

ESTUDIO GEOLOGICO SOBRE EL MINERAL DE PACHUCA

POR EL INGENIERO MANUEL SANTILLAN

(Concluye)

ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO

La mayor parte de los valores en las zonas bonancibles de las vetas, proviene de minerales hipógenos (primarios); sin embargo, ha habido algún enriquecimiento secundario que ha incrementado las leyes de los minerales en varias porciones de las vetas. Para hacer esta deducción se han tenido en cuenta: 1º, las observaciones de llenamiento de los criaderos; 2º, algunos estudios al microscopio de ejemplares representativos de las distintas clases de asociaciones minerales en diferentes niveles, y 3º, la interpretación de las relaciones de los minerales entre sí, para juzgar del orden en que se depositaron. Se ha analizado también la textura de las muestras representativas del llenamiento y las alteraciones de los minerales.

De los pocos estudios mineragráficos que se han hecho sobre algunos minerales de las vetas de este distrito, hemos tomado los datos que se exponen a continuación.

DESCRIPCION MICROSCOPICA DE LOS MINERALES Y SUS RELACIONES MUTUAS

Esfalerita.—Este mineral ha sido indentificado en muchos de los ejemplares escogidos. Generalmente aparece como masas pequeñas o granos con contornos irregulares. Algunas veces se observan pequeñas manchas de calcopirita empañadas, como si fueran residuos de reemplazamiento, de calcopirita por esfalerita. Se han notado frecuentemente contornos mutuos de la esfalerita con la galena y la argentita.

Pirita.—Este mineral se presenta a menudo como pequeños cubos, pero más generalmente muestra contornos irregulares. Las relaciones de textura demuestran claramente que comenzó a formarse antes que cualquier otro de los sulfuros.

Galena.—Se presenta como agregados irregulares y también en forma de granos pequeños. En algunos de los ejemplares es uno de los constituyentes de mayor importancia y en otros desempeña un papel secundario. A veces presenta contornos mutuos con la calcopirita, esfalerita, argentita y cuarzo.

Calcopirita.—Comúnmente es un constituyente de menor importancia, excepto en pocos ejemplares. Sus relaciones con la esfalerita muestran que en muchos casos ha sido reemplazada por ese mineral.

Argentita.—Es un mineral muy persistente en los ejemplares, aunque aparece en pequeñas cantidades y en granos de tamaño muy pequeño. Debe hacerse notar que comúnmente ocurre asociado con cuarzo, teniendo aristas bien definidas y en granos más o menos equidimensionales; algunas veces éstos son triangulares o en forma de gancho. Cuando está adyacente a la esfalerita o a la galena, los contornos son lisos y a menudo son ondulados.

La argentita se ha encontrado reemplazada por covelita supergénica en forma de varillas delgadas, y en otros casos por plata nativa también supergénica; pero estos reemplazamientos se observan rara vez.

En algún ejemplar se ha observado que la argentita reemplaza a los otros sulfuros con una textura claramente supergénica.

Covelita.—Es un mineral extremadamente subordinado que reemplaza a la calcopirita y rara vez a la argentita o algunos de los otros sulfuros. En tales posiciones sigue los contornos minerales y los planos de cruce de una manera supergénica definida. Algunas veces está asociado con limonita.

Esta textura de reemplazamiento claramente supergénica contrasta notablemente con los detalles de textura que generalmente revela la argentita en esos minerales.

Colcocita.—Esta es muy rara y ocupa posiciones comparables con las de la covelita.

Limonita.—Aparece en las superficies pulidas como un polvo terroso, algunas veces diseminado en cuarzo, pero más comúnmente a lo largo de fracturas, en agregados botroidales y como manchas irregulares, algunas veces con contornos rectos. Es claramente de origen secundario y algunas veces reemplaza a la covelita.

Manganita.—Este mineral es muy prominente en algunos ejemplares de color negro, pero falta en otros muchos. Ocurre como agregado musgoso que al ser visto con fuerte amplificación revela estar formado por cristales prismáticos cortos.

