UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Colección de actividades geológicas acerca del impacto de la geología de yacimientos minerales en la sociedad

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Michelle Zenteno Vargas

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Dr. Aldo Ramos Rosique

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. ACTIVIDADES 4

2.1 Minerales de Mena 4

2.1.1. El Juego de los Recursos Minerales 4

2.1.2. Implicaciones éticas en la extracción de recursos: El caso de los minerales conflictivos 5

2.2 Yacimientos Minerales 9

2.2.1. Procesos magmáticos, hidrotermalismo y sulfuros metálicos: La historia de dos depósitos 9

2.3 Geología Económica 16

2.3.1. Abundancia cortical, Ley de corte y su influencia en el Factor de concentración 16

2.3.2. Minerales, Productos y Personas 20

2.4 Exploración y Explotación de Yacimientos Minerales 24

2.4.1. Juego de Exploración de Pórfidos de Cobre (Cu) 24

2.4.2. Minería y su Impacto 26

3. SOLUCIONES A LAS ACTIVIDADES 35

3.1 Minerales de Mena 35

3.1.2. Implicaciones éticas en la extracción de recursos: El caso de los minerales conflictivos 35

3.2 Yacimientos Minerales 38

3.2.1. Procesos magmáticos, hidrotermalismo y sulfuros metálicos: La historia de dos depósitos 38

3.3 Geología Económica 41

3.3.1. Abundancia cortical de metales, ley de corte y su influencia en el Factor de concentración 41

3.3.2. Minerales, Productos y Personas 45

3.4 Exploración y Explotación de Yacimientos Minerales 48

3.4.1. Juego de Exploración de Pórfidos de Cobre (Cu) 47

3.4.2. Minería y su Impacto 48

4. REFERENCIAS 53

5. MATERIAL DE APOYO 55

5.1 El Juego de los Recursos Minerales 55

5.2 El Caso de los Minerales Conflictivos 89

5.3 Procesos magmáticos, hidrotermalismo y sulfuros metálicos: La historia de dos depósitos 107

5.4 Juego de Exploración de Pórfidos de Cobre (Cu) 115

1. INTRODUCCIÓN

En la carrera de Ingeniería Geológica, el curso de Metalogenia del 7º semestre es el primer acercamiento con la geología de yacimientos minerales. En particular, el área de geología de yacimientos incluye una amplia variedad de disciplinas relacionadas con la exploración y explotación de recursos minerales, es por ello, que el curso se encuentra directamente seriado con cursos de Ingeniería Aplicada como el de Geología Aplicada a la Minería.

El curso debe ser completo, atractivo, activo, interactivo y enriquecedor, para provocar en las y los estudiantes el deseo de aprender, así como el interés en las materias sucesivas. De igual modo, es necesaria una conexión con la realidad, mediante la cual, apliquen sus conocimientos en contextos y problemáticas realistas. Las prácticas de campo son ideales para desarrollar el aprendizaje activo, pero actividades realizadas en el salón de clases pueden adaptarse para lograr el mismo objetivo. En clases con este tipo de actividades, las y los estudiantes están realmente a cargo de su aprendizaje, ya que se involucran en proyectos diseñados para ayudarles a observar, a reflexionar, a reconocer la información importante, organizarla, analizarla y relacionarla con otros conceptos aprendidos anteriormente (Perkins, 2007).

Para lograr que el estudiantado tenga un aprendizaje significativo, duradero y trascendente, se desarrollaron un conjunto de actividades geológicas como Casos de Estudio y Juegos que les permiten crear conexiones entre los conceptos fundamentales de Metalogenia y su aplicación en aspectos ingenieriles o en la vida diaria de la sociedad. Algunos de estos ejercicios están basados en actividades de acceso libre del sitio web *InTeGrate (*https://serc.carleton.edu/integrate/index.html, *Interdisciplinary Teaching about Earth for a Sustainable Future).* InTeGrate apoya a docentes con materiales didácticos para que los y las estudiantes puedan aprender sobre la Tierra a través de la lente de los grandes desafíos sociales y ambientales a los que se enfrenta la humanidad en la actualidad. De igual forma, se consultaron actividades desarrolladas por *The Geological Society,* (https://www.geolsoc.org.uk/heresources), donde también se ofrecen recursos educativos para las geociencias de acceso libre.

Dichos materiales fueron adaptados para cubrir los requerimientos del curso de Metalogenia de la Facultad de Ingeniería, tomando en cuenta la línea argumental del curso, la duración de la clase, el semestre en el que se imparte y los antecedentes académicos de las personas que la cursan.

La flexibilidad en la duración de las Actividades y Juegos permite al profesorado adaptarlas de manera didáctica a lo largo del semestre. Se sugiere se trabajen previamente en casa las Actividades que cuentan con Lecturas en el Material de Apoyo, debido a que se requiere un mayor tiempo en su desarrollo y en el análisis de la información. Los Juegos y las demás Actividades podrán realizarse en clase como complementos a los temas vistos en el curso de Metalogenia.

Los conceptos se han traducido al español ya que el material original está en inglés. Con esto se logra ofrecer en un lenguaje conceptualmente riguroso pero sencillo, el material que de otro modo hubiera sido inaccesible para algunos por la barrera del idioma. Las actividades constituyen un material de apoyo en la clase que permite al estudiantado tomar el control de su aprendizaje de forma activa y cooperativa.

En esta tesis se presentan cinco Actividades y dos Juegos que incluyen temáticas del curso de Metalogenia como la geología de yacimientos minerales, su mineralogía, su exploración y explotación sostenible, el impacto social y ambiental que implica su extracción, el uso cotidiano de recursos minerales, así como los aspectos geológico-económicos que tienen que ver con su estudio y aprovechamiento.

El Juego de Cartas permite a los estudiantes identificar el uso de los minerales como recursos fundamentales en la fabricación de los productos de la vida cotidiana. Analizarán cómo influye la oferta y demanda de factores como el precio de los minerales y su comercio.

La Actividad de los Minerales Conflictivos promueve conocer las implicaciones éticas en la extracción de estos recursos. Los y las estudiantes aprenderán acerca de sus propiedades físicas, su uso en la fabricación de tecnologías y la distribución global de los yacimientos. Reforzarán sus conocimientos con el material de apoyo, el cual, profundiza en los impactos ambientales y sociales derivados de la extracción del Coltán en la República Democrática del Congo.

La Actividad de Procesos Ígneos, Hidrotermalismo y Yacimientos de Oro, logra mediante mapas con información geológica y geográfica analizar el caso de estudio de la Mina *Homestake*, ubicada en los límites del Parque Nacional de Yellowstone. Las y los alumnos identificarán los factores geológicos que fueron necesarios en la formación de depósitos de sulfuros. Además, compararán la historia geológica de dos depósitos minerales y los impactos ambientales y sociales que se podrían generar a causa de la actividad minera.

En la Actividad de Abundancia Cortical, Ley Mineral y su Influencia en el Factor de Concentración, las y los estudiantes identificarán los usos de diversos elementos metálicos dentro de la industria. Asimismo, aprenderán acerca de los conceptos económicos relacionados con los valores de abundancia promedio en la corteza terrestre y la ley mínima necesaria para que un yacimiento sea económicamente explotable.

Minerales, Productos y Personas, es una Actividad que permite interpretar las relaciones entre el desarrollo económico global, el crecimiento de la población y la tasa de consumo de minerales industriales, metálicos y de los materiales de construcción. Mediante la observación e interpretación de gráficas podrán identificar las tendencias de consumo y extracción en algunos metales a lo largo del tiempo.

En el Juego de Pórfidos de Cu, las y los estudiantes lograrán elegir y localizar la localidad más adecuada para efectuar la exploración de yacimientos de tipo pórfido cuprífero con base en el análisis e interpretación de información geológica, geográfica, mineralógica y geofísica. Por medio de una subasta, deberán adquirir la localidad deseada tomando en cuenta también otros factores que influyen en la viabilidad de la exploración minera, tales como aspectos sociales y políticos.

En la Actividad de Minería y su Impacto, las y los alumnos analizarán los factores que influyen en la ley de corte de un mineral. También, calcularán la cantidad de residuos generados por actividad minera, las ventajas y desventajas de continuar con la minería y los enfoques de remediación que se deben de tomar en cuenta al cierre de una mina. El caso de estudio de la mina *McLaren* ayudará a conocer las problemáticas generadas por las minas heredadas y la contaminación que se produce debido al drenaje acido de jales heredados.

Si bien los ejercicios presentados en esta tesis están dirigidos a profesorado y estudiantado de la asignatura de Metalogenia, también pueden ser implementados para cumplir objetivos de otras asignaturas. Por ejemplo, en el curso de Geología Aplicada a la Minería de Ingeniería Geológica, o en el de Prospección y Exploración Minera, de la carrera de Ingeniería de Minas y Metalurgia. Los ejercicios como Minerales, Productos y Personas y el Juego de Cartas de los Recursos Minerales, incluso son adecuados para cursos básicos como Geología Física, Geología General o Mineralogía.

La implementación de este material en la asignatura de Metalogenia reforzará los conocimientos aprendidos en la materia y desarrollará en los estudiantes habilidades para trabajar de forma práctica con datos reales y con los desafíos complejos e interdisciplinarios que se encuentran en la intersección de la sociedad y la geología, dándoles herramientas esenciales para su futuro como profesionistas.

2.1.1. El Juego de los Recursos Minerales*

Objetivos:

- Identificar el uso de los minerales como recursos fundamentales en la fabricación de los productos que se utilizan en la vida cotidiana.
- Analizar cómo influye la oferta y demanda en factores como el precio, el comercio internacional y la exploración de los recursos minerales.

Participantes: 2 a 6

Material: Usen el Material de Apoyo 5.1 El Juego de los Recursos Minerales, está conformado por Cartas de Minerales (58), Cartas de Acción (8) y Cartas de Productos (15).

Preparación:

- Dividan las cartas en dos mazos. Las cartas de Producto azules son un mazo (el Mazo de Producto) y las cartas de Minerales rojas y las cartas de Acción verdes son otro (el Mazo de Minerales). Baraja ambos mazos y colócalos boca abajo uno al lado del otro sobre la mesa.
- Dejen espacio en la mesa para una pila de descarte: aquí es donde irán las cartas que vayan descartando.
- Las y los participantes comienzan tomando 6 cartas del *Mazo de Minerales* y 2 cartas del *Mazo de Productos*, para tener una mano de 8 cartas en total.

Cómo jugar:

El objetivo del juego es construir tantos productos como sea posible antes de que se agoten las cartas de Minerales.

Al comienzo del turno, la jugadora o el jugador que inicia puede realizar una de tres acciones:

1. Tomar una carta del *Mazo de Minerales* y luego poner una carta de Mineral o Acción de su mano en la pila de descarte.
2. Jugar una carta de Acción. Para hacer esto, debe colocar una carta de Acción de su mano en la pila de descarte, y seguir las instrucciones de dicha carta.
3. Si tiene las cartas de los tres Minerales que se muestran en la parte inferior de una de sus cartas de Producto, puede colocar la carta de Producto y las tres cartas de Minerales que se usaron para construirlo frente a él o ella. Luego, debe tomar una nueva carta de Producto y tres nuevas cartas de Mineral.

Recuerden, únicamente se puede realizar una de estas acciones en un turno. Una vez que se ha realizado una acción, el turno termina y entonces es el turno de la o el jugador de la izquierda.
Cada participante debe tener siempre 8 cartas (6 cartas de Mineral o Acción y dos cartas de Producto) al final de su turno.

Cómo ganar:

Una vez que el mazo de Minerales o Productos está vacío, el juego termina. En ese momento, quien haya construido la mayor cantidad de productos gana el juego. Si más de un jugador o jugadora ha construido la misma cantidad de productos, entonces también se considerará que ganaron.

*Actividad basada en: Mineral Resources. (2019).

2.1.2. Implicaciones Éticas en la Extracción de Recursos: El Caso de los Minerales Conflictivos*

Objetivos:

- Conocer cuáles son los diferentes minerales conflictivos y enlistar sus propiedades físicas, así como sus usos.
- Sintetizar información acerca de la explotación conflictiva de minerales conflictivos y valorar las implicaciones éticas de su uso.

Parte I. Minerales Conflictivos y Material de Apoyo

El concepto de *mineral conflictivo* se refiere a minerales que provienen de una región particular del mundo donde existen conflictos sociales, armados y/o abusos de los derechos humanos, relacionados con la extracción y el comercio de estos recursos. El trabajo forzoso y el trabajo infantil son comunes, al igual que la violencia, la corrupción y la afectación ambiental.

El término se usa para referirse a los minerales casiterita, columbita-tantalita, wolframita, y oro nativo, de donde se extraen los metales estaño, tántalo, tungsteno y oro, respectivamente. Estos metales se utilizan para producir una amplia gama de aparatos electrónicos, incluidos teléfonos móviles, computadoras, joyas y vehículos.

Los aparatos electrónicos, se han vuelto cada día más esenciales en nuestra vida diaria, por lo que en este ejercicio se explorarán las características de algunos de los componentes que son parte fundamental en su fabricación.

Revisa el material de apoyo para poder conocer más acerca de los minerales conflictivos y sus zonas de extracción, esto ayudará a profundizar tus conocimientos acerca de su localización y los problemas que implica la minería de estos recursos. También te ayudará a completar las tablas de la Parte II. El material consiste en una presentación *PowerPoint* (5.2 El Caso de los Minerales Conflictivos.pptx) y en el artículo "*The Price of Precious*" [1].

En la presentación encontrarás información acerca de la ubicación de los yacimientos de minerales conflictivos, los tipos de yacimientos en donde se forman, los impactos sociales y ambientales generados por la extracción de estos y su uso en los aparatos electrónicos. En el artículo, los autores cuentan su aventura al adentrarse en la búsqueda de una mina de oro en una zona de conflicto militar en la República Democrática del Congo.

Comenta e intercambia opiniones con tus compañeros y compañeras acerca de la presentación y el artículo, formulen preguntas tales como: ¿Conocían sobre la existencia de problemas sociales los cuales afectan la extracción de materias primas?, ¿En cuántos países del mundo se pueden extraer los minerales casiterita, columbita-tantalita y wolframita?, ¿Cuáles son los problemas ambientales derivados de la extracción de los minerales conflictivos?, ¿Sabías que los minerales conflictivos son necesarios en la producción de la amplia gama de los productos electrónicos que utilizamos diariamente?, ¿Qué podrías hacer tú en tu día a día para ayudar a la disminución de los problemas sociales derivados de la extracción de materias primas?

[1] Genttleman, J. (2013). *"The Price of Precious"* (https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/conflict-minerals). Intenta leer el artículo junto con algún amigo o amiga, para que en equipo puedan practicar sus habilidades de lectura en inglés.

*Actividad basada en: Cook, G. W. (2015).

Parte II. Minerales, economía y ética

Utiliza la Tabla 1 para sintetizar la información aprendida sobre los minerales en conflicto: casiterita, wolframita, tantalita [2], columbita [2]. Para cada mineral, escribe su fórmula química, grupo mineral, su mena, el tipo de yacimiento en los que se encuentran comúnmente, su ubicación global, los problemas éticos (sociales o ambientales) generados por la extracción de los minerales y los usos que tienen en la producción de dispositivos electrónicos.

[2] El coltán es un mineral compuesto por óxidos de tántalo, niobio, hierro y magnesio, conocidos como los minerales columbita (Nb_2O_6) y tantalita (Ta_2O_6). El término de coltán es utilizado regionalmente en el ámbito comercial.

Mineral	Formula Química	Grupo Mineral	Mena de:	Tipo de Yacimiento	Localidades mineras comunes	Usos

1. Resuelve la siguiente tabla en la que detalles algunos problemas ambientales y sociales relacionados con la explotación de este tipo de recursos en la República Democrática del Congo:

Problemas ambientales y sociales asociados a la explotación de coltán en la República Democrática del Congo					
Problemas ambientales			Problemas sociales		
Pérdida de hábitat de especies animales y vegetales	Daños en reservas naturales	Destrcción de bosques primarios	Conflictos armados	Minas ilegales	Violación de derechos humanos

Parte III. Implicaciones de la extracción de los minerales conflictivos y su reciclaje

Basándote en lo aprendido, contesta las siguientes preguntas.

1. Tomando en cuenta lo que has aprendido en este ejercicio, ¿Crees que sea ético ambientalmente el cambiar tu teléfono celular cada año? ¿Consideras que el reciclaje de los dispositivos electrónicos reduciría la extracción de minerales conflictivos? ¿Por qué?

2. En las olimpiadas de Tokio 2020 las medallas fueron hechas con oro, plata y bronce reciclados de dispositivos electrónicos. ¿Conoces algún otro ejemplo del reciclaje de recursos minerales?

3. ¿Qué otras acciones podrías tomar para mitigar las implicaciones ambientales y éticas del uso de minerales como recursos naturales?

4. Tomando en cuenta la necesidad de aparatos electrónicos en la vida diaria moderna ¿Consideras que existe alguna alternativa para sustituir el uso de estos recursos minerales en los dispositivos electrónicos?

5. Discute con tus compañeros y compañeras las fotos de la presentación PPT en el material de apoyo. ¿Cuáles fueron las que más les impactaron y por qué?

Tus respuestas:

2.2.1. Procesos magmáticos, hidrotermalismo y sulfuros metálicos: La historia de dos depósitos*

Objetivos:

- Analizar el mapa geológico de la mina *Homestake* cerca del Parque Nacional de Yellowstone, las características que favorecieron la formación de depósitos minerales y considerar los factores a favor y en contra de desarrollar una mina de Au-Ag-Cu en este lugar.
- Comparar los posibles impactos ambientales y sociales de las actividades de extracción de sulfuros entre las zonas del Lago Superior y el Parque Nacional de Yellowstone.

Antes de iniciar esta actividad, hay que leer el Material de Apoyo: "Procesos magmáticos, hidrotermalismo y sulfuros metálicos: La historia de dos depósitos" (Material de Apoyo 5.3).

Parte I. Los depósitos de oro, plata y cobre del Parque Nacional de Yellowstone.

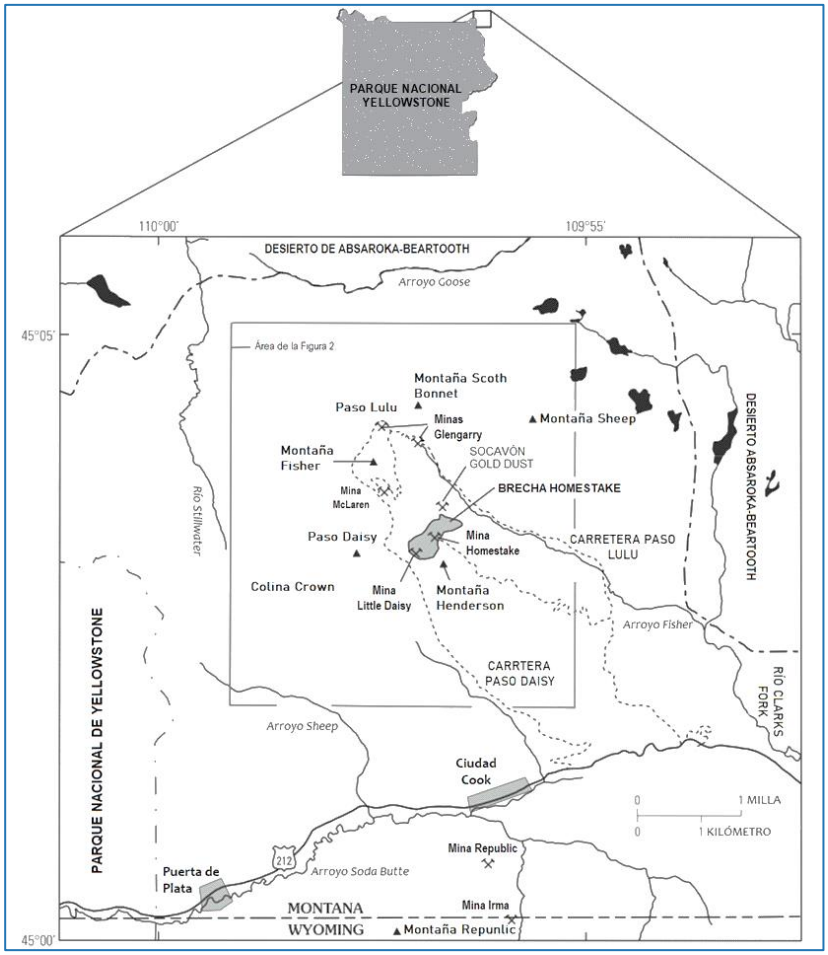


Figura 1. Mapa del área del distrito minero del *New World*, Montana y Wyoming. Se muestran las ubicaciones de la brecha Homestake, las minas históricas y las características geográficas. Modificado de Van Gosen (2007).

*Actividad basada en: Bhattacharyya, P. (2014).

En el mapa de la figura 1 se muestra la ubicación de la mina Homestake, cerca del Parque Nacional de Yellowstone. La región alrededor de la mina alberga recursos identificados de al menos 2.3 millones de oz de oro (Au), 8.9 millones de oz de plata (Ag) y 130 millones de lb de cobre (Cu). Los depósitos minerales, se formaron a partir de fluidos hidrotermales durante la actividad magmática de la región.

Parte II. Interpretación del mapa geológico

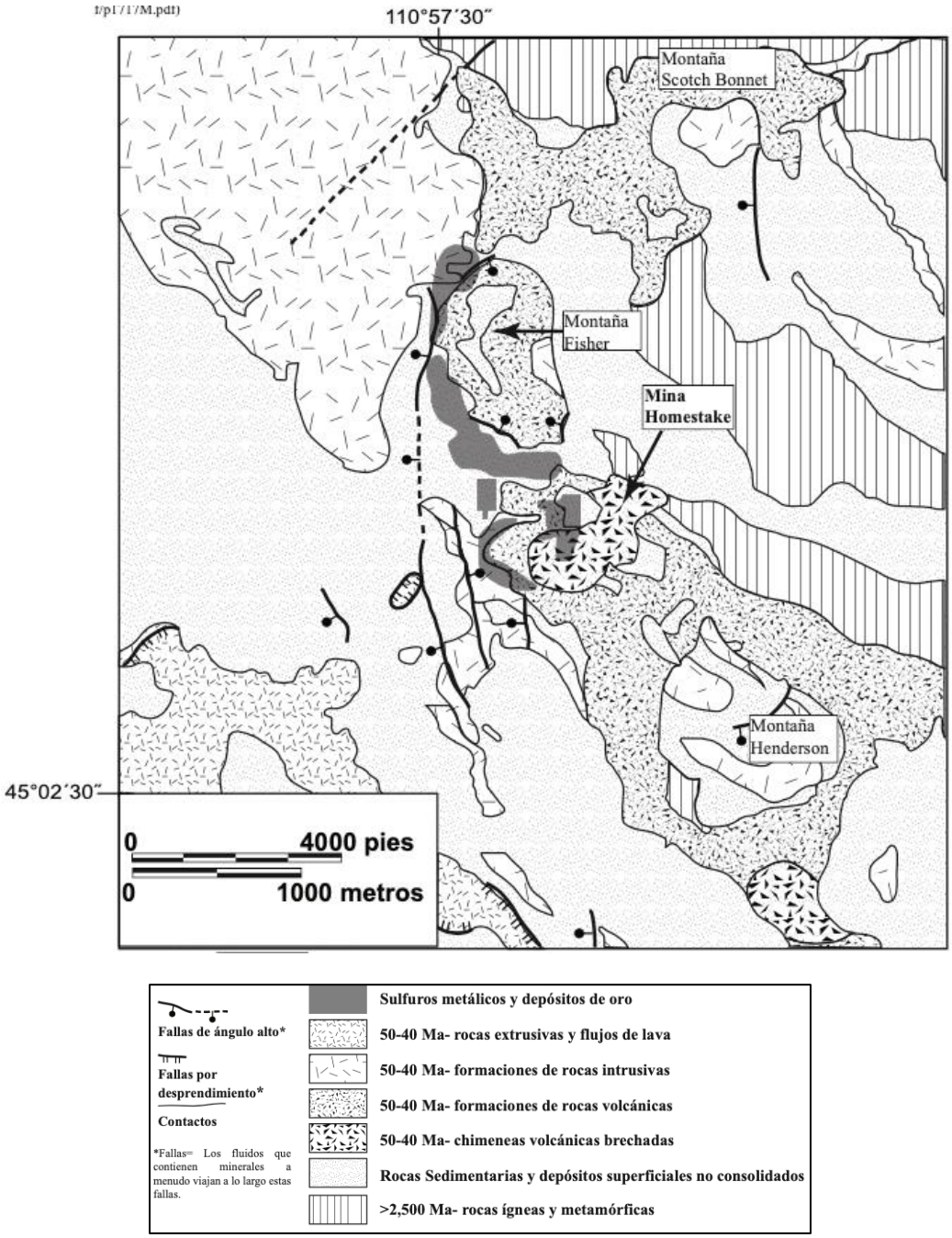


Figura 2. Mapa geológico de la mina *Homestake*. Modificado de Van Gosen (2007).

El mapa geológico de la mina Homestake (figura 2) muestra la geología y la ubicación de los depósitos de sulfuros metálicos y de oro. El basamento está formado por rocas ígneas y metamórficas de más de 2,500 Ma, lo sobreyacen rocas ígneas formadas durante la actividad volcánica ocurrida hace 40-50 Ma.

Responde las siguientes preguntas usando el mapa:

1. Usa la leyenda del mapa para encontrar dónde se han identificado depósitos de sulfuros metálicos y oro. ¿Qué montaña o montañas están más cerca de los depósitos?

2. Los fluidos hidrotermales que transportaban los metales disueltos provenían de magmas. En el mapa, identifica el tipo de roca (ígnea o sedimentaria) donde se depositaron la mayoría de los minerales de mena. ¿Por qué crees que se formaron los depósitos de menas dentro de ese tipo de roca?

3. Localiza las fallas normales que se muestran en el mapa. Las fallas a menudo proporcionan vías para los fluidos que contienen metales disueltos. ¿Crees que esas fallas jugaron algún papel en la forma en que se depositaron los minerales de mena? Explica tu respuesta.

4. Con base en el mapa geológico y tu respuesta a la pregunta anterior, ¿Recomendarías a una compañía minera explorar el área alrededor de la montaña *Scotch Bonnet* en busca de reservas potenciales de oro, plata y/o cobre? ¿Por qué o por qué no?

   También observa dónde se encuentran los depósitos conocidos con respecto a la montaña *Scotch Bonnet* y si tiene sentido buscar más depósitos de este tipo cerca de la montaña.

Parte III. La comparación con los depósitos del Lago Superior

Algunos de los depósitos de sulfuros metálicos más grandes del mundo se encuentran alrededor de la región del Lago Superior, este contiene casi el 10 % del suministro total de agua dulce del mundo.

En el mapa de la figura 3 se muestran las peridotitas *Yellow Dog* y los gabros *Echo Lake*, en Michigan, así como el complejo *Mellen* en Wisconsin, son ubicaciones potenciales para minas de sulfuros metálicos de níquel (Ni) y cobre (Cu).

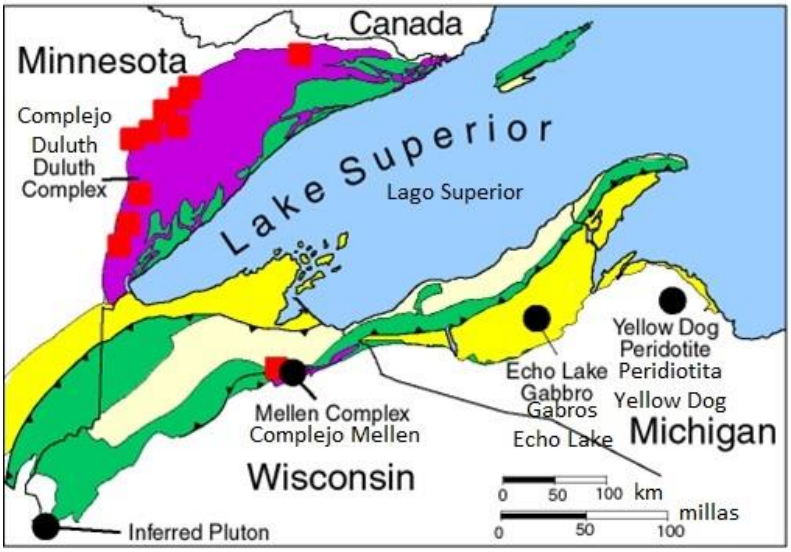


Figura 3. Depósitos de sulfuros de níquel y cobre en la región del Lago Superior. Modificado de USGS (1998).

