

**Universidad de Guanajuato**  
**Campus Guanajuato: División de Ingenierías**  
**Departamento de Ingeniería en Minas Metalurgia y Geología**

---

---

**“Levantamiento Geológico de la Porción Oriental del Depósito Cerro del Gallo, San Antón de las Minas, Guanajuato.”**

**Trabajo de ejercicio profesional que para obtener el Título Profesional de:**  
**INGENIERO GEÓLOGO**

**Presenta:**

**Eric Daniel Frías Torres**

**Guanajuato, Gto., Enero de 2018.**

## **Hoja de Aprobación del Trabajo de Tesis**

## **Dedicatorias**

A mis padres primero que nada, por su apoyo incondicional, por el simple hecho de haberme dado la vida, y porque sin ellos el largo camino que recorrí no hubiera sido posible.

A mis hermanas quienes fueron la motivación y la alegría que necesite para llegar hasta aquí.

A mi familia en general.

A mis profesores de quienes aprendí lo mejor y quienes me brindaron las mejores herramientas para enfrentarme al mundo laboral.

A mis compañeros de clase y sin duda alguna a mis amigos quienes fueron parte importante de este logro.

## **Agradecimientos y Reconocimientos**

Agradezco infinitamente a mis asesores de Tesis el ingeniero Rafael Puente Solís y el ingeniero Juan José Martínez Reyes quienes me brindaron todo el apoyo y dedicación cuando realizaba este trabajo profesional.

Agradezco a la empresa Primero Mining Corp por el apoyo tan importante que me brindo, en especial a la ingeniero Claudia Elena Olvera Prado, la licenciada Celia Badillo Botello, el licenciado José Andrés Quintero el ingeniero Nicolás Landón, el ingeniero Aldo Crino y la licenciada Reyna. Agradezco también al personal del proyecto Cerro del Gallo con quienes trabaje y quienes me brindaron su tiempo para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a la M.I.E. Elia Mónica Morlés Zárate, al Dr. Juventino Martínez Reyes y al M. en C Federico Vogel González por participar como sinodales de este trabajo profesional.

Agradezco en general al personal docente y al personal administrativo del Departamento de Minas, Metalurgia y Geología de la Universidad de Guanajuato.

# Contenido

	Página
1 GENERALIDADES.....	12
1.1 Localización y Vías de acceso.....	12
1.2 Clima y Vegetación.....	15
1.3 Fisiografía.....	17
1.3.1 Hidrología.....	18
1.3.2 Geohidrología.....	18
1.4 Población y Economía.....	19
1.5 Historia.....	21
1.6 Método de Trabajo.....	23
1.6.1 Análisis Fotoaereo.....	23
1.6.2 Levantamiento Geológico.....	24
1.6.3 Base de Datos.....	25
1.6.4 Digitalización.....	25
2 GEOLOGÍA.....	26
2.1 Geología Regional.....	26
2.2 Geología Local.....	30
2.3 Geología del Área de Estudio.....	31
2.3.1 Litología.....	32
2.3.2 Alteraciones.....	44
2.3.3 Geología Estructural.....	48
3 GEOQUÍMICA.....	52
3.1 Anomalías Químicas.....	52
4 BARRENACIÓN.....	56
5 RESULTADOS.....	58
6 DISCUSIÓN.....	61
6.1 Mineralización Diseminada.....	61
6.2 Otros Depósitos.....	62
6.2.1 Depósitos VMS.....	62
6.2.3 Depósitos tipo Skarn.....	62

6.3 Condenación del área de Estudio.....	63
7 CONCLUSIONES.....	64
8 RECOMENDACIONES.....	65
ANEXOS.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	

## FIGURAS

	Página
Figura 1. Cerro del Gallo.....	6
Figura 2. Vegetación San Antón de las Minas.....	16
Figura 3. San Antón de las Minas.....	20
Figura 4. Lutitas negras.....	34
Figura 5. Areniscas.....	35
Figura 6. Tobas.....	36
Figura 7. Calizas.....	37
Figura 8. Cuarzomonzonita.....	38
Figura 9. Dique de cuarzomonzonita.....	40
Figura 10. Contacto entre filitas y riolitas.....	41
Figura 11. Filitas.....	42
Figura 12. Cuarcitas.....	43
Figura 13. Alteración argílica.....	45
Figura 14. Alteración potásica.....	46
Figura 15. Silicificación pervasiva.....	47
Figura 16. Sistema de fracturas.....	49
Figura 17. Pliegues en areniscas.....	50
Figura 18. Cuerpos intrusivos.....	51
Figura 19. Barreno de circulación inversa.....	57
Figura 20. Brecha hidrotermal.....	59
Figura 21. Proyecto de tepetateras y presas de lixiviación.....	75

## FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización de San Antón de las Minas.....	13
Figura 2. Vías de acceso a San Antón de las Minas.....	14
Figura 3. Valores de Au en muestreo de suelos.....	53
Figura 4. Valores de Ag en muestreo de suelos.....	54
Figura 5. Valores de Cu en muestreo de suelos.....	55
Figura 6. Geología del área de estudio.....	60
Figura 7. Barrenos y líneas de sección.....	66

## SECCIONES

Sección 1046 Muestra los barrenos SA13-358 y SA13-405.....	67
Sección 1045 Muestra los barrenos SA-401 y SA13-358.....	68
Sección 1044 Muestra los barrenos SA13-406.....	69
Sección 1043 Muestra los barrenos SA13-404 y SA13-162.....	70
Sección 1042 Muestra los barrenos SA13-315, SA13-162, SA13-190, SA13-193 y SA13-192, .....	71
Sección 1041 Muestra los barrenos SA13-162, SA13-315, SA13-190, SA13-192 y SA13-193.....	72
Sección 1040. Muestra los barrenos SA13-357.....	73
Sección 1039. Muestra los barrenos SA13-296, SA13-403 y SA14-402.....	74

## TABLAS

Tabla 1. Total de barrenos perforados en el área de estudio.....	56
--	----



## **Introducción**

México es un importante productor de minerales, se destaca en la extracción de metales preciosos ocupando primeros lugares a nivel mundial. Su producción en minerales no metálicos también es importante, la exploración se ha intensificado debido al incremento de los precios de los minerales. Es por ello que empresas mineras deciden apostar a la exploración en México.

En el estado de Guanajuato a lo largo de los años la minería ha jugado un papel importante en el crecimiento y desarrollo económico, fue tan importante este rublo que hizo a Guanajuato ser reconocido mundialmente como uno de los mejores productores de plata hace algunos años.

La empresa Primero Mining Corp se dedica a la explotación y exploración de metales de oro y plata, por tales motivos se interesó en los fundos mineros de Guanajuato. En especial al norte del distrito minero de Guanajuato, donde se encuentra el fundo de San Antón de las Minas.

El distrito minero de San Antón es conocido por tener una gran variedad de yacimientos minerales, entre ellos vetas epitermales de metales preciosos, y de la mineralización diseminada tipo pórfido de Cu y Au del Cerro del Gallo. El área de mayor interés son las reservas que se caracterizan por grandes volúmenes y ley baja de Cu, Au y Ag. La finalidad del presente estudio geológico es verificar que en el área destinada a la infraestructura de la planta para la futura apertura de la mina no presenta mineralización alguna.

## Objetivos

### Objetivos Generales:

Interpretar la geología de la parte oriental del depósito Cerro del Gallo, para identificar si el depósito CDG se extiende o no sobre el área de estudio, o si existe otro tipo de mineralización que pueda ser económicamente extraíble.

Realizar un estudio geológico para descartar las zonas mineralizadas y a su vez que sirva para la construcción de tepetateras y presas de lixiviación.

Contribuir en parte con el trabajo de planeación, en la construcción de la infraestructura para la apertura de la mina.

Correlacionar la geología con los barrenos a diamante verticales disponibles y por medio de secciones geológicas interpretar la estratigrafía del lugar asegurando la ausencia de cuerpos mineralizados u otro tipo de depósitos.

## Resumen

Se efectuó un levantamiento geológico a detalle (1:1 500) en la porción oriental del Cerro del Gallo (Figura 1) en la comunidad de San Antón de las Minas municipio de Dolores Hidalgo C.I.N en el estado de Guanajuato con el propósito de condonar el área y utilizarla como tepetateras y planillas de lixiviación una vez iniciada la operación de la mina. Aproximadamente se cartografiaron 190 hectáreas en un periodo de 8 semanas. Con los datos recabados en campo y con información proporcionada por la empresa Primero Mining Corp se realizaron mapas de interpretación geológica, un análisis sobre la geoquímica del sitio, y secciones geológicas con base en barrenos perforados por Primero Mining y compañías anteriormente dueñas del proyecto.

Se realizó una descripción detallada de las rocas que afloran en el sitio, así como de las estructuras y alteraciones encontradas, se interpretaron los posibles eventos geológicos y se propusieron hipótesis acerca de la continuidad de la mineralización.

Se hicieron recomendaciones para la designación del área como tepetateras y planillas de lixiviación basadas en lo observado en campo y en los resultados de la barrenación.



Figura 1. Cerro del Gallo, principal área mineralizada.

## **Estudios Previos y Actuales**

Son pocos los trabajos que hablan sobre San Antón de las Minas, solo existen reportes internos de las compañías Kings Minerals (que cambió su nombre a Cerro Resources) (2004-2012) y actualmente Primero Mining (2013-actual) que describen la geología del lugar y proponen ideas para entender el depósito mineral del Cerro del Gallo. Ambas compañías trabajaron y trabajan bajo las leyes mexicanas con el nombre de San Antón de las Minas S.A de C.V.

La biblioteca de la Universidad de Guanajuato cuenta con un trabajo profesional de tesis elaborado sobre algunas estructuras epitermales en SAM de título Proyecto de Exploración; 1.- Programa de barrenación y 2.- Estudio de Orientación Geoquímica, Vetas el Carmen y Providencia, San Antón de las Minas Dolores Hidalgo Gto. (Meave Pérez 1990) en el que se describen las principales estructuras mineralizadas de San Antón y donde se mencionan algunos datos de carácter técnico de algunas obras que anteriormente operó la Compañía minera La Cooperativa.

## **1 GENERALIDADES**

### **1.1 Localización y Vías de acceso**

El proyecto Cerro del Gallo en la comunidad de San Antón de las Minas se localiza en el municipio de Dolores Hidalgo.C.I.N. Guanajuato, México, en las coordenadas 21°04'35" N y 101°02'01" W, 288600E y 2332070N UTM WGS 84 Zona 14. Se encuentra aproximadamente a 21 km en línea recta al Noreste de la ciudad de Guanajuato, y a 14 km al Suroeste de la ciudad de Dolores Hidalgo.

El área de estudio se ubica a 1.5 km del Cerro del Gallo en dirección Este, y abarca aproximadamente 190 has, está limitada por las coordenadas 289 208 E, 2 331 090 N y 290 507E 2 332 550 N (Figura 2).

A San Antón de las Minas se puede llegar de dos maneras. La primera es partiendo de la ciudad de Guanajuato y circulando por la carretera federal 110 hacia Dolores Hidalgo hasta el kilómetro 31, entrando por la comunidad de El Capulín por un camino de 13 km de terracería transitable todo el año. La segunda por la carretera estatal 67 Guanajuato–Juventino Rosas hasta el kilómetro 40 y tomando la carretera 110 hacia Dolores Hidalgo hasta el kilómetro 32 donde se encuentra la entrada principal a SAM recorriendo 23 kilómetros de terracería en buen estado (Figura 3). Aproximadamente se puede llegar en 30 minutos saliendo de la Dolores Hidalgo y en 1 hora 20 minutos saliendo de la ciudad de Guanajuato.

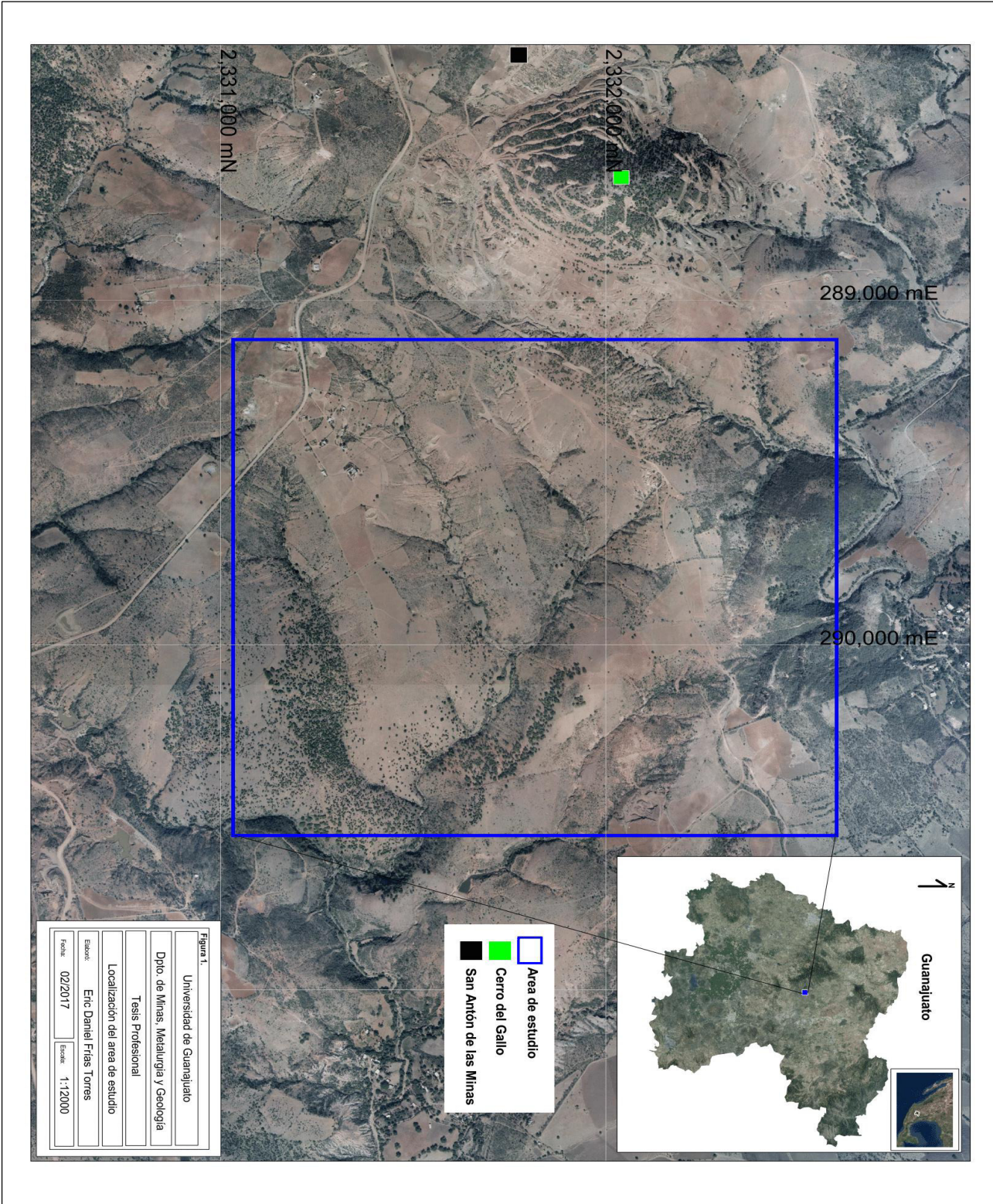


Figura 2. Localización del área de estudio.

