



UNIVERSIDAD DE SONORA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y  
NATURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**METODOLOGÍA PARA LA EXPLORACIÓN,  
UTILIZANDO PERFORACIÓN CON  
DIAMANTE, EN EL YACIMIENTO  
MINERAL “LOS HUMOS”, MPIO. DE  
CABORCA, SONORA.**

*MEMORIA DE PRÁCTICAS PROFESIONALES*

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**GEÓLOGO**

PRESENTA:

**JOSÉ ARMANDO VERDUGO GONZÁLEZ**



**HERMOSILLO, SONORA, JUNIO 2018**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Hermosillo, Sonora, 14 de junio, 2018

**DRA. SILVIA MARTINEZ RETAMA**  
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
PRESENTE.-

Por medio de la presente y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración el siguiente tema de Memoria de Prácticas Profesionales, intitulada:

**METODOLOGÍA PARA LA EXPLORACIÓN, UTILIZANDO PERFORACIÓN CON  
DIAMANTE, EN EL YACIMIENTO MINERAL "LOS HUMOS", MPIO. DE  
CABORCA, SONORA.**

Lo anterior es con el fin de que el alumno **JOSÉ ARMANDO VERDUGO GONZÁLEZ** con **Expediente No. 213207331**, pueda presentar su examen profesional para la obtención de su título de licenciatura.

En espera de su respuesta, quedo de Usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**  
  
**M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ** hijos  
**ASESOR DE MEMORIA** para mi grandeza  
**DEPARTAMENTO**  
**DE GEOLOGIA**

C.c.p. Interesado.

---



# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, 15 de junio, 2018

**M.C. RICARDO AMAYA MARTÍNEZ**  
**ASESOR DE MEMORIA**  
P R E S E N T E.-

Por este conducto y de la manera más atenta, le comunico que ha sido aprobado el tema de memoria por la opción de Prácticas Profesionales propuesto por Usted intitulado:

**METODOLOGÍA PARA LA EXPLORACIÓN, UTILIZANDO PERFORACIÓN  
CON DIAMANTE, EN EL YACIMIENTO MINERAL "LOS HUMOS", MPIO.  
DE CABORCA, SONORA.**

Esto es con el fin de que el alumno **JOSÉ ARMANDO VERDUGO GONZÁLEZ** con **Expediente No. 213207331**, pueda obtener su título de Licenciatura. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>ING. JAIME ESTEBAN ISLAS LÓPEZ</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO</b>
<b>VOCAL</b>	<b>M.C. RICARDO AMAYA MARTÍNEZ</b>

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedo de Usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**

  
**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO.**



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza  
DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

## UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

### NOMBRE DE LA MEMORIA DE PRÁCTICAS PROFESIONALES:

**METODOLOGÍA PARA LA EXPLORACIÓN, UTILIZANDO PERFORACIÓN  
CON DIAMANTE, EN EL YACIMIENTO MINERAL "LOS HUMOS", MPIO.  
DE CABORCA, SONORA.**

### NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

**JOSÉ ARMANDO VERDUGO GONZÁLEZ**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta memoria y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

**ING. JAIME ESTEBAN ISLAS LÓPEZ**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta memoria y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

**M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta memoria y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

**M.C. RICARDO AMAYA MARTÍNEZ**

**A T E N T A M E N T E**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**

**DRA. SILVIA MARTINEZ RETAMA**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO**

C.c.p. Archivo.



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza  
**DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA**

*“Todos los que te conocen siempre preguntan si tienes una carrera, si estás casado o si posees una casa, pareciera como si la vida fuera algún tipo de lista de comestibles; sin embargo, nadie nunca pregunta si eres feliz”.*

*-Heath Ledger*

*“Lo que sabemos es una gota; lo que ignoramos es un océano”.*

*-Isaac Newton*

# ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>3. OBJETIVO DE LAS PRÁCTICAS PROFESIONALES</b>	<b>3</b>
<b>4. MÉTODO DE TRABAJO</b>	<b>3</b>
4.1. Recopilación bibliográfica	3
4.2. Trabajo de campo y área de logueo	4
4.3. Trabajo de gabinete	4
<b>5. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA</b>	<b>4</b>
<b>6. ÁREA Y DEPARTAMENTO DE LAS PRÁCTICAS</b>	<b>5</b>
<b>7. DESARROLLO DE PRÁCTICAS PROFESIONALES</b>	<b>10</b>
<b>7.1. PERFORACIÓN CON DIAMANTE</b>	<b>10</b>
<b>7.2. GEOTECNIA</b>	<b>12</b>
7.2.1. Recolección de cajas porta-testigos	12
7.2.2. Cajas porta-testigos	13
7.2.3. Medición de recuperación y fondeo	14
7.2.3.1. Medida de la recuperación vs reportes de contratistas	14
7.2.3.2. Marcar el fondo de las cajas	14
7.2.3.3. Rotulado	14
7.2.4. Porcentaje de recuperación y medición de RQD	15
7.2.4.1. Porcentaje de recuperación	16
7.2.4.2. Medición de RQD	16
7.2.5. Intervalos de muestreo	17
7.2.6. Registro fotográfico	18
7.2.7. Logueo del núcleo	20
7.2.8. Peso específico	21
7.2.9. Procedimiento de muestreo para toma de lectura con NITON	24
7.2.9.1. Preparación del equipo	25
7.2.9.2. Corte	26
7.2.9.3. Recuperación de muestra	27
7.2.9.4. Análisis de las muestras con NITON	29
7.2.10. Corte del núcleo	30
7.2.11. Muestreo y envío a laboratorio	32
7.2.12. Susceptibilidad magnética	33
7.2.13. Reconocimiento del área de estudio en campo	34



<b>8.</b>	<b>PROYECTO LOS HUMOS</b>	<b>35</b>
<b>8.1.</b>	<b>ANTECEDENTES DEL PROYECTO LOS HUMOS</b>	<b>36</b>
8.1.1.	Trabajos previos	36
<b>8.2.</b>	<b>GEOGRAFÍA</b>	<b>36</b>
8.2.1.	Clima	36
8.2.2.	Fisiografía	36
8.2.3.	Localización del área de estudio	39
<b>8.3.</b>	<b>GEOLOGÍA</b>	<b>40</b>
8.3.1.	Geología regional	40
8.3.1.1.	Precámbrico	40
8.3.1.2.	Paleozoico	41
8.3.1.3.	Mesozoico	42
8.3.1.3.1.	Triásico	42
8.3.1.3.2.	Jurásico	42
8.3.1.3.3.	Cretácico	43
8.3.1.4.	Cenozoico	44
8.3.2.	Geología local	46
8.3.2.1.	Geología del proyecto Los Humos	46
8.3.2.2.	Mesozoico	46
8.3.2.3.	Cenozoico	47
8.3.2.4.	Estructuras	49
8.3.3.	Tipo de yacimiento mineral	50
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>10.</b>	<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>51</b>
<b>11.</b>	<b>DEDICATORIA</b>	<b>52</b>
<b>12.</b>	<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>53</b>
<b>13.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>55</b>

# 1. RESUMEN

En el presente trabajo son descritas y explicadas las diferentes actividades que desarrollé durante mi periodo de prácticas profesionales, comprendidas del 03 de Julio al 04 de Agosto, de 2017. con la ayuda de geólogos, personal de seguridad, perforistas y empleados capacitados, en la empresa EXPLORACIONES MINERAS PEÑOLES, S.A DE C.V, haciendo enfoque en este trabajo principalmente en el proyecto de exploración “Los Humos”.

Durante dicho periodo y por conveniencia personal, colaboré en los proyectos “Los Humos” y “San Lucas”, ubicados en diferentes localidades en el estado de Sonora y ambos pertenecientes a la misma empresa. El primero de ellos se localiza al noreste de la ciudad de Caborca y el segundo al noreste del poblado de Bacanora. La metodología descrita en este documento de Memorias de Prácticas Profesionales, para obtener el Título de Geólogo, la metodología empleada por los trabajadores, así como mi trabajo realizado en ellos es el mismo para ambos proyectos.

Las prácticas profesionales son una experiencia agradable y enriquecedora, con la cual una persona aprende diferentes sistemas de trabajo y metodologías, que ayudan a comprender y desarrollar conocimientos y habilidades, ya adquiridas y nuevas, las cuales le ayudaran desarrollarse tanto académicamente como laboralmente.

En el proyecto con ayuda de personal capacitado trabaje y colabore en diversas actividades las cuales con su ayuda pude desarrollar, dichas actividades son principalmente las que tratare de explicar lo más breve y conciso posible para que el lector tenga una buena comprensión y lectura.

El presente trabajo se enfocará en dar a conocer las actividades y metodología del trabajo realizada por la empresa Peñoles, para tener un rendimiento óptimo, eficaz y exitoso en la exploración. Así como también, mencionar las diversas áreas de trabajo con las que cuenta la empresa y como deben de interactuar, unas con otras, con la finalidad de alcanzar los objetivos y metas contemplados dentro de la realización del proyecto de exploración. . El avance y desarrollo del proyecto consta de varias etapas, todas ellas de vital importancia; destacando entre ellas la perforación con diamante, misma que está relacionada con una serie

de actividades, dentro de las cuales se pueden mencionar: la alineación de máquinas de perforación así como del ángulo de perforación, sistema de almacenamiento de muestras y núcleos, el transporte mismo de las cajas porta-testigos, la verificación de que las muestras se encuentren ordenadas y con el metraje correcto, el rotulado de las cajas porta-testigo, la medición del porcentaje de recuperación y medición del RQD, la colocación correcta de los intervalos de muestreo, toma de foto de alta definición de la caja porta-testigos, el logueo de los testigos o núcleos, el peso específico de las muestras, un correcto procedimiento para el análisis de muestras con NITON, corte del testigo o núcleo para el muestreo y envío a laboratorio, toma de datos de susceptibilidad magnética, así como trabajo de campo y reconocimiento del área donde se está realizando la perforación. Todas las actividades realizadas en dichas áreas tienen la finalidad y el objetivo fundamental de establecer una metodología funcional, correcta y sobre todo eficiente, que permita y facilite la ejecución de las diferentes etapas contempladas y calendarizadas para la realización del proyecto de exploración.

## **2. INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo se describen y detallan, en una primera parte, las diversas actividades que realicé en el transcurso de mis Prácticas Profesionales, en el Proyecto de Exploración “Los Humos” de la empresa Peñoles. Estas prácticas me permitieron utilizar y aplicar los conocimientos adquiridos durante mi trayectoria en la Licenciatura en Geología y al mismo tiempo, me permitieron tener una mejor visión en el ámbito laboral y el netender la forma de interactuar con el personal técnico y administrativo de la empresa.

En el presente documento, que corresponde a una “Memoria de Prácticas Profesionales”, se explicará de manera detallada cual es y en que consiste la metodología óptima durante la perforación con diamante y también de que manera interactúan las diferentes áreas de trabajo involucradas, con las cuales todo proyecto de exploración debe de contar para lograr obtener buenos resultados. Por otra parte, este documento es utilizado como una opción de titulación en la Licenciatura de Geología y en su contenido se incluyen las principales actividades desarrolladas durante la realización de las Prácticas Profesionales

en el proyecto de exploración “Los Humos”, que en su momento fueron reportadas en el Informe de Actividades de las mismas prácticas.