En algunos ejemplares aparece la manganita asociada con un

mineral blanco que llena pequeñas venillas y parece muy semejante a la manganita, excepto en que no muestra la forma cristalina. Sus reacciones microquímicas no concuerdan con las de la manganita o de la plata nativa (otro mineral con el que se asemeja en apariencia y en ciertas reacciones químicas). Debe hacerse notar que en muchos de esos ejemplares la ley de plata es alta, mientras que los minerales argentíferos son escasos o faltan. Puede ser que este sea un mineral argento-manganesífero o que la plata nativa esté asociada en un conjunto muy fino. Sin embargo, algunos ejemplares que muestran este mineral en abundancia, dan solamente leyes bajas.

Pirolusita.—Se nota este mineral a manera de un polvo café diseminado en el cuarzo y asociado con magnetita, psilomelán y limonita.

Psilomelán.—Este mineral ocurre en los ejemplares de color oscuro en la asociación anotada antes.

Plata.—Muy poca cantidad de plata nativa se ha identificado con certidumbre; sin embargo, en algún ejemplar claramente reemplazaba a la argentita.

Cuarzo.—Se presenta como el constituyente dominante de la matriz. Como se ha hecho notar anteriormente, aparece en dos estados de generación.

Calcita.—Comúnmente se encuentra muy pequeña cantidad de este mineral en la mayor parte de los ejemplares que se han examinado.

El orden de separación de los minerales parece ser como sigue:

Hipógenos (primarios)

Supergenéticos (secundarios)

- Pirita
- Cuarzo
- Calcopirita
- Esfalerita
- Galena
- Argentita
- Plata nativa
- Calcocita
- Covelita
- Limonita
- Manganita
- Pirolusita
- Psilomelán
- Crisocola.

Sus relaciones mutuas no están determinadas.

De acuerdo con los datos expuestos hasta aquí, las razones, en pro y en contra, que pueden aducirse sobre el papel que el enriquecimiento secundario pudiera haber desempeñado en determinadas zonas de las vetas, son las siguientes: En pro:

Primera. La presencia de manganeso secundario y óxidos de fierro en muchos lugares donde el mineral acusa alta ley. Además, al hablar de la manganita, se hizo notar la presencia de un mineral argentífero secundario, en cantidades de consideración. Sin embargo, la argentita primaria comúnmente también está presente y puede haber contribuído para aumentar los valores más de lo que revelan al microscopio las superficies pulidas.

Segunda. Se ha dado el caso de observar una masa de argentita en una cavidad, lo que sugiere su origen secundario.

Tercera. En algunos ejemplares de alta ley se ha observado argentita con una textura marcadamente supergénica.

Cuarta. Se han encontrado ejemplares en los que la plata nativa penetra y bordea claramente a la argentita.

Quinta. Se ha observado el caso en que unos granos de argentita fueron estirados a lo largo de una fractura manchada con óxido de fierro.

En contra:

Primera. Los cristales de argentita muestran contornos lisos con los de galena, indicando con esto que los dos minerales son de formación contemporánea. Ahora bien, como la posición de la galena en algunas geodas demuestra que los cristales de este mineral han continuado formándose posteriormente a los de cuarzo, resulta que la formación de la argentita no es muy posterior a la de los cristales de cuarzo en las geodas.

Segunda. La argentita muestra a menudo contornos mutuos con la esfalerita, y este último mineral es claramente primario.

Tercera. El ataque químico de la argentita manifiesta que en algunos ejemplares es granular.

Cuarta. La argentita en granos equidimensionales se encuentra muy a menudo en cuarzo, en lugar de aparecer en los bordes de algunos minerales y en los planos de crucero, los que usualmente son los sitios del depósito secundario. En cambio, en esos lugares sí se encuentra covelita secundaria.

Quinta. El hecho de que la argentita sea reemplazada por covelita y ésta a su vez por limonita, demuestra que la formación de argentita es muy anterior al depósito supergénico que hubo en esos minerales.

Sexta. El escaso enriquecimiento en contenido de cobre por medio de la covelita y de la calcocita, prueba claramente que el enriquecimiento supergénico no fue un proceso importante para aumentar las leyes del llenamiento mineral.

Tales razones en pro y en contra del enriquecimiento secundario, confirman las ideas ya expuestas, de que este proceso no ha sido importante en las vetas de Pachuca y que la mayor parte de los valores de las minas bonancibles provienen de los minerales de origen primario.

