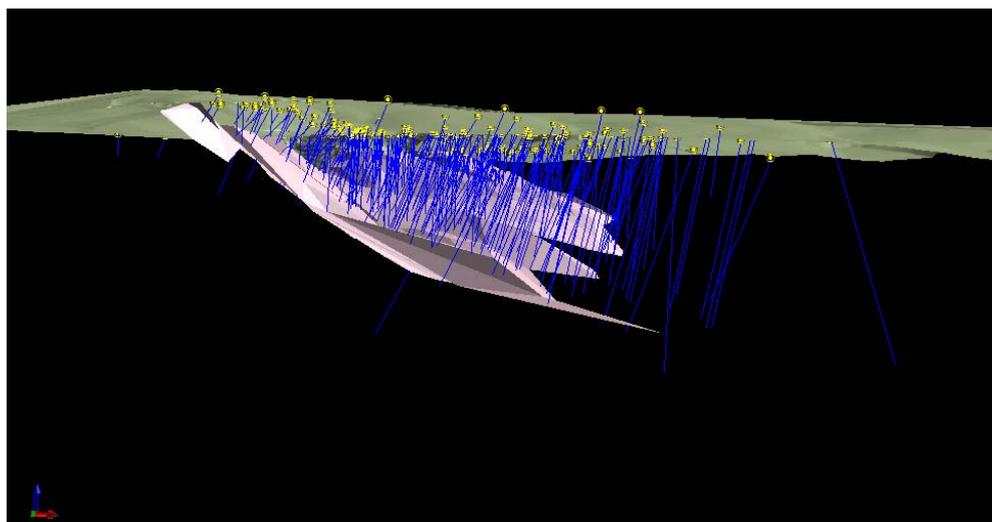


*Figura VII.30: Vista isométrica de la construcción de cuerpo tridimensional utilizando Build Wireframe.*

#### **VII.2.4.1. Resultados del modelamiento de sólidos**

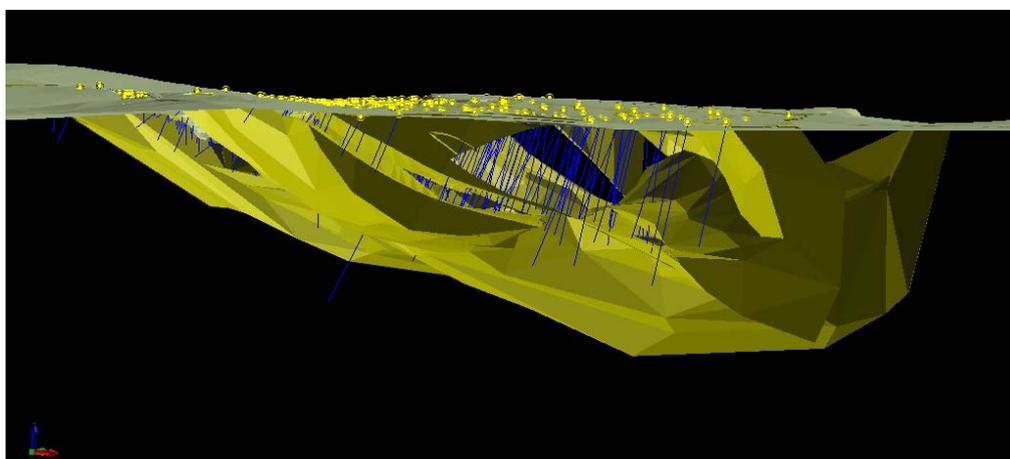
##### Dominio de roca caja

##### *Subdominio roca félsica*



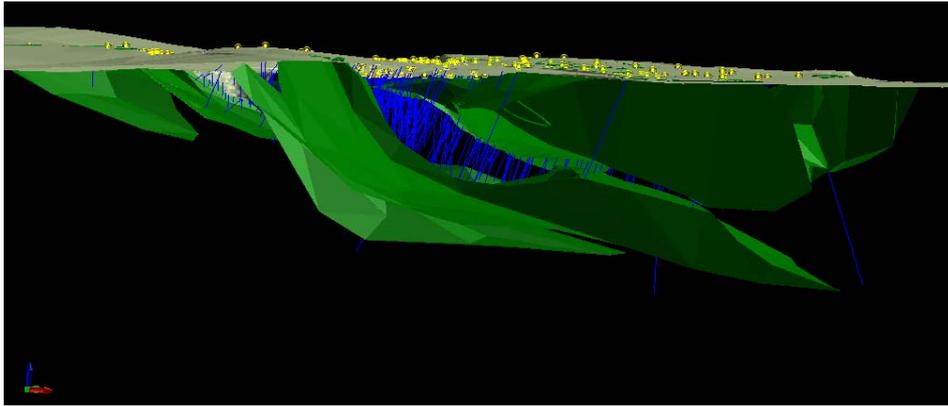
*Figura VII.31: Vista isométrica del sólido del Subdominio Roca Félsica.*

##### *Subdominio roca intermedia*

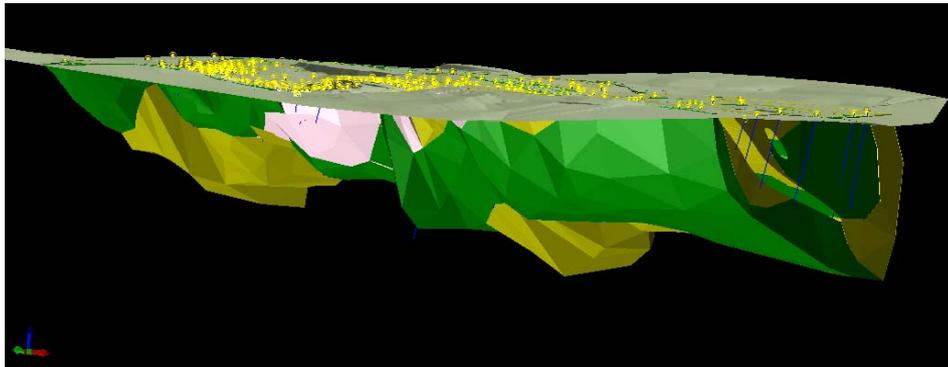


*Figura VII.32: Vista isométrica del sólido del Subdominio Roca Intermedia.*

*Subdominio roca máfica*

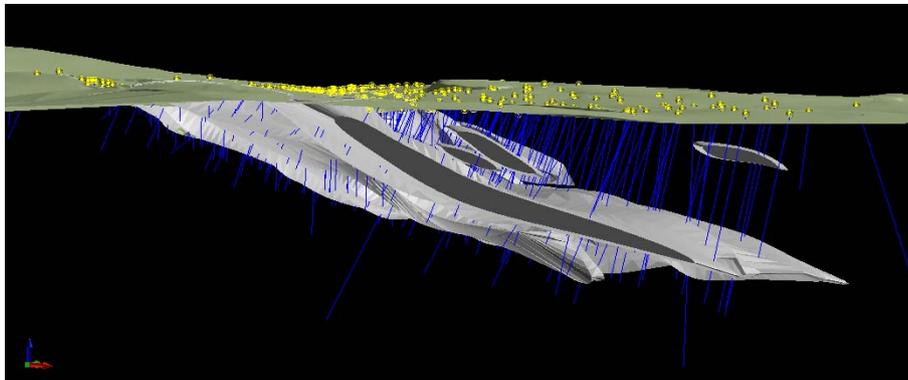


*Figura VII.33: Vista isométrica del sólido del Subdominio Roca Máfica.*



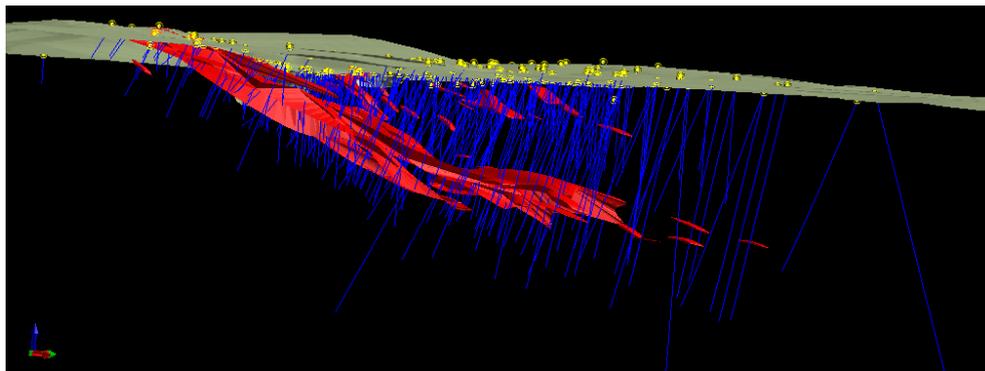
*Figura VII.34: Vista isométrica del Dominio de Roca Caja.*