### **3. OBJETIVO DE LAS PRÁCTICAS PROFESIONALES**

El objetivo fundamental de las Prácticas Profesionales es básicamente consolidar la formación profesional de los estudios de geología a través del aprendizaje, que les permita desarrollar competencias profesionales con contextos laborales vinculados estrechamente con la formación profesional, integración de conocimientos, habilidades y aptitudes adquiridos en el aula, así como también un claro entendimiento del manejo y comportamiento del ámbito laboral por medio de las mismas.

### **4. MÉTODO DE TRABAJO**

Durante la realización de estas prácticas se participó en diferentes actividades, las cuales pueden ser descritas de la siguiente manera:

- 1) Recopilación bibliográfica,
- 2) Trabajo de campo y área de logueo, y
- 3) Trabajo de gabinete.

#### **4.1. Recopilación bibliográfica**

Antes de realizar cualquier tarea, ya sean visitas de campo o trabajar en el área de logueo, se debe de recopilar y analizar toda información que haya sido generada en el área del proyecto, en donde la mayoría de los documentos corresponden a informes internos, artículos publicados o tesis de Licenciatura y Maestría

## **4.2. Trabajo de campo y área de logueo**

El trabajo de campo desarrollado consistió, de manera combinada, en un reconocimiento geológico general del área donde se ubica el proyecto de exploración “Los Humos”; así como también el de conocer en detalle todo lo relacionado con las diferentes fases en el desarrollo y conducción de una exploración mineral y particularmente obtener un conocimiento generalista de las características y detalles involucrados en la perforación con diamante.

El trabajo que realicé en el área de logueo consta en el procedimiento establecido por la empresa, para tener control y calidad en la recopilación de datos de manera confiable.

## **4.3. Trabajo de gabinete**

El trabajo de gabinete consta de recopilación de información, con la cual se ayudó a interpretar información con respecto al proyecto.

# **5. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA**

La empresa EXPLORACIONES MINERAS PEÑOLES, S.A DE C.V. es una generadora de proyectos mineros que sean económicamente viables de explotación. Como resultado de esto, Peñoles ha mostrado un crecimiento constante, mediante la aplicación sistemática de una propia metodología de exploración, la cual es una de las más vanguardistas por sus logros y éxitos obtenidos, lo que le permite a la empresa competir a nivel mundial.

Aprovechando toda la abundante información recopilada, que es analizada mediante una metodología precisa y confiable, los geólogos tienen la oportunidad de disponer de toda clase de resultados e interpretaciones y usarla a su favor para la identificación de puntos de interés para la exploración, así como la identificación del tipo de yacimiento en que se está trabajando.

## 6. ÁREA Y DEPARTAMENTO DE LAS PRÁCTICAS

Uno de los principales retos de las instituciones de educación superior (IES) es hacer posible que los procesos de enseñanza–aprendizaje emprendidos garanticen el logro de los diferentes perfiles de egreso definidos en cada uno de los programas académicos ofertados. Estas circunstancias han obligado a las instituciones a emprender procesos de profundas reformas en los diferentes ámbitos institucionales. La Universidad de Sonora se ha mantenido atenta a estos cambios y ha estado a la vanguardia de las IES en México en varios aspectos de la modernización de la educación superior. La Universidad de Sonora establece para la carrera de Licenciado en Geología los siguientes aspectos:

-Que el objetivo general del nuevo plan de estudios de la Licenciatura en Geología de la Universidad de Sonora es: “formar a un geólogo generalista, con sólidos conocimientos de la petrología, mineralogía, estratigrafía y tectónica, a la vez de un acentuado dominio de la cartografía geológica y una visión general de las áreas de aplicación. Además de contar con la opción de un conocimiento profundo en algún área de la geología aplicada (Geología Económica, Hidrogeología y Geología Ambiental)”.

Con un perfil de egreso que el estudiante debe tener al concluir sus estudios, mismo que es descrito en la página de la Universidad de Sonora ([www.uson.mx](http://www.uson.mx)) textualmente como sigue:

-Una visión adecuada y una comprensión de las propiedades y estructura de la Tierra y de los procesos exógenos y endógenos que se llevan a cabo en ésta.

-Un conocimiento apropiado de los procesos de formación de los materiales geológicos, de la estructura, composición y clasificación de los minerales y rocas, de los principios de la estratigrafía y paleontología, de la escala del tiempo geológico y de los resultados de la deformación, el magmatismo y el metamorfismo.

-Un conocimiento apropiado de los procesos actuales y de su influencia en el modelado de la superficie de la Tierra, que lo lleven a adquirir la capacidad de llevar a cabo una cartografía geológica a diferentes escalas y con diferentes fines.

-Un conocimiento suficiente para poder desarrollarse en algún área de la geología aplicada y/o la investigación geológica.

Asimismo, debe ser capaz de:

- Definir un problema geológico y plantear e implementar una estrategia adecuada para su solución.
- Aplicar métodos cuantitativos sencillos, esto es, traducir un problema práctico en un modelo matemático.
- Recoger datos e información de forma sistematizada (observación de campo, muestreo, fotografía aérea, imagen de satélite, etc.) a partir de problemas geológicos bien definidos. Recoger, almacenar e interpretar estos datos en elementos cartográficos (mapas y perfiles geológicos), otras bases de datos e informes.
- Aplicar las técnicas analíticas más comunes en Geología.
- Utilizar programas informáticos (procesamiento de texto, hojas de cálculo, programas gráficos, etc.).
- Comprender textos geológicos, resumirlos y exponerlos oralmente.
- Trabajar en forma independiente y en equipo.
- Valorar el significado, la aplicación potencial y las responsabilidades de la Geología en distintos ámbitos: la ciencia, la sociedad y la práctica profesional.
- Decidir su futuro profesional.

Además, todo egresado deberá tener las siguientes cualidades:

### **Conocimiento**

- La visión en cuatro dimensiones (conciencia y comprensión de los procesos terrestres en sus dimensiones espaciales y temporales).
- La capacidad de integrar evidencias de campo y laboratorio con la teoría siguiendo una secuencia que va de la observación al reconocimiento, síntesis y modelado.

-Una mayor conciencia de los procesos medioambientales que se desarrollan en nuestro propio tiempo.

-Una comprensión más profunda de la necesidad de combinar la explotación y conservación de los recursos de la Tierra.

### **Habilidad**

-Reconocer y utilizar teorías, paradigmas, conceptos y principios de la disciplina.

-Analizar, sintetizar y resumir información de manera crítica.

-Recoger e integrar diversos tipos de datos y observaciones con el fin de comprobar hipótesis.

-Aplicar conocimientos para abordar problemas usuales o desconocidos.

-Recoger, almacenar y analizar datos utilizando las técnicas adecuadas de campo y laboratorio.

-Llevar a cabo el trabajo de campo y laboratorio de manera responsable y segura, prestando la debida atención a la evaluación de riesgos, los derechos de acceso, la legislación sobre salud y seguridad, y el impacto del mismo en el medio ambiente.

-Reseñar la bibliografía utilizada en los trabajos de forma adecuada.

-Comprender y utilizar diversas fuentes de información.

-Transmitir adecuadamente la información de forma escrita, verbal y gráfica para diversos tipos de audiencias.

-Valorar los problemas de selección de muestras, exactitud, precisión e incertidumbre durante la colecta, registro y análisis de datos de campo y de laboratorio.

-Preparar, procesar, interpretar y presentar datos usando técnicas cuantitativas y cualitativas adecuadas, así como los programas informáticos apropiados.

-Utilizar internet de manera crítica como herramienta de comunicación y fuente de información.



## **Actitudes y valores**

- Valorar la necesidad de integridad intelectual y de los códigos de conducta profesionales.
- Identificar objetivos y responsabilidades individuales y colectivas y actuar en forma adecuada en estos roles.
- Reconocer los puntos de vista y opiniones de los otros miembros del equipo.
- Desarrollar las destrezas necesarias para ser autónomo y para el aprendizaje continuo a lo largo de toda la vida: autodisciplina, autodirección, trabajo independiente, gestión de tiempo y destrezas de organización.
- Identificar objetivos para el desarrollo personal, académico y profesional y trabajar para conseguirlos.
- Desarrollar un método de estudio y trabajo adaptable y flexible.

Como un instrumento de apoyo a la formación de los estudiantes de la Licenciatura en Geología de la Universidad de Sonora, el programa de Prácticas Profesionales se propone como objetivo general consolidar la formación profesional de los estudiantes a través de modalidades de aprendizaje que les permitan desarrollar competencias profesionales en contextos laborales vinculados estrechamente con su formación, como recurso didáctico que integre los conocimientos, habilidades y aptitudes adquiridos en el aula. Debido a que el nuevo modelo curricular se centra en la adquisición de habilidades y autoaprendizaje de los estudiantes, siendo el profesor un facilitador, es sumamente importante la realización de prácticas que refuercen los conocimientos aprendidos en el aula y permitan adquirir o mejorar habilidades del que hacer geológico. En este sentido el programa de Prácticas Profesionales del Departamento de Geología busca cumplir la función fundamental de preparar al estudiante para su integración al mercado laboral y representa una oportunidad para realizar una autoevaluación de la formación académica en la carrera. La realización de un documento que contenga las memorias de prácticas profesionales permite a su vez, un análisis del desempeño en el mercado laboral, un autoanálisis de las competencias y habilidades adquiridas, y la presentación organizada de dicha información. Como parte de las acciones y tareas a realizar con el fin de hacer realidad los propósitos arriba mencionados, la

Universidad, en su Plan de Desarrollo Institucional 2005-2009, incluye como programa estratégico el de prácticas profesionales, en el cual se describen los objetivos, líneas de acción y metas a corto, mediano y largo plazo.

El Plan de Desarrollo Institucional define varias líneas de acción y metas relativas al programa de Prácticas Profesionales y las políticas, lineamientos y mecanismos institucionales para su realización y su incorporación a los planes de estudio, a través de actividades con valor curricular desarrolladas mediante convenios con empresas y organismos de los sectores público y privado, organizaciones no gubernamentales y asociaciones civiles. Las prácticas profesionales en el Departamento de Geología son iguales a las estipuladas en el reglamento de la Universidad de Sonora, nada más que dependiendo del plan de estudios de la licenciatura cambian los requisitos para realizarse. En el Departamento de Geología, según el acta No. 258 del Consejo de la División de Ciencias Exactas y Naturales, el único requisito para que un estudiante de Geología pueda realizar sus prácticas es haber cursado la materia de Geología Estructural que se imparte en el sexto semestre del plan de estudios y a partir de haber cursado esta materia y a partir del séptimo semestre se pueden llevar a cabo las prácticas profesionales. En este documento se presenta un análisis a partir de la currícula del Plan de Estudios actual, de la pertinencia de contar solo con este curso como requisito para la realización de las prácticas o si en el caso particular de este trabajo, es importante contar con otro tipo de habilidades y conocimientos.

En este documento se describe la experiencia de prácticas profesionales en la compañía de exploración minera Exploraciones Mineras Peñoles, S.A de C.V.

En partículas la empresa solicita al candidato a realizar prácticas profesionales los siguientes requisitos:

- i. Que el candidato apruebe los exámenes de salud y de antidopaje establecidos por la compañía.
- ii. Que el candidato apruebe el examen Psicométrico, con el perfil solicitado por la empresa.
- iii. Que el candidato apruebe el examen de Confianza, con el perfil solicitado por la empresa.

- iv. Que la realización de las prácticas profesionales se realicen al concluir el sexto semestre y habiendo cumplido el requisito de aprobar Geología Estructural.

## **7. DESARROLLO DE PRÁCTICAS PROFESIONALES**

Durante la estancia y desarrollo de las prácticas, en el período comprendido del 03 de Julio al 04 de Agosto del 2017, con la compañía Peñoles, se me capacitó así como se me instruyó de manera general en todas las áreas en las cuales participé y colaboré, tanto en actividades de campo, como también en las diferentes etapas relacionadas con la perforación con diamante.