EDAD DE LA MINERALIZACION

No es fácil definir la edad del período mineralizador, porque no se tienen datos seguros que puedan servir de base. Sin embargo, ya en otros lugares hemos hecho notar la estrecha relación que existe entre las soluciones mineralizantes y los magmas riolíticos, de tal manera que hemos supuesto que dichas soluciones aparecieron durante o poco después de las efusiones riolíticas y antes de las emisiones basálticas. Ahora bien, como la serie de rocas riolíticas apareció con algún intervalo después que la serie andesítica, y esta última apareció probablemente durante el período Mioceno, resulta también probable que el período mineralizador haya sido durante o al final del Plioceno. Después de formadas las vetas dentro de las fracturas y fallas existentes, se desarrolló un proceso erosivo de importancia que dio por resultado el desgaste de la "cabeza" de las vetas en varios lugares, y sobre esta superficie desgastada se derramaron las corrientes basálticas. Posteriormente a las emisiones basálticas, los movimientos tectónicos fueron ya de escasa importancia y no se han encontrado ningunos indicios de mineralización subsecuentes a la aparición de esas rocas basálticas.

Control del depósito mineral.—Los factores que afectan la existencia de criaderos minerales en el Mineral de Pachuca son varios y su importancia es variable. Generalmente no es un solo factor el determinante, razón por la que procuraremos analizar las causas que a nuestro juicio son las principales.

1ª Es natural que dentro del área en estudio haya algunas zonas que fueron afectadas por las soluciones mineralizantes y otras no; esto ha sido corroborado por las obras de exploración que se han ejecutado desde hace muchos años. Los conocimientos geológicos no han llegado aún a tal grado que se puedan fijar los lugares profundos por donde vinieron esas soluciones. Solamente se puede presumir que por determinados lugares circularon dichas soluciones, pero de antemano no se puede predecir que en tal zona haya habido emanaciones que acarrearán minerales útiles hasta cerca de la superficie. De manera que este es uno de los factores más difíciles de precisar para guiar las exploraciones.

2ª La presencia de fracturas o fallas anteriores al período mineralizador, es un factor algo más accesible para poder juzgar de la posibilidad que hay en algunas zonas para encontrar fracturas mineraliza-

das. En efecto, puesto que tanto las fracturas como las fallas ofrecen caminos de fácil circulación para las soluciones mineralizantes, y como la mayor parte de las fracturas y fallas de importancia que atraviesan la serie andesítica son anteriores a la época en que aparecieron las soluciones termominerales ascendentes, es natural que todas estas líneas estructurales sean consideradas como indicios favorables para guiar las exploraciones, aun cuando la porción fracturada o fallada que se descubra no acuse ningunos valores en el lugar donde se observe.

3ª La profundidad del lugar en relación con la superficie que existía en la época en que se verificó la avenida de las soluciones ascendentes, es otro factor de importancia que afecta la precipitación de los minerales. Si a esto se agrega el hecho de que posteriormente al depósito mineral, la superficie ha sido desgastada, resulta que es indispensable conocer la geología detallada de esta región minera, para juzgar de la expectativa que ofrezca cualquiera fractura mineralizada que se encuentre.

Es indudable que el depósito de los minerales útiles se verificó dentro de ciertos límites, principiando y terminando a determinadas profundidades, respectivamente, en que el equilibrio químico de las soluciones no pudo mantenerse por las nuevas condiciones físico-químicas del medio. Por esta causa es variable la profundidad costeable hasta la que ha llegado la explotación en las diferentes vetas y también por ello hay zonas u horizontes litológicos que estaban a tal altura de los centros magmáticos durante la época de mineralización, que las soluciones mineralizantes no tuvieron ya presión suficiente para llegar hasta allí con su carga mineral.

Por estas causas que acabamos de anotar, resulta de mucha importancia poder localizar la superficie de contacto entre las series andesíticas y riolíticas, porque la posición de dicha superficie dará idea de la profundidad que tenía el lugar que se estudia, en la época de mineralización.