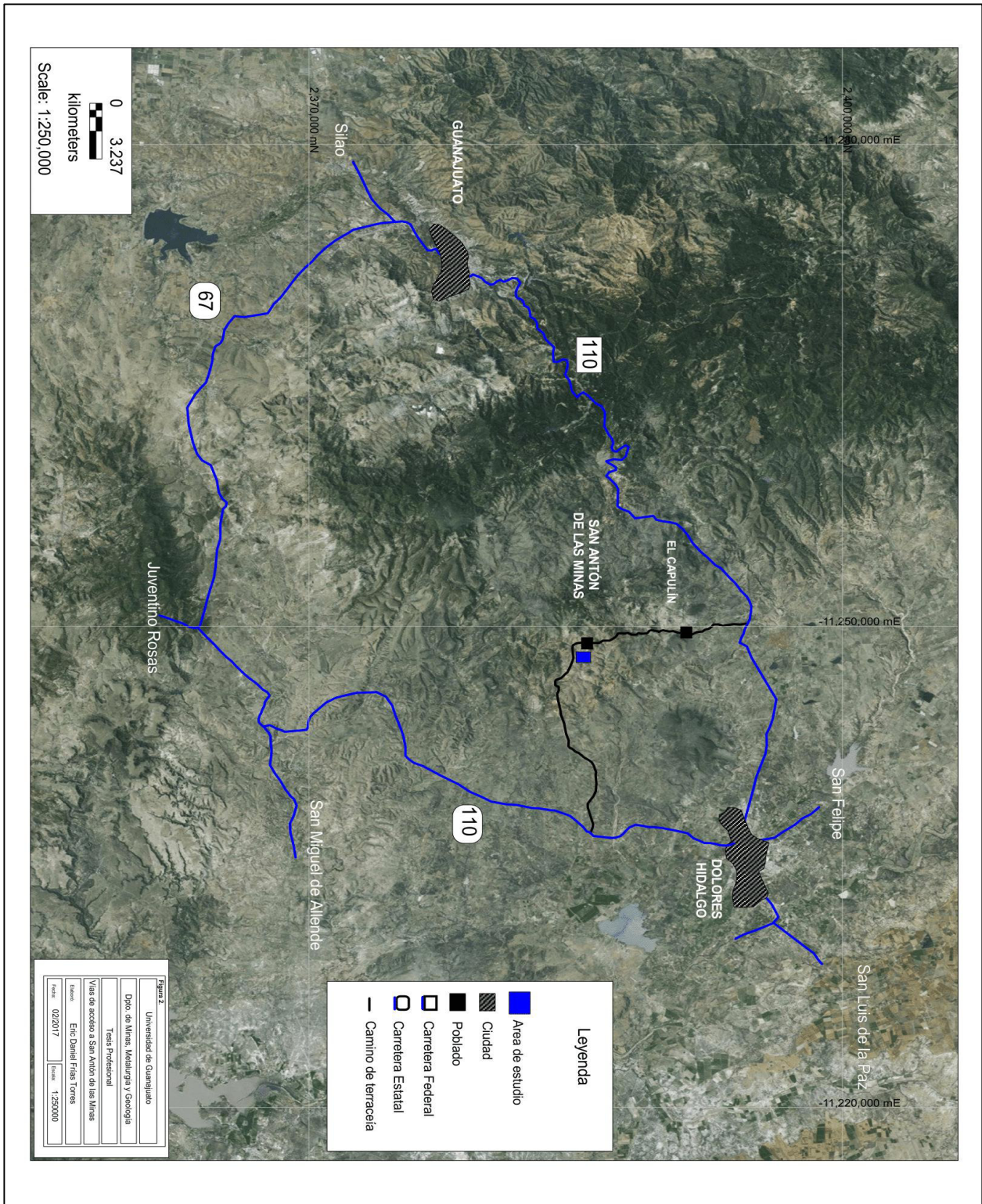


Figura 3. Vías de acceso a San Antón de las Minas.

## 1.2 Clima y Vegetación

En el municipio de Dolores Hidalgo el clima varía de semi-seco en otoño y a subhúmedo en verano. Las temperaturas se registran de 36°C la máxima y 3° C la mínima. La temporada de lluvia se presenta generalmente desde mediados de mayo hasta septiembre con una precipitación de 400 a 900 mm.

De acuerdo a INEGI en los últimos años este ciclo ha sufrido serias variaciones, ocasionando una disminución considerable en la precipitación y una irregularidad muy notable en el período de lluvias (INEGI 2015).

La vegetación en Dolores Hidalgo consta de Pastizales en un 70%, bosque de pino y encino en un 21.4%, mezquital 7.3% y matorral 1.30%. Mientras que el área de San Antón de las Minas, las especies de plantas que predominan son el roble (*Quercus Robur*), huisaches (*Acacia Tortuosa*), y (*Arcacia Farnensiana*) encino (*Quercus Ilex*), uña de gato (*Mimosa Monacistra*), gatuño (*Mimosa Biuncifera*). (Figura 4).





Figura 4. Vegetación característica de San Antón de las Minas. Parte oeste del Cerro del Gallo.

En las partes planas se encuentran de manera muy aislada y de menor talla: escobilla (*Baccharis Ramulosa*), engordacabrá (*Dalea Bicolor*), y en los lomeríos: palo dulce (*Eysenhardtia Polystachya*), papelillo amarillo (*Bursera Fagaroides*) y álamo (*Populus Alba L*) (CONABIO 2012).

### **1.3 Fisiografía**

El Estado de Guanajuato forma parte de las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental al Noreste, Mesa Central al Norte y centro del estado y Eje Neovolcánico al centro, sur, este y oeste.

Una subdivisión permite separar tres zonas resaltantes en el estado, estas son: Bajío Guanajuatense, Sierra de Guanajuato, y Región del Norte de la Sierra de Guanajuato.

El área de estudio fisiográficamente se localiza en la Mesa Central y en la subdivisión Región del Norte de la Sierra de Guanajuato, donde predominan los llanos y algunas mesetas o cerros rocosos con un promedio de 2600 metros sobre el nivel del mar, mejor conocida como Llanos del Norte o Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato en la cual ubicamos al municipio de Dolores Hidalgo. (INEGI 2015)

El área de estudio se encuentra en el centro-sur de la provincia metalogénica, Ag, Au y Cu.

### **1.3.1 Hidrología**

El municipio de Dolores Hidalgo, C.I.N forma parte de la región hidrológica Lerma-Santiago y pertenece a la cuneca del Río Laja, la cual cubre parte de la zona central, norte y oriente del estado de Guanajuato y oriente de Querétaro. Pertenece también a la subcuenca Río Laja-Peñuelitas, que comprende la porción centro-norte de la entidad extendiéndose hasta el extremo norte con el límite del estado de San Luis Potosí y extremo oriente con el límite de Querétaro (INEGI 2015).

El área de estudio se ubica al suroeste de la subcuenca anteriormente mencionada y las corrientes con mayor influencia son la denominadas río Sisote y su tributario Arroyo Las cuevas, el escurrimiento formado por estas corrientes adquiere el nombre de Arroyo La Palma, el cual fluye de poniente a oriente hasta desembocar en el Río Llanito, proveniente este último de tierras más al norte, también con un flujo de oeste a este. Más adelante el Río Llanito se embalsa en la Presa Peñuelitas, para después desembocar en Río Laja a pocos kilómetros de Dolores Hidalgo, C.I.N.

Otro afluente importante es el arroyo Dolores Hidalgo, que es controlado por la presa Álvaro Obregón. Los arroyos Tlaxcaltilla y San Damián también se originan en la sierra de Guanajuato, y corren hacia el oriente hasta aportar al río Laja. Actualmente el primero de los arroyos mencionados aporta directamente al vaso de la presa Ignacio Allende (PH Consultores 2013).

### **1.3.2 Geohidrología**

En el área de estudio se presenta materiales consolidados con posibilidades bajas, donde predominan lomeríos conformados por roca metavolcánica-sedimentaria del cretácico inferior y jurásico superior, y hacia la parte del Cerro del Gallo predominan rocas ígneas intrusivas que datan del oligoceno. Este tipo de rocas por sus

características primarias de formación y permeabilidad secundaria, tiene capacidad limitada para contener agua.

En general las formaciones volcánicas como riolitas, andesitas y basaltos que se encuentran en el área de San Antón de las minas son de características impermeables por lo tanto funcionan como fronteras al flujo de aguas subterráneas. Las tobas constituyen el principal acuífero de la región, son de permeabilidad variable de acuerdo con su contenido de arenas volcánicas y arcillas.

Las formaciones sedimentarias, constituidas por calizas, lutitas y areniscas fuertemente plegadas, tienen características de baja permeabilidad, por lo cual se consideran de baja importancia como acuíferos (PH Consultores 2013).

#### **1.4 Población y Economía**

La población en San Antón de las Minas es de aproximadamente 500 habitantes, de los cuales 270 son hombres y 230 mujeres, (INEGI 2015), la comunidad la conforman alrededor de 80 viviendas que en su mayoría están construidas con ladrillo y losa de cemento, cuenta solo con servicios básicos de luz eléctrica y transporte urbano, actualmente se instaló una red de tubería para agua potable que se obtendrá de un pozo perforado en 2014.

San Antón cuenta con servicios de educación como preescolar, escuela primaria y secundaria, la comunidad no cuenta aún con servicios médicos (centro de salud) por el cual el traslado a la ciudad de Dolores Hidalgo para la atención médica es lo más común. (Figura 5)



Figura 5. San Antón de las Minas. Fotografía tomada desde el tiro Dolores.

Hasta alrededor de 1990 un porcentaje no tan importante de personas se desempeñaban en la actividad minera, cuando las obras se encontraban en operación. No hay una actividad económica principal alrededor del área de estudio por lo que la mayoría de los hombres optan por migrar a Estados Unidos en busca de trabajo, unos cuantos se dedican a la venta de leña, muy pocos viven de la siembra de maíz, frijol y chile, así como de la ganadería.

Desde el 2004 las empresas que han sido dueñas del proyecto Cerro del Gallo han generado una fuente alternativa de trabajo con cantidades variables, sin embargo todavía no ha sido lo suficientemente impactante para el desarrollo de la comunidad.

## 1.5 Historia

Usualmente se postula que el descubrimiento de las estructuras mineralizadas de San Antón de las Minas, fue varios años después del descubrimiento del distrito minero Guanajuato realizando la explotación por los españoles. A inicios del siglo XX comenzaron los trabajos de explotación de las principales vetas por compañías extranjeras, según algunos lugareños la explotación de las estructuras terminaron más por el motivo de la Revolución Mexicana que por razones de carácter técnico. En 1977 el Consejo de Recursos Minerales declaró el área como reserva nacional Villalpando, (Bravo 1979), y comenzaron trabajos varios, entre ellos mapeos geológicos de exploración, muestreo geoquímico y el acondicionamiento de algunas obras antiguas (Meave Pérez 1990).

Parte de los trabajos de exploración que dirigió el Consejo de Recursos Minerales en conjunto con el gobierno federal y estatal consistieron en una evaluación magnetométrica de la zona con la que se determinó una mineralización importante en parte del Cerro del Gallo, en 1992 se anunció la mineralización diseminada de Cobre en una roca intrusiva de esta área (Consejo de Recursos Minerales 1992).

La Sociedad Cooperativa Minero Metalúrgica “Santa Fe de Guanajuato”, conocida generalmente como la “Cooperativa”, en 1982 inicia la exploración enfocada en el sistema de vetas Carmen Providencia. La compañía terminó un programa de mapeo geológico regional que cubría el sistema de vetas de Carmen Providencia y el Cerro del Gallo. La Cooperativo decidió perforar 6 barrenos a diamante con un total de 1571.10 m. El primer barreno se perforó a finales de 1983 en el flanco occidental del Cerro del Gallo con una profundidad de 24.55 m, las muestras seleccionadas para ensayar se tomaron de los intervalos donde se

reconocieron vetas de cuarzo únicamente, el ensaye se hizo solo para Au y Ag, arrojando valores de 0.22 gr/ton de Au y 21 gr/ton de Ag. (Carew, T. et al., 2010)

En 2004 Luismin tenía algunas concesiones mineras alrededor del Cerro del Gallo. Dicha Compañía adquirió las concesiones mineras de la La Sociedad Cooperativa Minero Metalúrgica “Santa Fe de Guanajuato” nombre oficial en San Antón de las Minas, y pocos meses después Luismin S.A de C.V anuncio una asociación con la compañía australiana Kings Minerals NL (KMN), para desarrollar la exploración de Cerro del Gallo, el 22 de julio de 2004 la compañía San Antón de las Minas Wheaton River a través de su filial mexicana Luismin compró a La Cooperativa los predios de San Antón de las Minas, pocos meses después Luismin se asocia con la compañía australiana *Kings Minerals* para invertir en la exploración de Cerro de Gallo, creando el 22 de julio de ese año San Antón de las Minas S.A de C.V. (Carew, T. et al., 2010).

Por parte de Kings Minerals la exploración en el Cerro del Gallo continuó hasta mediados de diciembre de 2006, culminando en la perforación de 18 barrenos de circulación inversa en el segmento de Dolores, 26 barrenos de circulación inversa y diamante en el segmento de Empalizada, y 14 en el segmento de Espíritu Santo; 13 barrenos a diamante y circulación inversa también fueron perforados en San Luís Rey y 4 más en la veta de Ave de Gracia, también se realizó un muestreo geoquímico de suelos mediante Niton que abarco un área de aproximadamente 12.5 km<sup>2</sup> en abril de 2008.

Luismin S.A de C.V realizo entre agosto de 1997 y mayo de 1998 15 barrenos de circulación inversa y diamante sobre los bordes del Cerro del Gallo con el objetivo de probar una anomalía de Au-Cu-Mo obtenida mediante un muestreo geoquímico de rocas (Rabone, G., 2004).

Desde diciembre de 2004 hasta mayo del 2008, Kings Minerals a través de su subsidiaria San Antón de las Minas, perforó 433 barrenos de circulación inversa y

diamante en diferentes áreas; concentrándose en el depósito Cerro del Gallo y su halo exterior de alteración, mientras que el resto fueron realizados en estructuras epitermales y labores antiguas, así como algunos probando anomalías geofísicas relativamente cercanas al depósito Cerro del Gallo. (Rabone, G., 2005; Rabone, G., 2008).

Basados en los resultados geoquímicos de exploración, se generó un reporte técnico del depósito Cerro del Gallo Au-Ag-Cu, así como de sus recursos y reservas minerales estimadas, ya como Cerro Resources en mayo del 2013 comenzaron la perforación de diferentes subprogramas de barrenación a diamante en y alrededor del Cerro del Gallo. Dichos programas fueron de exploración, metalúrgicos, ambientales y de condenación sobre la porción oriental del Cerro del Gallo.

## **1.5 Método de Trabajo**

Debido a que el proyecto cerro del Gallo se encuentra en una etapa de exploración avanzada y el área de estudio forma parte de la superficie destinada a infraestructura del minado diversa era necesario obtener datos geológicos en superficie para correlacionarlos con barrenos de condenación y sustentar bajo características técnicas que dicha área contenga o no la extensión del material mineralizado en Cerro del Gallo ó asociado a otro evento.

Para el presente trabajo se cartografió la geología a semi-detalle escala 1:1500 de un área aproximada de 190 hectáreas ubicada en la parte oriental del Cerro del Gallo, tomando los datos estructurales, litológicos, alteraciones y mineralización, así como un muestreo de rocas cuyas características geológicas sugerían una mineralización o indicadores geoquímicos importantes.

El desarrollo del trabajo consistió en las siguientes etapas:

### **1.6.1 Análisis de fotografías aéreas**



Para el análisis foto-aéreo se utilizó unas fotografías aéreas a una escala de 1:10,000 tomadas por la compañía Orthoshop y Fotogrametría de México S.A de C.V. Obtenidas sobre el área del Cerro del Gallo en junio del 2010. Para el análisis fotogeológico se utilizó un estereoscopio de mano con el que se hizo un primer reconocimiento del área, identificando algunas zonas que mostraban colores y tonos contrastantes que representaban alteraciones hidrotermales en litologías diferentes y que fueron puntos prioritarios en la planeación y logística del levantamiento geológico.

Se identificaron también cambios en la vegetación que en ocasiones son un indicador de un cambio litológico; aunque no se presentó éste caso en la zona de estudio. Además se interpretó la geomorfología del área con ayuda de curvas de nivel obtenidas de la restitución fotogramétrica digital en las fotografías aéreas, cual no mostro rasgos de fallas y/o estructuras mayores importantes durante el análisis.

### **1.6.2 Levantamiento Geológico**

Para el levantamiento geológico se utilizaron mapas a escala 1:1500 mostrando la imagen satelital del área y las curvas de nivel separadas cada 5 metros, mostrando una malla con coordenadas universal transverse mercator (WGS84) con 50 metros de separación. La escala se seleccionó de manera que coincidiera el resto del mapeo de la compañía San Antón de las Minas y que el detalle de los afloramientos pudiera ser cartografiado con una buena calidad en el mapa.

Se manejó una nomenclatura donde preferentemente se tomó el tipo de roca antes que la alteración, a no ser que se tratará de una alteración extrema o pervasiva, por ejemplo tobas silicificadas. Se utilizó como grados de alteración un rango de 0 a 3, donde 0 = no visible y 3 = fuerte.

Se utilizó un navegador satelital *Garmin eTrex 10* con el que se registraron digitalmente las coordenadas universal transverse mercator (WGS84 zona 14) de cada

una de las muestras, los datos estructurales, litológicos, de alteraciones y mineralización.

El levantamiento geológico se restringió principalmente a los arroyos debido a la poca cantidad de afloramientos en el resto del área y después en zonas con colores resaltantes, zonas con afloramientos importantes y cambios litológicos visibles, se cartografiaron también en parte.

Los datos estructurales se obtuvieron usando una brújula bruntón tipo azimutal bajo la técnica de “*la regla de la mano derecha*” para el registro de rumbos y direcciones de inclinación. Los datos estructurales que se obtuvieron fueron estratificación, fallas, fracturas, pliegues, diques y contactos litológicos, aproximadamente cada 50 metros tomando en cuenta los rumbos y buzamientos generales de mayor importancia, también se registraron, vetillas de curzo, brechas tectónicas y brechas mineralizadas.

### **1.6.3 Base de Datos**

Toda la información generada, fue integrada a una base de datos dentro de una hoja de cálculo en excel donde se registran: los números de puntos, coordenadas (X,Y,Z), numero de muestra, el tipo de dato estructural, el subtipo de muestra, el tipo de estructura, un código para el levantamiento geológico (Discover), el azimuth, la inclinación y el tipo de roca.

### **1.6.4 Digitalización.**

Después de ser validada esta base de datos es procesada mediante Discover, generando un gráfico de cada uno de los valores, para ser visualizados y utilizados en la interpretación geológica.