Contestan las siguientes preguntas con base en la lectura del material de apoyo "La Historia de Dos Depósitos".

5. Si cerca del Parque Nacional de Yellowstone (figura 1) y/o del Lago Superior (figura 3) se iniciaran proyectos mineros ¿Qué factores (p.e. condiciones medioambientales, desarrollo de infraestructura, costo de explotación, mayor creación de empleo/desarrollo económico, etc.) influirían en su decisión de minar en Yellowstone o en el Lago Superior?

6. ¿Qué tipo(s) de riesgo(s) ambiental(es) se deben de tomar en cuenta con respecto a la actividad sísmica antes de comenzar con una actividad minera?

7. Si consideras que estas dos zonas deben conservarse sin la intervención de la minería, ¿Qué alterativa propondrías para satisfacer la creciente demanda de los sulfuros metálicos (Ni-Cu)?

8. Para la siguiente actividad se formarán equipos de tres integrantes. Cada equipo deberá para cada localidad, determinar la viabilidad de realizar un proyecto minero, con base en el análisis de rasgos geológicos que favorecen la extracción de los metales, el impacto ambiental y social que se podría generar como consecuencia de la minería, así como los beneficios del desarrollo económico que produciría la extracción de estos minerales.

   También, cada equipo deberá formular una alternativa viable a la minería para satisfacer las demandas de los sulfuros metálicos, en caso de que determinen que no es posible realizar la minería en alguna localidad.
   Para esto los equipos deben responder la siguiente tabla en la que resuman su análisis.

Postura	Minería en el área de Yellowstone	Minería en el área del Lago Superior
Rasgos geológicos que favorecen la extracción de los metales		
Impactos ambientales que se podrían generar como consencuencia de la minería		
Impactos sociales que se podrían generar como consencuencia de la minería		
Beneficios del desarrollo económico que produciría la extracción de minerales		
Alternativa viable a la minería para satisfacer las demandas de los sulfuros metálicos		

2.3.1. Abundancia Cortical, Ley de Corte y su Influencia en el Factor de Concentración*

Objetivos:

- Identificar los usos dentro de la industria de diversos elementos metálicos.
- Analizar cómo la abundancia cortical y su ley de corte afectan el factor de concentración de un elemento

Parte I. Elementos de la Corteza Terrestre y su Factor de Concentración

La corteza terrestre, la cual representa el uno por ciento de nuestro planeta, es la fuente de todos los elementos básicos que extraemos, refinamos y utilizamos en nuestra vida diaria. Está conformada en un 88.1 % por oxígeno, silicio, aluminio y hierro, mientras que otros 90 elementos componen el 11.9 % restante. Algunos de los elementos menos abundantes son muy importantes para la industria, la agricultura y la fabricación de equipos electrónicos. Los procesos geológicos que forman yacimientos minerales son responsables de concentrar a dichos metales en la corteza por encima de su abundancia promedio.

La *ley* es la concentración del metal en la mena, se determina mediante ensayos químicos y usualmente se reporta en unidades de porcentaje (%) y partes por millón (ppm) o por billón (ppb), aunque para el caso de metales preciosos se utiliza gramos por tonelada (g/t). Dicta la forma en que un yacimiento mineral es explotado, no necesariamente siguiendo rasgos geológicos, sino criterios económicos. Para la formación de un depósito mineral, él o los elementos involucrados tienen que estar enriquecidos a un nivel considerablemente mayor que el de su abundancia normal en la corteza. El grado de enriquecimiento se denomina *factor de concentración*.

Por ejemplo, el cromo (Cr) tiene una abundancia promedio, aproximadamente del 0.01 % en peso en la corteza; mientras que los yacimientos minerales de cromo pueden ser rentables si contienen un 30 % en peso de cromo (ley de corte). Por lo tanto, el factor de concentración necesario para el cromo es de 3000 (30 % / 0.01 %). Es decir, el cromo debe concentrarse al menos 3000 veces para constituir un yacimiento económicamente rentable.

Los elementos que tienen una gran abundancia en la corteza no necesitan un factor de concentración alto para que la minería sea rentable. El hierro y el aluminio, por lo general, presentan leyes de corte de hasta 30-40 %, sin embargo, otros elementos como el plomo y el zinc presentan leyes de corte de 5-10 %, estos metales requieren de concentraciones más altas para ser minados de manera rentable.

*Actividad basada en: Perkins, D. (2005).

Parte II. Elementos metálicos: Uso, ley de corte y factor de concentración

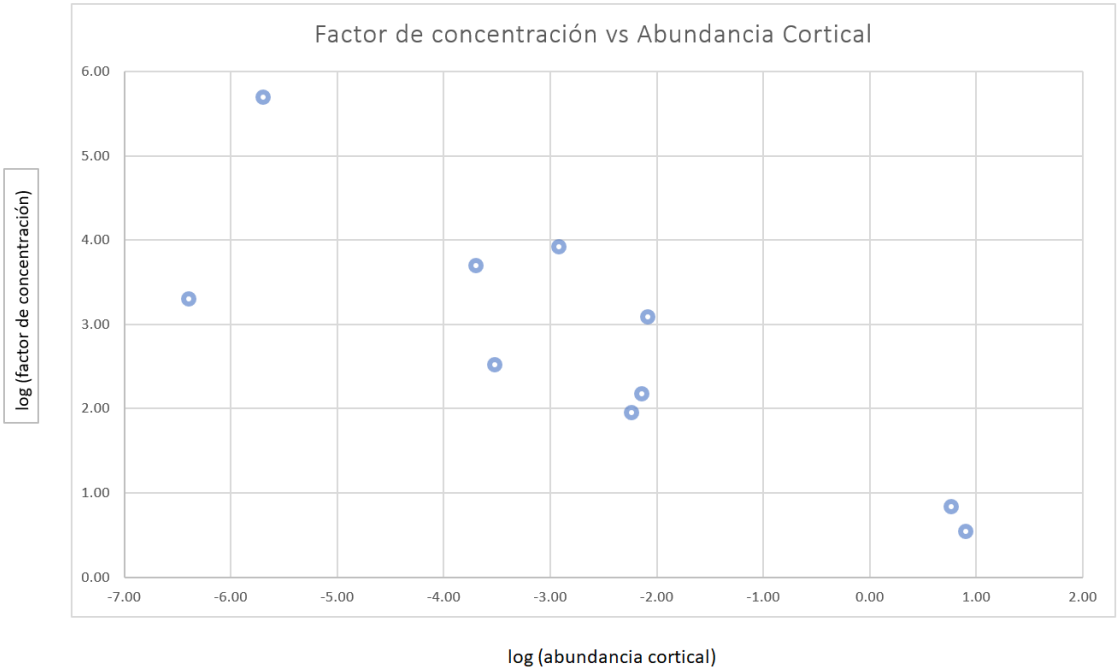
Considera al aluminio (Al), hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni), zinc (Zn), uranio (U), plomo (Pb), oro (Au), mercurio (Hg) y estaño (Sn). A continuación, se muestra una tabla que enlista los usos comunes de estos elementos. Decide qué descripción coincide con cuál, coloca el nombre y el símbolo del elemento en el espacio vacío proporcionado.

Nombre & símbolo del elemento	Usos
	Se utiliza en la fabricación de interruptores. El mayor uso es por parte de las industrias químicas y afines para procesos como la preparación de cloro y cáusticos, fabricación de pigmentos, catalizadores, productos farmacéuticos y productos químicos agrícolas. También se utiliza en preparaciones dentales como empastes y pilas.
	Debido a su resistencia a la oxidación, conductividad eléctrica eficiente, densidad relativamente baja y bajo precio, se usa ampliamente en la industria manufacturera, principalmente para aeronaves, vehículos motorizados, equipos eléctricos, maquinaria, latas de bebidas, recipientes, una variedad de artículos para el hogar y productos de consumo. También se utiliza como abrasivo.
	Los tres usos principales son para fundición a presión de aleaciones, para galvanizado de hierro y acero, y en la fabricación de aleaciones a base de cobre y latón. También se utiliza en la fabricación de otros productos químicos, papel de fotocopias en impresiones de revistas, telas, plásticos, como pigmento y en protectores solares.
	Se utiliza principalmente en baterías de almacenamiento de energía eléctrica. Algunos de sus principales usos son en municiones, como metal de soporte, en cubiertas de cables, como metal de fundición y como material de calafateo. También se utiliza como pigmento.
	Es el principal metal empleado en la industria moderna. Se alea con otros metales para formar una variedad de aceros que se utilizan en la fabricación de equipos, herramientas, contenedores, construcción, etc.
	Es un importante recurso energético. Se utiliza principalmente como combustible para generadores y reactores de energía nuclear. Tiene importantes usos militares.
	Los principales usos son para fabricar aceros inoxidables y super aleaciones, en galvanoplastia, en la fabricación de aleaciones resistentes al calor y a la corrosión. También se utiliza en la fabricación de aleaciones para imanes permanentes y en la industria química.
	Los principales usos son en soldadura y galvanoplastia. También se utiliza en la fabricación de aleaciones para rodamientos, bronce, productos químicos y revestimientos. Alguna vez se usó para hacer contenedores.
	Se usa principalmente en la joyería. Almacenamiento en bancos en forma de lingotes y como fondos de inversión para cotizar en la bolsa de valores. También se utiliza en la industria electrónica para fabricar conectores, cables, contactos e interruptores.
	Tiene muchas aplicaciones industriales debido a su alta conductividad eléctrica y térmica, su buena resistencia a la corrosión, buena ductilidad y su alta resistencia. Aproximadamente la mitad se utiliza en aplicaciones eléctricas como generadores, cables y transformadores. Su aleación con el zinc forma latón y con el estaño forma bronce.

Los valores de abundancia promedio en la corteza de algunos elementos y su ley mínima minable, se dan en la siguiente tabla basada en Ridley, (2013). Utiliza los datos para calcular el factor de concentración de cada producto. Nota que dos valores se encuentran ya calculados como ejemplo.

Elemento	Abundancia en la corteza terrestre (%)	Ley de corte (%)	Factor de concentración
Aluminio (Al)	8	28	3.5
Hierro (Fe)	5.8	40	6.9
Cobre (Cu)	0.0058	0.52	
Níquel (Ni)	0.0072	1.08	
Zinc (Zn)	0.0082	10	
Uranio (U)	0.0003	0.1	
Plomo (Pb)	0.0012	10	
Oro (Au)	0.0000004	0.0008	
Mercurio (Hg)	0.000002	1	
Estaño (Sn)	0.0002	1	

Utiliza los cálculos de la tabla anterior para localizar y etiquetar los puntos que representan a los elementos en el gráfico siguiente:



Parte III. Cuestionario

1. Dibuja una línea recta a través de los datos.
2. Explica la tendencia observada en el gráfico. ¿Cómo se comporta el factor de concentración con respecto a la abundancia cortical?, ¿Por qué se comporta así?
3. Para muchos de estos recursos minerales, solo existen pocas minas en el mundo que operan al mismo tiempo. ¿Por qué crees que así sea?
4. ¿Qué factores crees que afectan el valor de la ley de corte de un elemento en un yacimiento? ¿Es fijo el valor de la ley de corte o puede variar con el tiempo? Explica.
5. ¿El factor de concentración es un valor fijo o puede variar con el tiempo? Explica.
6. ¿Cuántas veces debe estar enriquecido el oro (en la mena) sobre su abundancia cortical para considerarlo económicamente explotable? ¿Y el plomo?
7. ¿Cuál es la mínima concentración que debe tener el estaño en una mena para ser económicamente explotable ¿y el cobre?
8. ¿Por qué si el plomo es más abundante en la corteza, requiere de un factor de concentración mayor que el oro para ser explotable?
9. ¿Por qué si el estaño y el cobre tienen una ley de corte muy similar, se requiere de un factor de concentración mucho más alto para que el estaño sea económicamente explotable?

Tus respuestas:

2.3.2. Minerales, Productos y Personas*

Objetivo

- Interpretar las relaciones entre sostenibilidad, disponibilidad de recursos minerales, crecimiento de la población y el desarrollo económico a nivel global.

Parte I. Desarrollo económico y uso de recursos

El producto interno bruto (PIB) se utiliza con frecuencia como indicador del desempeño económico de un país y su nivel de desarrollo. El PIB per cápita es el PIB total dividido entre la cantidad de personas en un país y se puede usar para comparar sencillamente el desempeño económico de países con diferentes tamaños de población.

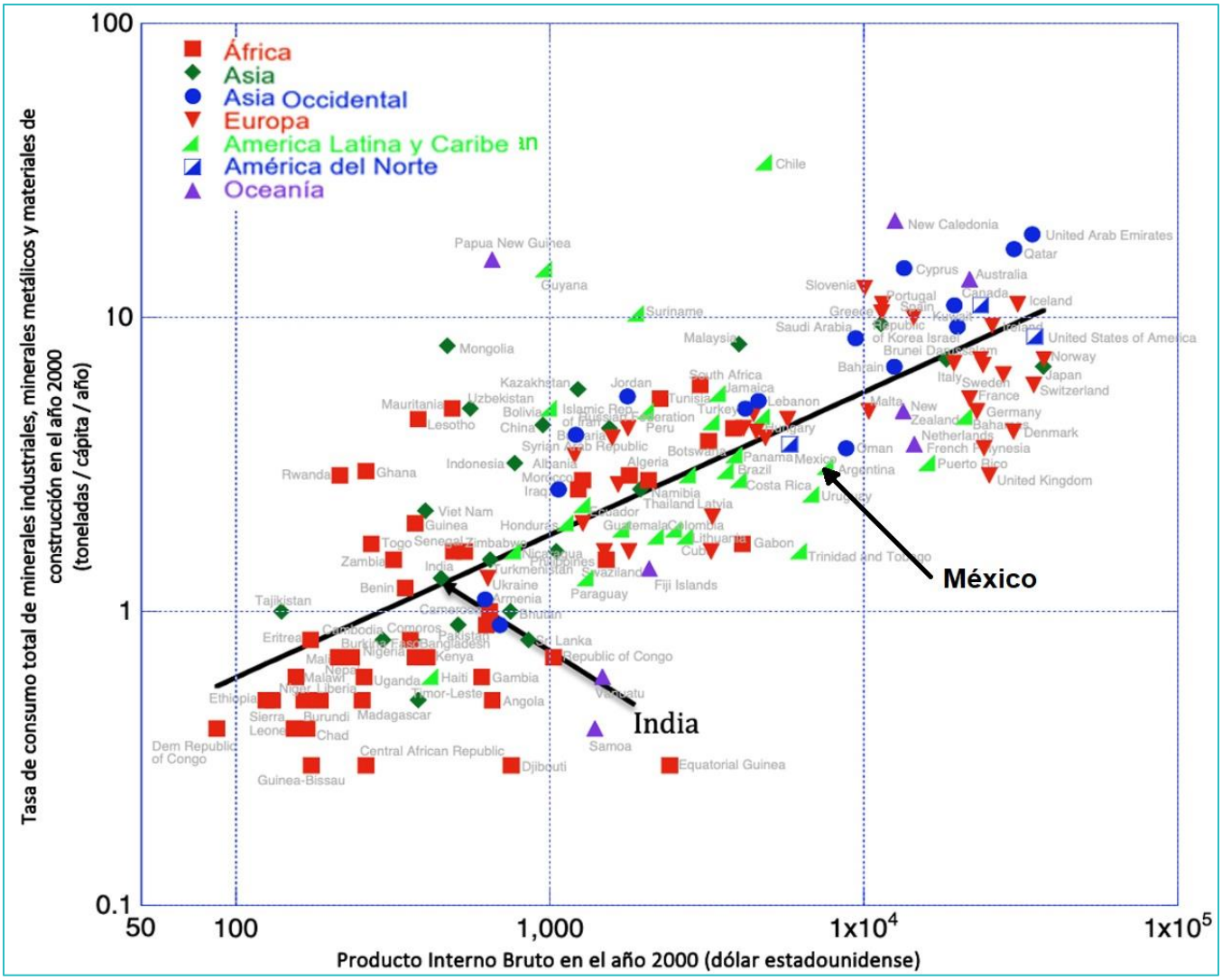


Figura 1. Relación entre el producto interno bruto per cápita (PIB; dólares estadounidenses) y la tasa de consumo interno total de minerales industriales y materiales de construcción (toneladas per cápita) para ~150 países diferentes en el año 2000. Modificado de Steinberger et al. (2010).

*Actividad basada en: Joseph, L. (2014).

La gráfica de la figura 1 muestra el PIB per cápita de muchos países frente a una medida de su tasa de consumo de recursos minerales. En este caso, la tasa de consumo es la extracción de un material, sumado a sus importaciones, y restando sus exportaciones (en toneladas per cápita por año). Como indica la leyenda, las diferentes regiones del mundo se muestran mediante marcadores de diferentes colores y formas. Los recursos minerales representados en la gráfica son minerales industriales, minerales metálicos y materiales de construcción.

El término *minerales industriales* se refiere genéricamente a cualquier roca, mineral o sustancia natural de valor económico, excluyendo los minerales metálicos, los minerales para obtención de energía y las piedras preciosas. Cada recurso se caracteriza por sus propiedades físicas, como fibrosidad, capacidad de aislamiento, densidad, dureza. Algunos ejemplos son el flúor, grafito, calizas, entre otros.

Los *materiales de construcción* son aquellos que se utilizan con un fin constructivo y se encuentran incluidos dentro de los minerales industriales. Muchas sustancias minerales naturales, como la arcilla, las gravas y las rocas se utilizan como materias primas para fabricar productos de construcción en edificación y obra civil.

Minerales metálicos hace referencia a sustancias con uno o más metales en su composición química. Se encuentran en diversos tipos de depósitos minerales y son buenos conductores del calor y la electricidad. El lustre brillante permite que se puedan utilizar para fabricar piezas de joyería. Además, se utilizan para diversos fines industriales, como la fabricación de semiconductores, chips electrónicos, entre otros. Algunos ejemplos son el hierro, el aluminio, oro, cobre.

Ahora que conoces más acerca de la importancia de la tasa de consumo de los recursos minerales en un país, contesta las siguientes preguntas:

1. Proporciona los nombres de dos países que consuman aproximadamente la misma cantidad de recursos pero que tengan un PIB per cápita muy diferente.

2. Proporciona los nombres de dos países que tengan aproximadamente el mismo PIB per cápita pero que tengan tasas de consumo total muy diferentes.

3. A pesar de los pares mencionados anteriormente, utiliza la línea de tendencia de la figura 1 para describir la relación general entre la riqueza de un país (definida por su PIB per cápita) y la cantidad de recursos minerales utilizados per cápita (definida por su tasa de consumo total).

4. Usando esta tendencia, predice qué sucederá a medida que crezca la economía de América del Norte.

5. Compara la diferencia de desarrollo entre México y los demás países de América del Norte, así como con los países de América Latina. ¿Cómo se compara el crecimiento del PIB per cápita?

Parte II. Consumo y extracción

La figura 2 muestra las tendencias de consumo y extracción de varios tipos de productos en dos regiones diferentes del mundo, América del Norte y América del Sur desde alrededor de 1970.

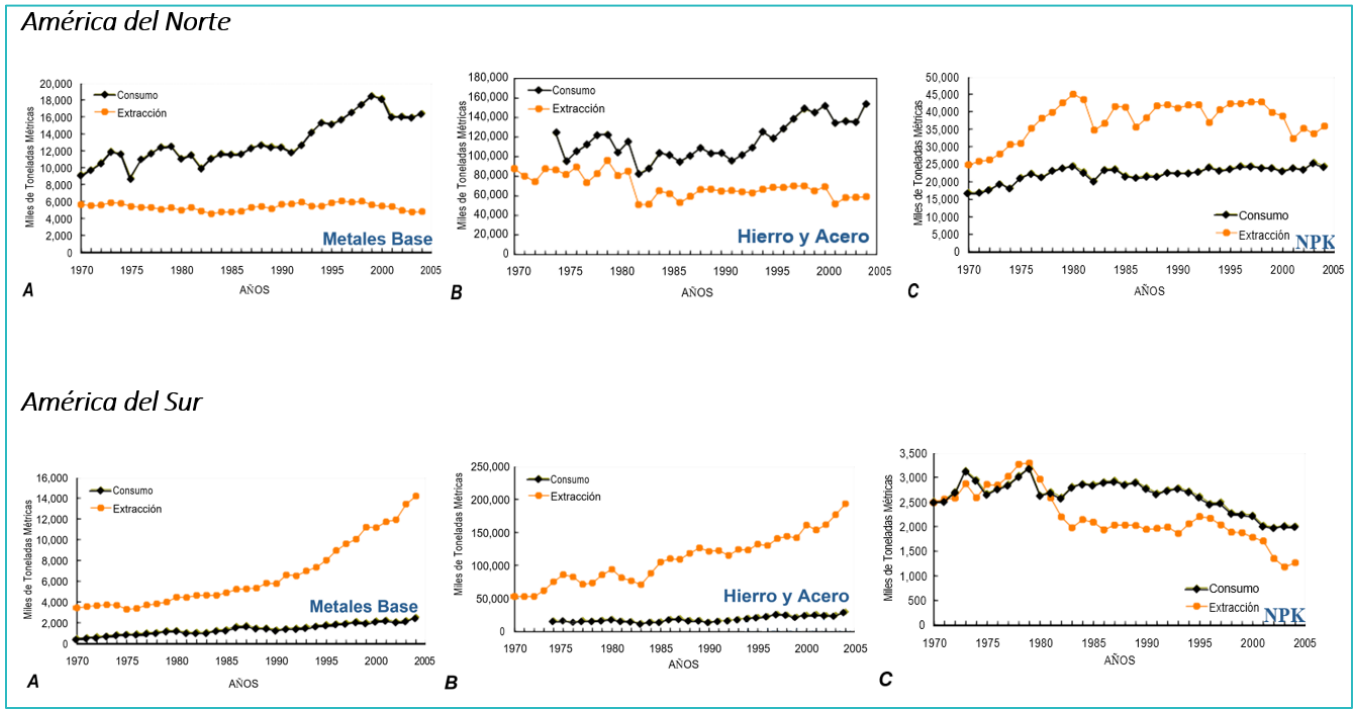


Figura 2. Consumo y extracción de varios productos básicos específicos en miles de toneladas métricas para América del Norte (arriba) y América del Sur (abajo). (A) Metales base (aluminio, cobre, plomo y zinc); (B) Hierro y acero; (C) NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), componentes que se utilizan a menudo en la producción de fertilizantes. América del Norte incluye Canadá, Estados Unidos y México. Rogich y Matos (2008).

a) Describe las tendencias en el consumo en la actualidad para las dos regiones.

b) Cuál podría ser una posible explicación de las tendencias en el consumo en América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México)

c) El Nitrógeno, Fosforo y Potasio son utilizados en la industria como fertilizantes, mejoran las características del suelo para que los cultivos tengan un mejor desarrollo. América del Sur actualmente utiliza menos NPK que América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México). ¿Por qué crees que sucede esto?

Tus respuestas:

Parte I

Parte II

2.4.1. Juego de Exploración de Pórfidos de Cobre (Cu)*

Objetivo: Elegir la localidad más adecuada para efectuar exploración por pórfidos cupríferos con base en el análisis e interpretación de información geológica, geográfica, mineralógica y geofísica, tomando en cuenta aspectos legales y sociales.

Parte I. Pórfidos Cupríferos

Los depósitos de tipo pórfido de cobre constituyen la principal fuente de extracción mundial de cobre y molibdeno y normalmente son considerados como objetivos de exploración para las operaciones mineras de alto tonelaje y baja ley. Las herramientas geológicas y geofísicas de exploración brindan información clave para la selección de prospectos y la evaluación de estos recursos minerales. Las características y evidencias clave en la prospección de yacimientos minerales pueden ser representadas en un mapa que ayuda a la visualización de la información y, por lo tanto, a su interpretación.

Utiliza el Material de Apoyo 5.4 Juego de Exploración de Pórfidos de Cobre (Cu), en la figura 1 encontrarás información antecedente importante para el desarrollo del juego, asegúrate de consultarla para poder jugar. Las figuras 2 a 6 son mapas del área de estudio que resaltan diferente información relevante para la exploración de yacimientos tipo pórfido.

Parte II. Instrucciones

El área de estudio (figuras 2 a 6) se encuentra en una zona en donde anteriormente se han encontrado muchos depósitos tipo pórfido cuprífero, lo que ha desatado el interés en algunos inversionistas y empresas mineras.

Un grupo de inversionistas ha contratado a tu empresa para adquirir los derechos de exploración de una de las áreas disponibles en el mercado, con la finalidad de encontrar un yacimiento económicamente viable y poder venderlo a una importante empresa minera.

El gobierno ha puesto a tu disposición 5 áreas (A-E; ver figuras 2 a 6), las cuales cuentan con mapeo de las zonas de alteración hidrotermal (figura 2), rasgos geográficos (figura 3), geología (figura 4), prospección magnética (figura 5), y la mineralogía de sedimentos fluviales (figura 6).

Tu equipo (Departamento de Geología de Exploración) debe de estar conformado por 3 personas y tendrán que analizar la información de la figura 1 y de los mapas de las figuras 2-6.

Después de su análisis, determinen cuál o cuáles áreas (A, B, C, D o E) son las más propicias para explorar en busca de un yacimiento tipo pórfido de Cu y porqué.

Recuerden que además de los rasgos geológicos, geofísicos o geográficos, existen también otros factores que influyen en la viabilidad de la exploración minera, tales como aspectos sociales y políticos.

Al final del proceso de toma de decisiones, competirán con otros equipos de exploración por el área elegida.

Cada equipo participará en una subasta secreta, para ello cuentan con un presupuesto de derechos de exploración de $200 millones de dólares. Desarrollen una estrategia monetaria con la que puedan ofrecer una

*Actividad basada en: Loader, M. (2019).

cantidad para ganar los derechos de exploración del área que hayan elegido. Si lo desean, puede dividir este presupuesto en varias áreas, sin embargo, esto puede diluir su oferta cuando se trata de una subasta.

El Departamento de Geología de Exploración de cada empresa, presentará un informe técnico a los inversionistas sobre su decisión en la elección de el/las área(s) elegidas para la exploración de un depósito. El informe tiene que incluir los aspectos geológicos, legales, ambientales, logísticos y de ingeniería asociados con la minería, que influyeron en su decisión.

Las ofertas se presentarán a un representante del gobierno (*Profesor/a*), quien será quien anuncie los resultados. Ganará la subasta el equipo que logre ofertar la mayor cantidad por la zona deseada y que además pueda convencer y explicar que la zona adquirida cuenta con las características necesarias para ser vendida a la empresa minera.

Parte III. Equipo ganador

Antes de comenzar la exploración, el gobierno tiene que hacer las negociaciones pertinentes con respecto a la frontera internacional en disputa, ya que esto podría ser un problema para la exploración de yacimientos minerales. Recuerda que los acuerdos políticos no siempre son fáciles y pueden repercutir en el éxito de tu inversión.

El gobierno informará a cada equipo el resultado de las negociaciones internacionales y con base en esto determinará el o los equipos ganadores de la subasta.

En caso de haber más de un equipo ganador para un área, el equipo que logre presentar la propuesta técnica más convincente será el ganador.

Notas importantes:

- Todos los depósitos tipo pórfido de cobre descubiertos anteriormente en esta región son de edad jurásica y están alojados en rocas precámbricas.
- La mineralización se ha encontrado en rocas que han sido cubiertas por sedimentos más recientes, incluidos los depósitos fluviales de la zona (Holoceno).
- Otros depósitos en la región han mostrado zonificación de alteración intensa y bien desarrollada.

