



CIM Guía para las Mejores Prácticas en la Exploración Minera

Preparado por el
Comité de Recursos Minerales y Reservas Minerales del CIM

Adoptado por el Consejo del CIM el 23 de noviembre de 2018

Traducido por el geocientífico **Fernando Linares Quiroa** (traducción no oficial)

Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum

Suite 1250, 3500 de Maisonneuve Blvd. West

Westmount, Quebec H3Z 3C1 CANADA

Tel.: (514) 939-2710 Fax: (514) 939-2714

mrmr.cim.org | www.cim.org

Contents

A. Introducción	3
B. Gestión y Ejecución de Proyectos de Exploración	3
1. Gestión de Proyectos	3
a) Planificación y Diseño del Programa de Exploración	4
b) Titularidad y acceso	6
c) Permisos	6
d) Responsabilidad Social Corporativa	6
2. Registros y Documentación	7
3. Prospección Geológica	7
4. Prospección Geofísica	8
5. Prospección Geoquímica	9
6. Programas de Perforación	11
a) Planificación de la Perforación	11
b) Conservación de las Muestras de la Perforación	11
c) Procedimientos de Logueo	12
d) Intervalos de Muestreo	13
e) Determinación de la Densidad Aparente	13
f) Logueo de los Sondajes	13
g) Secciones y Vistas en Planta	14
7. Preparación de las Muestras, Análisis, Seguridad y ACC	15
a) Preparación de la Muestra	15
b) Análisis de las Muestras	15
c) Seguridad de las Muestras	16
d) Aseguramiento y Control de la Calidad (ACC) Analítica	17
8. Reporte de los Resultados de los Programas de Exploración Minera	18
C. Agradecimientos	19
D. Referencias	19

A. Introducción

Estas normas para las Mejores Prácticas en la Exploración Minera del CIM (La Guía de Exploración) ha sido preparada para ayudar a los profesionales de las ciencias de la tierra e ingenieros para que realicen un trabajo de alta calidad de manera consistente, con el fin de mantener la confianza pública. Estas Guías de Exploración tienen por objetivo ayudar a los geocientíficos profesionales y a los exploradores en la planificación, supervisión y ejecución de programas de exploración. En Canadá, por lo general, hay dos maneras de reportar los recursos al público: el de "Divulgación", tal como se define en la norma NI 43-101, es un reporte de información técnica al público y a los participantes del mercado de valores para propósitos de legislación bursátil donde necesariamente una Persona Calificada (QP, por sus siglas en inglés) debe estar involucrada, y el reporte de información de exploración para las agencias gubernamentales para sustentar las obligaciones legales, que incluyen las Leyes de Minería de cada de cada Provincia y Territorio. Estas normas para la exploración también son importantes aun cuando los resultados no vayan a reportarse públicamente y estén preparados para uso interno de las compañías.

Si bien este documento pretende servir de guía para el trabajo realizado o supervisado por geocientíficos en Canadá, muchas de las prácticas aquí descritas pueden ser adaptadas a las actividades de exploración minera en otros países.

Las Guías de Exploración no pretenden inhibir el pensamiento creativo, ni evitar la aplicación de nuevos criterios que puedan convertirse en componentes fundamentales de programas exitosos de exploración minera. En lugar de proporcionar soluciones prescriptivas a cuestiones específicas, incluyen recomendaciones generales para la práctica profesional en la actualidad y para demostrar y defender los méritos de los nuevos métodos. Estas guías no excluyen que los individuos y las compañías desarrollen guías más detalladas y específicas a sus propios requerimientos.

La versión original de las Guías de Exploración fue preparada por el Comité para las Mejores Prácticas en la Exploración del Instituto Canadiense de Minería y Metalurgia y Petróleo (CIM) y adoptada por el Consejo del CIM el 20 de agosto del 2000.

El 9 de enero de 2018, el Consejo del CIM formó un nuevo comité, el Comité de Recursos y Reservas Minerales (Comité MRMR del CIM) con el mandato de, entre otras cosas, actualizar las Guías para las Mejores Prácticas en la Exploración. El mandato del comité fue aceptado por el Consejo del CIM el 2 de marzo de 2018.

Este nuevo documento de Las Guías para la Exploración fue adoptado por el Consejo del CIM el 23 de noviembre de 2018.

B. Gestión y Ejecución de los Proyectos de Exploración

1. Gestión de Proyectos

Para las empresas canadienses y para los titulares de derechos sobre propiedades mineras en Canadá, todo el trabajo de exploración debe diseñarse y llevarse a cabo bajo la supervisión de al menos un geocientífico. El geocientífico será responsable de la planificación, ejecución e interpretación de todas las actividades de exploración que se lleven a cabo bajo su supervisión y de la implementación de los

programas de aseguramiento de la calidad y de la preparación de reportes.

El geocientífico debe entender los aspectos administrativos, logísticos y de gestión y las responsabilidades del proyecto. Estas incluyen áreas tales como presupuesto, programación, administración de campamentos, incluido el abastecimiento de suministros y gerenciamiento de los contratistas, normas de salud y seguridad, seguridad y regulaciones gubernamentales de salud y seguridad, transporte y manipulación de mercancías peligrosas, uso de la tierra, acoso, derechos de los pueblos indígenas y medidas anticorrupción.

a) Planificación y Diseño del Programa de Exploración

El geocientífico debe asegurarse que el programa de exploración esté basado en una comprensión clara de la geología a escala regional y a escala local, el mineral económico y el tipo y estilo de la mineralización conocida o que se está buscado dentro de la propiedad en cuestión. Este entendimiento debe estar respaldado por datos de campo relevantes y debe incluir una revisión exhaustiva de la información publicada disponible, corporativa y privada. El geocientífico debe diseñar el programa de exploración y seleccionar los métodos y herramientas de exploración que permitan probar de manera verosímil las premisas geológicas y la interpretación.

Al planificar, implementar y supervisar el trabajo de exploración, el geocientífico debe asegurarse de que las prácticas de exploración se basen en criterios que sean aceptados de forma general por la industria, o que puedan justificarse de manera razonable en bases científicas.