Los afloramientos geológicos fueron digitalizados mediante el programa MapInfo. Para ello se requirió el escaneo digital de los planos geológicos con los afloramientos rocosos mismos que se georeferenciaron a la proyección antes descrita. Un rasgo importante del mapeo fue definir la posición estratigráfica.

Mediante las herramientas del programa se elaboraron los polígonos a los que se les asignó colores y nomenclatura establecida por la empresa, además se les asignó información relevante (descripción, alteración, etc.) también se crearon capas para datos estructurales, litología y muestras.

## **2 GEOLOGÍA**

### **2.1 Geología Regional.**

Al distrito minero de Guanajuato lo conforman rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, las cuales comprenden del cretácico superior hasta el cuaternario, como basamento se encuentra la *Formación Esperanza*, que comprenden un paquete de sedimentos depositados en un ambiente marino, lutitas, areniscas y calizas que sometidas a un metamorfismo regional formaron, pizarras, filitas, esquistos y cuarcitas, contribuyendo también el emplazamiento de cuerpos intrusivos (Consejo de Recursos no Renobables 1970).

La *Formación Esperanza* es de gran interés en la exploración de depósitos minerales, en el distrito Guanajuato es una de las formaciones encajonantes, en gran parte de las estructuras hidrotermales argentíferas, recientemente se han estudiado zonas que presentan evidencias de depósitos tipo VMS (sulfuros masivos vulcanogénicos) (Mengelle-Lopez Canet, Prol-Ledesma, Gonzáles Partida y Camprubi. 2013).

Para este trabajo será importante retomar las características generales de la Formación Esperanza pues se propone una continuación de esta en el área de San Antón de las Minas y al igual que en el distrito Guanajuato es el encanjonante principal de importantes estructuras mineralizadas.

A la formación Esperanza le continúa un depósito de sedimentos continentales, el *Conglomerado Rojo de Guanajuato*, que probablemente se dio por un “*hundimiento y la formación de una cuenca cerrada*” (Monroy 1888). Este conglomerado se caracteriza por tener una alta porción de fragmentos volcánicos, fragmentos de granito, caliza, pedernal y aplita, en algunas partes se puede encontrar calcedonia, cuarzo y calcita. Consta de una intercalación de estratos con diferentes tamaños de clastos, se puede dividir en dos partes separadas por una discordancia. En la parte inferior presenta una abundancia de fragmentos volcánicos, caliza y pedernal, areniscas en capas mal consolidadas y en algunas zonas se pueden encontrar las areniscas intercaladas con lavas andesíticas y capas de guijas (Edwards 1956). En la parte superior presenta mayormente fragmentos de granito y aplita.

La matriz del conglomerado la constituye una arcilla roja producto de la desintegración de rocas volcánicas, una pequeña capa de hematita que cubre las partículas da el color rojizo característico a la formación.

La edad del conglomerado va del Eoceno medio a Principios del Oligoceno de acuerdo con los estudios de Frías en 1955 y C.W Hibbard.

Sobre el *Conglomerado rojo de Guanajuato* yace un depósito que hasta la fecha sigue siendo estudiado, *La Formación Loseros*, los primeros trabajos definen estas rocas como tobas Silíceas, Wandke (1928) y Edwards (1956) la definen como arenisca la Bufo.

Estas rocas están constituidas principalmente por cenizas volcánicas de grano fino, granos angulosos ligeramente redondeados, de cuarzo y feldespato, gran proporción de material volcánico silíceo, cementado por calcita; se presenta en capas delgadas a

gruesas que van de algunos milímetros hasta 30 centímetros de espesor. Presentan un color que varía de morado a azul verdoso. Recientemente trabajos detallados sobre esta formación proponen una intercalación de areniscas con estructuras sedimentarias laminares y cruzadas, con un aumento del tamaño de grano hacia la parte superior intercaladas con tobas. (Puy Alquiza María Jesús 2013) su espesor varía, en algunas zonas alcanza 25 metros y en otras hay la ausencia de este depósito, quedando las unidades supra y subyacentes en contacto directo. (Consejo de Recursos no Renovables 1970). Recientes trabajos de investigación datan a esta formación en 31.96 millones perteneciente al oligoceno (Coutiño Taboada 2015).

La *Formación Bufa*, una ignimbrita riolítica formada a partir de una efusión piroclástica, descansa discordantemente con la *Formación Loseros* o en algunas partes sobre el *Conglomerado Rojo de Guanajuato*, se presenta de forma masiva con colores que van de gris claro a gris pálido, cuando esta roca se altera toma color amarillento debido seguramente a fluidos hidrotermales. En su mayoría los derrames riolíticos tienen un color rosa con fenocristales de cuarzo y feldespato, se caracteriza por la presencia de líticos y por ser muy local. Recientemente se dato esta formación en 32.3 millones de años (Coutiño Taboada 2015).

La *Formación Calderones o Ignimbrita Calderones* se encuentra descansando sobre una superficie erosionada de la *Formación Bufa*, dentro de esta formación se distinguen tres miembros: el inferior con capas de areniscas de grano fino y lentes de diferente magnitud de conglomerado, constituido por capas de ceniza tobácea de grano fino y de color morado o pardo grisáceo. El segundo miembro esta constituido por areniscas tobáceas y tobas masivas de composición andesítica. El superior consiste en una serie de areniscas tobáceas de grano grueso, que se intercalan con brechas y tobas masivas en capas gruesas. Con una edad de 33.54 millones de años (Coutiño Taboada 2015).

Un tercer evento volcánico se puede distinguir sobre la *Formación Calderones*, derrames andesíticos y basálticos de texturas porfíricas, de un color oscuro característico, en la andesita destacan cristales de feldespatos envueltos en una matriz afanítica, el basalto consiste principalmente de piroxenos como la augita presentándose en capas concéntricas adoptando una forma esferoidal a esta formación se le conoce como *Formación Cedros*.

El último de los eventos volcánicos fue una serie de derrames riolíticos con zonas de brechas y tobas interstratificadas, nombrado *Formación Chichíndaro* o *Riolita Chichíndaro*, se pueden distinguir tres miembros, el primero lo conforman derrames con esferulitas en una matriz de color morado, el segundo por una riolita de color rosa resaltando los fenocristales de cuarzo, y el tercero tobas de color blanco grisáceo. Se estima que la *Formación Chichíndaro* tiene un espesor de 50 metros y se ha colocado tentativamente dentro del cuaternario, sin embargo cabe la posibilidad de pertenecer al terciario.

Una serie de intrusiones terciarias se emplazan en gran parte de las formaciones:

*Diorita la Luz*: también nombrada *Formación Rocas Verdes* por Aguilar (1925), se presenta de color verde oscuro de textura afanítica y con presencia de magnetita en algunas partes muy abundante, se ha clasificado antiguamente como una granodiarita, en algunos casos puede llegar a clasificarse como un granito.

*Intrusivo Mata*: clasifica como una diorita de grano fino, presenta numeroso xenolitos de rocas cuarzo-dioríticas, siendo el más joven y abundante según estudios de Wandke (1928) su color va de verde oscuro a gris, en algunas zonas presenta una alteración intensa dificultando su separación con las rocas encajonantes.

*Intrusivo Peregrina*: No aflora de manera uniforme, solo en unos 4 kilómetros se hace presente alterando a la *Formación Calderones*, tiene un rumbo casi este-oeste y aflora cerca de la presa con el mismo nombre hasta el arroyo de los silvestres,

presenta colores que van del gris verdoso al gris, su clasificación no está bien definida debido a su alto grado de silicificación, piritización y caolinización.

**Intrusivo Cedro:** Es un grupo de rocas andesíticas y diabásicas que probablemente llegaron a la superficie dando lugar a derrames de lavas y andesitas de la *Formación Cedros*, en zonas donde se presenta la roca fresca muestra un color negro obscuro y color café rojizo en partes donde la roca se presenta muy intemperizada.

**Intrusivo Chichíndaro:** Es un dique de textura porfídica constituido por fenocristales de feldespatos en promedio de un centímetro de longitud y cristales redondeados de cuarzo, clasificado como un cuerpo riolítico, de rumbo este-oeste se presenta cortando a la *Formación Bufo*, *Formación Calderones* y a la *Formación Cedros*, su color va de gris claro a pardo rojizo, es poco notorio en la formación Cedros ya que se intemperiza del mismo color que la roca encajonante.

## **2.2 Geología Local**

La geología del área de San Antón de las Minas consta de un paquete sedimentario deformado como basamento, con un grado de metamorfismo regional en facies de esquistos verdes la cual se propone pertenece a la *Formación Esperanza*, la tectónica regional que afecto esta zona genero movimientos primeramente compresivos en seguida de movimientos distensivos, el fallamiento normal generado provocó un gran número de intrusiones félsicas al oeste de San Antón de las Minas, esto provocó un mecanismo para la actividad hidrotermal que dio paso al depósito de minerales auro-argentíferos en estructuras vetiformes.

Otros eventos magmáticos depositaron de forma diseminada Cu, Au y Ag en el área del Cerro del Gallo.

San Antón de las Minas se ubica en un terreno de pliegues y cabalgaduras laramídicos que se ha propuesto forma parte de la Sierra Madre Oriental cuyas

edades van del jurásico superior al cretácico inferior. (Consejo de Recursos Minerales 1992)

Las rocas resultantes del metamorfismo regional fueron una serie de filitas, pizarras y cuarcitas en algunas zonas. Los paquetes sedimentarios carbonatados como: calizas en algunos puntos presentan una silicificación pervasiva llegando a clasificarse estas rocas como jasperioides, sin embargo muchas de las alteraciones silíceas se proponen son resultado de la intrusión de cuerpos ígneos.

Sobre las rocas metasedimentarias yace una secuencia de flujos riolíticos oligocénicos acompañados con horizontes de material volcanoclástico, tobas de variadas granulometrías se hacen presentes al este y noroeste de SAM, a estos flujos riolíticos les sigue uno basáltico de menor proporción al oeste y sur de la zona.

Un gran número de intrusiones de composición félsicas y máficas se emplazan en el basamento a mediados del oligoceno, entre los cuerpos félsicos emplazados esta la cuarzomonzonita que aflora en casi toda el área del Cerro del Gallo, varios diques de composición granítica y mozonitas se presentan cerca de los bancos de filita al este de San Antón de las Minas.

Los cuerpos de composición máfica e intermedia en su mayoría basálticos y dioríticos presentan una alineación NW–NNW, el color oscuro y texturas afaníticas les es característico, a excepción de zonas donde se muestran intemperizados con un color marron rojizo. Es común que contengan xenolitos de la roca encajonante y presenten magnetismo debido a que contienen un alto porcentaje de magnetita.

Al E, NE y SE de la propiedad de San Antón de las Minas se encuentra material sedimentario muy reciente, aluvión y conglomerados no consolidados que cubren las partes bajas de la zona.

### **2.3.-Geología del Área de Estudio**



190 Hectáreas se cartografiaron a detalle con el fin de conocer mejor la geología de la zona y confirmar la condensación de esta para fines de obra civil. En general la geología del área de estudio la conforma el basamento, compuesto por lutitas y filitas, calizas, calizas recristalizadas, areniscas y tobas, estas últimas de origen marino, formando parte de la secuencia sedimentaria depositada en una antigua cuenca, metamorfoseadas en gran parte, deformadas e intrusionadas en varios puntos por diques y sills de composición monzonítica. Solo una estructura del tipo máfica se cartografio en la parte norte del área y se clasificó como dolerita.

Hacia la parte oeste muy cercano al Cerro del Gallo una secuencia de tobas intercaladas con lutitas y areniscas se ven afectadas por las alteraciones resultantes del cuerpo cuarzo-monzonítico, roca de gran importancia para la mineralización del yacimiento.

Hacia la parte sur aparecen las areniscas con puntuales intercalaciones de lutitas negras y tobas de diferentes granulometrías, algunos horizontes presentan una fuerte silicificación y se clasificaron como cuarcitas.

Resultado del metamorfismo regional el área presenta un cuarzo de segregación, *cuarzo metamórfico*, de textura masiva y vítrea formando pequeñas estructuras tipo *boudinage* que sin ninguna orientación general se emplazan paralela y perpendicularmente entre las rocas metasedimentarias.

Solo unos pocos afloramientos de rocas volcánicas se pueden encontrar al NE y S del área de estudio y son de composición riolítica las cuales descansan sobre una delgada capa de lutitas negras al NE y sobre filitas hacia el sur del área.

Al NE del Cerro del Gallo afloran las rocas carbonatadas más importantes de la zona, un paquete de calizas arcillosas y calizas recristalizadas afloran a lo largo de una franja aproximadamente de 20 km<sup>2</sup>, trabajos recientes con ayuda de barrenación a diamante determinaron un horizonte con características de un Skarn, con un estudio

petrográfico realizado se pudo definir como un *Skarn de piroxenos*, más no presentó valores en minerales de mena.

### 2.3.1 LITOLOGÍA

#### *Rocas sedimentarias*

*LUTITAS*. Se presentan en grandes estratos generalmente con intercalaciones de areniscas o tobas, en algunos sitios se muestran totalmente deformadas, los colores varían del gris claro a negro, las estructuras sedimentarias que presentan son estratificación cruzada y no comúnmente presentan rizaduras causadas por el flujo de la corriente antes de su litificación. Ocasionalmente contienen vetillas de cuarzo metamórfico y en ciertas zonas presentan una ligera silicificación. (Figura 6)

*ARENISCAS*. El área básicamente está conformada por un 75% de areniscas, en su mayoría se intercalan con láminas delgadas de lutitas y filitas, de igual forma presentan una notable deformación y una fuerte silicificación en algunos puntos, considerando a estas como cuarcitas. Una fuerte oxidación se les distingue a las areniscas de la parte sur del área así como un intenso fracturamiento. La granulometría de estas varía de unos 0.125 a 0.25 mm y se ven afectadas por ramaleos de cuarzo metamórfico. (Figura 7)

*TOBAS*. Tiene una ligera capa de sericita y una textura de granulometría variada, en algunas muestras de mano es común ver el material piroclástico compactado. Al SE del área de estudio las tobas presentan un color que va de morado a gris claro, a veces con un bandeado de tonalidades verdes debido a la presencia de clorita. Los estratos en su mayoría muestran micropliegues, también se les encuentra con una

fuerte silicificación en algunos casos hasta el reemplazamiento total de la roca.  
(Figura 8).



Figura 6. Lutitas negras con diferentes grados de deformación. Arroyo principal en la zona de estudio. Lado este del Cerro del Gallo.



Figura 7. Areniscas deformadas con ligera slicificación, y presentando vetilleo de cuarzo residual. Parte sur del área de estudio cerca del tajo de filitas.

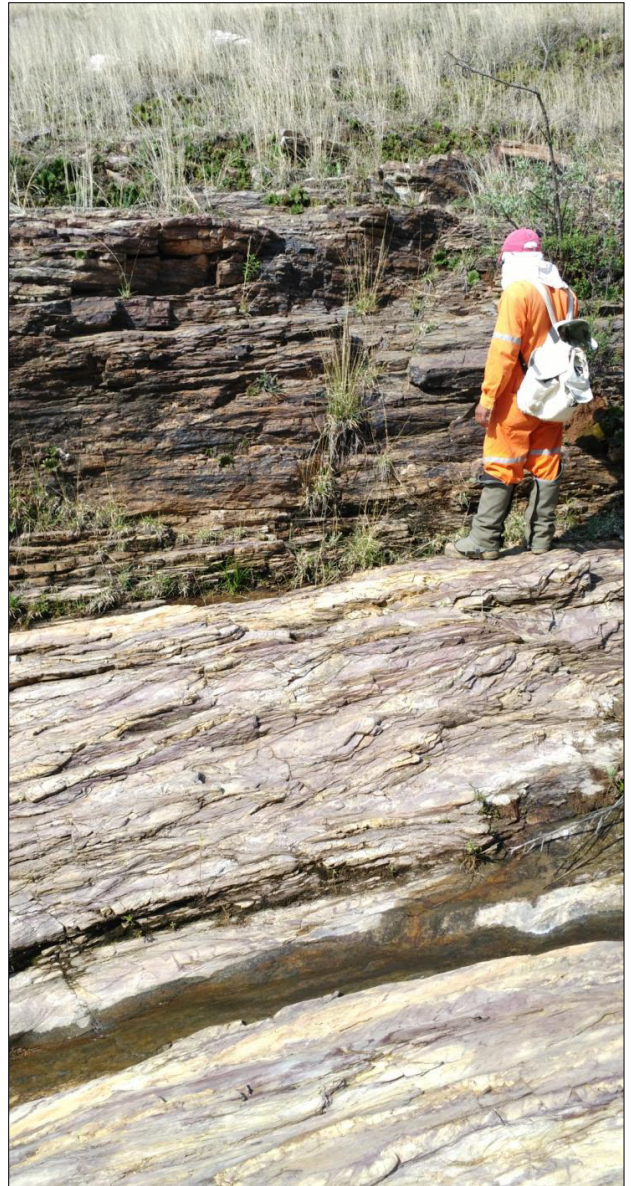


Figura 8. Afloramiento de tobas de grano fino con un ligero grado de silicificación. Parte sur del área de estudio, último tramo del arroyo principal.