2.4.2. Minería y su Impacto*

Objetivos:

- Calcular la cantidad de metales obtenidos y la de residuos generados por la actividad minera.
- Analizar los factores que influyen en la ley de corte de un mineral.
- Comparar las ventajas y desventajas de continuar con la minería en un área y considerar los diferentes enfoques de la remediación ambiental.

Parte I. Minería y Residuos

La mina de oro *Sunlight* se encuentra cerca de *Whitehall*, Montana, E.U.A. Se inauguró en 1983 y hasta ahora sigue operando; en la actualidad es una de las propiedades de la empresa canadiense *Barrick Gold Corp*.

En los depósitos de residuos mineros oriente y poniente (figura 1) se han realizado varios trabajos en la estabilización de los taludes. Esto se ha logrado a través de la revegetalización, un método de estabilización combinado por la vegetación y los elementos estructurales, lo cual, ayuda a controlar la erosión aumentado el factor de seguridad.

El Departamento de Calidad Ambiental de Montana (DEQ por sus siglas en inglés) recibió recientemente una solicitud para modificar el permiso de funcionamiento de la mina. Los trabajos de modificación incluyen un nuevo tajo al noreste de la mina y la ampliación del tajo *Mineral Hill*. Esta ampliación extenderá la vida útil de la mina por dos años, lo que permitirá que la empresa pueda seguir explotando la zona sin cerrar.

Se estima que la explotación del mineral será de 4.2 millones de toneladas, acompañadas de 52.6 millones de toneladas de material estéril.

1a. ¿Cuál es el porcentaje de mineral económico respecto al material estéril para estas nuevas secciones? Muestra tus cálculos aquí:

1b. ¿Cuáles podrían ser algunos incentivos del Departamento de Calidad Ambiental de Montana y la comunidad para aprobar el permiso?

1c. ¿Cuáles podrían ser razones para no aprobar el permiso?

*Actividad basada en: Joseph, L. (2014).

Figura 1a. Imagen satelital de la mina Sunlight.

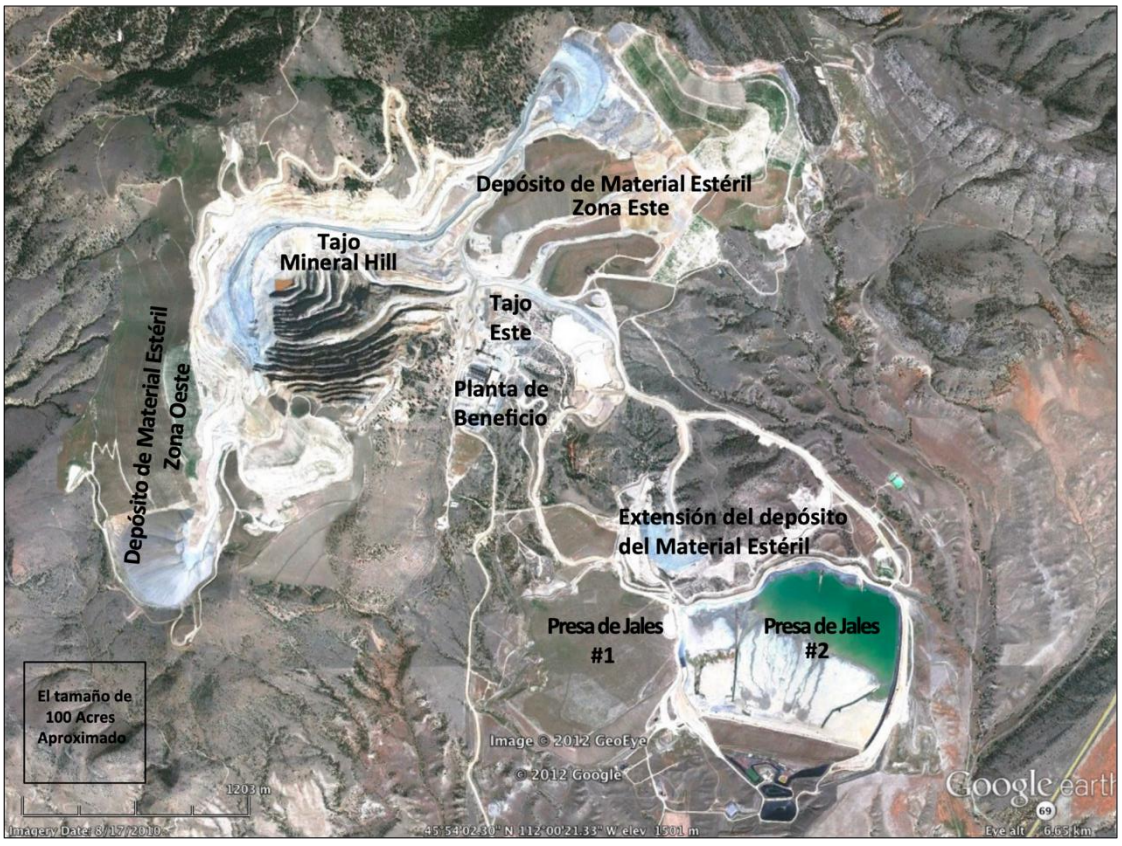


Figura 1b. Imagen satelital de la mina Sunlight. Se indica el nombre de las obras mineras que la conforman.

Parte II. Leyes y Minería

La ley es la concentración del elemento deseado en el yacimiento mineral. A mayor ley, hay una concentración más alta de un metal en la mena. Las leyes de los minerales a menudo se expresan en porcentaje o en partes por millón (ppm). Por ejemplo, si un mineral de níquel tiene una ley del 2 %, significa que hay 2 g de níquel por cada 100 g de roca.

Una casa promedio en los Estados Unidos usa alrededor de 190.5 kg de cobre en la plomería, los electrodomésticos, el cableado de construcción, etc. En el siglo XXI, la ley de un yacimiento de cobre promedio puede ser de ~0.6 %.

1. ¿Cuántos gramos de mineral de cobre con una ley de 0.6 % se necesitan extraer para obtener 190.5 kg de cobre?
   Muestra tus cálculos aquí:

Otra unidad de medida de uso frecuente para leyes mineras son las partes por millón (ppm). Esta unidad se usa para representar metales que a menudo se encuentran en concentraciones más pequeñas. El oro con una ley de 2 ppm tiene 2 g de oro por cada 1,000,000 de g de roca. Una unidad equivalente es gramos/tonelada (ya que hay 10^6 gramos en una tonelada). Por lo tanto, una ley de 2 ppm de oro equivale a 2 g/t.

La moneda de 50 pesos de oro puro se acuñó por primera vez en 1921 para conmemorar el primer centenario de la Independencia de México. Su fabricación se detuvo en 1931, pero en 1943 se volvió a acuñar debido a la creciente demanda de monedas de oro en esa época. Cada moneda contiene 37.5 g de oro.

2. ¿Cuántas toneladas de oro con una ley de 3 ppm deben extraerse para obtener suficiente oro para elaborar una moneda? Recuerda que 1 tonelada = $1x10^6$ g.
   Muestra tus cálculos aquí:

3. ¿Cuánto mineral de desecho se genera al elaborar una moneda?
   Muestra tus cálculos aquí:

En la figura 2 se muestra la producción de ciertos metales (Ag, Au, Cu, Ni, Pb y Zn) en Australia (A) y globalmente (B) durante los años 1850 a 2007. También se muestra la ley promedio del mineral extraído en Australia para estos mismos metales durante el mismo período (C).

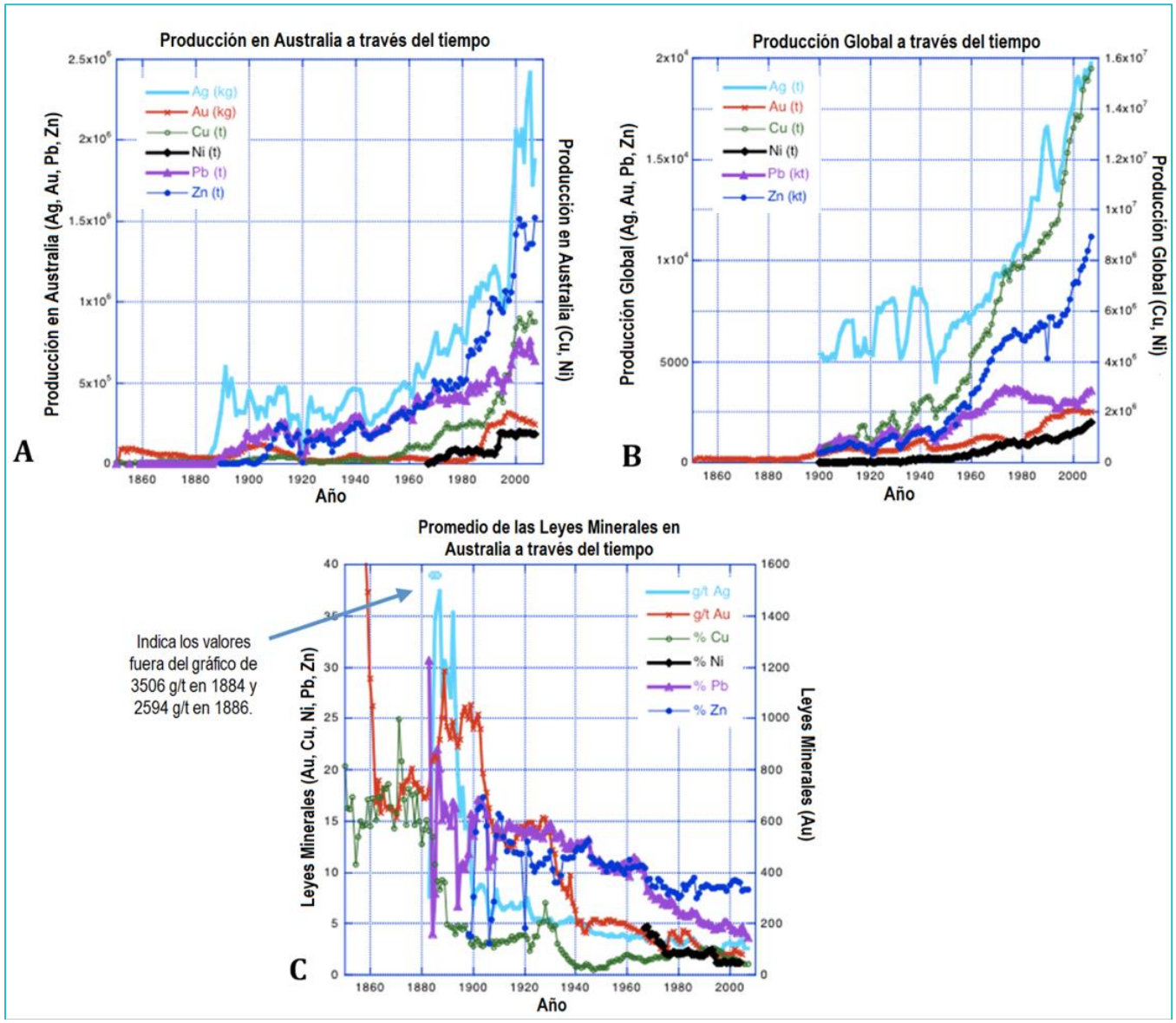


Figura 2. Producción de ciertos metales (Ag, Au, Cu, Ni, Pb y Zn) en Australia (A), Producción de ciertos metales (Ag, Au, Cu, Ni, Pb y Zn) en el mundo (B), Ley promedio del mineral extraída en Australia para estos metales (Ag, Au, Cu, Ni, Pb y Zn) durante el período de 1860-2000 (C).

4. Dibuja una flecha en cada una de las tres gráficas de la figura 2 para indicar la tendencia general de la cantidad de producción (figura 2A y 2B) y la ley del mineral (figura 2C).

5. Si las leyes han disminuido hacia épocas más recientes, pero la producción del metal ha aumentado, ¿cuáles son las implicaciones para los siguientes casos?

    a) La cantidad de mineral que debe extraerse para permitir que la producción del metal permanezca igual o aumente

    b) Explica por qué las leyes de los minerales han tendido a disminuir en tiempos más recientes.

Parte III. Ley de corte, productividad y el patrimonio de las minas

Muchos aspectos influyen en la productividad financiera de cualquier mina. Obviamente, la presencia del mineral deseado es clave, pero tanto los elementos geológicos como los no geológicos influyen en el éxito general de una operación minera. Algunos factores importantes, además de la estrategia de la empresa y su gestión, incluyen:

- Calidad del recurso: facilidad con la que se puede extraer el mineral; el tipo de recurso mineral; el tamaño del depósito de mineral; la ley del mineral.
- Costos de insumos: uso de mano de obra, energía y agua; infraestructura y servicios; otros materiales utilizados en el proceso de minería.
- Factores macroeconómicos: precios de los metales; capacidad para obtener crédito y tasas de interés; tipos de cambio.
- Otros factores: reglas de permisos gubernamentales; recursos financieros; factores sociales y políticos.

El conjunto de estos factores determina si es factible minar un sitio y el tiempo de vida de la mina. También influirán en la extensión de la mina, la cantidad de desecho que se generará, la cantidad de empleos generados, entre otros. Lo cierto es que las empresas mineras tienen solo cierto control sobre algunos de estos factores.

La ley de corte de un mineral es la ley mínima que debe tener un elemento en un yacimiento para ser explotable, si la ley del yacimiento es inferior a la ley de corte, la empresa minera no generará rentabilidad. La ley de corte de un yacimiento mineral es uno de los principales factores que determinan la economía de la mina.

La ley de corte de un mineral no es permanente, en realidad, la ley de corte cambia a lo largo de la vida útil de la mina. Por lo tanto, también cambian las estimaciones de la cantidad de mineral en una reserva.

Por ejemplo, si la ley de corte disminuye, la mina ahora puede extraer mineral de manera rentable con una ley más baja (una menor concentración metal en el yacimiento).

1. Para los factores enlistados a continuación, observa si la ley de corte probablemente aumentaría o disminuiría y explica la razón.

Ejemplo:

a) ¿Aumentó el precio de mercado del metal? Aumenta Disminuye

Explica:

Si la mina puede recibir más dinero por cada onza que produce, entonces los costos adicionales de procesar más mineral de menor concentración valen la pena. Por lo tanto, un precio de mercado más alto podría conducir a una ley de corte más baja.

b) ¿Nuevas tecnologías de beneficio? Aumenta Disminuye

Explica:

c) ¿Convenios laborales más equitativos para los trabajadores? Aumenta Disminuye

Explica:

d) Aumento de los costos de energéticos Aumenta Disminuye

Explica:

e) Regulaciones ambientales más estrictas Aumenta Disminuye

Explica:

Parte IV. Minas Heredadas

La tierra heredada de minas o las minas heredadas se definen como tierra que ha sido minada y en la actualidad tiene otro propósito, o que ha sido abandonada y necesita remediación. A nivel mundial, existen millones de sitios con estas características.

El problema de las minas abandonadas es complejo y urgente. Es complejo debido a los tremendos costos financieros asociados con la remediación y la ambigüedad entre las leyes de remediación ambiental de cada país. Es urgente porque las minas abandonadas representan amenazas reales y potenciales para la salud humana debido a la contaminación ambiental provocada por los residuos mineros.

Además, en contextos donde las comunidades están involucradas, hay serios impactos culturales y económicos debido a los paisajes devastados y la contaminación ambiental que pueden llegar a producir.

La mina de oro *Sunlight* (figuras 1 y 3) está relativamente cerca de docenas de operaciones mineras heredadas. En el otoño de 2012, la minera ganó una licitación de la Oficina de Administración de Territorios de los Estados Unidos de América para ayudar a reutilizar residuos mineros de minas heredadas de plata y oro.
La mina se asoció con otros grupos para extraer y procesar los jales de las minas heredadas, depositaron los jales reprocesados en una presa de jales más moderna y revestida y recuperaron el antiguo sitio. Todo con los permisos correspondientes.

Los socios y contratistas participantes se beneficiaron económicamente, los sitios históricos se limpiaron con una cantidad reducida de recursos federales/estatales y se crearon nuevos puestos de trabajo. En 2011–2012, la minera tenía al menos 10 contratos diferentes para procesar materiales mineros heredados, incluso desde sitios en tierras públicas.

Durante mucho tiempo las mineras no fueron obligadas a destinar un presupuesto para la remediación del impacto ambiental provocado por la extracción de los recursos minerales.

1. ¿Qué factores han cambiado en la actualidad para que se tome acción sobre los jales heredados que permanecieron intactos durante años?

Caso de Estudio: Mina *McLaren*

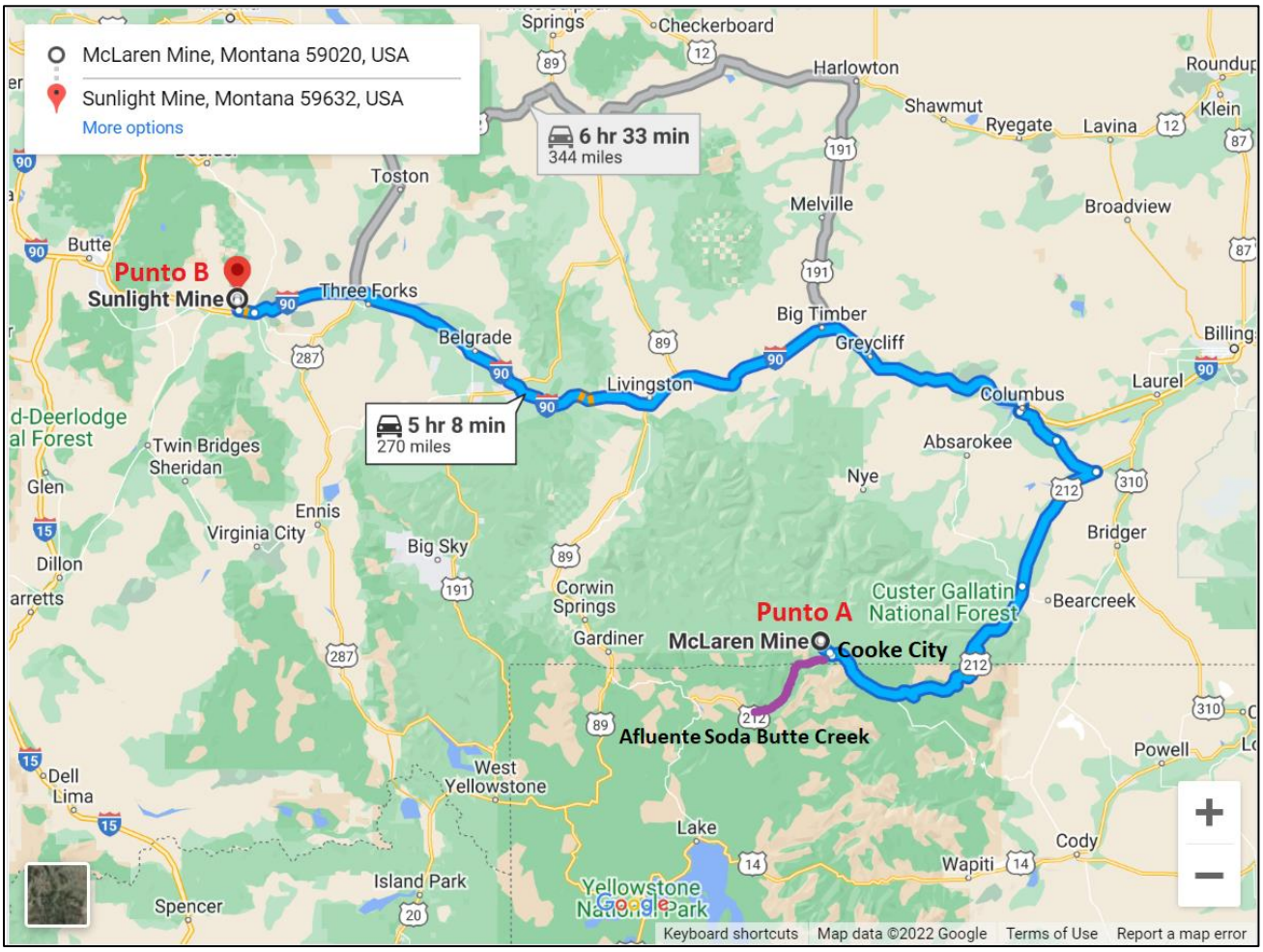


Figura 3. Ruta del plan de transportación de jales heredados entre Mina McLaren (Punto A) y la Mina *Sunlight*, (Punto B).

En 2010, el Departamento de Calidad Ambiental de Montana (DEQ, por sus siglas en inglés) propuso un plan para la limpieza de la presa de jales de la Mina McLaren abandonada en las afueras del Parque Nacional de Yellowstone cerca de *Cooke City* (Punto A en el mapa).

El drenaje ácido de la Mina *McLaren* estaba contaminado el Afluente *Soda Butte Creek*, el cual atraviesa una parte del Parque Nacional de Yellowstone. Además, había preocupaciones sobre una posible falla de la presa de jales.

Tal como se propuso en 2010, el plan consistía en retirar aproximadamente medio millón de toneladas de desechos mineros, el 80 % serian depositados en sitios cercanos, sin embargo, 20 % (~68,700 toneladas) se transportarían para el procesamiento de oro en la mina *Sunlight.* El Departamento de Calidad Ambiental del Estado de Montana creyó que este plan sería económicamente rentable, el costo de transporte en esta ruta de ida y vuelta de 435 km a través de Montana y Wyoming (vea la sección de la carretera resaltada en el mapa de la figura 3) hasta la mina *Sunlight* (Punto B en el mapa) sería aproximadamente igual al dinero obtenido con la venta de los jales de oro, estimado en 25 a 30 millones de dólares.

El plan requeriría transportar aproximadamente 120 cargas cada semana (de lunes a viernes), con un promedio de 24 viajes de ida y vuelta. cada día utilizando camiones de acarreo de doble plataforma con una capacidad de

alrededor de 40 toneladas durante un verano (~14 semanas). Como los vehículos comerciales de transporte no están permitidos en el Parque Nacional de Yellowstone, los camiones deben tomar la ruta más larga, la cual, se indica en el mapa (figura 3).

Los jales contienen algunas sustancias químicas que pueden ser peligrosas para los humanos y otros organismos. Las pruebas de laboratorio de los jales indicaron que los valores de cadmio, cobre, hierro, mercurio y plata estaban significativamente por encima de los *niveles de fondo*[1]; en particular, las concentraciones de hierro y cobre estaban por encima de lo permitido para la exposición residencial. Sin embargo, los jales estaban por debajo de los límites establecidos por el Procedimiento de Lixiviación de Características de Toxicidad y, por lo tanto, no fueron clasificados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como Material Peligroso.

Al final, este plan para transportar los jales a la mina Sunlight fue rechazado debido a las preocupaciones expresadas de Wyoming sobre el uso intenso de la carretera Chief Joseph, que tiene secciones muy sinuosas y es una de las carreteras con inclinaciones de hasta 7 % de pendiente.

Se propuso un nuevo plan, el cual, exige que todos los residuos mineros se coloquen en el depósito más cercano, cuyo diseño se profundizó para acomodar la cantidad total del sitio de *McLaren*.

[1]*Niveles de fondo:* son definidos como la concentración de un elemento para una región o un periodo de tiempo dado, es decir, tal y como se encuentran en el momento de realizar la toma de muestras.

2. Explica algunos posibles aspectos positivos de la propuesta de transportar los jales heredados a la mina Sunlight para extraer el oro. ¿De qué manera habría sido un buen plan?

3. Explica algunos posibles aspectos negativos de la propuesta de transportar los jales heredados a la mina Sunlight para extraer el oro.

4. Si fueras residente de Wyoming y te encontraras cerca de esta área, ¿Qué opinarías al respecto de la propuesta de transportar los residuos mineros a la mina Sunlight?

5. ¿Cómo profesional de las geociencias, qué alternativas propondrías para utilizar los terrenos remediados que alguna vez fueron minas heredadas? ¿Crees que los terrenos puedan ser utilizados en la construcción de estadios, parques de diversiones, etc.?

Tus respuestas:

3.1.2. Implicaciones Éticas en la Extracción de Recursos: El Caso de los Minerales Conflictivos

Parte II. Minerales, economía y ética

Utiliza la Tabla 1 para sintetizar la información aprendida sobre los minerales en conflicto: casiterita, wolframita, tantalita [2], columbita [2].

[2] El coltán es un mineral compuesto por óxidos de tántalo, niobio, hierro y magnesio, conocidos como los minerales columbita (Nb_2O_6) y tantalita (Ta_2O_6). El término de coltán es utilizado regionalmente en el ámbito comercial.

Mineral	Formula Química	Grupo Mineral	Mena de:	Tipo de Yacimiento	Localidades mineras comunes	Usos
Casiterita	SnO_2	Óxido	Estaño	•Yacimientos de segregación magmática asociados a pegmatitas graníticas y algunos granitos. •Yacimientos de placer.	China Brasil Francia Bolivia Indonesia	Soldaduras para electrónica, latas, biocidas y fungicidas.
Wolframita	$(Fe,Mn)WO_4$	Óxido	Tungsteno	•Yacimientos de segregación magmática asociados a pegmatitas graníticas •Yacimientos magmático-hidrotermales.	China Portugal Colombia EUA Corea del Sur	Herramientas, teléfonos celulares, municiones.
Tantalita	$(Fe,Mn)(Ta,Nb)_2O_6$	Óxido	Tantalio	•Yacimientos de segregación magmática asociados a pegmatitas graníticas y granitos.	RDC Canadá Australia China Etiopia	Condensadores en dispositivos electrónicos, motores a reacción (álabes de turbina), herramientas de corte.
Columbita	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	Óxido	Niobo	•Yacimientos de segregación magmática asociados a pegmatitas graníticas y granitos.	RDC Canadá Australia China Etiopia	Condensadores en dispositivos electrónicos, motores a reacción (álabes de turbina), herramientas de corte.
Oro	Au	Elemento Nativo	Oro	•Depósitos de placer •Vetas de cuarzo •Stockworks •Yacimientos tipo Skarn	China Australia Rusia EUA Canadá	Electrónica, joyería, productos dentales.

Construye una tabla en la que detalles algunos problemas ambientales y sociales relacionados con la explotación de este tipo de recursos en la República Democrática del Congo:

Problemas ambientales y sociales asociados a la explotación de coltán en la República Democrática del Congo					
Problemas ambientales			Problemas sociales		
Pérdida de hábitat de especies animales y vegetales	Daños en reservas naturales	Destrcción de bosques primarios	Conflictos armados	Minas ilegales	Violación de derechos humanos
Debido a la movilización de inmensas cantidades de tierra para extraer los recursos. Algunas de estas especies se encuentran al borde de la extinción como consecuencia de los actos de la minería a cielo abierto.	Algunos de los yacimientos se ubican al interior de los Parques Nacionales de Kahuzi-Biega y Okapi, la extracción de los minerales provoca daños irreversibles en estas reservas naturales protegidas por UNESCO.	Como consecuencia de la exploración de nuevos yacimientos de minerales 3TG. El Congo contiene una de las últimas regiones con bosques primarios del planeta, el segundo pulmón mundial después del Amazonas.	Los ingresos derivados del comercio de estos minerales se utilizan para financiar conflictos armados, promoviendo la guerra y la compra de armas.	La mayoría del origen de estos minerales proviene de minas controladas ilegalmente por las tropas y milicias gubernamentales del país.	Las guerrillas son responsables de graves violaciones de los derechos humanos, como violaciones, asesinatos y trabajo infantil.

Parte III. Implicaciones de la extracción de los minerales conflictivos y su reciclaje

Basándote en lo aprendido, contesta las siguientes preguntas.

6. Tomando en cuenta lo que has aprendido en este ejercicio, ¿Crees que sea ético ambientalmente el cambiar tu teléfono celular cada año? ¿Consideras que el reciclaje de los dispositivos electrónicos reduciría la extracción de minerales conflictivos? ¿Por qué?