El geocientífico debe revisar periódicamente las premisas geológicas en las que se basa el trabajo de exploración y debe actualizar estas premisas a medida que se disponga de nuevas observaciones de campo y datos. El geocientífico debe basar esta revisión sistemática y exhaustiva en toda nueva información recopilada durante el programa de exploración, describir y documentar la interpretación, y discutir cualquier inconsistencia aparente en los datos.

Es importante recordar que el geocientífico es responsable de su práctica, y esta responsabilidad nunca puede ser delegada.

i. Resultados de Exploraciones Anteriores

Un paso inicial en la planificación de un programa de exploración es recopilar y revisar los trabajos previos que se hayan llevado a cabo en la propiedad como: mapeo geológico, resultados de los programas de muestreo, prospecciones geofísicas, prospecciones geoquímicas y programas de perforación. El geocientífico puede utilizar información de dominio público, incluyendo programas de prospección geológica gubernamentales y archivos de evaluaciones provinciales o información de la base de datos interna de la compañía y de otras fuentes. El geocientífico debe validar la exactitud y verificar la idoneidad de la información recopilada de trabajos anteriores antes de utilizarla. La verificación de los datos es un concepto clave y es diferente de la validación de los datos.

La validación de la información de la base de datos en formato analógico o digital incluye todas las comprobaciones efectuadas para asegurarse de que no haya errores o discrepancias en los datos (por ejemplo, superposición de muestras, etiquetado incorrecto de los datos, mezcla de unidades, etc.). Esta es una tarea importante, pero no incluye la verificación de los datos en los cuales se basa.

La verificación de los datos está relacionada a la integridad y exactitud de los datos para presentar resultados que sean razonables. Todos los datos que están incluidos en la base de datos del proyecto deben ser verificados. Esto incluye datos "heredados" de cualquier tipo: geoquímicos, geofísicos, de perforación, de muestreo, metalúrgicos, etc. de anteriores operadores o de agencias del gobierno. Esta información puede ser valiosa para el proyecto y debe verificarse por su integridad para confirmar su nivel de calidad antes de ser incluida en la base de datos del proyecto. En otras palabras, el operador actual debe auditar los datos históricos para aceptar la responsabilidad de su uso. Dependiendo de la etapa de exploración, esto puede incluir un muestreo independiente de muestras con indicios en superficie o anomalías importantes de suelos, el remuestreo de trincheras o taladros, perforación de pozos gemelos, etc. Estas actividades de verificación deben describirse y documentarse detalladamente.

ii. Leyenda

Una leyenda geológica estándar, que abarque las todas las unidades litológicas y que incluya una lista de símbolos geológicos utilizados, debe ser preparada y aplicada de manera consistente a todos los programas de exploración y perforación que se realicen en la propiedad bajo estudio.

iii. Conjunto de Datos

Un solo conjunto de datos geocientíficos es frecuentemente insuficiente para comprender el potencial de una propiedad en exploración. Un solo conjunto de datos puede ser percibido como una capa de información y se deben integrar varias capas de información para realizar un análisis exhaustivo, formar una opinión y dar soporte a las conclusiones. Por lo general, se compilan varios tipos de estudios cuando se evalúa el potencial de exploración de una propiedad y se seleccionan los objetivos de exploración.

iv. Sistema de Coordenadas

Un programa de exploración necesita un sistema de coordenadas espaciales consistente desde el inicio, para ubicar toda la información producida durante la exploración en la propiedad. Los sistemas de coordenadas de cuadrícula típicos usados son las cuadrículas locales referenciadas a una característica específica de la propiedad o cuadrículas vinculadas astronómicamente, conocidas como Proyección Universal Transversal Mercator (*Universal Transverse Mercator, UTM*) norte. En muchos casos, los sistemas de coordenadas de cuadrícula en Canadá incorporan el Sistema Internacional de Unidades (SI), sin embargo, los

sistemas de coordenadas de cuadrícula históricos que incorporan el sistema de medición imperial, siguen aún en uso.

Cuando los levantamientos topográficos de propietarios anteriores utilizaron un sistema de coordenadas de cuadrícula diferente al sistema de coordenadas de cuadrícula actual, la información de ubicación para el levantamiento debe ser convertida al sistema de coordenadas de cuadrícula actual antes de que se inicien los trabajos en el terreno. Para obtener los mejores resultados, establezca las coordenadas de la cuadrícula en puntos comunes o estaciones de medición que están físicamente presentes en la propiedad para cada sistema de coordenadas de cuadrícula: ejemplos de tales puntos comunes podrían incluir tuberías de revestimientos de pozos de perforación o características geográficas específicas. La extrapolación de otras ubicaciones registradas de las cuadrículas antiguas a las nuevas se puede realizar aritméticamente.

Para las propiedades en etapa de descubrimiento, se deben establecer marcas permanentes como puntos de referencia para el sistema de coordenadas de cuadrícula de la propiedad, por ejemplo, mediante el registro de puntos de referencia y cortes transversales en rasgos distintivos permanentes, como un afloramiento de roca. Al establecer marcas permanentes, haga descripciones detalladas y completas de los métodos y procedimientos para marcarlos y localizarlos.

b) Titularidad y acceso

El geocientífico debe confirmar con sus supervisores o con el cliente, que los derechos de titularidad y acceso a la propiedad en cuestión han sido asegurados antes de comenzar con los trabajos. El acceso incluye permisos y acuerdos con las comunidades indígenas y locales, con los propietarios de los terrenos y con los titulares de los derechos sobre el terreno superficial. El geocientífico debe confirmar la ubicación de los límites de la propiedad, especialmente para poder ubicar de manera adecuada actividades de exploración importantes, tales como la perforación.

c) Permisos

El geocientífico debe confirmar con sus supervisores o con el cliente, que el proyecto tiene todos los permisos y autorizaciones necesarios antes de comenzar el trabajo. Muchas actividades de exploración que requieren el uso de aguas superficiales o subterráneas o que requieren de una permanencia prolongada en terrenos eriazos, requieren de notificaciones y permisos. El geocientífico debe estar completamente consciente de que permisos se requieren para trabajar en el área mucho antes de que se inicien las actividades. La obtención de permisos a menudo requiere un proceso de consulta con la comunidad, que no debe verse como la única oportunidad de reunirse con las comunidades afectadas y sus miembros.

d) Responsabilidad Social Corporativa

El geocientífico de exploración es a menudo la primera persona en el proyecto que se reúne con los miembros de la comunidad local. Antes de la primera

visita al área de exploración, debe considerarse la posibilidad de consultar con la comunidad. Un geocientífico sin experiencia personal en el área social debe buscar el consejo de expertos que tengan experiencia en consultas comunitarias. Los propietarios, la gerencia de la compañía, el equipo de exploración y los expertos en relaciones comunitarias deben identificar, acordar y documentar quién de ellos es responsable de cada uno de los distintos aspectos de las relaciones comunitarias.