**CALIZAS.** Afloran principalmente al NE del Cerro del Gallo y se presentan en estratos delgados fuertemente deformados. En roca fresca las calizas presentan un color gris oscuro e intemperizan a gris claro, ocasionalmente se les puede observar una ligera capa de *caliche*. Un tipo de caliza arcillosa de color gris claro a rojizo se puede encontrar intercalada con láminas delgadas de lutitas negras al este del Cerro del Gallo y hacia la parte norte se observa una caliza recristalizada con fracturas rellenas de calcita fuertemente deformadas (Figura 9).



Figura 9. Calizas poco deformadas con vetillas de cuarzo y calcita, mostrando una inclinación de 85°. Localización arroyo del rancho San Isidro del Sisóte, parte norte del área de estudio.

### *Rocas Ígneas plutónicas*

**CUARZOMONZONITA.** Roca de color gris claro que intemperiza a colores marrón y blanco. De textura porfídica, contienen fenocristales de feldespato potásico al parecer ortoclasa, en algunas muestras el tamaño de los cristales se observa de hasta dos centímetros de longitud, también se observan fenocristales de cuarzo mal formados y semiredondeados que al parecer fueron arrastrados, una matriz fina ligeramente silicatada con abundantes cristales de augita y hornblenda. Se presenta en diques y sills de gran tamaño, se pueden encontrar xenolitos de la roca encajonante. (Figura 10). Al este del Cerro del Gallo algunos diques presentan una alteración potásica (Figura 11).

**DOLERITA.** Un dique aflora en la parte NE del área de estudio, presenta una textura afanítica, un color verde oscuro a negro, pequeñas cavidades rellenas de calcita y un ligero magnetismo debido a la magnetita, en muestra de mano es difícil distinguir su mineralogía sin embargo estudios anteriores con ayuda de análisis petrográficos observaron abundantes clinopiroxenos y olivinos (*Meave Pérez 1990*). Con tres metros de longitud y 50 cm de ancho el dique se emplaza e lo que pudo haber sido una falla entre un paquete importante de lutitas y calizas, este no muestra un rumbo bien definido.

### *Rocas ígneas volcánicas*

**RIOLITAS.** Un derrame pequeño remanente tal vez de una importante erosión, se puede encontrar al NE del área de estudio descansando sobre un horizonte de lutitas negras y calizas, presenta una textura porfirítica con fenocristales de plagioclasas, cristales pequeños de feldespato potásico y cuarzo, tiene un color de tonalidades rosa claro a amarillento en roca fresca, y una ligera pátina de intemperismo de color gris claro.



Figura 10. Cuarzomonzonita, afloramiento masivo, se localiza al sureste del Cerro del Gallo.



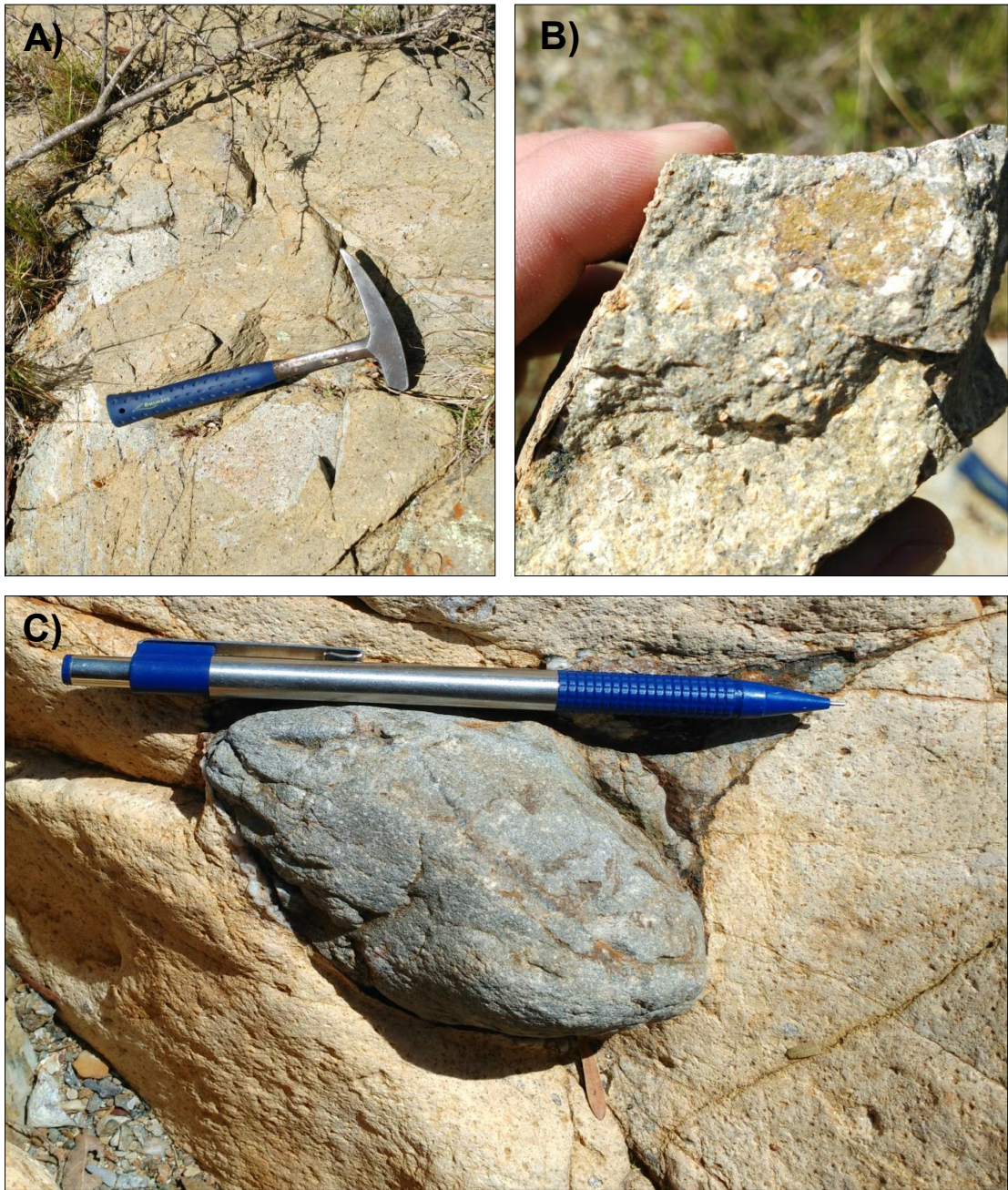


Figura 11. Dique de cuarzomonzonita. A) Color característico de la roca a la intemperie. B) Textura porfídica con fenocristales de cuarzo y ortoclasa. C) Xenolito redondeado al parecer de la roca encajonante .  
Localización lado sur del Cerro del Gallo a 1km del camino a San Antón de las minas.

Hacia la parte sur fuera del área de estudio sobre un importante volumen de filitas yace un derrame de riolitas de igual composición que las del lado NE de la zona, tiene una dirección de flujo bien definida S60°E y una inclinación de 8° al SW. El contacto claramente se puede observar a la orilla del camino principal a SAM cerca de la entrada al tajo de filitas vitromex.(Figura 12).



Figura 12. Contacto entre filitas (F) y riolitas (R). Localización sur del Cerro del Gallo, cerca de la entrada al tajo de filitas. \*Fuera del área de estudio

### *Rocas metamórficas*

**FILITAS.** Grandes afloramientos se encuentran al sur en paquetes completamente deformados. La roca muestra una textura esquistosa y un brillo característico debido a la sericita, pueden observarse algunas micas como la moscovita y en algunos puntos la clorita puede darles una tonalidad verdosa. (Figura 13).

**CUARCITA.** Con tonalidades rojizas a gris claro las cuarcitas afloran en menor porcentaje que las areniscas, solo se presentan en algunos estratos que sufrieron una recristalización y una fuerte silicificación. Generalmente se encuentran con lentes de cuarzo metamórfico y presentan poca deformación. (Figura 14)



Figura 13. Banco de filitas. Se muestran estratos de filitas con alto grado de deformación, además de una fuerte alteración sericítica Localización lado este de la zona de estudio.



Figura 14. Areniscas que presentan vetilleo de cuarzo metamórfico y una fuerte silicificación, se localizan al suroeste del área de estudio.

### 2.3.2 ALTERACIONES

*ARGÍLICA.* Poca área de la zona de estudio presenta esta alteración, se observa de tonalidades blancas a amarillentas, abundantemente aparecen minerales arcillosos como la caolinita y es difícil reconocer la roca original, trabajos pasados clasificaron como una limolita a una zona muy alterada 500 metros al este del Cerro del Gallo. Algunos cuerpos intrusivos presentan también cierto grado de alteración argílica, y se les puede encontrar con tonalidades amarillentas muy desintegrados. (Figura 15).

*POTÁSICA.* Solo se presenta en algunos diques de cuarzomonzonita aproximadamente a 2 km al este del Cerro del Gallo, ocasionada seguramente por la intrusión de cuerpos ígneos alcalinos cercanos de altas temperaturas dando lugar a la aparición de feldespatos potásicos secundarios y biotitas, la roca aparece fuertemente fracturada y desintegrada, con un color de rosa fuerte a rojizo resaltando grandes cristales de feldespato y cuarzo. (Figura 16).

*SILICIFICACIÓN.* Al este, noreste y noroeste del área de estudio afloran rocas que presentan una silicificación pervasiva donde es difícil reconocer el protolito, acompañada de un alto contenido de óxido de manganeso masivo y en forma de pirolusita, forman bloques totalmente deformados aunque en algunos puntos se puede notar una pseudoestratificación. Tienen un color blanco resaltante con tonalidades moradas que le da la pirolusita, pequeñas cavidades las rellenan óxidos de hierro y manganeso. Se propone que esta alteración sea el resultado del hidrotermalismo generado por las intrusiones félsicas al este del Cerro del Gallo. (Figura 17).



Figura 15. Cuerpo intrusivo con grado alto de argilización. Localización sureste del cerro del gallo a 200 metros de “La Finca”.



Figura 16. Intrusivo que presenta una alteración potásica. 1km al este del cerro del gallo.

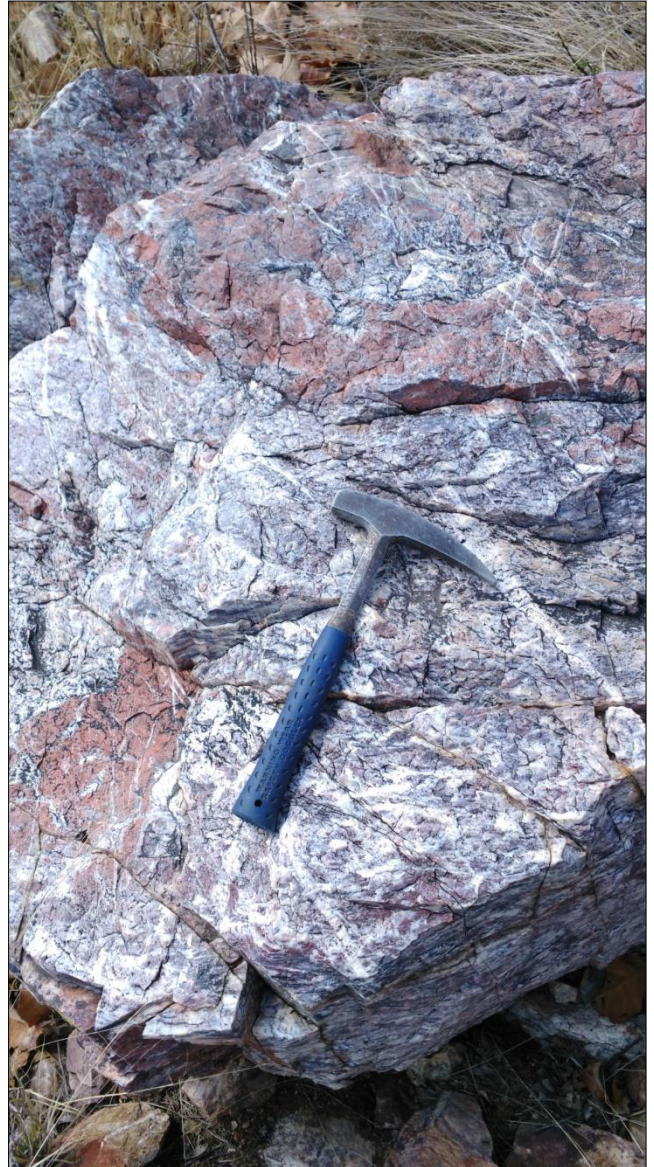


Figura 17. Silicificación pervasiva. Aparentemente sobre tobas. Localización 200 m al sur de “La Finca” dentro del área de estudio.



### **2.3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Las estructuras principales dentro del área de condensación son: pliegues, sistemas de fracturas, diques y sills que sumados a la deformación orogénica también afectan a los paquetes sedimentarios, pocas fallas y de dimensiones pequeñas se pueden encontrar separando horizontes de areniscas y lutitas, con rumbos generales NE-SW y otras NW - SE con inclinaciones de 55° a 65° al SE y NE.

Los pliegues más importantes observados muestran un rumbo general N35°W y una inclinación de 65°NE en su eje axial, en estos se puede apreciar una intercalación de areniscas con lutitas muy fracturadas. (Figura 19). Hacia la parte norte algunas calizas también se encuentran fuertemente plegadas y fracturadas.

Solo en ciertas zonas se observan claramente dos sistemas de fracturas, uno que van de NW a SE cortado por otro de NE a SW. (Figura 17).

Los diques de cuarzomonzonita se emplazan en su mayoría de forma irregular, algunos aflorando de manera natural y otros sin llegar a la superficie generaron pequeños anticlinales en la roca encajonante. Al sureste del Cerro del Gallo en la parte baja del arroyo principal se aprecia un sill con dos metros de ancho encajonado entre lutitas que provocó una ligera deformación en estas. (Figura 20).



Figura 18. Sistema de fracturas sobre areniscas. Localización parte sur del área de estudio.



Figura 19. Pliegues en estratos de areniscas y lutitas. Localización noreste de la zona de estudio cerca del banco de filitas.



Figura 20. Cuerpos intrusivos. A) Sill de cuarzomonzonita (Cmz) emplazado entre lutitas (L). B) Dique de cuarzomonzonita, emplazado entre lutitas causando la deformación de los estratos sin salir a superficie.

### **3 GEOQUÍMICA**

Sobre el área principal del Cerro del Gallo se efectuó un programa de muestreo de suelos, con líneas de orientación norte a sur y una separación de 50 metros, incluyendo una porción del área de estudio, con el muestreo se analizó el contenido de Au, Ag y Cu en partes por millón principalmente. Los valores se tomaron sobre el percentil 75 y gráficamente se ilustraron con un rango de colores donde el azul representa los valores más bajos y el magenta las anomalías con valores más altos. (Figuras 3,4 y 5).

#### **3.1 ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS**

Los valores importantes de Au, Ag y Cu se presentaron en la periferia del Cerro del Gallo, disminuyendo paulatinamente hacia la parte este, aunque el muestreo no cubrió completamente el área de estudio, con los datos obtenidos se pudo observar que la mineralización en superficie del depósito no se extiende hacia la parte este del Cerro del Gallo y si bien los ensayos arrojaron puntuales anomalías de Au, Ag y Cu, el resto de valores son considerablemente bajos y de ser así para el resto del área, económicamente no cumpliría con las condiciones necesarias para ser parte del material a minar tomando en cuenta la actual cotización de los metales preciosos. Las anomalías se muestran a continuación.