Cambiar de teléfono celular anualmente no es ético ya que causa daños irreparables en el medio ambiente. El reciclaje de dispositivos reduce la extracción de recursos minerales y es una alternativa mucho más económica debido a que muchos de ellos contienen elementos a los que se les pueda dar un segundo uso en la fabricación de nuevos.

7. En las olimpiadas de Tokio 2020 las medallas fueron hechas con oro, plata y bronce reciclados de dispositivos electrónicos. ¿Conoces algún otro ejemplo del reciclaje de recursos minerales?

Otros ejemplos del reciclaje de recursos minerales:

a) Acero reciclado: Latas de conserva, electrodomésticos, coches.
b) Aluminio reciclado: Menaje de cocina, bicicletas, latas de bebidas.
c) Bronce reciclado: Orfebrería, estatuas, chapas, herrajes.
d) Cobre reciclado: Cables, tuberías, ollas.
e) Hierro reciclado: Herramientas, láminas galvanizadas, material de construcción.

8. ¿Qué otras acciones podrías tomar para mitigar las implicaciones ambientales y sociales generadas por el uso de los minerales como recursos naturales?

Algunas de las acciones que pueden llevar a cabo para mitigar las implicaciones ambientales y sociales generadas por el uso de los recursos minerales pueden ser: un consumo responsable, dar una segunda vida a los dispositivos (regalarlo arreglarlo), llevar los dispositivos electrónicos a un centro de reciclaje en donde podrán extraer los minerales reutilizables de forma segura, elegir aparatos electrónicos con un tiempo de uso duradero. Una alternativa más estricta, es comprar dispositivos de marcas que se rijan únicamente por leyes que prohíben el uso de minerales conflictivos provenientes de forma ilegal en su producción.

9. Tomando en cuenta la necesidad de aparatos electrónicos en la vida diaria moderna ¿Consideras que existe alguna alternativa para sustituir el uso de estos recursos minerales en los dispositivos electrónicos?

Hasta ahora no existe alguna alternativa para sustituir el uso de recursos minerales en los dispositivos electrónicos, es por esto, que es de suma importancia tener un consumo responsable de la tecnología y de los desechos que se generan a causa del cambio o renovación de estos.

10. Discute con tus compañeros y compañeras las fotos de la presentación PPT en el material de apoyo. ¿Cuáles fueron las que más les impactaron y por qué?

Las imágenes muestran las condiciones de los trabajadores de las minas de coltán en la República del Congo, la explotación laboral, el trabajo infantil, niños armados por el financiamiento de guerrillas y grupos armados, las condiciones de vivienda de los trabajadores de las minas, entre otras.

3.2.1 Procesos magmáticos, hidrotermalismo y sulfuros metálicos: La historia de dos depósitos

Parte II. Interpretación del mapa geológico

Responde las siguientes preguntas usando el mapa:

1. Usa la leyenda del mapa para encontrar dónde se han identificado depósitos de sulfuros metálicos y oro. ¿Qué montaña o montañas están más cerca de los depósitos?

La montaña más cercana a los depósitos de sulfuro metálico y oro es la Montaña Fisher.

2. Los fluidos hidrotermales que transportaban los metales disueltos provenían de magmas. En el mapa, identifica el tipo de roca (ígnea o sedimentaria) donde se depositaron la mayoría de los minerales de mena. ¿Por qué crees que se formaron los depósitos de menas dentro de ese tipo de roca?

Los depósitos minerales se encuentran emplazados en diferentes tipos de rocas: rocas intrusivas, volcánicas, chimeneas volcánicas brechadas y rocas sedimentarias, éstas últimas son las que hospedan el volumen más grande de minerales metálicos, esto se debe a que, durante su trayecto, los fluidos hidrotermales fluyen comúnmente por discontinuidades como fracturas o fallas; en las rocas sedimentarias fluyeron entre los estratos de roca y ahí se depositaron los minerales metálicos en menor forma.

3. Localiza las fallas normales que se muestran en el mapa. Las fallas a menudo proporcionan vías para los fluidos que contienen metales disueltos. ¿Crees que esas fallas jugaron algún papel en la forma en que se depositaron los minerales de mena? Explica tu respuesta.

Las fallas, al ser discontinuidades importantes en los macizos rocosos, son un camino para los fluidos hidrotermales, en el mapa se puede observar la relación que existe entre la ubicación de las fallas y en la disposición de los depósitos minerales, especialmente alrededor de la montaña Fisher. Los límites de esta montaña al noroeste y al sur están definidos por fallas, por otra parte, los depósitos pareciera que rodearan esta montaña, por lo que es muy probable que los fluidos hubiesen circulado a través de estas fallas y por esa razón su distribución se asemeja.

4. Con base en el mapa geológico y tu respuesta a la pregunta anterior, ¿Recomendarías a una compañía minera explorar el área alrededor de la montaña *Scotch Bonnet* en busca de reservas potenciales de oro, plata y/o cobre? ¿Por qué o por qué no?

También observa dónde se encuentran los depósitos conocidos con respecto a la montaña *Scotch Bonnet* y si tiene sentido buscar más depósitos de este tipo cerca de la montaña.

A pesar de que no existe una gran cantidad de fallas en los alrededores de la Montaña Scotch Bonet, característica geológica esencial en el camino de los fluidos hidrotermales formadores de los depósitos minerales en la región, las rocas que se encuentran alrededor de la montaña Scotch Bonnet presentan la misma geología que en la zona de la Montaña Fisher, por lo que, se recomendaría ampliamente una campaña de exploración en busca de potenciales reservas de oro, plata y cobre.

Parte III. Comparación con los depósitos del Lago Superior

Contestan las siguientes preguntas con base a la lectura del material de apoyo "5.3 La Historia de Dos Depósitos".

5. Si cerca del Parque Nacional de Yellowstone (figura 1) y/o del Lago Superior (figura 3) se iniciaran proyectos mineros ¿Qué factores (p.e. condiciones medioambientales, desarrollo de infraestructura, costo de explotación, mayor creación de empleo/desarrollo económico, etc.) influirían en su decisión de minar en Yellowstone o en el Lago Superior?

En la decisión de minar un depósito se deben considerar varios factores: por una parte, el beneficio y la derrama económica que supone la extracción de algún recurso natural y por otra parte los daños ambientales, sociales y culturales que esta obra pueda provocar.

En el caso de Yellowstone se trata de un Parque Nacional y Patrimonio de la Humanidad, el alterar el territorio de esa manera supondría una afectación a esta área resguardada desde hace años que le podría valer el perder su título como área natural protegida y patrimonio de la UNESCO, además de, las afectaciones ambientales y peligros que pueden conllevar hacer una obra en una zona volcánicamente activa.

El caso del Lago Superior, además de los problemas sociales que supondría un posible despojo de las tribus aborígenes que habitan en la zona, la contaminación de una de las fuentes de agua dulce más grandes del mundo sería una afectación muy grande al sistema hídrico global cuyas consecuencias pueden ser graves.

6. ¿Qué tipo(s) de riesgo(s) ambiental(es) se deben de tomar en cuenta con respecto a la actividad sísmica antes de comenzar con una actividad minera?

Uno de los mayores riesgos que conllevaría establecer una mina cerca de Yellowstone sería la presencia de sismos, históricamente se ha registrado actividad sísmica continua en esta área, a pesar de que los sismos han sido de baja magnitud, de llevarse a cabo la explotación de la zona, el diseño de las obras deberá considerar un posible evento extraordinario como un sismo de gran magnitud.

7. Si consideras que estas dos zonas deben conservarse sin la intervención de la minería, ¿Qué alterativa propondrías para satisfacer la creciente demanda de los sulfuros metálicos (Ni-Cu)?

Un avance en la investigación para sustituir la presencia de estos metales en las industrias en donde se utilizan y continuar con la búsqueda de yacimientos en donde no se tengan problemas ambientales sociales o culturales grandes.

8. Para la siguiente actividad se formarán equipos de tres integrantes. Cada equipo deberá para cada localidad, determinar la viabilidad de realizar un proyecto minero, con base en el análisis de rasgos geológicos que favorecen la extracción de los metales, el impacto ambiental y social que se podría generar como consecuencia de la minería, así como los beneficios del desarrollo económico que produciría la extracción de estos minerales.

   También, cada equipo deberá formular una alternativa viable a la minería para satisfacer las demandas de los sulfuros metálicos, en caso de que determinen que no es posible realizar la minería en alguna localidad.
   Para esto los equipos deben elaborar una tabla en la que resuman su análisis.

Postura	Minería en el área de Yellowstone	Minería en el área del Lago Superior
Rasgos geológicos que favorecen la extracción de los metales	Diferentes episodios de actividad magmática en la Montaña Fisher y áreas cercanas, dieron origen a la formación de depósitos de yacimientos minerales sulfurosos. Los fluidos hidrotermales expulsados por los magmas contenían metales disueltos y fluyeron a través de las rocas sedimentarias encajonantes, lo que provocó la precipitación de la carga metálica en forma de oro y sulfuros metálicos, formando los depósitos minerales que se encuentran en esta área.	En la región del Lago Superior, las rocas contienen una gran cantidad de recursos minerales que se formaron por procesos magmáticos hidrotermales durante el curso de desarrollo del rift de ~30 Ma. Las características geofísicas y geoquímicas de algunos de los cuerpos ígneos intrusivos indican la presencia de depósitos de sulfuro de Cu-Ni en las orillas del lago.
Impactos ambientales que se podrían generar como consencuencia de la minería	La región de Yellowstone, en la actualidad sigue siendo una zona de vulcanismo activo. A pesar de que la actividad de la caldera es monitoreada constantemente, la explotación minera representaría un riesgo debido a la actividad sísmica.	El Lago Superior actualmente cuenta con el 10% de las reservas de agua dulce del mundo. La actividad minera cerca de la región podría causar contaminación en el lago y los acuíferos, provocando daños irreparables para la población mundial.
Impactos sociales que se podrían generar como consencuencia de la minería	En 1872 Yellowstone fue declarado el primer Parque Nacional en Estados Unidos y en 1987 fue nombrado como Patrimonio de la Humanidad. Con esto se buscaba proteger las características naturales únicas, como los géiseres, la fisiografía, los lagos, las cascadas, los paisajes y la diversa población de vida silvestre para la recreación y el disfrute del público. La actividad minera en la zona pondría en riesgo aspectos como, la destrucción del paisaje natural, la contaminación de acuíferos y la pérdida de habitat de especies naturales.	La región donde se encuentra el Lago Superior, pertenece al Tribal/First Nation/Métis (Pueblos aborígenes de Canadienses). La posible actividad minera debe considerar la afectación de las "zonas sagradas" pertenecientes a los primeros habitantes de las Tierras, su reubicación y los impactos culturales que tendrían debido a la construcción de una mina.
Beneficios del desarrollo económico que produciría la extracción de minerales	Esta región contiene depósitos de reservas estimadas y probadas de oro, plata y cobre. La actividad minera desecadenaría un producción económicamente rentable, impulsando la economía de la región y el abastecimiento de la demanda de los recursos minerales.	El cobre, el níquel, el cobalto y los minerales PGM se utilizan en diversas industrias, como en la fabricación de acero inoxidable, baterías recargables (Ni); superaleaciones para aeronaves (Co); convertidores catalíticos para escapes de automóviles (PGM) y cables eléctricos (Cu). Debido a esto, la demanda de estos metales ha incrementado en los últimos años. La región del Lago Superior cuenta con las carcaterísticas geológicas necesarias para impulsar la actividad minera, la economía y satisfacer la demanda de los metales.
Alternativa viable a la minería para satisfacer las demandas de los sulfuros metálicos	Una alternativa viable para abastecer la demanda de los sulfuros metálicos podría ser el reciclaje de jales heredados de la Mina Homestake. La remediación de desechos mineros, es una alternativa en la recuperación de mineral. Además, se logra la limpieza de las zonas de minas heredadas y se	Varias ubicaciones dentro de la península superior de Michigan, el norte de Wisconsin y el norte de Minnesota están siendo evaluadas actualmente para determinar su potencial minero. La actividad minera en zonas aledañas lejanas podría satisfacer la demanda de los sulfuros metálicos.

3.3.1. Abundancia Cortical de Metales, Ley de Corte y su Influencia en el Factor de Concentración

Parte II. Elementos metálicos: Uso, ley de corte y factor de concentración

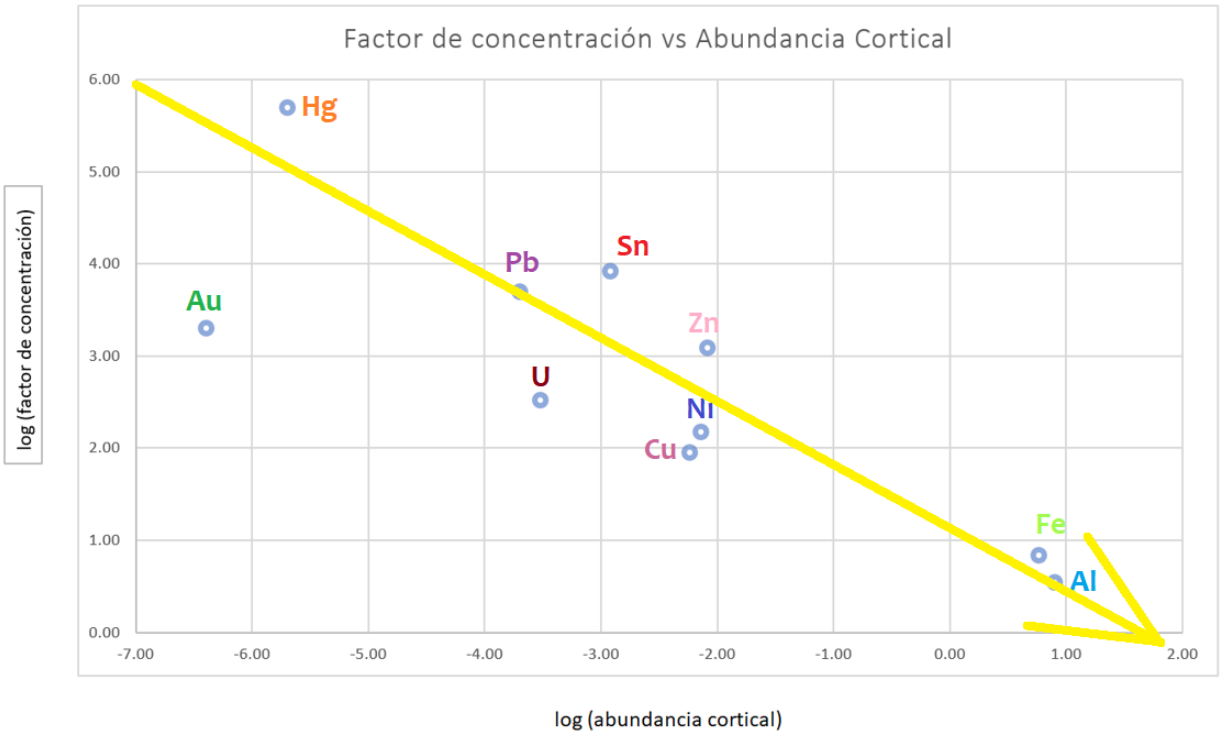
Considera al aluminio (Al), hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni), zinc (Zn), uranio (U), plomo (Pb), oro (Au), mercurio (Hg) y estaño (Sn). A continuación, se muestra una tabla que enlista los usos comunes de estos elementos. Decide qué descripción coincide con cuál, coloca el nombre y el símbolo del elemento en el espacio vacío proporcionado.

Nombre & símbolo del elemento	Usos
Hg	Se utiliza en la fabricación de interruptores. El mayor uso es por parte de las industrias químicas y afines para procesos como la preparación de cloro y cáusticos, fabricación de pigmentos, catalizadores, productos farmacéuticos y productos químicos agrícolas. También se utiliza en preparaciones dentales como empastes y pilas.
Al	Debido a su resistencia a la oxidación, conductividad eléctrica eficiente, densidad relativamente baja y bajo precio, se usa ampliamente en la industria manufacturera, principalmente para aeronaves, vehículos motorizados, equipos eléctricos, maquinaria, latas de bebidas, recipientes, una variedad de artículos para el hogar y productos de consumo. También se utiliza como abrasivo.
Zn	Los tres usos principales son para fundición a presión de aleaciones, para galvanizado de hierro y acero, y en la fabricación de aleaciones a base de cobre y latón. También se utiliza en la fabricación de otros productos químicos, papel de fotocopias en impresiones de revistas, telas, plásticos, como pigmento y en protectores solares.
Pb	Se utiliza principalmente en baterías de almacenamiento de energía eléctrica. Algunos de sus principales usos son en municiones, como metal de soporte, en cubiertas de cables, como metal de fundición y como material de calafateo. También se utiliza como pigmento.
Fe	Es el principal metal empleado en la industria moderna. Se alea con otros metales para formar una variedad de aceros que se utilizan en la fabricación de equipos, herramientas, contenedores, construcción, etc.
U	Es un importante recurso energético. Se utiliza principalmente como combustible para generadores y reactores de energía nuclear. Tiene importantes usos militares.
Ni	Los principales usos son para fabricar aceros inoxidables y super aleaciones, en galvanoplastia, en la fabricación de aleaciones resistentes al calor y a la corrosión. También se utiliza en la fabricación de aleaciones para imanes permanentes y en la industria química.
Sn	Los principales usos son en soldadura y galvanoplastia. También se utiliza en la fabricación de aleaciones para rodamientos, bronce, productos químicos y revestimientos. Alguna vez se usó para hacer contenedores.
Au	Se usa principalmente en la joyería. Almacenamiento en bancos en forma de lingotes y como fondos de inversión para cotizar en la bolsa de valores. También se utiliza en la industria electrónica para fabricar conectores, cables, contactos e interruptores.
Cu	Tiene muchas aplicaciones industriales debido a su alta conductividad eléctrica y térmica, su buena resistencia a la corrosión, buena ductilidad y su alta resistencia. Aproximadamente la mitad se utiliza en aplicaciones eléctricas como generadores, cables y transformadores. Su aleación con el zinc forma latón y con el estaño forma bronce.

Los valores de abundancia promedio en la corteza de algunos elementos y su ley mínima minable, se dan en la siguiente tabla basada en R. Utiliza los datos para calcular el factor de concentración de cada producto. Nota que dos valores se encuentran ya calculados como ejemplo.

Elemento		Abundancia en la corteza terrestre (%)	Ley de corte (%)	Factor de concentración
Aluminio	Al	8	28	3.5
Hierro	Fe	5.8	40	6.9
Cobre	Cu	0.0058	0.52	89.7
Níquel	Ni	0.0072	1.08	150
Zinc	Zn	0.0082	10	1219.5
Uranio	U	0.0003	0.1	333.3
Plomo	Pb	0.0012	10	8333.3
Oro	Au	0.0000004	0.0008	2000.0
Mercurio	Hg	0.000002	1	500,000
Estaño	Sn	0.0002	1	5000

Utiliza los cálculos de la tabla anterior para localizar y etiquetar los puntos que representan a los elementos en el gráfico siguiente



Parte III. Cuestionario

1. Dibuja una línea recta a través de los datos.

2. Explica la tendencia observada en el gráfico. ¿Cómo se comporta el factor de concentración con respecto a la abundancia cortical?, ¿Por qué se comporta así?

Mientras menor es la abundancia de los elementos en la corteza terrestre, mayor es su factor de concentración.

Si un elemento es muy abundante en la corteza (como el Al y Fe) su factor de concentración no necesita ser tan alto para que pueda ser económicamente explotable. Lo contrario sucede para elementos cuya abundancia cortical es muy baja, ya que su factor de concentración debe ser alto para que su explotación sea rentable.

3. Para muchos de estos recursos minerales, solo existen pocas minas en el mundo que operan al mismo tiempo. ¿Por qué crees que así sea?

La distribución de los recursos minerales en la corteza terrestre no es uniforme. Además, las condiciones geográficas afectan mucho la accesibilidad a un recurso, por lo que esto determina si una mina puede construirse o no. Esto provoca una distribución irregular de las minas operantes para cierto recurso a nivel global.

Por otra parte, factores sociales, políticos y ambientales, influyen también en qué tan viable es explotar yacimientos minerales en una determinada localidad, o si una mina puede permanecer en operación o no. Debido a que estos factores son fluctuantes a nivel global, solo pueden existir algunas minas operantes en ciertas partes del mundo.

4. ¿Qué factores crees que afectan el valor de la ley de corte de un elemento en un yacimiento? ¿Es fijo el valor de la ley de corte o puede variar con el tiempo? Explica.

El valor de la ley de corte se ve afectado por factores económicos como el precio de los metales, costos de producción, operación y recuperación de los metales, etc. También influyen características mineralógicas y texturales propias del tipo de mena.

El valor de la ley de corte no es fijo, es un valor que puede variar con el tiempo. Debido a que los factores económicos son fluctuantes, esto hace variar el valor de la ley de corte. Por ejemplo, si el precio de un metal aumenta, su ley de corte disminuirá, ya que su explotación será rentable, aunque su ley no sea tan alta. Otro ejemplo sería si las técnicas de recuperación de metales mejoran, es probable que la ley de corte pueda disminuir, ya que se podrá explotar eficientemente un yacimiento, aunque su ley no sea tan alta.

Por otro lado, si por alguna razón, los costos operativos de una mina aumentan, esto provocará un ascenso en la ley de corte, ya que los gastos de la explotación son mayores y se necesita aumentar rentabilidad para poder costear los cambios en la operación.

5. ¿El factor de concentración es un valor fijo o puede variar con el tiempo? Explica.

El factor de concentración no es un valor fijo y puede variar con el tiempo. Esto es debido a que depende del valor de la ley de corte y de la abundancia de los elementos en la corteza terrestre. La abundancia promedio en la corteza es un valor fijo para cada metal, sin embargo, la ley de corte es un valor que puede variar (ver respuesta anterior). Por lo tanto, el valor del factor de concentración cambiará si la ley de corte cambia.

6. ¿Cuántas veces debe estar enriquecido el oro (en la mena) sobre su abundancia cortical para considerarlo económicamente explotable? ¿Y el plomo?

El Au debe estar enriquecido 2000 veces sobre su abundancia cortical para ser económicamente y explotable, como lo indica el valor de su factor de concentración. Mientras que el Pb debe estar enriquecido 8333.3 veces sobre su abundancia promedio en la corteza.

7. ¿Cuál es la mínima concentración que debe tener el estaño en una mena para ser económicamente explotable ¿y el cobre?

La mínima concentración (ley de corte) que las menas deben de tener para ser económicamente explotables es de 1.0 % para el Sn y de 0.52 % para el Cu.

8. ¿Por qué si el plomo es más abundante en la corteza, requiere de un factor de concentración mayor que el oro para ser explotable?

Porque el Pb es menos valioso que el Au. De tal modo, aunque el Au es muy poco abundante en la corteza, puede ser explotado económicamente aún con factores de concentración no tan altos.

9. ¿Por qué si el mercurio y el estaño tienen una ley de corte muy similar, se requiere de un factor de concentración mucho más alto para que el mercurio sea económicamente explotable?

Porque el Hg es mucho menos abundante (0.000002 %) en la corteza que el Sn (0.0002 %) y tiene que ser concentrado más veces por encima de su abundancia cortical para ser económicamente rentable.

3.3.2. Minerales, Productos y Personas

Parte I. Desarrollo económico y uso de recursos

1. Proporciona los nombres de dos países que consuman aproximadamente la misma cantidad de recursos pero que tengan un PIB per cápita muy diferente.

Posibles respuestas: Mongolia y Estados Unidos de América; Zambia e Islas Fiji; Ruanda y Argentina; México y Siria; México y Francia

2. Proporciona los nombres de dos países que tengan aproximadamente el mismo PIB per cápita pero que tengan tasas de consumo total muy diferentes.

Posibles respuestas: República del Congo y Guyana; Suiza e Irán; Reino Unido y Canadá; Madagascar y Ghana; México y Chile

3. A pesar de los pares mencionados anteriormente, utiliza la línea de tendencia de la figura 1 para describir la relación general entre la riqueza de un país (definida por su PIB per cápita) y la cantidad de recursos minerales utilizados per cápita (definida por su tasa de consumo total).

Posibles respuestas: Mientras un país tenga un mayor Producto Interno Bruto (PIB) su tasa de consumo de recursos será mayor.

4. Usando esta tendencia, predice qué sucederá a medida que crezca la economía de América del Norte.

La tendencia de crecimiento nos diría que la tasa de consumo de recursos naturales de América del Norte incrementaría a medida que crezca su economía.

5. Compara la diferencia de desarrollo entre México y los demás países de América del Norte, así como con los países de América Latina. ¿Cómo se compara el crecimiento del PIB per cápita?

México es el país con menor crecimiento de PIB per cápita dentro de los países de América del Norte. Por el contrario, comparado con la mayoría los países de América Latina se encuentran por encima del crecimiento de la mayoría, exceptuando Chila, Puerto Rico, Argentina y Bahamas.

Parte II. Consumo y extracción

a) Describe las tendencias en el consumo en la actualidad para las dos regiones.

América del Norte

Metales Base: El consumo se ha mantenido constante mientras que su extracción ha incrementado. En los años de 1990 al 2000 y en adelante existe un alza en el consumo.
Hierro y Acero: El período de extracción inicia en los años de 1970, sin embargo, el consumo inicia años después. De 1975 a 1980 el comportamiento se mantiene similar tanto en la extracción como en el consumo, es hasta 1983 cuando el consumo incrementa y la extracción disminuye.
NPK: Su extracción ha sufrido un ciclo variante que va en decremento, en cambio, el consumo ha aumentado ligeramente. A diferencia de los otros metales, su extracción a lo largo del tiempo es mayor a su consumo.

América del Sur

Metales Base/ Hierro y Acero: El consumo se ha mantenido constante mientras que su extracción ha sufrido un incremento en las últimas décadas.
NPK: Durante las primeras décadas la cantidad de consumo y la extracción eran similares, sin embargo, a partir de 1982 el consumo ha sido mayor a la extracción.

b) Cuál podría ser una posible explicación de las tendencias en el consumo en América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México)

La tendencia en el consumo está relacionada con el PIB del país, los países de Norte América como México al tener un mayor PIB sus tasas de consumo suelen ir al alza (de acuerdo con la tendencia general de la figura 1) a diferencia de la india que, al tener un menor PIB, su consumo es menor que su extracción, excepto en NPK la cual muestra una tendencia diferente.

c) El nitrógeno, fósforo y potasio son utilizados en la industria como fertilizantes, mejoran las características del suelo para que los cultivos tengan un mejor desarrollo. América del Sur actualmente utiliza más NPK que América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México), a pesar de que son países con un menor índice de desarrollo. ¿Por qué crees que sucede esto?

El consumo de NPK (nitrógeno, fosforo y potasio) en los países de América del Norte está relacionado con el uso de fertilizantes en la agricultura. La agricultura en América del Norte representa una parte importante en el PIB per cápita y en la economía de estos países.

3.4.1. Juego de Exploración de Pórfidos de Cobre (Cu)

Características de los sitios de exploración

- Sitio A: cerca de la zona de alteración hidrotermal y muestra una fuerte anomalía magnética: depósito de pórfido de cobre (pero más pequeño que el Sitio B).
- Sitio B: alteración hidrotermal potásica clara y fuerte anomalía magnética: el pórfido de cobre más viable, pero existe una frontera en disputa.
- Sitio C: sin anomalías magnéticas, contiene una alta concentración de pirita en los sedimentos de la corriente, sin embargo, es probable que estos hayan sido lavados desde el Sitio B.
- Sitio D: la anomalía magnética indica que podría haber un pórfido aquí; sin embargo, el sitio tiene menos de 2 km de grava y no sería económico extraerlo aquí, ya que esta anomalía podría ser causada por un plutón de granito.
- Sitio E: Intrusivo granítico no hay cobre aquí.