Como principio básico de la participación de la comunidad, se debe comenzar el proceso de consulta en una etapa temprana del proyecto o incluso mucho antes de que éste se inicie. Como este proceso tiene por objetivo construir relaciones y confianza a través de una mutua comprensión, las reuniones y eventos en las primeras etapas del proyecto suelen ser frecuentemente componentes clave para asegurar el éxito. El geocientífico debe estar preparado para asistir a reuniones y eventos en los lugares seleccionados por la comunidad. Esto demuestra respeto y voluntad de emplear el tiempo de la compañía yendo a las reuniones y no esperar que los miembros de la comunidad vengan siempre a las oficinas de la empresa.

En los documentos e3 Plus de la Asociación de Prospectores y Desarrolladores de Canadá (*Prospectors and Developers Association of Canada*) de 2014 se ofrece orientación adicional para la ejecución de los programas de exploración.

2. Registros y Documentación

El almacenamiento de la información geológica, geofísica y geoquímica en un formato digital estándar y en un medio confiable, hace posible la recopilación y el análisis los datos de forma eficiente en las computadoras. Los registros en papel constituyen una valiosa copia de seguridad y un complemento. La Asociación de Prospectores y Desarrolladores del Canadá (PDAC, 2017) ha propuesto una serie de recomendaciones para la normalización de los formatos de datos digitales. Otro ejemplo de normalización de formatos y datos digitales puede encontrarse en las normas del Comité de Información Geocientífica del Gobierno Australiano de 2017 (*Australian Government Geoscience Information Committee*).

3. Prospección Geológica

Los programas de mapeo geológico observan y registran información sobre las principales unidades litológicas, alteraciones, rasgos estructurales y tipos de mineralización presentes en o alrededor de la propiedad en exploración, así como la naturaleza y ubicación de los principales rasgos fisiográficos. Esta información es comúnmente registrada en un mapa geológico, cuya escala depende de los objetivos definidos en la etapa de diseño del programa. La información se recoge y almacena en papel y/o en formato digital. A escalas regional y local, los mapas geológicos muestran las ubicaciones de las principales litologías, estructuras y tipos de alteración, además de cualquier mineralización económica potencialmente significativa. Los mapas geológicos detallados generalmente muestran la litología, la alteración y las características estructurales de un área pequeña, tales como una trinchera de exploración o un afloramiento individual.

Las muestras recolectadas durante el transcurso del programa de mapeo geológico

son usadas para:

- identificar las litologías en forma precisa;
- determinar el contenido metálico o de mineral en las estructuras geológicas de interés;
- determinar la composición química de una unidad de roca o tipo de alteración dados.

Las ubicaciones de estas muestras deben registrarse en un mapa geológico o en un registro en forma separada, como una libreta de campo. Las ubicaciones de todas las muestras deben estar claramente marcada en el campo para que el lugar donde se recolectaron las muestras pueda ser visitado nuevamente cuando sea necesario.

En el proyecto se debe conservar un grupo de muestras de mano que exhiban las características representativas de las rocas huésped, los estilos de alteración y los tipos de mineralización que se encuentran dentro de la propiedad, como referencia y para capacitación. La preparación de este conjunto de muestras asegura que todos los miembros del equipo de exploración registren la información de manera consistente durante el mapeo geológico.

Todos los datos recolectados deben contar con documentación relacionada al tipo de equipos y metodología empleada, métodos de calibración, frecuencia y fechas. Deben mantenerse registros fotográficos relevantes (digitales), estas fotos, deben incluir fecha, escala y ubicación.

La información de otras fuentes debe ser verificada y el proceso de verificación, incluyendo el registro y seguimiento de las fuentes de datos, debe estar totalmente documentada.

Información más detallada sobre los procedimientos para la preparación de mapas geológicos y la recolección y conservación de muestras de campo puede encontrarse en libros de texto o manuales de cartografía geológica utilizados por los servicios geológicos gubernamentales o por los Departamentos de Ciencias de la Tierra de las universidades y escuelas superiores. También pueden obtenerse en cursos cortos ofrecidos por asociaciones de la industria, o de fuentes de dominio público.

4. Prospección Geofísica

Los métodos de exploración geofísica detectan depósitos minerales midiendo las propiedades físicas que difieren significativamente entre un depósito mineral y las formaciones rocosas adyacentes. Históricamente, los métodos de exploración geofísica han utilizado las propiedades físicas como la densidad (gravedad), la susceptibilidad magnética, la conductividad, la cargabilidad, la resistividad, la radioactividad y la velocidad sísmica. En muchos casos, el depósito buscado u objetivo mineralizado tiene una propiedad física (o propiedades) que permite su detección directa. En otros casos, los depósitos minerales pueden ser detectados en virtud de las propiedades físicas de un mineral no económico asociado o por asociación con una roca específica o a un tipo de alteración.

Los estudios geofísicos a menudo proporcionan información crítica que da soporte

al mapeo regional y al modelo en la exploración minera. En Ford et al. (2007) se presenta un breve análisis de las propiedades físicas y químicas de los minerales económicos, de los minerales asociados a estos, los métodos geofísicos utilizados y las firmas características para varios tipos de depósitos minerales seleccionados.