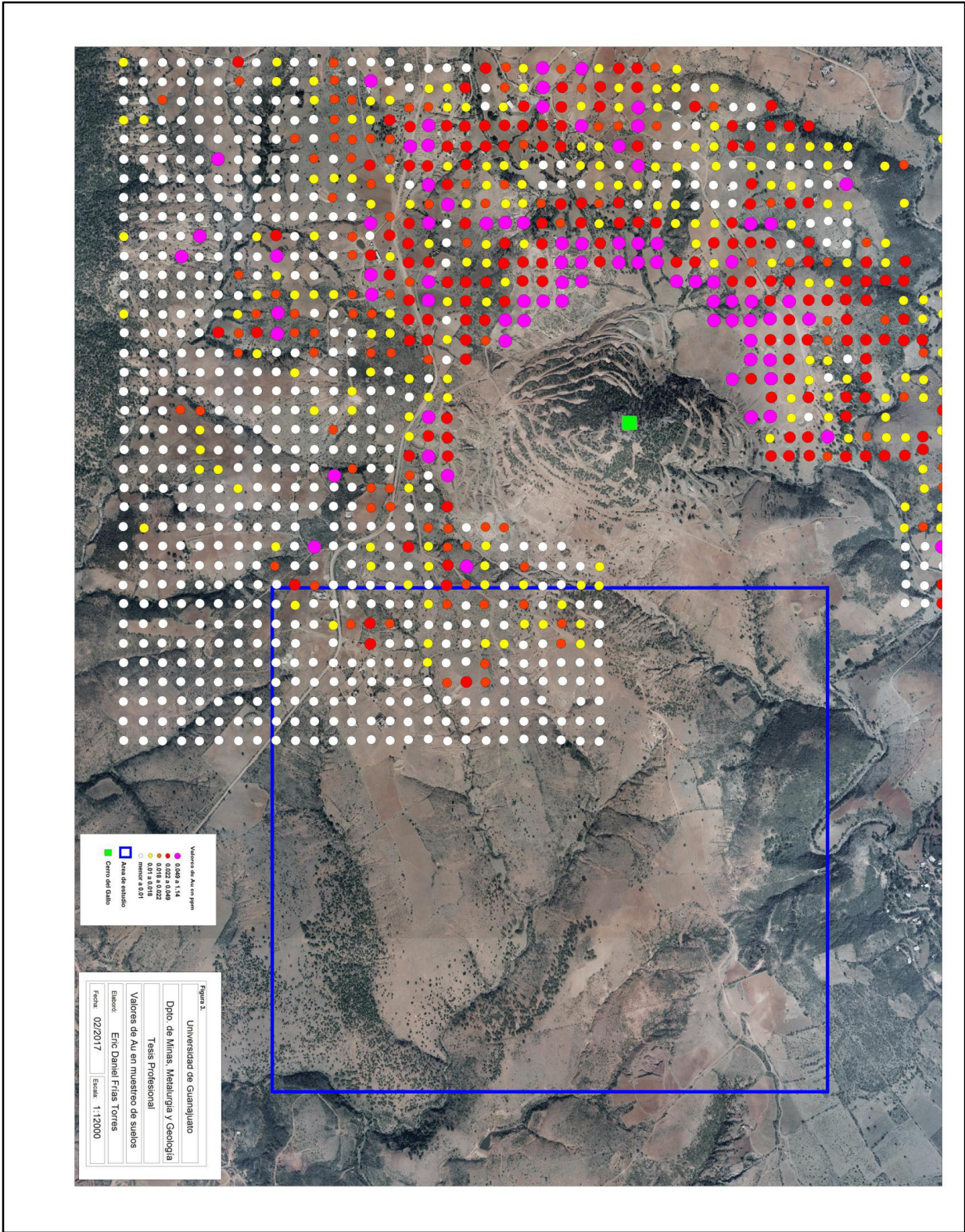


Figura 21 . Valores de Au en muestreo de suelos sobre el área del Cerro del Gallo.

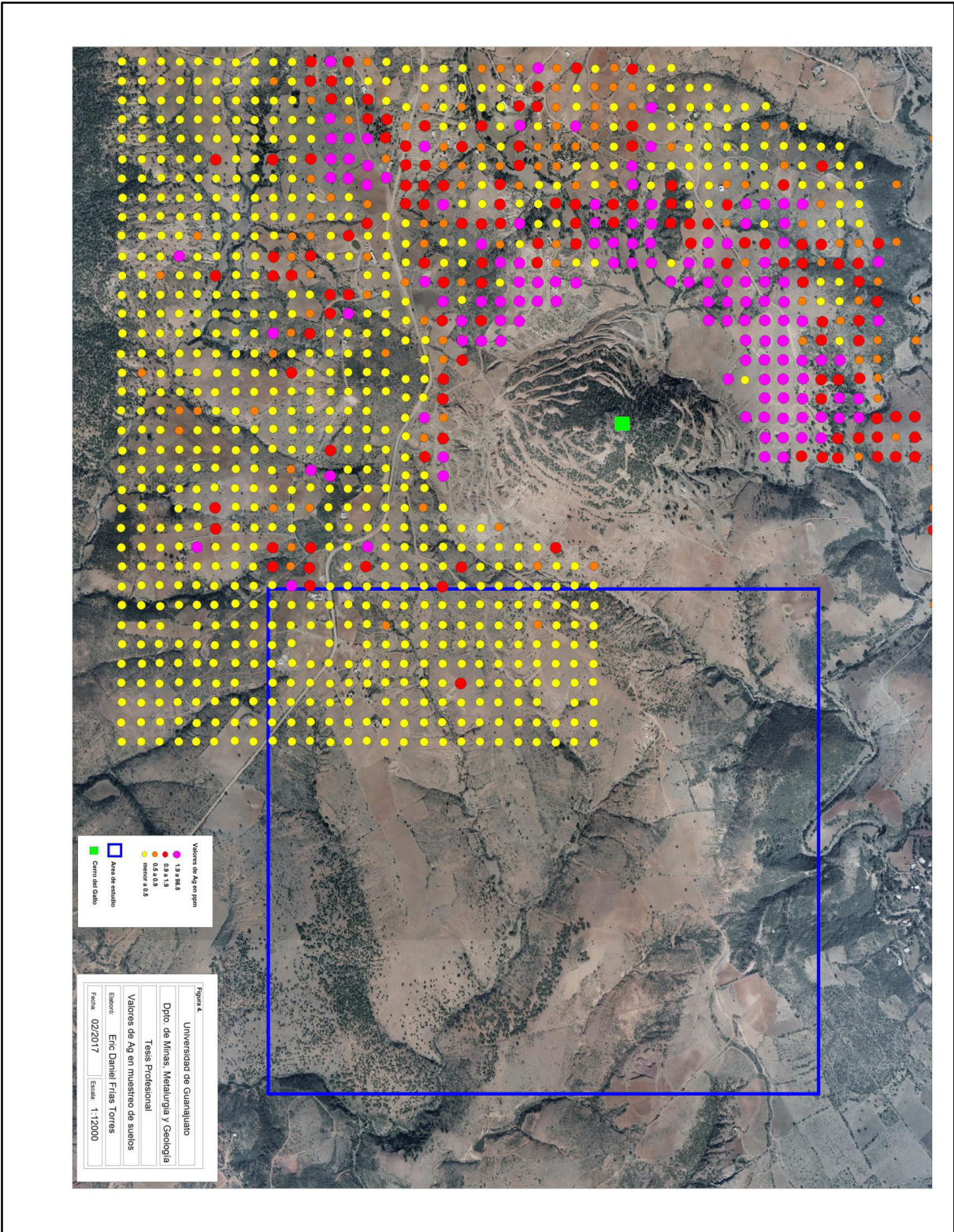


Figura 22. Valores de Ag en muestreo de suelos sobre el área del Cerro del Gallo.

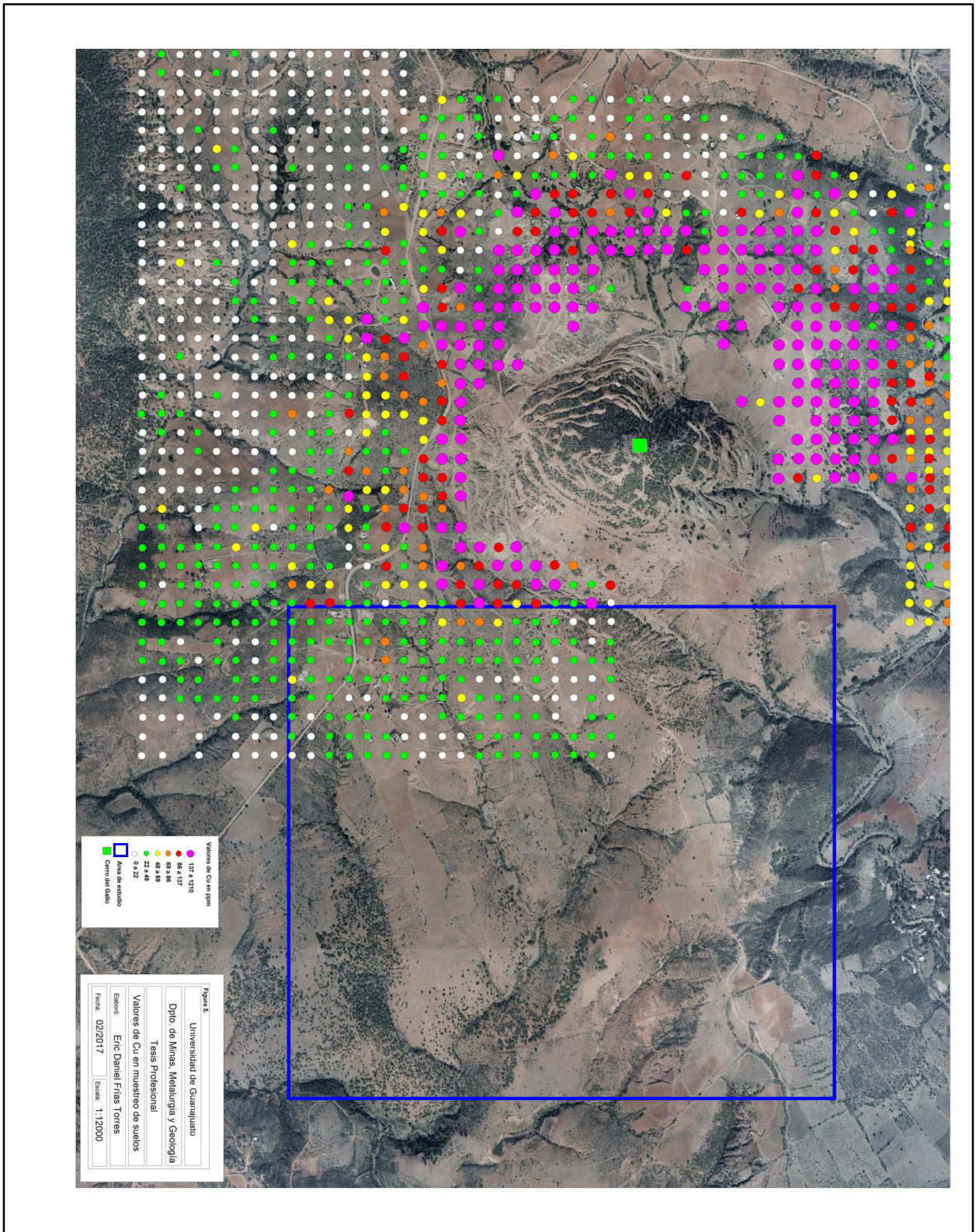


Figura 23. Valores de Cu en muestreo de suelos sobre el área del Cerro del Gallo.



## 4 BARRENACIÓN

Para la exploración del Cerro del Gallo se llevaron a cabo programas de barrenación con diferentes objetivos, anteriormente la compañía Cerro Resources perforó dentro del área de estudio 15 barrenos de los cuales 12 fueron de circulación inversa y solo dos a diamante, Primero Mining Corp perforó en 2013 siete barrenos a diamante con el objetivo de asegurar el área como estéril, tomando como base los resultados de Cerro Resources. (Tabla 1).

Tabla 1.- Total de barrenos perforados por *Cerro Resources* y *PrimeroMining* en 2013 dentro de la zona de estudio.

COMPAÑÍA	BARRENO	PROFUNDIDAD (m)	AZIMUT	INCLINACIÓN	TIPO	OBJETIVO
PRIMEROMINING	SA13-400	150.88	211°	65°	B. a Diamante	Condenación
PRIMEROMINING	SA13-401	150.27	212°	65°	B. a Diamante	Condenación
PRIMEROMINING	SA13-402	150.68	215°	65°	B. a Diamante	Condenación
PRIMEROMINING	SA13-403	151.1	206°	65°	B. a Diamante	Condenación
PRIMEROMINING	SA13-404	150.27	210°	65°	B. a Diamante	Condenación
PRIMEROMINING	SA13-405	150.27	209°	65°	B. a Diamante	Condenación
PRIMEROMINING	SA13-406	150.27	211°	65°	B. a Diamante	Condenación
CERRO RESOURCES	SA-162	306.32	30°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-190	275.56	30°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-192	336.80	30°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-193	336.80	30°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-296	312.42	30°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-297	631.05	210°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-298	370.33	30°	60°	B. a Diamante	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-299	230.12	30°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-300	650.45	210°	60°	DDHT	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-315	355.09	210°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-316	355.09	210°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-337	615.05	210°	60°	B. a Diamante	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-345	355.09	210°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-357	236.22	210°	60°	C. Inversa	Exploración
CERRO RESOURCES	SA-358	333.76	30°	60°	C. Inversa	Exploración

#### 4.1 BARRENOS DE CONDENACIÓN

Los barrenos SA13-400 a SA13-406 que perforó Primero Mining en 2013 sin ninguna anomalía importante de mineralización al final de los analisis y descripciones, dieron pauta para establecer la zona como estéril sin tener aún una geología de campo detallada. Los barrenos fueron distribuidos estratégicamente cerca de la parte este del Cerro del Gallo orientados azimutalmente de 205° a 215° y con 65° de inclinación, esto con el proposito de cortar aquellas estructuras que pudiesen haber estado siguiendo el patron NW-SE de rumbo.

Se reloguearon los barrenos de circulación inversa que Cerro Resource perforó, con el fin de correlacionar la geología con el levantameinto geológico y poder realizar las secciones correspondientes a la zona. Los barrenos no mostraron intervalos claros con una mineralización importante, a excepción de SA-192, y SA-357 donde intervalos aproximadamente de 40 cm se describieron como sulfuros masivos. (Imagen 19). Debido a la puntual aparición de estos mántos hubo poco interés por su



Figura 24. Barreno de circulación inversa donde se muestra puntual zona de sulfuros masivos.

seguimiento, a esto sumando que primordialmente la zona fue explorada por una mineralización diseminada en un alto volumen.

Sobre los barrenos de condenación se realizaron ocho secciones paralelas con vista hacia el NE donde se interpretó la geología y las estructuras logeadas así como la geología de campo obtenida en este trabajo. (anexo pag. 67-74).

La información obtenida de los barrenos de circulación inversa representó gran parte del trabajo de interpretación sin embargo los barrenos a diamante que se perforaron fueron quienes brindaron una información detallada de la zona. En parte las secciones geológicas dentro del area sirvieron como referencia estructural y estratigráfica para comprender los eventos geológicos de la zona.

## **5 RESULTADOS**

Como resultado del trabajo de campo se elaboró un mapa detallado de la geología, basado en una caracterización propia de los afloramientos y retomando algunas descripciones de geólogos que anteriormente describieron parte de la litología del área.(Figura 6)

En general el área la conformó un 50 % una densa capa de areniscas en algunos puntos con un alto grado de silicificación y en gran parte mostrando estructuras tipo boudinage de cuarzo metamórfico sin valores en Cu, Au, y Ag de acuerdo a los

resultados de ensaye de las muestras tomadas. Un 20 % del área la cubre una capa de lutitas y lutitas negras, un 15 % de tobas predominantemente las tobas de cristales, importantes zonas de sicilificación pervasiva que presentan un alto contenido de oxido de manganeso al E y NW del area, no mostraron anomalia de Ag y Au.

La parte noreste de la zona la cubre una capa de calizas arcillosas con ligera recristalización en algunos puntos, intercaladas tambien con laminillas de lutitas carbonosas que presentan ocasional vetilleo de calcita. En esta zona no se encontraron estructuras que fueran la guía para una mineralización importante, a excepción de un dique de composición máfica, que corre NW-SE cuya roca encajonante no presenta una alteración clara.

Sobre los arroyos principales del área de estudio afloran rocas intrusivas de compocisión monzonitica cuyo emplazamineto no genera ningun tipo de alteración o mineralización clara, analizando los resultados de la geoquímica, las zonas donde aparecen puntuales anomalias de Au, Ag y Cu son zonas con una relativa cercania al halo alteración del Cerro del Gallo.

Pocos indicios de hidrotermalismo se pudieron observar en campo, vetillas de cuarzo no mayores a 3 cm se observaron en lutitas y puntualmente en calizas, algunas brechas de clastos angulosos cementadas por un cuarzo de baja temperatura, se encontraban rellenando fracturas no mayores a 5 cm de ancho hacia el NW del área. (Imagen 20).



Figura 25. Brecha cementada por cuarzo de baja temperatura.