Dominio de roca deformada

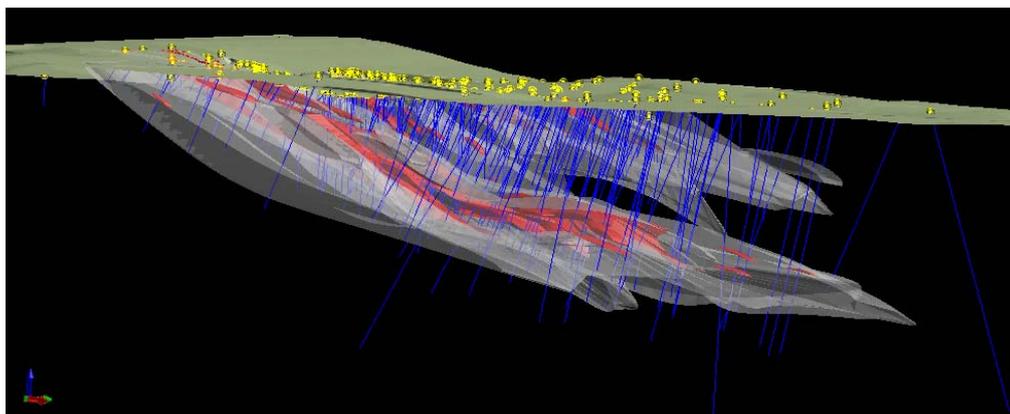


*Figura VII.35: Vista isométrica del Dominio de Roca Deformada.*

1. Dominio de lentes de cuarzo

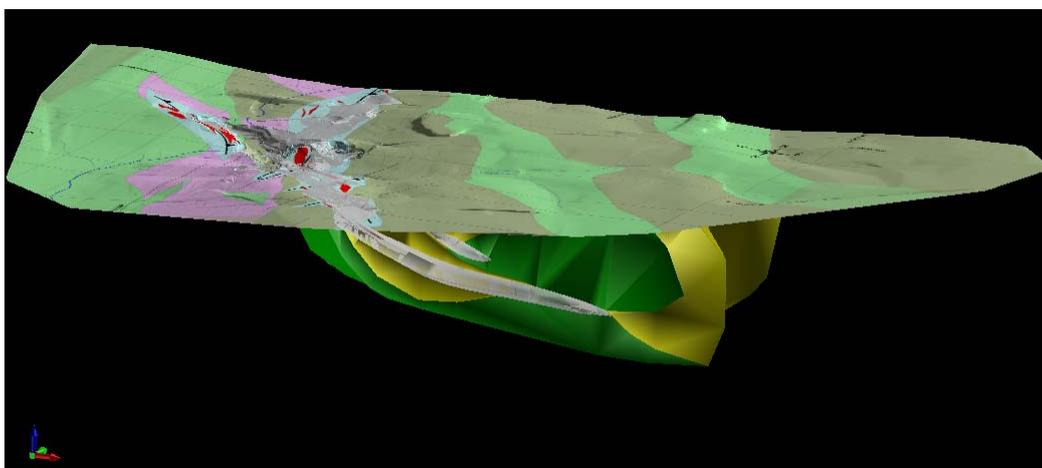


*Figura VII.36: Vista isométrica del Dominio de Lentes de Cuarzo.*



*Figura VII.37: Vista isométrica del Dominio de Roca Deformada + Lentes de Cuarzo.*

#### VII.2.5. Resultado final del modelo geométrico



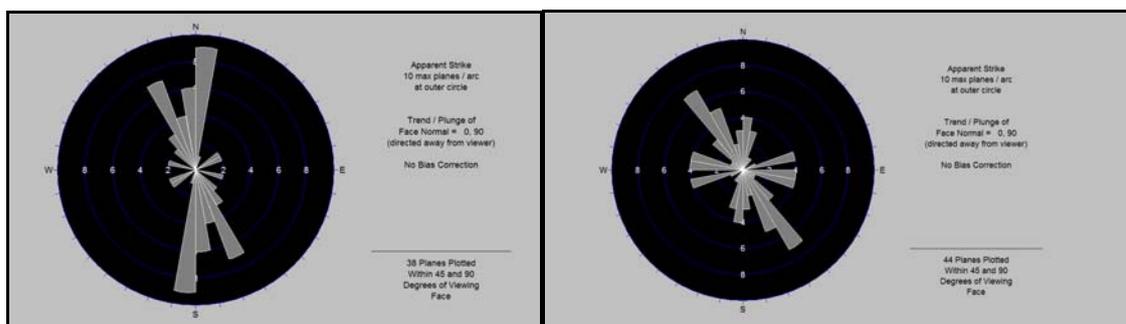
*Figura VII.38: Vista isométrica de los Dominios Geológicos + Mapa Geológico Interpretativo.*

### VII.3. MODELO PREDICTIVO

El principal objetivo según Turner y Gable (2007) del modelo geométrico es el de proveer de controles geométricos y de distribución de propiedades para algún tipo de modelo numérico, siendo el propósito de este modelamiento analítico el predecir. La predicción tiene más un carácter de extrapolación que interpretativo. Los resultados predictivos requieren de un soporte visual y de interpretación por parte del “cliente” del modelo. En el caso de este trabajo el objetivo de desarrollar un modelo predictivo es el de predecir la disposición espacial del dominio de lentes de cuarzo (dominio relacionado directamente con la mineralización de oro). A partir del análisis estructural pudimos constatar una diferencia entre las actitudes de las venas de cuarzo y las actitudes de la milonitización y cizallamiento. El rumbo aparente principal de la deformación es NS mientras que, el de las venas de cuarzo es NO (Figura VII.39). El buzamiento de los planos principales también difieren considerablemente, el de las venas de cuarzo es de  $-45^\circ$  mientras que el de la milonitización y cizallamiento es de  $-29^\circ$ .

Históricamente se han modelado los lentes de cuarzo concordantes con la zona deformada, pero las diferencias notorias en las actitudes podrían estar reflejando un escenario geológico un poco más complejo. Tomando en cuenta esta observación y el hecho de que los lentes de cuarzo se desarrollan dentro de la zona de deformación, podemos construir un modelo predictivo que tenga como límite geométrico al dominio geológico de roca deformada, e incluirle las actitudes obtenidas del análisis estructural para las venas de cuarzo en el modelo numérico.

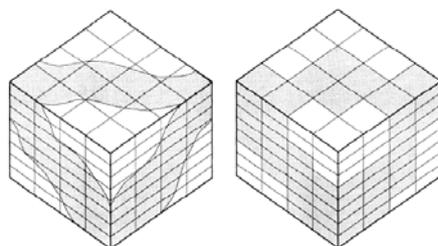
Para la confección de un modelo predictivo son necesarios dos pasos fundamentales, la construcción de un modelo de bloques en blanco y posteriormente la interpolación de los datos en cuestión dentro del modelo antes mencionado.



**Figura VII.39:** Diferencia entre principales rumbos aparentes de la deformación y las venas de cuarzo.

### VII.3.1. Construcción de modelo de bloques en blanco

Los modelos de bloques son matrices tridimensionales que representan un cubo en el espacio. Los mismos son utilizados para modelar cuerpos mineralizados como también estructuras geológicas. Cada bloque en un modelo es usado para representar un volumen homogéneo de material que es caracterizado por la asignación de un atributo en particular, como puede ser tipo de roca, ley, densidad, etc.

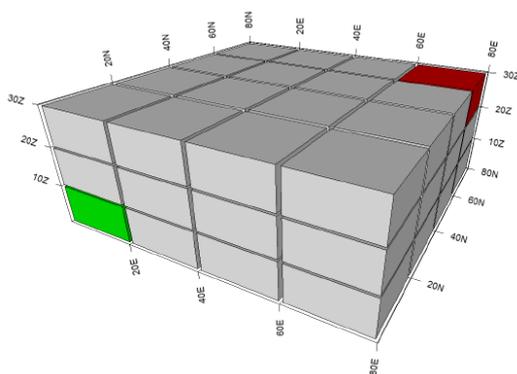


**Figura VII.40:** Ejemplo de una unidad geológica codificada dentro de un modelo de bloques. A la izquierda interpretación geológica y a la derecha representación en modelo de bloques. Extraído Noble (1992).

Los datos del modelo de bloques pueden ser seleccionados, filtrados y mostrados de varios modos, lo cual nos permite tener una idea clara de la naturaleza del cuerpo mineral. Para construir un modelo de bloques en blanco hay que definir la extensión espacial del modelo de bloques, el tamaño del bloque, y los límites geométricos del modelo de bloques; o sea asignarle el sólido en el cual se va a desarrollar.

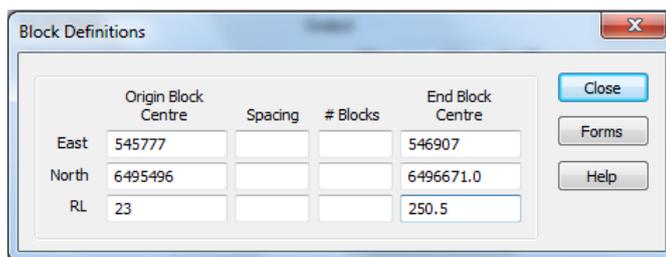
#### VII.3.1.1. Extensión espacial del modelo de bloques

El objetivo de definir la extensión espacial es el de asegurarnos de que el mismo abarque toda la información con la que trabajaremos. En nuestro caso los datos son los porcentajes de venas de cuarzo definidos en la sección VII.2.3.1. Tomando en cuenta que los lentes de cuarzo se desarrollan dentro de la zona deformada, podemos definir la extensión espacial del modelo de bloques a partir de la extensión espacial del sólido que comprende el dominio geológico de roca deformada. De esta forma se define un bloque de origen y uno final (Figura VII.41).



