



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**  
**División de Ingenierías**  
**Departamento de Minas, Metalurgia y**  
**Geología**

*“MÉTODOS DE MUESTREO PARA LA  
DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN DE DEPÓSITOS DE  
ORO EN DISTRITO NOCHE BUENA, CABORCA,  
SONORA, MÉXICO”.*

**TÉSIS**

Que para obtener el título de:

**Ing. Geólogo**

Presenta:

**LAURA CECILIA PÉREZ MASCORRO**

**Guanajuato, Gto. Mayo 2015**



Guanajuato, Gto., abril de 2015

Asunto: **Aprobación de Trabajo  
de Titulación.**

**DR. LUIS ENRIQUE MENDOZA PUGA  
DIRECTOR DE DIVISION DE INGENIERIAS  
CAMPUS GUANAJUATO  
P R E S E N T E.**

Los que suscriben, revisores del trabajo, que como requisito para obtención de Título Profesional, fue presentado a revisión por:

***C. Laura Cecilia Pérez Mascorro***

Pasantes del Programa Educativo de Ingeniero Geólogo de la División de Ingenierías del Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología de la Universidad de Guanajuato, en la modalidad de *Trabajo de Tesis*, con el Título:

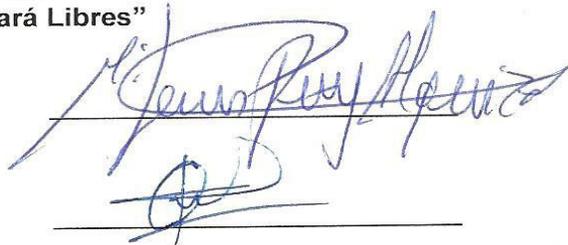
***“Métodos de Muestreo para la Definición y Evaluación de Depósitos de Oro  
en Distrito Noche Buena, Caborca, Sonora, México”***

Una vez leído, analizado y revisado el trabajo, ha sido aprobado para que continúen con los trámites requeridos para solicitar fecha y sustenten examen.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

**Atentamente  
“La Verdad Os Hará Libres”**

Dra. María Jesús Puy y Alquiza  
Directora del Trabajo



Dr. Raúl Miranda Aviles  
Sinodal del Trabajo

Dra. Ma. Mercedes Salazar Hernández  
Sinodal del Trabajo



C.c.p.- Archivo.

**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CAMPUS GUANAJUATO**  
Ex-Hacienda San Matías s/n, 36000, Guanajuato, Gto., Tels. (473) 732 22 91, Fax (473) 732 38 64

## **DEDICATORIA**

A mis padres:

**María del Rosario Mascorro Zúñiga y Brigido Pérez López**

Por su apoyo incondicional y siempre motivarme a salir adelante sin juzgar lo que hacía, al contrario siempre darme consejos y apoyo en todo momento.

A mis hermanos:

**María Concepción Pérez Mascorro y Luis Fernando Pérez Mascorro**

Por entender lo que estaba haciendo y siempre alentarme para seguir adelante. En general a toda mi familia que siempre me apoyo.

A **Leonardo C.** por siempre apoyarme, escucharme, entenderme sin juzgar ni cuestionar y sobre todas las cosas por hacerme feliz los últimos años de la carrera y los muchos más que nos faltan.

A mis amigos:

Por siempre estar ahí cuando los necesitaba y entender que no siempre podía verlos o estar con ellos como en los viejos tiempos y seguir divirtiéndonos juntos, así como siempre procurarme y estar al pendiente de mí.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato por ser mi Alma Mater y en especial al Departamento de Minas, Metalurgia y Geología, por darme y enseñarme todos los conocimientos, experiencia y lecciones de vida que hoy tengo para poder desarrollarme laboral y profesionalmente así como a los profesores que algún día me impartieron clases, ya que sin ellos esto no sería posible.

A mi Tutora y directora de tesis la **Dra. María de Jesús Puy y Alquiza** por apoyarme, escucharme y aconsejarme a lo largo de mi carrera, ya que sin ella esto no sería posible, además de asesorarme en todo este proceso el cual no fue fácil.

A mis asesores el **Dr. Raúl Miranda Avilés** y la **Dra. María Mercedes Salazar H.** por aceptar ser parte de esta titulación, darme sus opiniones y comentarios para mi tesis.

Al igual que mis amigos y compañeros ya que a lo largo de la carrera me acompañaron en esta travesía llena de retos, descubrimientos y aventuras. Al final de todo, el esfuerzo valió la pena y si se pudo.

## **AGRADECIMIENTOS A LA INSTITUCION – FRESNILLO PLC**

Agradezco al Ing. Carlos Villeda por ser el vínculo para poder llegar a la empresa Fresnillo PLC la cual me acepto y apoyo para realizar mis prácticas y trabajo de tesis en su proyecto Noche Buena. Al Lic. Eduardo García por recibir mi solicitud, siempre ser muy amable y atento así como a la Lic. Alicia por dar seguimiento a todo mi proceso de selección y resolver todas mis dudas.

A la C.P. Gabriela Morales por ser muy atenta y amable conmigo al recibirme en Hermosillo, Sonora para continuar con el proceso de selección.

Al Ing. Francisco Quintanar por siempre estar al pendiente de mí y ser un gran ejemplo a seguir, además de tener una gran experiencia la cual me transmitió con sus enseñanzas tanto en Geología, área laboral y la vida en general.

A los Ing. Benjamín Badachi, Abraham López, Luis López, Nicolás Martínez Cielo y Arturo Palomo por siempre estar al pendiente de mí y enseñarme cada día algo nuevo. Apoyarme en mi estancia, hacer menos pesado los días de trabajo y hacer una gran amistad con cada uno de ellos. Al Ing., Rosalio León por ayudarme en la parte de ecología y ambiental además de tener muy buena convivencia con él.

Al personal del área Noche Buena por siempre portarse muy bien conmigo además de hacer amistad con ellos y hacer menos pesada la estancia lejos de mi familia y amigos, ya que con ellos aprendí, reí, me divertí mucho y forme parte de la familia Noche Buena.

A los Ing. Ángel A. García, Martin Casillas y German Armenta que aunque vi poco, siempre tenían palabras de aliento y positivas para mí y grandes ejemplos a seguir por su trayectoria profesional.

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
1. RESUMEN .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1 Objetivo .....	3
2.2 Localización y Vías de Acceso .....	4
2.3 Trabajos Previos .....	5
2.4 Metodología del Trabajo .....	6
3. GEOLOGÍA REGIONAL.....	7
3.1 Precámbrico.....	7
3.2 Paleozoico.....	9
3.3 Mesozoico .....	10
3.3.1 Triásico.....	10
3.3.2 Jurásico.....	10
3.3.3 Cretácico .....	13
3.4 Cenozoico .....	15
.....	16
4. GEOLOGÍA DEL DISTRITO NOCHE BUENA .....	17
4.1 Depósitos de Oro Orogénico.....	20
5. METODOS DE MUESTREO EMPLEADOS EN DISTRITO NOCHE BUENA. ....	24
5.1 Objetivos del Muestreo .....	25
5.2 Importancia del Muestreo .....	26
5.3 Materiales y Equipo de Apoyo .....	26
6. MUESTREO DE SUPERFICIE .....	27
6.1 Muestreo de esquirla.....	28
6.2 Características y Desarrollo .....	29
6.3 Área de trabajo.....	33
6.4 Programación de Barrenos .....	35

.....	36
7. BARRENACIÓN TIPO CIRCULACIÓN INVERSA (C.I.) .....	37
7.1 Características y Operación.....	38
7.1.1 Rompimiento .....	40
7.2 Muestreo de Circulación Inversa (C.I.).....	42
7.2.1 Muestreo en Seco .....	43
7.2.2 Muestreo en Agua .....	45
8. BARRENACION DE DIAMANTE (BDD) .....	47
8.1 Características y Operación.....	48
8.1.1 Rompimiento .....	51
8.2 Geotecnia.....	53
8.2.1 De – A (Profundidad) .....	53
8.2.2 Recuperación en metros .....	53
8.2.3 Calidad de la roca (RQD).....	53
8.2.4 Índice de Resistencia.....	55
8.2.5 Fractura por corrida.....	55
8.2.6 Join condition .....	56
8.2.7 Índice de alteración .....	57
8.2.8 Rubble (m).....	58
8.2.9 Gouge.....	58
8.2.10 Peso específico (P.E.).....	59
8.3 Muestreo de BDD .....	61
8.3.1 Marcado de Muestras .....	62
8.3.1 Corte y Muestreo .....	65
9. PROPUESTA DE MÉTODO EN EL MUESTREO DE SUPERFICIE. ....	67
9.1 Muestreo Sistemático.....	67
9.2 Seleccionando las ubicaciones para el muestreo.....	68
10. CONTROL DE CALIDAD QA/QC.....	69
10.1 Procedimientos del control de calidad.....	69
10.1.1 Duplicados.....	70
10.1.2 Espacios en blanco .....	70
10.1.3 Estándares certificados .....	71

10.1.4 Verificación de los datos .....	71
11. SEGURIDAD E IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE.....	73
11.1 Equipos y Elementos de Protección Personal .....	73
11.2 NOM-120-SEMARNAT-2011.....	74
11.2.1 Campamentos.....	75
11.2.2 Rehabilitación y Apertura de caminos .....	76
11.2.3 Barrenación .....	77
11.2.4 Construcción de zanjas, pozos y obras mineras.....	77
11.2.5 Manejo de sustancias y residuos peligrosos .....	78
11.2.6 Actividades de oficina .....	79
11.3 Política de Desarrollo Sustentable SSMARC.....	80
12. CONCLUSIONES .....	81
13. REEFERENCIAS .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de localización de la zona de trabajo. ....	4
Figura 2. Mapa de Geología Regional al NW de Sonora.. ....	16
Figura 4. Afloramiento de Riolita .....	19
Figura 3. Riolitas Plegadas.....	19
Figura 5. Facie de Metasedimentos – Areniscas.....	19
Figura 6. Ubicación de Depósitos de “Oro Orogénico”. Tajo de mina Noche Buena.....	23
Figura 7. Toma de rumbo y echado de la veta a muestrear .....	30
Figura 8. Descripción de la muestra en libreta de campo .....	30
Figura 9. Talonario .....	31
Figura 10. Proceso de toma de muestra .....	32
Figura 11. Área de trabajo en Distrito Noche Buena. Mapa con geología y muestreo .....	34
Figura 12. Programación de barrenos, distancia entre la estructura y la maquina	36
Figura 13. Diagrama del sistema de perforación de Circulación Inversa. ....	39
Figura 14. Proceso de Instalación de máquina C.I.....	41
Figura 15. Muestreo en seco.....	44
Figura 16. Muestreo en agua. ....	46

Figura 17. Corona de Diamante con Testigo HQ .....	49
Figura 18. Esquema de perforación con corona de diamante (Marjoribanks, 2010) .....	50
Figura 19. Barra montadora de testigo.....	50
Figura 20. Rompimiento de barrenación de diamante (BDD).....	51
Figura 21. Máquina de BDD, tuberías y piletas .....	52
Figura 22. Caja de barreno indicando donde inicia y termina la corrida, De: - A: con taquete de perdida y recuperación. ....	54
Figura 23. Zonas de rubble en los barrenos.....	58
Figura 24. Zonas de gouge en los barrenos.....	58
Figura 25. Báscula y Probeta con graduación milimétrica.....	60
Figura 26. Muestreo en barrenación de diamante.....	61
Figura 27. Marcado de muestras cada 2 metros sobre el barreno .....	64
Figura 28. Corte de núcleo para la obtención de muestra.....	65
Figura 29. Muestreo de núcleo cortado y embolsado.....	66
Figura 30. Graficas estadísticas de estándares alto y bajo. ....	72
Figura 31. Rescate y reubicación de especies endémicas para la apertura de caminos .....	76
Figura 32. Clasificación de Residuos Peligrosos CRETIB .....	78
Figura 33. Clasificación de Riesgos del Rombo NFPA .....	78
Figura 34. Equipo básico de seguridad y parte el Equipo de Protección Personal	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de resistencia de rocas tomado del ISRM .....	55
Tabla 2. Rangos del “Join Condition” .....	56
Tabla 3. Clasificación del Intemperismo y/o meteorización de la roca tomada del ISRM .....	57

# 1. RESUMEN

El contexto geológico-mineral de la región Noroeste del estado de Sonora se caracteriza por la diversidad de teorías e hipótesis acerca de la mineralización, sobresaliendo la denominada Megacizalla Mojave-Sonora (MMS) y su cercana relación geográfica con los depósitos de Oro-Orogénico, cuyos ejemplos son Noche Buena, La Herradura, La Choya, El Chanate, Cerro Colorado, San Francisco, entre otros.

Noche buena se encuentra en el margen Noroeste del Estado de Sonora, a 20 km al Noreste de la mina de oro La Herradura, uno de los depósitos más característicos del área en un ambiente geológico estructuralmente complejo.

Localmente en el distrito Noche Buena, se tiene una serie de trabajos de exploración la cual consiste en mapeo y muestreo de superficie donde se observa la mineralización presente en la zona en base al mapeo que se realiza a la par, donde se reconocen los afloramientos y estructuras de bajo ángulo constituidas por vetas de cuarzo con óxidos y carbonatos de hierro, óxidos de manganeso con anomalías de oro diseminado en cristales de pirita oxidada, que en algunas ocasiones ambos exhiben oro visible.

Este trabajo de tesis nace de la necesidad de obtener una metodología escrita a seguir para la realización del muestreo en prospección y exploración para lograr un mejoramiento continuo de las técnicas de muestreo actualmente utilizadas en el Distrito Minero Noche Buena.

Para esto se detallaran metodologías y procesos a realizar en el muestreo de superficie, muestreo en máquinas de barrenación como lo son Circulación Inversa (BCI) y Diamante (BDD) conforme se desarrolla la prospección y posteriormente la exploración.

## 2. INTRODUCCIÓN

El precio de los metales en especial el del oro, con su volátil comportamiento, ha generado planes estratégicos en la exploración y ha motivado a grupos de investigadores a conocer más sobre el comportamiento mineralógico del oro, su génesis, emplazamiento, condiciones estructurales y asociaciones, con la finalidad de implementar y mejorar las técnicas geológicas de muestreo en superficie y barrenación directa en la búsqueda y localización de nuevos depósitos de Au en la región. La compilación de información y evidencia ha llevado a un mejor entendimiento de dichos depósitos de oro los cuales han sido ubicados y evaluados para su posterior explotación y como resultado se tiene la Mina Noche Buena.

En la actualidad es de suma importancia que todo geólogo sea capaz de identificar y aplicar los métodos y sistemas de muestreo en la etapa de prospección y exploración. Estableciendo los mejores métodos necesarios para ejecutar la labor de Muestreo Geológico, que se asegure el cumplimiento de los requerimientos operacionales y de procesos, estándares de seguridad, calidad y medio ambiente siempre y cuando se cubra la seguridad de los trabajadores así como la calidad del muestreo.

La finalidad de este trabajo es el de aportar un “manual” escrito con la descripción y procedimientos para la correcta operación del muestreo de superficie y máquinas de barrenación en posibles áreas donde la mineralización continua extendiéndose con base en las características geológicas del depósito para así seguir con la modelación de recursos y reservas que posteriormente serán explotados.

## 2.1 Objetivo

Elaborar un escrito con la descripción y procedimientos para la correcta operación del muestreo de superficie y barrenación en posibles áreas mineralizadas con base en las características geológicas de los depósitos de oro en el Distrito Noche Buena.

El tipo de yacimiento mineral determina el tipo de muestreo a realizar ya que comprendiendo la geología y realizando el modelo del cuerpo mineral del lugar se lleva a cabo una mejor selección de muestra así como entendimiento.

Los motivos por los cuales se realizó la tesis en esta área se debió a la oportunidad de colaboración con la Compañía Minera Fresnillo PLC. La cual me apoyo para poder utilizar la información y herramientas necesarias para el desarrollo de dicho trabajo.

De igual forma el interés geológico que representa para las compañías mineras debido a que en esta zona, es una de las más ricas en oro del tipo orogénico en México y como ejemplo esta la mina Noche Buena, , y que pertenece al distrito La Herradura, ubicada en la porción central de esta zona, y que es la mina que tiene mayor producción de oro en México, por lo tanto es necesario recopilar la información, conocer y realizar a detalle las técnicas de muestreo en exploración para así continuar con el seguimiento y descubrimiento de nuevas vetas y cuerpos minerales en la región las cuales serán explotadas.

## 2.2 Localización y Vías de Acceso

El área de estudio se localiza en el Noroeste del Estado de Sonora, aproximadamente a 20 km al noreste del depósito de Oro La Herradura. Su acceso es a partir de la ciudad de Hermosillo, por la carretera Federal México 15 (México – Nogales) hasta la ciudad de Santa Ana en un recorrido de 169 km; de ahí se desvía por la carretera Federal México 2, por espacio de 112 km, hasta llegar a la Ciudad de Caborca, donde se toma la carretera Internacional Caborca – Sonoyta y en el Km 156 se parte hacia el oeste por un camino de terracería en buenas condiciones hasta llegar al área de estudio, después de recorrer una distancia de 30 km. (Figura 1)

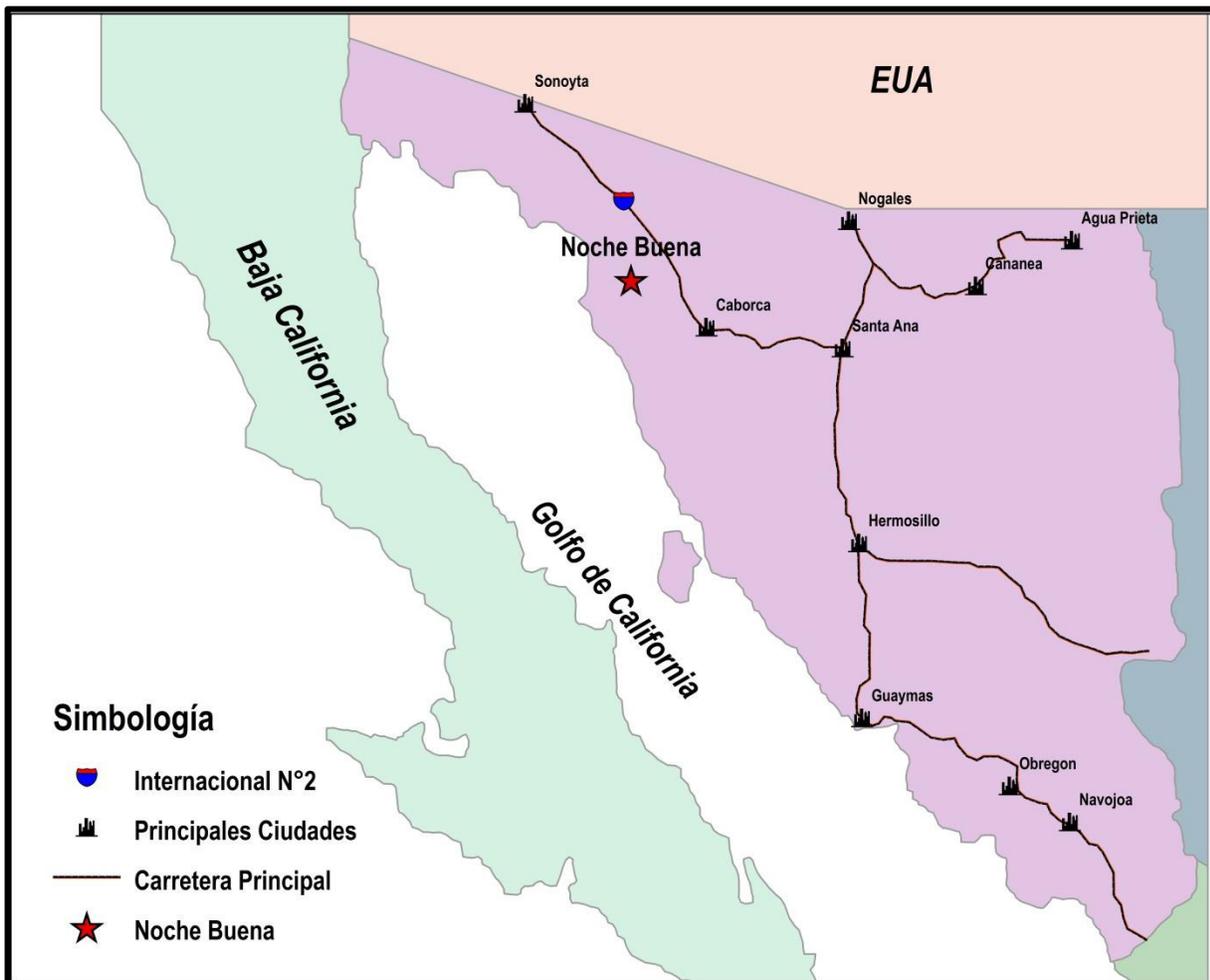


Figura 1. Plano de localización de la zona de trabajo.