Viabilidad para la exploración

- El depósito de pórfido de cobre más viable y fácilmente explotable es el Sitio B, sin embargo, se debe considerar la frontera en disputa.
- Después de que los estudiantes hayan presentado sus ofertas, se debe lanzar una moneda para decidir si la frontera en disputa que atraviesa el Sitio B permitirá (águila) o no (sol) que se lleve a cabo la minería:
- El segundo pórfido de cobre más viable y la opción menos riesgosa es el Sitio A. Si el Sitio B resulta ser imposible de explotar, el grupo que hizo la oferta más alta en el Sitio A gana el juego.

3.4.2 Minería y su Impacto

Parte I. Minería y Residuos

1a. ¿Cuál es el porcentaje de mineral económico respecto al material estéril para estas nuevas secciones? Muestra tus cálculos aquí:

52,600,000 t de material estéril --------→ 100%

4,200,000 t de mineral --------→ x

$$\frac{(4{,}200{,}000\ t\ de\ mineral\ )(100\%)}{56{,}600{,}000\ t\ de\ material\ estéril} = 7.98\ \%$$

1b. ¿Cuáles podrían ser algunos incentivos del Departamento de Calidad Ambiental de Montana y la comunidad para aprobar el permiso?

Algunos incentivos del Departamento de Calidad Ambiental de Montana para aprobar la modificación de la mina podría ser la generación de nuevos empleos y la activación de la economía en la región, además de satisfacer la demanda de los recursos minerales a nivel nacional.

1c. ¿Cuáles podrían ser razones para no aprobar el permiso?

Aprobar el permiso para modificar la mina podría implicar un riesgo ambiental, la falta de planeación de la remediación de los residuos mineros podría provocar aspectos como la contaminación de aguas superficiales y acuíferos. La ampliación del tajo generaría una huella ambiental en la destrucción de la flora y fauna del área. Además, la actividad minera genera conflictos sociales debido a las diferentes posturas que se tienen al estar en favor o en contra de la minería en la región.

Parte II. Leyes y Minería

1. ¿Cuántos gramos de mineral de cobre con una ley de 0.6 % se necesitan extraer para obtener 190.5 kg de cobre?
   Muestra tus cálculos aquí:

Si hay 0.6%, es decir, 0.6 g de cobre por cada 100 g de mineral, y se requieren 190.5 kg de cobre (190,500 g)

100 g de mineral de Cu -----→ 0.6 g de Cu
X --------→ 190,500 g de Cu

$$190{,}500\ g\ de\ Cu\ \times 100\ g\ de\ mineral\ de\ Cu = 19{,}050{,}000\ g$$

$$\frac{19{,}050{,}000\ (g\ de\ Cu)\ 100(g\ de\ mieral\ de\ Cu)}{0.6\ (g\ de\ Cu)} = 31{,}750{,}000\ g\ de\ mineral\ de\ Cu$$

$$31{,}750{,}000\ g = 31.75\ t$$

En 1921 se crearon los Centenarios de oro para conmemorar el primer centenario de la Independencia de México. Cada moneda contiene 37.5 g de oro.

2. ¿Cuántas toneladas de oro con una ley de 3 ppm deben extraerse para obtener suficiente oro para elaborar una moneda?
   Recuerda que 1 tonelada = $1x10^6$ g.
   Muestra tus cálculos aquí:

3 ppm son 3 g/t de oro por cada t de mineral de oro

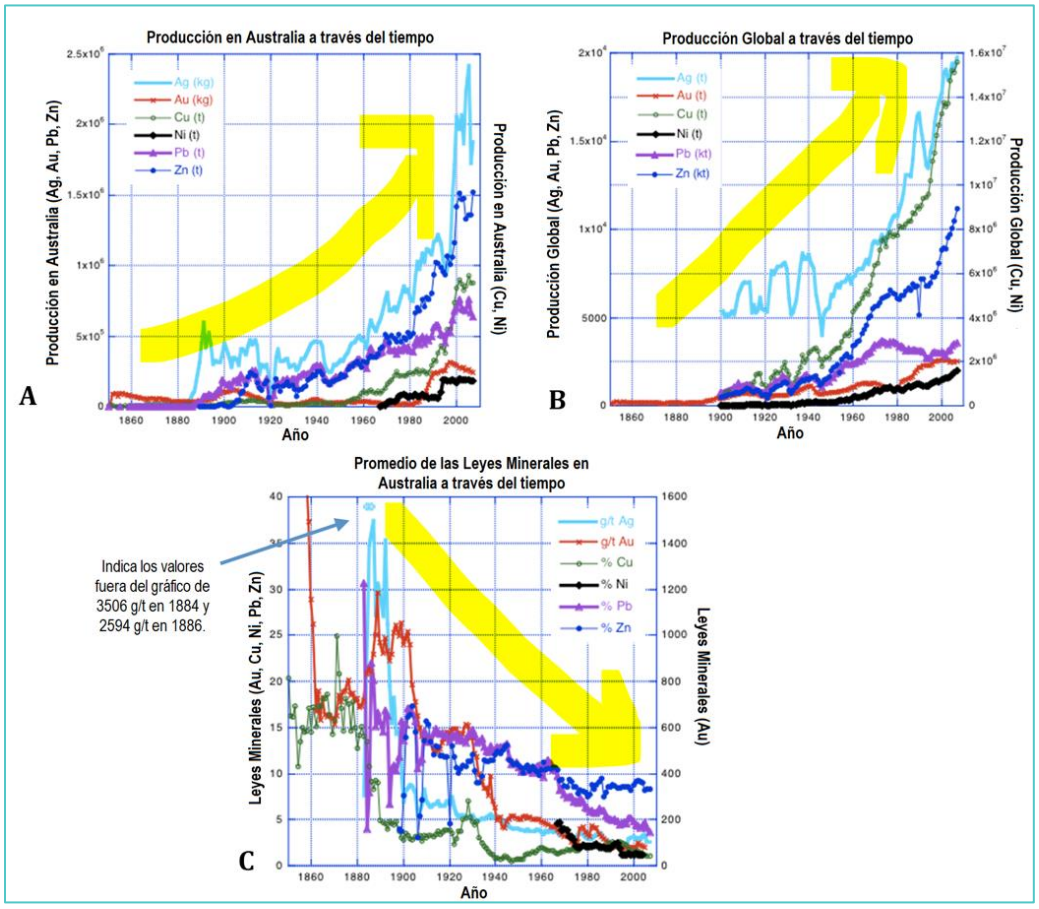
1 ton de mineral de Au -----→ 3 g de Au
X --------→ 37.5 g de Au

$$\frac{37.5\ (g\ de\ Au)\ 1\ (ton\ de\ mineral\ de\ Au)}{3\ (g\ de\ Au)} = 12.5\ t\ de\ mineral\ de\ Au$$

3. ¿Cuánto mineral de desecho se genera al elaborar una moneda?
   Muestra tus cálculos aquí:

12.5 t de mineral de Au∗106g=12,500,000 g de mineral de Au
12,500,000 g de mineral de Au−37.5 g de Au=12,499,962.5 g de desecho

4. Dibuja una flecha en cada una de las tres gráficas de la figura 2 para indicar la tendencia general de la cantidad de producción (figura 2A y 2B) y la ley del mineral (figura 2C).



5. Si las leyes han disminuido hacia épocas más recientes, pero la producción del metal ha aumentado, ¿cuáles son las implicaciones para los siguientes casos?

    a) La cantidad de mineral que debe extraerse para permitir que la producción del metal permanezca igual o aumente.

Con leyes cada vez más bajas y una demanda de metales en aumento, la cantidad de mineral que debe extraerse para permitir que la producción del metal permanezca igual debe de ser mayor. La exploración de nuevos yacimientos y la optimización de los métodos de extracción permiten extraer las cantidades de mineral necesarias para cubrir dicha demanda.

    b) Explica por qué las leyes de los minerales han tendido a disminuir en tiempos más recientes.

El agotamiento natural de los yacimientos minerales con leyes atractivas (leyes altas) ha disminuido en las últimas décadas, cada vez es necesario extraer más mineral para poder abastecer la demanda global. Por otra parte, la exploración de nuevos yacimientos minerales con leyes altas depende de factores sociales, políticos, ambientales y geográficos, los cuales muchas veces, no son los ideales para construcción de nuevas minas.

Parte III. Ley de corte, productividad y el patrimonio de las minas

1. Para los factores enlistados a continuación, observa si la ley de corte probablemente aumentaría o disminuiría y explica la razón.

Ejemplo:

a) ¿Aumentó el precio de mercado del metal? Aumenta *Disminuye*

Explique:

Ejemplo: Si la mina puede recibir más dinero por cada onza que produce, entonces los costos adicionales de procesar más mineral de menor concentración valen la pena. Por lo tanto, un precio de mercado más alto podría conducir a una ley de corte más baja.

b) ¿Nuevas tecnologías de beneficio? Aumenta *Disminuye*

Explique:

Si la mina puede tener una mayor producción debido a las nuevas tecnologías de beneficio, entonces los costos de producción se reducirían obteniendo una mayor ganancia. Por lo tanto, esta disminución en el costo de producción conduciría a una baja en la ley de corte.

c) ¿Convenios laborales más equitativos para los trabajadores? *Aumenta* Disminuye

Explique:

Los convenios laborales más equitativos implicarían que los trabajadores puedan aspirar a una mayor ganancia por su labor, lo cual, haría que aumente el costo de la operación. Por lo tanto, esto contribuiría a que la ley de corte aumente.

d) Aumento de los costos de energéticos Aumenta Disminuye

Explique:

El aumento en los costos de energía generaría un mayor costo de producción para la mina y de procesamiento para la planta. Por lo tanto, este aumento provocaría un ascenso de la ley de corte.

e) Regulaciones ambientales más estrictas Aumenta Disminuye

Explique:

Las regulaciones ambientales implicarían una mayor inversión en el área de remediación de la mina, la recuperación de la cantidad invertida para el cumplimiento de las leyes ambientales tendría que obtenerse de una mayor producción. Por lo tanto, este costo provocaría un ascenso en la ley de corte.

Parte IV. Minas Heredadas

1. ¿Qué factores han cambiado en la actualidad para que se tome acción sobre los jales heredados que permanecieron intactos durante años?

Un factor clave en la actualidad es la urgencia ambiental de remediar los residuos en las tierras heredadas que ha dejado la minería en el olvido, las cuales, muchas veces han provocado afectaciones ambientales en la flora y fauna y en la contaminación de acuíferos. En la actualidad existen mas leyes que regulan el cierre de operaciones de una mina y obligan a tomar acciones ambientalistas para reducir el impacto de la producción generada durante la vida de la mina. De igual forma, la recuperación de estos jales implica una ganancia económica para las empresas que se han dedicado a la remediación de estos residuos minerales.

Caso de Estudio: Mina *McLaren*

Tus respuestas:

2. Explica algunos posibles aspectos positivos de la propuesta de transportar los jales heredados a la mina Sunlight para extraer el oro. ¿De qué manera habría sido un buen plan?

Algunos de los aspectos positivos a tomar en cuenta en la propuesta de transportar los jales heredado a la mina Sunlight, son la recuperación económica de la extracción del oro, la generación de empleos por los procesos de transportación, logística del manejo de los residuos y la extracción del mineral. Además, del beneficio ambiental que produciría la remediación de la zona y de detener la contaminación del afluente Soda Buttle Creek debido al drenaje ácido de la mina McLaren.

3. Explica algunos posibles aspectos negativos de la propuesta de transportar los jales heredados a la mina Sunlight para extraer el oro.

Algunos de los aspectos negativos a tomar en cuenta son la pérdida económica que representa la transportación de los jales heredados, el riesgo para la población que implicarían los camiones en la carretera vial y los posibles riesgos ecológicos que se podrían generar debido a accidentes causados por el acarreo y viaje de los desechos.

4. Si fueras residente de Wyoming y te encontraras cerca de esta área, ¿Qué opinarías al respecto de la propuesta de transportar los residuos mineros a la mina Sunlight?

Si fuera residente de Wyoming me consternarían aspectos como la continua generación de tráfico debido al transporte recurrente de los jales. Otro aspecto sería, que no se contara con los protocoles de transportación

adecuados para el tipo de carretera (pendientes sinuosas) y debido a esto se pudieran generar descuidos durante la trasportación que ocasionaran accidentes de contaminación o provocar un riesgo para la población.

5. ¿Cómo profesional de las geociencias, qué alternativas propondrías para utilizar los terrenos remediados que alguna vez fueron minas heredadas? ¿Crees que los terrenos puedan ser utilizados en la construcción de estadios, parques de diversiones, etc.?

En la actualidad muchos terrenos remediados son utilizados en la construcción de estadios y parques de diversiones. Dar una segunda oportunidad a los terrenos heredados beneficia a la población y disminuye el impacto ambiental generado por una mina. Si bien es cierto que las minas muchas veces no se encuentran en lugares accesibles geográficamente para construir, es importante, que la remediación y el procesamiento de los jales heredados exista en el cierre de la actividad minera, esto evitara la contaminación por drenaje ácido de acuíferos o de las aguas superficiales aledañas.

4. REFERENCIAS

- Bhattacharyya, P. (2014). Human's Dependence on Earth Mineral Resources: Unit 5- Mineral Resources Created Metamorphic Processes. InTeGrate. Recuperado: https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/mineral_resources/unit5.html

- Cook, G. W. (2015). Benefits and consequences of using minerals as natural resources. InTeGrate. Recuperado: https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/mineralogy/activities/108910.html

- Gettleman, J. (2013). The Price of Precious. National Geographic. Recuperado de: https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/conflict-minerals

- Humphries, M. (1996). New World Gold Mine and Yellowstone National Park. CRS Report for Congress. Recuperado de: http://www.nps.gov/whsa/parknews/upload/CRS%20Report%20on%20Yellowstone%20Gold%20Mine%20Issue-2.pdf.

- Jebrak, M; Marcoux, E. (2008). Géologie des ressources minerales. Ressources naturalles et Faune Québec. Quebec, Canadá.

- Joseph, L. (2014). Human's Dependence on Earth Mineral Resources: Unit 1-People, Products and Minerals. InTeGrate. Recuperado de: https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/mineral_resources/activity1-3.html

- Joseph, L. (2014). Human's Dependence on Earth Mineral Resources: Unit 3-Mining and Mining Impacts. InTeGrate. Recuperado: https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/mineral_resources/activity3-2.html

- Loader, M. (2019). Mineral Resources: Copper Exploration Activity. The Geological Society. Recuperado de: https://www.geolsoc.org.uk/Education-and-Careers/Resources/Activity-Sheets-And-Presentations.

- Mineral Resources, (2019). Mineral Resources Card Game. The Geological Society. Recuperado: https://www.geolsoc.org.uk/Education-and-Careers/Resources/Activity-Sheets-And-Presentations

- Perkins, D. (2005). Course Syllabus. InTe Grate. Recuperado de: https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/coursedesign/goalsdb/MinCourseSyllabus.html

- Perkins, D. (2005). Teaching Mineralogy: Mineral Commodities. InTeGrate. Recuperado de: https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/mineralogy/activities/MinEx22MineralCommodities.html.

- Perkins, D. (2007). "What should our students learn?": Elements, 3, 101-106.

- Ridley, J. (2013). "Ore Deposit Geology". Cambridge University Press, New York, EUA, pp. 9.

- Robb, L. (2005). "Introduction to Ore-Forming Processes". Blackwell Science Lid. Massachussets, EUA.

- Rogich, D. y Matos, G. (2008). “The Global Flows of Metals and Minerals.” U.S. Geological Survey Open. Reporte 2008-1355, pp 11. Recuperado de http://pubs.usgs.gov/of/2008/1355/.

- Steinberger, J., Krausmann, F. y Eisenmenger, N. (2010). "Los patrones globales de uso de materiales: un análisis socioeconómico y geofísico". Economía Ecológica, 69, no. 5, pp 1148--58.

- Van Gosen, (2007). "The Life Cycle of Gold Deposits Near the Northeast Corner of Yellowstone National Park—Geology, Mining History, and Fate." Capítulo M de USGS Artículo Profesional 1717. Recuperado de http://pubs.usgs.gov/pp/1717/downloads/pdf/p1717M.pdf.

MAGNETITA

Fe_3O_4

CONTIENE: HIERRO

El hierro es 4to. elemento mas abundante en la corteza terrestre y representa más del 90% de la producción de metales en todo el mundo. Se usa con otros metales para formar aleaciones y producir acero.

CUARZO

SiO_2

CONTIENE: SILICIO

El silicio es el segundo elemento más abundante en la Tierra.
Es un buen semiconductor y se usa en procesadores de computadora.

RUTILO

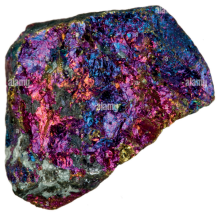
TiO_2

CONTIENE: TITANIO

El titanio tiene una baja densidad. Repele la luz ultravioleta y no presenta corrosión con el agua de mar. El titanio se alea con otros metales y se usa en la fabricación de artículos como teléfonos y computadoras.

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$



CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

BAUXITA

Al_2O_3

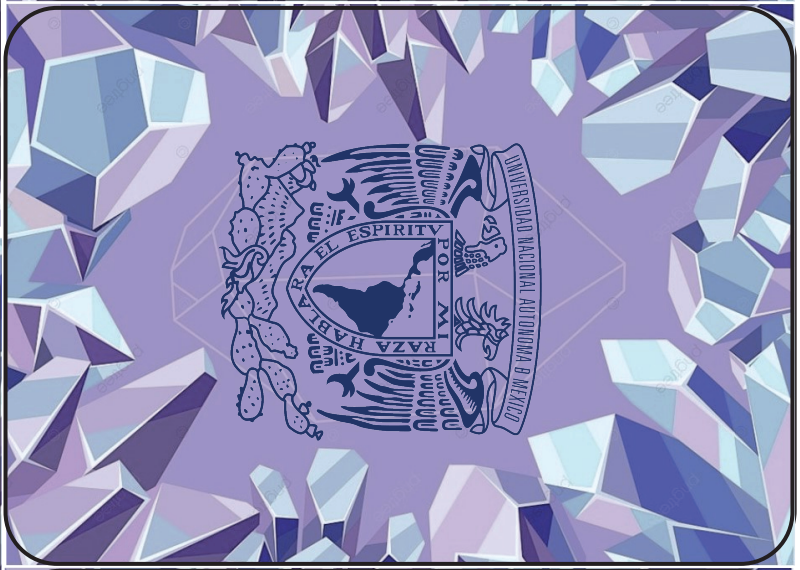
CONTIENE: ALUMINIO

Se extrae únicamente de la bauxita, Es un metal que posee una baja densidad y una alta resistencia a la corrosión, propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

MAGNETITA

Fe_3O_4

CONTIENE: HIERRO

El hierro es 4to. elemento mas abundante en la corteza terrestre y representa más del 90% de la producción de metales en todo el mundo. Se usa con otros metales para formar aleaciones y producir acero.

CUARZO

SiO_2

CONTIENE: SILICIO

El silicio es el segundo elemento más abundante en la Tierra.
Es un buen semiconductor y se usa en procesadores de computadora.

RUTILO

TiO_2

CONTIENE: TITANIO

El titanio tiene una baja densidad. Repele la luz ultravioleta y no presenta corrosión con el agua de mar. El titanio se alea con otros metales y se usa en la fabricación de artículos como teléfonos y computadoras.

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$

CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

BAUXITA

Al_2O_3

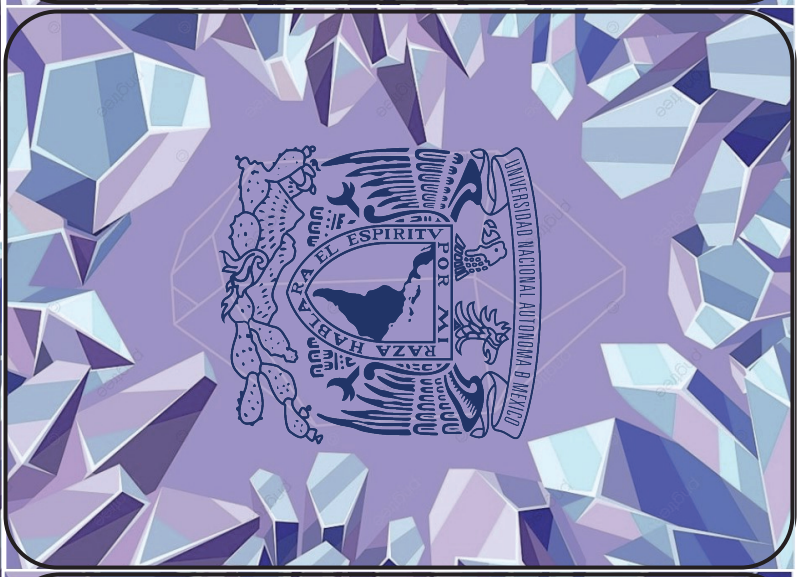
CONTIENE: ALUMINIO

Se extrae únicamente de la bauxita, Es un metal que posee una baja densidad y una alta resistencia a la corrosión, propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

MAGNETITA

Fe_3O_4

CONTIENE: HIERRO

El hierro es 4to. elemento mas abundante en la corteza terrestre y representa más del 90% de la producción de metales en todo el mundo. Se usa con otros metales para formar aleaciones y producir acero.

CUARZO

SiO_2

CONTIENE: SILICIO

El silicio es el segundo elemento más abundante en la Tierra.
Es un buen semiconductor y se usa en procesadores de computadora.

RUTILO

TiO_2

CONTIENE: TITANIO

El titanio tiene una baja densidad. Repele la luz ultravioleta y no presenta corrosión con el agua de mar. El titanio se alea con otros metales y se usa en la fabricación de artículos como teléfonos y computadoras.

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$

CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

BAUXITA

Al_2O_3

CONTIENE: ALUMINIO

Se extrae únicamente de la bauxita, Es un metal que posee una baja densidad y una alta resistencia a la corrosión, propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

MAGNETITA

Fe_3O_4

CONTIENE: HIERRO

El hierro es 4to. elemento mas abundante en la corteza terrestre y representa más del 90% de la producción de metales en todo el mundo. Se usa con otros metales para formar aleaciones y producir acero.

CUARZO

SiO_2

CONTIENE: SILICIO

El silicio es el segundo elemento más abundante en la Tierra.
Es un buen semiconductor y se usa en procesadores de computadora.

RUTILO

TiO_2

CONTIENE: TITANIO

El titanio tiene una baja densidad. Repele la luz ultravioleta y no presenta corrosión con el agua de mar. El titanio se alea con otros metales y se usa en la fabricación de artículos como teléfonos y computadoras.

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$

CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

BAUXITA

Al_2O_3

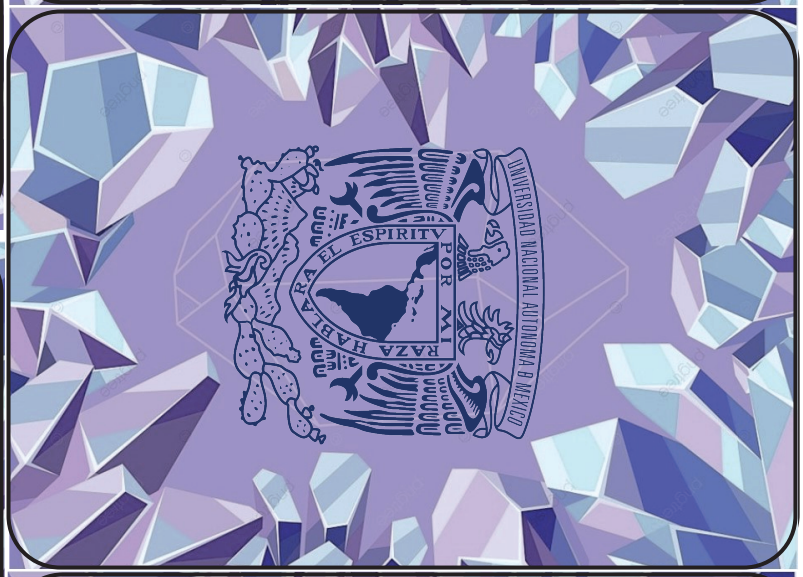
CONTIENE: ALUMINIO

Se extrae únicamente de la bauxita, Es un metal que posee una baja densidad y una alta resistencia a la corrosión, propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

MAGNETITA

Fe_3O_4

CONTIENE: HIERRO

El hierro es 4to. elemento mas abundante en la corteza terrestre y representa más del 90% de la producción de metales en todo el mundo. Se usa con otros metales para formar aleaciones y producir acero.

CUARZO

SiO_2

CONTIENE: SILICIO

El silicio es el segundo elemento más abundante en la Tierra.
Es un buen semiconductor y se usa en procesadores de computadora.

RUTILO

TiO_2

CONTIENE: TITANIO

El titanio tiene una baja densidad. Repele la luz ultravioleta y no presenta corrosión con el agua de mar. El titanio se alea con otros metales y se usa en la fabricación de artículos como teléfonos y computadoras.

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$

CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

BAUXITA

Al_2O_3

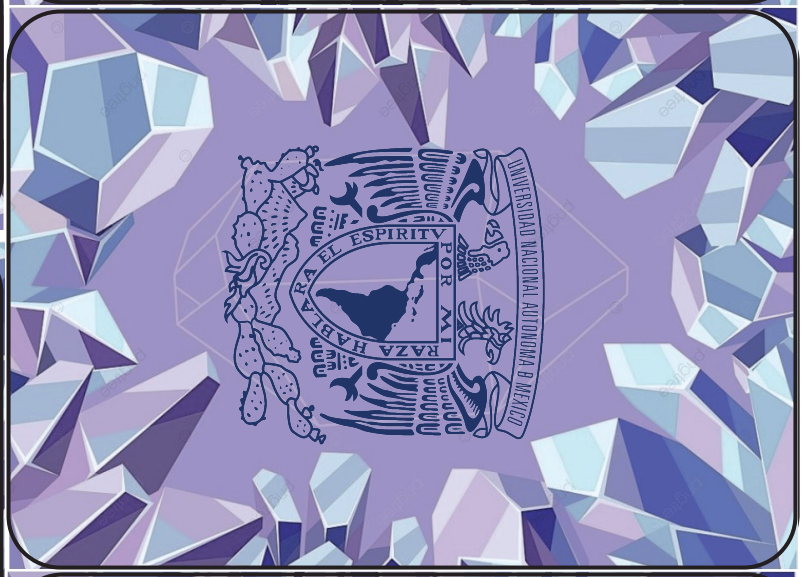
CONTIENE: ALUMINIO

Se extrae únicamente de la bauxita, Es un metal que posee una baja densidad y una alta resistencia a la corrosión, propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

CATTIERITA

CoS_2

CONTIENE: COBALTO

El cobalto es un metal duro y quebradizo. Tiene propiedades magnéticas y la temperatura de fusión más alta de todos los metales magnéticos.

ESPODUMENA

$LiAl(SiO_3)_2$

CONTIENE: LITIO

El litio es lo suficientemente blando como para cortarlo con un cuchillo. Tiene una temperatura de fusión muy baja. Es el elemento sólido menos denso a temperatura ambiente.

BÓRAX

B_2O_3

CONTIENE: BORO

El boro puro es un polvo de color marrón oscuro que cuando se quema tiene un color verde brillante. Es muy importante para las plantas, ya que se utiliza en las paredes celulares de estas.

ESFALERITA

ZnS

CONTIENE: INDIO

El Indio tiene una temperatura de fusión baja, es muy suave y dúctil. Se usa a menudo como superconductor, es un material sin resistividad eléctrica y absorbe el exceso de calor en la electrónica.