**Figura VII.41:** Bloque de origen en verde y bloque final en rojo. Extraído de Micromine Training Manual (2009).

Los bloques de origen y final son definidos mediante las coordenadas espaciales de sus centros (Figura VII.42).

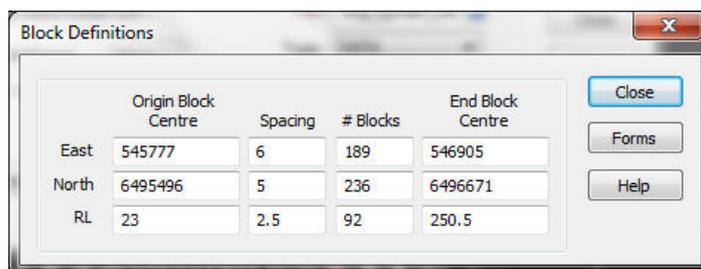


**Figura VII.42:** Ingreso de coordenadas de los centros de los bloques de origen y final.

### VII.3.1.2. Tamaño del bloque

No existe una regla determinada para definir el tamaño y forma del bloque, pero sí algunos factores que son importantes de considerar como la densidad de perforación y la actitud y características del cuerpo a modelar. Tomando en cuenta estos factores podemos mencionar que nuestra grilla de perforación tiene un rumbo N240°, un espaciado promedio de 30m en sentido EO y una separación entre líneas de perforación de aproximadamente 25m, a su vez los intervalos de descripción son de un promedio de 1m.

Según Noble (1992) el tamaño del bloque debe ser un cuarto a un quinto el espaciado entre sondeos, por este motivo definimos un tamaño de 6m en el E, 5m en el N y 2.5m en el Z. Este último no está definido según el intervalo de descripción sino en los espesores relativos de los intervalos con cuarzo que varían entre 2 y 10m aproximadamente (Figura VII.43).

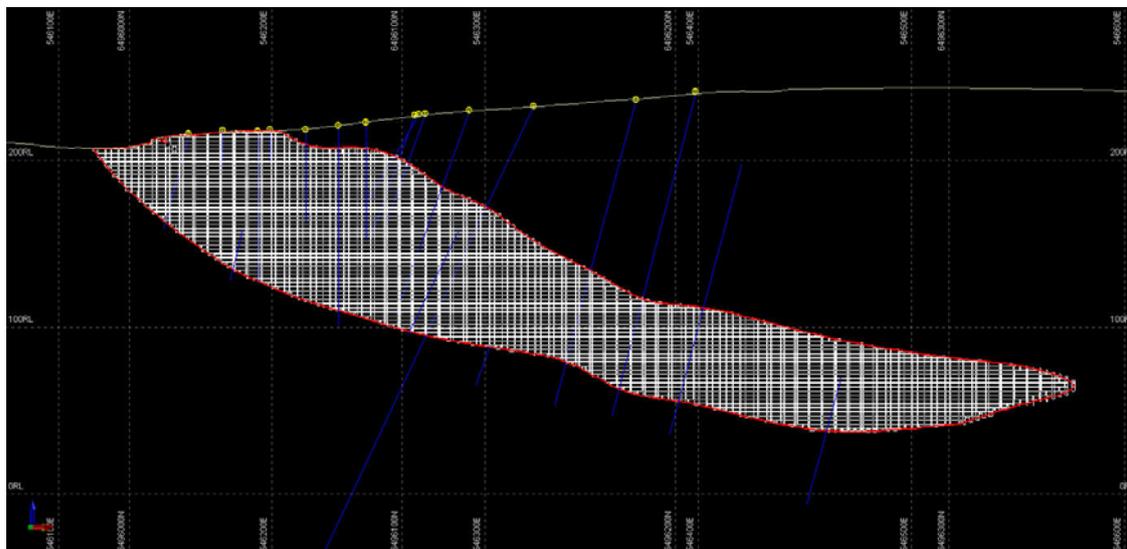


**Figura VII.43:** Dimensiones del boque.

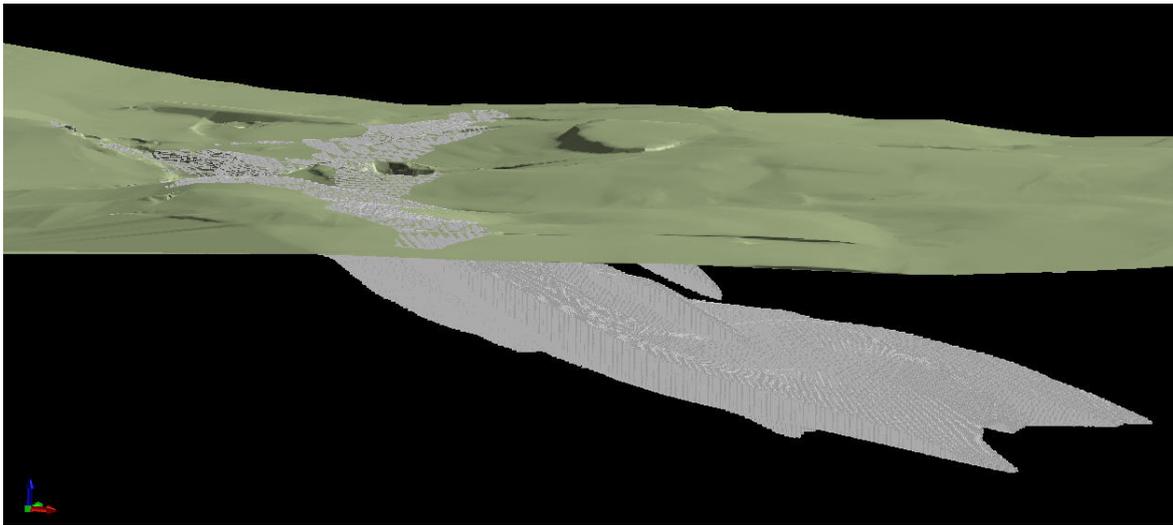
### VII.3.1.3. Límite geométrico del modelo de bloques

Como fue mencionado anteriormente el límite geométrico del modelo de bloques es el sólido perteneciente al dominio geológico de roca deformada, el modelo se desarrolla dentro del sólido sin traspasar sus límites.

### VII.3.1.4. Resultado



**Figura VII.44:** Modelo de bloques en blanco delimitado por dominio geológico de roca deformada.



**Figura VII.45:** Vista isométrico del modelo de bloques en blanco

### VII.3.2. Interpolación de Datos

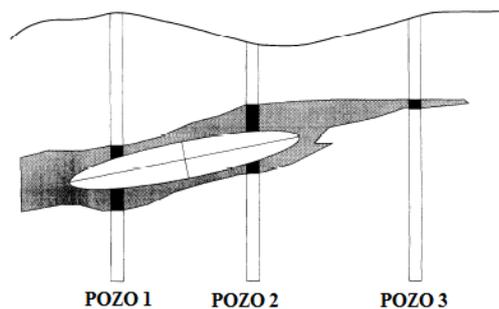
Según Noble (1992) los métodos de interpolación inverso a la distancia y *kriging* son los más utilizados para estimación de recursos asistida por computadora. El procedimiento básico para ambos métodos es:

1. Dividir el cuerpo mineral en una matriz de bloques rectangulares.
2. Asignar un código a cada bloque si un control geológico esta presente, y controla el valor calculado.
3. Estimar el valor de cada bloque mediante la búsqueda de los valores de las muestras vecinas computando la media ponderada de esas muestras. La media ponderada es computada utilizando la siguiente ecuación:

$$g^* = \sum w_i g_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

donde  $g^*$  es el valor estimado,  $g_i$  es el valor de la muestra  $i$ ,  $w_i$  es el peso o ponderación dado a la muestra  $i$ , y  $n$  es el número de muestras seleccionadas.

La selección de muestras se puede realizar utilizando un elipsoide de búsqueda. La orientación del mismo debe aproximarse a la estructura estudiada (Figura VII.46). Los ejes del elipsoide de búsqueda deben orientarse paralelamente al trend de mineralización.



**Figura VII.46:** Elipsoide de búsqueda concordante con estructura geológica.

En este trabajo utilizamos el método inverso a la distancia el cual está basado en que el peso o ponderación de cada muestra ( $i$ ), es proporcional a la potencia inversa de la distancia desde la posición de la estimación hasta la muestra. La estimación mediante inverso a la distancia sería la media ponderada de ponderaciones individuales computadas como la potencia inversa de la distancia:

$$w_i = \frac{d_i^{-\text{power}}}{\sum d_i^{-\text{power}}} \quad i = 1 \dots \text{number of samples}$$

donde  $w_i$  la ponderación computada para cada muestra  $i$ , cada  $d_i$  es la distancia entre la zona a ser estimada y la muestra  $i$ , y  $\text{power}$  es la potencia ponderada del inverso a la distancia.

### VII.3.2.1. Definición del elipsoide de búsqueda

Como ya mencionamos el elipsoide de búsqueda debe representar la geometría del cuerpo mineralizado a ser estudiado. En este sentido los ejes del elipsoide van a reflejar las actitudes obtenidas del análisis estructural de las venas de cuarzo (Figura VII.47).