Las prospecciones geofísicas pueden realizarse en la superficie del suelo o por encima de la superficie utilizando aeronaves. Las prospecciones geofísicas también pueden realizarse dentro de los pozos dejados por los taladros exploratorios. Estas prospecciones pueden ser conducidas ya sea por empleados de la compañía minera o de la empresa de exploración o por compañías que prestan estos servicios por contrato. Una discusión detallada de temas tales como las especificaciones de la prospección, los procedimientos de adquisición de datos, calidad de los datos, métodos de procesamiento, métodos de presentación y formatos para el almacenamiento de los datos y las consideraciones de seguridad para las prospecciones geofísicas está fuera del alcance de estas Guías de Exploración.

Al desarrollar y diseñar una prospección geofísica, el geocientífico necesita una clara comprensión de las características geofísicas del tipo de mineralización que busca el programa y su posible ubicación y orientación. Esta comprensión debe regir la elección del método de prospección geofísica y el diseño de las especificaciones de la prospección. Un geofísico calificado debe planificar, supervisar e interpretar los resultados de la prospección geofísica. En Coyle et al. (2014) se presenta un ejemplo del diseño, aseguramiento de la calidad y dispersión de los datos para una prospección aeromagnética.

En toda recopilación de datos, pero especialmente para los datos geofísicos, geoquímicos y de perforación, debe haber documentación relacionada con los tipos de equipos y metodologías, método y frecuencia de la calibración de los equipos y fechas. Cuando se trate de estudios geofísicos, la documentación deberá incluir elementos tales como el espaciamiento, tamaño, volumen, peso, etc. y cualquier otro parámetro que al variar pueda influir o cambiar los resultados.

5. Prospección Geoquímica

Las prospecciones geoquímicas han ayudado en la búsqueda de nuevos depósitos minerales durante muchas décadas. Estas prospecciones han sido utilizadas para buscar muchos tipos de depósitos y en diversos terrenos: glaciares y no glaciares, suelos permanentemente helados (*permafrost*), suelos tropicales, suelos subtropicales y suelos áridos. Las prospecciones pueden realizarse a escala regional, donde el objetivo es evaluar grandes áreas por su potencial para albergar un determinado depósito mineral, o a escala de la propiedad para encontrar una mineralización potencialmente económica. Las prospecciones geoquímicas, pueden incluir muestras de sedimentos lacustres, sedimentos de escorrentías, suelos, sobrecarga parental, vegetación, aguas subterráneas, aguas superficiales, minerales individuales o lecho rocoso intemperizado o fresco. El objetivo de estas prospecciones es encontrar concentraciones de uno o más elementos que estén muy por encima de los valores de referencia (*background*) regionales o locales para que sean considerados anómalos.

Las prospecciones a escala regional pueden llevarse a cabo por empresas mineras o por sus contratistas, o mediante prospecciones geológicas gubernamentales.

Mientras que los resultados de las prospecciones geoquímicas a escala regional llevadas a cabo por las compañías mineras pueden no estar disponibles para el dominio público en todas las jurisdicciones, los resultados de las prospecciones a escala regional realizadas por agencias geológicas gubernamentales están a disposición del público y normalmente contienen una descripción detallada de los procedimientos de campo, los protocolos de preparación de muestras, los métodos analíticos utilizados, los protocolos y resultados del aseguramiento y control de calidad de la calidad (ACC) empleados, y los procedimientos del procesamiento y administración de los datos.

Las prospecciones geoquímicas a escala de la propiedad son llevadas a cabo para ayudar en el descubrimiento de un depósito mineral. La persona que realiza la prospección necesita tener una clara comprensión del modelo de depósito mineral buscado y su tamaño esperado para diseñar y ejecutar una prospección geoquímica a escala de la propiedad. La prospección debe ser guiada por un mapa topográfico base actualizado y de buena calidad que muestre toda la información relevante, como los principales rasgos culturales, las áreas disturbadas y una recopilación de todos los resultados geológicos y geofísicos disponibles.

Es importante comprender las diferentes metodologías de prospección, incluidas sus limitaciones, para elegir una apropiada técnica de muestreo, el espaciamiento entre las muestras, el protocolo de preparación y el método analítico. Una estrategia útil en esta etapa temprana es conducir una prospección orientada sobre un área de mineralización conocida y bajo condiciones similares a las que se esperan en el área de prospección. El propósito de esta prospección orientada es probar diferentes técnicas y metodologías para identificar qué conjunto de parámetros de prospección ofrece la mayor probabilidad para detectar el tipo de mineralización buscado bajo las condiciones presentes en el área propuesta.

Para que una prospección geoquímica a escala de la propiedad, sea una operación exitosa requiere de una técnica de recolección de muestras consistente y apropiada, la determinación exacta de las profundidades y ubicaciones de las muestras, la preparación de buenas notas de campo, la aplicación consistente de los protocolos de preparación de muestras y la implementación de un programa de Aseguramiento y Control de la Calidad (ACC), (*Quality Assurance and Quality Control, QAQC*). El diseño y la ejecución de un programa de aseguramiento y control de la calidad para prospecciones geoquímicas a escala de la propiedad a menudo enfrenta retos como el suministro de materiales apropiados para su uso como blancos de muestra, materiales de referencia certificados y la toma de duplicados de campo. El diseño del programa debe incluir discusiones con un geoquímico calificado para planificar, supervisar e interpretar los resultados de las prospecciones geoquímicas.

Como una prospección geoquímica puede generar grandes volúmenes de información, el geocientífico debe diseñar sistemas de administración de datos apropiados para recopilar, almacenar y evaluar los resultados de estas prospecciones. El programa de exploración también debe incluir la preparación y conservación de todos los metadatos relacionados con las muestras de campo además de copias de todos los certificados analíticos. Estos registros deben incluir documentación relacionada a los equipos usados y la metodología empleada, el método de calibración y frecuencia, estándares usados y fechas de los análisis.