### **7.1. PERFORACIÓN CON DIAMANTE**

En los proyectos de exploración es muy común que se utilice el método de perforación con diamante, además del otro método tradicional de percusión. En la mayoría de los proyectos de exploración las máquinas perforadoras se movilizan hacia las plantillas ya seleccionadas para realizar actividades de perforación. El equipo de perforación se instala sobre la planilla siempre asegurándose sé que el área sea idónea y que cuente con las medidas de seguridad adecuadas para realizar la instalación del equipo.

El procedimiento para alinear una maquina es el siguiente: Cuando se llega a una planilla de perforación nueva es importante asegurarse de que esta cuente con las medidas adecuadas para el equipo y que se encuentre limpia; después de asegurarse de que la planilla cuente con las medidas necesarias y se encuentre en buen estado el geólogo encargado traza una línea orientada por rumbo con hilo y estacas para que los perforistas se alineen con el hilo; este hilo es fijado con estacas en ambos extremos dejando el hilo tenso para evitar errores al momento de alinear la máquina, se alinea la máquina de perforación y se empieza la instalación del equipo. Una vez que se concluye ésta, verificando que todo esté bien y en perfecto funcionamiento, el perforista ancla la maquina perforando y soldando una tubería a 90° esto para asegurarse que la maquina no se mueva al momento de perforar, una vez que la maquina está fija el geólogo encargado le indica el echado del barreno al perforista y tanto

el perforista como el geólogo con ayuda de su brújula sobre la torre de barrenación verifican que este correcto el ángulo, para tener una medida más segura del ángulo se verifica con Réflex.

En la perforación la presencia de un geólogo es muy importante ya que los perforistas operan la maquina con las indicaciones que el geólogo les proporciona, ya que el geólogo les dice dónde ubicar el barreno, a que ángulo perforar, cuando parar la perforación y con qué tipo de roca se va perforando; todo esto le ayuda al perforista a darse una idea de cómo operar la máquina de una mejor manera. (Fig.1)



Figura 1. Máquina de perforación con diamante.

## 7.2. GEOTECNIA

El procedimiento que a continuación se describe es el empleado por la empresa Peñoles en sus proyectos de exploración, utilizando siempre la misma metodología y sistema de trabajo.

### 7.2.1. Recolección de cajas porta-testigos

Es recomendable para la recolección de las cajas de muestras que se disponga de una camioneta con redilas, con una capacidad de carga mínima de una tonelada, así como equipar a la camioneta con un radio para comunicarse en caso de algún imprevisto o una emergencia; una vez en el área de perforación se carga la camioneta con las cajas y se colocan las caja en forma ordenada y se aseguran.

Cuando se llega a la zona de logueo, las cajas se descargan en forma ordenada y se colocan sobre las mesas de trabajo. (Fig.2)



Figura 2. Recolección de cajas porta-testigos

### 7.2.2. Cajas porta-testigos

Las cajas porta-testigos son muy importantes ya que nos permiten tener los núcleos de perforación organizados, además que se hace más fácil la manipulación de las cajas y estas ayudan a evitar pérdidas.

La caja cuenta con cuatro carriles de 60 centímetros cada uno, los cuales nos permiten almacenar 2.40 metros de núcleo o roca recuperada. Las cajas contienen por fuera las indicaciones del proyecto: nombre del barreno, nombre del proyecto, número de caja y metros perforados, esta información se encuentra en todos los lados de la caja y la tapa de la misma. (Fig. 3A)

También se cuenta con cajas de seis carriles de 60cm, los cuales son utilizados para transportar los núcleos para el área de peso. (Fig. 3B)

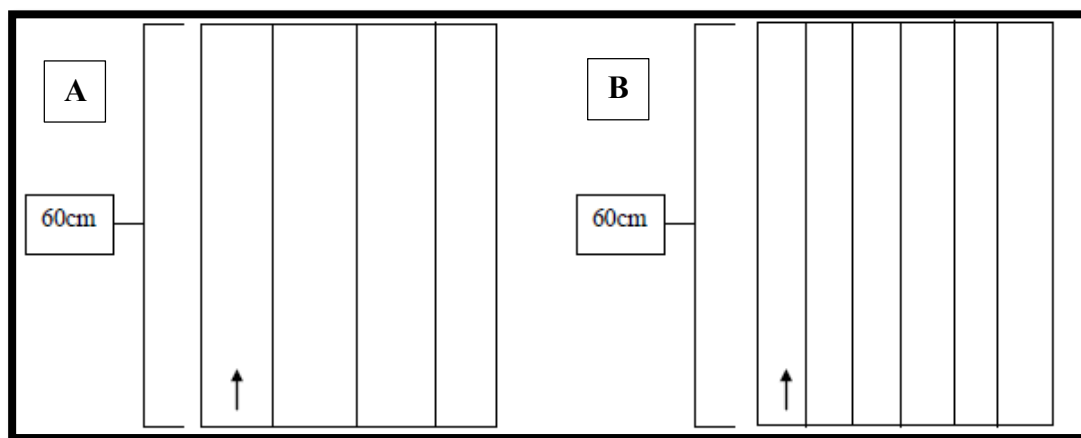


Figura 3. Cajas porta-testigo.

### **7.2.3. Medición de recuperación y fondo**

Cuando ya se tienen las cajas acomodadas en forma correcta y se verifica que estén bien, se empieza el procedimiento de la medición de la recuperación y fondo de las cajas.

#### **7.2.3.1. Medir la recuperación vs Reportes de contratistas**

Se mide con ayuda de una cinta métrica directamente sobre el núcleo y esa medida se compara con la establecida por el perforista en los reportes de recuperación y barrenación. (Fig.4)

#### **7.2.3.2. Marcar el Fondo de las cajas**

Se mide la distancia más cercana entre el final de la caja y el taquete, sumando o restando dependiendo de qué taquete se toma.

Si el taquete presenta una baja recuperación se realiza una regla de tres para calcular el fondo que consiste en, multiplicar la medida del núcleo por lo perforado y dividirlo entre lo recuperado. (fig.4)

#### **7.2.3.3. Rotulado**

Una vez terminado ambos procesos se verifica que las medidas y los cálculos sean correctos y se procede a rotular las cajas y tapas, llenando los intervalos de (inicio: Inicio de caja o Inicio de profundidad y Fondo final de la caja o Fin de profundidad) de acuerdo con la profundidad iniciada en cada uno de los taquetes para rotulas, de igual manera se rotulan las tapas y los lados con la siguiente información: Nombre del Proyecto, numero de barreno y numero de caja. (Fig.4)





Figura 4. Equipo de recuperación y fondeo.

#### **7.2.4. Porciento de Recuperación y Medición de RQD**

Para calcular el porciento de recuperación y medición de RQD, se accede al programa ATENA, el cual es el sistema en el que se guarda y procesa toda la información relacionada con la geotecnia. En los mismos intervalos del programa nos da la opción de seleccionar el diámetro del núcleo: HQ, TT46 y BQ. Se realizan auditorias cada 100 metros en las cuales se hace el mismo procedimiento en las siguientes 5 intervalos para tener un mayor control de calidad. (Fig.5)



### 7.2.4.1. Porciento de Recuperación

El programa ATENA te pide los intervalos DE y A, los cuales nos indican el inicio y el final marcados por los taquetes, una vez ingresado el intervalo el programa te indica que ingreses perforación y la recuperación, esos datos los podemos encontrar en los taquetes y se mide el núcleo con la cinta, inmediatamente el programa calcula el porcentaje de recuperación. (Fig.5)

### 7.2.4.2. Medición de RQD

El programa ATENA te pide el intervalo de RQD10, en el cual uno ingresa la medida que se saca directamente sobre el núcleo, con ayuda de una cinta métrica se miden los fragmentos de roca mayores o iguales a 10cm de longitud entre cada taquete. Una vez que ingresamos la medida en el programa este calcula inmediatamente el % de RQD. (Fig.5)



Figura 5. Porciento de recuperación y RQD.

### 7.2.5. Intervalos de muestreo

Para el marcado del intervalo de muestreo, el geólogo realiza un barrido de la roca recibida en el día, después el geólogo identifica los contactos litológicos, de alteración, de mineralización o bien algún cambio importante que el geólogo considere. Una vez que el geólogo marco los intervalos de muestreo de su interés se realiza la medición y marcaje de los intervalos, estos se marcan con un rango de 2 metros de longitud (Fig.6), esta medida puede variar a conveniencia del muestreo, solo debe de ser mayor a 0.60m y no mayor a 2.00m de longitud. La marca se realiza del lado izquierdo del carril de la caja, se coloca una línea vertical marcando el contacto, con flechas apuntando hacia ambos lados, sobre la flecha de lado derecho se marca la profundidad (Fig.7).



Figura 6. Marcando intervalos de muestreo a 2 metros.



Figura 7. Marca de profundidad del intervalo de muestra.

### 7.2.6. Registro fotográfico

Se acomodan las cajas de manera ordenada y se imprimen las etiquetas necesarias para tomar las fotografías de registro, las etiquetas impresas deben contener: inicio, final, numero de caja y numero de barreno. Se prepara el equipo de fotografía que incluye: una laptop, una cámara profesional, luces profesionales, un aspersor de agua y la base en donde se coloca la caja.

Procedimiento: se activa la computadora y se conecta la cámara profesional (Fig.8), se selecciona la carpeta correspondiente al barreno en la cual se guardaran las imágenes, se encienden las lámparas, y se preparan las cajas para tomar la fotografía en la base, una vez colocada la caja se colocan las etiquetas para cada caja correspondiente y se toma la foto (Fig.9).





Figura 8. Preparación del equipo fotográfico.



Figura 9. Registro fotográfico.

### 7.2.7. Logueo del núcleo

El geólogo se cerciora de que las cajas estén acomodadas y en orden antes de empezar, se inicia el programa ATENA en el cual se guardara la información de manera segura, una vez iniciado el programa se empieza el logueo identificando principalmente: Litología, Alteración, venillas, estructuras, mineralización y por ultimo una descripción de la roca en general englobando todas las anteriores, esta información se ingresa a el programa en intervalos de profundidad en diferentes pestañas, los cual permite a el geólogo y a la empresa tener un alto rango de calidad de logueo y recopilación de información. Una vez terminado el logueo se guarda la información y se corrobora que sea correcta antes de guardar. (Fig. 10)



Figura 10. Logueo del núcleo.

### **7.2.8. Peso específico**

Las muestras se pesan en dos sistemas en aire y agua, se seleccionan 3 muestras en cada caja, nombrándolas con el número de la caja y una letra A, B y C esto con el fin de saber la profundidad de las muestras, las muestras tienen que tener un peso mínimo de 1 kg (Fig.11), en caso de que la roca está muy fracturada no se toma muestras de esa caja. Una vez seleccionada las muestras y nombradas se envuelven en varias capas de plástico, con el fin de evitar que se moje la muestra al momento de pesarla en agua (Fig.12), una vez listas las muestras se acomodan en orden y se llevan a el área de peso.

Procedimiento: Se prende el equipo que consta de la báscula y una laptop. Se inicia el programa ATENA el cual reconoce directamente la báscula por medio de un cable USB. Se selecciona el nombre de barreno que se está trabajando y se pesan las muestras en ambos métodos, una vez terminado el proceso de peso se guarda la información en el programa ATENA. Se realizan auditorias cada 100 metros contando los siguientes 5 intervalos para tener un mayor control de calidad (Fig.13).