## **2.3 Trabajos Previos**

En esta área no se han realizado trabajos previos a detalle acerca de las técnicas y métodos de muestreo para depósitos de oro en Distrito Noche Buena. Se cuenta con un manual de operación y muestreo en general para máquinas de Circulación Inversa y Barrenación de Diamante, mas no específicamente de muestreo a niveles de prospección y exploración.

Las necesidades del Distrito Noche buena, cada vez son mayores debido a que se cuenta con una mina a tajo abierto en explotación, por lo que la prospección y exploración en zonas aledañas sigue siendo una actividad cíclica para la obtención de nuevos hallazgos y explotación de oro, un metal precioso e importante para muchas industrias a nivel mundial.

Este trabajo fue basado en el manual de “geotecnia y descripción geológica Nuevo Corredor” así como en los procesos Operativos de Barrenación C.I. Tajitos y de Muestreo. Sin embargo todo lo descrito en el mismo, corresponde al Distrito Noche Buena y a las características del depósito de Oro Orogénico así como a la forma de trabajar y operar del distrito.

## **2.4 Metodología del Trabajo**

Se realizaron caminamientos al campo durante todo el periodo del estudio donde se mapeo y se muestreo a detalle en mapas del área escala 1:5000, se observaron y registraron las técnicas de muestreo para posteriormente elaborar este escrito.

De igual forma se realizaron visitas a las máquinas de barrenación donde se observó y se supervisó el proceso de muestreo así como el funcionamiento de la maquinaria en general.

Por último, se determinara con base en resultados las zonas mayormente explotables para su evaluación y corroboración con base en la barrenación que se aplique en la zona, continuando con el descubrimiento de nuevos depósitos tal y como lo indica la misión del Grupo Fresnillo en el NW del estado de Sonora.

El Departamento de Exploración, Distrito Noche Buena, tendrá como resultado un escrito sobre los métodos de muestreo realizados en campo y en máquinas de barrenación para así obtener datos y resultados certeros para la evaluación y posterior desarrollo del depósito en el área.

### **3. GEOLOGÍA REGIONAL**

#### **3.1 Precámbrico**

El basamento precámbrico cristalino en el NW de Sonora fue reconocido en primer lugar por Cooper y Arellano (1946) quienes identificaron una fauna del Cámbrico medio en la secuencia sedimentaria de la región de Caborca sobre un basamento metamórfico, (Damon y colaboradores. 1962) hicieron los principales fechamientos radiométricos (K-Ar) en el basamento Paleoproterozoico, identificando también en la región la presencia de magmatismo de edad Greenvilleana (aproximadamente 1.0 Ga). Más tarde Anderson y Silver (1969) describieron el basamento como una serie metamórfica del Paleoproterozoico (ca. 1750 Ma), el Complejo Bámuri se compone de gneises, esquistos, cuarcitas, anfibolitas y pegmatitas, con un rango de metamorfismo que va desde facies de esquistos verdes hasta anfibolita y cuyos protolitos corresponden a intrusivos graníticos-granodioríticos con edades ca. 1400 y 1100 Ma.

El complejo metamórfico Bámori, se encuentra intrusionado por diques dioríticos y riódacíticos, así como por el granito Aibó descrito por Cooper y Arellano (1946), ambos fechados por Anderson y Silver (1979) con edades del orden de  $1755 \pm 20$  Ma y  $1100 \pm 10$  Ma respectivamente. Dicho complejo aflora principalmente en los cerros Bámori, Ciénega y La Verruga, en la porción noroccidental de La Sierra El Viejo y en el sur de la Sierra La Víbora, al oeste-noroeste de Caborca.

Este complejo metamórfico es sobreyacido discordantemente por una secuencia de rocas carbonatadas dolomitizadas denominadas Capas Gamuza, a las cuales se les ha asignado una edad Neoproterozoico. Estas rocas fueron afectadas por metamorfismo regional dinamo-térmico acompañado de deformación por cizalla e intenso plegamiento y deformaciones sobrepuestas; y que afloran a manera de techos colgantes encima del batolito laramídico y plutones eocénicos en la región de Sierra de San Francisco, Sierra Prieta y Sierra Blanca, en la zona de la mina La Herradura, en la región de Quitovác, y sierras Los Tanques y Sierra Pinta. En la región de Quitovác y en la sierra Los Tanques,

el basamento metamórfico Paleoproterozoico se encuentra cabalgando a las rocas del arco jurásico; edades de U-Pb para estas rocas Paleoproterozoicas dieron 1777 Ma en el protolito granítico (Iriondo, 2001), que corresponde a la edad más antigua reportada hasta ahora para las rocas de esta localidad, y 1600 Ma en un gneis cuarzo-feldespático en una localidad al noreste de Puerto Peñasco (Anderson y Silver, 1979).

La edad de este basamento Precámbrico, es correlacionable con las rocas Paleoproterozoica que presentan características similares en la región de Caborca, y con las expuestas en la región de Los Vidrios; así como aquellas rocas que componen el basamento precámbrico en las provincias cristalinas Yavapai o la zona de transición Mojave-Yavapai del suroeste de Norteamérica (Iriondo,2001).

Rocas del proterozoico superior, se encuentran representadas por una secuencia de rocas carbonatadas denominadas Capas Gamuza (Cooper y Arellano, 1946). En 1979, Longoria y González definen en la misma localidad una secuencia medida de 2,200 m de espesor estableciendo en orden ascendente las formaciones El Arpa, Caborca, Pitiquito, Gamuza, Papalote y el Grupo Gachupín. Las primeras dos formaciones se encuentran fuertemente plegadas, mientras que las que las 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 Tulín, La Ciénega, Calaveras, Clemente, La Verruga, Bámori, El Arpa, Gamuza y en otros afloramientos de espesores más pequeños pero extensos 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 correlacionable con la Formación Antimonio, así como también, se encuentra afectada por rocas intrusivas de composición granodiorítica – diorítica de edad Cretácica.

### 3.2 Paleozoico

Las unidades más características de la región Caborca pertenecen al Neoproterozoico y Paleozoico. En Caborca la geología pre-Mesozoica consiste en carbonatos y rocas siliciclásticas, consideradas parte de la secuencia miogeoclinal cordillerana expuesta a lo largo del borde oeste de Norteamérica. La secuencia descansa discordante sobre el basamento Proterozoico, tiene un espesor estimado de 3.3 km y fue depositada en ambiente someros de plataforma en un margen pasivo.

Localmente se encuentran preservadas unidades del Paleozoico medio (Silúrico-Devónico); también es aparente el hiatus en el Silúrico (Poole et al., 2000) y existe una aparente discontinuidad en la región de Hermosillo que separa el pérmico del resto de la secuencia (Stewart et al., 1997). Rocas del Paleozoico superior en el terreno Caborca incluyen rocas carbonatadas del Devónico, Misisípico y Pensylvánico de ambientes de plataforma (Brunner, 1976; Stewart et al., 1997).

En Caborca se encuentran sedimentos miogeoclinales de edad Proterozoica y Paleozoica depositados sobre un basamento metamórfico y/o ígneo, dicha secuencia aflora discontinuamente a lo largo de un cinturón de 140 km de largo y 50 km de ancho (Stewart y col., 1990). Dicha secuencia orientada este-oeste, indicando los límites aproximados del margen continental del terreno Caborca y la zona de acreción de ambos terrenos en el centro de Sonora. Hacia el poniente de dicho cinturón miogeosinclinal se tienen secuencias eugeosinclinales Ordovícicas, Silúricas, Pérmicas y del Triásico Inferior (Gastil y Miller, 1984).

En la región de Caborca, la unidad cámbrica se subdivide en seis unidades, según Merriam y Eells (1979), constituidas por las formaciones el Tren, Arrojos, Cerro Prieto, Buelna, Proveedora y Puerto Blanco formadas principalmente por calizas, ortocuarcitas y Lutitas.

### **3.3 Mesozoico**

#### **3.3.1 Triásico**

Las rocas triásicas de Caborca son una sucesión de areniscas, cuarzo-arenita y limonitas con algunos horizontes de conglomerado (Grupo Antimonio) las cuales fueron depositadas en ambiente marino, pero también algunas fueron de ambiente continental. Estos sedimentos se encuentran en la parte superior de dicha sucesión donde fueron depositados por aguas profundas. Las edades van desde el Triásico medio al Triásico superior (González-León, 1997). Tal sucesión contiene abundantes fósiles y ha sido interpretada como depósito trasarco con cambios y ajustes en rocas marinas del jurásico (González-León et al 2005).

La presencia de 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, con una edad absoluta de 225 Ma U-Pb en zircones (Stewart, et al, 1986).

Las relaciones espaciales con las rocas vecinas presentan complicaciones estructurales, sin embargo el granito intrusión a las rocas del basamento cristalino Paleoproterozoico, las cuales muy probablemente también lo cabalgan y no solo a ellas, sino también a las rocas del arco jurásico, formándose un sistema imbricado de estructuras tipo dúplex, con indicadores cinemáticos que también evidencian un cizallamiento lateral en el cuerpo granítico (Stewart, et al, 1986).

#### **3.3.2 Jurásico**

Las asociaciones tectónicas de Formaciones Monos (Cooper, 1965) del Pérmico Medio y Antimonio (Gonzalez, 1980) del Triásico Tardío-Jurásico Temprano, así como las unidades correlativas que afloran solamente a lo largo y al sur de la MMS (Megacizalla Mojave Sonora) presentan una secuencia de rocas sedimentarias de aproximadamente 3400 metros de espesor, denominada Formación Antimonio, secuencia que aflora en la Sierra El Álamo a 60 Km al oeste de Caborca, constituida por limolitas, lodolitas y calizas.

Esta formación se compone por dos miembros, uno inferior y otro superior a las cuales se les asignó una edad Triásico tardío (Cárnico-Nórico) – Jurásico temprano en esta localidad.

Otros sedimentos marinos, equivalentes a la parte superior de la Formación Antimonio, se han reportado del Cerro Basura (Corona y Anderson, 1981) donde recientemente K.A. deJong (com. pers., 1990) encontró una amonita del Jurásico Temprano y otros afloramientos pequeños entre Hermosillo y Caborca (Mariano Morales, com. pers., 1990), lo cual indica que este terreno ahora fuertemente erosionado, estuvo original y ampliamente distribuido al sur de la MMS.

Las diferencias en edad y origen de las rocas jurásicas a ambos lados de la megacizalla, junto con las diferencias en edad del basamento cristalino en el bloque Caborca y las rocas proterozoicas del otro lado de la falla, dieron la pauta para que Silver y Anderson en 1974 concluyeran que el contacto entre estas regiones es una estructura mayor, una falla de desplazamiento lateral izquierdo, a la que llamaron Megacizalla Mojave Sonora (*Mojave-Sonora Megashear en inglés*), la cual atraviesa Sonora de noroeste a sureste. De lo anterior, se interpreta que la traza de la megacizalla va de Sonoyta a Caborca.

La MMS con un desplazamiento lateral izquierdo de 700 a 800 km, fue una falla activa durante el Jurásico. Los cuales forman sedimentos del Jurásico Inferior en el Cerro Basura (Franco, 1979; Anderson, 1979), al norte de Caborca y uno de los argumentos que se utilizan para indicar la edad cuando terminó su movimiento al final del Jurásico Medio, fue la observación de que sobre su traza están superpuestos los sedimentos del Jurásico Tardío de las áreas de Pozo Serna y Cucurpe (Anderson y Silver, 1979).

La evidencia de la megacizalla Mojave-Sonora está basada en estudios geocronológicos de basamentos Proterozoico que indican dos diferentes bloques con dos edades e interpretaciones levemente diferentes con cubierta Paleozoica

a Jurásica y secuencias propuestas que atraviesan la cizalla con orientación noroeste. La traza de la zona de cizalla es interpretada pasando el norte de la ciudad de Caborca y al oeste de Quitovac y Sonoyta, antes de extenderse al sur de California.

Otras secuencias potencialmente únicas en la región incluyen rocas clásticas, volcánicas y plutónicas del Jurásico temprano al medio que difieren del conglomerado predominante del Jurásico superior y rocas sedimentarias del Cretácico Inferior y unidades antiguas del Jurásico al noreste de la megacizalla (Anderson et al., 2005).

Las rocas volcánicas y sedimentarias jurásicas están relacionadas a la actividad de un arco magmático continental que estuvo activo durante este tiempo y fueron afectadas por metamorfismo de bajo grado de la facies esquistos verdes, posiblemente durante el Jurásico medio (Iriondo, 2001). Se encuentran ampliamente distribuidas, en el área de Sonoyta, al oriente de la sierra Los Tanques, en la región de Quitovác, en la sierra El Cobre, en ambos flancos de la sierra La Comanacha, en la continuación hacia el norte de la sierra La Gloria, y al flanco sur del Cerro Prieto.

Están constituidas por metaríolitas, metatobas, metandesitas, metareniscas y metaconglomerados con clastos alargados y escasos lentes de caliza.

Para estas rocas jurásicas se tienen edades en rocas volcánicas de  $178 \pm 5$  Ma, U-Pb (Anderson y Roldán-Quintana, 1979),  $175.6 \pm 0.38$  Ma y  $172.1.86$  Ma, U-Pb en zircones (Iriondo, 2001), y  $165$  Ma, U-Pb en zircones (Stewart, et al, 1986) y regularmente, el contacto con las rocas más antiguas es mediante una cabalgadura, al oeste de Sonoyta, en la región de Quitovác y en el cerro Prieto; y por falla normal y discordante con las unidades más jóvenes.

Esta serie de intrusiones han sido asociados al arco magmático continental Jurásico, tomándose en consideración que a finales del Jurásico medio y principios del Jurásico superior el vulcanismo explosivo de este arco aparentemente cesó, con el consiguiente emplazamiento de las intrusiones calcoalcalinas, no quedando claro si estos granitoides representan el estado final del episodio magmático que produjo la secuencia de rocas volcánicas, o sea un episodio separado (Tosdal et al, 1989). Para este tiempo se considera se generó el movimiento de la falla lateral izquierda, (MMS) que dividió este arco magmático en bloques estructurales elongados con orientación noroeste-sureste.

### **3.3.3 Cretácico**

En la región de Caborca se ha documentado la presencia de la orogenia Laramide (equivalencia en edad con la orogenia del mismo nombre en otras regiones de América del Norte). Entre Caborca y Santa Ana, está muy bien expuesta la secuencia cretácica (Grupos Bisbee y El Chanate y el Complejo Volcánico El Charro). Esta secuencia está plegada y foliada en grados variables, llegando a estar metamorfoseada. Recientemente se determinó, por medio de edades de U-Pb en zircones, que la edad del protolito del Esquisto Altar varía del Jurásico al Cretácico Tardío. Con esto se documenta una orogenia que ocurrió a fines del Cretácico.

De aquí que las cuencas del Cretácico Tardío en el norte de Sonora sean cuencas de antepaís. La orogenia del Cretácico Tardío se inició en el Cenomaniano y culminó probablemente en el Paleoceno-Eoceno.

Las intrusiones del cretácico superior y todas las unidades pre-Cretácicas han sido afectadas por la deformación laramide regional del cretácico tardío al terciario temprano, que es sobre puesta en la región de Quitovac a 40 km al noreste de La Herradura, por la edad de las intrusiones Cretácicas afectadas.

Estudios en rocas metamórficas en asociación con secuencias Volcanosedimentarias y eventos post-Laramide con edades entre 75 y 39 Ma (Iriando et al., 2005). La deformación Laramide en el área es asociada con el desarrollo de varios pliegues y fallas noreste, con tendencia irregular este-oeste y foliación de esquistos verdes de bajo grado y generalmente echadas con líneas enlongada las cuales se forman en respuesta a la dirección noreste-suroeste y norte-sur.

El paquete volcánico de composición intermedia constituido de andesita, tobas andesíticas y aglomerados andesíticos, se encuentra restringido específicamente en las localidades de la sierra San Manuel, en los alrededores del rancho El Plomo, y al sur y oriente de la sierra Comanacha.

Se encuentra cubriendo discordantemente a unidades más antiguas y son intrusionadas por los plutones laramídicos. Se correlaciona con el Complejo Volcánico El Charro que aflora en la sierra El Chanate, fechado en ~72 Ma, por Jacques-Ayala y col. (1993); Harrar (1989), la cual aflora al este del puerto El Álamo en la porción norte de la Sierra El Chanate, también en el flanco oriental de la Sierra Julio. Está constituida exclusivamente por aglomerados, brechas y flujos lávicos de composición andesítica dividida en unidades con más de 100m cada una.

### 3.4 Cenozoico

El cenozoico está representado por rocas volcánicas Riolíticas cuyos afloramientos de mayor extensión afloran discordantemente en la parte este de la carta: y derrames de andesita y basalto expuestos en varias partes de la misma, al sur del Cerro El Tecolote en el centro de la zona, esta unidad fue fechada en  $12.6 \pm 0.3$  Ma por el método K-Ar (Lynch, 1981).

El vulcanismo del Plioceno-Pleistoceno está representado por los afloramientos más extensos de derrames basálticos, brechas basálticas y rocas piroclásticas, de más de 400 volcanes que constituyen el Campo Volcánico El Pinacate, donde cubre discordantemente a las unidades más antiguas; las edades obtenidas por el método K-Ar varían de  $1.7 \pm 0.04$  Ma a  $.15 \pm 0.02$  Ma (Lynch, 1981). Se consideran rocas de afinidad alcalina emplazadas en un ambiente anorogénico intraplaca continental.

Cubriendo discordantemente a las rocas más antiguas afloran los depósitos no consolidados del Pleistoceno, constituidos por conglomerados polimícticos, distribuidos por montículos de arena en la porción oeste y suroeste de la zona, y depósitos de arenas y limos cubren los amplios valles en la parte centro y este de la misma. Afloran también sedimentos arcillo-arenosos palustres con materia orgánica, se localizan en las zonas pantanosas, desde Puerto Peñasco hasta Bahía Salina; los sedimentos lacustres constituidos por arena, limo, arcilla y sal, están depositados en las lagunas marginales; en Bahía Adair existen acumulaciones de salmueras con carbonato de sodio. Los sedimentos litorales, de arena y grava constituyen barras relacionadas a la acción de las corrientes litorales y finalmente, los aluviones cubren los cauces de los ríos y arroyos principales así como cubierta del cuaternario, consistentes de grava, arena y limo, resultados de la erosión de rocas preexistentes (Figura 2).