4ª La distribución de las zonas o clavos bonancibles de las vetas no ha sido producida de una manera casual, sino que obedece a varios factores, siendo uno de los más influyentes la estructura que afecta cada provincia litológica, pues se ha podido comprobar y casi es una regla, que en la intersección de las fracturas aumenta la mineralización y mejoran los valores. De manera que el conocimiento claro de los sistemas de fracturas y fallas en cada zona, es fundamental para guiar las exploraciones.

5ª Desde hace mucho tiempo algunos de los geólogos que han estudiado este Mineral y aun entre los que actualmente trabajan en él se han preocupado por investigar las relaciones que pueda haber entre la distribución de las porciones ricas de las vetas y la naturaleza de las rocas encajonantes.

La composición mineralógica de las rocas, o mejor dicho, los elementos químicos de que dispone cada roca para favorecer la precipitación de los minerales que forman el llenamiento de las vetas, indudablemente que deben tenerse en consideración para medir la influencia que cada tipo litológico pueda desempeñar en dicha precipitación, pues quizá un estado de basidez en las rocas favorezca la precipitación, mineral en algunos lugares más que en otros. Pero como en la región de Pachuca el magma andesítico tuvo oscilaciones de poca importancia, las diferencias en la composición mineralógica de las rocas no son de consideración para que tengan una influencia sensible en la localización de las porciones costeadas de las vetas. En cambio, la textura y demás propiedades físicas de las rocas sí han tenido una influencia más notable, puesto que las zonas de fracturamiento están más bien definidas y tienen mayor amplitud cuando atraviesan rocas de tipo vitrio o ligeramente porfirítico, que cuando cruzan rocas de tipo afanítico, esto es, las fracturas no se producen con la misma facilidad en los diferentes tipos de rocas. Por lo tanto, es natural que en las zonas donde haya mayor fracturamiento y las fracturas estén mejor definidas, habrá mayores probabilidades de encontrar algunas vetas de importancia, puesto que por allí hubo mayor facilidad para la circulación de las soluciones. Las investigaciones minerográficas que se hagan para estudiar la paragénesis de los minerales, sin duda que ayudará para aclarar esta idea.

Ya hemos hecho notar en otro lugar que tanto macroscópicamente como microscópicamente es muy difícil a veces distinguir diferentes tipos de andesitas, y es por esto que no pueden establecerse términos de comparación para decir que tales o cuales andesitas son favorables para encontrar dentro de ellas porciones bien mineralizadas de las vetas y que otros tipos de andesitas no son favorables. Sin embargo, algunas alteraciones en estas rocas, tales como la silicificación y la propilitización, sí pueden ser una guía para la localización de las partes mineralizadas, pues se ha observado que la andesita que pudiéramos llamar "normal" o sin alteración alguna, está generalmente lejos de las partes mineralizadas, y que la andesita alterada por los fenómenos de silicificación o propilitización está cerca o dentro de las zonas bien mineralizadas de las vetas.

En el capítulo relativo a litología no hemos hecho referencia a las llamadas "andesitas antiguas" y "andesitas modernas", porque no estamos de acuerdo con esta división. Menos podemos estar conformes con la idea emitida por algunos geólogos de que las "andesitas antiguas" sean las "favorables" en lo que respecta a la distribución de los valores en las vetas, y que las "andesitas modernas" sean las "desfavorables".

CONCLUSIONES GENERALES

Resumiendo las ideas expuestas hasta aquí y teniendo en cuenta los principios fundamentales que rigen la formación de los criaderos minerales argentíferos en forma de vetas, se puede decir lo siguiente:

El Mineral de Pachuca ha sido explorado hasta la fecha y especialmente en los últimos 10 años en una escala considerable, de tal manera que los criaderos minerales vírgenes que pudieran encontrarse en el futuro, dentro del perímetro correspondiente a este distrito minero, sólo serán algunas vetas "ciegas", esto es, que no afloran a la superficie, y otras con crestones visibles, pero de escasa potencia y mineralización, las que contribuirán en pequeña proporción a aumentar las reservas minerales que allí existen actualmente, pues esas vetas corresponden generalmente a fracturas mineralizadas de menor desarrollo y potencia que las principales que se han explotado.

La vida de la región de Pachuca depende más de la intensidad con que se exploten los criaderos ya conocidos, que del número de vetas nuevas que sea posible encontrar.