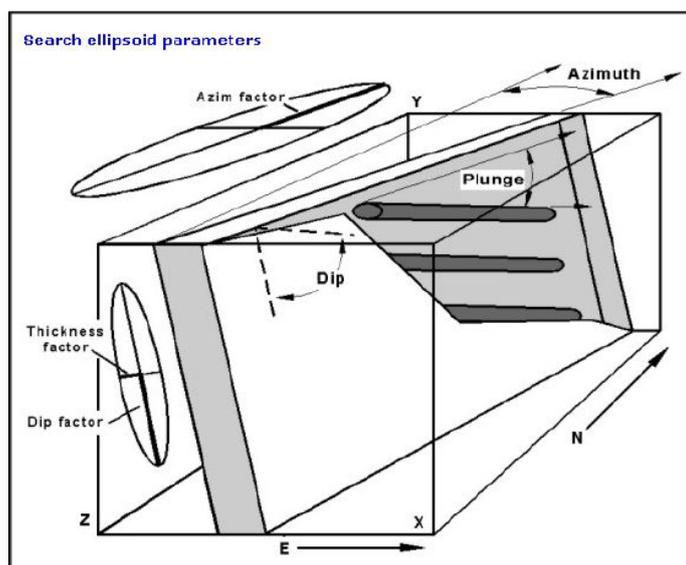


Figura VII.47: Esquema ilustrando los ejes de un elipsoide. Micromine Training Manual (2009).

Según el análisis estructural el plano principal de venas de cuarzo tiene un rumbo (*azimuth* o *strike* para estructuras sin *plunge*) de N331° y un buzamiento (*Dip*) de 45° al NE. Si bien es posible la presencia de una inmersión en los lentes de cuarzo, aún no tenemos pruebas suficientes como para corroborarlo. En ese sentido no utilizaremos este parámetro para la definición de nuestro elipsoide de búsqueda. Los parámetros definidos para el elipsoide de búsqueda fueron los siguientes:

- *Strike*\_331°
- *Dip*\_45°
- *Plunge*\_0°

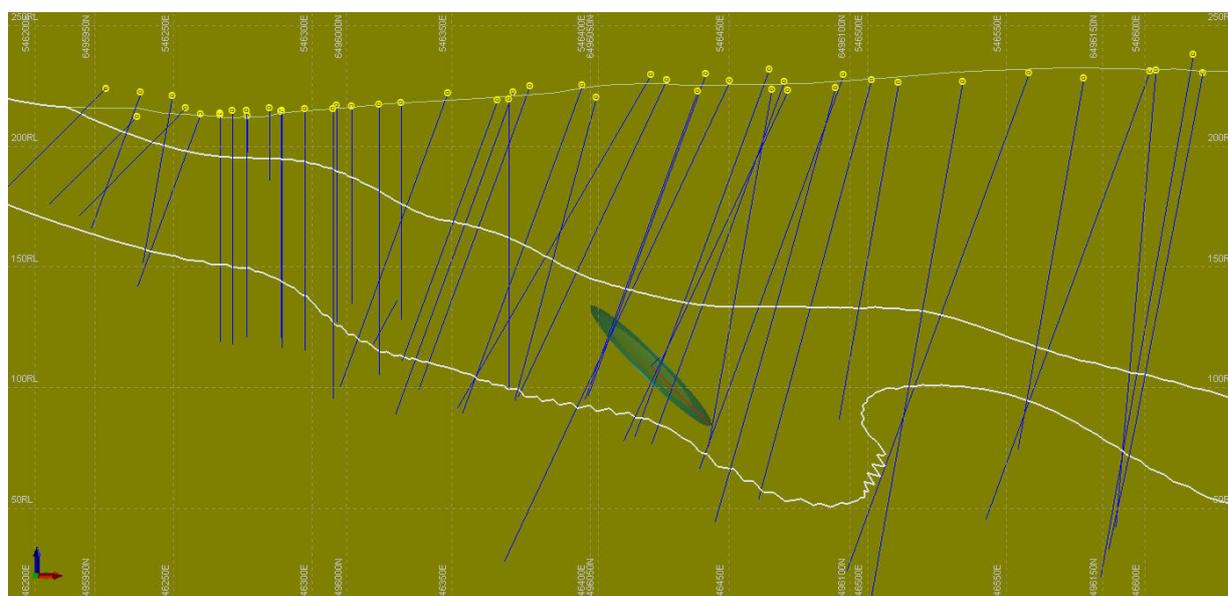


Figura VII.48: Elipsoide de búsqueda utilizado.

### VII.3.3. Resultados del Modelo Predictivo

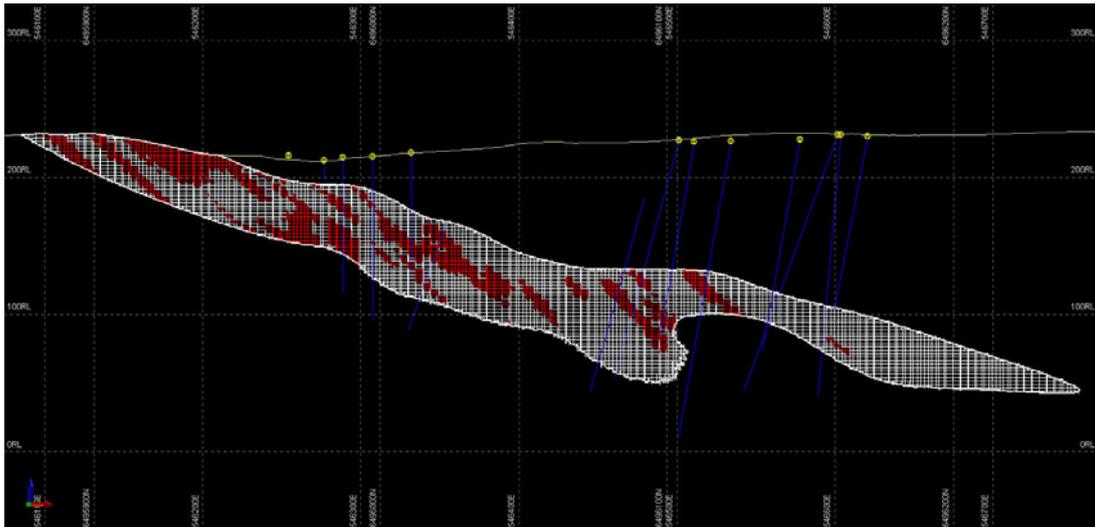


Figura VII.49: Resultado del modelo predictivo para el dominio Geológico de lentes de cuarzo.

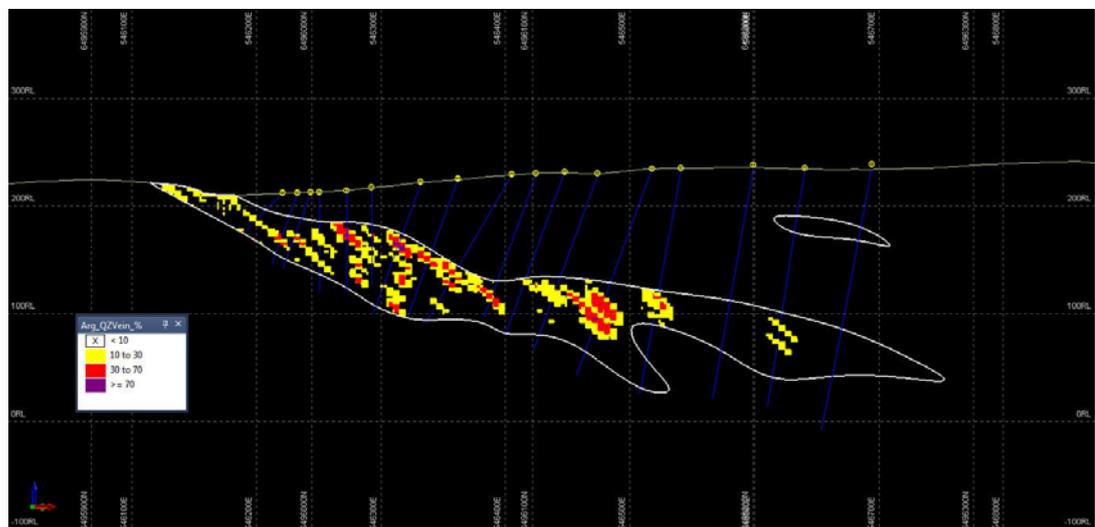


Figura VII.50: Porcentajes de cuarzo estimados según el modelo predictivo, amarillo 10-30%, rojo 30-70% y violeta 70-100%.