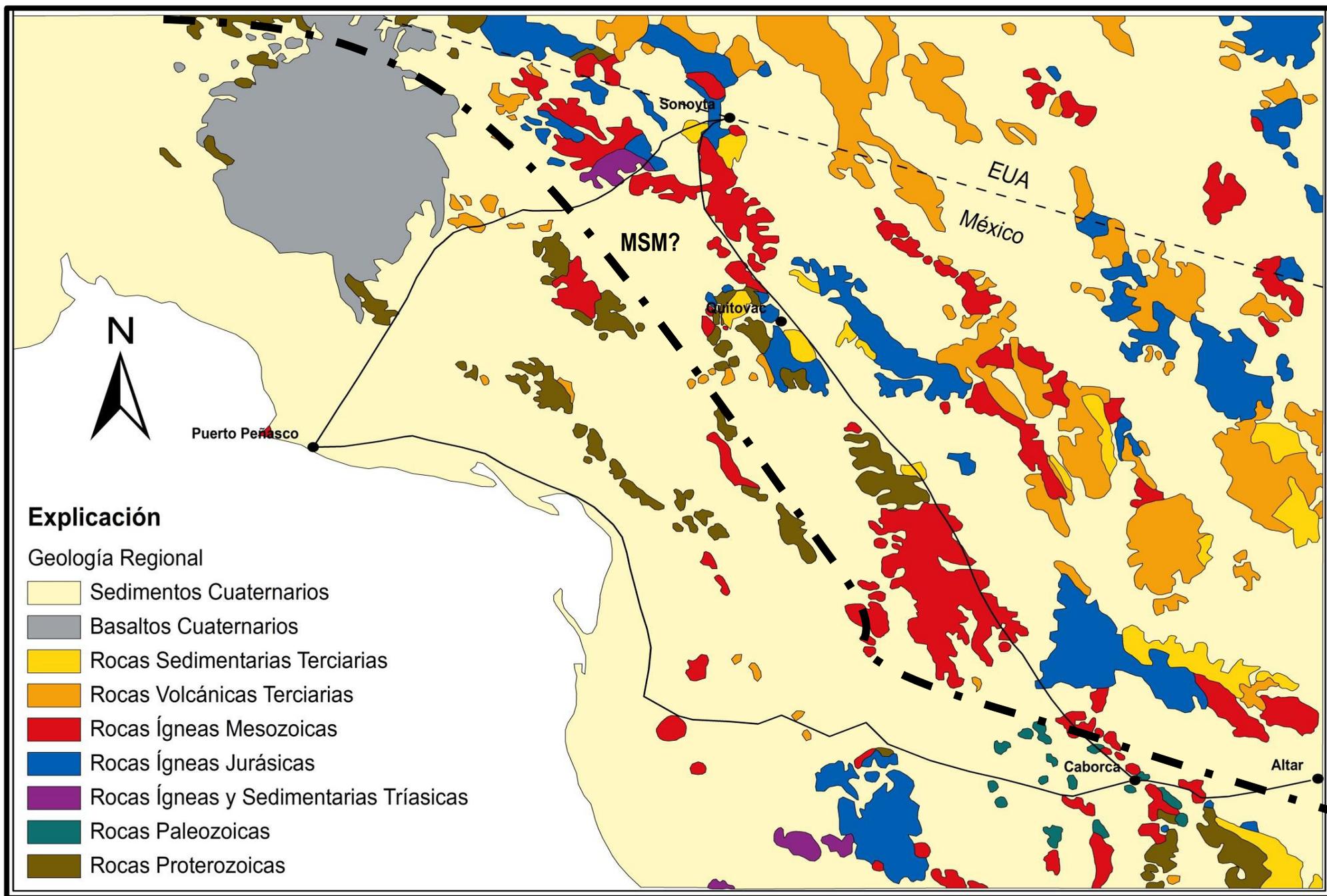


Figura 2. Mapa de Geología Regional al NW de Sonora, modificado de Iriondo et al. 2005.

#### **4. GEOLOGÍA DEL DISTRITO NOCHE BUENA**

En contacto con las rocas más antiguas, se expone la unidad meta volcánica y meta sedimentaria, de edad Jurásico medio, que están relacionadas a la actividad de un arco magmático continental que estuvo activo durante este tiempo, siendo afectada por un metamorfismo dinámico en el jurásico; consisten en meta riolita, meta toba, meta andesita, meta arenisca y meta conglomerado con clastos alargados y escasos lentes de caliza; los afloramientos de mayor extensión se localizan en la parte suroeste del distrito. Se tienen edades en rocas volcánicas de  $178 \pm 5$  Ma por el método U-Pb (Anderson y Roldan-Quintana, 1979),  $175.6 \pm 0.38$  Ma y  $172.3 \pm 1.86$  Ma (Iriondo, 2001) y 165 Ma (Stewart et al., 1986).

La secuencia de meta-andesita ocurre como una intercalación de metandesitas y metariolitas, siendo las primeras las más abundantes. En superficie, presenta una coloración verde oscuro y ocasionalmente violeta, en partes con textura ligeramente vesicular pero generalmente presentan una foliación la cual tiene un rumbo dominante NW  $50-75^\circ$  SE con echados variables de  $20$  a  $85^\circ$  al SW se observa una serie de pliegues de arrastre, los cuales invierten el buzamiento de la foliación.

Las metariolitas afloran principalmente hacia la parte sur del área y en una franja orientada principalmente en una dirección NW $50^\circ$ - $75^\circ$ SE (Figura 3). La abundancia de esta unidad puede alcanzar cerca del 50% del total de las rocas que aflora en el área de estudio; regularmente conforman una topografía irregular en ocasiones abrupta, con altitudes no mayores a los 350 msnm. Este tipo de rocas presenta una foliación fuerte con rumbo NW $30-60^\circ$ SE y echados variables de  $15^\circ$  a  $80^\circ$  al SW; sin embargo hacia el centro-este del área esta foliación cambia a una actitud de  $50^\circ$  al NE (Figura 4).

Considerablemente cerca de los contactos se pueden apreciar algunos indicadores cinemáticos que sugieren movimientos siniéstrales los cuales se hacen más evidentes en las vetas de cuarzo y en estructuras de tipo budines en zonas de cizallamiento intenso próximas a la estructura de cabalgamiento presente en el área.

Los metasedimentos son un paquete que se encuentra intercalado dentro de la secuencia volcanosedimentaria hacia su parte media, intercalada con las metariolitas; en cambio hacia el borde ESE del área con horizontes de metariolitas porfídicas ocasionalmente interestratificadas. Esta unidad se compone de metareniscas y metaconglomerados interestratificados, presentando una topografía suave con elevaciones no mayores a 335 msnm.

La meta-arenisca ocurre principalmente intercalada dentro de la unidad de metariolita porfídica en el lado SSW del área en forma de pequeños lentes elongados en dirección NW-SE, conformando una topografía suave con elevaciones no mayor a los 350 msnm. Esta unidad presenta una coloración gris clara en superficie con tonalidades oscuras en las rocas más frescas, presentando una gradación normal en cuanto a su tamaño de grano, con zonas bien estratificadas variando de areniscas de cuarzo de grano fino a medio con presencia de óxidos de hierro (hematita) producto de la descomposición de pirita untada en fracturas, dándole la tonalidad rojiza a esta unidad (Figura 5).

Por últimos tenemos aluvión y gravas compuestos por fragmentos de rocas existentes así como rodadas de cuarzo y rocas que afloran en la zona y debido al fuerte cizallamiento estas son fracturadas y fragmentadas, además de los efectos eólicos y de gravedad que las van desplazando de su lugar original convirtiéndolas en parte de la cubierta que abunda en la zona.



**Figura 3. Afloramiento de Riolita**



**Figura 4. Riolitas Plegadas**



**Figura 3. Facie de Metasedimentos – Areniscas**

## 4.1 Depósitos de Oro Orogénico

Comúnmente, los depósitos de oro denominados como “oro mesotermal”, de tipo *mother lode*, son prácticamente subtipos de un tipo de depósitos de oro epigenéticos, constituidos por sistemas de vetas controladas estructuralmente, con la particularidad de encontrarse estrechamente asociados a terrenos metamórficos deformados, con edades que representan prácticamente toda la escala de tiempo geológico (Bohlke, 1982; Colvine et al., 1984; Berger, 1986; Groves y Foster, 1991; Nesbitt, 1991; Hodgson, 1993; Kerrich, 1993; Robert, 1996; Groves et al., 1998). Generalmente, estos depósitos se encuentran asociados a cinturones metamórficos con facies de esquistos verdes del Arqueano (*greenstone belts*).

El marco tectónico en que se forman estos depósitos de oro es el de márgenes continentales activos, ya sea en orogenias del tipo acrecional o colisional, en un régimen compresivo a transpresivo. La mineralización de oro se encuentra característicamente en las rocas metamórficas localizadas al frente del arco continental, comúnmente mostrando un fuerte control estructural en estructuras de segundo y tercer orden. Generalmente, estas estructuras son compresionales, de gran escala y, por lo general, transcorticales, por lo que pueden ser de naturaleza dúctil o frágil. Por ejemplo, las estructuras pueden presentar diferentes variaciones, como: (1) fallas de naturaleza frágil hasta zonas de cizalla (dúctiles), de alto a bajo ángulo, de movimiento inverso a desplazamiento lateral u oblicuo; (2) sistemas de fracturas, zonas de *stockwork* o brechas en rocas competentes; (3) zonas de foliación o a lo largo de ejes de pliegues en secuencias de turbiditas. Los depósitos mesotermales de oro están caracterizados por sistemas de vetas en las que predomina el cuarzo, generalmente con pocos sulfuros ( $\leq 3-5\%$ ), por lo regular pirita y arsenopirita, con carbonatos ( $\leq 5-15\%$ ), a menudo ferríferos. Los minerales de ganga encontrados comúnmente en vetas relacionadas con rocas de facies de esquistos verdes son: albita, muscovita o fuchcita (mica rica en Cr), clorita, scheelita y turmalina.

Las relaciones de Au-Ag oscilan entre 10:1 a 1:1. Comúnmente, estos depósitos exhiben un enriquecimiento en elementos como As, B, Bi, Hg, Sb, Te y W, además de mostrar un ligero enriquecimiento en Cu, Pb, y Zn (Groves et al., 1998). La naturaleza de los fluidos involucrados en el depósito de la mineralización de oro se caracteriza por tener un pH casi neutro, con baja salinidad, y por contener compuestos de H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> ± CH<sub>4</sub>, los cuales transportaron el oro como un compuesto de azufre reducido con temperaturas de alrededor de 300 ± 50°C (Groves y Foster, 1991; Nesbitt, 1991); no obstante, recientemente los rangos de presión y temperatura han sido extendidos a <1–5 kbar y a 180–700°C, respectivamente (Groves, 1993; Ridley et al., 1996; Groves et al., 1998).

La provincia fisiográfica de “Sierras y Llanuras” en el desierto de Sonora, en el noroeste de México, se caracteriza por albergar un cinturón metalogenético con orientación NW-SE, constituido principalmente por depósitos de oro (Silberman et al., 1988; Pérez-Segura et al., 1996). Este cinturón se extiende desde Sonoyta hasta Benjamín Hill, con dimensiones de ~300 km de largo y ~90 km de ancho.

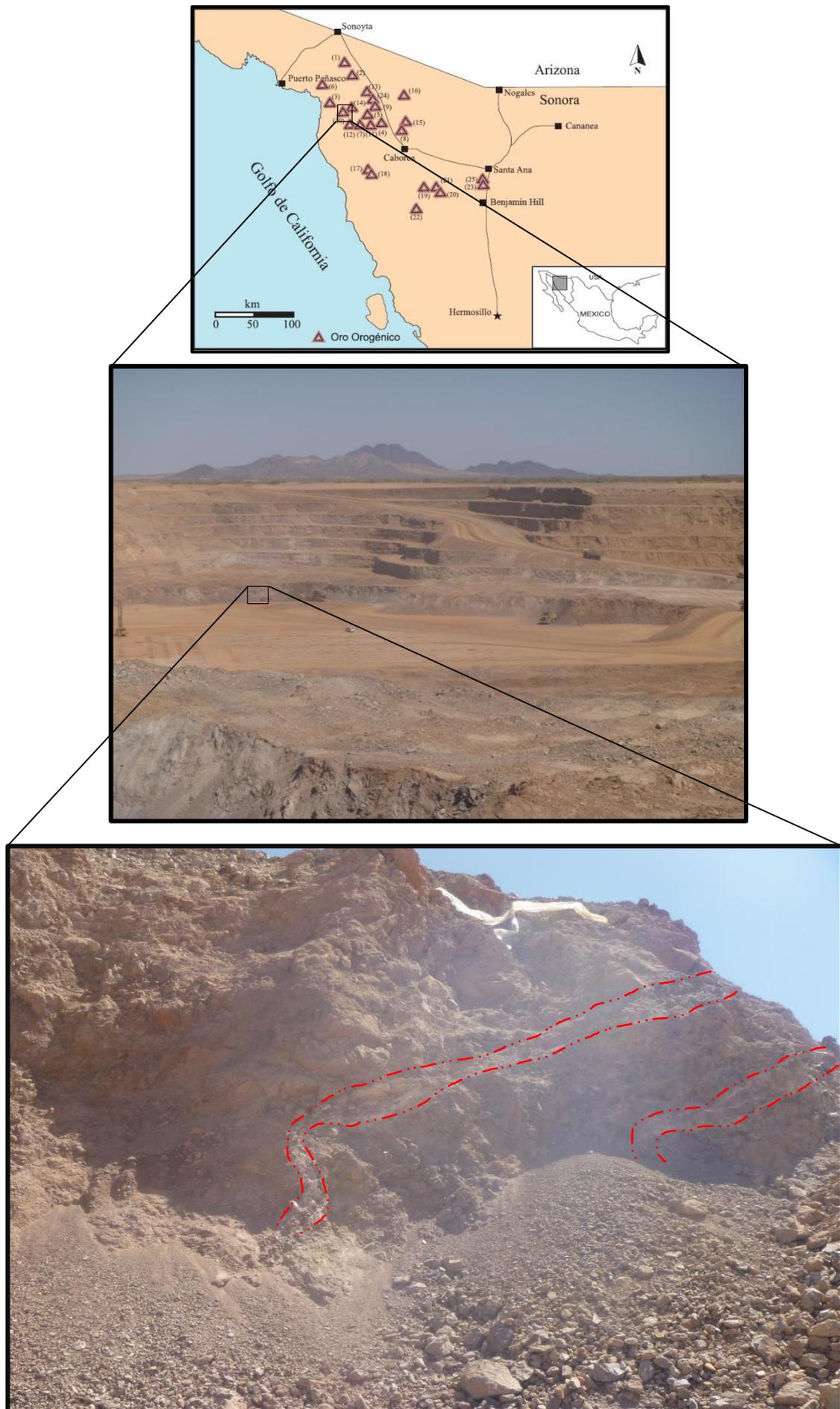
Los depósitos de oro de este cinturón metalogenético se caracterizan principalmente por la asociación constante con rocas metamórficas del Precámbrico, generalmente con metamorfismo de facies de esquistos verdes, aunque algunos depósitos se hospedan en rocas que varían en tipo (volcánicas y vulcano-sedimentarias), y edades que van desde el Proterozoico hasta el Eoceno, con variaciones en su facies metamórfica, pasando de esquistos verdes a granulitas (Araux-Sánchez, 2000; Noriega-Martínez, 2006; Quintanar-Ruiz, 2008).

Dada la estrecha relación espacial de los depósitos de oro con la postulada Megacizalla Mojave-Sonora, cabe la posibilidad de que también exista una relación temporal, lo que favorecería la hipótesis de que esta mega estructura haya desempeñado un papel importante en la formación de estos depósitos. Sin embargo, los datos geocronológicos comprenden un rango de edad de mineralización que va desde 60 hasta >27 Ma (Pérez-Segura et al. 1996; Iriondo y

Atkinson, 2000). Este rango de edad coincide perfectamente con el período de la orogenia Laramide y precede los eventos tectónicos distensivos del Cenozoico (Iriondo y Atkinson, 2000). No obstante, se conoce que las zonas de sutura o las estructuras transcorticales, comúnmente están relacionadas con la formación de los depósitos orogénicos de oro.

Por lo tanto, estructuras de gran escala como la postulada Megacizalla Mojave-Sonora, parecería no tener relación genética con este tipo de depósitos, pero bien pudo haber condicionado zonas de debilidad en la corteza superior para la formación posterior de este tipo de depósitos de oro. Esto conduce a pensar en la compleja historia tectónica durante la orogenia Laramide, cuando eventos compresivo-transpresivos tuvieron lugar a lo largo de la orogenia, dando como resultado una serie de depósitos orogénicos de oro, formando un cinturón NW-SE en el noroeste de México, los cuales posteriormente fueron afectados por los eventos distensivos del Cenozoico.

En el caso del Distrito Noche Buena, las características indican que es un depósito de Oro Orogénico el cual contiene principalmente cuerpos minerales en vetas de cuarzo de ángulos variables y en menor proporción se cuenta con stockworks los cuales alojan principalmente óxidos de hierro-manganeso, carbonatos de calcio, hierro y en menor proporción de cobre así como Pirita Oxidada o mejor conocida como Pirita Aurífera ya que en los bordes de esta se aloja el oro. Así como un control estructural definido por fallas y cizallamiento el cual propicia y define la mineralización en estructuras complejas como los son los enlaces sigmoides (Figura 6).



**Figura 4. Ubicación de Depósitos de “Oro Orogénico”. Tajo de mina Noche Buena. Vetas plegadas de bajo ángulo con contenidos de oro.**

## **5. METODOS DE MUESTREO EMPLEADOS EN DISTRITO NOCHE BUENA.**

El muestreo es la operación que consiste en sacar una parte del material, cuyo valor se desea conocer. Esta parte se llama muestra y debe tener un valor representativo, lo más aproximado posible del que realmente tiene el total, de acuerdo al grado de exactitud requerido.

En el sentido más amplio el muestreo representa el conjunto de operaciones que permite la obtención de una muestra que puede ser analizada. En su sentido más estricto, puede ser definido como la operación de remover una pequeña fracción de o parte de la muestra, desde un conjunto de material de mucho mayor volumen, de tal manera que las características del conjunto pueden estimarse estudiando las características de esta (ya que es representativa).

El grado de exactitud requerido depende de la cantidad de muestra tomada y de la calidad de la misma; mientras mayor sea el número de ellas, mayor exactitud se alcanzara. Aunque el costo de la operación sea mayor, pero este será de mayor confiabilidad.

Idealmente, el depósito mineral debería estar representado totalmente por una pequeña cantidad, pero como la naturaleza no ha distribuido los metales uniformemente, la muestra ideal no existe. Por eso se toman varias muestras a distancias uniformes o en estructuras representativas a fin de que todas las partes del depósito estén convenientemente representadas en el muestreo.

La visión que debe mantenerse durante el proceso de muestreo, es la de obtener, mediante varias muestras, la mayor representatividad posible acerca de la calidad o de las condiciones medias de un depósito determinado. La metodología de muestreo condiciona el grado de certidumbre de los resultados y normalmente constituye un porcentaje muy significativo del costo total de un proyecto. En consecuencia, es conveniente establecerla previamente mediante protocolos cuidadosamente elaborados para distintos medios, fines y escalas.

## 5.1 Objetivos del Muestreo

Establecer, mejorar e innovar procesos de muestreo en la exploración regional, desarrollando y garantizando el adecuado cumplimiento de la toma de muestra, basados en una mejora continua, eficiencia y equilibrio ecológico, que permitan establecer confiabilidad en los procesos de selección y control de muestras para la delimitación de un depósito mineral.