Figura 11. Selección de fragmento de núcleo con un peso mayor a 1 kilogramo.



Figura 12. Envoltura de plástico, con el fin de evitar que la roca se moje al momento de pesarla en agua.





Figura 13. Peso de muestra en aire y agua.

### **7.2.9. Procedimiento de muestreo para toma de lectura con NITON**

El proceso de análisis con NITON es uno de los más importantes ya que permite tener un registro de las concentraciones mineralógicas, las cuales permiten tener un estimado previo a los análisis geoquímicos. Se prepara el equipo que consta de: una laptop, el NITON, un bafer, un disco para concreto o piedra, un compresor, probetas, bolsitas de muestreo (bolsa de plástico transparente) y el equipo de seguridad necesario para realizar el trabajo.

## Procedimiento:

### 7.2.9.1. Preparación del equipo

Es de vital importancia que antes de empezar con la tarea se tenga ya listo el equipo de seguridad. Se tiene que instalar la mesa de corte y preparar las probetas (lavarlas bien y dejarlas a que se sequen con el fin de evitar contaminación) (Fig.14), (Fig.15), prender el compresor y dejar que se cargue, por último se marca una raya de color visible sobre los núcleos, con el fin de cortar la mayor cantidad de venillas posibles para que el análisis tenga un buen espectro, por último se acomodan las cajas en orden y se disponen a corte.

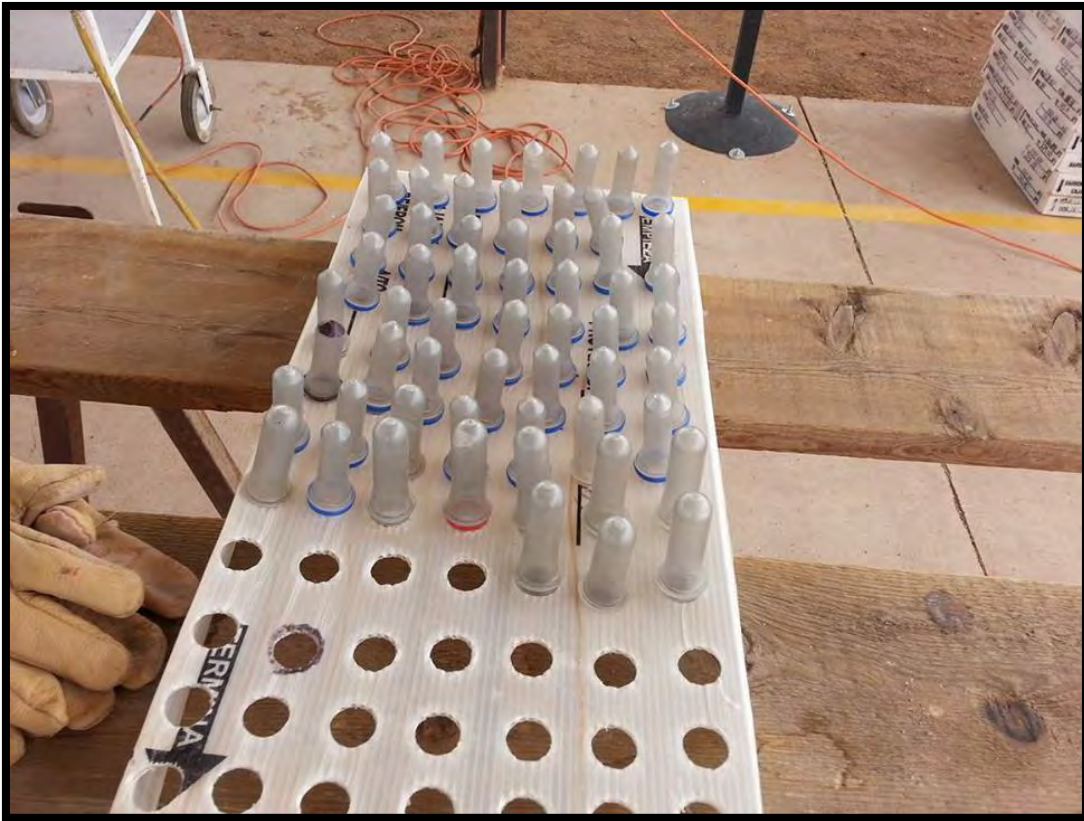


Figura 24. Probetas listas para el corte.



Figura 15. Preparación del equipo.

### 7.2.9.2. Corte

Una vez colocadas las cajas en la mesa, el trabajador prepara el bafer asegurándose que todo esté funcionando bien, se coloca el núcleo de tal forma que se vea la línea de corte, se coloca una probeta en un aditamento especial a el bafer y se corta sobre la línea, siempre viendo los intervalos de muestreo marcados anterior mente (Intervalos de Muestreo), el compresor permanece prendido durante todo el proceso para limpiar el bafer al terminar cada corte, asegurándose de que quede limpio para evitar contaminación. (Fig.16)





Figura 16. Corte con bafer sobre el núcleo con la probeta instalada.

### 7.2.9.3. Recuperación de muestra

Después de cada corte se cerciora de que la probeta este bien y sin contaminantes, si no es así se realiza otro corte con una probeta nueva (Fig.17), si el polvo recuperado se encuentra en óptimas condiciones se coloca el polvo en una bolsita de muestra con una etiqueta que indica el número de muestra (Fig.18).



Figura 17. Recuperación de polvo en probeta.

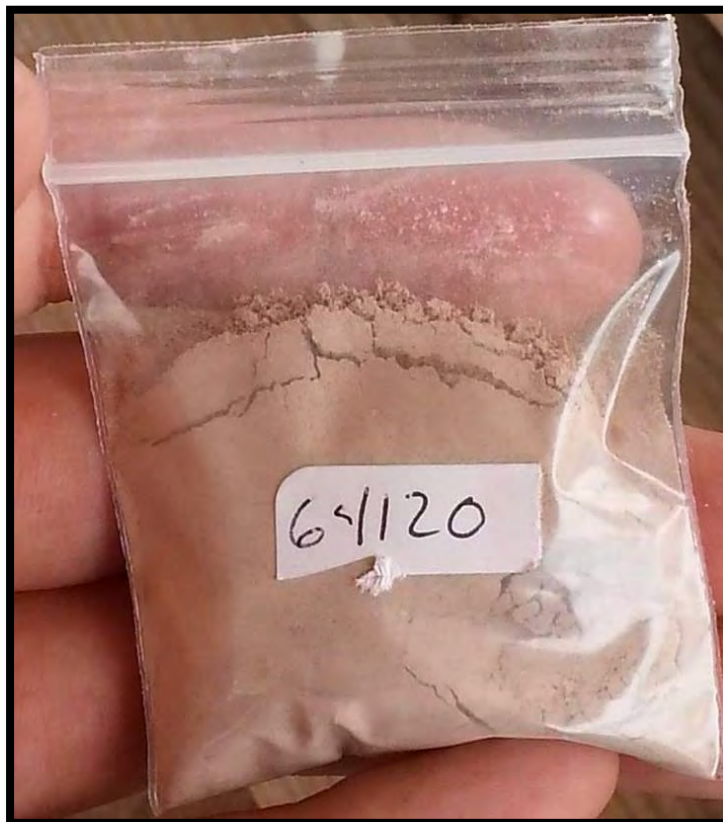


Figura 18. Recuperación de polvo en bolsa de análisis para NITON.

#### 7.2.9.4. Análisis de las muestras con NITON

Se prepara el equipo necesario para elaborar la tarea que consta de: una laptop, preparar el NITON y su base (THERMO CIENTIFIC). Se coloca el NITON en la base la cual tiene una compuerta arriba para colocar la muestra y evitar contaminación de la lectura. Se inicia en la computadora el programa ATENA y se conecta el NITON al servidor, una vez conectado se indica el nombre del barreno y se empieza a analizar las muestras (Fig.19), colocándolas en la apertura superior e indicándole al NITON que analice las muestras. Una vez terminado el análisis se guarda la información en el servidor.



Figura 19. Preparación de muestras para analizarlas.



### 7.2.10. Corte del núcleo

El encargado de corte se debe asegurar que el área de trabajo este en óptimas condiciones para realizar la tarea y que cuente con todo el equipo de seguridad (Fig.20). Se colocan las cajas acomodadas en una mesa para facilitar la tarea, Se prende la cortadora y se coloca el núcleo alineado sobre la raya de color en la porta núcleo, el cual se desliza para realizar el corte. (Fig.21)



Figura 20. Equipo de seguridad obligatorio.



Figura 21. Corte de núcleo.



### 7.2.11. Muestreo y envío a laboratorio

Para el análisis geoquímico las muestras (mitad izquierdo del núcleo cortado) son documentadas con etiquetas y se colocan en bolsas de plástico doble para evitar contaminación y pérdidas, a su vez se coloca las bolsas de muestreo en costales por 5 unidades por costal. El laboratorio recoge las muestras y entrega los resultados una vez que el análisis se haya completado. La otra mitad del núcleo se queda como testigo y se almacena en bodega. (Fig.22)



Figura 22. Muestreo y envío a laboratorio.

### 7.2.12. Susceptibilidad magnética

Se preparan las cajas y se colocan las muestras mostrando el corte del núcleo hacia la parte superior, se prepara el susceptibilímetro seleccionando el nombre del barreno que se va a analizar, se toman la susceptibilidad magnética directa sobre la roca en intervalos de 5 metros de distancia, si la roca está muy fracturada se puede tomar la medida en un intervalo de 5 a 15 cm. Una vez que se toman los datos se conecta se verifica que los datos estén correctos y se guardan directamente sobre en el servidor. (Fig.23)



Figura 23. Toma de datos de Susceptibilidad Magnética.

### **7.2.13. Reconocimiento del área de estudio en campo**

Durante la estancia en el proyecto realicé varios recorridos por el área de exploración, con el fin de aprender más sobre el sistema que dio origen a la mineralización del proyecto, así también aprender sobre el proceso de perforación y sobre el método para elaborar una planilla de perforación.

Durante las visitas a el campo recorrimos las planillas de perforación, preparándolas para que las maquina pudieran ser alineadas de manera correcta, con ayuda de la brújula y un hilo amarrado en los extremos con estacas, sacamos el rumbo con el cual la máquina de perforación debe de alinearse para poder perforar, la empresa contrata topógrafos para que los puntos que están ubicados en las planillas sean más precisos y exactos.

Una vez que la maquina es transportada, los perforistas instalan todo el equipo de perforación, y se aseguran de que todo este funcional y en buen estado, la máquina de perforación se alinea con respecto a rumbo de perforación establecido, los perforistas se orientan con el cable y las estacas colocadas por los topógrafos, una vez preparado el equipo funden un tubo a 90 grados, con el fin de anclarla la máquina para evitar movimientos al momento de perforar, esto proceso se hace con el fin de disminuir la vibración del equipo cuando está perforando, una vez que la maquina se encuentra anclada el perforista coloca la torre de perforación en la inclinación o echado que el geólogo le indique, el geólogo corrobora el dato con la brújula brunton asegurándose que el dato está bien, si es posible se toma la medida más de una vez y con diferentes brújulas, por último se toma de nuevo el dato con el Reflex, el cual nos permite tomar una medida más precisa con ayuda de este equipo.