Una discusión detallada de temas tales como los procedimientos de campo, los protocolos de preparación de muestras, los métodos de análisis de las muestras, los protocolos de ACC y los procedimientos para la administración de las bases de datos de los estudios geoquímicos, a escala de la propiedad, para cada tipo de depósito está más allá del alcance de estas Guías de Exploración. En Franklin et al. (1991) se presentan ejemplos de los métodos de prospección geoquímica que se han realizado para determinados tipos de depósitos en Canadá.

6. Programas de Perforación

a) Planificación de la Perforación

El método de perforación debe ser el apropiado para las litologías y los elementos buscados, los objetivos del programa y las condiciones locales de perforación. El diámetro seleccionado para la perforación debe proporcionar la suficiente cantidad de muestra para que permita la descripción geológica, la caracterización geotécnica, el análisis químico y almacenamiento con propósitos de referencia. La ubicación de los sondajes en superficie debe determinarse utilizando métodos que tengan niveles de precisión que sean los adecuados para la etapa en que se encuentra la prospección de la propiedad. Las cuadrículas de coordenadas medidas por encadenamientos o por equipos portátiles GPS (Sistema de Posicionamiento Global) pueden ser suficientes para los proyectos en la etapa de exploración. En la etapa posterior al descubrimiento y en la etapa de delimitación del depósito, la ubicación de los collares debe determinarse utilizando métodos de medición más precisos y exactos.

Se recomienda que el geocientífico y/o los geólogos bajo su supervisión que preparen una sección transversal de trabajo mostrando, como mínimo, la ubicación esperada del sondaje que se va a perforar. Las secciones transversales deben actualizarse regularmente a medida que avanza el programa de perforación.

Las medidas de las desviaciones de los pozos deben realizarse a intervalos regulares dentro del pozo utilizando técnicas e instrumentos adecuados al tamaño, ángulo y longitud de los sondajes y a la naturaleza magnética de las rocas circundantes.

Un estudio de orientación, que examina la precisión de la desviación del pozo en función del espaciamiento de la medición, realizado en la etapa posterior al descubrimiento, es útil para determinar el espaciamiento óptimo para las mediciones de las desviaciones de los pozos.

b) Conservación de las Muestras de la Perforación

El programa debe conservar y archivar una fracción representativa del material proveniente de la perforación para futuras revisiones. En las propiedades en etapa de exploración, la conservación del material proveniente de la perforación y del material no utilizado de la muestra (rechazos) durante el programa de ensayos, generalmente se convierte en una práctica rutinaria en un programa de perforación. Cada vez que el material no haya sido

conservado, el geocientífico debe documentar la razón por la cual no fue conservado. Cuando se consideran los requisitos de almacenamiento a largo plazo de este material, el geocientífico debe estar consciente de sus responsabilidades con respecto a dicho material, que pueden diferir según la jurisdicción: el estatuto minero local puede ordenar la preservación, la disposición o la destrucción de los núcleos o de los detritos. En las jurisdicciones que no regulan la conservación y almacenamiento de estos materiales, el geocientífico debe considerar cualquier posible uso futuro del material.

Cuando se conducen programas de perforación para propiedades en etapa de descubrimiento, el geocientífico debe considerar los requerimientos futuros para pruebas y estudios metalúrgicos, geotécnicos y medioambientales, implementando procedimientos adecuados para la conservación y almacenamiento del material proveniente de la perforación y de las fracciones restantes de la muestra. Se recomienda el uso de placas metálicas para identificar el sondaje, la caja portatestigos y los intervalos dentro de la caja. Una etiqueta debe ser firmemente fijada en un medio resistente a la intemperie en el exterior de cada caja portatestigos y en una misma ubicación dentro de cada caja. A menudo, las decisiones correctas tomadas en esta etapa pueden resultar en ahorros significativos de tiempo y dinero y ser de gran beneficio en fechas futuras.

En el proyecto se deben conservar un grupo de muestras de núcleos de perforación o de esquirlas que muestren las características representativas de las rocas circundantes, los tipos de alteración y los estilos de mineralización relevantes en la propiedad para capacitación y como referencia. Este conjunto de muestras contribuye a asegurar que todos los miembros del equipo de exploración recopilen la información del logueo de manera consistente.

c) Procedimientos de Logueo

El logueo de los núcleos de la perforación diamantina o de las muestras de detritos o esquirlas provenientes de las perforaciones rotativas, debe ser llevado a cabo por personal competente y calificado que cuente con el entrenamiento adecuado y la experiencia suficiente. Los logueos deben registrar una descripción de las litologías, tipos e intensidades de la alteración, tipos e intensidades de la mineralización, el tipo, cantidad y distribución de los minerales o materiales potencialmente económicos, tipos e intensidades estructurales, datos hiperespectrales e información geotécnica. También deben tomarse fotografías de los núcleos de perforación antes de partirlos, como parte del proceso de logueo y guardarse para referencias futuras.

Los ángulos de intersección de las estructuras geológicas presentes, medidos en relación con el eje del núcleo diamantino o perpendicular a este, también se registran como parte del programa de logueo. Para depósitos que están estructuralmente controlados, un núcleo orientado proporciona una mejor descripción espacial de las características estructurales y mejora los valores predictivos de los modelos basados en mediciones estructurales.

d) Intervalos de Muestreo

Los logueos de la perforación deben consignar las ubicaciones y longitudes de las muestras tomadas para el análisis. En el caso de núcleos de perforación diamantina, los intervalos de muestreo deben marcarse en las cajas de testigos por el geocientífico que realiza el logueo. Las longitudes de los intervalos de los núcleos de perforación diamantina tomados para los ensayos pueden variar con el fin de muestrear características geológicas específicas, como una veta o un intervalo alterado, o pueden tener una longitud constante. Los intervalos de muestreo para la perforación de circulación reversa y otros taladros rotativos tienen generalmente una longitud constante. Los intervalos de muestreo que respetan los contactos geológicos tienen la ventaja de proporcionar una estimación de los materiales o metales potencialmente interesantes desde el punto de vista económico dentro de una característica geológica específica intersectada. Si se utilizan muestras de longitud constante, se debe elegir una longitud de muestra que coincida con la naturaleza anticipada del tipo de mineralización que se está buscando. En el caso de las propiedades en las etapas de descubrimiento y delimitación del depósito, el geocientífico debe considerar el impacto del método de muestreo y de las longitudes de las muestras, ya que esta información formará un componente crítico y fundamental cuando se realice la Estimación de los Recursos Minerales.