Hoy en día se cuenta con diferentes sistemas o tipos de muestreos aplicables a los distintos casos que puedan presentarse. Todos son sencillos en su descripción; pero, también todos requieren el cuidado necesario para lograr que el valor que se obtenga del análisis de la muestra, sea un valor representativo del valor medio del todo.

Una buena muestra de mineral debe ser

- representativa, de los diferentes minerales del depósito.
- Proporcional, que las diferentes partes del depósito estén presentes en cantidades proporcionales.
- Pura, que no hayan materiales extraños al depósito, como lo son rodados, rocas de otras zonas o estériles.

La muestra debe conservar las propiedades de las condiciones originales en el sitio (al tiempo del muestreo), durante la colección, transporte, organización y entrega al laboratorio de análisis.

Si la materia muestreada es rigurosamente homogénea, es decir todas sus partes o elementos constitutivos son idénticos entre sí, no importa cuán pequeña sea la fracción que se considere o la forma en que se extraiga, siempre presentara las mismas características del total.

## **5.2 Importancia del Muestreo**

Es una de las operaciones más importantes en el trabajo diario de un proyecto de exploración, de su buen resultado dependen todas las actividades futuras. El muestreo nos sirve para valorizar un depósito de minerales, planear o controlar la explotación del mismo. Un mal muestreo nos lleva a conclusiones erróneas y al fracaso de un proyecto.

El muestrero es el factor hombre clave del éxito o fracaso de una operación. La perfección de su trabajo depende de sus cualidades morales de su honradez, perseverancia y sentido de responsabilidad. Cada muestrero debe realizar el trabajo de una determinada zona con las características que más adelante se mencionaran. Los resultados del muestreo en la exploración permiten definir o no, la existencia de un depósito así como delimitar la parte explotable comercial del mismo.

## **5.3 Materiales y Equipo de Apoyo**

El equipo de apoyo y material necesario para la correcta ejecución y realización del muestreo, deberán ser otorgados por el personal encargado de dicha labor, de igual forma el Geólogo responsable deberá llevar consigo los materiales requeridos para la obtención, registro y organización de la muestra.

A continuación se muestra una lista de los materiales y equipo básico y necesario a utilizar en el muestreo de superficie en campo.

- Pica corta o larga
- Bolsas de microporo
- Etiquetas – Talonario
- Libreta de Campo
- Carpeta de Campo
- Lupa
- Brújula Brunton

- Plumones de tinta indeleble
- Lapicero – Pluma
- GPS (Sistemas de Posicionamiento Global)
- Planos del área de trabajo a escala
- Protactor (rumbera)
- Colores
- Ácido Clorhídrico diluido al 10% (HCl)
- Rayador con Imán
- Mochila para cargar las muestras

## **6. MUESTREO DE SUPERFICIE**

Una vez detectada el área de interés, se procede al reconocimiento superficial a través de un adecuado plan de mapeo, donde se aprecian los afloramientos, tipos de roca, alteraciones y estructuras como fallas, cizallas etc. que se encuentran en dicho lugar. En conjunto con información previa como columnas estratigráficas y formaciones geológicas del área, se procede a ubicar el tipo de roca que aloje la mineralización buscada y deseada.

En este muestreo de superficie se puede realizar muestreo sistemático y aleatorio, para este trabajo se utilizó muestreo “aleatorio” ya que es realizado de forma irregular y con características favorables como lo es el “muestreo de esquirla” el cual consiste en realizar un caminamiento por el área a prospectar en búsqueda de estructuras mineralizadas como son vetas o vetillas. Una vez encontradas se procede a su práctica evaluación en donde ya se tienen las características más comunes de donde podría estar alojada la mineralización, por ejemplo, el tipo de cuarzo, de alteración y minerales presentes en dichas estructuras.

Una muestra de superficie posee las mismas características o propiedades que el material en estudio, en este caso de un afloramiento o estructura con valores importantes de oro.

Esto significa que el grado de semejanza entre las muestras y el material en estudio se determina por las características a estudiar y por las técnicas analíticas usadas. Una muestra aleatoria es seleccionada de tal manera que cada muestra posible del mismo tamaño tiene igual probabilidad de ser seleccionada de la población. Esto hace que la muestra sea única y con materiales bien seleccionados ya que de estos depende los buenos resultados en el análisis de la misma.

### **6.1 Muestreo de esquirra**

Una muestra de esquirra es una muestra compuesta por fragmentos representativos de una veta, vetilla o un afloramiento. Estos tramos son representativos ya que no se puede cavar a mayor profundidad para sacar toda la estructura o el afloramiento ya que son de gran tamaño, por ello es recomendable obtener una muestra representativa de lo que se pretende sea explotado en un futuro.

Este tipo de muestreo consiste en obtener trozos de roca de aproximadamente 4 x 2 cm de ancho, se toman en sitios de interés, donde se observan indicadores geológicos relacionados con la mineralización deseada como lo es alteración hidrotermal, presencia de sulfuros como piritas oxidadas, cloritización, carbonatos, etc.

Este método de muestreo es rápido y eficaz, ya que se puede ir realizando a la par con otras actividades de exploración como lo es el mapeo y así se desarrolla de manera práctica la geología de una cierta zona de interés. Con el mapeo se realizan caminatas para la identificación de las rocas presentes en la zona y al realizarlo en conjunto con el muestreo se obtienen muestras en zonas de interés lo que permite identificar rápidamente en qué tipo de roca se encuentran las estructuras mineralizadas. Con base en esto se realiza una correlación geológica que nos indica en qué tipo de rocas esta encajonando el mineral.

Por lo tanto se tiene un muestreo aleatorio, ya que no se tiene definido la distancia entre cada muestra o cuantas muestras se tomaran en total a comparación de un muestreo sistemático. Simplemente se toman las muestras conforme se realiza el caminamiento para el mapeo.

## **6.2 Características y Desarrollo**

Si durante el caminamiento para el mapeo se encuentra o se topa con una estructura como una vetilla, esta se reconoce e identifica rápidamente para su evaluación y así poder muestrearla. Una vez identificada dicha estructura se procede a tomar sus datos estructurales como son rumbo y echado, y saber la dirección de la misma (Figura 7), la cual se grafica en la hoja de mapeo para su futura localización. Después se procede a realizar una breve descripción anotando en la libreta de campo las principales características de la estructura.

Se toma una muestra de mano tratando que sea lo más representativa posible para realizar una descripción más general de la mineralización presente y esos datos quedaran registrados en una base de datos que servirá posteriormente para agregar los resultados de la muestra una vez que sean analizadas por el laboratorio de confianza. Así se tendrá una característica general del tipo de roca que contiene la mineralización o en cuales rocas es más probable que haya mineralización importante. A continuación se indican las descripciones a realizar en libreta de campo (Figura 8).

### **Descripción de la muestra en libreta de campo**

Dicha descripción para cada muestra debe incluir:

- Tipo de muestra (roca, veta, suelo, etc.)
- Localización de la muestra (coordenadas cartesianas en X, Y, Z)
- Numero de muestra
- Breve descripción (litología, incluyendo alteraciones)
- Datos estructurales como rumbo y echado
- Fecha en que se recogió la muestra
- Geólogo responsable



**Figura 5. Toma de rumbo y echado de la veta a muestrear**



**Figura 6. Descripción de la muestra en libreta de campo**

Una vez que se tiene la descripción de la muestra se identifica marcando la bolsa con la misma numeración que se tiene en el talonario para llevar un correcto orden y control del muestreo que el laboratorio también llevará. Después se procede a extraer dichas muestras de la estructura, la cual tiene que ser a lo largo de la estructura, ya que como es representativa se tiene que obtener la mayor cantidad posible de esquirlas. Esta es recolectada en una bolsa de microporo con una cantidad promedio de 2.5 a 3 Kg, cuya selección debe ser lo más limpia posible para no contaminar la muestra con esquirlas de otro tipo de rocas o “rodados” (Figura 10).

Después se introduce una papeleta del talonario con el mismo número, lo cual será la clave a considerar para el control de muestras por área (Figura 9).

Todas las muestras deberán ser recogidas y ordenadas por los trabajadores y permanecerán bajo control; al momento de entregar a laboratorio será en el debido orden.

MUESTRA : 001

Fecha: \_\_\_\_\_ Muestrero: \_\_\_\_\_

Prospecto/ área: \_\_\_\_\_

Municipio, Estado: \_\_\_\_\_

E \_\_\_\_\_ N \_\_\_\_\_ Elev. \_\_\_\_\_

Zona/Datum: \_\_\_\_\_ Tipo Muestra: \_\_\_\_\_

Descripción \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**EXPLORACIONES MINERAS**

MUESTRA : 001

EXPLORACIONES MINERAS

**Figura 7. Talonario que se utiliza para el control y numero de muestras obtenidas. La parte derecha se coloca en la bolsa de muestra y la parte izquierda queda como registro y control.**

**A**



**B**



**C**



**D**



**E**



**Figura 8. Proceso de toma de muestra. A) Ubicación de la Veta-Vetilla. B) Marcado de Bolsa. C) muestreo de esquirla. D) colocación de talonario. E) Amarrado de bolsa.**

## **Muestras en General**

Además de la diferencia natural que presentan las partículas sólidas entre sí, ellas tienden a segregarse por tamaño y por densidad, es decir, si la densidad no varía entre las partículas, las más pequeñas tendrán que ocupar un espacio o posición en el lote diferente que las más grandes y del mismo modo, cuando las partículas son de un mismo tamaño, las partículas menos densas ocupan un espacio o posición en el lote distinta de las más densas.

Esto permite visualizar que los lotes a muestrear, también presentan una heterogeneidad de la distribución de los fragmentos, conocidos normalmente como segregación de las partículas, que dificultan aún más el muestreo de partículas sólidas.

### **6.3 Área de trabajo**

En este trabajo se realizó el mapeo y muestreo de un área del Distrito Noche Buena, cubriendo una zona de 1 km por 1.5 km aproximadamente en donde se realizó el caminamiento identificando, delimitando y marcando los contactos geológicos; a la par se fueron levantando muestras de las estructuras mineralizadas encontradas las cuales fueron muestreadas tal como se indicó anteriormente en las características y desarrollo del muestreo de superficie.

A continuación se presenta el mapa del área muestreada donde se indican las zonas que fueron levantada y donde se obtuvieron las muestras (Figura 11).

# Geología y Muestreo del área Noche Buena

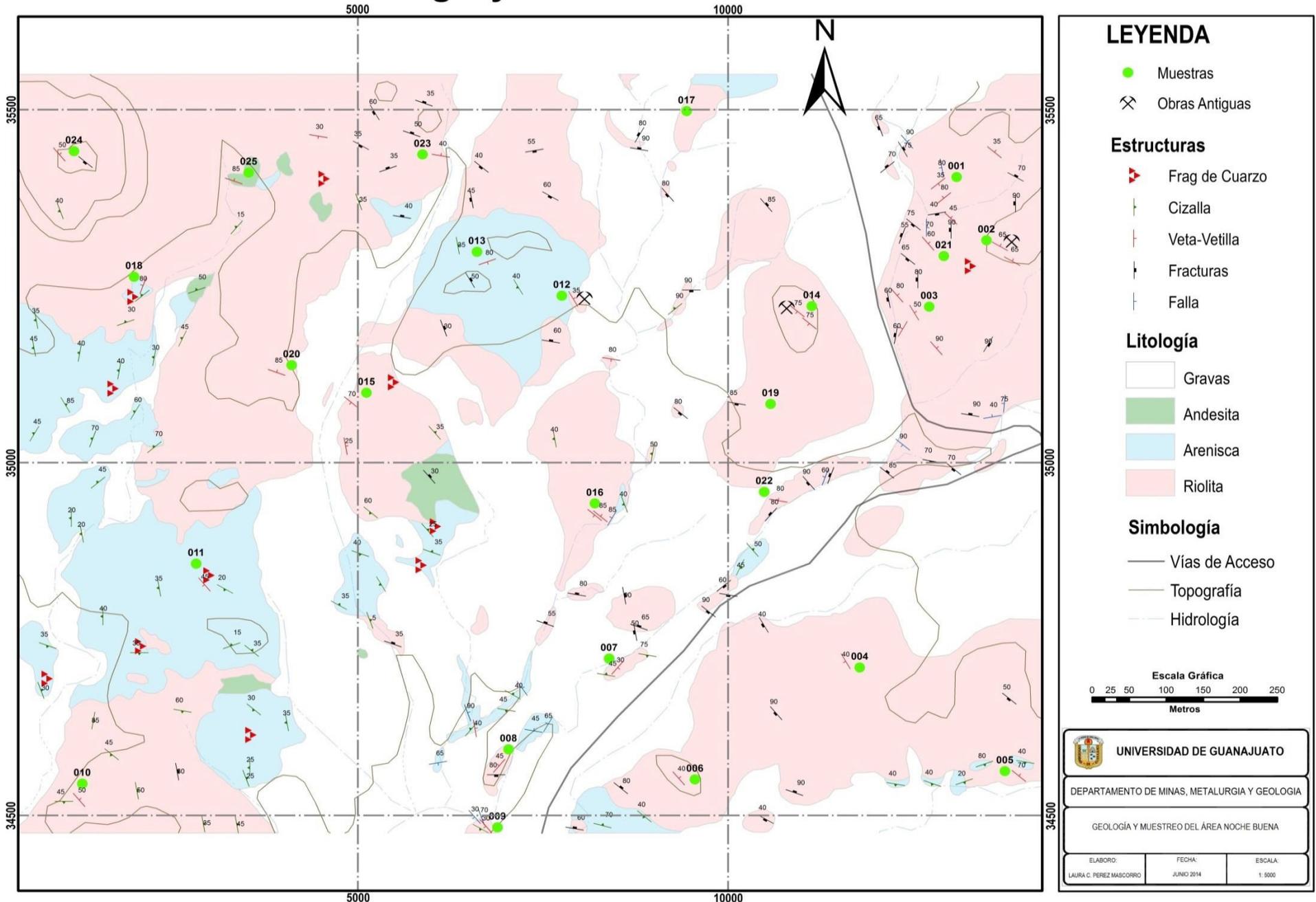


Figura 9. Área de trabajo en Distrito Noche Buena. Mapa con geología y muestreo

En la zona mapeada y muestreada (Figura 11) se observa el tipo de rocas que afloran en el lugar, riolita, andesita, arenisca y gravas (aluvión). La mayor parte de las muestras levantadas se encuentran sobre riolita, lo cual nos indica que esta es la roca caja y es propicia para la mineralización, la mayor cantidad de vetas y vetillas se encuentran en riolita.

También en esta zona se encontraron obras mineras antiguas que dan indicios de la existencia de mineralización en el lugar, las cuales son guías y de suma importancia para continuar con los labores de muestreo ya que corroboran que la zona tiene altas probabilidades de contener valores importantes. Se levantaron un total de 25 muestras en esta zona, las cuales fueron tomadas como se describió anteriormente con todos los elementos mencionados. Una vez terminado el trabajo, las muestras fueron llevadas al campamento donde se ordenaron, se realizó una relación de estas, se encostalaron y se llevaron al laboratorio de confianza donde se ensayaron y mandaron los resultados al jefe de proyecto.

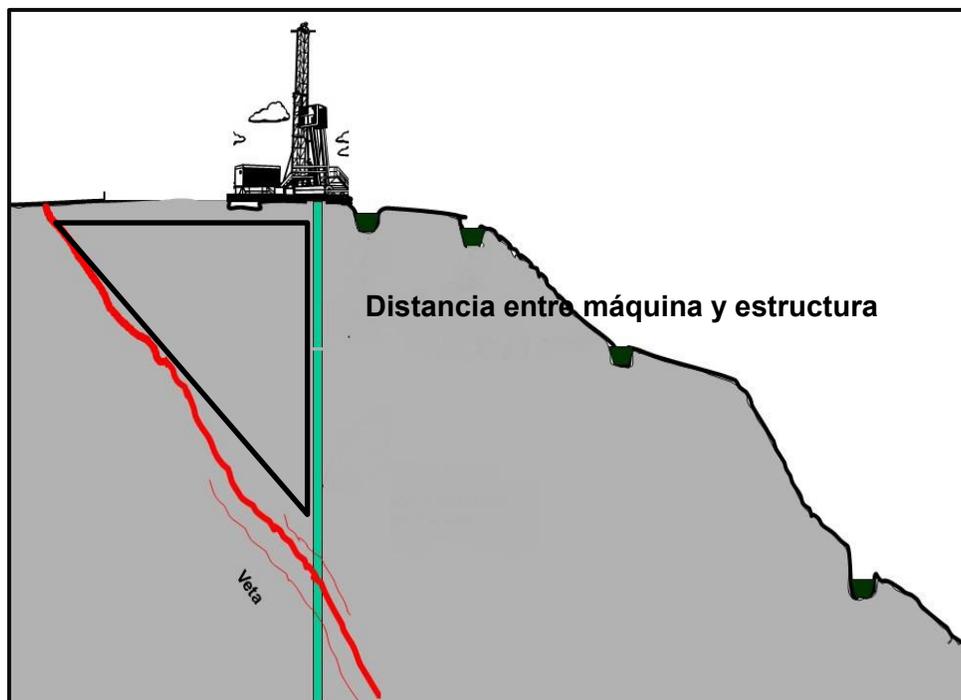
#### **6.4 Programación de Barrenos**

Con base en el mapeo y muestreo que se realizó en superficie en conjunto con el resultado de las muestras, se identificaron las áreas o puntos con potencial de mineralización importante en el subsuelo. El mapeo realizado a detalle en escala 1:5000 es de vital importancia ya que en este se identifican claramente las estructuras y mineralización de la zona observando el rumbo que estas llevan, la orientación general del área predominan vetas-vetillas que van NW-SE, buzando hacia el NE.

Los resultados de los análisis de composición de las muestras nos darán el punto de partida para colocar la barrenación de forma estratégica, con base en estos resultados se tendrá una fuerte inversión para la contratación de máquinas de barrenación para que estas puedan perforar y corroborar los resultados que se obtuvieron en superficie.

Se localizan los blancos a barrenar y se comienza con la programación de barrenos, en base a la interpretación de estructuras se define cual será el rumbo e inclinación de la máquina, pueden ser  $60^{\circ}$  -  $70^{\circ}$  dependiendo del buzamiento de las estructuras, de igual forma obtienes tus coordenadas en X, Y, Z, localidad, azimut y la profundidad programada que el barreno podría tener, si este llega a cortar antes de la profundidad programada, se continúa en promedio con 10 metros más y el geólogo a cargo tendrá el criterio y responsabilidad de continuar o parar la barrenación en base a cambios litológicos, alteraciones y mineralización.

Para conocer la distancia en que se colocara la máquina de barrenación en base a la estructura que se desea cortar se realizan operaciones trigonométricas para asegurar que esta sea cortada o se tengan indicios de la estructura. Una vez que se tienen varias máquinas trabajando y estas van arrojando resultados satisfactorios se puede ir interpretando y modelando el depósito, se comienza colocando maquinas en una distancia promedio de 250 m entre ellas o hasta 500 m dependiendo de lo que se desee cortar y posteriormente la planilla de barrenación se puede ir abriendo o cerrando para definir con mayor exactitud el depósito y disminuir la distancia entre máquinas de 100 m o hasta 50 m (Figura 12).



**Figura 10. Programación de barrenos, distancia entre la estructura y la maquina**

## 7. BARRENACIÓN TIPO CIRCULACIÓN INVERSA (C.I.)

En la exploración es común utilizar máquinas de perforación de Circulación Inversa debido a su bajo costo y buenos resultados en cuanto a material de muestra se refiere. En los últimos 10 años la circulación inversa ha sido muy efectiva en proveer muestras geológicas, en cerca de 1/3 del costo de los métodos convencionales. Ahora es, sin duda, el método más común usado en las perforaciones de exploración minera. El éxito de la circulación inversa se debe a tres características principales:

- 1) La capacidad de penetrar en formaciones aluviales, fracturadas o cavernosas.
- 2) Requiere cantidades mínimas de agua en el proceso de perforación.
- 3) La capacidad de usar un martillo en el fondo del pozo en condiciones especiales.