GRAFITO

C

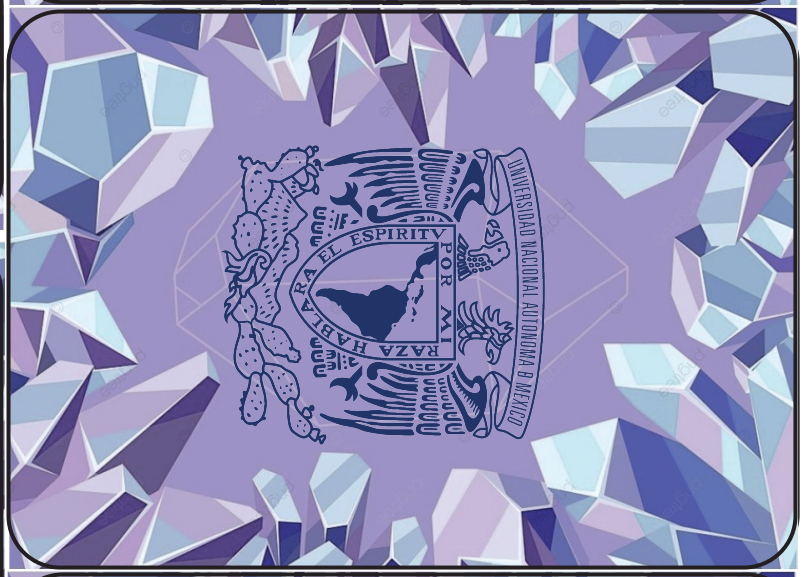
CONTIENE: CARBÓN

El grafito es una de las formas alotrópicas en las que se puede presentar el carbono en la naturaleza.
Debido a su conductividad eléctrica y a su resistencia química se usa para fabricar electrodos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

CATTIERITA

CoS_2

CONTIENE: COBALTO

El cobalto es un metal duro y quebradizo. Tiene propiedades magnéticas y la temperatura de fusión más alta de todos los metales magnéticos.

ESPODUMENA

$LiAl(SiO_3)_2$

CONTIENE: LITIO

El litio es lo suficientemente blando como para cortarlo con un cuchillo. Tiene una temperatura de fusión muy baja. Es el elemento sólido menos denso a temperatura ambiente.

BÓRAX

B_2O_3

CONTIENE: BORO

El boro puro es un polvo de color marrón oscuro que cuando se quema tiene un color verde brillante. Es muy importante para las plantas, ya que se utiliza en las paredes celulares de estas.

ESFALERITA

ZnS

CONTIENE: INDIO

El Indio tiene una temperatura de fusión baja, es muy suave y dúctil. Se usa a menudo como superconductor, es un material sin resistividad eléctrica y absorbe el exceso de calor en la electrónica.

GRAFITO

C

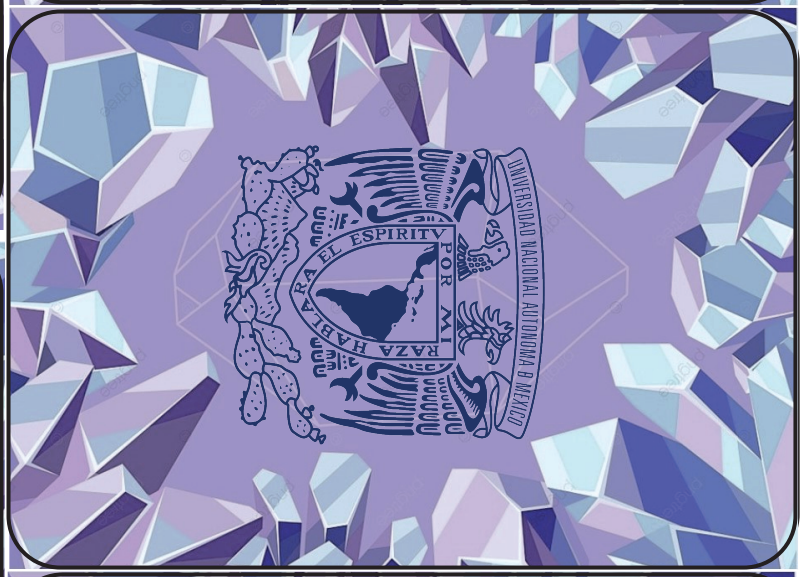
CONTIENE: CARBÓN

El grafito es una de las formas alotrópicas en las que se puede presentar el carbono en la naturaleza.
Debido a su conductividad eléctrica y a su resistencia química se usa para fabricar electrodos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

CATTIERITA

CoS_2

CONTIENE: COBALTO

El cobalto es un metal duro y quebradizo. Tiene propiedades magnéticas y la temperatura de fusión más alta de todos los metales magnéticos.

ESPODUMENA

$LiAl(SiO_3)_2$

CONTIENE: LITIO

El litio es lo suficientemente blando como para cortarlo con un cuchillo. Tiene una temperatura de fusión muy baja. Es el elemento sólido menos denso a temperatura ambiente.

BÓRAX

B_2O_3

CONTIENE: BORO

El boro puro es un polvo de color marrón oscuro que cuando se quema tiene un color verde brillante. Es muy importante para las plantas, ya que se utiliza en las paredes celulares de estas.

ESFALERITA

ZnS

CONTIENE: INDIO

El Indio tiene una temperatura de fusión baja, es muy suave y dúctil. Se usa a menudo como superconductor, es un material sin resistividad eléctrica y absorbe el exceso de calor en la electrónica.

GRAFITO

C

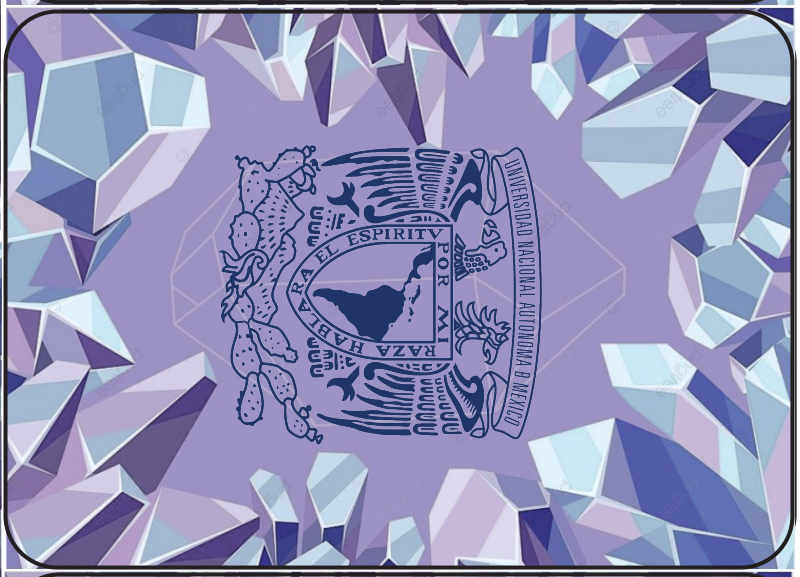
CONTIENE: CARBÓN

El grafito es una de las formas alotrópicas en las que se puede presentar el carbono en la naturaleza.
Debido a su conductividad eléctrica y a su resistencia química se usa para fabricar electrodos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

PIROCLORO

$(Na,Ca)2Nb2O6(OH,F)$

CONTIENE: NIOBIO

En la naturaleza, el niobio se presenta con el elemento tántalo y es difícil de separar. Se usa en aceros inoxidables especiales, en aleaciones de alta temperatura y en aleaciones superconductoras.

BERILO

$(Na,Ca)2Nb2O6(OH,F)$

CONTIENE: BERILIO

El berilio es extremadamente liviano y duro, es un buen conductor de la electricidad y el calor. Debido a estas propiedades se usa en productos comerciales de alta tecnología, entre ellos componentes aeroespaciales, transistores, reactores nucleares, etc.

MONACITA

$NdPO_4$

CONTENIDO: NEODIMIO

El neodimio pertenece al grupo lantánidos. A temperatura ambiente, se encuentra en estado sólido. Es un metal duro, ligeramente maleable. Se usa para fabricar imán de neodimio de alta resistencia para motores eléctricos y generadores.

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$

CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

PLATINO

Pt

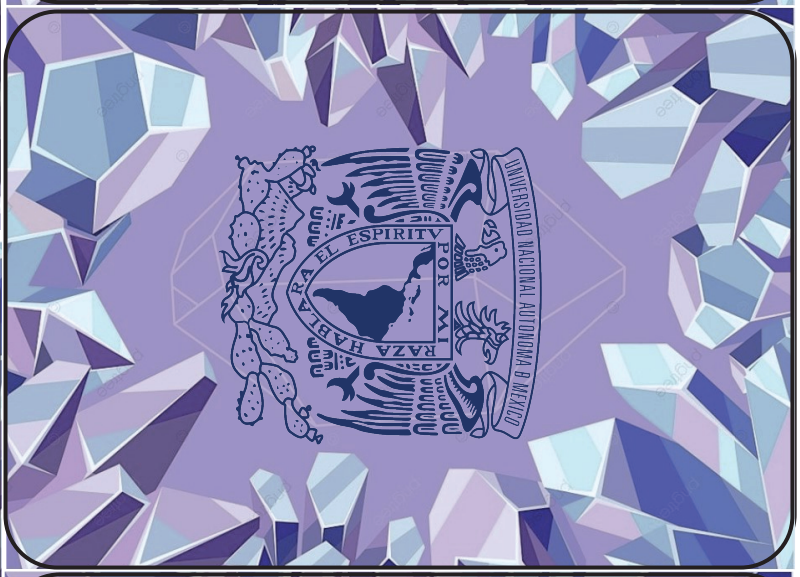
CONTIENE: PLATINO

Comúnmente utilizado en joyería, el platino es tan resistente a la corrosión como el oro. Se usa comúnmente para disminuir los efectos de los gases nocivos producidos por los escapes de los automóviles.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

PIROCLORO

$(Na,Ca)2Nb2O6(OH,F)$

CONTIENE: NIOBIO

En la naturaleza, el niobio se presenta con el elemento tántalo y es difícil de separar. Se usa en aceros inoxidables especiales, en aleaciones de alta temperatura y en aleaciones superconductoras.

BERILO

$(Na,Ca)2Nb2O6(OH,F)$

CONTIENE: BERILIO

El berilio es extremadamente liviano y duro, es un buen conductor de la electricidad y el calor. Debido a estas propiedades se usa en productos comerciales de alta tecnología, entre ellos componentes aeroespaciales, transistores, reactores nucleares, etc.

MONACITA

$NdPO_4$

CONTENIDO: NEODIMIO

El neodimio pertenece al grupo lantánidos. A temperatura ambiente, se encuentra en estado sólido. Es un metal duro, ligeramente maleable. Se usa para fabricar imán de neodimio de alta resistencia para motores eléctricos y generadores.

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$

CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

PLATINO

Pt

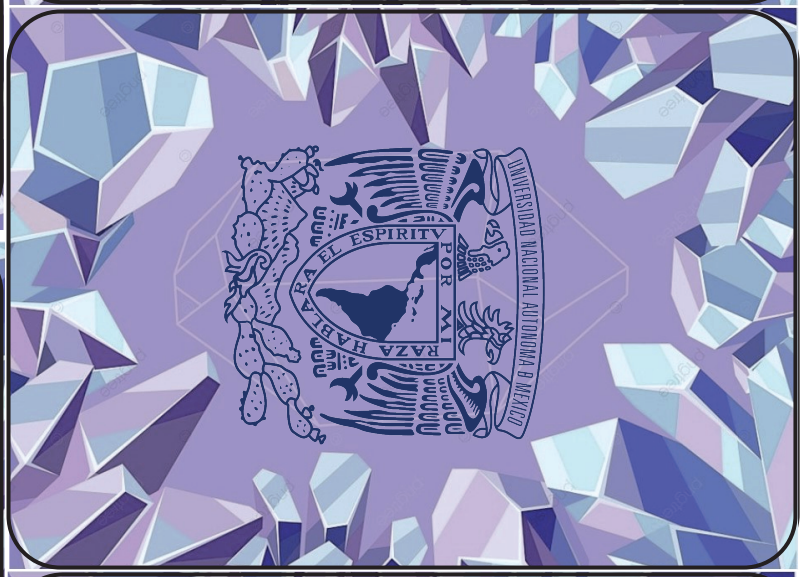
CONTIENE: PLATINO

Comúnmente utilizado en joyería, el platino es tan resistente a la corrosión como el oro. Se usa comúnmente para disminuir los efectos de los gases nocivos producidos por los escapes de los automóviles.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

CALCOPIRITA

$CuFeS_2$

CONTIENE: COBRE

El cobre es un buen conductor del calor y de la electricidad. También es fexible, por lo que, se utiliza en los cables que conducen la energía eléctrica.

PIROCLORO

$(Na,Ca)2Nb2O6(OH,F)$

CONTIENE: NIOBIO

En la naturaleza, el niobio se presenta con el elemento tántalo y es difícil de separar. Se usa en aceros inoxidables especiales, en aleaciones de alta temperatura y en aleaciones superconductoras.

CATTIERITA

CoS_2

CONTIENE: COBALTO

El cobalto es un metal duro y quebradizo. Tiene propiedades magnéticas y la temperatura de fusión más alta de todos los metales magnéticos.

BAUXITA

Al_2O_3

CONTIENE: ALUMINIO

Se extrae únicamente de la bauxita, Es un metal que posee una baja densidad y una alta resistencia a la corrosión, propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales.

ORO

Au

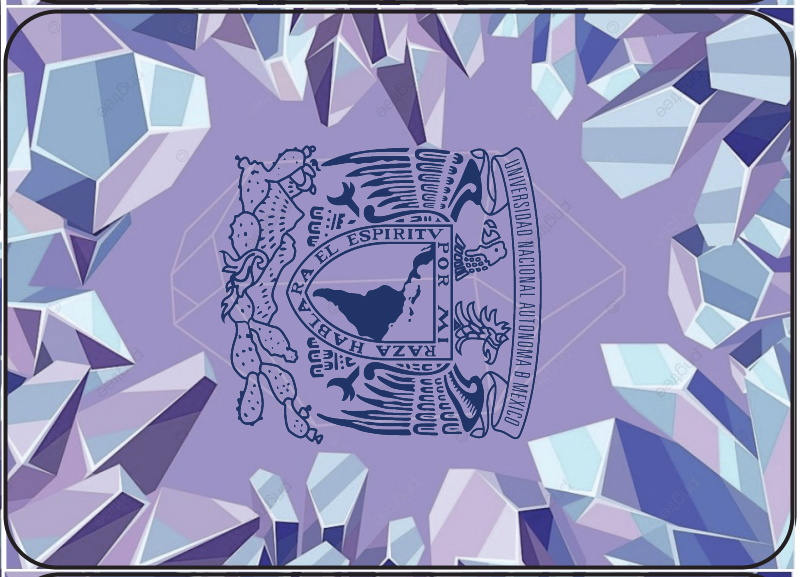
CONTIENE: ORO

El oro es un metal de transición blando, brillante, amarillo, pesado, maleable y dúctil.
Por su resistencia a la corrosión se usa en la industria, la joyería y la electrónica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

GRAFITO

C

CONTIENE: CARBÓN

El grafito es una de las formas alotrópicas en las que se puede presentar el carbono en la naturaleza.
Debido a su conductividad eléctrica y a su resistencia química se usa para fabricar electrodos.

BERILO

(Na,Ca)2Nb2O6(OH,F)

CONTIENE: BERILIO

El berilio es extremadamente liviano y duro, es un buen conductor de la electricidad y el calor. Debido a estas propiedades se usa en productos comerciales de alta tecnología, entre ellos componentes aeroespaciales, transistores, reactores nucleares, etc.

ESPODUMENA

$LiAl(SiO_3)_2$

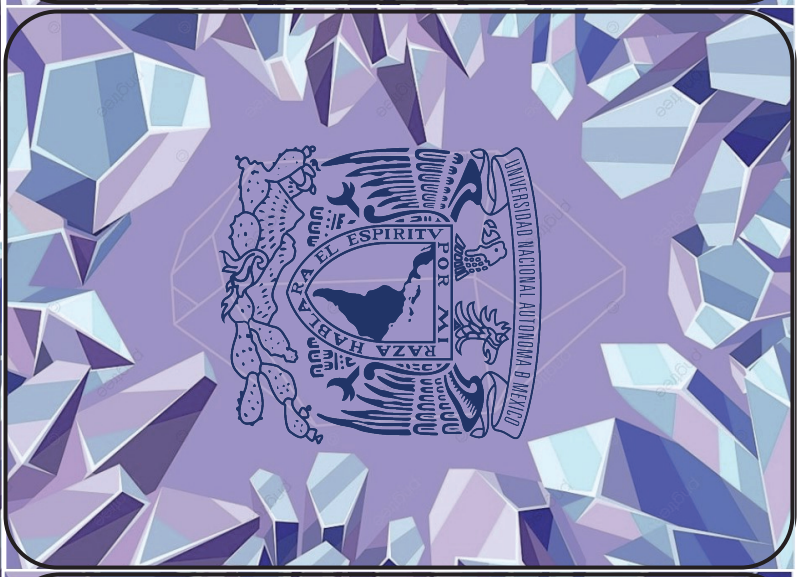
CONTIENE: LITIO

El litio es lo suficientemente blando como para cortarlo con un cuchillo. Tiene una temperatura de fusión muy baja. Es el elemento sólido menos denso a temperatura ambiente.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITY

ACCIÓN

¡INTERCAMBIO!

Juega esta carta al comienzo de tu turno en lugar de robar del mazo de minerales.

Dale una carta de tu mano a otro jugador, ¡ese jugador también debe darte una de sus cartas! Luego roba una carta de minerales.

Algunos metales solo se pueden encontrar en ciertos países. ¡Se necesita comercio para que todos podamos construir productos!

ACCIÓN

¡INTERCAMBIO!

Juega esta carta al comienzo de tu turno en lugar de robar del mazo de minerales.

Dale una carta de tu mano a otro jugador, ¡ese jugador también debe darte una de sus cartas! Luego roba una carta de minerales.

Algunos metales solo se pueden encontrar en ciertos países. ¡Se necesita comercio para que todos podamos fabricar productos!

ACCIÓN

¡EXPLORACIÓN!

Juega esta carta al comienzo de tu turno en lugar de robar del mazo de minerales.

Busca en el mazo de minerales y toma cualquier carta de tu elección. ¡Baraja las cartas después!

Exploración significa ir a buscar minerales. ¡Las geólogas y geólogos buscan minerales!

ACCIÓN

RECICLAJE!

Juega esta carta al comienzo de tu turno en lugar de robar del mazo de minerales.

Busca entre las cartas descartadas, elige un mineral y añádelo a tu mano.

¡Los metales comunes como el aluminio y el acero son muy fáciles de reciclar y al hacerlo se ahorra mucha energía!

ACCIÓN

RECICLAJE!

Juega esta carta al comienzo de tu turno en lugar de robar del mazo de minerales.

Busca entre las cartas descartadas, elige un mineral y añádelo a tu mano.

¡Los metales comunes como el aluminio y el acero son muy fáciles de reciclar y al hacerlo se ahorra mucha energía!

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

ACCIÓN

¡MINERAL DE ALTA CALIDAD!

Juega esta carta al comienzo de tu turno en lugar de robar del mazo de minerales.

Roba tres cartas de minerales, luego descarta dos.

Algunos minerales tienen un metal de mayor calidad que otros, ¡esto significa que valen más dinero!

ACCIÓN

ECONOMÍA

¡Juega esta carta al comienzo de tu turno!

Cada jugadora/jugador tiene la oportunidad de dejar una carta de productos e intercambiarla por otra del mazo de productos.

Los productos que utilizamos cambian con el tiempo. La oferta y la demanda determina el precio de los minerales.

ACCIÓN

¡MINERAL DE ALTA CALIDAD!

Juega esta carta al comienzo de tu turno en lugar de robar del mazo de minerales.

Roba tres cartas de minerales, luego descarta dos.

Algunos minerales tienen menas mas valiosas que otros, ¡esto significa que tienen un mayor valor económico!

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

PRODUCTO

FUEGOS ARTIFICIALES

REQUIERE:

CALCOPIRITA (COBRE)

RUTILO (TITANIO)

BORAX (BORON)

PRODUCTO

CARRO ELÉCTRICO

REQUIERE:

SPODUMENA (LITIO)

CATTIERITA (COBALTO)

CALCOPIRITA (COBRE)

PRODUCTO

TV

REQUIERE:

CUARZO (SILICIO)

CALCOPIRITA (COBRE)

ESFALERITA (INDIO)

PRODUCTO

MOTOR DE JET

REQUIERE:

MAGNETITA (HIERRO)

RUTILO (TITANIO)

PIROCLORO (NIOBIO)

PRODUCTO

CÁMARA

REQUIERE:

BAUXITA (ALUMINIO)

ORO

PIROCLORO (NIOBIO)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

PRODUCTO

COMPUTADORA

REQUIERE:

CUARZO (SILICIO)

GRAFITO (CARBÓN)

PLATINO

PRODUCTO

PANEL SOLAR

REQUIERE:

CALCOPIRITA (COBRE)

BÓRAX (BORO)

ESFALERITA (INDIO)

PRODUCTO

BATERÍAS

REQUIERE:

MAGNETITA (HIERRO)

ESPODUMENA (LITIO)

CATTIERITA (COBALTO)

PRODUCTO

CARRO

REQUIERE:

MAGNETITA (HIERRO)

RUTILO (TITANIO)

PLATINO

PRODUCTO

CELULAR

REQUIERE:

GRAFITO (CARBÓN)

MONAZITA (NEODIMIO)

CUARZO (SILICIO)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

PRODUCTO

TRENES

REQUIERE:

CALCOPIRITA (COBRE)

BERILO (BERILIO)

MAGNETITA (HIERRO)

PRODUCTO

TURBINA DE VIENTO

REQUIERE:

MONAZITA (NEODIMIO)

BAUXITA (ALUMINIO)

CALCOPIRITA (COBRE)

PRODUCTO

SATÉLITE

REQUIERE:

CUARZO (SILICIO)

BAUXITA (ALUMINIO)

BERILO (BERILIO)

PRODUCTO

TRANSBORDADOR ESPACIAL

REQUIERE:

BAUXITA (ALUMINIO)

GRAFITO (CARBÓN)

SPODUMENA (LITIO)

PRODUCTO

PRÓSTESIS

REQUIERE:

BAUXITA (ALUMINIO)

CATTIERITA (COBALTO)

RUTILO (TITANIO)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA B MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITV

5. MATERIAL DE APOYO
5.2 El caso de los minerales conflictivos

OBJETIVOS

Conocer cuáles son los llamados minerales conflictivos, su ubicación y el tipo de yacimiento mineral al que se encuentran asociados.

Analizar cuáles son los impactos ambientales y sociales derivados de la extracción de estos recursos naturales y su uso en la fabricación de los dispositivos electrónicos que usamos cotidianamente.

CONTENIDO

- Definición de Minerales conflictivos
- Ubicación de los Yacimientos
- Yacimientos Minerales Asociados
- Usos
- Impactos Ambientales
- Impactos Sociales
- Conclusiones

¿QUÉ SON LOS MINERALES CONFLICTIVOS?

Minerales económicamente significativos extraídos en regiones de conflicto asociado con gobiernos militares y a violaciones de derechos humanos.

Comúnmente se definen a los minerales en conflicto como los metales "3TG" (Por sus siglas en inglés: Estaño (Tin), tantalio (Tantalium), tungsteno (Tungsten) y oro (Gold)).

Estos minerales se utilizan en la fabricación de una amplia gama de productos electrónicos.

LOS MINERALES CONFLICTIVOS: 3T-G

Wolframita

Mena de

Tungsteno

Coltán

Columbita/Tantalita

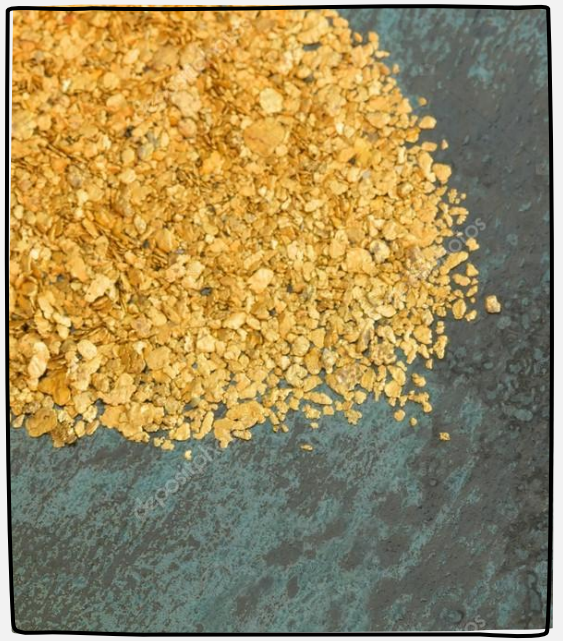
Mena de

Tantalio (y Niobio)

Casiterita

Mena de

Estaño (Tin)



Oro

Mena de

Oro (Gold)

EN BUSCA DEL ORO

Foto: Marcus Bleasdale, http://marcusbleasdale.com.

¿DÓNDE ENCONTRARLOS?

Los minerales conflictivos se pueden extraer en muchos lugares diferentes del mundo. Uno de los principales países en la extracción de estos minerales es la República Democrática del Congo (RDC), en donde se encuentran el 80% de la reserva mundial.

Un mineral "libre de conflicto" se define como minerales que fueron extraídos y no beneficiaron directa o indirectamente a minas controladas ilegalmente por grupos armados y milicias gubernamentales.

Sin embargo, los metales 3TG se definen como minerales conflictivos donde quiera que se extraigan. Por ejemplo, el estaño extraído en Canadá, Rusia o Argentina se considera un mineral de conflicto por definición.

UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS

Coltán (Tántalo)

- Australia
- Brasil
- Canadá
- China
- Ruanda
- Burundi
- Etiopía
- República Democrática del Congo (80% de las reservas mundiales)

Wolframita (Tungsteno)

- Alemania
- Portugal
- España
- Libia
- Namibia
- Brasil
- Colombia
- Estados Unidos
- Argentina
- Corea del Sur
- China (75 % de las reservas mundiales)

Casiterita (Estaño)

- Islas Británicas
- Alemania
- República Checa
- Francia
- Portugal
- Brasil
- Bolivia
- Indonesia
- China (75 % de las reservas mundiales)

YACIMIENTOS MINERALES ASOCIADOS

Coltán

- Yacimientos de segregación magmática asociados a pegmatitas graníticas y granitos.

Wolframita

- Yacimientos de segregación magmática asociados a pegmatitas graníticas.
- También existen yacimientos magmático-hidrotermales.

Casiterita

- Yacimientos de segregación magmática asociados a pegmatitas graníticas y algunos granitos.
- También existen yacimientos de placer.

EL DOLOR DE UNA MIRADA

Foto: Marcus Bleasdale, http://marcusbleasdale.com.

USOS DE LOS MINERALES CONFLICTIVOS

Los minerales de conflicto pueden ser utilizados en la fabricación de productos de las siguientes industrias: software, defensa, aeroespacial, automotriz y electrónica, etc.

- Columbita/tantalita (tántalo y niobio): Condensadores en muchos dispositivos electrónicos, motores a reacción (álabes de turbina), herramientas de corte.
- Casiterita (estaño): Soldadura para electrónica, latas, biocidas + fungicidas.
- Wolframita (tungsteno):Herramientas, teléfonos celulares, municiones.
- Oro: Electrónica, joyería, productos dentales.

TRABAJO EN EQUIPO

Foto: Marcus Bleasdale, http://marcusbleasdale.com.

IMPACTOS AMBIENTALES

La extracción del coltán ha llevado a la República Democrática del Congo a sufrir un grave impacto natural en el entorno, dando lugar a consecuencias devastadoras, algunos ejemplos de ello son:

- Pérdida de hábitat de especies animales y vegetales, debido a la movilización de inmensas cantidades de tierra para extraer los recursos. Algunas de estas especies se encuentran al borde de la extinción como consecuencia de los actos de la minería a cielo abierto.

- Algunos de los yacimientos se ubican al interior de los Parques Nacionales de Kahuzi-Biega y Okapi, la extracción de los minerales provoca daños irreversibles en estas reservas naturales protegidas por UNESCO.

IMPACTOS AMBIENTALES

- La deforestación con el objetivo de hacer accesibles los caminos hacia las minas.

- La destrucción de los bosques primarios como consecuencia de la exploración de nuevos yacimientos de minerales 3TG. El Congo contiene una de las últimas regiones con bosques primarios del planeta, el segundo pulmón mundial después del Amazonas.