Durante la estancia en el proyecto Los Humos recorrí de manera puntual puntos importantes del área de exploración, con el fin de tener una mejor comprensión de los cuerpos mineralizados y de su estructura. Durante las salidas se identificaron zonas de interés productoras de mineralización, estructuras y afloramientos de interés para los yacimientos. Se tomó muestras de roca fresca de los afloramientos con el fin de analizarlas por geoquímica y por lámina delgada. Se reconocieron diversas alteraciones producto del sistema de pórfido, así como diversos sistemas de vetillas en la roca, estas siguen un patrón preferencial así como

el fracturamiento en la roca en algunos de los cuerpos, los cuerpos minerales de este pórfido está bastante ligado a los procesos estructurales que ocurrieron en la zona, pero es bastante difícil el estudio ya que la gran mayoría del área está cubierta por una secuencia de conglomerados y una de rocas volcánicas, además de estar limitada por fallas a los costados de las zonas mineralizadas. Tener conocimiento del proceso de la formación, así como de la composición y estructura del yacimiento, ayuda a los geólogos y perforistas a visualizar y comprender la estructura y formación del mismo.

## **8. PROYECTO LOS HUMOS**

El proyecto Los Humos es un proyecto bastante avanzado en cuestiones de exploración y recopilación de información, por medio de perforación con diamante, el análisis de campo, así como el análisis de los testigos o bien el proceso de logueo y de Geotecnia de las muestras, estos procesos son clave para poder identificar un yacimiento mineral. Gracias a todo el análisis y procesamiento que se lleva a cabo, se facilita la exploración del área de estudio y este proceso permitió definir al yacimiento como un Pórfido Cuprífero de Cu-Mo, tomando en cuenta el análisis arduo de las diferentes alteraciones y de las diferentes etapas de mineralización, así como de las estructuras, nos permite ver cómo será mejor la explotación de dicho yacimiento, todo siendo producto de la exploración.

## **8.1. ANTECEDENTES DE PROYECTO LOS HUMOS**

### **8.1.1. Trabajos previos**

La división de EXPLORACIONES MINERAS PEÑOLES, S.A. DE C.V. ha efectuado algunos trabajos de exploración y visitas de reconocimiento del área del proyecto Los Humos, dichos trabajos no son compartidos al ser piezas clave del proyecto y de su propiedad intelectual.

Existe una tesis de licenciatura del área del proyecto:

Jorge Alonso Beltrán Cabrera, 2016, Espectrometría de Reluctancia del Infrarrojo Cercano, Utilizando el Espectrómetro Terraspec en la Caracterización de Facies Minerales de la Alteración Hidrotermal en el Proyecto Los Humos, Noroeste de Sonora. Univ. Sonora.

## **8.2. GEOGRAFÍA**

### **8.2.1. Clima**

El municipio de Caborca cuenta con un clima seco semiárido extremo, con una temperatura media máxima mensual de 40.9 grados Celsius en los meses de junio a septiembre, de 12.4 grados Celsius en diciembre y enero, una temperatura media anual de 32.3 grados Celsius. El período de lluvias se presenta en verano en los meses de julio y agosto, contando con una precipitación media anual de 164 milímetros; existen heladas ocasionales en febrero.

### **8.2.2. Fisiografía**

La provincia fisiográfica llanura Sonorense se ubica al noreste de México; aunque la mayor parte de esta llanura se localiza en el estado de Sonora, políticamente se extiende por los estados de Baja California y Sonora.

Limita al norte con Estados Unidos; al este, tiene límites con la provincia de la Sierra Madre del occidente; por el sur, limita con la provincia de la Llanura Costera del Pacífico; y en la porción oeste, limita con la Provincia de la Península de Baja California y el Golfo de California.

Desde el punto de vista geográfico esta provincia forma una franja con orientación noroeste - sureste paralela a la costa. En ella se encuentra la discontinuidad de la Sierra del Pinacate, la cual posee alturas que varían de los 75 a los 1,190 msnm. Está caracterizada por un paisaje con una serie de cráteres y mesetas de origen volcánico. Incluye parte de las subprovincias: Desierto de Altar, Sierra Pinacate y parte de la de Sierras y Llanuras Sonorenses.

La subprovincia Desierto de Altar se distingue por tener campos de dunas y llanuras, éstas últimas con alturas entre 0 y 200 msnm. La subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses se diferencia de la anterior por presentar sierras aisladas en dirección noroeste - sureste y norte - sur, con alturas que van de 200 a 1,400 msnm, con llanuras y lomeríos ubicados entre ellas. (Fig. 24)

Para su estudio la llanura sonorense se ha definido tres Subprovincias fisiográficas denominadas:

6. Desierto de Altar,
7. Sierra Pinacate,
8. Sierras y Llanuras Sonorense



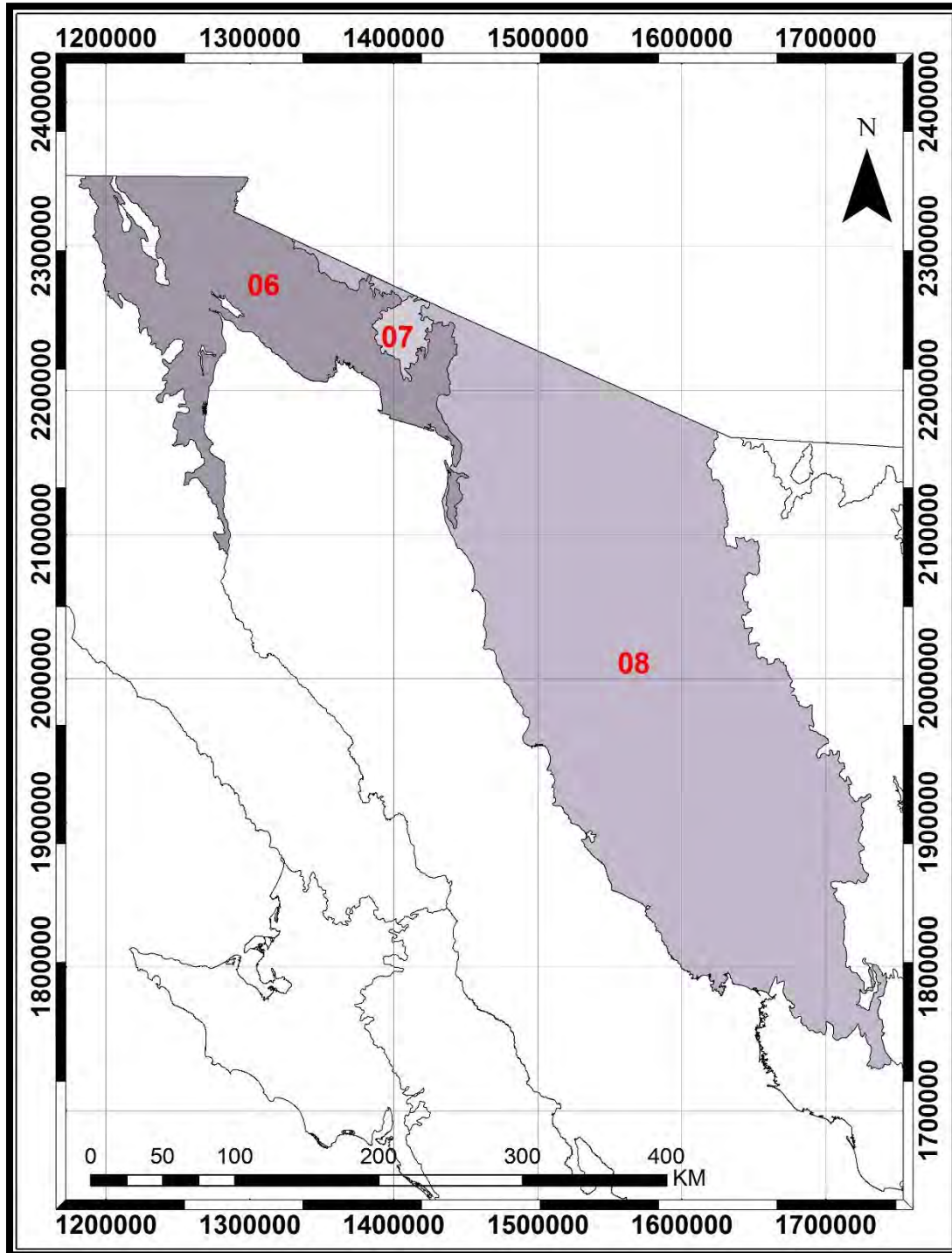


Figura 24. Mapa de localización fisiográfica del proyecto Los Humos. Caborca se encuentra en la Provincia Fisiográfica número 8 de Sierras y Llanuras Sonorenses.

### 8.2.3. Localización del área de estudio

La sierra Los Humos así como el proyecto se encuentran en la región central del Estado de Sonora, en el Municipio de Caborca, aproximadamente a 45 km al norte de la ciudad de Caborca.

El acceso se realiza desde Caborca recorriendo 20 km hacia el noreste con rumbo a Pitiquito tomando el libramiento Las Calabazas, se toma la desviación a mano izquierda hacia el Arenoso, se recorren 30 km de carretera pavimentada y 20 km de terracería en buenas condiciones para llegar al proyecto Los Humos. (Fig. 25)

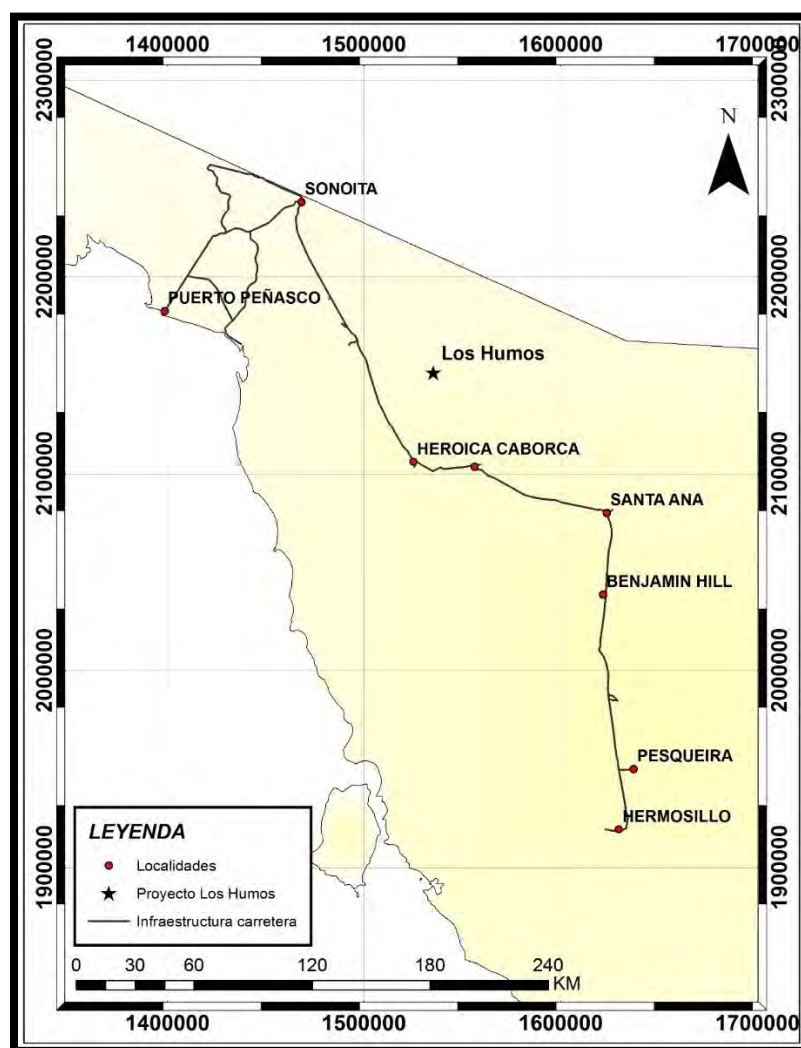


Figura 35. Mapa de localización mostrando el proyecto Los Humos en el noroeste de Sonora.