Hay muchas ventajas secundarias, pero básicamente el éxito de la circulación inversa se debe a la habilidad de proporcionar:

- 1) Muestras representativas.
- 2) Muestras trituradas continuas.
- 3) Muestras virtualmente puras.
- 4) Mejores tasas de recuperación y costos de perforación reducidos hasta cerca de la mitad de los métodos convencionales.

Fuera de la exploración minera, la circulación inversa se usa en todo el mundo para muchas actividades de perforación, incluyendo perforación para búsqueda de agua, investigación de suelos, perforación para construcciones y desarrollo de minas.

## 7.1 Características y Operación

El sistema de circulación inversa básicamente consiste de dos tubos de perforación que miden 6.09 m que generalmente usan aire comprimido como medio de perforación. Como fluidos de perforación, se puede usar también agua, lodos de bentonita, emulsiones, detergentes, o vapor de aire/agua. El aire comprimido se inyecta entre la tubería interna y externa a todo lo largo de la columna, hasta llegar a la broca. El fluido de perforación sube por el centro del tubo interno con las muestras de roca.

La muestra geológica (detritos) pasa por el Swivel lateral, el martinete, la manguera de descarga y por el sistema de ciclón. Es aquí donde la velocidad disminuye y se permite caer a la muestra por el fondo del ciclón de descarga para ser luego recogido en recipientes adecuados (Figura 13). Alternativamente, la muestra puede ser dividida antes de recogerse y de ponerse en bolsas, marcada y registrada con información, tal como el número y profundidad del barreno, número de muestra, etc.

La muestra geológica obtenida es en forma de detritos Llamados “esquirlas” la cual está libre de contaminación, ya que no entra en contacto con estratos ya perforados. Por lo tanto, la muestra representa la profundidad a que se está perforando. El tubo de doble pared permite atravesar oquedades y galerías sin perder la muestra o el fluido de perforación. Muchos usos en todo el mundo, especialmente en la exploración minera, han establecido las muestras de esquirla como una alternativa eficiente comparada con los métodos más convencionales y más costosos. El método de circulación inversa también ha sido descrito de otras maneras como:

- CSR (muestra recuperada por el centro).
- Perforación con doble tubería de perforación.
- Perforación con tubería doble.
- Recuperación de muestras continuas.

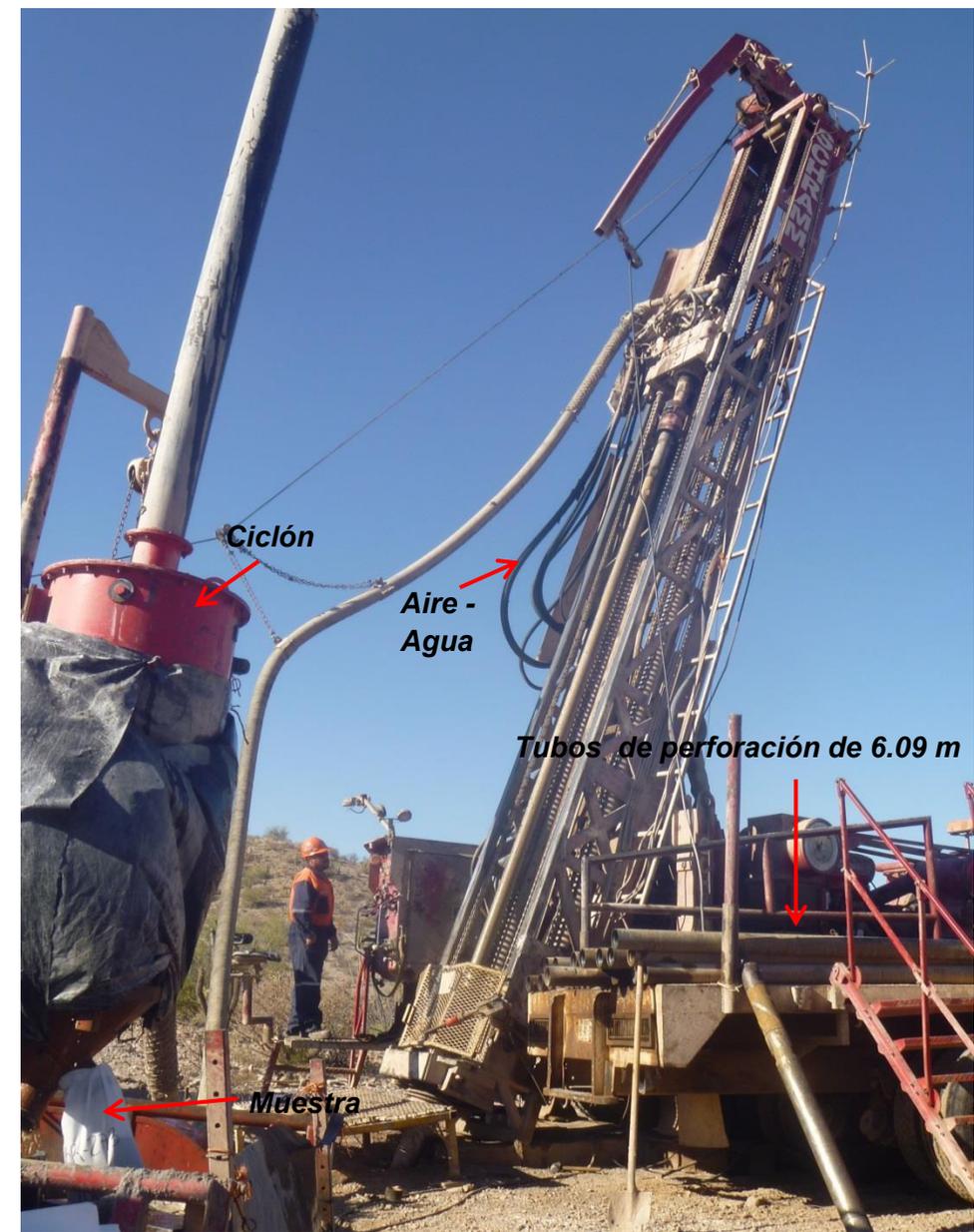
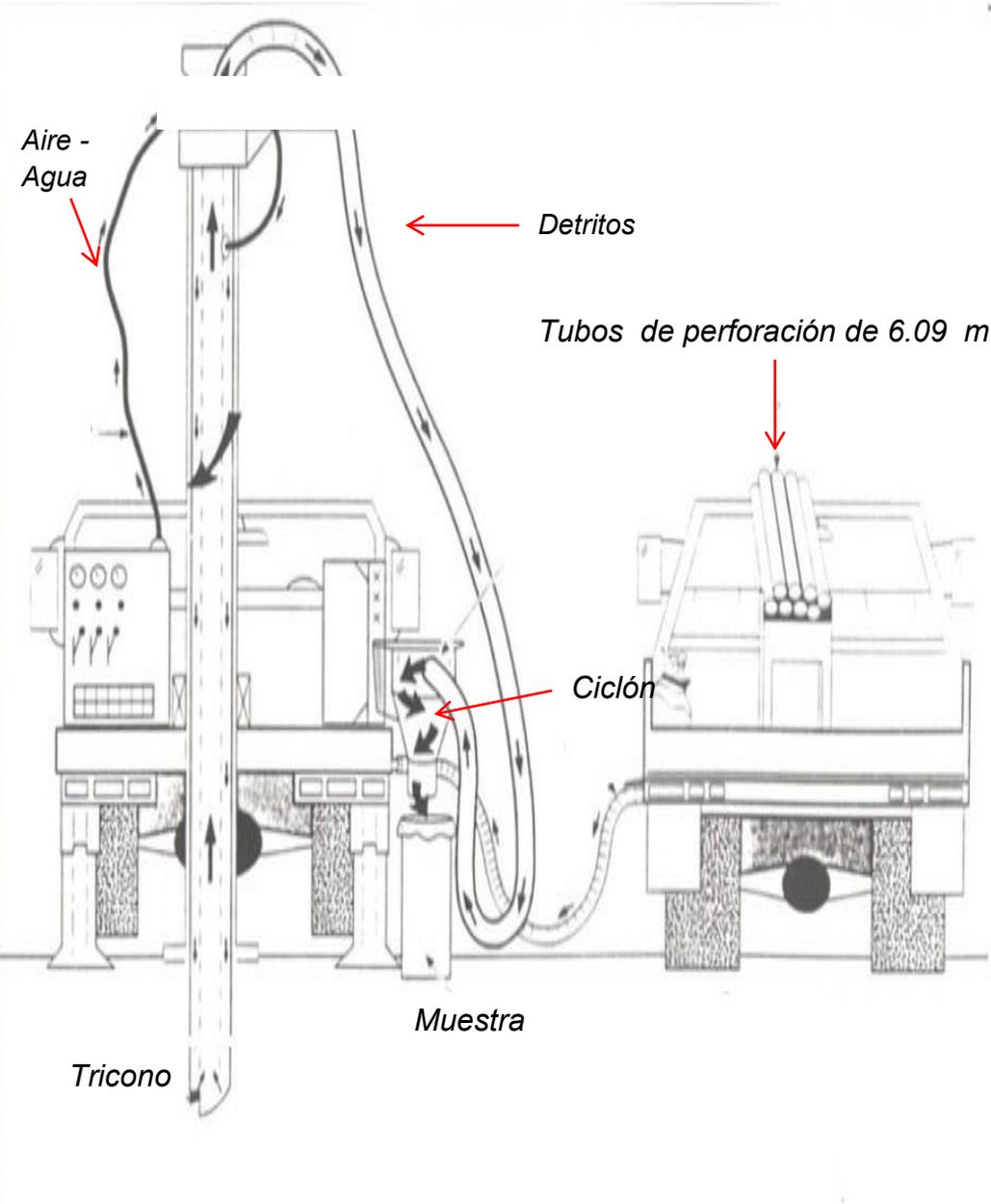


Figura 11. Diagrama del sistema de perforación de Circulación Inversa.

### 7.1.1 Rompimiento

Después de que se realizó la programación de barrenos y la planilla de barrenación fue autorizada, se ubican con GPS las coordenadas del lugar donde este dará inicio y se da la inclinación que este tendrá, después se coloca una estaca para que el personal de perforación vea donde romperá el barreno. Una vez ubicado el barreno se acondiciona el lugar para que se puedan desarrollar las actividades, se preparan caminos de acceso para la máquina, se cavan zanjas o canales para el escurrimiento del agua así como la colocación de laynes para evitar la contaminación del suelo por derrames de aceites, diesel o residuos peligrosos. Una vez que llega la máquina de perforación esta tiene que alinearse con respecto a la estaca para que la torre de perforación quede exactamente en donde dieron las coordenadas del barreno, una vez que la torre ya está alineada y colocada, se pasa a la inclinación, la cual ya fue obtenida por el geólogo que realizó la programación de barrenos y está conforme a la mineralización que se desea encontrar, la torre tiene un clinómetro el cual indica la inclinación que el barreno debe tener, una vez listo se coloca la broca o martillo para así comenzar a barrenar (Figura 14).

A continuación se inicia el rompimiento del barreno, en la mayoría de los casos, este comienza en las zonas de aluvión o material suelto, con frecuencia el perforista inicia la obra con broca de 8" hasta 4 o 6 m, para después colocar un tubo de ademe de 6", también llamado "estopero" que sirve para sostenimiento inicial del pozo y conectar la manguera de salida de residuos que circulan entre la pared del barreno y la tubería de perforación.

El sistema de perforación por Circulación Inversa utiliza un tubo de doble pared, transmisión de rotación y una entrada lateral para inyectar el fluido de perforación. Al perforar con este sistema, el fluido es llevado hacia abajo por el espacio anular entre el tubo exterior y el interior del sistema de la herramienta de corte que en este caso puede ser un martillo o Tricono de perforación, retomando a la superficie por el anulo interior.

**A**



**B**



**C**



**D**



**Figura 12. Proceso de Instalación de máquina C.I.**

**A) posicionamiento de la máquina. B) colocación de layne. C) inclinación de la torre a 70°. D) Rompimiento.**

## 7.2 Muestreo de Circulación Inversa (C.I.)

El método de recolección de muestras es de suma importancia. Dependiendo del tamaño del compresor de aire utilizado y la profundidad del barreno, la muestra se descarga por medio de una tubería de 4-1/2" (114.30 mm) a velocidades entre 1,500 y 4,300 m por minuto. El ciclón de descarga sirve para disminuir la velocidad con que viene la muestra y también para recuperar las muestras. El ciclón cuenta con dos tubos de salida, en uno sale el 10% de la muestra total la cual va directamente al laboratorio para su análisis, mientras que en el otro sale el 90% restante que se queda como testigo en el lugar del barreno y para futuras pruebas metalúrgicas.

Del material que se obtiene de la barrenación se deben recolectar las muestras, de las cuales se les asigna un número consecutivo único para que no exista duplicidad, la rotulación de las bolsas de muestreo se debe de hacer de manera legible con marcadores de tinta permanente para evitar errores, como una medida de aseguramiento de la calidad.

La captura de las muestras se realiza en bolsas de plástico y microporo.

- 1) bolsas de 40 x 60 cm, para muestreo en seco. Bolsa de hule
- 2) bolsas de 40 x 60 cm. Para muestreo en agua. Bolsa microporo

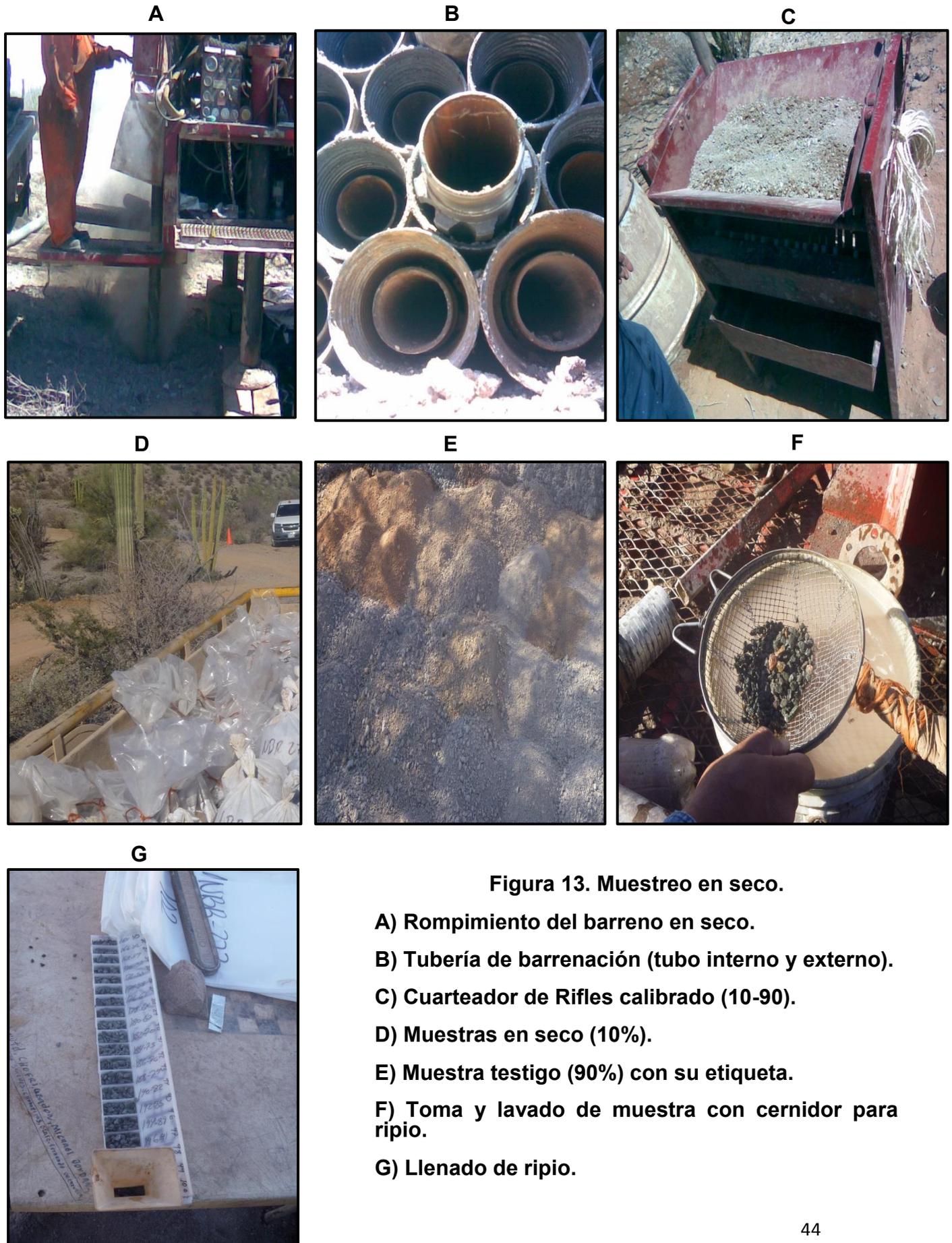
La captura de la muestra representativa que se toma del ciclón y nos sirve para logear es captada en un recipiente de plástico llamado "ripio", este contiene 20 espacios donde se coloca la muestra, cada espacio es una muestra de 2.03 m y cada 3 espacios es una barra de 6.09 m. Este tiene que ser rotulado con los datos de N° de barreno, número de muestra, metraje y número de caja.

### 7.2.1 Muestreo en Seco

Una vez que la maquina ya está en posición, alineada y lista se comienza con el roto martillo en seco con inyección de aire, hasta que se llega al nivel freático se cambia la broca por una tricónica y comienza la inyección de agua y aire, en muchas ocasiones se inyecta el agua antes de llegar al nivel freático debido a que el roto martillo comienza atascarse. En el momento que se agrega agua a la perforación se convierte en muestra húmeda o en agua.

Cuando se inicia la perforación en seco se inyecta aire a través de una manguera por el tubo exterior y permite que la muestra salga por él tubo interior y pase directamente al ciclón donde la muestra se recupera al 100%. Enseguida la muestra resultante se toma en cubetas o botes, con una distancia total de 2.03 metros por muestra. Posteriormente se pasa por un cuarteador de rifles el cual esta calibrado en 10 – 90 para que el 10% de la muestra sea embolsada y etiquetada para ser llevada al laboratorio y el 90% se queda como testigo con su respectiva etiqueta de número de muestra y nombre del barreno. Este método se realiza manualmente y se supervisa la correcta toma de muestra, es decir, que esta sea en el metraje correcto, al final de cada muestra se sopletea con aire a presión las cubetas o botes, al igual que el cuarteador de rifles para evitar contaminar la secuencia de muestras.

De la muestra del 90% se toma una pequeña cantidad representativa con un cernidor, esta se lava y se coloca dentro del intervalo de muestra correcto dentro de la caja de ripios. El supervisor debe de comprobar la correcta toma de la muestra y la colocación de la muestra testigo en la caja de plástico o ripio (Figura 15).



**Figura 13. Muestreo en seco.**

- A) Rompimiento del barreno en seco.**
- B) Tubería de barrenación (tubo interno y externo).**
- C) Cuarteador de Rifles calibrado (10-90).**
- D) Muestras en seco (10%).**
- E) Muestra testigo (90%) con su etiqueta.**
- F) Toma y lavado de muestra con cernidor para ripio.**
- G) Llenado de ripio.**

### **7.2.2 Muestreo en Agua**

Cuando el barreno atraviesa el nivel freático se cambia la broca por una tricónica y se inyecta agua a la muestra y sale húmeda por lo que es necesario cambiar el sistema de muestreo en agua, para lo cual se instala un cuarteador giratorio debajo del ciclón principal y se obtiene el 10 % de la muestra por la toma lateral del cuarteador en bolsa de microporo misma que esta rotulada con el nombre del barreno y número de muestra consecutiva y dentro de una cubeta de plástico de 20 litros.