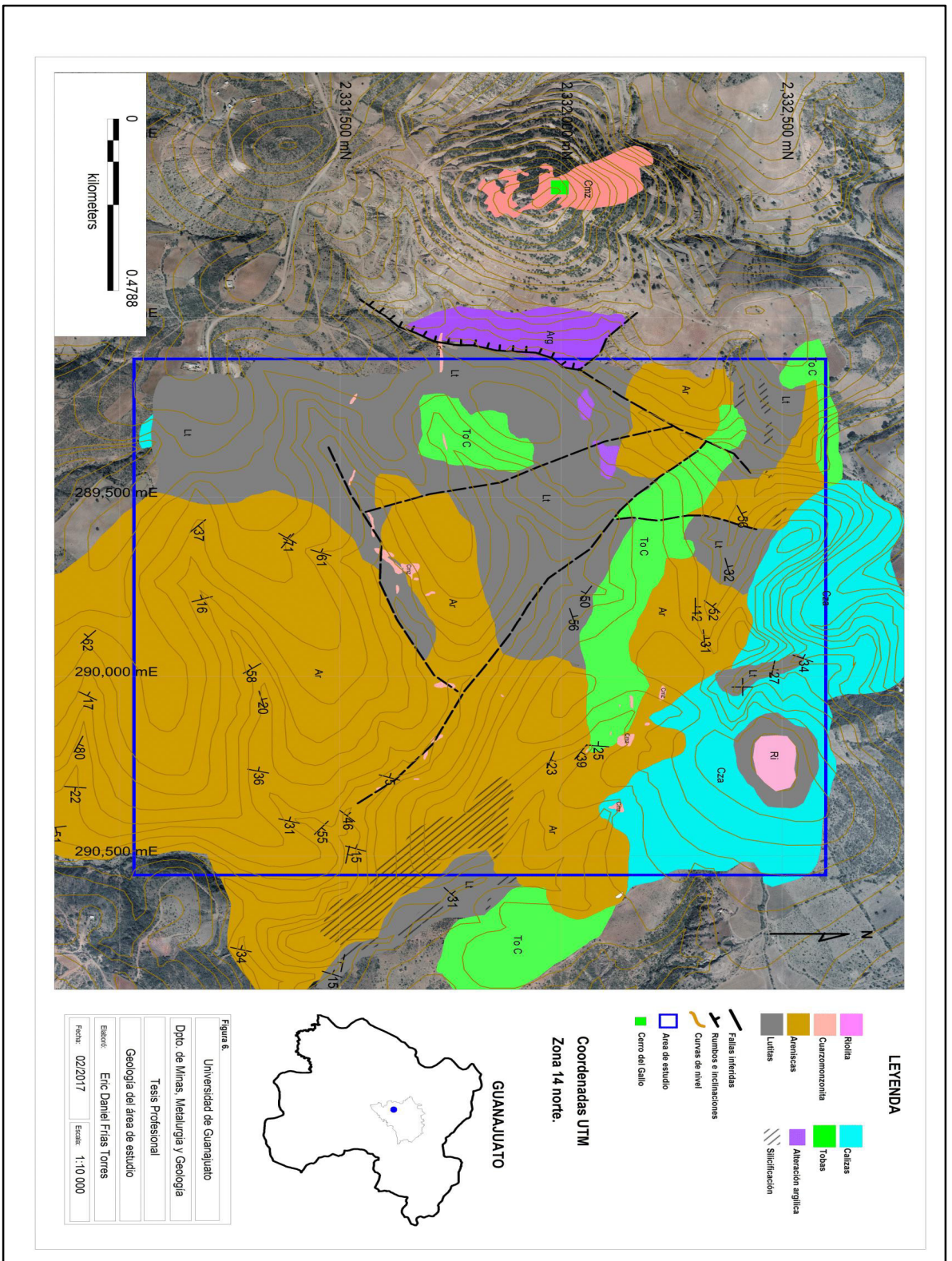


Figura 26. Geología del area de estudio.

Los barrenos perforados sobre el área no arrojaron ninguna anomalía, estructura o mineralización importante que marcaran la extensión de lo que pudo haber sido el halo de mineralización principal del Cerro del Gallo. Algunos de los barrenos intersectaron pequeños mantos de sulfuros masivos que puntualmente aparecieron a profundidades diferentes. Se observó también que la zona está afectada por un sistema de fallas en su mayoría del tipo normal y con importantes desplazamientos.

## **6. DISCUSIÓN**

### **6.1 Mineralización Diseminada.**

Probablemente la geología estructural juega un papel importante en la discontinuidad de la mineralización diseminada, se propone que un sistema de fallas hayan sido las delimitantes, principalmente una con dirección N45°E y buzamiento hacia el SE, y que claramente se observa hacia el este del Cerro del Gallo, puede suponerse que hubo desplazamiento importante de bloques mineralizados.

Si consideramos un modelo clásico de un pórfido de cobre las diferentes zonas de alteración incluyendo la mineralización se generaran dependiendo del área que cubra el cuerpo plutónico, es decir según la forma del cuerpo intrusivo será el halo de alteración resultante. (Universidad de Chile Victor Makshev 2004), Otra opción sería que la zona de debilidad o conducto por donde el cuerpo mineralizante ascendió y se emplazó haya tenido una orientación NE-SW y buzamiento SE, favorables para que el halo de mineralización tomara la dispersión o “forma” que hoy en día presenta, y por ello se restrinja hacia la parte este.

## 6.2. Otros Depósitos.

### 6.2.1 Depósitos de Sulfuros Masivos Vulcanogénicos (VMS)

Como se mencionó anteriormente las rocas sedimentarias que afloran en el área, originalmente formadas en un ambiente marino, se propone probablemente fueron formadas en una cuenca de tras-arco, asociado a un arco de islas oceánico, según trabajos realizados sobre la Formación Esperanza (Mengelle-López y colaboradores), un ambiente tectónico favorable al vulcanismo submarino, que generó sistemas hidrotermales en el fondo marino, y con ello depósitos del tipo VMS a lo largo de toda la cuenca. En la zona de estudio estos depósitos fueron evidentes en algunos barrenos, sin embargo los mantos de sulfuros masivos cortados fueron de dimensiones pequeñas y al parecer muy puntuales, no se deben menospreciar, si no tomarlo como un indicio para la prospección de un nuevo yacimiento, aunque por ahora el interés de las compañías está sobre el diseminado del Cerro del Gallo la exploración de estos cuerpos de sulfuros masivos podrían significar un nuevo proyecto a futuro.

### 6.2.2 Depósitos tipo Skarn

Se ha debatido acerca las rocas carbonatadas que conforman a la Formación Esperanza y varios autores coinciden en que el ambiente de formación fue un ambiente marino somero, incluso han propuesto separarlas en una sola unidad, *Formación Valenciana*, (Martini y colaboradores 2011), se han descrito como calizas silíceas (Mengelle-López y colaboradores) formadas principalmente por material detrítico de composición máfica (Miranda Avilés y colaboradores 2016), con ello podemos suponer que debido al material y a la formación no meramente química de estas rocas sino una mezcla de sedimentos terrestres y pocos carbonatos, el resultado fueron una variedad de calizas arcillosas que al ser intrusionadas por cuerpos ígneos



no representaron un metasomatismo importante para una mineralización económica y poder hablar de un depósito tipo Skarn. Pero esto puede deberse a otras razones, principalmente a la composición de los cuerpos intrusivos que afectan estas rocas, es decir se necesitan escenarios ideales de temperaturas y presiones así como de profundidades, para que un depósito tipo Skarn se forme, en la zona de estudio los cuerpos intrusivos y los fluidos mineralizantes tal vez no cumplen las características para que exista una reacción química de metasomatismo y con ello la formación de minerales de mena.

Reportes internos de la compañía mencionan la aparición de rocas ligeramente skarnificadas cerca de la zona de estudio, determinando minerales calcosilicatados con ayuda de estudios petrográficos, sin embargo el no encontrar minerales de mena en estas rocas podría deberse a lo mencionado anteriormente, o bien tendríamos que hablar de una exploración a mayor profundidad.

### 6.3 Condenación del Área de Estudio.

Con los resultados de este trabajo, la interpretación y el análisis que se llevaron a cabo, se tienen las bases para poder dar un dictamen de manera confiable sobre si es adecuado construir en la zona y delimitarla como estéril o bien si existe la posibilidad de continuar con proyectos de exploración debido a algún tipo de mineralización que sea económicamente extraíble.

Algunas de las propuestas e interpretaciones que se realizaron con base en la información proporcionada por la empresa, la información recabada en campo, literaturas e ideas propias, se establecieron hipótesis de algunos eventos, o condiciones que ocurrieron dentro de la zona de estudio sin embargo es difícil establecer los verdaderos sucesos a los que el terreno estuvo sujeto, aunque existen hoy en día métodos y herramientas sofisticados para llevar a cabo un estudio

tan detallado y profundizado como se requiera, en este caso como se trata de un área la cual se quiere destinar para la construcción de presas de lixiviación una vez iniciando la operación en la mina, basta un estudio sencillo de carácter geológico como el presente, para determinar que la zona este libre de mineralización y evitar que en un futuro se tengan que desarrollar trabajos de desmantelamiento debido que se encuentre la extensión de la mineralización u otro posible depósito en el sitio.

## **7 CONCLUSIONES**

1) Se concluye que la mineralización diseminada del Cerro del Gallo no se extiende hacia la parte este, y que está delimitada por una posible falla. Aunque un gran número de intrusiones félsicas de tipo monzoníticas afloran en el área no se presentó mineralización alguna relacionada a estas.

2) En el área se encontró poca evidencia de hidrotermalismo, por lo que se descarta la posibilidad de encontrar estructuras vetiformes mineralizadas importantes.

3) Los barrenos SA13-192 y SA13-357 a profundidad cortaron puntuales intervalos de sulfuros masivos, sin embargo las dimensiones y la continuidad de estos no representan un motivo para considerar que en la zona exista un depósito del tipo VMS económico.

4) Mediante secciones geológicas se determinó un sistema de fallas que afecta al terreno de manera importante sin embargo no representan condiciones de riesgo para futuras obras de construcción.

5) Se concluye que el área de estudio es un área estéril, libre de depósitos minerales por lo menos hasta los 400 m de profundidad y que es apta para la construcción de tepetateras y planillas de lixiviación o para usos varios de obra civil.

## **8 RECOMENDACIONES**

1) Programar barrenos de condensación hacia la parte NE y SE de la zona para completar la información de la geología a profundidad que se tiene.

2) Ampliar el muestreo de suelos cubriendo en su totalidad el área de estudio y hacer un análisis geoquímico completo.

3) Hacer un estudio enfocado en la geotecnia de la zona para conocer la estabilidad del terreno debido al importante fallamiento que se observó con la barrenación.

4) Hacer un análisis estructural enfocado en desplazamientos de las principales fallas, para poder proponer la dirección de una posible continuación de la mineralización diseminada del Cerro del Gallo.

5) Ampliar la exploración hacia el sur y fuera del área de estudio en dirección al tajo de filitas Vitromex, donde durante los caminamientos para el desarrollo de este trabajo se observaron estructuras vetiformes con texturas típicas de hidrotermalismo.

# ANEXOS

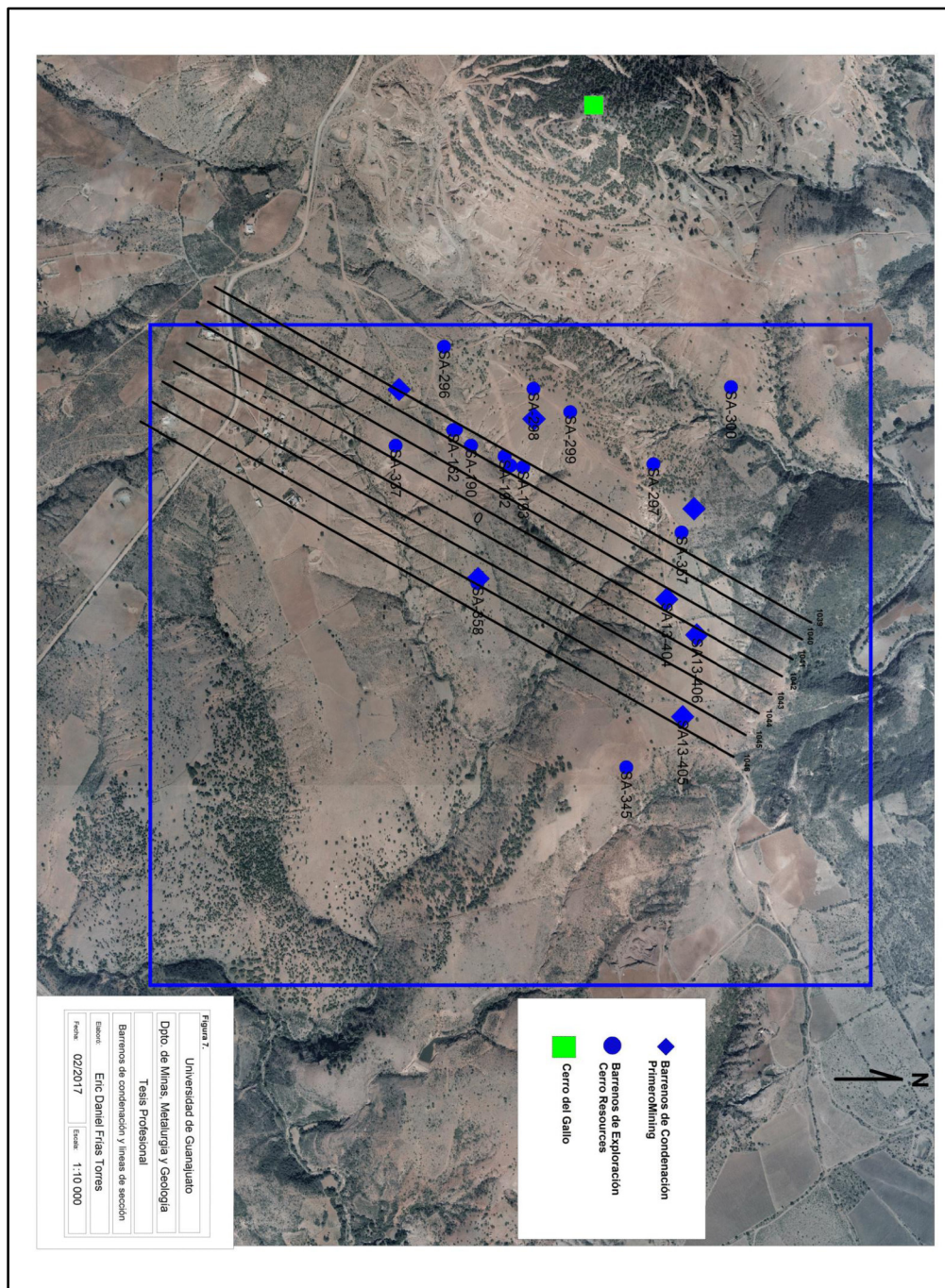


Figura 27. Líneas de sección y localización de los barrenos de exploración.

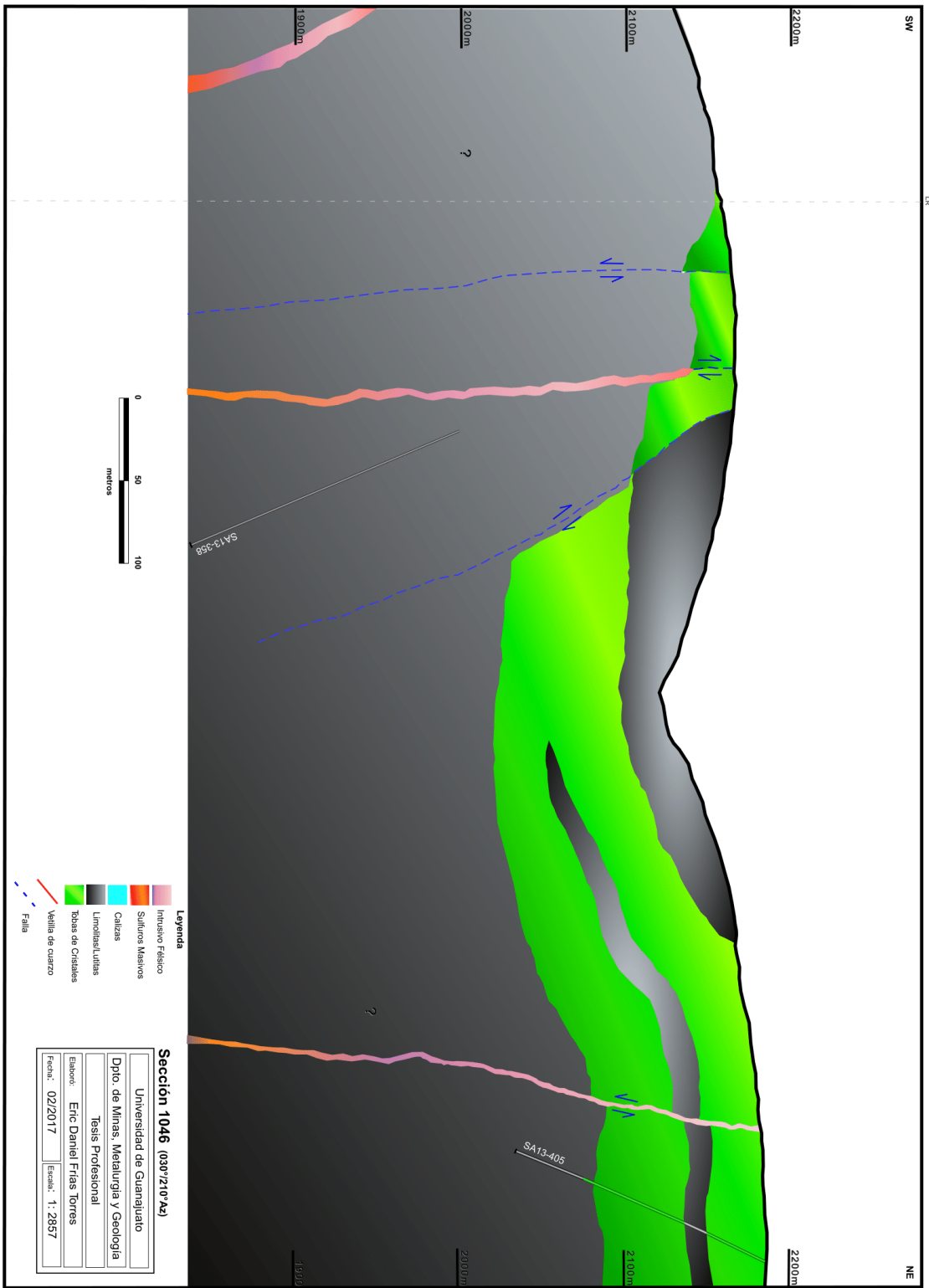


Figura 28.