La expectativa que ofrecen a la profundidad las vetas reconocidas hasta ahora, es nula, pues aproximadamente abajo de 525 ó 550 metros de profundidad, o mejor dicho, abajo de la cota 2,100 metros sobre el nivel del mar, generalmente no se encuentran ya valores costeadables, porque aun cuando las fracturas continúen con llenamiento cuarzoso, en ocasiones potente, la mineralización es escasa y pobre.

Los valores en las zonas bonancibles de las vetas provienen principalmente de los minerales de origen primario, por lo que la expectativa de las vetas hacia la profundidad no debe basarse en el enriquecimiento secundario.

Al hacer las exploraciones deben tenerse presentes varios factores que pueden afectar la existencia de porciones mineralizadas, tales como:

Que la zona por explorar haya sido afectada por soluciones mineralizantes, aun cuando ya se ha dicho en otro lugar que este no es un dato fácil de obtener. Sin embargo, el estado propilítico o de silicificación de las rocas puede servir de guía a este respecto en muchos casos.

Que existan algunas fracturas o fallas y que éstas sean anteriores al período mineralizador, pues dada la génesis de estos criaderos minerales, cualquiera de estas líneas estructurales encierra la posibilidad de conducir a una veta importante.

Que la zona de exploración esté en formaciones geológicas cuya posición quede incluida dentro de los límites posibles de precipitación

mineral (dentro de este distrito), pues según se ha hecho notar en algunos párrafos de este estudio, la experiencia y la observación han demostrado que abajo de ciertos horizontes geológicos y arriba de otros no hubo precipitación mineral de las soluciones termominerales ascendentes, concordantemente con las condiciones físico-químicas de dichas soluciones y del medio que las rodeaba.

Se debe procurar conocer claramente las características de las líneas estructurales de la zona en exploración, porque la experiencia ha demostrado aquí que generalmente se encuentran porciones enriquecidas en los lugares donde se cruzan distintos sistemas de fracturas, así como que las vetas que tienen mayor echado son más ricas que las "recostadas", pues aun en una misma veta se ha observado que los valores disminuyen cuando el echado varía haciéndose menor.

No se pueden establecer ningunas relaciones definidas entre las porciones bonancibles del llenamiento de las vetas y los diferentes tipos de rocas encajonantes, pues los cambios en textura y composición mineralógica que se verifican en las distintas clases de andesitas, son tan graduales, que muchas veces es difícil distinguir, aun microscópicamente, las andesitas de los diferentes horizontes geológicos. Solamente las alteraciones producidas en las rocas por las soluciones termominerales permiten establecer diferencias apreciables en las rocas, clasificándolas macroscópicamente como andesitas normales y andesitas alteradas (ya sea por silicificación o propilitización), y estas últimas rocas sí tienen relaciones estrechas con las partes bien mineralizadas de las vetas.

POSIBILIDADES DE ALGUNAS ZONAS

El área llamada comúnmente Sierra de Cubitos, que comprende los cerros de Cubitos, de Las Lajas, El Zopilote y Mesa Saucillo, está cruzada en su parte norte por algunas fracturas con llenamiento cuarzoso, las que han sido reconocidas superficialmente y se trata de explorarlas a mayor profundidad. El éxito de esa exploración es dudoso si se tiene en cuenta que las fracturas no son de importancia, que su mineralización es pobre, que las rocas encajonantes están alteradas principalmente por silicificación, debido a la proximidad de focos de emisión riolítica, pero que estas soluciones silicosas no acarrearon valores de importancia, como ha quedado demostrado en varios lugares del distrito; y que la propilitización en las rocas es escasa. Además, las vetas de esta zona tendrán que ser de poca potencia, ya que el estudio de la geología estructural de la región indica que aquí los movimientos fueron de menor importancia, y la expectativa que esas vetas puedan tener no es halagadora, porque la observación del terreno y los datos obtenidos hasta hoy, indican que las soluciones

mineralizantes que afectaron esta zona no fueron de importancia ni en cantidad ni en calidad. Y, por último, las formaciones que afloran en la parte norte no son posteriores al período mineralizador, para que pudiera pensarse en la posibilidad de que las vetas hubieran quedado ocultas por otras corrientes de rocas ígneas.