Para las propiedades en las etapas de descubrimiento y de delimitación, el geocientífico debe diseñar los protocolos de selección de muestras para asegurar que se recoja una serie completa e ininterrumpida de muestras a través del intervalo mineralizado previsto, junto con un número suficiente de muestras de material no mineralizado a ambos lados de los intervalos mineralizados. En general, las muestras individuales no deben abarcar litologías diferentes ni englobar secciones con estilos o concentraciones de mineralización significativamente diferentes.

e) Determinación de la Densidad Aparente

Para las propiedades en las etapas de descubrimiento y de delimitación, la recolección de información sobre la densidad aparente al inicio del programa de exploración, no sólo para el material mineralizado, sino también para el material adyacente no mineralizado, puede ahorrar tiempo de manera significativa. La densidad aparente de muestras representativas deberá medirse y registrarse a intervalos apropiados, utilizando un método adecuado al material de la muestra. La elección de los métodos para determinar la densidad aparente de un depósito en particular es responsabilidad del geocientífico y dependerá de las características físicas de la mineralización y de las técnicas de muestreo disponibles. Deben establecerse procedimientos adecuados de aseguramiento y control de calidad para monitorear y corregir las lecturas anómalas y mantener un conjunto de datos de alta calidad. Lipton y Horton (2014) presentan más indicaciones para la recolección y preparación de muestras y determinación de la densidad aparente.

f) Logueo de los Sondajes

El formato de logueo para la perforación, ya sea en papel o digital, y el nivel

de detalle del logueo deben ser los adecuados para el tipo de perforación, las condiciones geológicas del lugar y la naturaleza de la mineralización. Los logueos deben estar suficientemente detallados para registrar:

- el tipo de perforación que se está realizando;
- el propósito u objetivo de un sondaje en particular;
- el entorno geológico;
- el tipo de mineralización;
- las condiciones geotécnicas.

Las recuperaciones de los testigos o muestras deben anotarse en los registros. Toda la información geológica registrada en los logueos de la perforación debe usar una leyenda geológica estándar que sea consistente con la información geológica de la propiedad. Cualquier información geofísica dentro del pozo u otros datos topográficos relacionados con la perforación, también deben conservarse junto con el registro de la perforación.

La elección del software geológico y de logueo debe asegurar que toda información relevante proveniente de la exploración pueda ser capturada de una manera consistente, funcional y segura que sea adecuada para su uso en las fases subsiguientes de la evaluación de la propiedad. Los resultados de los programas de perforación se pueden registrar y almacenar de manera efectiva en formato físico (papel) o en formato electrónico en hojas de cálculo para las propiedades desde la etapa inicial de la exploración.

Para las propiedades en exploración, durante las etapas de descubrimiento y de delimitación, se prefiere el almacenamiento de los datos de la perforación en una base de datos relacional, que proporciona un apropiado control y seguridad, que el almacenamiento de la información en hojas de cálculo. Las hojas de cálculo no pueden asegurarse tan efectivamente como las bases de datos y, en consecuencia, son propensas a una mayor probabilidad de errores durante la manipulación de datos. Considerando el costo del trabajo de campo, perforación y análisis del laboratorio, el costo relacionado con el almacenamiento adecuado de los datos se justifica para asegurar la integridad y el uso eficiente de los datos del proyecto.

El geocientífico debe establecer un protocolo para la administración de la base de datos que incluya un programa de verificación que confirme que la información haya sido ingresada de manera precisa y libre de errores en la base de datos de la perforación. Los procedimientos y parámetros utilizados para preparar y ejecutar los programas de perforación deben documentarse con un conjunto de procedimientos operativos estándar para asegurar que los programas se ejecuten y que la información sea recolectada sistemáticamente. Para toda recolección de datos debe haber documentación relacionada con el tipo de equipo, metodología, lugar, fechas y personal que participa en el programa.

g) Secciones y Vistas en Planta

El personal del proyecto debe desarrollar secciones transversales,

longitudinales y vistas en planta, ya sean estas en formato digital o físico, que representen la geología básica y los datos de los pozos de perforación y su correlación con la geología superficial y con pozos de perforación cercanos. Estas secciones deben ser actualizados a medida que se completan los pozos de perforación. Al final de cada etapa de perforación deberá prepararse un archivo, que contendrá una copia de la base de datos final de la perforación, acompañado de un juego completo de secciones y vistas en planta, en papel o en formato digital, y se conservará para referencia futura.

7. Preparación de las Muestras, Análisis, Seguridad y ACC

Todos los programas de muestreo deben ejecutarse cuidadosa y diligentemente, utilizando prácticas de muestreo establecidas científicamente, diseñadas y probadas para garantizar que los resultados sean representativos y confiables. Un geocientífico debe supervisar la recolección de muestras y asegurarse de que se establezca y registre una cadena de custodia de las muestras.

El geocientífico que supervisa la preparación de las muestras para el análisis debe asegurarse de que todo el trabajo de los empleados, contratistas o consultores sea realizado por personal capacitado y competente y de que se sigan los programas de Aseguramiento y Control de Calidad (ACC) y los procedimientos de seguridad apropiados para el trabajo analítico. Cuando varias personas llevan a cabo tareas similares o cuando los datos se han recopilado durante un período de tiempo, el geocientífico debe utilizar un sistema de comprobaciones y controles que garantice la calidad y la coherencia de los datos que se producen.

a) Preparación de la Muestra

Los procedimientos de preparación de las muestras usados en cada programa de exploración minera deben ser los apropiados para los objetivos del programa. Cuando se reduzca el volumen de muestras individuales de campo, antes de ser enviadas a un laboratorio para su análisis, los procedimientos de reducción de muestras (cuarteos) para obtener submuestras representativas, primero deberán probarse y verificarse antes de aplicar estos procedimientos.