## 8.3. GEOLOGÍA

### 8.3.1. Geología regional

#### 8.3.1.1. *Precámbrico*

Cooper y Arellano (1946) fueron los primeros en reconocer el basamento precámbrico cristalino en el noroeste de México al identificar fauna fosilífera en la secuencia sedimentaria de la región de Caborca, la cual sobre yace un basamento metaígneo (Fig. 26). Posteriormente, Damon et al., (1962) reportaron los primeros fechamientos radiométricos (K–Ar) del basamento ígneo Proterozoico, identificando, en el noroesteW de Sonora, la presencia de magmatismo de edad Greenviliiana (~1.1 Ga). Damon et al., (1961, 1962) correlacionaron las rocas antiguas de Sonora con las rocas precámbricas del Suroeste de Estados Unidos. Anderson y Silver (1977) describieron el basamento Proterozoico como una serie metamórfica de gneis, metacuarcita y esquisto (ca. ~1.6–1.8 Ga) llamado Complejo Metamórfico Bámori (Fig. 26). Anderson y Silver (1978) reportaron edades de  $1780 \pm 20$  Ma para este complejo metamórfico en la zona del rancho Bámori a 60 km al sur de la ciudad de Caborca. Este complejo metamórfico lo interpretaron como una secuencia volcano–sedimentaria con metamorfismo en facies de esquistos verdes a anfibolita (~1.65 Ga) intrusionada posteriormente por granitoides de tipo anorogénico con edades de ~1.4 y ~1.1 Ga. El pulso magmático de ~1.1 Ga fue descrito inicialmente a partir de los estudios en el granito Aibó, el cual aflora a 50 km al sur de la ciudad de Caborca, en el rancho Aibó cerca del Cerro Los Indios. Este granito fue fechado por U–Pb en zircones por Anderson y Silver (1979, 2005) reportando una edad de  $1091 \pm 54$  Ma. Esta edad ha sido corroborada por otros fechamientos de U–Pb en zircones por Iriondo et al., (2003a;  $1074 \pm 5$  Ma) y Farmer et al., (2005;  $1075 \pm 1$  Ma) en muestras de granito recolectadas en las cercanías del rancho Aibó (Jorge Beltrán, 2016).

Las rocas del Proterozoico superior, se encuentran representadas por una secuencia de rocas carbonatadas denominadas Capas Gamuza (Cooper y Arellano, 1946). Mientras Longoria y González (1979) definen en la misma localidad una secuencia medida de 2,200

m de espesor estableciendo en orden ascendente las Formación El Arpa, Caborca, Pitiquito, Gamuza, Papalote y el Grupo Gachupín (Fig. 26) (Jorge Beltrán, 2016).

Las primeras dos formaciones se encuentran fuertemente plegadas, mientras que las que sobreyacen, presentan un plegamiento más suave, dando como resultante dos modos estructurales para todo el conjunto de las Capas Gamuza. Esta unidad aflora principalmente en la sierra El Viejo y La Víbora, así como en gran parte de los cerros El Tilín, La Ciénega, Calaveras, Clemente, La Verruga, Bámori, El Arpa, Gamuza, y en otros afloramientos de espesores más pequeños y escarpados. Estratigráficamente, las Capas Gamuza generalmente sobreyacen discordantemente al Complejo Metamórfico Bámori y al granito Aibó, y en algunas zonas se presentan cabalgando a rocas del Jurásico inferior correlacionables con la Formación Antimonio, así como también, están afectadas por rocas intrusivas de composición granodiorítica – diorítica de edad Cretácica (cooper y Arellano, 1946) (Jorge Beltrán, 2016).

### **8.3.1.2. Paleozoico**

Los afloramientos de rocas paleozoicas en Sonora se presentan de forma aislada y se reconocen tres zonas principales donde se ubican. La primera se encuentra al poniente y sur de Caborca (Fig. 26), la segunda en el noreste, en la región de Bavispe, y la tercera y más abundante en afloramientos, en la región oriente de Hermosillo (Jorge Beltrán, 2016).

En la región de Caborca, la unidad cámbrica se subdivide en seis unidades formacionales, según Merriam y Eells (1979), constituidas por las Formación el Tren, Arrojos, Cerro Prieto, Buelna, Proveedora y Puerto Blanco formadas principalmente por rocas caliza, ortocuarcita y lutita. La Formación Monos, que subyace discordantemente a rocas de la Fm. Antimonio y corresponde a una secuencia de lodolita intercaladas con caliza, de edad Pérmico medio – tardío localizadas en la parte norte de la sierra El Álamo (González-León et al., 1980) (Jorge Beltrán, 2016).

Las rocas Paleozoicas comprenden porciones de la mayor parte de la columna estratigráfica, desde el Cámbrico hasta el Pérmico. Los estudios más detallados que se han

llevado a cabo de las rocas paleozoicas de Sonora corresponden a la región de Caborca (Cooper y Arellano, 1946; Cooper et al., 1952, 1953; Cooper, 1956) (Jorge Beltrán, 2016).

### **8.3.1.3. *Mesozoico***

#### **8.3.1.3.1. Triásico**

Las rocas plutónicas de composición granítica de edad Triásico superior afloran exclusivamente en los alrededores de la sierra Los Tanques que se localiza al oeste de Sonoyta, datados en 225 Ma, utilizando el método U-Pb en zircones (Stewart et al., 1986). Las relaciones espaciales con las rocas adyacentes presentan complicaciones estructurales; sin embargo, el granito intrusión a las rocas del basamento cristalino Paleoproterozoico, rocas que además cabalgan al basamento, sino también a las rocas del arco jurásico, formándose un sistema imbricado de estructuras tipo duplex, con indicadores cinemáticos que también evidencian un cizallamiento lateral en el cuerpo granítico (Stewart et al., 1986). Estos intrusivos probablemente fueron formados por fusión cortical y se correlacionan con plutones con similares características expuestos en las montañas Trigo del suroeste de Arizona. No obstante, no se conocen otros afloramientos de esta edad en Sonora (Stewart et al., 1986) (Jorge Beltrán 2016).

#### **8.3.1.3.2. Jurásico**

Sobreyaciendo en aparente discordancia a la Fm. Monos del Paleozoico se presenta una secuencia de rocas sedimentarias de aproximadamente 3,400 metros de espesor, denominada Fm. Antimonio (González-León y Jaques-Ayala, 1980), secuencia que aflora en la sierra El Álamo a 60 km al oeste de Caborca, constituida por limolita, lodolita y caliza. Esta Formación se compone por dos miembros, uno inferior y otro superior a las cuales se les asignó una edad Triásico tardío – Jurásico temprano en esta localidad (Jorge Beltrán, 2016).

En la sierra La Gloria (cerros Paredones y Puerto El Álamo) aflora una serie de rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias del Jurásico, localmente deformadas y denominadas

como Complejo Estructural El Batamote (Fig.26). Las secuencias volcano-sedimentarias deformadas presentan variaciones desde composición riolítica hasta riodacítica y dacíticas con algunos horizontes sedimentarios intercalados, las secuencias sedimentarias están constituidas por conglomerado y arenisca deformadas (Jorge Beltrán, 2016).

Jacques-Ayala (1995) presentó un estudio estratigráfico-estructural de la sierra El Chanate y zonas aledañas, donde este describe rocas sedimentarias jurásicas, cretácicas y terciarias que corresponden al Complejo Estructural El Batamote (Jorge Beltrán, 2016).

### **8.3.1.3.3. Cretácico**

Al sureste del proyecto Los Humos se reportan afloramientos del Grupo Bisbee del Cretácico temprano; así como también, el Grupo Chanate y el Complejo Volcánico El Charro del Cretácico tardío. En la base del Grupo Bisbee se encuentra el Conglomerado Glance, sobreyacido por la Formación Morita que está constituida principalmente por lutita y arenisca que presentan los efectos de una deformación y una foliación preferencial orientada NW-SE. Sobreyaciendo a la Formación Morita se encuentra la Formación Arroyo Sásabe que es similar estratigráficamente al miembro inferior de la caliza Mural. La Fm. Arroyo Sásabe está constituida por estratos de lutita y arenisca de grano fino, con intercalaciones de caliza que afloran de manera local y tienen un espesor de hasta 3 metros (Jacques, 1993). También está la Formación Cintura que aflora al norte de la sierra El Batamote y esta consiste en una interstratificación masiva de lodolita verde y limolita gris claro, estratos delgados de arenisca de grano muy fino con laminaciones paralelas y diversos tipos de caliza que incluyen fósiles (Jorge Beltrán, 2016).

El Grupo Chanate se conforma por las Formaciones Pozo Duro, Anita y Escalante (Jacques-Ayala, 1993). La Formación Pozo Duro está constituida por una secuencia de limolita, lutita, arenisca y conglomerado. La Formación Anita consta de un miembro inferior constituido por flujos y aglomerados andesíticos; un miembro medio y superior compuesto por horizontes de lutita, arenisca, limolita y conglomerado. La Formación Escalante se compone principalmente por limolita, arenisca y lutita (Jorge Beltrán, 2016).

El Complejo Volcánico El Charro que aflora en la sierra El Chanate, fechado en ~72 Ma (Jacques-Ayala, 1993), incluye varios tipos de roca con una amplia variedad litológica. Las rocas volcánicas son de composición riolítica y andesítica, las cuales se encuentran silicificadas y propilitizadas. Estas afloran al este del puerto El Álamo al norte de la sierra El Chanate. (Jorge Beltrán, 2016).

## **El Chanate**

### **8.3.1.4. Cenozoico**

Las rocas que conforman el Cenozoico consisten de rocas intrusivas, volcánicas de composiciones félsicas, y sedimentos no consolidados. De estas, las rocas Cenozoicas – Paleógenas intrusivas son las más antiguas y constan de granitos de dos micas con granate, seguidas por unidades volcánicas de composición ácida, cubiertas por rocas intermedia-básicas y sedimentos continentales no consolidados producto de procesos de erosión eólicos y aluviales depositados en un ambiente transicional (Jorge Beltrán 2016).

Los intrusivos posteriores que cortan al batolito Laramídico corresponden a granitos del Eoceno denominados de dos micas con granate, peraluminosos y productos de fusión cortical, post-arco volcánico laramídico (Damon et al., 1983) (Jorge Beltrán, 2016).