En la porción que comprende el cerro Barrio, la diversidad de rocas que lo forman indican su conexión con los centros magmáticos y por esto se cree generalmente que es posible encontrar algunas vetas de importancia dentro de esta área; sin embargo, las mismas razones expuestas al tratar de la sierra de Cubitos, pueden aplicarse en este caso para dudar de la hipótesis anterior.

La zona comprendida entre los cerros de Pachuquilla y del Escorpión es bastante extensa y se halla cubierta en su mayor parte por rocas riolíticas, las que a su vez sirven de base a rocas basálticas en varios lugares. Dentro de esta zona hay algunas fracturas cuyo llenamiento está constituido principalmente por cuarzo y pirita, y aun existen algunos trabajos de exploración abandonados. Como esta zona ha sido un centro importante de actividad volcánica riolítica, dentro de ella hay focos de emisión en forma de cuellos volcánicos rellenos con brechas volcánicas y aun fracturas con brechas de fricción. Tanto las brechas volcánicas como las de fricción contienen numerosos espacios vacíos, y como hay la posibilidad de que éstos tuvieron alguna comunicación con los centros magmáticos, algunos geólogos piensan que en los lugares ocupados por esas brechas se encuentren criaderos minerales explotables; sin embargo, esta posibilidad no tiene gran interés porque la expectativa de esos criaderos no puede ser halagadora, fundándose en las razones siguientes: 1ª Dentro de los macizos riolíticos, tanto efusivos como intrusivos, no se ha encontrado más que una mineralización escasa, diseminada y pobre. 2ª En las porciones ocupadas por rocas riolíticas no se observan zonas importantes de fracturamiento que pudieran servir para dar paso a las soluciones mineralizantes. 3ª Las soluciones mineralizantes que acompañaron al magma riolítico, siguieron naturalmente los caminos de fácil circulación que les ofrecían los sistemas de fracturas formados ya dentro de las andesitas, las que quedan distribuidas al norte de esta zona. 4ª En caso de existir estos criaderos, su mineralización será superficial, puesto que los espacios ocupados por estas brechas no pueden tener gran profundidad, dado su modo de formación.

El área comprendida entre Pachuca y El Chico debe ser explorada porque es posible que dentro de ella se encuentren algunos criaderos minerales cuya explotación sea costeable, basándose en las consideraciones siguientes. 1ª En la región de El Chico existen horizontes litológicos que se corresponden con los de Pachuca, de manera que en la porción intermedia deberán encontrarse también esos horizontes. 2ª Los mismos movimientos que produjeron los sistemas de frac-

turas en Pachuca y en El Chico pueden haber formado otros sistemas de fracturas en el área intermedia. 3ª En el extremo norte del distrito de Pachuca hay varias intrusiones riolíticas y es muy probable que estas intrusiones se continúen más al norte y que hayan sido acompañadas por soluciones mineralizantes, las que formaron vetas en las mismas condiciones que en los dos distritos mencionados. 4ª Las formaciones geológicas que cubren esta zona no revelan la presencia de fracturas mineralizadas de importancia, pero es posible que esas formaciones sean posteriores al período mineralizador y, por consiguiente, que estén cubiertos los crestones de los criaderos minerales ya formados.

INVESTIGACIONES FUTURAS

Estas formaciones geológicas que probablemente están cubriendo las vetas en el área intermedia a que me vengo refiriendo, están constituidas principalmente por dacitas y andesitas, y ocupan otras porciones del Mineral de Pachuca, pero sus relaciones de posición con los otros horizontes litológicos y su edad relativa no están aún bien estudiadas, de manera que no se sabe con certeza si fueron anteriores o posteriores al período mineralizador. Este problema por investigar es de importancia, toda vez que si estas formaciones geológicas constituyen una cubierta que fue posterior a la época en que se produjo la mineralización, es interesante definir la superficie de contacto entre estas formaciones y las subyacentes, para saber hasta dónde puede llegar la explotación de las vetas en algunas zonas.