Al terminar de capturar la muestra, se retira la cubeta junto con la bolsa de microporo se amarra la misma, se saca de la cubeta y se coloca a un lado de la planilla en forma ordenada para que se escurra el agua y que posteriormente sea enviada al laboratorio. El tiempo de escurrimiento de la muestra varía de 24 a 36 horas.

Una vez que se recogió la muestra del 10 % en cubetas estas son lavadas con agua limpia para evitar la contaminación de muestras posteriores y se vuelve a colocar en la parte lateral del ciclón para continuar con el sistema de muestreo que de igual forma es de cada 2.03 m

El 90% de la muestra que se colecta en las cubetas y se colocan a un lado de la planilla para después colocar dentro de la muestra del 90%, una etiqueta de aluminio rotulada con el número de muestra para mejor identificación de la misma a futuro y de igual forma se lavan para continuar con el proceso.

En forma similar al muestreo en seco, en la cubeta del 90% se coloca un cernidor para la toma de muestra representativa la cual será colocada en el ripio con sus datos de número de barreno, muestra, metraje y barra para posteriormente ser logueada por el Geólogo a cargo (Figura 16).



Figura 14. Muestreo en agua.

A) Broca tricónica. B) cuarteador de muestras en agua. C) toma de muestra (10%). D) depósito de muestra testigo (90%). E) colocación y escurrimiento de muestras. F) llenado de ripios.

## 8. BARRENACION DE DIAMANTE (BDD)

La barrenación de diamante se basa en que un elemento corte de forma anular con diamantes industriales incrustados colocados en el extremo de una sarta de perforación, “corta” la roca obteniendo un cilindro de roca que se aloja en el interior de la sarta, a medida que el elemento de corte avanza, el elemento de corte se denomina núcleo o testigo.

Esta es una maquina diseñada para proporcionar movimiento rotacional y longitudinal a una sarta de barras huecas que llevan en su extremo inferior una broca con diamante montado o impregnado, los cuales actúan como cortadores, estas máquinas normalmente son capaces de hacer barrenos en diferentes grados de inclinación alcanzando en ocasiones los 360° y a grandes profundidades.

El agua bombeada dentro de las barras huecas impide que se caliente la broca a la vez que remueve hacia la superficie el recorte producido por la abrasión de los diamantes contra la roca.

Las perforadoras de diamante usan además equipo y herramientas diseñadas para recuperar muestras de roca de las formaciones que el barreno va atravesando, este tipo de máquinas puede ser impulsado por motores de diesel, gasolina, eléctricos y de aire.

Este tipo de máquinas generalmente son usadas en exploración y desarrollos mineros.

La barrenación de núcleo es, generalmente, el método de perforación más útil para la obtención de muestras y su posterior análisis, inspección visual (Logueo) y ensayo, particularmente en depósitos masivos de leyes bajas como el que se tiene en el Distrito Noche Buena, donde la mineralización se distribuye a través de la roca caja. La muestra obtenida es altamente representativa por ser continua y no tener, ninguna contaminación en condiciones normales. El sistema diamantino es lento comparado con el de Circulación Inversa y en costos es mayor, pero tiene ventajas de información geomecánica.

## 8.1 Características y Operación

En la barrenación de diamante el agua es el fluido de perforación más usual, aunque el aire es usado en algunas ocasiones con éxito y también se usa una mezcla de agua y lodo. El agua se bombea por el interior de la sarta de perforación hasta alcanzar la corona de diamante, saliendo por el espacio anular entre la sarta de perforación y la roca. En la superficie, el agua de retorno suele ser recogida en una pileta donde se decanta el contenido de finos en suspensión procedentes del detritus de perforación. Una vez decantado, el agua puede ser recirculada de nuevo (Figura 18).

El testigo recuperado se aloja en los denominados tubos sacatestigos (o portatestigos), que permiten su desmontaje en el exterior para una mejor maniobrabilidad del mismo. Para la extracción de los núcleos de roca se han desarrollado tubos sacatestigos de diferentes características que han permitido mejorar la recuperación en terrenos difíciles (Figura 19).

El testigo entra en el tubo interior (portatestigo), situado dentro del tubo de sarta de perforación inmediatamente detrás de la corona de perforación, se evita que el testigo caiga de nuevo en el barreno por medio de un casquillo en forma de cuña montado en la base de la sarta, llamado muelle rompetestigo o portatestigo. La longitud de las marras es normalmente de hasta 6 metros de longitud, dependiendo del tamaño del equipo de perforación. Cuando la barra está completa con testigo en su interior, el tubo portatestigo se extrae de la sarta, por medio de una mordaza que se baja por el interior de la sarta hasta que “pesca” el testigo anclándose a un dispositivo con forma de arpón. Este es el sistema denominado wireline. En esta posición la barra portatestigo queda liberada y una vez en el exterior el testigo puede extraerse fácilmente gracias a que esta barra suele desmontarse longitudinalmente, siendo especialmente útil en el caso de testigos altamente fracturados o alterados, una vez extraído el testigo se monta de nuevo y se desciende de nuevo hasta la corona de perforación.

La barrenación de diamante permite realizar sofisticados estudios geológicos, de geotecnia e incluso se puede obtener gran volumen de muestra para evaluaciones geoquímicas. El núcleo o testigo puede ser orientado permitiendo la medida de las estructuras geológicas, reproduciendo la posición del testigo en el macizo rocoso.

Los tamaños de testigo estándar van desde 27 mm a 85 mm de diámetro. Los diámetros de testigo usados normalmente con el sistema wireline son: AQ (27 mm), BQ (36.5 mm), NQ (47.6 mm), HQ (63.5 mm) y PQ (85 mm). Para este trabajo y la exploración del Distrito Noche Buena se utilizan los diámetros de HQ y en menor cantidad de PQ (Figura 17).

Desde casi todos los puntos de vista, el mejor tamaño de testigo es el mayor posible, mayores diámetros permiten mayor grado de recuperación y permiten menores desviaciones en la perforación, en testigos de mayor tamaño se facilitan los ensayos multielementales y los cálculos de estimación de reservas. Sin embargo, el costo de la barrenación de diamante crece exponencialmente en relación al tamaño de testigo, por lo que hay que realizar trabajos de mapeo y muestreo de superficie a detalle y con la certeza de que se cortara mineral para que este sea costeable y ofrezca resultados favorables.



**Figura 15. Corona de Diamante con Testigo HQ**

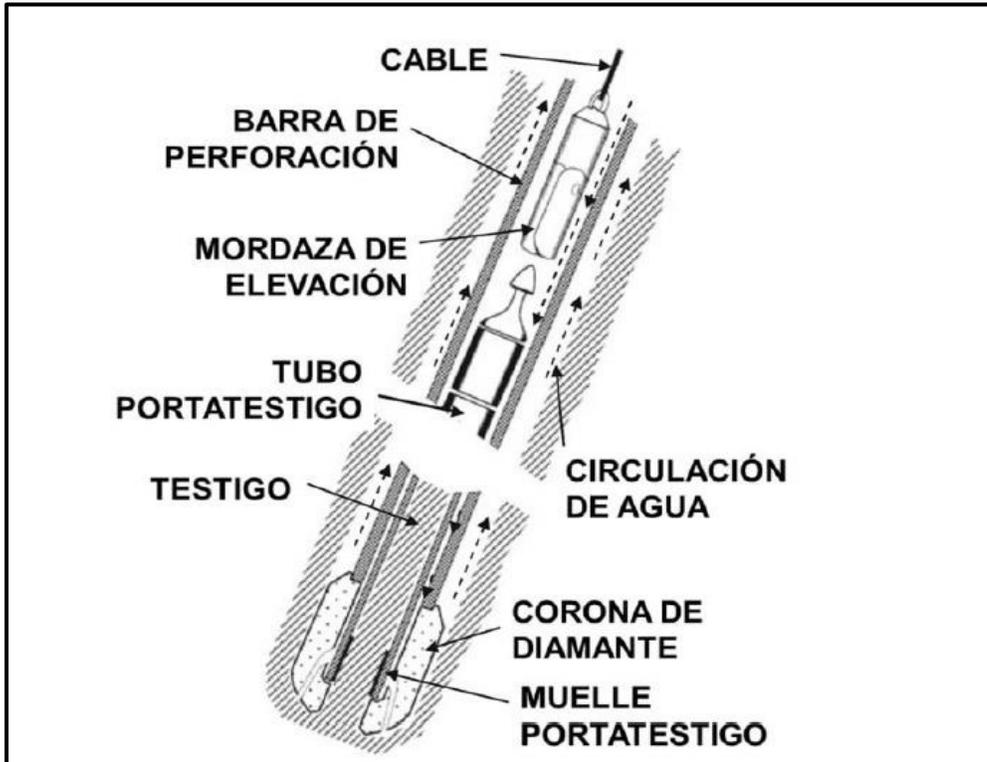


Figura 16. Esquema de perforación con corona de diamante (Marjoribanks, 2010)



Figura 17. Barra montadora de testigo.

### 8.1.1 Rompimiento

Al igual que en Circulación Inversa se coloca una estaca en el lugar donde se dará el barrenado previamente ubicado con GPS, se alista la zona con la construcción o rehabilitación de caminos de acceso y la colocación de laynes y tarimas para evitar el derrame de combustibles y residuos peligrosos así como la construcción de zanjas y colocación de las piletas. Posteriormente se alinea la maquina con respecto a la estaca, una vez colocada se procede a la inclinación de la torre la cual será dada por el geólogo encargado de la planilla de barrenación y se colocara la tubería con la cual se comenzara a barrenar (Figura 20).



**Figura 18. Rompimiento de barrenación de diamante (BDD)**



**Figura 19.Máquina de BDD, tuberías y piletas**

## 8.2 Geotecnia

Dentro de la geotecnia se describen principalmente las condiciones que se presentan en la roca. El formato utilizado para la captura de datos y parámetros a seguir se encuentra prácticamente basado al manual Golder Associates.

Los datos que se obtienen son capturados por corridas dentro de una base de datos creada en Excel; para así tener un control y respaldo de la geotecnia para futuros estudios. A continuación se da una breve explicación de los parámetros a tomar en cada barreno.

### 8.2.1 De – A (Profundidad)

El registro de la profundidad en la que inicia (DE) y termina cada corrida de núcleo (A) deben ser capturados en hojas de cálculo y/o hojas de papel. Se debe usar metros y décimas de metro y no se debe redondear ni siquiera a 5 cm. La elevación no necesita estar calculada para el registro de campo pero si es calculada para el registro final del barreno.

La longitud de corrida es el resultado que se obtiene de la resta de (A)-(DE); para agilizar el trabajo y evitar errores de captura se pone una fórmula dentro de la hoja de Excel: Longitud **de corrida**= “A”-“DE” (Figura 22).

### 8.2.2 Recuperación en metros

Dentro de este parámetro se corrobora de recuperación real de las corridas, la cual fue descrita anteriormente; esta siempre es tomada en metros y es recomendable poner dos decimales.

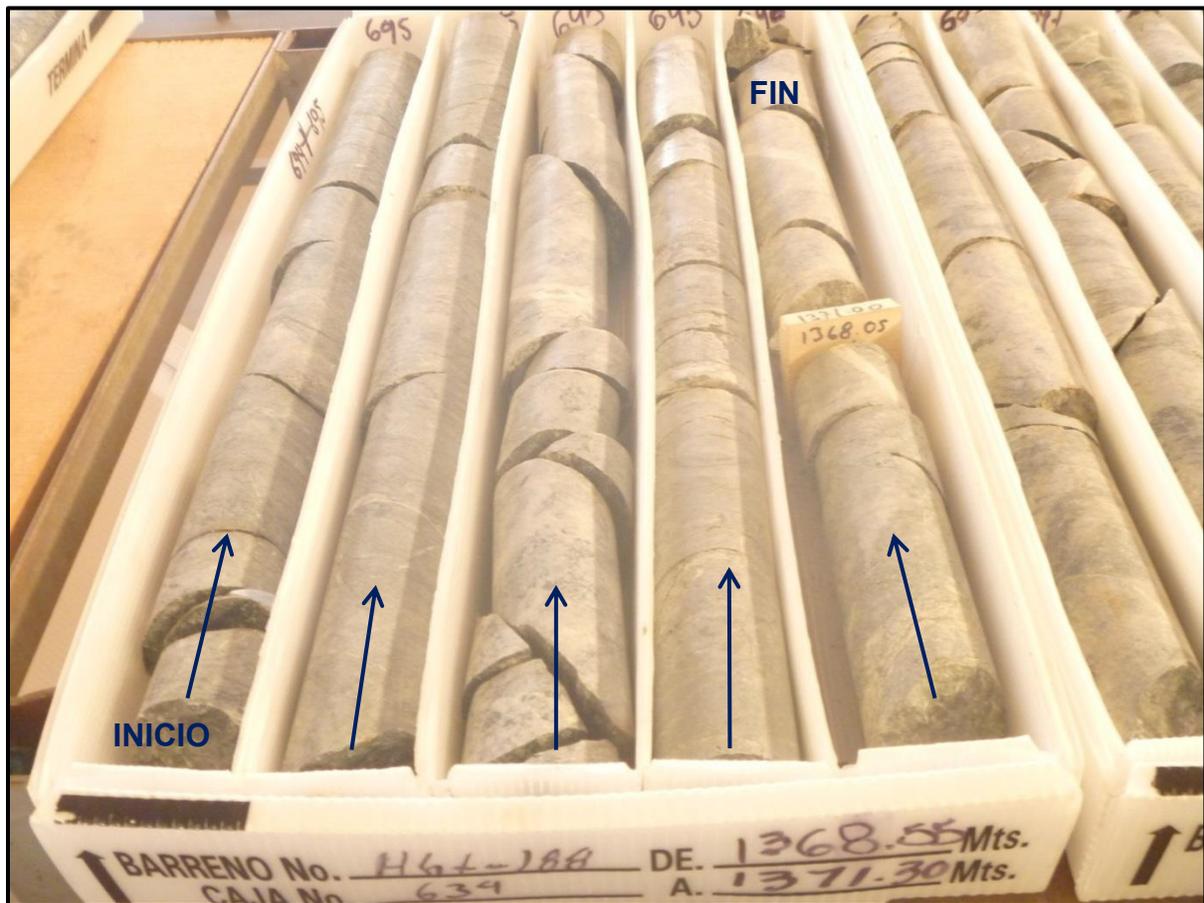
### 8.2.3 Calidad de la roca (RQD)

La designación de calidad de roca RQD, es una modificación de la recuperación del núcleo en el cual solamente el núcleo recuperado en tramos mayores de 10cm medidos a lo largo del eje del núcleo se cuenta como recuperación. El RQD es medido en cada corrida de núcleo y se registra la longitud total de núcleo intacto recuperado en tramos mayores de 10cm.

El RQD puede ser usado como un índice de la calidad de la roca de acuerdo con la clasificación de *Deere*. Un caso especial que se puede encontrar

en la medida del RQD es una fractura sencilla y paralela al eje del núcleo y en este caso se considera como roca intacta y se asigna un RQD de 100%. Este procedimiento es empleado para evitar sesgos en la medida del RQD con una fractura sencilla y paralela a la perforación.

El RQD es válido solamente para núcleo sólido y no debe ser usado para materiales muy pobremente consolidados tales como arcillas, rocas arcillosas débiles o las que componen el conglomerado poco consolidado inclusive en los casos en que este débilmente cementado con carbonatos. En estos casos en caso de no encontrar tramos de roca mayores a 10cm dentro de una corrida se establece el RQD como 0.00.



**Figura 20. Caja de barreno indicando donde inicia y termina la corrida, De: - A: con taquete de perdida y recuperación.**

### 8.2.4 Índice de Resistencia

La celda de Índice de Resistencia se emplea para registrar la resistencia estimada del material rocoso intacto usando el sistema de clasificación recomendado por el ISRM (Tabla 1).

Grado	Descripción	Identificación de terreno	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
R0	Roca Extremadamente Débil	Marcada por la uña.	0,25-1,0
R1	Roca Muy Débil	Se disgrega por un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por el cortaplumas.	1,0-5,0
R2	Roca Débil	Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo.	5,0-25
R3	Roca Medianamente Fuerte	No puede ser escarbada o disgregada por un cortaplumas, la muestra se fractura con un solo golpe firme del martillo geológico.	25-50
R4	Roca Fuerte	La muestra requiere más de un golpe del martillo geológico para ser fracturada.	50-100
R5	Roca Muy Fuerte	La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada.	100-250
R6	Roca Extremadamente Fuerte	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico.	>250

**Tabla 1. Clasificación de resistencia de rocas tomado del ISRM**

### 8.2.5 Fractura por corrida

Solamente las fracturas naturales son contadas, las fracturas inducidas por la perforación y manejo se excluyen. En ocasiones es difícil distinguir fracturas naturales por ello se consideran que son inducidas por la perforación o por manejo posterior, mientras que las superficies que son redondeadas, burdas, alteradas, conteniendo relleno o recubrimientos, comúnmente en algún otro ángulo al

perpendicular al eje del núcleo, o que no pueden ser re-ensambladas limpiamente, entonces se consideran como fracturas naturales y deben ser contadas.

En caso que la corrida exceda de 10 se pone una leyenda N/A (No aplica). Esta comúnmente es frecuente aplicarla en zonas de falla ya que en estas zonas por lo general no se puede hacer un conteo de las fracturas ya que la roca se encuentra muy fracturada.

### 8.2.6 Join condition

El *Join condition* no es más que la condición de la superficie de la estructura (fractura). La roca entre más fresca se encuentre, es decir, que no se encuentre muy afectada por esfuerzos y/o meteorización al contacto con las manos las fracturas naturales tenderán a sentirse rugosas y por el contrario entre más afectada por esfuerzos se encuentre la superficie de la fractura natural de la roca tenderá a sentirse al contacto con la mano muy deslizante y sedosa. Para esto se establecieron rangos de valores, dando 25 a superficies más rugosas y 0 a las rocas fuertemente alteradas con presencia de abundante gauge según Bieniawski's RMR System, dichos valores se especifican en la Tabla 2.

JOIN CONDITION DESCRIPTION	VALOR
Muy rugoso- No continuo- Fresca	25
Moderadamente rugoso separación menor <1mm	20
Ligeramente rugoso separación menor <1mm- Alterado	12
Superficie con deslizamiento o Gauge menor <5mm- continua	5
Gauge suave >5mm o separación >5mm	0

**Tabla 2. Rangos del "Join Condition"**

## 8.2.7 Índice de alteración

El índice de Intemperismo/Alteración se emplea para registrar la clasificación de Intemperismo de acuerdo con el sistema de clasificación recomendada por el ISRM el cual se muestra en la Tabla 3. Los cambios en el índice de Intemperismo se indican por una línea sólida horizontal en el punto de cambio para un cambio abrupto. Para el caso de un cambio gradual se debe indicar el índice que más se le aproxime.

TERMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Roca Fresca	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores.	I
Levemente Meteorizada	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar externamente algo más débil, que en su condición fresca.	II
Moderadamente Meteorizada	Menos de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
Muy Meteorizada	Más de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
Completamente Meteorizada	Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
Suelo Residual	Toda la roca está convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

Roca Fresca I	
Levemente Meteorizada II	
Moderadamente Meteorizada III	
Muy Meteorizada IV	
Completamente Meteorizada V	
Suelo Residual VI	

**Tabla 3. Clasificación del Intemperismo y/o meteorización de la roca tomada del ISRM**

### 8.2.8 Rubble (m)

El Rubble se trata de un material con aristas redondeadas las cuales son semejantes a las gravas, esto es más que el producto del retrabajo en perforación; este se mide en metros, la forma correcta de hacer esto es colocando el rubble en la mano y medirlo con la cinta métrica, en caso de tener espesores mayores a los 5cm se mide directamente de la corrida (Figura 23).



**Figura 21. Zonas de rubble en los barrenos**

### 8.2.9 Gouge

El Gouge es el material arcilloso el cual es producto de fallamiento por alto grado de meteorización, este se mide por corrida, la longitud de este se especifica en metros. La Figura 24 muestra las zonas de gouge en los barrenos muestreados.



**Figura 22. Zonas de gouge en los barrenos**

### 8.2.10 Peso específico (P.E.)

En esta parte se registran los datos obtenidos a partir del peso de la roca, el volumen de agua que desplazó al ser sumergido el trozo de núcleo dentro de la probeta y por último el resultado, es decir el peso específico que se obtuvo de la muestra de roca.

El peso específico de un mineral se define como su peso por unidad de volumen y se obtiene matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 1. - } P. E = P / V$$

Dónde:

P.E: Peso específico.

P: Peso de la unidad.

V: Volumen de la unidad.

Para la obtención de este valor como primer paso se escoge un trozo de núcleo representativo que tenga de preferencia una longitud aproximada de 10 cm y que sea compacto, con excepción de las zonas de fallamiento, brechamiento y fuerte fracturamiento donde los fragmentos pueden ser más pequeños. Una vez seleccionado el núcleo se pesa en una báscula manual de precisión milimétrica como se observa en la Figura 25a y posteriormente se vierte el trozo de núcleo en una probeta graduada y con un contenido de 1000 ml de agua (Figura 25b), el valor a medir es el desplazamiento de agua que se genera al verter la muestra a la probeta, es decir se hace una diferencia del valor de agua que contiene la probeta al inicio y el valor final que se obtuvo al sumergir dentro de la probeta el trozo de núcleo.

La Figura 25 muestra las diversas operaciones realizadas para la determinación de la Por último, los valores obtenidos anteriormente se sustituyen en la operación matemática. A continuación se muestra un ejemplo (Figura 25).

A



$$PE = 1121 / 400 = 2.805 \text{ gr/cm}^3$$

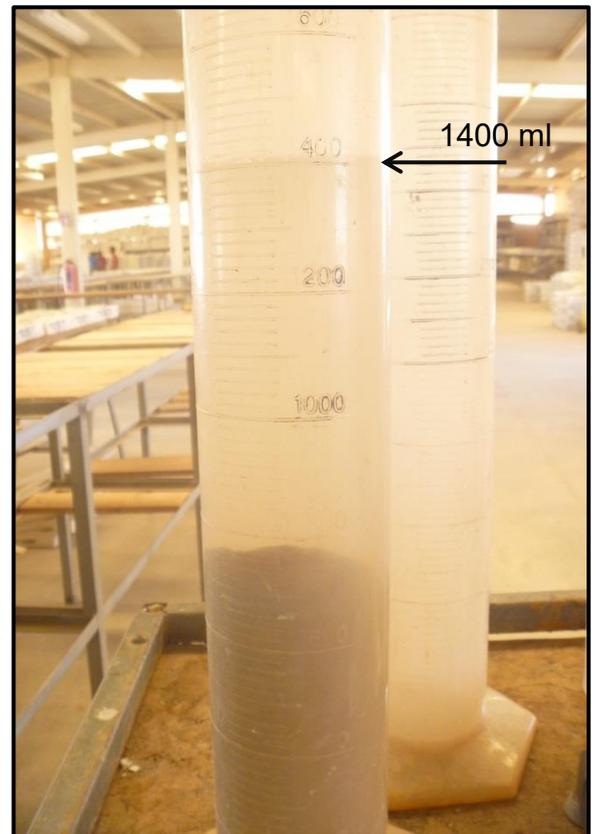
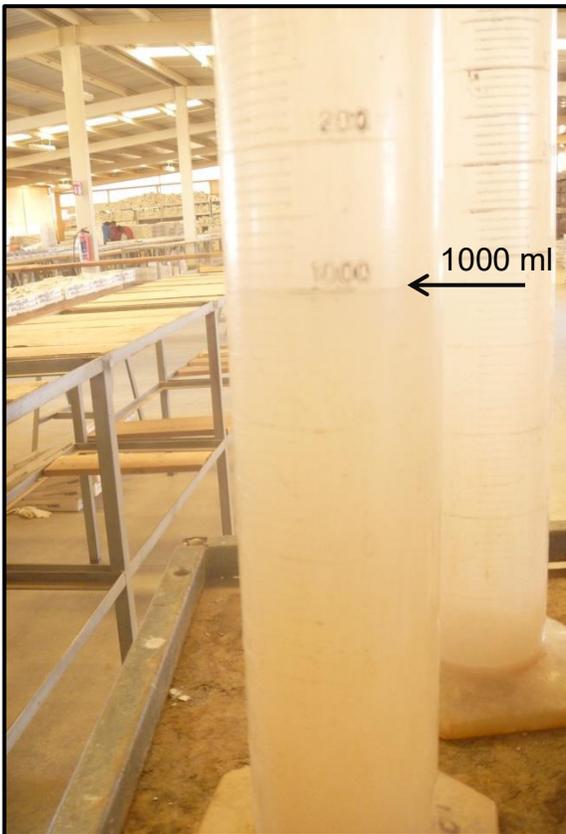


Figura 23. Báscula y Probeta con graduación milimétrica, para la obtención del peso y volumen.

### 8.3 Muestreo de BDD

En todo proceso de exploración existe un punto en el que después del estudio realizado con métodos de muestreo en superficie o indirectos es necesaria la verificación de estos mediante la toma de muestras de roca en profundidad, esta toma de muestras se realiza por medio del sistema de barrenación de diamante (Figura 26).

Los núcleos son las muestras del macizo rocoso que nos van a permitir un análisis directo de los diferentes materiales que atraviesa, así como la presencia de mineralizaciones, para estudiar su potencial explotación.

Con este método de muestreo directo se determina y realiza un modelo tridimensional del depósito para asegurar la mineralización disponible y poder obtener reservas y recursos fiables. Con esta barrenación, termina la etapa de exploración, sin embargo, no se deja de utilizar ya que con este método se continua avanzando y explorando para la extensión del depósito y reservas.

El muestreo de testigos se realiza según su litología, dependiendo del tipo de depósito y lo determinara el departamento de geología.

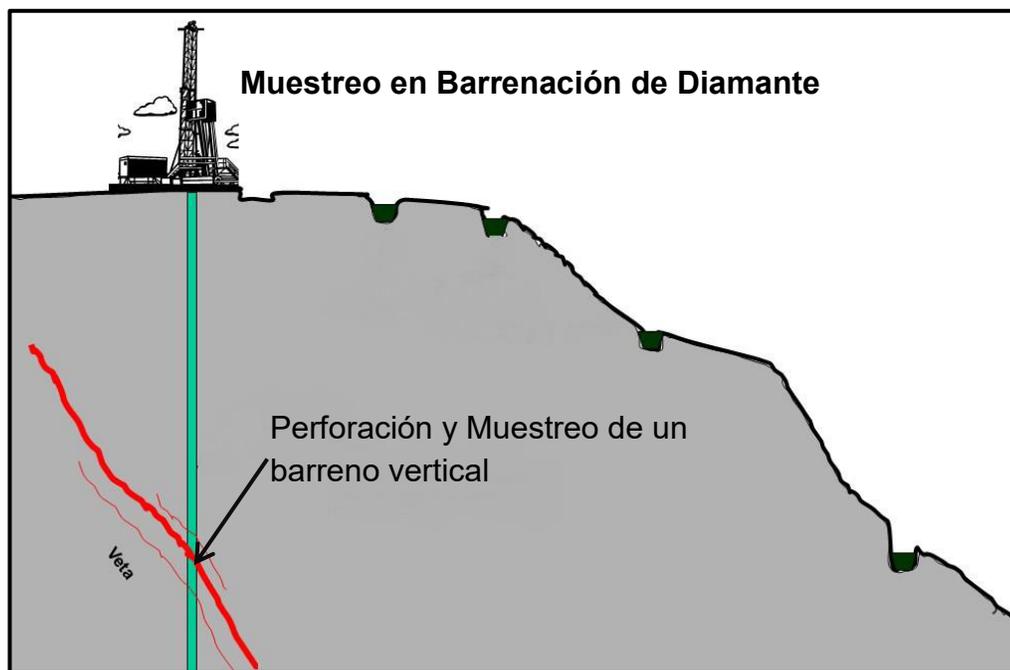


Figura 24. Muestreo en barrenación de diamante

### 8.3.1 Mercado de Muestras

Para el muestreo en perforación con sistema de diamante (BDD) se deben de considerar varios aspectos. Uno de los principales es conocer qué tipo de depósito mineral se está barrenando (orogénico, pórfido, skarn, etc.) una vez que se obtenga la información necesaria se puede establecer el tamaño y la forma de cómo se va realizar el muestreo.

Así mismo se debe tener claro el objetivo de barrenación y por lo tanto conocer las estructuras principales, zonas mineralizadas y de este modo establecer el ancho máximo y mínimo de cada una de las muestras, es decir escoger el tamaño ideal de muestra evitando problemas a futuro con el modelado y explotación del depósito mineral.

La separación de la muestra es una de las partes más importantes en lo que respecta a descripción de barrenos de diamante (BDD). Dependiendo de la integridad y la calidad con la que se haya hecho el muestreo es la confiabilidad que vamos obtener en los datos levantados. El marcado de muestras en la descripción geológica (Logueo) de cada barreno se puede realizar a partir de dos técnicas muy prácticas: *“muestreo por estructuras o muestreo homogéneo”*.

La primera técnica y la más importante consiste en hacer el muestreo a partir de estructuras geológicas tales como: fallas, zonas de brechamiento, fuerte fracturamiento, cizallamiento y contactos litológicos, además se incluye la forma de mineralización es decir vetas, vetillas y zonas de stockwork. El segundo muestreo consiste en hacer un marcado de muestras homogéneo y sistemático, con una longitud de muestra establecido desde inicio de la descripción y la cual puede variar de acuerdo a los objetivos y necesidades del depósito mineral en estudio.

Para el caso de un depósito de tipo orogénico como lo es Noche Buena, el tamaño máximo de la muestra se considera de 2.00 m y un tamaño mínimo de 1.80 m para barrenos con diámetro HQ y NQ. Estas longitudes de muestras se adoptaron a partir del muestreo por estructuras y a la fuerte presencia de oro grueso (macroscópico) que se encontraba en la roca, lo cual puede causar problemas al momento de realizar los ensayos.

Para iniciar a marcar las muestras en el barreno, es de suma importancia conocer las recuperaciones que presenta cada una de las corridas del barreno a describir, ya que a partir de ellas se inicia con el muestreo. Si la muestra marcada se encuentra en una corrida donde se tiene baja recuperación se aplica una regla de tres simple para hacer una equivalencia de la muestra.

Primero se revisa cual es la perdida de roca encontrada en la corrida, es decir la baja recuperación, si el valor encontrado es mayor de 15 cm se procede aplicar una regla de tres simple.

La operación matemática que nos ayuda a encontrar el valor del metraje para marcar la muestra, es la siguiente:

$$\text{Ecuación 2. - } M = (TC*RR) / P$$

$$M=(0.80*.20)/0.80= 0.20 \text{ cm}$$

Dónde:

M: muestra a marcar

TC: tramo a compensar

RR: recuperación real

P: perforado

Por último, se realiza una suma o resta dependiendo del taquete base que se escogió para la obtención de los datos, es decir  $141.40 - 0.20 = 141.20 \text{ m}$

Para los barrenos donde se tienen recuperaciones del 100% las operaciones matemáticas para la obtención del metraje a marcar en la muestra quedan exentas, por lo tanto el muestreo se realiza uniforme siempre y cuando se considere el espesor de muestra determinado al inicio de la descripción geológica (Logueo), para este caso en particular el muestreo se realiza de 2.00 m haciendo las separaciones necesarias en todas estructuras geológicas presentes a lo largo del barreno. El número de muestra se anota del lado izquierdo de la caja del barreno con una flecha, del lado izquierdo se pone la muestra que termina y del lado derecho de la flecha la muestra que comienza (Figura 27).



**Figura 25. Marcado de muestras cada 2 metros sobre el barreno**

### 8.3.1 Corte y Muestreo

Las cajas se trasladan al área de corte, donde el objetivo principal es cortar el núcleo exactamente por la mitad de las estructuras principales, con el propósito de que justo se quede de testigo la mitad de las estructuras y la contra parte, es decir la otra mitad se vaya analizar a laboratorio.

Se comienza a cortar tomado la roca desde el inicio de la caja hacia el final, se toma el fragmento que se va a cortar, que sea mayor a 5cm. y que se encuentre bien compacto, se coloca en el carro de corte y se pasa por el disco, se regresa a la caja, tratando de embonar el núcleo (Figura 28). Una vez que se termina el corte, la caja se pone en la mesa de muestreo y se toma la caja que continua hasta terminar el metraje del barreno. Cuando los trozos de núcleo son pequeños inferiores a 5 cm por motivo de una zona de fallamiento, brechamiento o fuerte cizallamiento es casi imposible cortar la roca, por lo tanto se evita el corte y se pasa al muestreo directo. A continuación se muestra la máquina de corte o bien la sierra eléctrica MK-5000 con la que se realizan los cortes de los núcleos.



**Figura 26. Corte de núcleo para la obtención de muestra.**

## Muestreo

En este apartado, se marcan las bolsas en las cuales se realizara el muestreo y envío a laboratorio, dichas bolsas tienen por dimensión 40x75 cm y se rotulan con los datos principales del barreno tales como: número de barreno y de muestra, posteriormente se introduce una etiqueta con el número de barreno y el número de muestra coincidiendo con los datos de la bolsa, esto se realiza para evitar problemas con la numeración por si se borra el dato de la bolsa. Se inicia a muestrear del final hacia el principio de la muestra para evitar que se mezclen y provocar una confusión al momento de colocarlas en la bolsa. Para tener un muestreo homogéneo se toma primero la tapa, siendo esta la parte de arriba del núcleo y la base o la parte de abajo se queda como testigo, se cierra la bolsa y se van acomodando las muestras en orden ascendente para su envío a laboratorio. Una vez terminado el muestreo se tapan las cajas y se acomodan en los estantes siguiendo el número de caja consecutivamente. Los estantes se encuentran ubicados en bodegas para el guardado con seguridad del testigo que se queda como evidencia para cualquier problema que se pueda presentar y para las auditorias futuras



**Figura 27. Muestreo de núcleo cortado y embolsado para ser llevado a laboratorio. El resto sé que queda cómo testigo y se almacena en bodegas.**

## **9. PROPUESTA DE MÉTODO EN EL MUESTREO DE SUPERFICIE.**

La necesidad de determinar algunas características físicas o químicas de grandes volúmenes o lotes de material, ya sean in situ, en reposo o en movimiento, se presenta en casi todas las operaciones y procesos minero-metalúrgicos, por razones económicas y prácticas. Es así como se necesitan muestras para evaluar depósitos de minerales en proyectos de exploración o para calcular reservas, tonelajes, leyes y tipo de minerales que presenta un blanco de exploración.

Del mismo modo, después de puesta en marcha la exploración, el desarrollo de una mina así como el control de la producción de mineral también requiere un extensivo e intensivo muestreo y análisis de los niveles de trabajo y frentes de desarrollo.

La importancia de cada uno de los pasos a seguir en el muestreo es de vital importancia ya que una mala práctica del mismo tendrá consecuencias molestas tanto en inversión económica como en el desarrollo del proyecto.

### **9.1 Muestreo Sistemático**

El muestreo sistemático o de rejilla es un método mediante el cual los puntos de muestreo seleccionados se ubican a distancias uniformes entre sí, a fin de brindar total cobertura a una característica geológica específica. En sitios donde aflora un tipo de roca en específico o se tiene abundante vetilleo de cuarzo (reventones) a muestrear, pudiendo en este caso, alcanzar dimensiones distritales, es práctico e ideal utilizar este método de muestreo ya que por ser uniforme en su distribución se tiene un mayor control de las muestras obtenidas así como los resultados que estas pueden revelar serán de mayor confiabilidad y certeza. En este caso, se diseña una rejilla de muestreo, obteniendo una muestra de alguno de los tipos descritos en cada punto programado.

## 9.2 Seleccionando las ubicaciones para el muestreo

Una vez determinado el enfoque para el muestreo, el siguiente paso consiste en seleccionar las ubicaciones para el muestreo. La selección de la ubicación exacta de cada punto de muestreo es crucial para la obtención de datos representativos. Por ejemplo, factores tales como la dificultad para obtener una muestra en un punto dado, la presencia de vegetación o la topografía del lugar, pueden influir (desviar) un plan de muestreo.

Para ubicar con precisión los puntos de muestreo se puede emplear una diversidad de métodos. Un método relativamente simple y práctico que podría utilizarse para ubicar tales puntos, consiste en diseñar y plasmar una rejilla sobre el área a trabajar. Una vez que ya se tiene el área mapeada y con las características mencionadas anteriormente en donde se observa una litología homogénea en la zona, se coloca una rejilla en el mapa del área a muestrear, donde se observara la uniformidad y distribución de las muestras a recolectar.

Las distancias o parámetros a tomar en cuenta de igual manera serán las mismas para todas las rejillas, teniendo como parámetro muestras cada 50 metros con 100 metros a los costados. Durante la exploración se ubica el punto a muestrear por medio de GPS, una vez llegando a ese punto se observa la litología del área, tipo de roca, características estructurales y alteraciones que son indicadores de mineralización en la zona.

Ya que el área a muestrear fue identificada y sus características son propicias, se procede a realizar el muestreo de roca, el cual puede ser de esquirla expuesto anteriormente. Cuando se tiene la muestra ya identificada y embolsada se continúa con el proceso de descripción del área, en libreta de campo se toman todos los datos posibles que nos dan una idea más general de la geología, estructuras y alteraciones que se tienen en la zona.

## **10. CONTROL DE CALIDAD QA/QC**

El análisis o los datos de muestreo obtenidos, en cualquier etapa de la prospección y exploración, se determinará en última instancia si un proyecto llega a ser económicamente viable para explotar. Por lo tanto, sigue el protocolo específico de la garantía del control de calidad (QA/QC) que estandariza los procedimientos para recoger muestras y obtener la información relacionada. Poniendo estos procedimientos de QA/QC en ejecución los datos que resultan pueden ser verificados y es información validada.

Sin importar el tipo de muestra, es importante que el supervisor del proyecto, el encargado o la persona calificada sean responsables de poner procedimientos apropiados a las necesidades del depósito para asegurar estándares mínimos de QA/QC.

Los procedimientos de muestreo para los proyectos de este distrito anteriormente ya detallados y explicados presentan que el QA/QC llega a ser generalmente crítico después de que se haya hecho el descubrimiento inicial y los datos subsecuentes serán utilizados para determinarse si el proyecto tiene méritos económicos, es decir los datos que se utilizan para el recurso, las estimaciones de la reserva o los usos del diseño de la mina que podría tener.