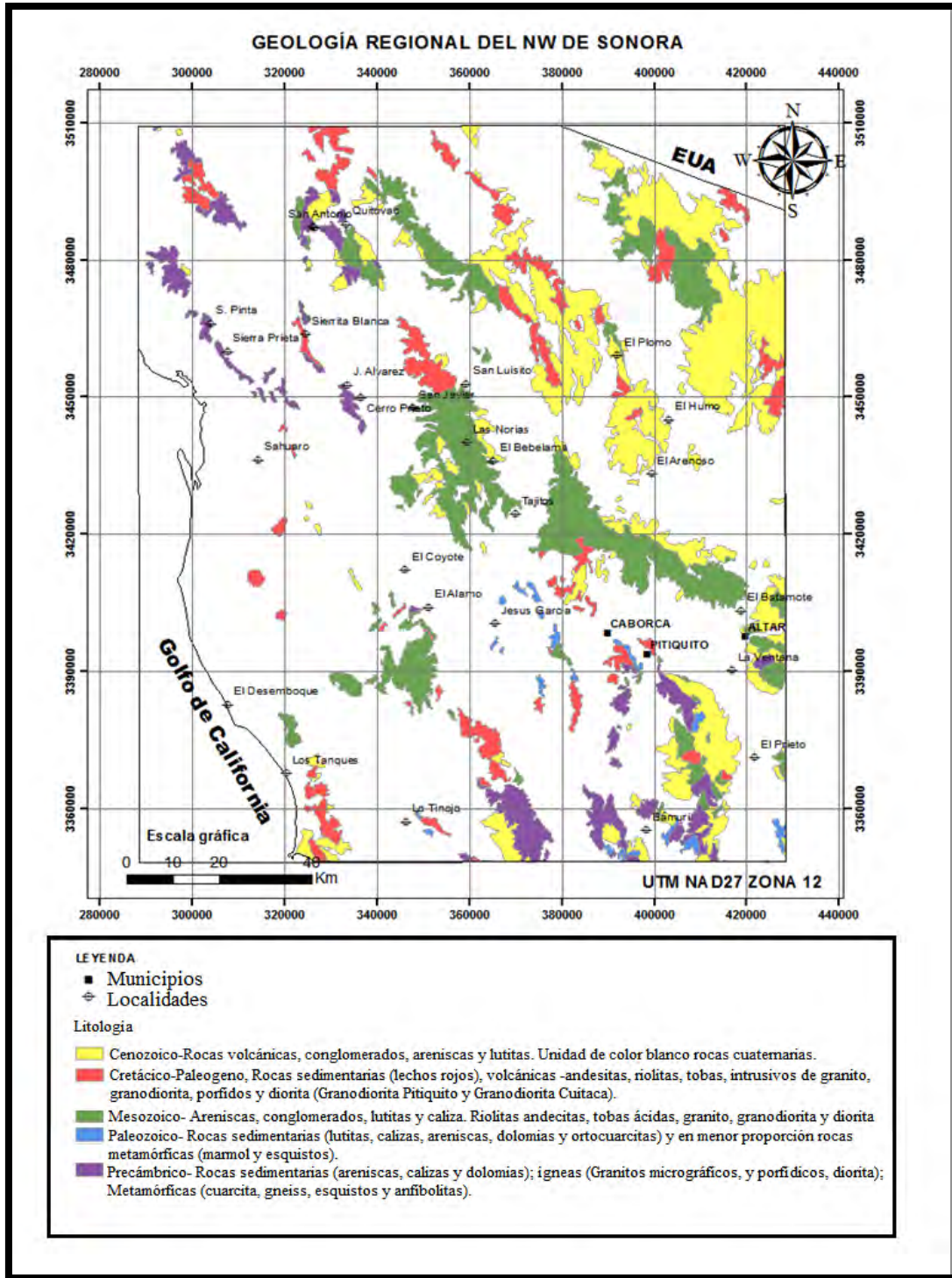


Figura 26. Mapa mostrando la geología regional del noroeste de Sonora (Jorge Beltran, 2016).

## **8.3.2. Geología local**

### **8.3.2.1. Geología del proyecto Los Humos**

El proyecto Los Humos se localiza en el Terreno Caborca, el cual consiste en un basamento proterozoico conformado por gneises y esquistos, afectado por batolitos proterozoicos, mesozoicos y cenozoicos (Anderson y Silver, 1978; Stewart et al., 1986). A su vez, lo sobreyacen sedimentos del Cámbrico, cubiertos discordantemente por una secuencia de andesita de edad Cretácico superior con alteración hidrotermal, esta se encuentran aflorando particularmente al poniente de la sierra San Manuel (Fig. 27). En el área se encuentran aflorando rocas intrusivas graníticas a granodioríticas laramídicas asociadas al sistema de pórfido de cobre (Jorge Beltrán, 2016).

### **8.3.2.2. Mesozoico**

El proyecto Los Humos corresponde a un sistema pórfido de cobre en un contexto del arco volcánico Jurásico-Cretácico con tendencia NW (Barra y Valencia 2014). La unidad más antigua de rocas de probable edad Jurásica, corresponden a rocas volcánicas que presentan regularmente texturas piroclásticas con fragmentos subangulosos de composición andesítica. Estas rocas pueden ser correlacionadas espacialmente con rocas volcano-sedimentarias del Jurásico de la región de Tajitos o del Cretácico Inferior de la Sierra El Chanate. El Cretácico Superior está compuesto de andesita con alteración hidrotermal, en partes con fuerte presencia de silicificación correlacionables con la Formación Tarahumara, que están siendo cortadas por rocas de finales del Cretácico principios del Cenozoico (Larámide), en un rango de rocas intrusivas que varían en composición de diorita a granito (Fig. 27) (Peñoles, 2003) (Jorge Beltrán, 2016).

### **8.3.2.3. Cenozoico**

Las rocas más antiguas están parcialmente cubiertas por rocas volcánicas de composición andesítica post-minerales del Cenozoico. La secuencia comienza con estratos muy gruesos de sedimentos polimícticos que indican una fuerte denudación, donde las partes más profundas alcanzan hasta los 200 m de posible edad Oligoceno correlacionable con la Fm. Báucarit. Hacia el sur del área de estudio, se encuentra una unidad de gravas polimícticas de matriz poco consolidada, y aparentemente más joven (Fig. 27). Esta unidad se correlaciona con la Formación Tubutama del Mioceno inferior, resultado del relleno de micro-cuencas producto de la extensión Core-Complex (Peñoles, 2003) (Jorge Beltrán, 2016).

Estratigráficamente estas unidades de gravas son cubiertas a su vez por la secuencia volcanoclástica post-mineral de probable edad Mioceno, caracterizados por un volcanismo bimodal, que se presenta en bancos gruesos, sub-horizontales, levemente basculados y que tiene un espesor de hasta 750 metros, de los cuales los 200 metros superiores se exponen en los cerros de la sierra San Manuel (Fig. 27) (Jorge Beltrán, 2016).



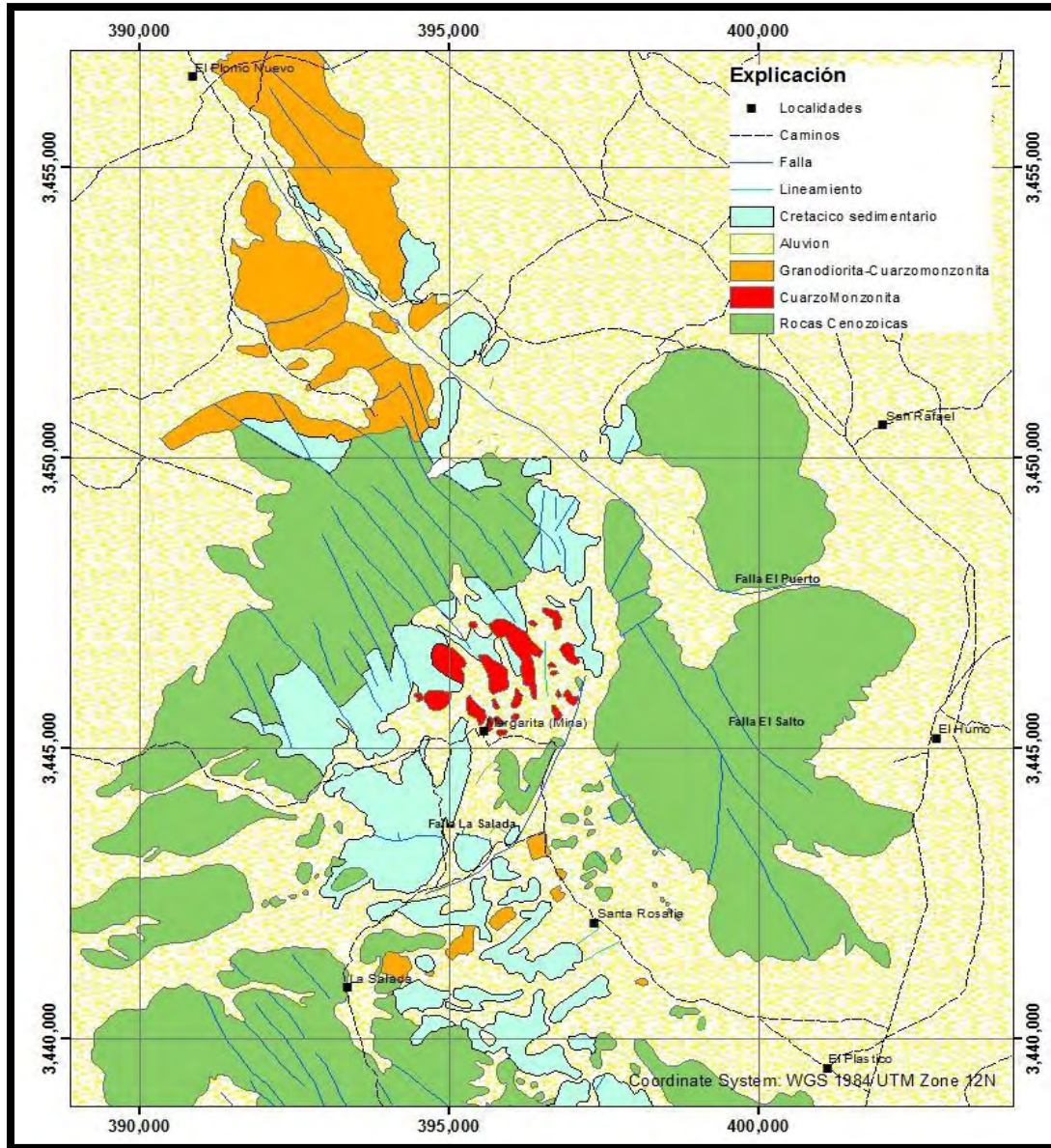


Figura 27. Mapa de la geología distrital del área Los Humos ubicada en las mediaciones de la Sierra San Manuel donde aflora una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico, que son intrusionadas por stocks y diques de composición mineralógica cuarzomonzonítica a granodiorítica, gran parte de estas se encuentran cubiertas por una secuencia de rocas volcánicas andesíticas, tobas y conglomerados del Neógeno (Jorge Beltrán 2016).

La parte superior de la secuencia expuesta en los cerros de la porción este de la sierra de San Manuel, consiste de ignimbrita, vitrófido y pumicita por sus características texturales, mientras que en los cerros de La Salada y El Arenoso, la parte alta de la secuencia está conformada por flujos basálticos con alto contenido de magnetita, piroxeno y olivino, en menor proporción ignimbritas riolíticas correspondientes al volcanismo bimodal del Mioceno tardío (Peñoles, 2003) (Jorge Beltrán, 2016).

#### **8.3.2.4. Estructuras**

En el distrito se presentan una serie de estructuras que forman parte de varias etapas geológicas que comprenden el marco evolutivo del depósito. Una de las principales estructuras del distrito y de las más antiguas corresponde a la falla El Puerto (Ver Figura 27), que pone en contacto los bloques oeste (metalotecto laramídico) y el bloque este (El Plomo). Esta falla, interpretada con magnetometría terrestre, como una mega-estructura de emplazamiento profundo, sería el resultado de la compresión NE-SW y habría controlado sucesivos pulsos graníticos correspondientes al Cretácico Superior (Peñoles, 2003). Otro de los sistemas estructurales observados en el distrito, corresponde a eventos de compresión ENE a WNW que sería resultado de la compresión Larámide, y que controla los sistemas de vetillas y fallas como La Salada (Fig. 27) (Jorge Beltrán, 2016).