Este problema, así como el estudio paragenético de los minerales que forman el llenamiento de las vetas, la relación de las porciones bien mineralizadas de los criaderos con las rocas encajonantes, y otros varios, son problemas que tienen interés no sólo desde el punto de vista especulativo, sino en el terreno de la aplicación, y por esto convendría abordarlos con entusiasmo para tratar de resolverlos definitivamente.

OTROS DISTRITOS MINEROS SEMEJANTES

Dentro del territorio de la República existen muchos criaderos minerales distribuidos principalmente a lo largo de la Sierra Madre Occidental, que tienen puntos de semejanza muy marcados con los de la región de Pachuca, tales como: la naturaleza de las rocas encajonantes, las alteraciones de éstas, la relación de los criaderos con algunas rocas intrusivas, la orientación de los sistemas de fracturas, la localización de las zonas bonancibles, la clase de minerales que forman el llenamiento, la profundidad de la mineralización costea-ble, etc., etc. Entre estos criaderos se pueden citar los que existen en Chí-

nipas, Chih.; Topia, Dgo.; Hostotipaquillo y Etzatlán, en Jalisco; El Zopilote, en Nayarit; San Nicolás del Oro, en Guerrero; Tepenené, Capula y Santa Rosa, en el Estado de Hidalgo, y otros muchos.

En otros países existen también criaderos de importancia que son comparables con los de Pachuca, y entre ellos se pueden mencionar los del distrito minero de Tonopah, Nevada, E. U. A., que se asemejan por el carácter y edad de las rocas encajonantes (andesitas del período Mioceno); por la naturaleza de las alteraciones de las rocas cerca de las vetas (silicificación y propilitización); por los caracteres estructurales de las vetas, que forman grupos convergentes y divergentes, por el carácter general de los minerales que forman la mena y la matriz, tanto en la zona de oxidación como en la de los sulfuros primarios, aunque en Pachuca no se ha encontrado adularia en la matriz y seleniuros en la mena; pero, en cambio, en Pachuca se ha encontrado silicato de manganeso a la profundidad, y en Tonopah no se ha descubierto este mineral. Además de los puntos de semejanza anteriores, se puede citar, entre otros, la posición de las porciones bonancibles, que parecen estar colocadas en la intersección de las fracturas transversales con la principal.

La famosa veta Comstock puede catalogarse también entre los criaderos similares, pues arma en rocas eruptivas terciarias, principalmente andesitas, y se ha formado a lo largo de una falla que tiene un desplazamiento máximo de mil metros. Se conoce en una longitud mayor de 6 kilómetros, ramaleándose y desapareciendo en ambos extremos. Las formaciones geológicas que la rodean están representadas en el orden de su sucesión por andesitas, dacitas, riolitas y basaltos. Las andesitas son de grano grueso en la profundidad, pasando por proceso de diferenciación a dioritas y diabasas.

Cerca de la veta y hasta cierta distancia, la roca encajonante (principalmente andesita) está extremadamente descompuesta. La hornblenda, la augita y la biotita se alternan a clorita, pirita, epidota, etc.; el feldespato se transforma en cuarzo y en un agregado blanco indeterminado. Esta andesita alterada es la famosa propilita. El basalto, que es la roca representativa de las últimas emisiones de rocas ígneas en este distrito minero, no ha sido alterada de la misma manera que las andesitas.

El llenamiento principal de la veta Comstock está constituido por cuarzo, del que algunas porciones contienen leyes muy altas de plata y oro, mientras que el resto tiene escasos valores. La calcita se presenta en menor cantidad que el cuarzo y generalmente aparece en una proporción insignificante.

El cuarzo azulado contiene argentita diseminada, la que forma el principal mineral de la mena y se encuentra acompañada por oro,

probablemente libre. Se han encontrado también pequeñas bolsas que contienen estefanita, polibasita y pirargirita.

En las porciones bonancibles, cerca de la superficie, se encuentran cloruros y plata nativa. Hacia la profundidad frecuentemente aparecen grandes cantidades de galena, esfalerita, etc. La piritita ocurre abundantemente, tanto en el llenamiento como en la roca encajonante alterada.

Las partes bonancibles representan la parte más pequeña de la veta.

Como estos ejemplos, podrían citarse otros muchos no sólo de criaderos en los Estados Unidos, sino en Europa, como los de Schemnitz, Nagygag y otros.