- La contaminación de las corrientes con el limo procedente del proceso de lavado, ya que para la separación del mineral se usan sustancias tóxicas como el cianuro, arsénico y mercurio, las cuales contaminan el agua, el suelo y la biodiversidad de la zona.

El PRECIO DE LA GUERRA

Foto: Marcus Bleasdale, http://marcusbleasdale.com.

IMPACTOS SOCIALES

Los impactos sociales derivados de la extracción de minerales conflictivos en la República Democrática del Congo han provocado una serie de violaciones a los derechos humanos, tales como:

- Los ingresos derivados del comercio de estos minerales se utilizan para financiar conflictos armados, promoviendo la guerra y la compra de armas.

- La mayoría del origen de estos minerales proviene de minas controladas ilegalmente por las tropas y milicias gubernamentales del país.

IMPACTOS SOCIALES

- Las guerrillas son responsables de graves violaciones de los derechos humanos, como violaciones, asesinatos y trabajo infantil.

- Los civiles de las comunidades mineras locales se ven obligados a participar en este comercio minero ilegal.

- Los minerales extraídos de estas minas salen de contrabando de la República Democrática del Congo a través de países vecinos como Uganda y Ruanda, donde se exportan al Lejano Oriente. Una vez que los minerales han sido procesados, es excepcionalmente difícil rastrear su origen.

CONCLUSIONES

- El concepto de mineral conflictivo se refiere a minerales que provienen de una región particular del mundo donde existen conflictos sociales, armados y/o abusos de los derechos humanos, relacionados con la extracción y el comercio de estos recursos.
- Los minerales conflictivos son esenciales en la fabricación de dispositivos electrónicos en las industrias de tecnología, defensa, aeroespacial, automotriz y electrónica, etc.
- A pesar de que los yacimientos minerales asociados se pueden encontrar en muchas partes del mundo, la República Democrática del Congo cuenta con el 80% de las reservas del planeta.
- Los impactos negativos de la extracción de estos minerales incluyen consecuencias devastadoras para el medio ambiente.

El depósito de Homestake

Figura 1. La mina Homestake (Dakota del Sur, E.U.A) fue una de las minas de oro más grandes de los Estados Unidos. Vetas de cuarzo con oro se pueden ver en la pared del tajo.

Historia geológica y minera del depósito de Homestake

La mina *Homestake*, en Montana, E.U.A., pertenece a un área llamada *New World Mine District* (Figura 1, 2). Esta mina contiene depósitos con reservas estimadas y probadas de oro, plata y cobre. Estos depósitos se formaron hace 40-50 Ma durante múltiples episodios de actividad magmática, formando las rocas extrusivas e intrusivas encontradas en esta región. Ejemplos de unidades intrusivas se encuentran en las montañas Scotch Bonnet, Fisher y Henderson (Figura 1), de las cuales, solo la montaña Fisher presenta mineralización económica.

Los fluidos hidrotermales expulsados por los magmas contenían metales disueltos y fluyeron a través de las rocas sedimentarias encajonantes, lo que provocó la precipitación de minerales de mena en forma de oro y sulfuros metálicos, formando los depósitos minerales que se encuentran en esta área (Figura 3). Varios episodios de hidrofracturamiento ocurrieron como respuesta a la presurización de los fluidos hidrotermales a profundidad, fragmentando a las rocas encajonantes. Esto sucede cuando la presión de los fluidos supera la presión confinante de las rocas. Esto provocó la creación de espacios entre los fragmentos de roca rellenados por minerales de mena y ganga que precipitaron a partir de los fluidos hidrotermales. Esto es, se formaron brechas mineralizadas (Figura 3). Los fluidos también circularon a lo largo de los contactos entre rocas sedimentarias, en donde la precipitación de mena ocurrió en forma de capas o mantos (Figura 3).

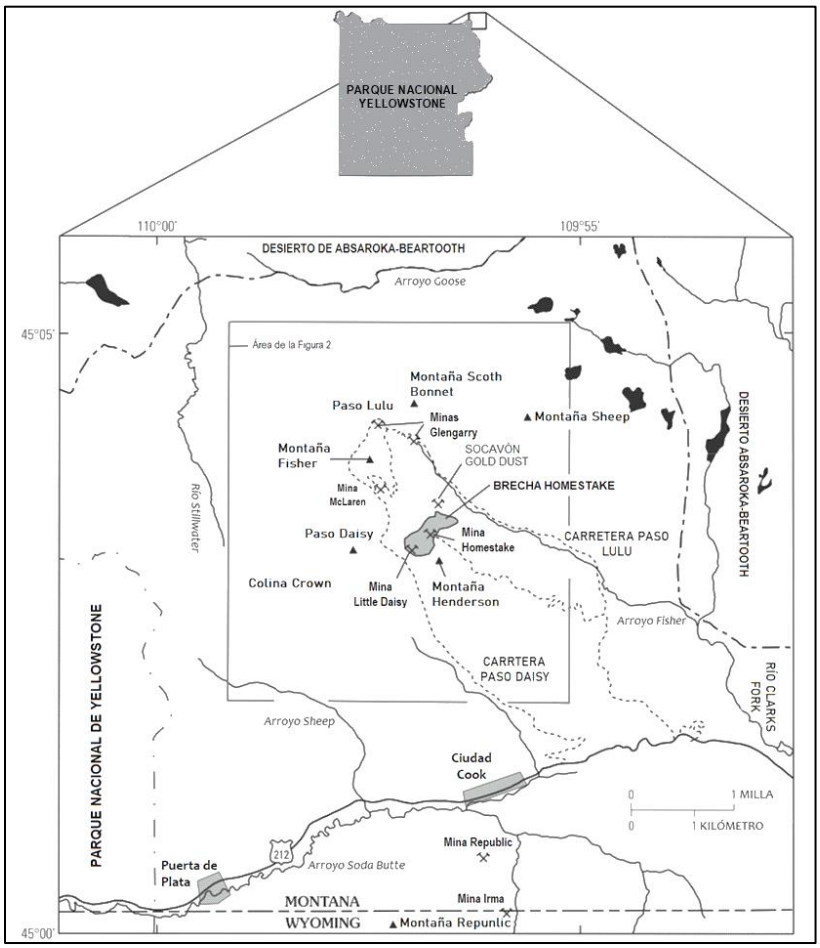


Figura 2. Mapa del área del distrito minero del *New World*, Montana y Wyoming. Se muestran las ubicaciones de la brecha Homestake, las minas históricas y características geográficas. La mina Homestake se encuentra a menos de 8 km de la entrada noreste del Parque Nacional de Yellowstone.

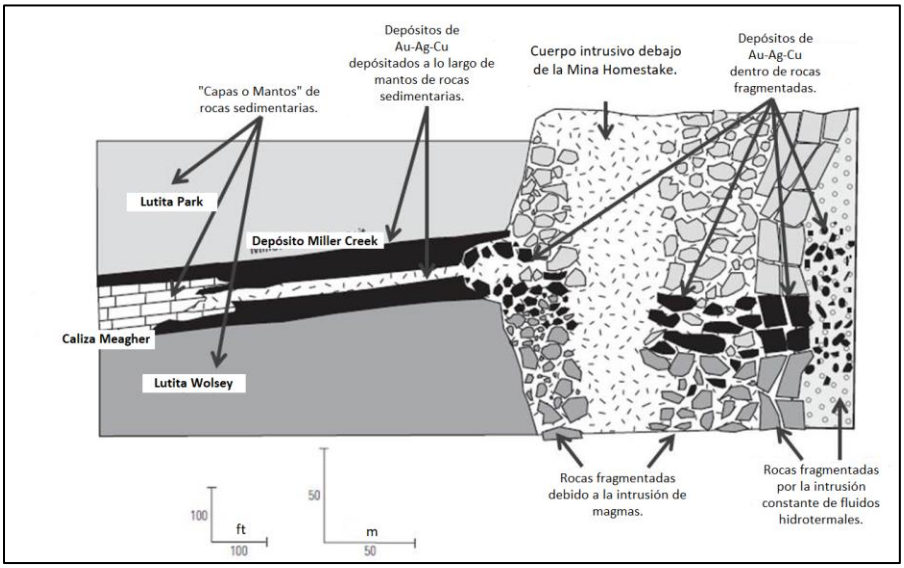


Figura 3. Formación de los depósitos minerales de oro, plata y sulfuros metálicos en la región cercana a la mina Homestake.

Las actividades mineras en esta región comenzaron en 1869 y hasta los años 1920s; sin embargo, los depósitos de oro de alta ley todavía no se descubrían. El interés en explotar estos depósitos se renovó después de 1985. En 1990, la mina Crown Butte, perteneciente a la compañía Noranda Inc., presentó un plan para desarrollar una mina subterránea en esta área. La propuesta minera incluía la construcción de una presa de jales, un depósito de almacenamiento de roca estéril, caminos de acceso, líneas de transmisión e instalaciones de procesamiento de minerales para recuperar oro sin usar cianuro, todo esto dentro de los Bosques Nacionales *Shoshone* y *Gallatin*.

Debido a la intensa oposición que hubo por parte de grupos ambientalistas como *Sierra Club* y *Greater Yellowstone Coalition*, así como empleados del Parque Nacional de *Yellowstone*, el Gobierno Federal compró los derechos mineros de esta región en 1997, y el área se hizo parte del Bosque Nacional *Gallatin*. Además, entró en vigor un período de 20 años en el que está prohibida la actividad minera en la región.

Historia geológica del Parque Nacional de Yellowstone

En la parte central del Parque Nacional de Yellowstone (Figura 4) se encuentra la Caldera de Yellowstone, formada en una mega erupción volcánica hace 640,000 años, arrojando más de 1,000 km^3 de magma a la atmósfera, más de 1,000 veces el volumen de la erupción en el Monte Santa Helena, Washington, en 1980. Las erupciones posteriores llenaron en gran medida la caldera y se formaron dos domos de resurgencia, el domo *Sour Creek* y el *Mallard Lake*. La Caldera de Yellowstone mostrada por la línea naranja en la Figura 4, marca la ubicación de la erupción ocurrida hace 640.000 años.
No se ha producido ninguna erupción volcánica en la región durante unos 70,000 años. Sin embargo, desde la década de 1970, se han detectado cambios significativos en este sistema volcánico-hidrotermal, como un rápido levantamiento y hundimiento del suelo, así como frecuente actividad sísmica.
El vulcanismo en Yellowstone ocurre como respuesta al desplazamiento de la Placa de Norte América sobre un punto caliente. Las ubicaciones y edades de las calderas que se formaron durante los últimos 2 Ma se muestran en la Figura 5. El desplazamiento de la placa de Norte América con respecto al punto caliente es en dirección suroeste. El vulcanismo que provocó la formación de la Caldera de Yellowstone inició hace aproximadamente 16 Ma, casi 25 Ma después de que terminara el vulcanismo que creó los depósitos minerales presentes alrededor de la mina *Homestake*.

El magma que se eleva desde las profundidades del manto por debajo de Yellowstone tiene una composición máfica. Sin embargo, a medida que este magma máfico se mueve a través de la placa de Norte América, promueve la fusión de la corteza continental y eventualmente la formación de magma félsico (Figura 6). El magma máfico es más denso, se forma a mayor temperatura y es más fluido que el magma félsico; el reservorio de magma por debajo de la caldera contiene ambos tipos de magma.

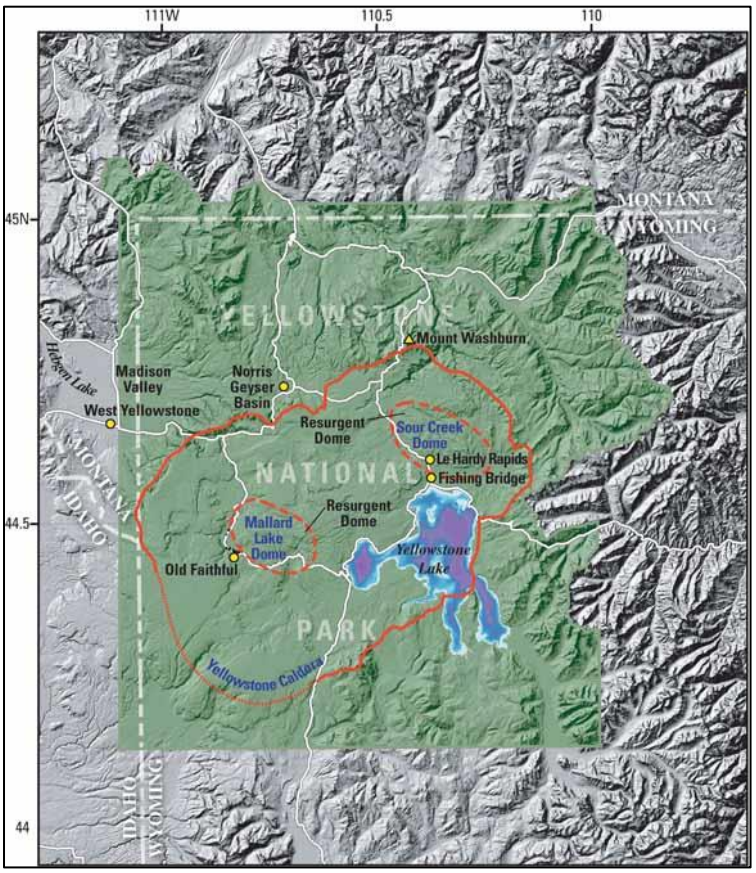


Figura 4. La región del Parque Nacional Yellowstone en Wyoming, Montana e Idaho. La zona es caracterizada por sus espectaculares géiseres y abundantes aguas termales. Estos dos rasgos geológicos, son evidencia de que un sistema magmático subyacente permanece activo.

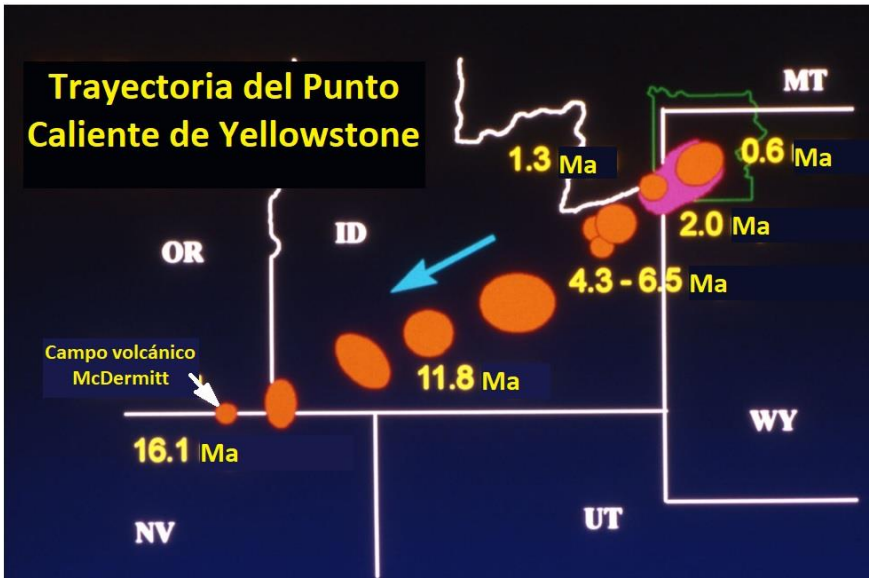


Figura 5: Esta figura muestra las edades y ubicaciones de las calderas explosivas que se formaron durante los últimos 16 millones de año, a medida que la placa de América del Norte se movía hacia el suroeste sobre el punto caliente que actualmente se encuentra bajo el Parque Nacional de Yellowstone.

La cámara magmática se encuentra justo por debajo de la transición dúctil-frágil en la corteza, lo que aísla al reservorio de magma sin permitir que se escapen muchos fluidos. Las rocas más frías por encima de dicha transición, se comportan de forma más frágil, se fracturan más fácilmente, promoviendo la formación de fallas (Figura 6). En ocasiones, fluidos alcanzan a escapar de la zona aislada a profundidad, ascendiendo hacia la zona fracturada y circulando a través de fallas. Se considera que este tipo de liberación de fluidos produjo el enjambre de sismos de 1985 al NW de la caldera (Figura 6).

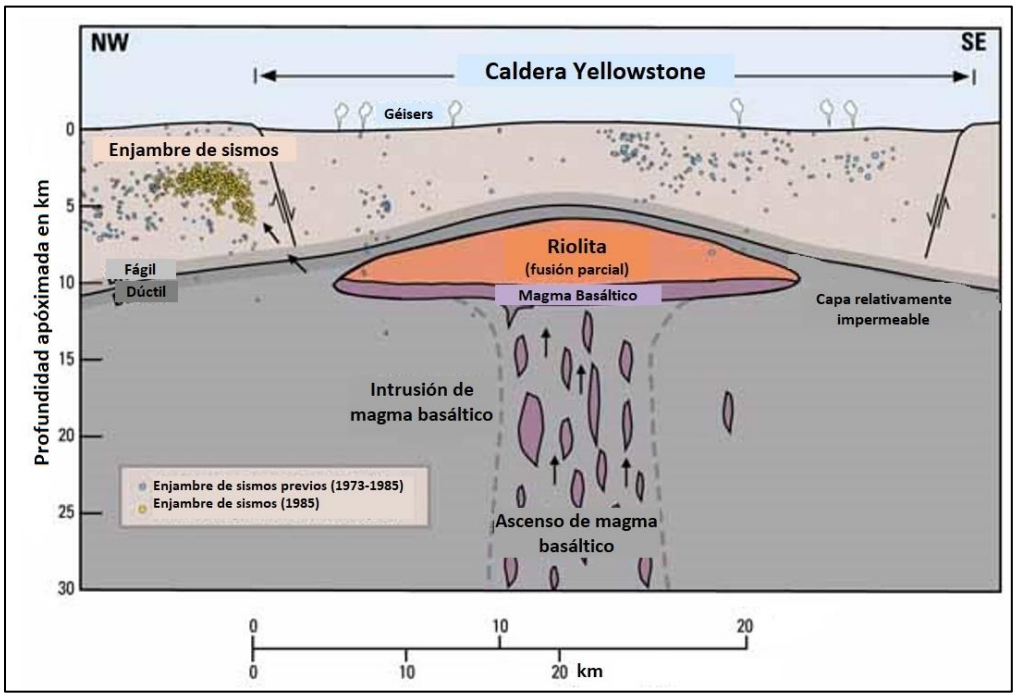


Figura 6. La actividad volcánica e hidrotermal en el área de Yellowstone está alimentada por un gran reservorio de magma por debajo de la caldera formada en una erupción catastrófica hace 640 000 años.

El Parque de Yellowstone fue el primer Parque Nacional de los Estados Unidos y se estableció en 1872 para proteger sus características naturales únicas, como los géiseres, las mesetas escarpadas, los lagos, las cascadas, otros hermosos paisajes y la diversidad de especies silvestres. El Comité del Patrimonio Mundial de las Naciones Unidas lo designó como Patrimonio de la Humanidad en 1978, protegiendo más de 8,000 km^2 dentro de los límites del parque.

Depósitos del Lago Superior

Historia geológica del Lago Superior y el origen de depósitos minerales de sulfuros metálicos

A diferencia de los yacimientos asociados al vulcanismo de punto caliente en Yellowstone, los sulfuros metálicos en los depósitos de las orillas del Lago Superior cristalizaron a partir de magmas localizados a lo largo de un rift continental, que se formó cuando el supercontinente Rodinia se fragmentó hace 1100 Ma. La zona de rift se extiende por 2,500 km (Figura 7) en forma de un amplio valle alargado. El adelgazamiento de la corteza producto de la formación del rift, promovió el ascenso de manto y su fusión por descompresión, produciendo una gran cantidad de magma basáltico que al hacer erupción rellenó parte del valle del rift. Extensos flujos de lava basáltica (30 km de longitud) se formaron así, mediante erupciones que eran alimentadas por cámaras magmáticas de composición máfica a profundidad.

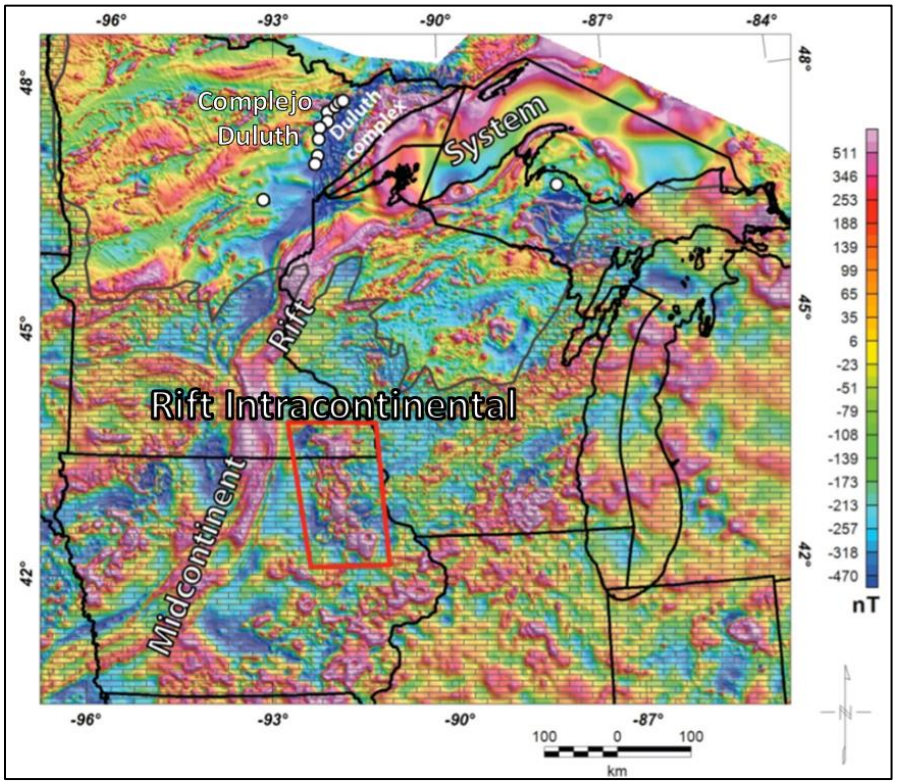


Figura 7. Anomalías aeromagnéticas regionales sobre el sistema de rift continental del Lago Superior. Los puntos blancos muestran la ubicación de yacimientos conocidos de Ni-Cu-PGE. El polígono rojo muestra la ubicación de un complejo intrusivo al noreste de Iowa. También se muestra la ubicación del complejo intrusivo de Duluth en la porción norte central del mapa.

El magma máfico contenía altas concentraciones de cobre (Cu), níquel (Ni) y cobalto (Co), así como elementos del grupo del platino (EGP). A medida que el magma ascendía a través de la corteza continental, asimiló rocas ricas en azufre (S), lo que promovió la inmiscibilidad magmática silicato-sulfuro. Esto produjo la segregación de glóbulos de un magma sulfurado a partir de un magma silicatado. Los elementos calcófilos se repartieron preferentemente en la fase sulfurada, que consecuentemente se enriqueció en metales. Los glóbulos de magma sulfurado rico en metales se segregaron del magma silicatado, ya que la diferencia en

densidad (con respecto al magma silicatado) provocó que se hundieran y se acumularan formando yacimientos económicos, localizados en el piso de cámaras magmáticas o a lo largo de conductos de magma a profundidad.

El sistema de rift continental no logró separar totalmente a Rodinia, ya que una colisión continental al oriente de la zona de rift, provocó que el rift se cerrara hace unos 1040 Ma. Las fallas normales que originalmente bordeaban al valle de rift, se reactivaron por el nuevo régimen de esfuerzos compresivos, causando el desplazamiento inverso y cabalgaduras a lo largo de las mismas. Esto también provocó levantamiento y exhumación de algunas de las cámaras magmáticas máficas y por consiguiente acercó a la superficie a varios (probablemente no a todos) yacimientos magmáticos formados por inmiscibilidad silicato-sulfuro. Se considera que los depósitos de sulfuros de Cu-Ni-EGP en el Lago Superior, cerca de Duluth, Minnesota y de Mellen, Wisconsin, se formaron de esta manera (Figura 8).

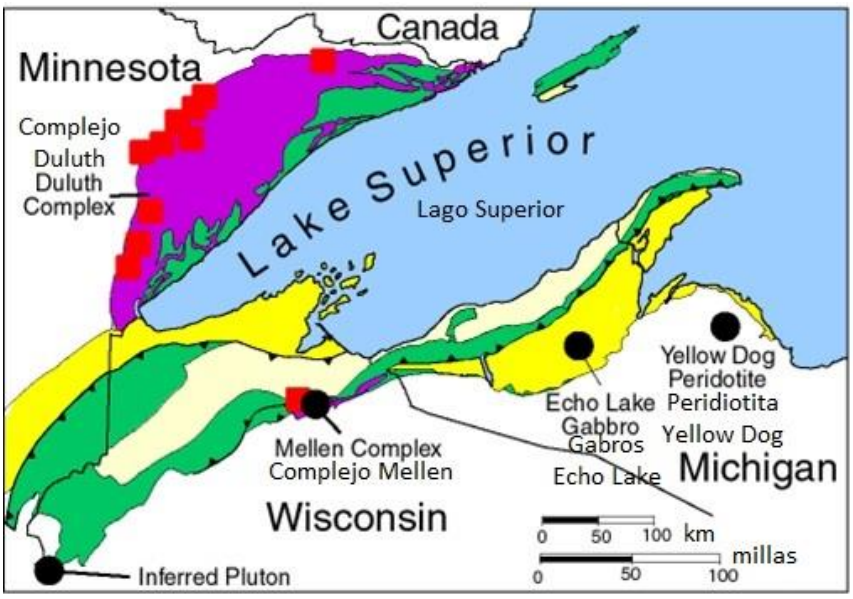


Figura 8. Mapa generalizado de la región occidental del Lago Superior. Se muestran la distribución de los principales tipos de rocas del rift continental y la localización de yacimientos de sulfuros de Ni-Cu-EGP en Minnesota y Wisconsin. También se muestran con puntos negros la ubicación de zonas favorables para la exploración minera en el complejo intrusivo *Mellen*, el gabro *Echo Lake*, la peridotita *Yellow Dog* y un complejo intrusivo inferido reconocido por métodos geofísicos al poniente de Wisconsin. El área del mapa corresponde a la porción norte del mapa de la Figura 7.

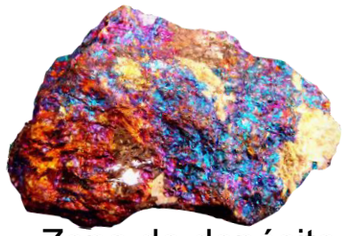
El cobre, el níquel, el cobalto y los elementos del grupo del platino (Ru, Rh, Pd, Os, Ir,Pt)se utilizan ampliamente en diversas industrias, como la fabricación de acero inoxidable (Ni); baterías recargables para autos eléctricos (Ni); superaleaciones para aeronaves (Co); catalizadores para escapes de automóviles (EGP) y cables eléctricos (Cu). Debido a esto, la demanda de estos recursos cada vez es mayor. Las características geofísicas y geoquímicas de algunos de los cuerpos ígneos intrusivos a lo largo del Lago Superior (Figura 8) indican la presencia de depósitos de sulfuros de Cu-Ni-EGP a lo largo de la orilla del Lago Superior. Varias localidades dentro de la península superior de Michigan, el norte de Wisconsin y el norte de Minnesota están siendo evaluadas actualmente para determinar su potencial minero.

El Lago Superior se convirtió en el lago de agua dulce que vemos hoy hace unos 7,500 años, después de la última glaciación. Antes del periodo glacial, hace 3 Ma, la zona del valle de rift contenía un río que fluía hacia el oriente, en la región donde ahora se localiza el Lago Superior. La orientación de dicha cuenca dirigió las capas de hielo provenientes de la Bahía de Hudson hacia el poniente, rumbo a Minnesota. Varios episodios de avance de glaciares ampliaron, ensancharon y profundizaron la cuenca, arrastrando material rocoso erosionado hacia el área circundante. Eventualmente, el hielo de los glaciares se derritió y la región antes cubierta por el peso del hielo sufrió un rebote hacia arriba conocido como rebote cortical (*crustal rebound*), que conformó el paisaje que hoy observamos con los cinco grandes lagos: Superior, Michigan, Huron, Erie y Ontario.