Las estructuras que comprenden a los eventos post-mineral podrían representar la fase de extensión durante la evolución de los sistemas core-complex en el Mioceno, y que habrían de producir un sistema incipiente de tendencia NS y NNW que controlaron el desarrollo de cuencas o depocentros donde se depositaron secuencias de gravas asignadas a la Fm. Tubutama en el sector (Peñoles, 2003, reporte interno). Esta serie de estructuras podrían haberse reactivado posteriormente en el Plioceno, dando lugar al rasgo fisiográfico definido como Basin & Range, así como también a un conjunto de estructuras mayores como las fallas El Salto, Rosalía, El Arenoso, que generaron una tectónica de bloques que dislocaron el yacimiento (Peñoles, 2003) (Jorge Beltrán, 2016).

### 8.3.3. Tipo de yacimiento mineral

La mineralización en el proyecto Los Humos es de tipo Pórfido de Cobre-Molibdeno (Cu-Mo), el yacimiento se presenta en vetillas y diseminado de sulfuros; se ha interpretado que la mineralización está asociada a varios eventos hidrotermales.

La mineralización se presenta principalmente asociada a diseminado y vetillas las cuales siguen un patrón estructural de fracturas preferencial unidireccional de noroeste-sureste con un echado hacia el norte, la zona mineralizada está muy asociada a los eventos estructurales regionales, los cuales se presentan en zonas muy puntuales asociadas con fallas que forman un sistema de horst y graben.

En el modelo establecido del yacimiento las intrusiones están definidas, desde los 200 hasta los 600 m de profundidad, en las cuales tenemos Monzogranito, Monzocianita, Cuarzo Monzonita, zonas de Biotita secundaria y diversos grupos de vetillas de sílice, Cuarzo-Feldespatos (K)-Sulfuros y pegmatitas. El modelo establece que el Molibdeno está en mayor proporción en la parte inferior, dando paso a una disminución del mismo y a una variable de Calcopirita mayor o igual que Pirita y por último en la parte superior se ve un incremento de Pirita.

Las alteraciones principales del yacimiento son: Potásica (Biotita-Feldespatos K), Transicional (Clorita-Magnetita > Feldespatos K), Intermedia (Arcillas verdes-Sericita-Clorita), Filica (Cuarzo-Sericita-Pirita-Arcillas verdes), estas alteraciones son las que juegan principalmente en la mineralización y en la roca encajonante.

Los sulfuros se pueden encontrar tanto en forma diseminada como en vetillas; los tipos de vetillas del sistema son: A (Cuarzo-Sulfuros, en forma sinuosa), B (Cuarzo-Sulfuros, es más recta y los sulfuros están en el medio de la veta), Bm (Cuarzo-Sulfuros, pueden presentar Calcocita o Molibdeno), D (Compuestas de sulfuros Calcopirita-Pirita-Molibdeno), D1 (Cuarzo-Feldespatos K-Sulfuros y presenta un halo de alteración de Feldespatos (K)).

## **9. CONCLUSIONES**

Durante el desarrollo de mis prácticas profesionales puse en práctica los conocimientos adquiridos en mi preparación profesional con los cuales gracias al equipo de trabajo y a los ingenieros encargados del proyecto de exploración, pude poner en practica dichos conocimientos y complementarlos con sus enseñanzas, aplicándolas en el ámbito laboral profesional. Todas las prácticas y aplicación de conocimientos que aprendí en el desarrollo de mis prácticas, me van a servir ampliamente en la rama de exploración o cualquier otra rama de mi desarrollo profesional.

## **10. AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a EXPLORACIONES MINERAS PEÑOLES S.A DE C.V. por darme la oportunidad de realizar las prácticas profesionales en su equipo de trabajo, así como también quiero agradecer a el maestro Alfredo Ochoa Granillo, por haberme guiado durante mi preparación universitaria, así como también a los ingenieros del proyecto Los Humos, Jorge Fuentes e Indira Guerrero por trasmitirme su conocimiento geológico y laboral durante mi instancia con ellos y también quiero agradecer a todo el equipo de trabajo del proyecto Los Humos; gracias por todo y a todos..

## **11. DEDICATORIA**

Este trabajo así como toda mi preparación profesional se la dedico con mucho amor principalmente a mis padres a quienes quiero con todo mi corazón, por apoyarme durante toda mi vida y por estar siempre conmigo y para mí cuando yo más los necesitaba. Así como también quiero dedicarla a dos personas muy especiales para mí, mis abuelos Ofelia Nava y Miguel González, siempre estarán en mi corazón.

## 12. LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Máquina de perforación con diamante.

Figura 2. Recolección de cajas porta testigo.

Figura 3. Cajas porta-testigo.

Figura 4. Equipo de recuperación y fondeo.

Figura 5. Porciento de recuperación y RQD.

Figura 6. Marcando intervalos de muestreo a 2 metros.

Figura 7. Marca de profundidad del intervalo de muestra.

Figura 8. Preparación del equipo fotográfico.

Figura 9. Registro fotográfico.

Figura 10. Logueo del núcleo.

Figura 11. Selección de fragmento de núcleo con un peso mayor a 1 kilogramo.

Figura 42. Envoltura de plástico, con el fin de evitar que la roca se moje al momento de pesarla en agua.

Figura 13. Peso de muestra en aire y agua.

Figura 54. Probetas listas para el corte.

Figura 15. Preparación del equipo.

Figura 16. Corte con bafer sobre el núcleo con la probeta instalada.

Figura 17. Recuperación de polvo en probeta.

Figura 18. Recuperación de polvo en bolsa de análisis para NITON.

Figura 19. Preparación de muestras para analizarlas.

Figura 20. Equipo de seguridad obligatorio.

Figura 21. Corte de núcleo.



Figura 22. Muestreo y envío a laboratorio.

Figura 23. Toma de datos de susceptibilidad magnética.

Figura 24. Mapa de localización fisiográfica del proyecto Los Humos. Caborca se encuentra en la Provincia Fisiográfica número 8 de Sierras y Llanuras Sonorense.

Figura 65. Mapa de localización mostrando el proyecto Los Humos en el noroeste de Sonora.

Figura 26. Mapa mostrando la geología regional del noroeste de Sonora (Jorge Beltrán, 2016).

Figura 27. Mapa de la geología distrital del área Los Humos ubicada en las mediaciones de la Sierra San Manuel donde aflora una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico, que son intrusionadas por stocks y diques de composición mineralógica cuarzomonzonítica a granodiorítica, gran parte de estas se encuentran cubiertas por una secuencia de rocas volcánicas andesíticas, tobas y conglomerados del Neógeno (Jorge Beltrán 2016).

## 13. BIBLIOGRAFÍA

Anderson, T.H., Silver, L.T., 1978, The nature and extent of Precambrian rocks in Sonora, Mexico [abs.], en Roldán–Quintana, J., Salas, G.A., (eds.), Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora, Hermosillo, Resúmenes: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 9–10.

Anderson, T.H., Silver, L.T., 1979, The role of the Mojave–Sonora Megashear in the tectonic evolution of northern Mexico, en Anderson, T.H., Roldán–Quintana, J., (eds.), Geology of northern Sonora: Hermosillo, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, pp. 59–68.

Anderson, T.H., Silver, L.T., 2005, The Mojave–Sonora Megashear: Field and analytical studies leading to the conception and evolution of the hypothesis, in Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., Steiner, M.B., (eds.), The Mojave–Sonora mega shear hypothesis: Development, assessment, and alternatives: Geological Society of America Special Paper 393, pp. 1–50.

Barra, F., Valencia, V. 2014, Late Cretaceous porphyry copper mineralization in Sonora, Mexico: Implications for the evolution of the Southwest North America porphyry copper province. *Mineralium Deposita*, Volume 49, Issue 7, pp 879-884.

Cooper, G. A., y Arellano, A. R. V., 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, México: *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, v. 30, pp. 606-619.

Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulitch, V., Stoyanov, Alexander, and Lochman, C., 1952, Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwest Sonora, Mexico: *Smithsonian Miscellaneous Collections*, v. 119, 184 p.

Cooper, G. A., Dunbar, C. O., Duncan, H., Miller, A. K., y Knight, J. B., 1953, Permian fauna at El Antimonio, western Sonora, Mexico: *Smithsonian miscellaneous Collections*, v. 119, 106 p.

Cooper, G. A., 1956, El Cámbrico de Sonora: México, D. F., Congreso Geológico Internacional, 20, Libreto-guía de la excursión A-8, 18 p.

Damon, P.E., Livingston, D.E., Gilletti, B.J., 1961, Extension of the older Precambrian of the southwest into Sonora, Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, 68, pp.158–159.

Damon, P.E., Livingston, D.E., Mauger, R.L., Gilletti, B.J., Alor, P., 1962, Edad del Precámbrico Anterior y de otras rocas del zócalo de la región de Caborca–Altar de la parte noroccidental del Estado de Sonora: Boletín Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 64, pp.11–64.

Damon, P.E., Shafiqullah, M., and Clark, K.F., 1983, Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of Mexico; Canadian Journal of Earth Sciences; v.20, p.1052-1071.

Farmer, G.,L., Bowring, S.,A., Matzel, J., Espinoza-Maldonado, G., Fedo, C., and Wooden, J., 2005, Paleoproterozoic Mojave province in northwestern Mexico? Isotopic and U–Pb zircon geochronologic studies of Precambrian and Cambrian Crystalline and sedimentary rocks, Caborca, Sonora, in Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., Steiner, M.B., (eds.), The Mojave–Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives: Geological Society of America Special Paper 393, pp.183–198.

González-León, C. y Jacques-Ayala. C.,1980, Paleogeografía del Cretácico temprano en Sonora. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra UANL. Linares 4. pp.125-152, edit Oct. 1990, Linares, México.

Iriondo, A., Miggins, D., Premo, W.R., 2003a, The Aibo–type (~1.1 Ga) granitic magmatism in NW Sonora, Mexico: Failed continental rifting of Rodinia?: Geological Society of America, Cordilleran Section, Abstracts with Programs, 35(4), 84 p.

Jacques-Ayala, C., 1993, The Lower Cretaceous Glance Conglomerate and Morita Formation of the Sierra El Chanate, northwestern Sonora: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 10, núm. 1, p. 37-46.

Jacques-Ayala, C., 1995, Paleogeography and provenance of the Early Cretaceous Bisbee Group in the Caborca-Santa Ana region in Jacques-Ayala, C., González-León, C.M. y Roldán-Quintana, J., eds., Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent areas: Geological Society of America, Special Paper 301, pp. 79-98.

Jorge Alonso Beltrán Cabrera, 2016, Espectrometría de Reluctancia del Infrarrojo Cercano, Utilizando el Espectrómetro Terraspec en la Caracterización de Fases Minerales de la Alteración Hidrotermal en el Proyecto Los Humos, Noroeste de Sonora, Universidad de Sonora. Univ. Sonora, Dept. Geología, p. 14-56.

Longoria, J. F., y González, M. A., 1979, Estudios estratigráfico-estructurales en el Precámbrico de Sonora; Geología de los Cerros Gamuza y El Arpa: Hermosillo, Universidad de Sonora, Boletín del Departamento de Geología, v. 2, p. 106-149.

Merriam, R., and Eells, J., L., 1979, Reconnaissance geologic map of the Caborca Quadrangle, Sonora, Univ. Sonora, Dept. Geología, Bol., v. 1, p. 87-94.

Stewart, J. H. 1986. Late Triassic paleogeography of the southern cordillera; the problem of a source for voluminous volcanic detritus in the Chinle Formation of the Colorado Plateau region, U.S. Geol. Survey, p. 567-570, vol. 14 ; No. 7.