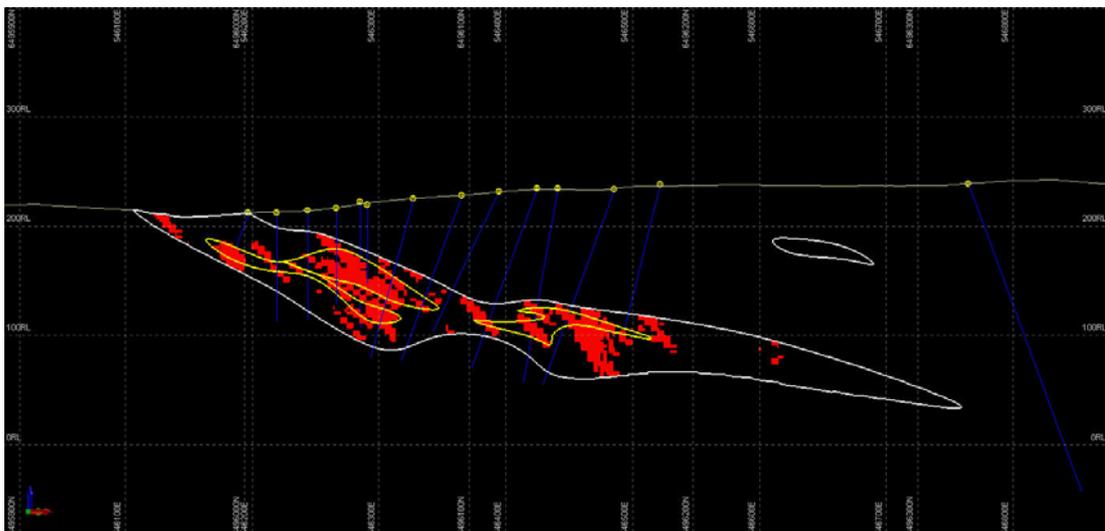
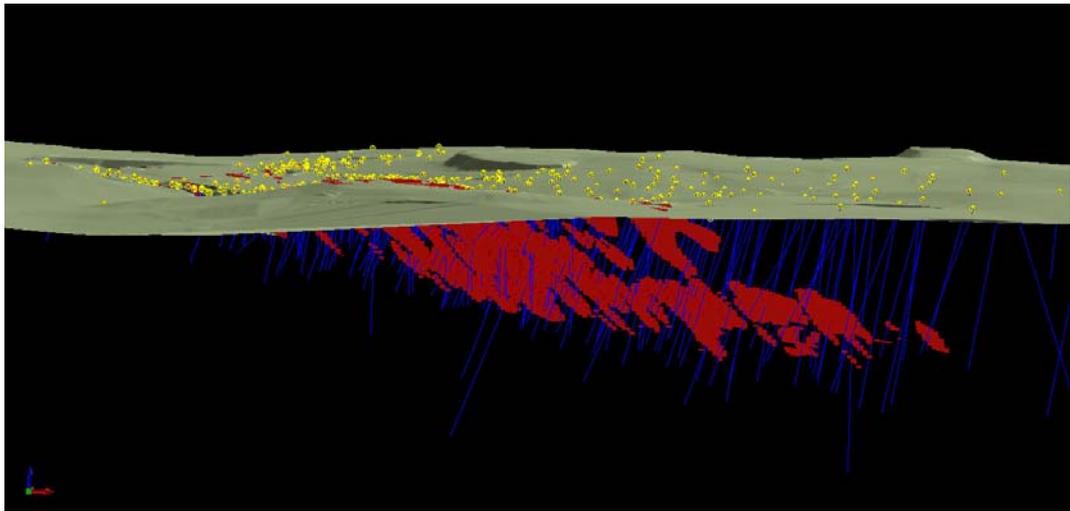
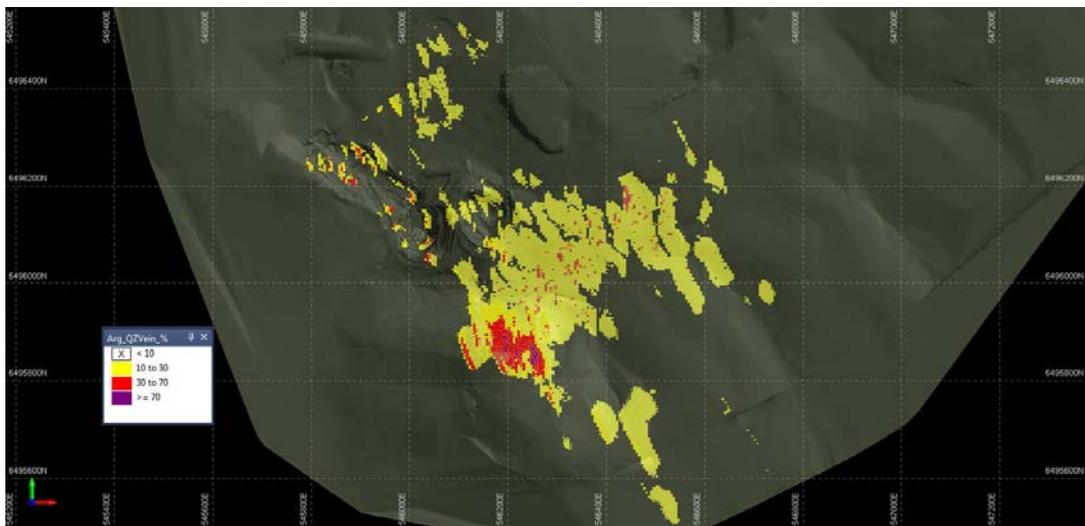


Figura VII.51: Modelo Geométrico versus Modelo Predictivo del Dominio Geológico de Lentes de Cuarzo.



*Figura VII.52: Vista isométrica del modelo predictivo.*



*Figura VII.53: Distribución en planta de Modelo Predictivo.*

## CAPITULO VIII

### DISCUSION Y CONCLUSIONES

Según los datos obtenidos podemos concluir que en la zona de estudio se reconocen tres unidades geológicas principales que componen la roca caja del yacimiento. Las mismas a modo de simplificar fueron denominadas, rocas félsicas, rocas intermedias y rocas máficas. Se pueden correlacionar por su distribución y características con litologías mencionadas anteriormente por otros autores, por ejemplo:

- Rocas félsicas: leucogranito gnésico de grano medio color crema (Holcombe 2007), ortogneis sienogranítico (Cazaux 2009) y gneis leucogranítico (Vidal 2009).
- Rocas intermedias: granito potásico augen gneisico porfirítico, “Granito Zapucay” (Holcombe 2007).
- Rocas máficas: granulitas máficas de Cazaux (2009) y Vidal (2009), metadioritas o monzonitas de grano fino (Holcombe 2009).

El estudio petrográfico y calcográfico mostró que la secuencia félsica provendría de un protolito gnésico de alto grado y la máfica de roca máfica de alto grado metamórfico. Asimismo se pudo caracterizar un evento de hidrotermalismo débil. Por otra parte, el análisis de los datos geoquímicos permiten sugerir que la secuencia máfica no provendría de rocas ultramáficas.

Además de las unidades geológicas mencionadas anteriormente fueron reconocidas otras dos unidades geológicas denominadas Zona Deformada y Lentes de Cuarzo. La unidad geológica denominada zona Deformada corresponde a la zona de cizalla Zapucay, definida en este trabajo. Esta afecta a las tres unidades antes mencionadas cizallándolas y milonitizándolas. La unidad lentes de cuarzo posee una fuerte relación espacial y genética con esta zona de cizalla.

A partir de los datos estructurales analizados se pudo reconocer en el área cuatro eventos de deformación D1, D2, D3 y D4, que abarcan un período comprendido desde el Paleoproterozoico hasta posiblemente el Mesozoico.

Son varias las observaciones que se desprenden del análisis geofísico. La unidad geológica de rocas intermedias y máficas poseen un comportamiento estable con respecto a la susceptibilidad magnética, siempre que no sean afectadas por la zona de cizalla. Se obtuvieron valores de susceptibilidad magnética cercana al cero para las rocas intermedias y una susceptibilidad magnética positiva y mayor para las rocas máficas. A medida que entramos a la zona de cizalla la susceptibilidad magnética se vuelve más irregular con picos muy altos positivos y picos negativos que posiblemente esten controlados por más de una variable geológica presente. Además, la susceptibilidad magnética, muestra una diferencia entre la secuencia félsica y la secuencia máfica. Esto se podría deber al mayor contenido de minerales opacos entre ellos magnetita, ilmenita y sulfuros de la secuencia máfica frente a la félsica. Los cambios en la susceptibilidad magnética dentro de la zona de deformación podrían deberse a la transformación de la magnetita en limonita y la neoformación de magnetita debido a procesos hidrotermales.

De todo lo anterior, se sugiere que el yacimiento analizado es de tipo mesotermal. Para simplificar el proceso de modelamiento fueron definidas las unidades geológicas antes mencionadas, si bien en el análisis petrográfico fueron descriptos dos litotipos principales, uno félsico y uno máfico, en este análisis no fueron tenidas en cuenta las rocas félsicas ubicadas principalmente al Oeste del área de estudio formando parte del *footwall* de la zona de cizalla. Las rocas de origen félsico fueron incluidas dentro de la unidad geológica de rocas intermedias, a pesar que por definición son rocas félsicas, se trata de dos unidades geológicas diferentes (Figura VIII.1).