Los procedimientos de preparación de las muestras deben ser los apropiados para los elementos analizados y para los materiales que se someten a pruebas. Fracciones representativas del material, lo suficientemente grandes para ser analizadas o examinadas, deben conservarse por un período de tiempo que será determinado por el geocientífico, la política de la compañía o las normas regulatorias.

b) Análisis de las Muestras

Los análisis y las pruebas de las muestras deben ser realizadas por laboratorios acreditados y de preferencia certificados por la norma ISO, que estén calificados para el o los elementos o materiales en particular que se van a analizar o probar. El geocientífico tiene la responsabilidad de seleccionar el laboratorio, las pruebas o las instalaciones para el procesamiento de minerales y los métodos analíticos utilizados. Todos los resultados analíticos o de otras pruebas deberán ser respaldados por certificados o informes debidamente firmados expedidos por el laboratorio analítico o el laboratorio de pruebas,

acompañados de una declaración de los métodos utilizados.

La digestión de la muestra y los métodos analíticos elegidos deben estar debidamente documentados y justificados. Si estos no son los procedimientos normales para los minerales prospectados en la propiedad, estos deben ser explicados en detalle, incluyendo una discusión de las razones para su uso y mostrar evidencia de su eficacia.

Continuamente se están desarrollando nuevos métodos y técnicas para determinar la calidad, concentración o cantidad de mineralización o de los materiales de interés. Un geocientífico debe estar abierto a la aplicación de nuevas tecnologías, pero debe reconocer que estas nuevas metodologías traen consigo responsabilidades adicionales. El geocientífico que se basa en los resultados analíticos obtenidos con una nueva técnica analítica debe ser capaz de demostrar la idoneidad de la técnica para la tarea en cuestión y la confiabilidad de esta información.

El uso de analizadores portátiles de fluorescencia de rayos-X (FRX) usados para determinar las concentraciones elementales en una muestra, es un ejemplo de un nuevo método de aplicación en la industria de la exploración (Waldie y McCartney, 2010). Los analizadores FRX portátiles se pueden utilizar para evaluar rápidamente la concentración de ciertos elementos en rocas, suelos, esquirlas de perforación rotatoria y núcleos de perforación diamantina. Estos aparatos pueden ayudar a proporcionar información rápida a los geólogos de campo, ayudar a reconocer nuevos o inesperados tipos de mineralización, y permitir tomar decisiones en el terreno para ampliar el área o realizar perforación de relleno en una propiedad durante la etapa de exploración. Ocasionalmente, los analizadores FRX portátiles, pueden proporcionar información significativa y potencialmente material sobre la mineralización en una propiedad; sin embargo, un geocientífico debe entender claramente las fortalezas y deficiencias de este método, las condiciones y procedimientos apropiados para su uso en programas de exploración minera, y la necesidad de transmitir esta información junto con los resultados analíticos a los usuarios de los datos. Gazley y Fisher (2014) han proporcionado una revisión de la confiabilidad y validez de los datos de los FRX portátiles.

Lo más importante es que el geocientífico entienda sus responsabilidades en la recolección y el uso de la información recolectada por cualquier método analítico nuevo. En términos generales, cuando no se tengan normas específicas sobre un tema, el geocientífico debe apoyarse en buenos principios científicos y buenas conductas como la integridad del conocimiento, la objetividad y la transparencia.

c) Seguridad de las Muestras

La seguridad de las muestras, desde la obtención de la muestra hasta el análisis, es un componente vital del proceso de muestreo y análisis. Los procedimientos deben incluir el uso de instalaciones seguras para el logueo de los núcleos, el muestreo, el almacenamiento, la preparación de las muestras y el envío rápido, directo y seguro de las muestras a los laboratorios. El geocientífico debe implementar procedimientos de seguridad prácticos y confiables, teniendo en

cuenta el tipo de depósito, el estilo de mineralización y los requisitos logísticos del lugar donde se encuentra el proyecto.

d) Aseguramiento y Control de la Calidad (ACC) Analítica

Durante el proceso de exploración minera, el geocientífico debe asegurarse de que exista un programa de aseguramiento de la calidad (AC) y que se implementen las medidas de control de la calidad (CC) requeridos para confirmar y documentar la exactitud y precisión de los resultados recibidos de un laboratorio analítico. Los programas de aseguramiento de la calidad deben ser sistemáticos, aplicarse a todas las campañas de perforación y muestreo y a toda clase de datos analíticos, en todo el rango de valores medidos y no sólo a los resultados altos o inusuales. Discusiones sobre las prácticas y procedimientos de ACC pueden leerse en Long (1998), Abzalov (2011) y Roden and Smith (2014). Las auditorías de los métodos y procedimientos utilizados por el laboratorio primario de análisis químicos deben realizarse periódicamente.

Los programas de ACC apropiados para el tipo de muestra y mineralización deben planificarse e implementarse como componentes integrales de un programa de exploración. Estos programas deben incluir la remisión de blancos externos, materiales de referencia certificados, muestras duplicadas, y el envío regular de muestras de verificación a un laboratorio analítico externo. Las muestras en blanco y de materiales de referencia certificados deben incluirse en los lotes de muestras con la suficiente frecuencia para que proporcionen confianza estadística en los resultados.

Se recomienda la divulgación completa de los resultados del ACC de los programas de exploración, desde la etapa inicial, durante la etapa de descubrimiento hasta la etapa de definición.

Para los resultados analíticos, también debe implementarse un programa de verificación de datos para confirmar la exactitud de los datos ingresados en la base de datos analítica. Se deben implementarse protocolos adecuados para la administración de la base de datos y para la realización de copias de seguridad que garanticen que se ha mantenido la calidad, integridad y seguridad de la base de datos.

Los datos analíticos y de control de calidad se pueden almacenar en una base de datos relacional, que proporciona un control adecuado y seguridad como mejor práctica; sin embargo, estos datos también se pueden almacenar en formatos de hojas de cálculo.

La Asociación de Prospectores y Desarrolladores de Canadá (PDAC, 2017) ha propuesto una guía sobre la estandarización de los formatos de datos digitales. Otro ejemplo relativo a la estandarización de los formatos de datos digitales puede encontrarse en las normas presentadas por el Comité de Información Geocientífica del Gobierno de Australia (2017).