El Lago Superior contiene alrededor del 10% del suministro total de agua dulce del mundo. Aparte de los Estados Unidos y Canadá, las tierras alrededor del Lago Superior pertenecen a varias tribus aborígenes de Canadá. Por lo tanto, además de las preocupaciones sobre la contaminación del agua, cualquier posible actividad minera alrededor del Lago Superior debe considerar prioridades como la localización de sitios sagrados, y los impactos sociales y culturales en el área.

Figura 1. Exploración de pórfidos de cobre

Zonas de alteración



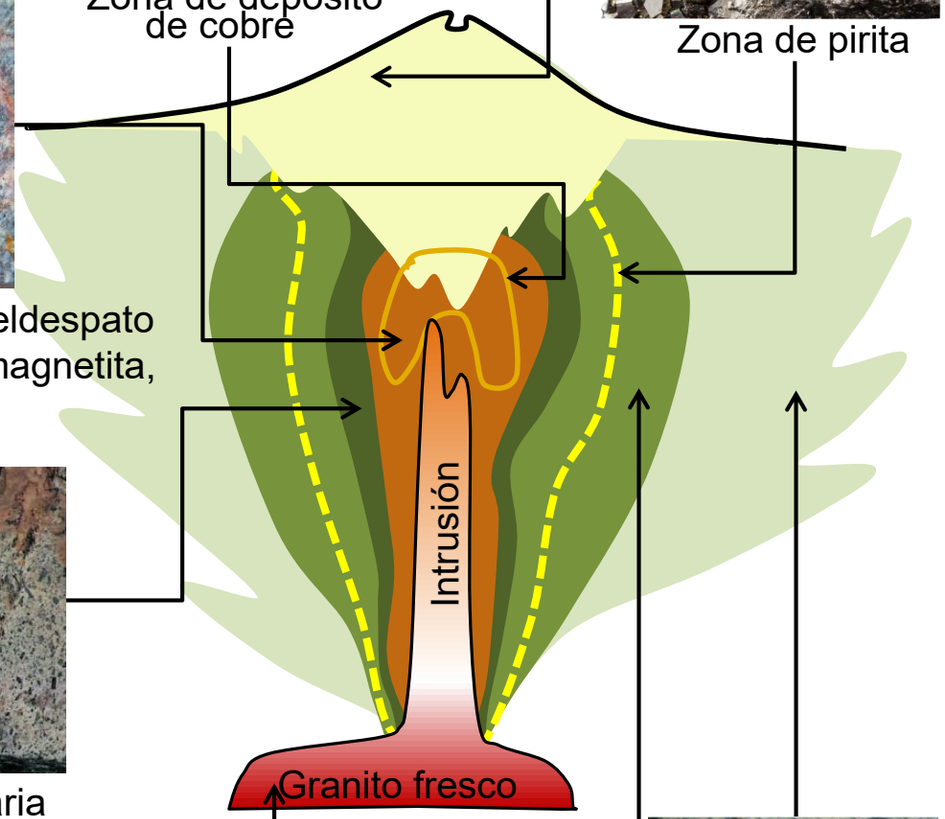
Zona de depósito de cobre

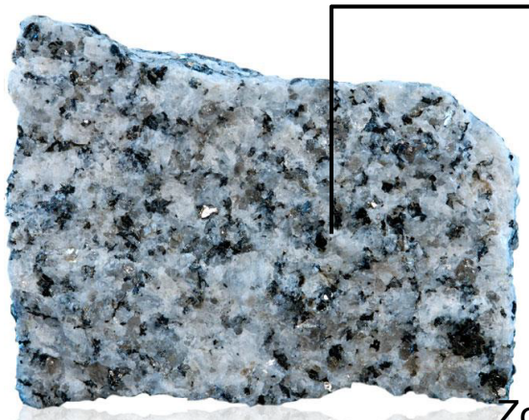
Zona de pirofilita, dickita, caolinita y cuarzo vuggy

Zona de pirita

Zona de cuarzo, feldespato potásico, biotita, magnetita, clorita

Actinolita secundaria o de alteración



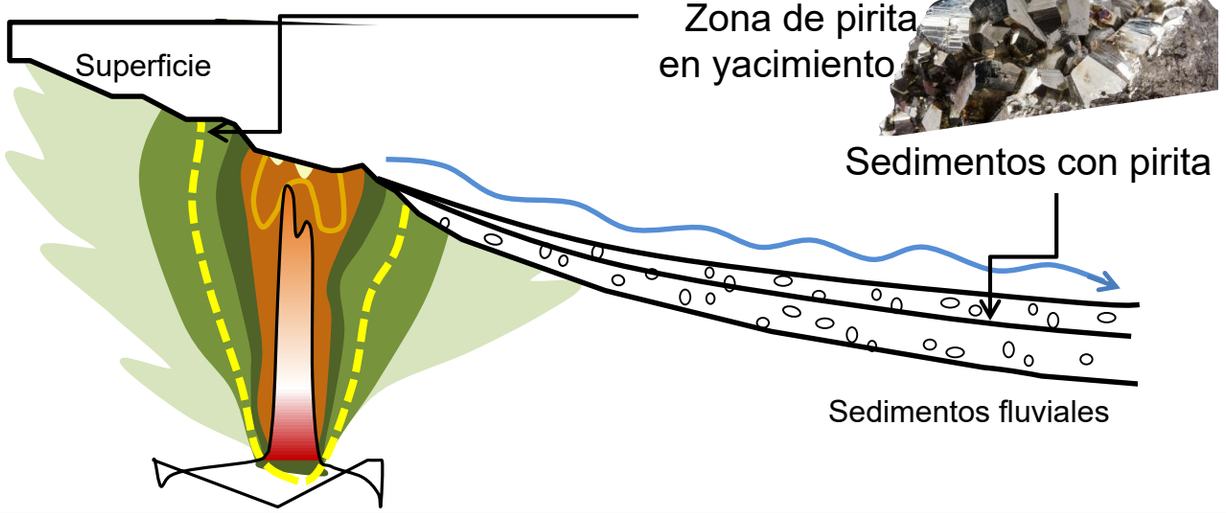


Granito

Zona de epidota, albita, clorita, calcita, seiricita y apatito

Zona de clorita, sericita, hematita, calcita y esmectita

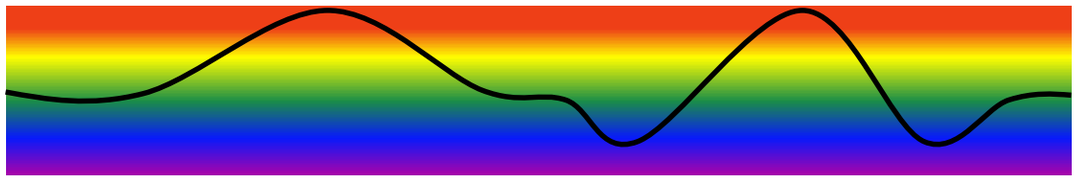
Minerales en los sedimentos transportados por la corriente



Prospección Magnética

Magnetita

Respuesta magnética fuerte



Respuesta magnética débil

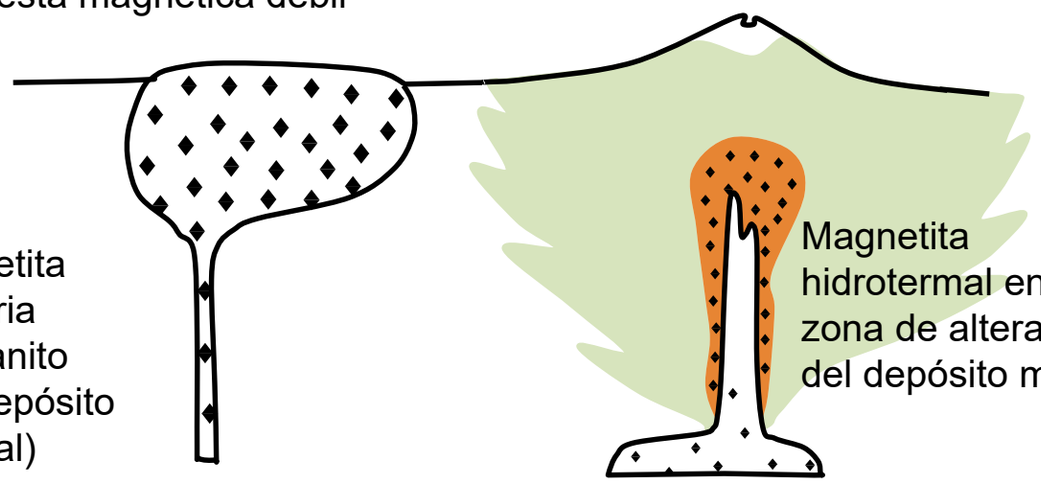


Figura 2. Geografía

Clave:

Área de Exploración Disponible

Vía Férrea

Frontera Internacional (En disputa)

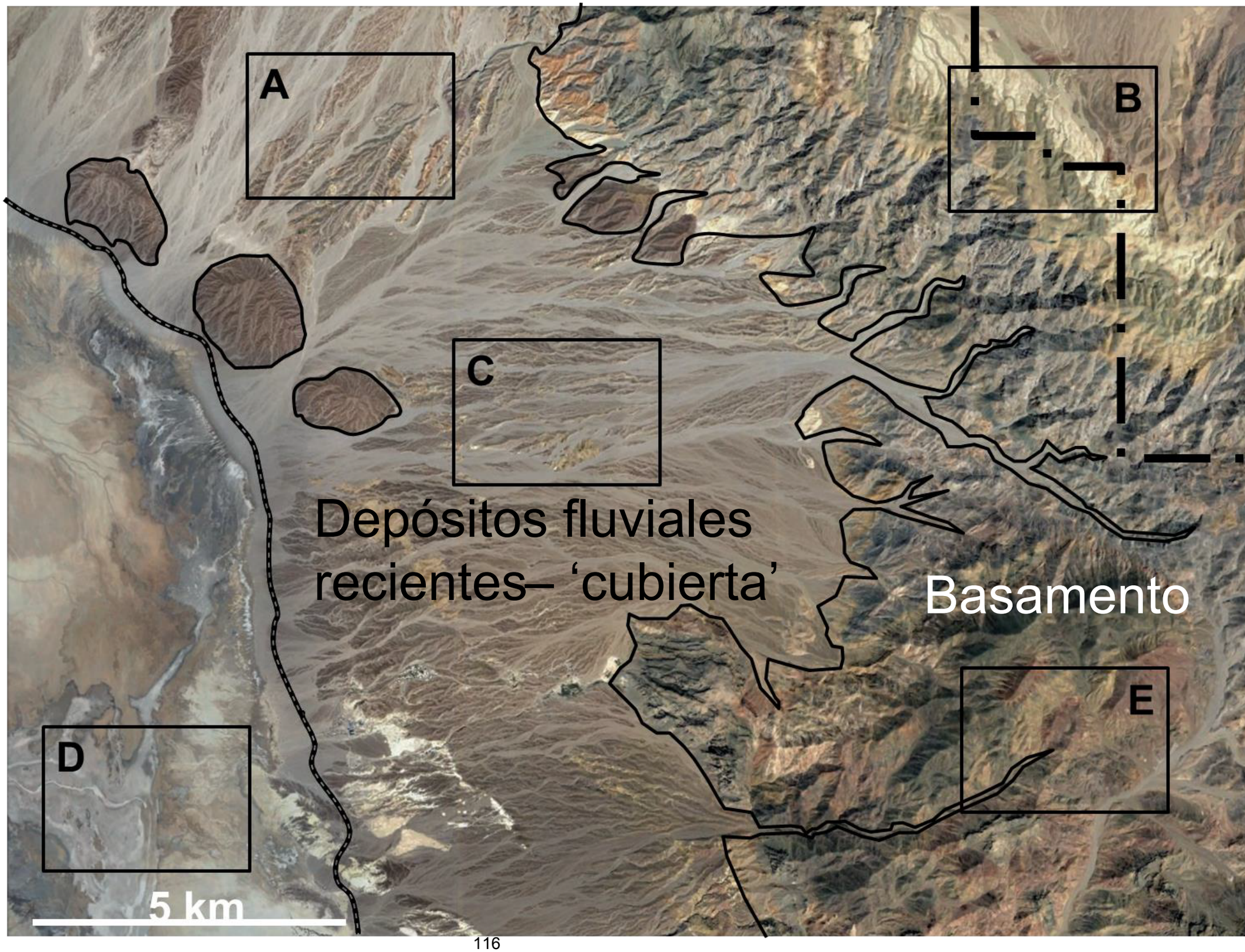


Figura 3. Geología

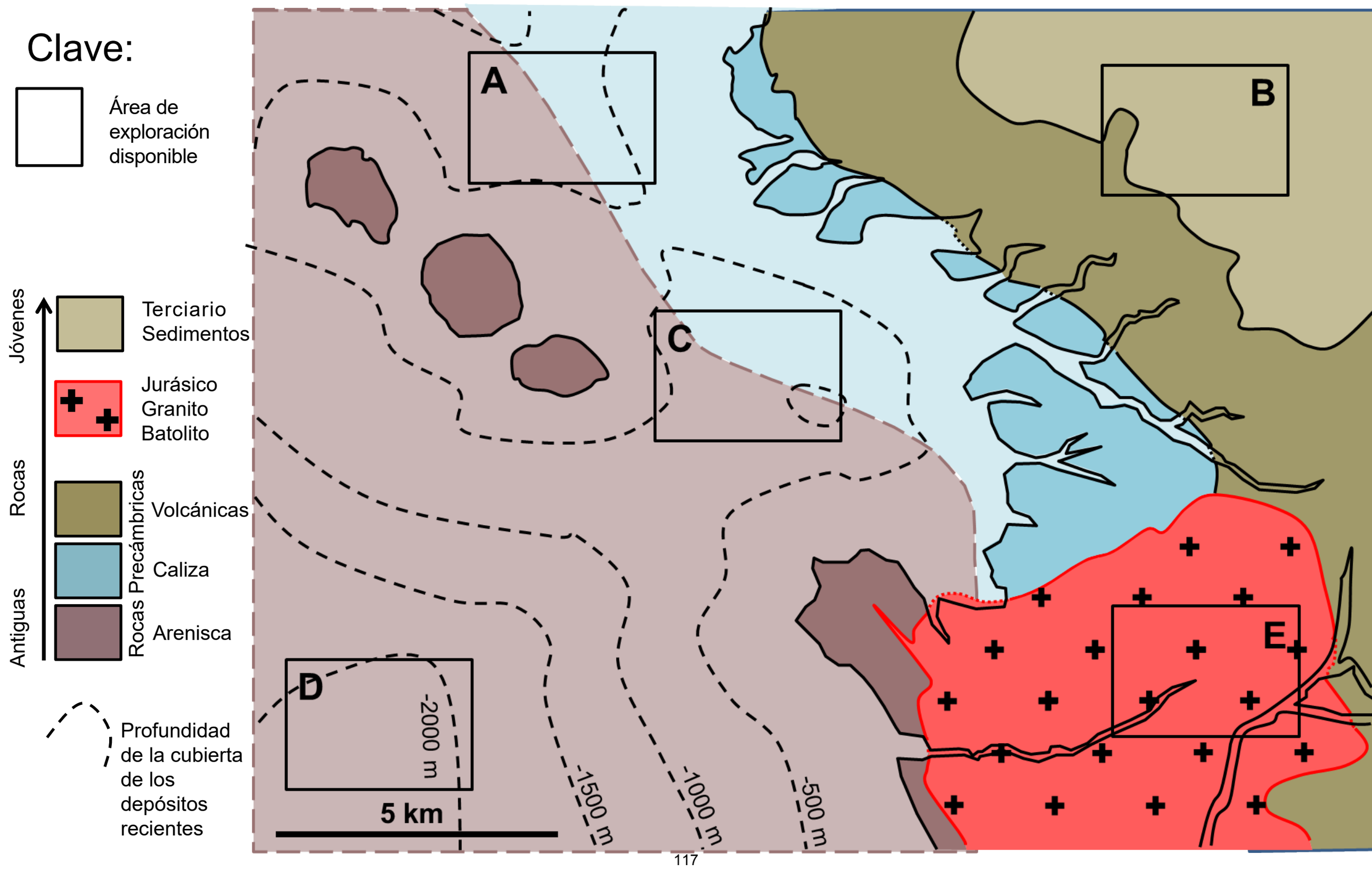


Figura 4. Alteración Hidrotermal

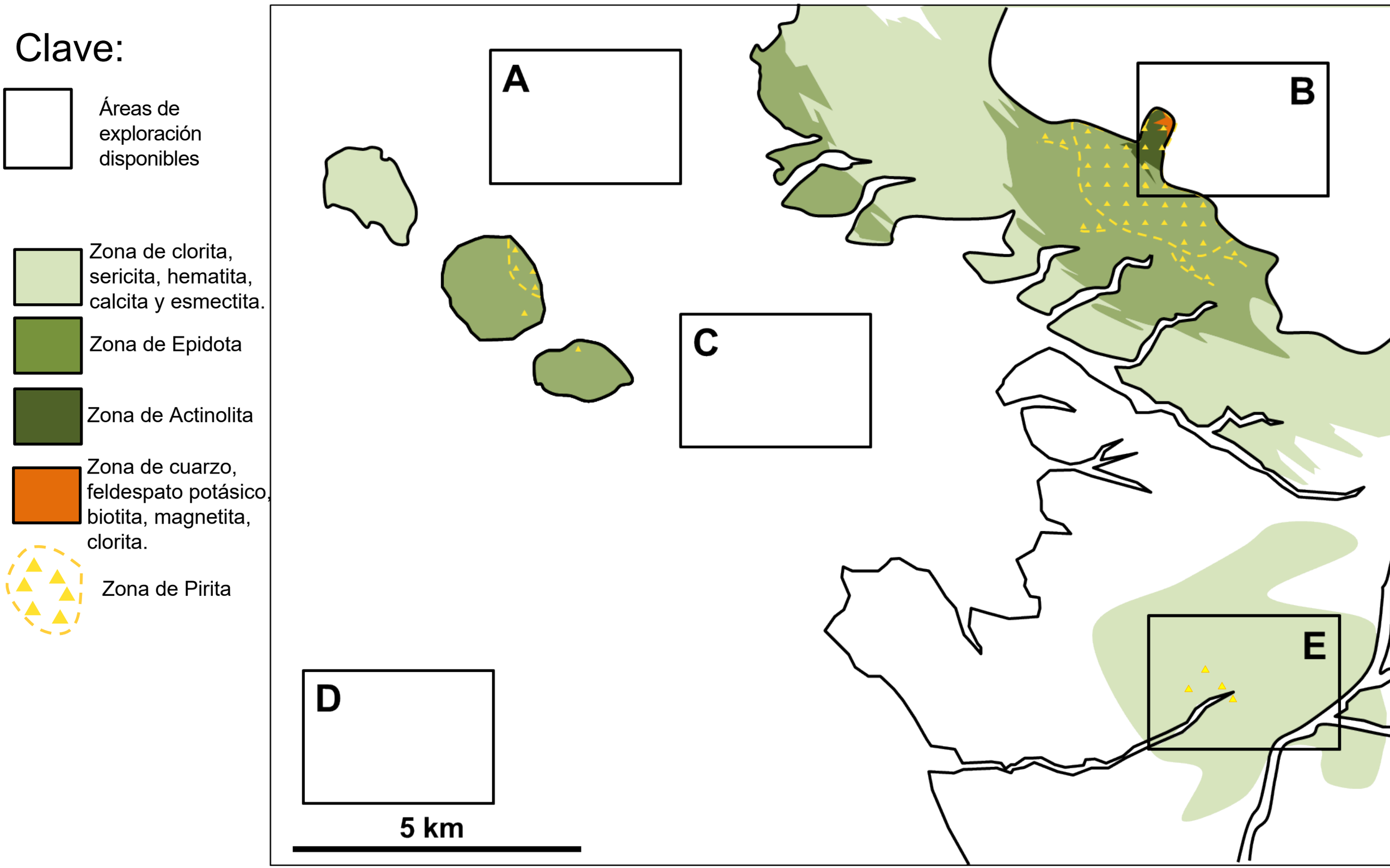


Figura. 5 Estudio de Prospección Magnética

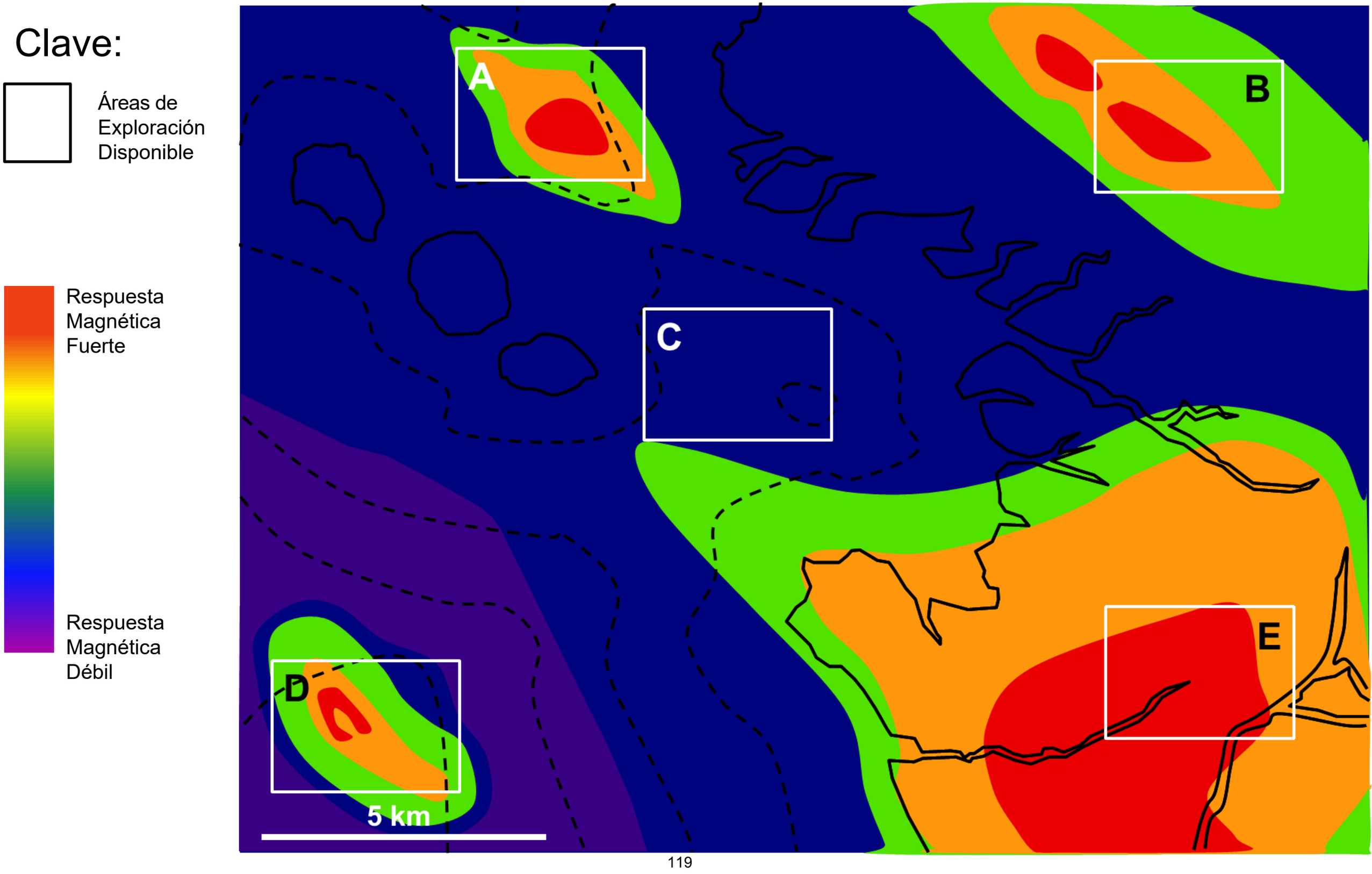
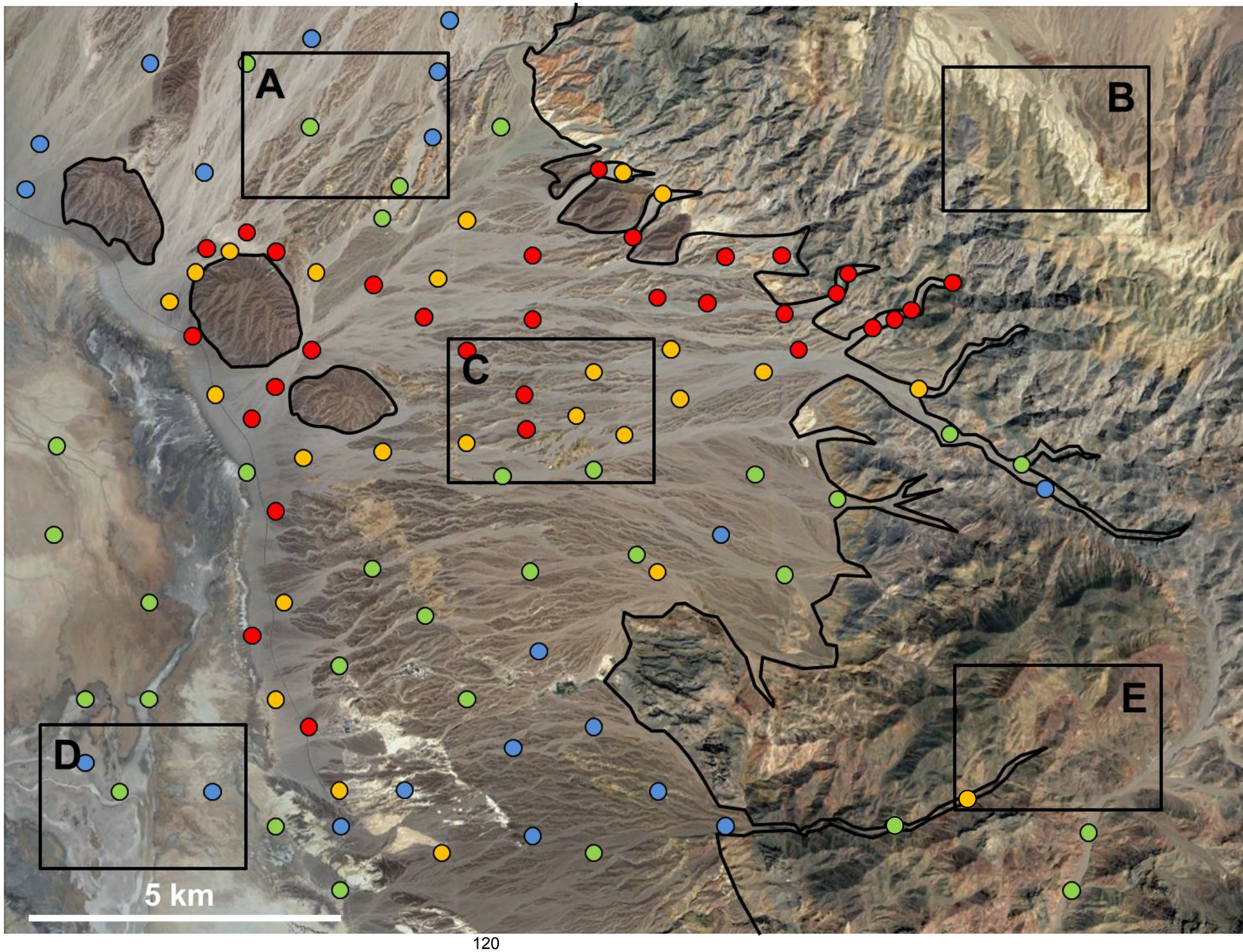


Figura 6. Mineralogía de los sedimentos fluviales

Clave:

Áreas de exploración disponible

Abundancia de pirita

- Concentración alta
- Concentración moderada
- Concentración baja
- No se observa