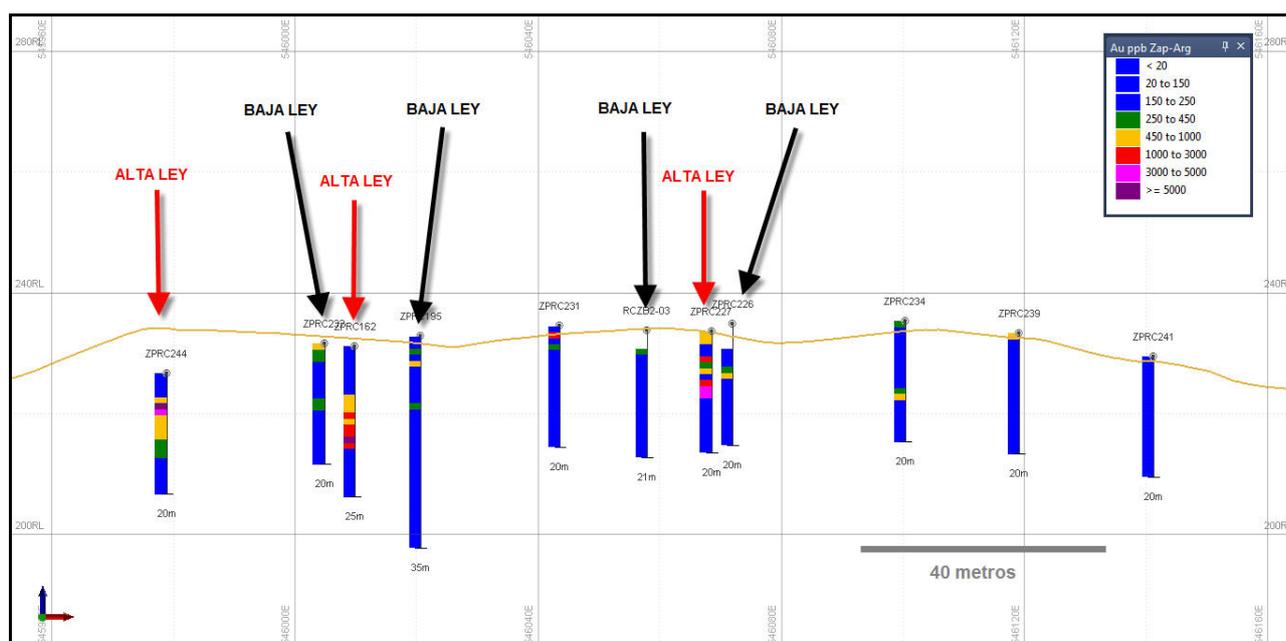
El modelo geológico obtenido consta de dos componentes principales, uno geométrico compuesto por sólidos o envolventes, y uno predictivo compuesto por bloques que representan una característica particular del yacimiento que puede ser contabilizada. En el caso particular del yacimiento de Argentinita el modelo predictivo representa en porcentaje la cantidad de cuarzo presente. Al analizar el resultado, comparando el modelo geométrico, específicamente el modelo de la unidad geológica lentes de cuarzo, con el modelo predictivo de porcentajes de cuarzo, encontramos algunas diferencias que son bastante relevantes.

Históricamente en los yacimientos pertenecientes al distrito minero de Zapucay las venas o lentes de cuarzo se han modelado intentando darles la mayor continuidad posible, de modo de extender los cuerpos mineralizados.



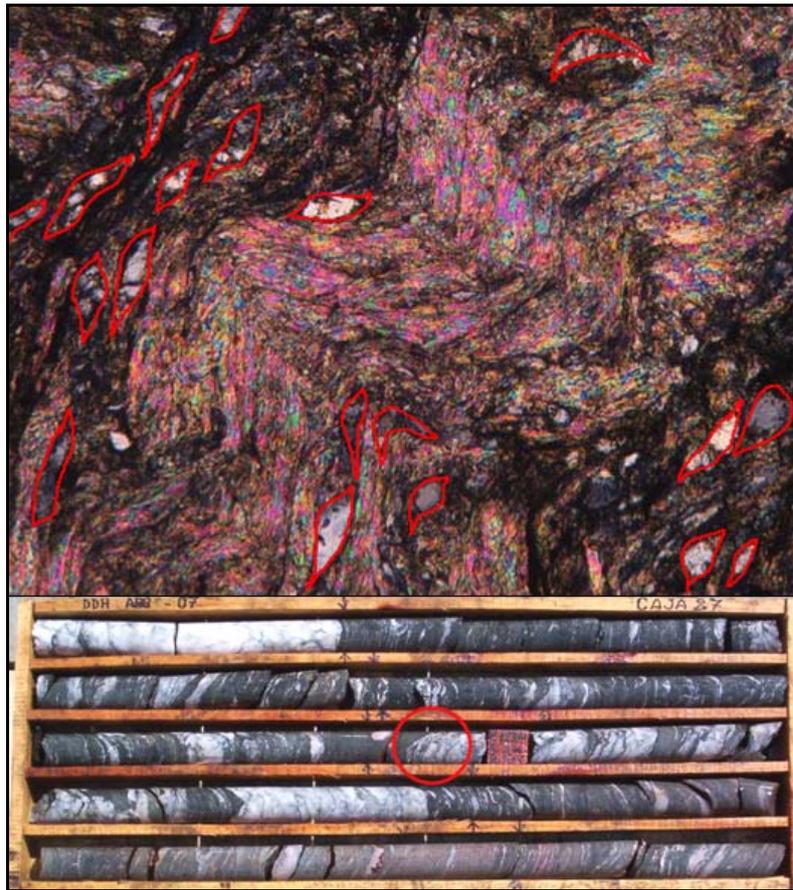
**Figura VIII.1:** Diferencia de aspecto entre la unidad geológica rocas félsicas (izquierda) y rocas intermedias (derecha).

Esta práctica es sustentada por el hecho de que la zona de cizalla que los contiene posee muy buena continuidad tanto a lo largo del rumbo como a lo largo del buzamiento. Utilizando este criterio fue como se confeccionó el modelo geométrico para la unidad geológica lentes de cuarzo, obteniendo buena continuidad sobre todo a lo largo del buzamiento (ver Figura VII.28). Posteriormente se propuso realizar un modelo predictivo para la misma unidad, por la razón que en el análisis estructural se observó que la unidad geológica lentes de cuarzo no compartía las mismas actitudes geológicas que la unidad geológica zona deformada, tomando en cuenta esta observación se corrió un modelo predictivo ingresando las actitudes geológicas, desprendidas del análisis estructural, como parámetros de predicción, obteniéndose así el modelo predictivo (ver Figura VII.49). Las diferencias entre el modelo geométrico y el predictivo fueron evidentes (ver Figura VII.51), pasamos de pocos lentes de cuarzo con gran continuidad a muchos lentes de cuarzo con poca continuidad pero que se ajustan a las medidas estructurales relevadas. A partir de este resultado iniciamos la búsqueda de pruebas factibles que reflejen lo obtenido por el modelo predictivo. Una de las pruebas de que la continuidad de los cuerpos no era tal está en la continuidad de la mineralización. Una de las características más notorias de la mineralización en el distrito de Zapucay, y asociada a la zona de cizalla Zapucay, es la variabilidad de leyes de oro a corta distancia, encontrándose intervalos importantes de mineralización junto a intervalos muy débiles de la misma (Figura VIII.2).



**Figura VIII.2:** Ejemplo de variabilidad en la mineralización dentro de la zona de cizalla Zapucay (cantera Zapucay Sur).

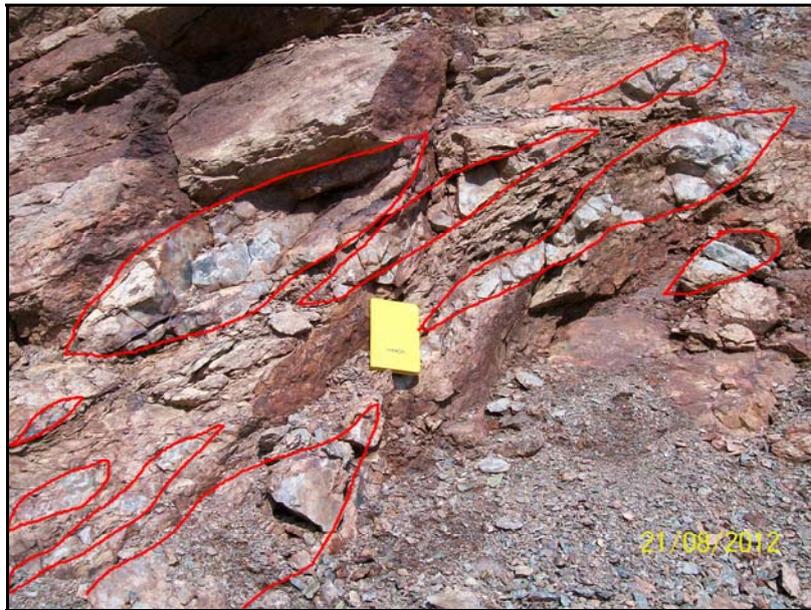
Otra evidencia resulta de la observación de la disposición de los lentes de cuarzo a diferentes escalas, desde escala microscópica a escala de cantera (Figuras VIII.3, VIII.4 y VIII.5).



**Figura VIII.3:** En rojo arriba cristales lentiformes de cuarzo desarrollados en roca máfica cizallada, imagen microscópica con luz polarizada plana, ancho de la imágenes 1.8 mm. En rojo abajo sector del sondaje de donde se extrajo la muestra analizada (proyecto Argentinita).