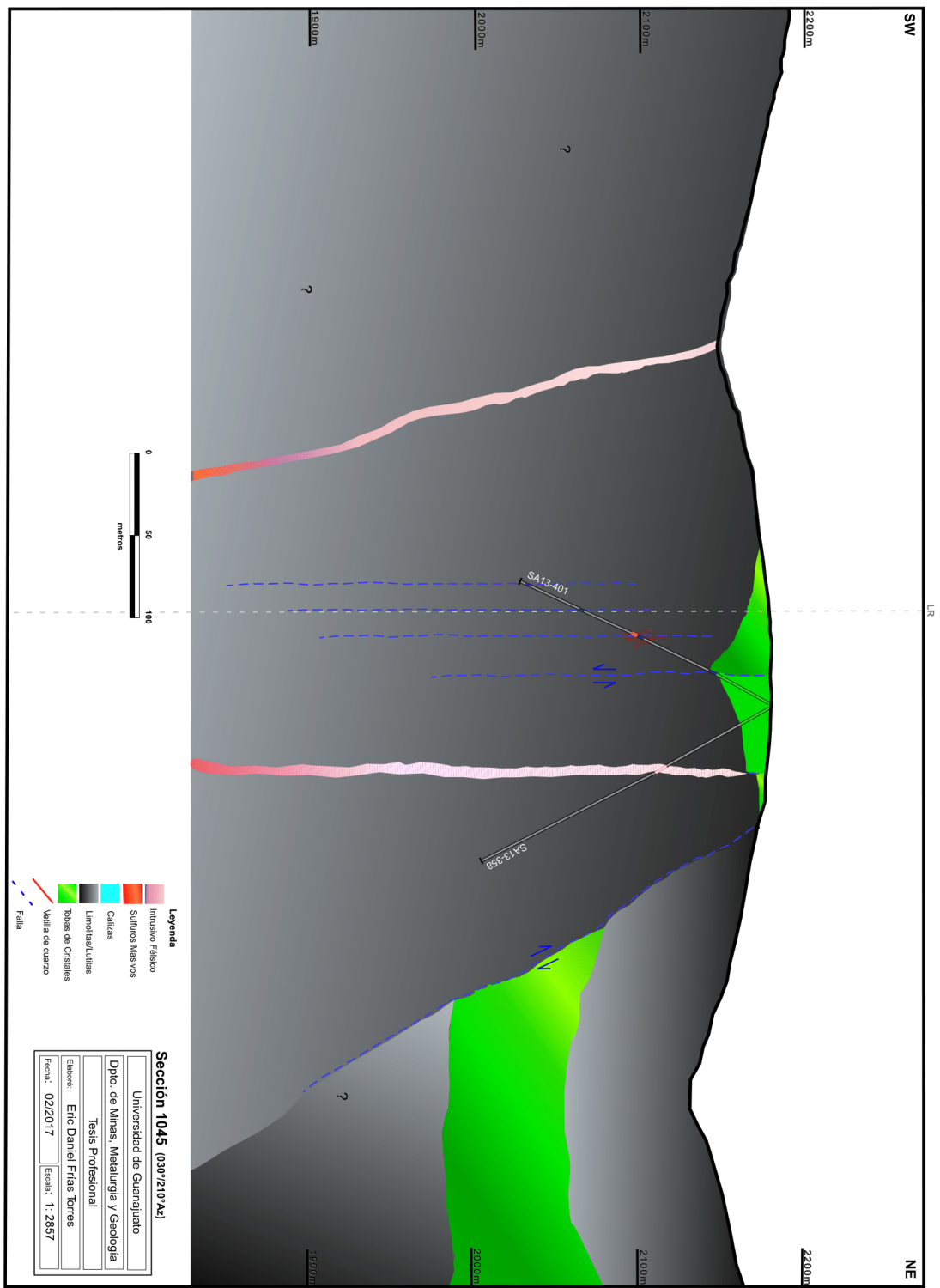


Figura 29.

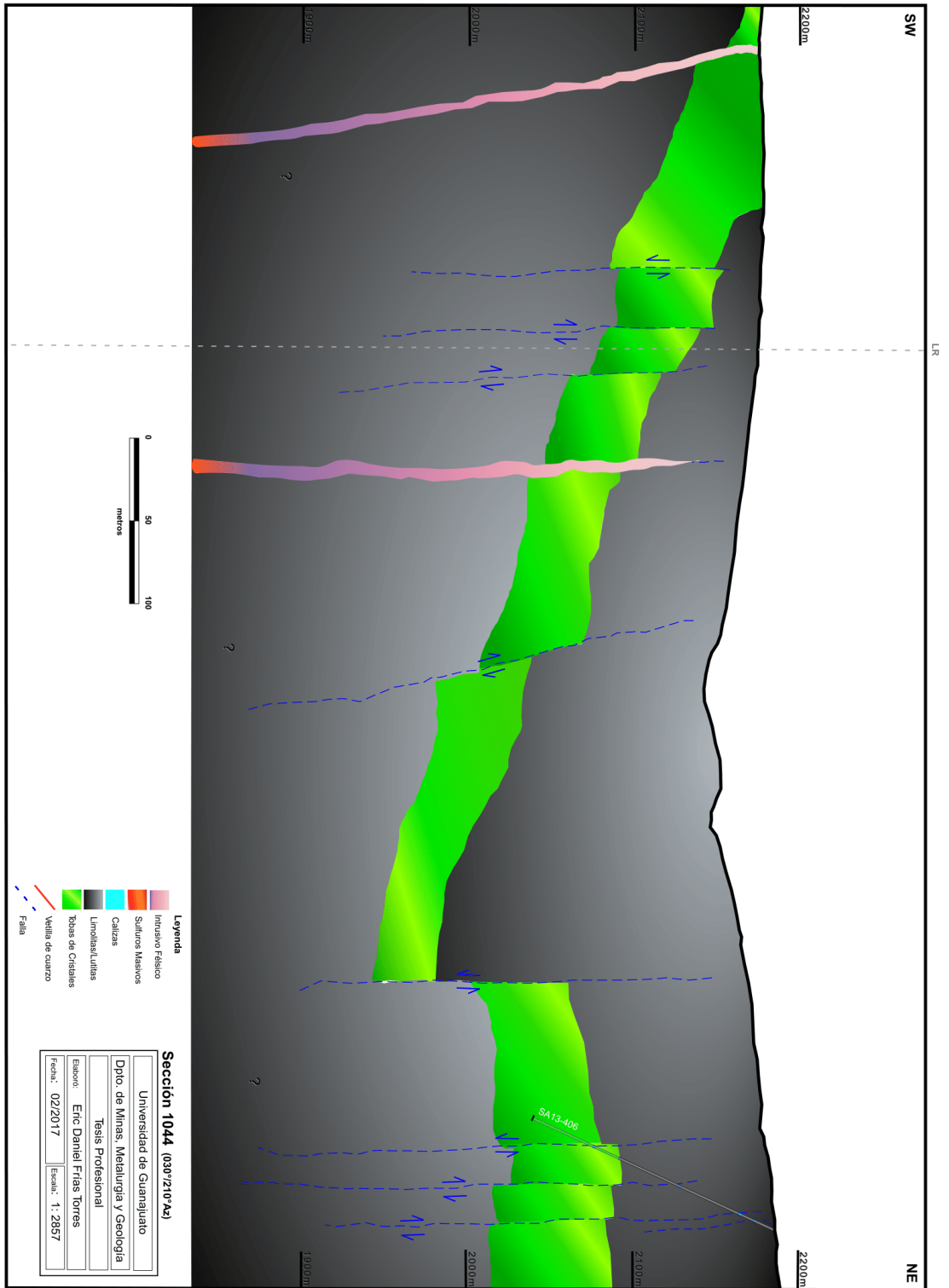


Figura 30.

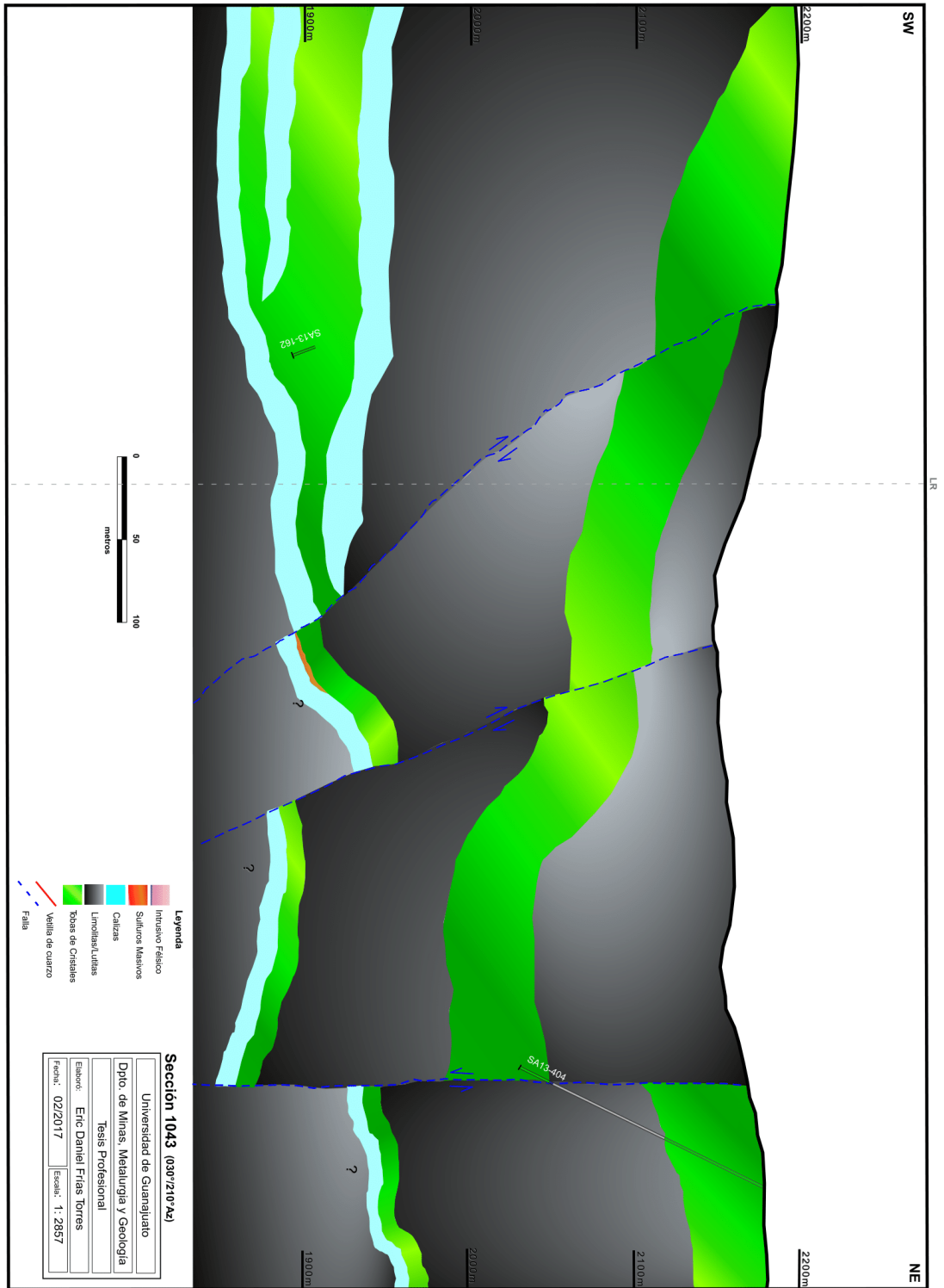


Figura 31.



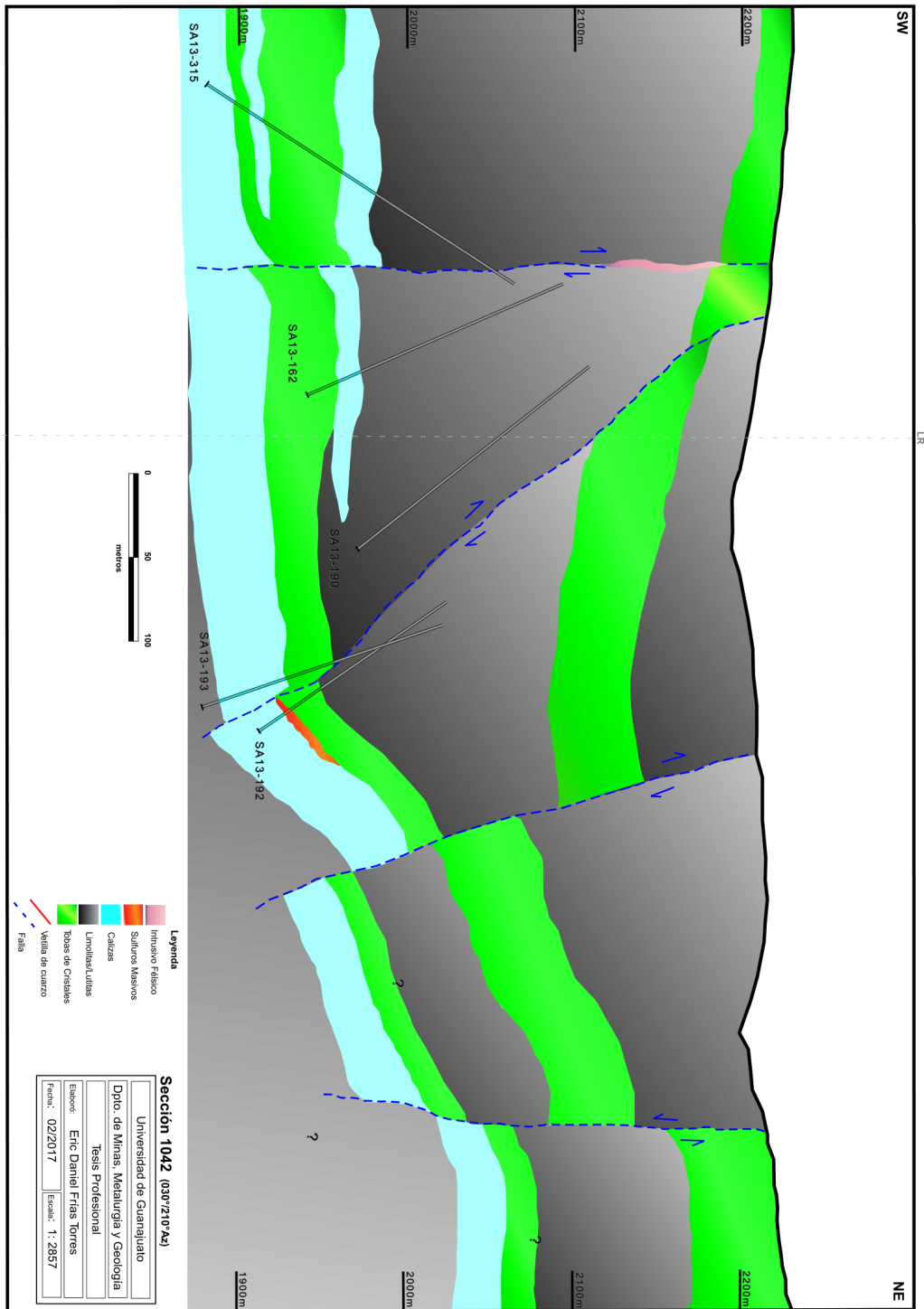


Figura 32.