### **10.1 Procedimientos del control de calidad**

Todas las muestras sin excepción deberán tener una relación que identifique el lote o nombre del barreno al que pertenezcan y deberán estar debidamente encostaladas para su envío al laboratorio de confianza; que este será el “laboratorio primario”. El análisis inicial será realizado por el laboratorio primario y las muestras aleatoriamente seleccionadas también serán analizadas por un laboratorio “secundario”. Otros laboratorios se pueden utilizar para validar resultados cuando son necesarios como en las tercerías, por ejemplo. Aproximadamente el 5% de las pulpas de la muestra que se prepararon por el laboratorio primario, se deben enviar al laboratorio secundario para el análisis comparativo.

### **10.1.1 Duplicados**

Los duplicados del laboratorio se realizan en una muestra específica y esta se divide en dos partes iguales, las dos muestras tienen que dar el mismo valor o muy similar y/o cercano a la primera parte. Esta debe ser hecha solicitando el laboratorio para tirar del rechazo y haciendo una pulpa separada (independiente de la original) y analizándola que usa los mismos métodos que la original. Estas muestras se refieren a menudo como A/B (tomado del mismo rechazo). La comparación de los dos análisis dará una indicación de la variación del laboratorio y de la muestra. Inicialmente, cerca del 10% de las muestras sometidas deben solicitar que el análisis de A/B ha sido realizado correctamente. En los resultados se debe observar poca variabilidad, después de que hayan analizado a una población significativa, esto se puede reducir hasta el 5% de las muestras sometidas.

### **10.1.2 Espacios en blanco**

Los espacios en blanco o las muestras sin mineralización (estériles) se deben colocar en cada lote de muestras enviadas al laboratorio. El material en blanco se debe recoger de una localización conocida para evitar cualquier tipo de mineralización. Los resultados de estas muestras indicarán si hay alguna contaminación introducida durante la preparación de la muestra o los procedimientos analíticos.

Aproximadamente un blanco para cada 20 muestras debe ser incluido. Si se observa alguna contaminación significativa en el lote de muestras se necesitará ser reanalizada u otras medidas apropiadas se tomarán para resolver la edición de la contaminación.

### **10.1.3 Estándares certificados**

Los estándares certificados son pulpas de la muestra preparadas, empaquetadas, y certificadas para contener valores conocidos de ciertos elementos en este caso Oro. Los estándares son preparados por un laboratorio refutable que ha validado su contenido. Se recomienda que por lo menos dos estándares estén creados con el contenido del metal que son representante del depósito. Idealmente, un estándar debe representar una ley mínima, siendo este el valor esperado que pueda contener una muestra y en este caso puede ser de 0.8 ppm y otro del depósito que pueden representar un grado de alta ley siendo este de 1.8 ppm de Au. En los primeros tiempos de la exploración puede ser más práctico preparar un estándar de la calidad alta, media, e inferior basado en los datos obtenidos en ese momento.

Analizar los resultados estándares, recibidos de análisis primario y secundario del laboratorio, es la manera más eficaz de identificar la contaminación del laboratorio o el error analítico. Cada lote de muestras sometido a los laboratorios debe tener por lo menos un sistema de estándares incluidos (es decir un sistema de estándares por 20 muestras)

### **10.1.4 Verificación de los datos**

El proceso de la verificación de los datos está en curso mientras el trabajo se esté emprendiendo en cualquier proyecto particular. La verificación de los datos incluye el análisis estadístico de duplicados, estándares, espacios en blanco, y otros tipos de datos obtenidos durante la exploración y se determinarán si son analíticos, preparación de la muestra, o los procedimientos de muestreo necesitan ser modificados para obtener los resultados óptimos basados en error introducido. Los resultados de los laboratorios primarios y secundarios deben ser analizados y ser comparados (Figura 30).



## **11. SEGURIDAD E IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE.**

En prospección y exploración las prácticas de cuidado al medio ambiente y seguridad en el trabajo son responsabilidad de cada uno de nosotros, somos responsables de nosotros mismos, del personal a nuestro cargo y de no comprometer la seguridad de los demás.

La seguridad en prospección y exploración es la prevención de daños o lesiones cuando se está expuesto a peligros. Muchos accidentes son causados por no reconocer potenciales situaciones de peligro y no tomar las medidas necesarias de prevención. Todos los proyectos de prospección y exploración tiene sus características propias, en algunos lugares, existen actividades sumamente peligrosas, por ejemplo, los caminos en la sierra son sinuosos, otros se encuentran en lugares muy alejados de la población y solitarios, con problemas sociales o de inseguridad, pueden ser lugares extremadamente calientes o fríos, entre otros. Es necesario desarrollar una alta conciencia ambiental y de seguridad, identificar los peligros que pudieran existir en las diversas áreas de trabajo para prevenir o responder rápida y efectivamente a accidentes. Para esto se cuenta con un equipo de protección personal que deberá ser utilizado correctamente en las labores de muestreo en campo, barrenación de Circulación Inversa y de Diamante.

### **11.1 Equipos y Elementos de Protección Personal**

Los principales requisitos que se deben cumplir en cuanto al equipo de protección personal en el área de prospección y exploración son:

- Casco de seguridad
- Gorro o Cachucha
- Guantes de polietileno
- Lentes de seguridad para el sol
- Bloqueador solar
- Calzado de seguridad y campo adecuado
- Protectores auditivos (tapones)

Si aplican estos lineamientos y reglamentos de seguridad, se reducirán los impactos ambientales, permitiendo la prevención y reducción de los accidentes en el trabajo, cumpliendo con el compromiso de política ambiental, seguridad y salud en el trabajo por parte de la empresa (Figura 34).

## **11.2 NOM-120-SEMARNAT-2011**

En el área de prospección y exploración se tiene conocimiento y se apegan a la NORMA Oficial Mexicana NOM-120-SEMARNAT-2011, Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.

Es necesario proteger el medio ambiente y reducir o eliminar los efectos negativos que las actividades de exploración minera directa, podrían ocasionar sobre los recursos naturales y la vida silvestre. Se deben prevenir afectaciones ambientales que perjudiquen el equilibrio de los ecosistemas, y estimular o inducir a los agentes económicos a reorientar sus actividades protegiendo el medio ambiente y fomentando el desarrollo sustentable.

Con fundamento en la fracción I del artículo 31 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, los particulares que lleven a cabo actividades de exploración minera, de conformidad con los supuestos previstos por esta norma, presentarán ante la autoridad un informe preventivo, sin perjuicio de que la autoridad, previo análisis del mismo, requiera de la presentación de la manifestación de impacto ambiental correspondiente.

El responsable del proyecto deberá llevar a cabo un Programa de Supervisión en el cual se designe un responsable técnico en el sitio del proyecto, para detectar aspectos críticos desde el punto de vista ambiental y que pueda tomar decisiones, definir estrategias o modificar actividades nocivas.

Los aspectos ambientales, son los elementos de las actividades, productos o servicios que pueden interactuar con el medio ambiente.

Impacto ambiental, se refiere a cualquier cambio al medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales.

Las especificaciones ambientales generales que deberán considerarse antes de comenzar actividades de prospección y exploración son:

- Campamentos
- Rehabilitación y apertura de caminos
- Barrenación
- Construcción de pozos, zanjas y obras mineras
- Manejo de sustancias y residuos peligrosos
- Actividades de oficina

#### **11.2.1 Campamentos**

Estos deben de presentar las siguientes características:

Dimensiones: Dimensiones variables.

Parámetros: Número total de metros cuadrados para campamentos: 500 m<sup>2</sup>/ha (quinientos metros cuadrados por hectárea).

- Superficie a afectar: 500 m<sup>2</sup>/ha (quinientos metros cuadrados por hectárea).

- Porcentaje máximo a afectar por hectárea: 5.0% (cinco punto cero por ciento).

Los campamentos deberán ubicarse en áreas no aledañas a cuerpos de agua y que, de preferencia, no presenten densa vegetación, en el caso contrario, deberá incorporarse el campamento a los espacios disponibles entre la vegetación arbórea y arbustiva sin causarle afectaciones.

Por seguridad, descartar áreas con pendientes excesivas, propensas a la erosión, riesgo de caída de rocas o deslaves, áreas de recarga acuífera y de valor étnico.

Queda prohibida la cacería y la extracción de flora y fauna.

### 11.2.2 Rehabilitación y Apertura de caminos

- a) Ancho máximo de 4.50m., para permitir el paso de vehículos en sentidos opuestos ampliar hasta 7.0 m de ancho
- b) Construir cunetas y alcantarillas para permitir el cauce de las aguas de lluvia
- c) En caso de que exista flora y fauna silvestres con alguna categoría de protección, evitar su daño o realizar el traslado de fauna y trasplante de flora, con apoyo de especialistas (Figura 31).
- d) El material excedente debe ser empleado en las mismas obras o depositado en sitios previamente seleccionados, donde se garantice que este no será arrastrado por el drenaje pluvial o por crecimiento de cuerpos de agua.
- e) Los residuos vegetales se deben trozar y esparcir en sitios seleccionados, para facilitar su integración al suelo.
- f) Circular a baja velocidad con el fin de no generar polvaderas. Está prohibido transitar fuera de los caminos de acceso.
- g) Cuando se realice la restauración del área, inhabilitar caminos y planillas.
- h) Si se realizó la tala de árboles y arbustos, se debe cuantificar y realizar un programa de reforestación que compense el daño utilizando especies nativas.
- i) Cuando el proyecto se ubique en un área de tránsito, colocar señalización preventiva, restrictiva, informativa o prohibitiva; en referencia a los trabajos que se realicen en la zona.
- j) Las obras serán suspendidas, si al realizar las actividades se encontraran vestigios arqueológicos.



**Figura 29. Rescate y reubicación de especies endémicas para la apertura de caminos**

### **11.2.3 Barrenación**

- 1) No se debe realizar actividades de barrenación después de las 10:00 p.m. donde existan casas cerca del área
- 2) Usar sanitarios portátiles o letrinas construidas y operadas higiénicamente.
- 3) Depositar los residuos sólidos no peligrosos por separado para disponerlos de manera adecuada.
- 4) Al término de cada barreno realizar la cementación de una marca en la boca del mismo, quedando señalada su posición en el terreno.
- 5) Los cárcamos deben ser de material impermeable, con arcillas locales o en su defecto material plástico para evitar filtraciones al suelo de los lodos de barrenación.
- 6) Solo se utilizan lodos de perforación de arcillas naturales, grasas lubricantes y aditivos no tóxicos.
- 7) Decantar y reciclar el agua utilizada.
- 8) Disponer de los residuos de materia y roca de alguna de las áreas de depósito de material removido.
- 9) La maquinaria y equipo deben contar con el mantenimiento periódico, con la finalidad de disminuir o eliminar riesgos e impactos ambientales.

### **11.2.4 Construcción de zanjas, pozos y obras mineras.**

- a) Zanjas máximo 5 m de ancho, 2 m. de profundidad y 20 m de largo.
- b) Pozos con dimensiones no mayores a 1.5 m por lado y profundidad de 10.0 m
- c) Obras mineras con dimensiones no mayores de 2.50 m de ancho y 2.50m de altura por 40 m. de longitud.
- d) Al concluir las actividades del proyecto, en la etapa de restauración se deben tapar los pozos y las zanjas.
- e) Las obras serán suspendidas, si al realizar las actividades se encontraran vestigios arqueológicos y se dará aviso.
- f) Cuando la zanja o pozo se ubique en una área de tránsito, colocar señalización preventiva, restrictiva, informativa o prohibitiva; en referencia a los trabajos que se realicen en la zona.

### 11.2.5 Manejo de sustancias y residuos peligrosos

- 1) Separar los residuos peligrosos de los no peligrosos
- 2) Identificar los contenedores con la etiqueta de residuos peligrosos (Figura 32 y 33)
- 3) Registrar en una bitácora las entradas y salidas de los residuos peligrosos de los almacenes, no almacenar residuos peligrosos por más de 6 meses.
- 4) Disponer de los residuos peligrosos con una empresa autorizada para su recolección y solicitarle el manifiesto de entrega, transporte y recepción de los residuos peligrosos.
- 5) Minimizar la generación de residuos peligrosos en el área del proyecto procurando utilizar la menor cantidad de trapos o estopas para mantenimiento.
- 6) Queda prohibido el cambio de aceites a vehículos en el sitio del proyecto, los cambios de aceite deberán realizar en talleres autorizados.
- 7) En caso de realizar en el sitio del proyecto actividades de mantenimiento y reparación de maquinaria y/o vehículos, deberán adoptarse las medidas necesarias para evitar la contaminación de suelos.



Figura 30. Clasificación de Riesgos del Rombo NFPA

CLASIFICACIÓN	
C	R E T I B
C	CORROSIVO
R	REACTIVO
E	EXPLOSIVO
T	TOXICO
I	INFLAMABLE
B	BIOLOGICO-INFECCIOSO

Figura 31. Clasificación de Residuos Peligrosos CRETIB

EQUIPO DE SEGURIDAD		
		
INFORMACION ADICIONAL		
	DANINO PARA EL MEDIO AMBIENTE	

**Figura 32. Equipo básico de seguridad y parte el Equipo de Protección Personal**

### 11.2.6 Actividades de oficina

Consumo de agua:

- a) Dar mantenimiento periódico al equipo hidráulico, verificando que no existan fugas.
- b) Regar las áreas verdes por la noche
- c) Asegurar el cerrado de llaves después de su uso y el ahorro del consumo de agua en lavabos.
- d) Utilizar la menor cantidad de agua posible para limpieza de oficinas, se utilizara agua únicamente cuando sea necesario.
- e) Se prohíbe:
  - Lavar con agua las banquetas y áreas de estacionamiento
  - Lavar vehículos con manguera, usar solo cubeta.

Consumo de energía eléctrica:

- a) Apagar todas las luces de uso general que no se ocupen
- b) Apagar las luces en cubículos cuando no sea necesario utilizarlas.
- c) Utilizar aire acondicionado solo cuando indispensable.

### **11.3 Política de Desarrollo Sustentable SSMARC**

Fresnillo PLC es una empresa dedicada a la exploración, explotación y beneficio de minerales, comprometida en prevenir la contaminación, garantizando un lugar seguro y saludable para su personal, estableciendo buenas relaciones con las comunidades vecinas, cumpliendo con los requisitos legales y otros, mejorando continuamente los procesos productivos a través de un Sistema de Gestión Integral y orientada a trabajar bajo una cultura de desarrollo sustentable.

Es por esto que periódicamente se realizan campañas de salud y seguridad en su personal con la revisión médica del mismo así como un seguimiento a cada caso en particular.

La cultura ambiental es un factor de importancia ya que se explota un recurso natural no renovable, por lo tanto hay que cuidar y proteger los recursos que se encuentran alrededor y a nuestro alcance para que futuras generaciones puedan seguir disfrutando de estos. Creando así una cultura de desarrollo sustentable. También se realizan visitas a las comunidades vecinas donde se dan pláticas de prevención e información acerca de la contaminación y la cultura ambiental para que los pobladores cercanos a la zona estén alerta antes las manifestaciones ambientales que se tienen hoy en día.

Tengamos presente que si aplicamos el SSMARC, ayudaremos a reducir los impactos ambientales, prevenir y reducir los accidentes en el trabajo, cumpliendo con el compromiso de nuestra política ambiental, seguridad y salud en el trabajo.

## 12. CONCLUSIONES

El Distrito minero de Noche Buena ubicado dentro de los depósitos de oro orogénico, tiene el potencial geológico para continuar con la explotación de oro en la región. Es por ello que es de vital importancia realizar estudios previos, estrategias efectivas en el mapeo de la zona, continuando con la correcta técnica de muestreo de esquila en superficie al igual que en las máquinas de barrenación. Con base en los resultados de un correcto muestreo, se define el depósito y la mineralización que este aloja, así como posibles dimensiones, leyes e inclusive reservas.

Este trabajo representa una guía para el departamento de geología de exploración del Distrito minero Noche Buena, el cual tiene las bases teóricas y procedimientos para poder llevar a cabo el correcto muestreo en trabajos de prospección y exploración de este depósito.

El presente tiene una secuencia de los trabajos básicos a realizar en la búsqueda de un depósito mineral, comenzando con mapeos de reconocimiento de área y litología de la zona para proseguir con el muestreo de esquila en superficie, posteriormente se pasa a las máquinas de barrenación las cuales dan resultados más certeros de lo que hay en el subsuelo, el muestreo realizado adecuadamente, puede arrojar resultados positivos los cuales serán evaluados por el jefe de departamento de geología así como la empresa e inversionistas, para posteriormente continuar con la etapa de planeación, construcción y diseño de obras mineras e instalaciones.

En el mismo se expone una propuesta de muestreo para superficie el cual es “muestreo sistemático”. Basado en reconocimiento y mapeo previo; se diseña una rejilla la cual abarque la mayor cantidad de vetas-vetillas en la zona y con una distribución de 50 m de separación entre cada muestra a lo largo y 100 m lateral.

### 13. REEFERENCIAS

- ❖ Arvizu, H.E., Iriondo, A., Izaguirre A., Chávez-Cabello, G., Kamenov, G.D., Solís-Pichardo, G., Foster, D.A., Lozano-Santa Cruz, R., 2009, Rocas graníticas pérmicas en la Sierra Pinta, NW de Sonora, México: Magmatismo de subducción asociado al inicio del margen continental activo del SW de Norteamérica: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 26, núm. 3, p. 709-728.
- ❖ Campa, M. F., Coney, P. J., 1983. Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions of México: Canadian Journal of Earth Sciences, 20, 1040-1051.
- ❖ Exploración, Ingeniería y Construcción, Subdirección de Exploración Hermosillo. Exploraciones Mineras Parreña S.A. de C.V. Oficina Regional de Exploración Hermosillo. Manual de Geotecnia y Descripción Geológica, Proyecto Nuevo Corredor. P. 10-31
- ❖ Gonzales León C. M. 1989. Evolución de terrenos mesozoicos en el noroeste de México. ERNO. Instituto de Geología. UNAM Bol. Depto. Geol. Uni-Son, 1989, Vol. 6, Kg y 2, p. 39-54
- ❖ González León, C.M.; Lawton, T.F.; y Weber, Reinhard, 2010, Estratigrafía del Triásico y el Jurásico Inferior de Sonora, México, *in* Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 4, p. XX–XX, 5 figs.
- ❖ Izaguirre Pompa A. 2009. El basamento Paleoproterozoico (~1.71–1.68 Ga) Yavapai en el área Mina La Herradura en el NW de Sonora: Sus implicaciones para el desarrollo del arco magmático continental Mesozoico-Cenozoico del NW de México; Centro de Geociencias, Campus Juriquilla. Tesis de maestría.

- ❖ Lambert B. A. 2006. Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y tajo abierto. Coquimbo IV Región, Chile.
  
- ❖ Molina Garza R. S., Iriondo A. 2004. La Megacizalla Mojave Sonora: la hipótesis, la controversia y el estado actual de conocimiento. Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Campus Juriquilla, Querétaro, 76230, MEXICO
  
- ❖ Ornelas Macías A., Verdugo Noriega G. 2009 Caracterización Geológica, estructural y de mineralización en el área Karina, municipio de Caborca, Sonora, México. Universidad de Sonora. Tesis de Licenciatura.
  
- ❖ Ochoa-Landín, Lucas; Pérez-Segura, Efrén; Del Río-Salas, Rafael; y Valencia-Moreno, Martín, 2011, Depósitos minerales de Sonora, México, *in* Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 9, p. 299–331, 6 figs., 5 tablas.
  
- ❖ Quintanar Ruiz F. J. 2008 La Herradura ore deposit: an orogenic gold deposit in northwestern Mexico. University of Arizona. Tesis de maestría.
  
- ❖ Rodríguez-Castañeda, J.L, y Anderson, T.H., 2010, El arco magmático jurásico en Sonora, México—distribución, edades y ambiente tectónico, *in* Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 5.
  
- ❖ SGM, 2002. Carta Geológico-Minera. Caborca H12-4 Sonora. Escala 1:250,000