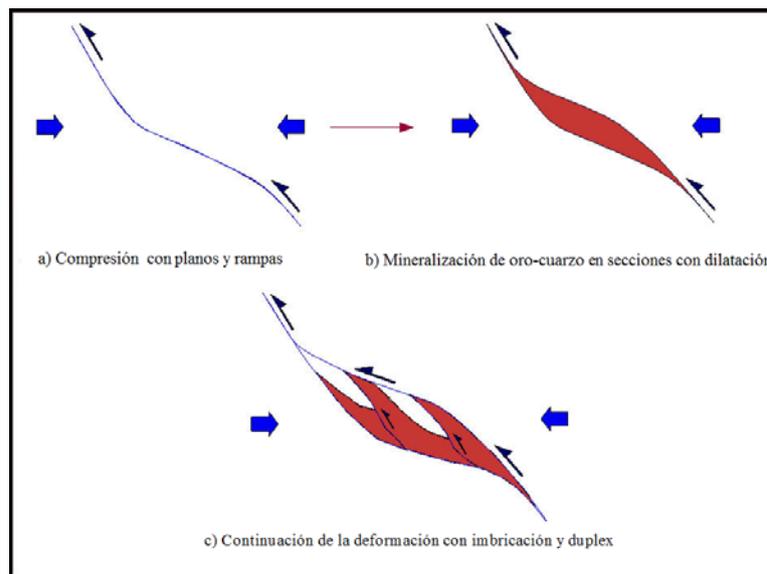


**Figura VIII.4:** Distribución de lentes de cuarzo en sondaje realizado en la Zona de Cizalla Zapucay (Cantera Knob Hill).



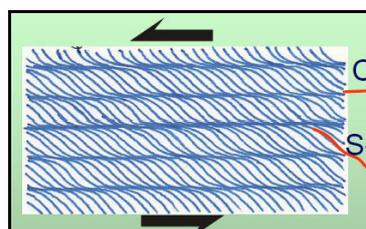
**Figura VIII.5:** En rojo distribución de lentes de cuarzo a escala cantera (cantera Argentinita Sur).

Para explicar la distribución de los lentes de cuarzo dentro del yacimiento, podríamos mencionar la presencia de un plano de cabalgamiento con rampas y planos como se ve en la Figura VIII.6, que generó las inflexiones suficientes para producir zonas de dilatación por donde circuló y depositó el cuarzo en forma de lentes. La evolución de este plano de cabalgamiento generó imbricación y formación de estructuras de tipo *duplex*.

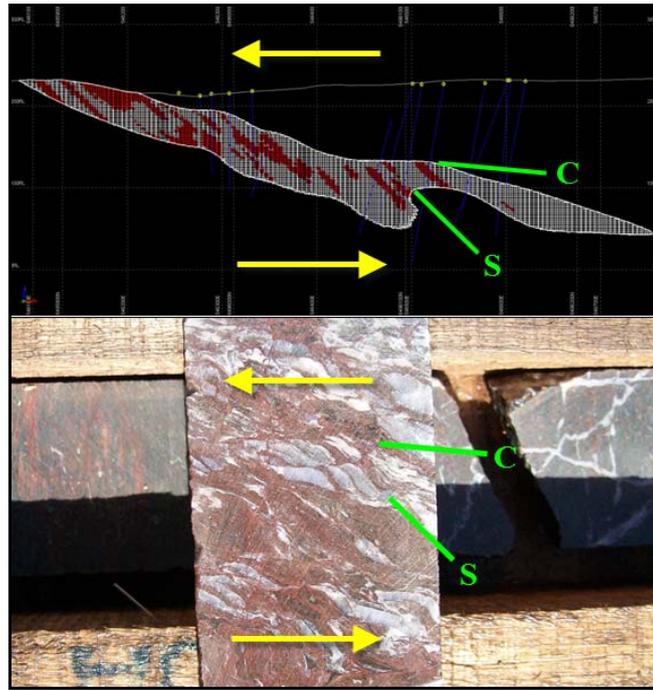


**Figura VIII.6:** Explicación de la génesis de lentes de cuarzo en el yacimiento Argentinita (Modificado de Starling 2008).

La evolución de este plano de cabalgamiento podría haber generado la zona de cizalla Zapucay, y la evolución de la misma generó la disposición actual de los lentes de cuarzo posicionándolos paralelos a los planos tipo S (esquistosidad), (Figura VIII.7). Estos procesos se podrían haber desarrollado durante el evento de deformación D2 en las fases F1 y F2 (Ver Capítulo V.2).



**Figura VIII.7:** Planos S-C (esquistosidad y cizallamiento).



**Figura VIII.8:** Disposición de los lentes de cuarzo dentro de la zona de cizalla a escala de depósito y de muestra de mano. Todas estas observaciones concuerdan con que el modelo predictivo posiblemente esté reflejando la realidad de la distribución del cuarzo en el yacimiento, lo cual aporta una nueva opción al momento de seguir con la etapa relativa a la estimación de Recursos Minerales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, F.F.M., Amaral, G., Cordani, U.G. & Kawashita, K., (1973). *The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River*. In: Nairn, A.E.M., Stehli, E.G. (Eds.), *The Ocean Basin and Margins*. Plenum Publishers, pp. 411–446.
- Almolda, X., (2007). *Integración de la Información Geológica 3D en Modelos Hidrogeológicos*. Modelos Hidrogeológicos 3D. Curso Universidad Politécnica de Catalunya.
- Aronoff, S., (1991). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. In: WDL Publications, Ottawa, 2°, 294 pp.
- Ash, C. & Alldick, D., (1996). *Au-quartz Veins, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profile*. In: Volume 2 – Metallic Deposits, Lefebvre, D.V. & Høy, T., Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File 1996-13, 53-56pp.
- Aznar, A. & Cabanelas, J.C., (2009). *Materias Primas*. Curso, Universidad Carlos III de Madrid. 10pp.
- Baker, M., (2006). *Airphoto Interpretation of Isla Cristalina, Uruguay – Final Report*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Bartlett, D., Bilki F., Haffenden, M. & Szolkowski, T. (2009). *MICROMINE Version 11.0 Training*. Micromine Pty Ltd and its subsidiaries.
- Basei, M., Siga, O., Masquelin, H., Harara, O., Neto, J. & Preciozzi, F., (2000). *The Dom Feliciano Belt of Brasil and Uruguay and Its Foreland Domain, the Rio de la Plata Craton*. In: *Tectonic Evolution of South America*. Río de Janeiro. 311-334pp.
- Basei, M.A.S., Frimmel, H.E., Nutman, A.P., Preciozzi, F., Jacob, J. (2005). *A connection between the Neo- proterozoic Dom Feliciano (Brazil-Uruguay) and Gariep (Namibia-South Africa) orogenic belts- evidence from a reconnaissance provenance study*. In: *Precambrian Research*, 139, 195-221pp.
- Bergalli, L., (2006). *Argentinita Geological Abstract*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Bossi, J., (1978). *Recursos Minerales del Uruguay*. Ed. Aljanati. Montevideo. Uruguay.
- Bossi, J. & Navarro, R., (1988). *Geología del Uruguay*. In: Tomo I. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, 453pp.
- Bossi, J. & Campal, N., (1992). *Magmatismo y tectónica transcurrente durante el Proterozoico Inferior en Uruguay*. In: Gutierrez-Marco, J. G., Saavedra, J. & Rabano, I. (Eds.): *Paleozoico Inferior de Iberoamérica*, Univ. Extremadura, 343-356pp.
- Bossi, J., (1966). *Geología del Uruguay*. Depto. Publicaciones Universitarias. Col. Ciencias No. 2, Montevideo, Uruguay. 1 - 460 pp.
- Bossi, J. & Navarro, R., (2000). *Recursos Minerales del Uruguay*. Ediciones Rojobona, vers. CD.
- Bossi, J. & Ferrando, L., (2001). *Carta Geológica del Uruguay a Escala 1:500.000*. (Versión Digital). Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.
- Caorsi, J. & Goñi, J., (1958). *Geología Uruguaya*. Instituto Geológico del Uruguay. Boletín N°37. Montevideo.
- Cazaux, S., (2009). *Geología, petrología y análisis estructural de la zona de Curtume—zona centro de la Isla Cristalina de Rivera*. Tesis de grado, Universidad de la República, Montevideo.
- Charro, C. & Valencia, V., (2007). *Modelamiento tridimensional de la historia geológica del Volcán Cotopaxi*. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional. Escuela de Ingeniería. Quito, 149pp.
- Century Systems Technologies, (2009). *Funcionamiento de Fusion para OMI*. Curso de capacitación interno.
- Cohen, B., Vasconcelos, P. & Thiede, D., (2009). *Ar-Ar results Isla Cristalina*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Collins, P., (1993). *Geology 305, Economic Geology – Ores*. In: *Lecture Guides*. Curtin University of Technology. School of Applied geology.