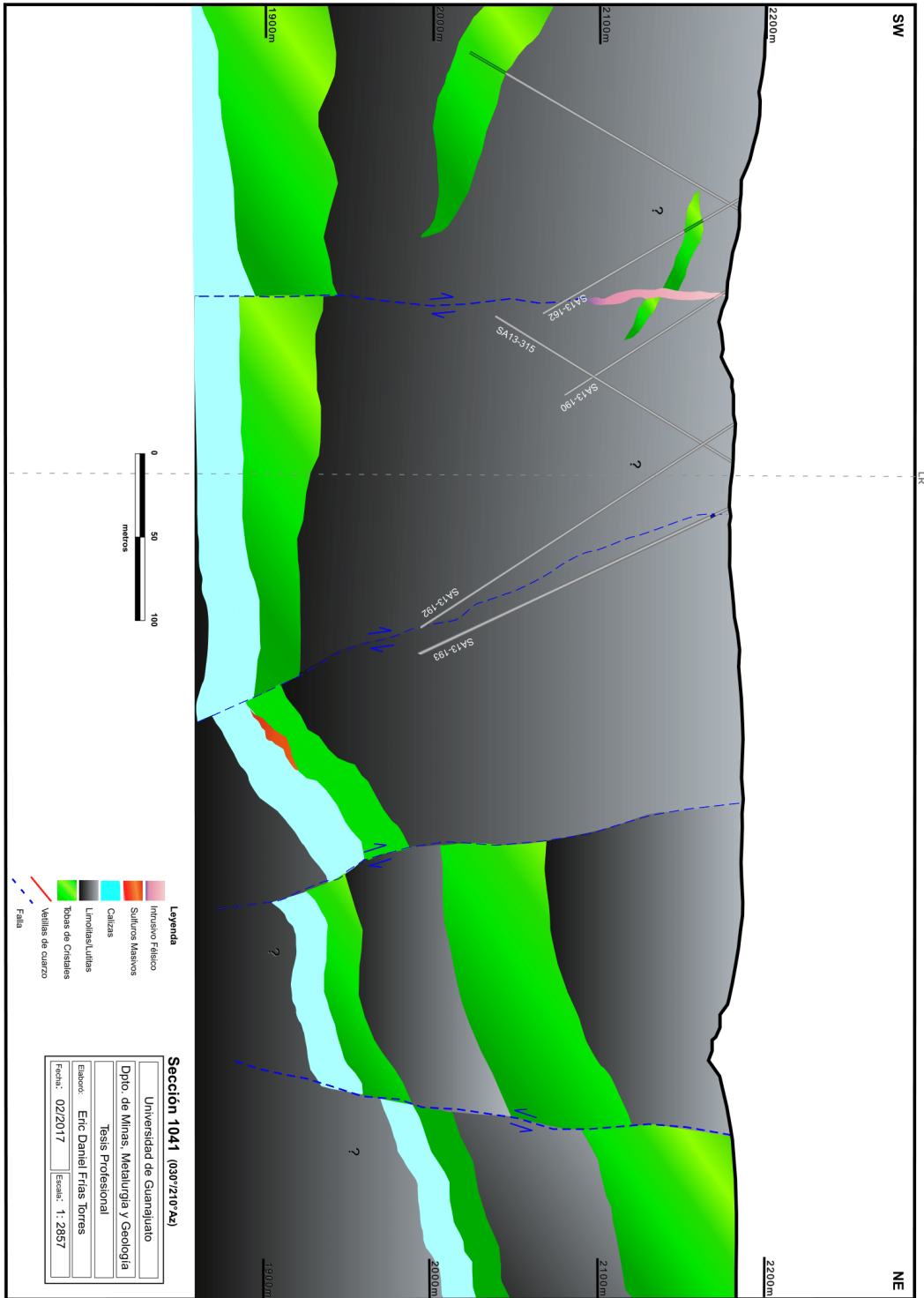


Figura 33.

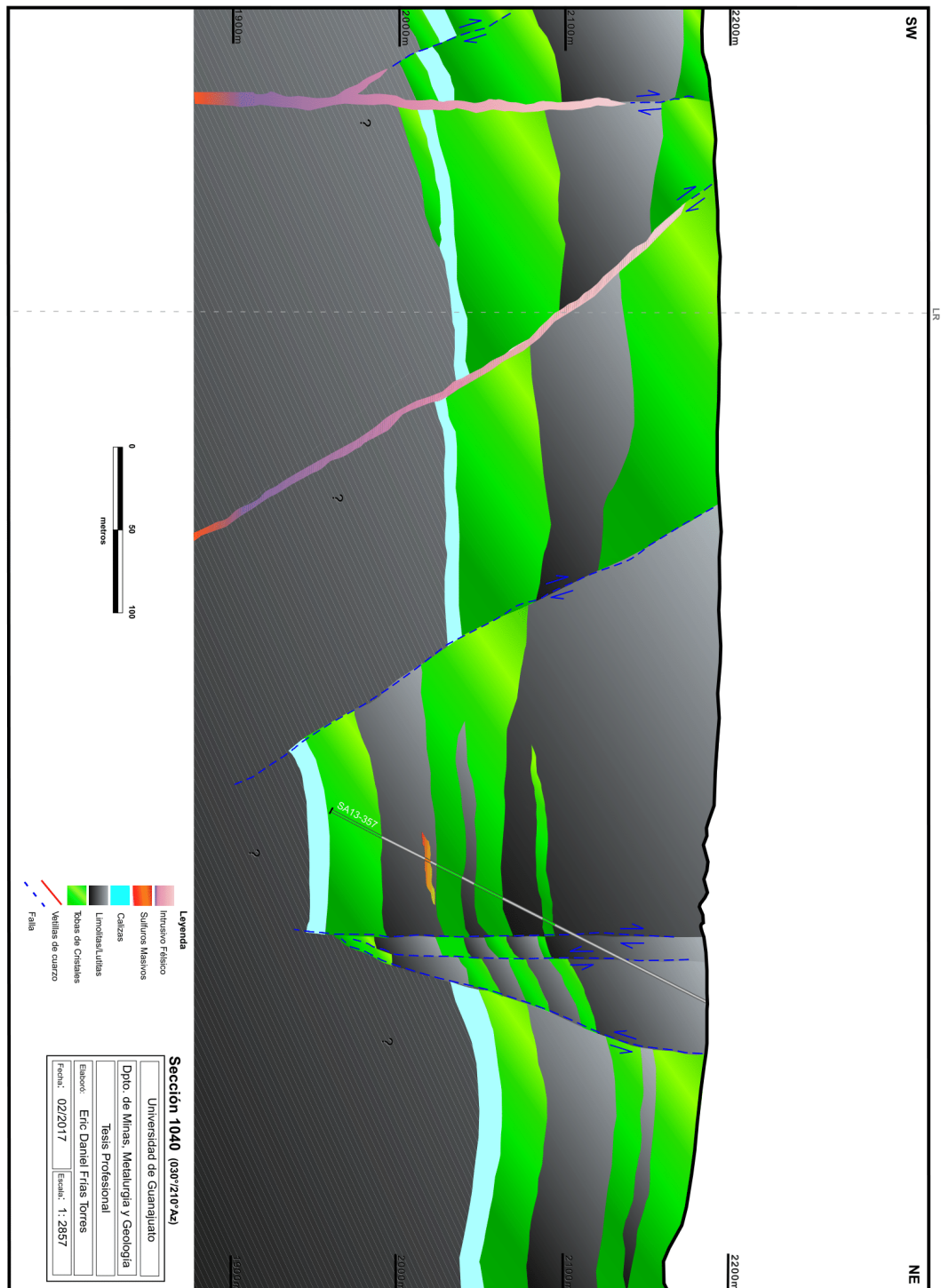


Figura 34.

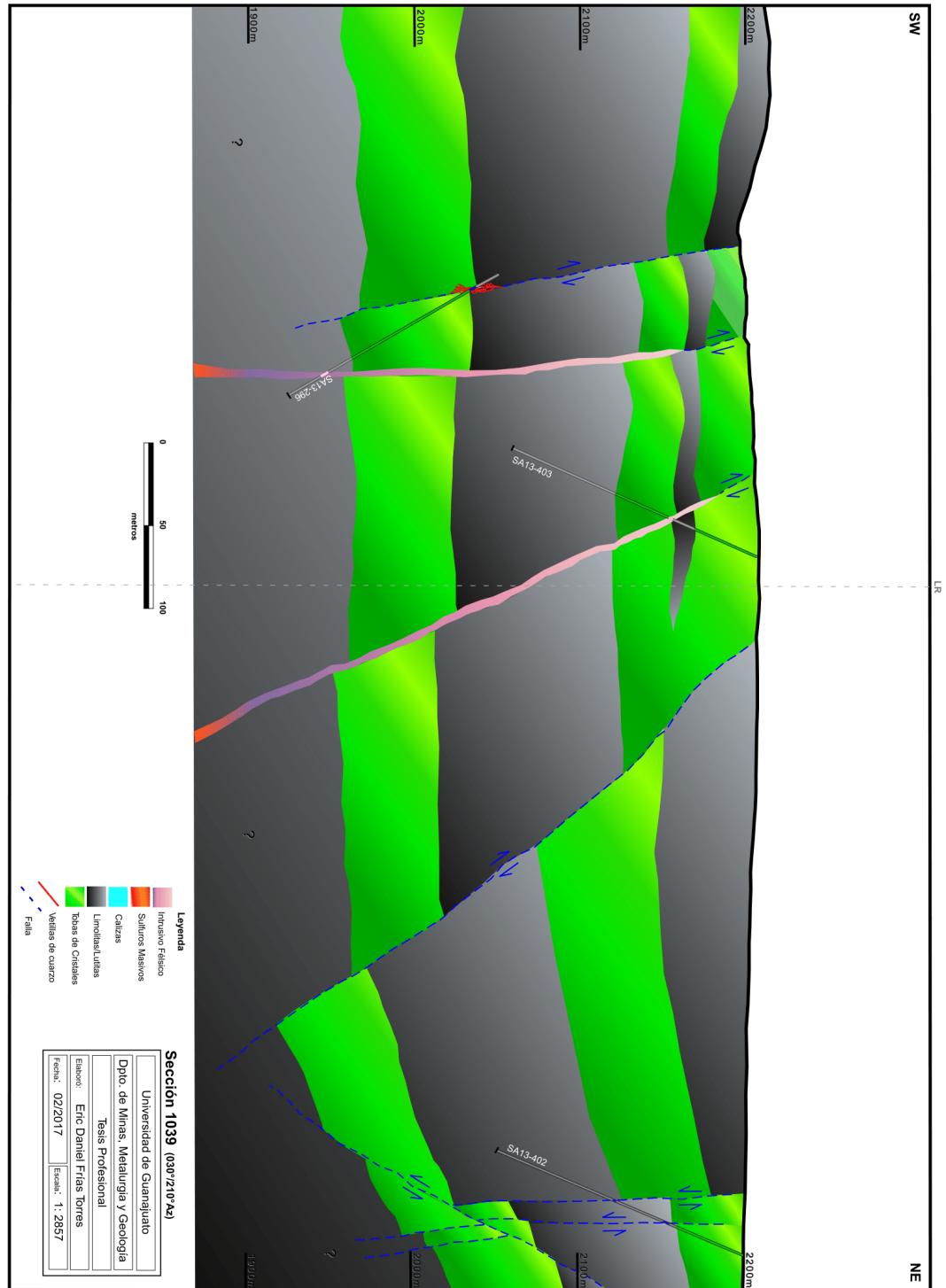


Figura 35

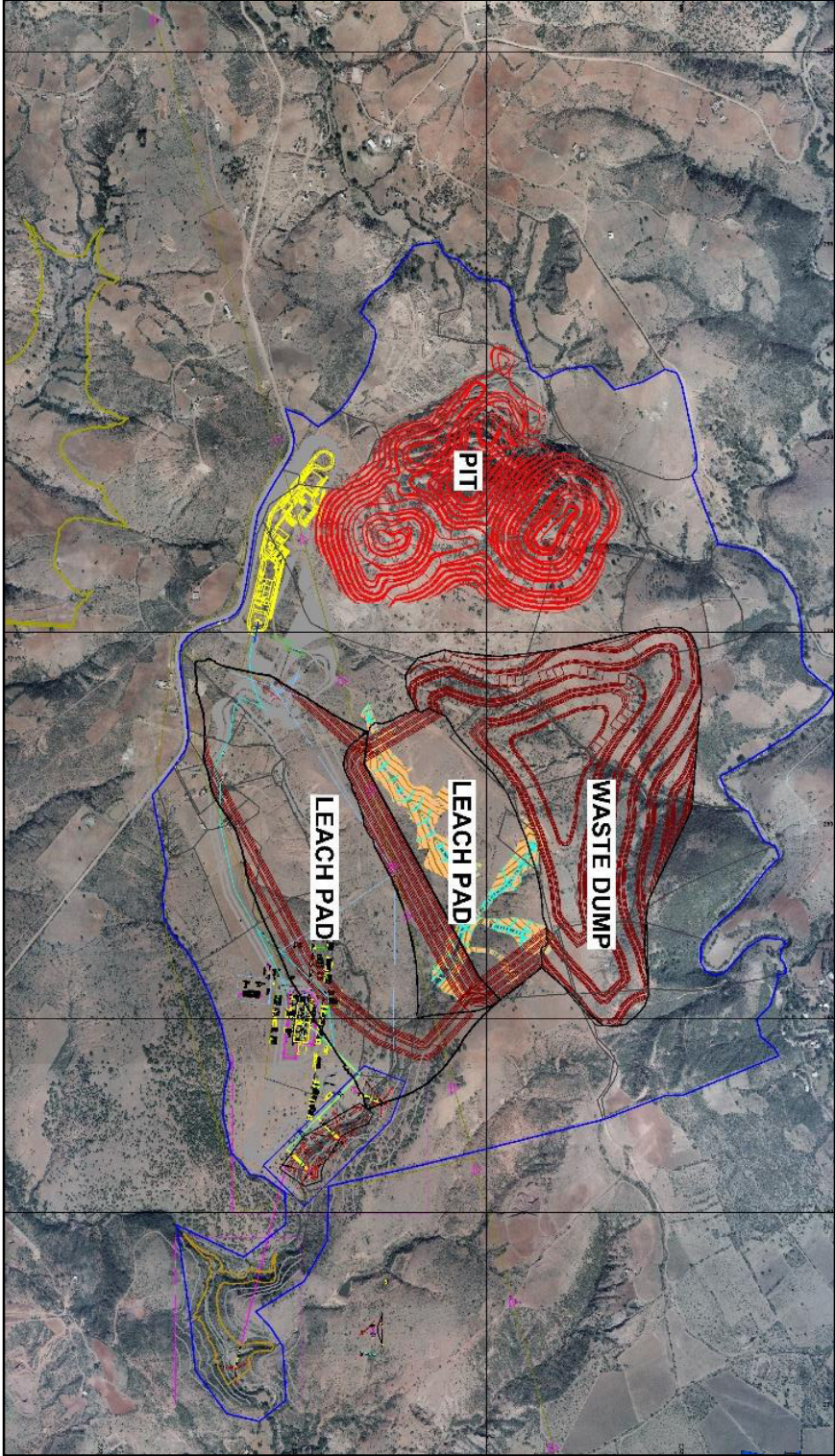


IMAGEN NO. 21. Proyecto de tepetateras y presas de lixiviación en Cerro del Gallo.

Figura 36. Proyecto de tepetateras y presas de lixiviación en Cerro del Gallo.

## REFERENCIAS

- Bill Fleshman, Tim Carew y Jhon Skeet Coe 2010 Technical Report Preliminary Assessment Cerro del Gallo Project, Guanajuato México. Prepared for San Antón Resource Corporation, Toronto Canada. Project Manager, Kings Minerals NL (Geologist, FA US IMM)
- CONABIO 2012 Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Guanajuato parte 1. Diagnóstico pag. 9-47
- Godínez Mireles Alfonso , Miranda Avilés Raúl, Rodríguez Huerta Víctor Hugo. Revista de Divulgación Científica - Variación Mineralógica y Geoquímica en Facies Carbonatadas de la Cuenca Arperos-Sierra de Guanajuato.
- Iain Groves, 2007. San Anton Project Carmen Providencia, Espiritu Santo, Ave de Gracia Epithermal Quartz Vein System- Geological Report, 1:2500 scale mapping project. 24<sup>th</sup> april 2007 to 21<sup>st</sup> may 2007. Insight Geology
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2015.-Mapa digital de México.
- Jorge Jaime Mengelle-lópez Carles Canet, Rosa María Prol-Ledesma, Eduardo González-Partida, Antoni Camprubí. 2013 Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana vol 65, núm. 3, p. 511-525 Secuencia Vulcano-Sedimentaria la Esperanza (Cretácico Inferior) al norte de Guanajuato, México: Importancia en la Exploración de Sulfuros Masivos Vulcanogénicos.
- José Echegoyen Sanchez, Saul Romero Martínez, Sergio Velásquez Silva, 1970 Geología y Yacimientos Minerales de la Parte Central del Distrito Minero de Guanajuato. Consejo de Recursos Naturales no Renovables.

Leyvictor Maksaev 2004 Universidad de Chile - Porfidos Pupriferos depósitos de Cu (Mo) de gran tonelaje y baja, Facultad de Ciencias Fisicas y Matemáticas, Departamento de Geologia pag. 10-12.

Mariana Elizabeth Coutiño Taboada 2015 Correlación Estratigráfica de las Unidades del Terciario Medio del Distrito Minero de Guanajuato, Gto. pag. 55-58.

Martini, M., Mori., Solari, & Centeno-García, e. (2011). Sandstone Provenance of the Arperos Basin (Sierra de Guanajuato, Central Mexico): Late Jurassic–Early Cretaceous Back-arc Spreading as the Foundation of the Guerrero Terrane. *The Journal of Geology*, 603-604.

Meave Pérez 1990 Proyecto de exploración; 1.- Programa de Barrenación y 2.- Estudio de Orientación Geoquímica, vetas el Carmen y Providencia, San Anton de las Minas Dolores Hidalgo Gto.

PH Consultores 2013 Informe Preventivo-Impacto Ambiental, Proyecto de Exploración Minera Directa Cerro del Gallo página iii-85, iii.4.2.d Hidrología Superficial. iii.4.2.d.1 Cuenca del Río Laja. iii.4.2.e.1 Unidades Geohidrológicas.

Puy-Alquiza María Jesús 2011 Caracterización petrofísica de la Formación Loseros en la arquitectura histórica de la ciudad de Guanajuato, México.