8. Reporte de los Resultados de los Programas de Exploración Minera

Los resultados de un programa de exploración minera deben ser presentados profesionalmente en un informe detallado. Estos informes deben prepararse una vez finalizada cada fase o etapa del trabajo.

La interpretación y evaluación de los resultados al final de cada fase del trabajo debe determinar si se han alcanzado los objetivos del programa y si se justifica la continuación del trabajo. Cualquier plan de trabajo adicional debe identificar los objetivos de exploración, recomendar un programa de exploración y presentar un presupuesto y un cronograma. Cualquier cambio en las hipótesis y objetivos del trabajo deben ser registrados.

En Canadá, existen dos tipos de informes públicos:

- 1) La "Divulgación", tal como se define en la norma NI 43-101, es el reporte de información técnica al público y a los participantes en el mercado para propósitos de la legislación sobre valores en la que debe estar implicada una persona calificada (QP). Las reglas para la divulgación no comprenden el reporte público presentado ante un gobierno o agencia relacionado con obligaciones bajo leyes y reglamentos que no sean la legislación sobre valores.
- 2) Reporte de información de exploración a las agencias gubernamentales para cumplir con las obligaciones bajo las leyes y regulaciones (aparte de la legislación sobre valores), incluyendo los informes de evaluación disponibles al público requeridos por las leyes mineras provinciales, o los informes ambientales requeridos por los procesos de permisos federales o provinciales. En estos casos, los profesionales que no son personas calificadas, inclusive los no profesionales en algunas jurisdicciones (p.ej. los prospectores) pueden ser responsables de la elaboración de este informe. Para los poseedores de títulos de propiedades mineras dentro de los límites de Canadá, el geocientífico debe estar familiarizado con los requisitos de presentación de informes estipulados en las Leyes de Minería de cada una de las Provincias y Territorios.

En los casos en que los resultados de los programas de exploración se preparen para uso interno de una empresa, los informes deberán contener, como mínimo, información sobre los siguientes temas:

- Descripción y Ubicación de la Propiedad
- Accesibilidad, Clima, Recursos Locales, Infraestructura y Fisiografía
- Descripción de las Actividades de Exploración Anteriores y sus Resultados
- Marco Geológico y Mineralización
- Tipos de Depósitos
- Actividades de la Exploración Minera
- Resultados de la Perforación
- Preparación de las Muestras, Análisis, Seguridad y Aseguramiento y Control de Calidad
- Verificación de los Datos

- Estudios Medio Ambientales, Permisos e Impacto Social o Comunitario
- Interpretación de los Resultados
- Conclusiones y Recomendaciones

C. Agradecimientos

Los miembros del subcomité, Reno Pressacco, Hendrik Falck y David Eden, desean agradecer las aportaciones, asistencia y soporte de todas las personas y organizaciones que participaron en la preparación de la actualización de las Guías para la Exploración.

D. Referencias

Abzalov, M., 2011, Sampling Errors and Control of Assay Data Quality in Exploration and Mining Geology: in Applications and Experiences of Quality Control, Prof. Ognyan Ivanov (Ed.).

Australian Government Geoscience Information Committee, 2017, Australian Requirements for the Submission of Digital Exploration Data Version 4.4. Commonwealth, State and Territory Governments of Australia:

http://www.australiaminerals.gov.au/data/assets/pdf_file/0004/47092/National_Guidelines_Version_4.4_January_17.pdf , 44 p.

Coyle, M., Dumont, R., Keating, P., Kiss, F., and Miles, W., 2014, Geological Survey of Canada Aeromagnetic Surveys: Design, Quality Assurance, and Data Dissemination: Geological Survey of Canada Open File 7660, 48 p.

Franklin, J.M., Duke, J.M., Shilts, W.W., Coker, W.B., Friske, P.W.B., Maurice, Y.T., Ballantyne, S.B., Dunn, C. E., Hall, G.E.M., and Garrett, R.G., 1991, Exploration Geochemistry Workshop: Geological Survey of Canada Open File 2390, 444 p.

Ford, K., Keating, P, and Thomas, M.D., 2007, Overview of Geophysical Signatures Associated with Canadian Ore Deposits: *in* Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, pp. 939-970.

Gazley, M.F., and Fisher, L.A., 2014, A Review of the Reliability and Validity of Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry (pXRF) Data: *in* Mineral Resource and Ore Reserve Estimation, The AusIMM Guide to Good Practice, Second Edition, Monography 30, pp. 69-82.

Lipton, I.T., and Horton, J.A., 2014, Measurement of Bulk Density for Resource Estimation - Methods, Guidelines and Quality Control: in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation, The AusIMM Guide to Good Practice, Second Edition, Monography 30, pp. 97-108.

Long, S.D., 1998, Practical Quality Control Procedures in Mineral Inventory Estimation: Exploration Mining Geology, Vol. 7, Nos 1 and 2, pp. 117-127.

National Instrument 43-101 - Standards of Disclosure for Mineral Projects. June 24, 2014.

Prospectors and Developers Association of Canada, 2014, e3 Plus - Responsible Exploration: Unpublished document available for the PDAC website:

<http://www.pdac.ca/priorities/responsible-exploration/e3-plus>

Prospectors and Developers Association of Canada, 2017, Exploration Assessment Data Digital Formats Proposal, Version 1.0: Unpublished document available from the PDAC website at

http://www.pdac.ca/docs/default-source/priorities/geosciences/pdac-2017_exploration-assessment-data-digital-formats-proposal-final-web.pdf?sfvrsn=a048bc98_0.

Roden, S., and Smith, T., 2014, Sampling and Analysis Protocols and Their Role in Mineral Exploration and New Resource Development: *in* Mineral Resource and Ore Reserve Estimation, The AusIMM Guide to Good Practice, Second Edition, Monography 30, pp. 53-60.

Waldie, C., and McCartney, I., 2010. Exercising caution in the public reporting of data from handheld XRF analyzers. CIM Bulletin Vol. 5, No. 1.