- Cordani, U. & Soliani, Jr. E., (1990). *Idades K-Ar e Rb-Sr das ilhas cristalinas de Rivera e Aceguá (Uruguay e Rio Grande do Sul, Brasil) e seu enquadramento no contexto tectónico regional*. In: An. Acad. Bras. Cien., Vol 62 (2), 145-156pp.
- Dalla Salda, L.H., (1999). *Cratón del Río de la Plata: 1. Basamento granítico-metamórfico de Tandilia y Martín García*. In: Geología Argentina. Inst. Geol. Rec. Min. CIG-UnLP. Anales, 29(4), 97-106pp.
- DIGHEM – CGG Canadá Ltd., (1996). *Radimetría Aeroportada*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Eimer M., (2010). *Abstracto of the Diploma Tesis*.
- Eilu, P., Mathison, C., Groves, D. & Allardyce, W., (1999). *Atlas of Alteration Assemblages, Styles and Zoning in Orogenic Lode-Gold Deposits in a Variety of Host Rock and Metamorphic Settings*. In: Geology and Geophysics Department (Centre for Strategic Mineral Deposits) & UWA Extension. The University of Western Australia Publication No. 30, 64pp.
- 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, 196pp.
- Erickson Jr, A., (1992). *Geologic Interpretation, Modeling and Representation*. In: Mining Engineering Handbook. Chapter 5.5, 333-343pp.
- Ferrando, L. & Fernández, A., (1971). *Esquema tectónico cronoestratigráfico del Predevoniano en el Uruguay*. In: Anais XXV Congresso Brasileiro de Geología. Sao Pablo, Brasil, 199-210pp.
- Glendora S. A., (1990). *Informe Geológico Final*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I. & Gardoll, S. (2000). *Orogenic gold and geologic time: a global synthesis*. In: Ore Geology Reviews 18 (2001) 1-75pp.
- Hartmann, L. A., (1998). *Deepest Exposed Crust of Brazil-Geochemistry of Paleoproterozoic Depleted Santa Maria Chico Granulites*. In: Gondwana Research, Vol. 1, Nos. 3/4: 331-341pp.
- Hodgson, C.J., (1993). *Mesothermal lode-gold deposits*. In: Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. Eds., Mineral Deposit Modeling. Geol. Assoc. Can., Spec. Pap., 40, 635-678pp.
- Holcombe, R., (2006, 2007, 2009). *Minas de Corrales, Isla Cristalina Structural Appraisal*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Holcombe R., (2008). *Fundamentals of Mapping for Exploration and Mining*. Consultant in Structural Geology & Exploration. Documento no publicado, 88pp.
- Kessler, H., Mathers, S., Lelliott, M., Hughes, A. & Macdonald, D., (2007). *Rigorous 3D geological models as the basis for groundwater modelling*. In: Annual meeting Geological Society of America, Colorado, USA, 27 Oct 2007. Denver, Colorado, USA, Illinois State Geological Survey.
- Lindqvist, W., (2004). *Review of Uruguay Mineral Exploration Inc.. Resource Estimation for the Minas de Corrales Gold Project in northern Uruguay*. OMI. Reporte interno publicado en comunicado de prensa.
- Lisle, R. & Leyshon, P., (2004). *Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers, 2<sup>e</sup> éd.* Cambridge University Press, Cambridge, 112 pp.
- Lopresti, R., (2007). *Recursos naturales, régimen argentino y comparado*. Ediciones Unilat Buenos Aires 978-987-96049-7-7.
- Mac Millan, J.G., (1931). *Regiones mineras de Cuñapirú, Corrales, Zapucay y Curtume*. Instituto de Geología y Perforaciones. Montevideo, Uruguay. Boletín n° 14, 43pp.
- Micromine, <http://es.micromine.com>
- Martyn, J., (2000). *Appraisal of the geology and mineral potential of the Minas de Corrales area*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Masquelin, H. C., (1993). *Petrografía e feições estruturais dos granulitos da Ilha Cristalina de Rivera, Uruguay*. In: V Simpósio Sul-brasileiro de Geologia – Bol. Resumos. Curitiba, 41-42pp.
- Masquelin, H., (2006). *El Escudo uruguayo*. In: Veroslavsky, Ubilla, y Martinez, Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Paleozoico; 37-106pp; Ed. Dirac.

- Noble, A., (1992). *Ore Reserve/Resource Estimation*. In: *Mininf Engineering Handbook*. Chapter 5.6, 344- 359pp.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S. & Wemmer, K., (2011). *The Ri' o de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature*. In: *Int J Earth Sci* 100:201–220.
- Oyhantçabal, P., 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 Terrane, Uruguay)*. In: *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*. Vol 101, 1745-1762pp.
- Panario, D., (1988). *Geomorfología del Uruguay, Propuesta de un marco estructural y un esquema de evolución del modelado del relieve uruguayo*. Departamento Publicaciones - Facultad de Humanidades y Ciencias, UdelaR, Montevideo. 32 p.
- Passchier, C. W., & Trouw, R. A. J., (2005). *Microtectonics*. In: (2nd rev. and enl. ed.). Berlin [etc.]: Springer, 366pp.
- Pattison, D. R. M., Chacko, T., Farquhar, J. & Mcfarlane, C. R. M., (2003). *Temperatures of Granulite-facies Metamorphism: Constraints from Experimental Phase Equilibria and Thermobarometry Corrected for Retrograde Exchange*. In: *Journal of Petrology* 44: 867-900pp.
- Preciozzi, F., Spoturno, J. & Heinzen, W., (1979). *Carta geoestructural del Uruguay*. Instituto Geológico Ing. E. Terra. Montevideo, Uruguay.
- Preciozzi, F., Spoturno, J.J., Heinzen, W. & Rossi, P., (1985). *Memoria Explicativa y Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000*. DI.NA.MI.GE. - Uruguay, 90pp.
- Quadros, T. F. P. & Koppe, J. C., (1995). *Alteração hidrotermal e mineralização do depósito aurífero da Mina San Gregório, Uruguai*. In: *Anais do V Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*, Vol. 1, Niterói, RJ, 6pp.
- Quadros, T. F. P., (1995). *Geologia e gênese do depósito aurífero da Mina San Gregório*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 196pp.
- Quadros, T. F. P., (2000). *Integração de Dados em ambiente SIG para Mapeamento de Favorabilidade Mineral de Ouro na Ilha Cristalina de Rivera (Uruguai)*. Dissertação de Doutorado em Engenharia. Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 259pp.
- Ristorcelli, S. & Ronning, P., (2007). *Resource Estimates for Veta A, Veta Sur, Argentinita and Crucera Gold Deposits, Departments of Rivera and Florida, Uruguay*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Saalmann, K., Hartmann, L.A., Remus, MVD., Koester, E., Conceição, RV., (2005). *Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcanosedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton*. In: *Precambr Res* 136:159–175.
- Sadek, J., (2009). *Arenal, Castrillón and Santa Teresa Resource Estimation, Minas de Corrales, Uruguay*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Sánchez Bettucci, L., Peel, E., Oyhantçabal, P., (2010). *Precambrian geotectonic units of the Rio de La Plata craton*. In: *Int Geol Rev* 52:32–50pp.
- Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Bossi, J., Campal, N., Shipilov, A., Piñeyro, D. & Mac, Naughton N.J., (2003). *Duration of the Transamazonian and its correlation within South America base don U-Pb SHRIMP geochronology of the La Plata Craton, Uruguay*. In: *International Geology Review*. Vol. 45, 27-48pp.
- Servicio Geográfico Militar (1969). Hojas G11 (Amarillo) y G12 (Las Flores). Escala 1:50000.
- Siegel, F. R., (1979). *Review of research on modern problems in geochemistry*. International Association for Geochemistry and Cosmochemistry. Unesco, 290pp.
- Sinclair, A. & Blackwell, G., (2002). *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge University Press. 401pp.
- Soliani, Jr. E., (1986). *Os dados geocronologicos do escudo sul-rio-grandense e suas implicações de orden geotectónica*. Tese de Doutoramento, Curso de Pós-Graduação em Geociencias. Inst. Geociencias Universidade São Paulo, Brasil, 287pp.
- Starling, T., (2008). *Structural Review of the San Gregorio Deposits, Rivera, Uruguay*. OMI. Reporte interno no publicado.

- Thiede, D. & Vasconcelos, P., (2008). *Ar-Ar results Isla Cristalina*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Tomás, R., Cuenca, A., Delgado, J. & Doménech, C., (2004). *Diseño de un Modelo Geológico-Geotécnico 3D de la Vega Baja del Río Segura (Alicante, SE España)*. XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.
- Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H., (1961). *Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust*. In: Geological Society of America, Bulletin 72: 175-192pp.
- Turner, A.K., [Editor], (1991). *Three-dimensional Modeling with Geoscientific Information Systems*. In: NATO ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences, v. 354, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 443pp.
- Turner, A.K., (2000). *Geoscientific Modeling: Past, Present and Future*. In: Geographic Information Systems in Petroleum Exploration and Development [T.C. Coburn and J.M. Yarus, Editors], AAPG Computer Applications in Geology, Vol. 4, American Association Petroleum Geologists, 27-36pp.
- Turner, A.K., (2006). *Challenges and Trends for Geological Modelling and Visualisation*. In: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 65, Number 2, May 2006, 109-127pp.
- Turner, A.K. & Gable, C.W., (2007). *Three-Dimensional Geologic Mapping for Groundwater Application*. Short Course 503. 2007 Earth Sciences for Society, Colorado.
- Vidal, H., (2009). *Estudio geológico-estructural del área de Cerro Papagayo, Isla Cristalina de Rivera- Uruguay*. Tesis de Grado, Universidad de la República, Montevideo.
- Woodall, R., (1979). *Gold - Australia and the World*. In: Glover, J. E. & Groves, D. I. (Hrsg.), Gold Mineralization, 1-34pp, Geology Department and Extension Service, Univ. Western Australia, Nedlands.