

LA GEOLOGIA Y GENESIS DEL YACIMIENTO FERRIFERO DE ZAPLA

MINA « 9 DE OCTUBRE »

(DEPARTAMENTO DE LA CAPITAL-PROVINCIA DE JUJUY)

Por VICTORIO ANGELELLI *

La fracción del yacimiento de Zapla que se va a considerar queda situada al sudeste de la ciudad de Jujuy, en la sierra homónima, departamento de la Capital, y comprende la mina concedida « 9 de Octubre » (7 pertenencias de 600×400 m).

Está ubicada en la pendiente occidental de la sierra de Zapla, entre los cerros del Portezuelo y Centinela. Sus afloramientos se pueden seguir casi sin solución de continuidad desde la parte baja del Abra de los Tomates, por el sur, hasta el mismo arroyo Pantanillos, por el norte, amoldándose obviamente a los accidentes del relieve; se hallan entre 1.442 y 1.660 m sobre el nivel del mar, lo que señala una diferencia de altura de 218 m, en un recorrido de 2.150 m.

Dista 35,5 km de Jujuy: 25,5 siguiendo la ruta 56 (camino Jujuy-San Pedro) hasta Puerta de Salas, y de allí 10 km hasta el campamento, sito en la zona Abra de los Tomates, que se halla a 500 m en línea recta del tramo austral del yacimiento. De dicha zona, Palpalá — estación ferroviaria y asiento del alto horno — se encuentra a sólo 12 km al oeste, en línea recta (fig. 1).

La sierra de Zapla, de rumbo aproximado N-S, constituye una unidad geográfica perteneciente al sistema de las sierras subandinas; en su pendiente occidental existen algunas elevaciones orientadas de NNO a SSE, separadas de su núcleo central por un valle longitudinal. Esta sierra, cuyos relieves máximos son los cerros Centinela, Zapla y Tomates, de 2.331, 2.156 y 1.907 m s. n. m., disminuye gradualmente de altura tanto al sur como al norte de los cerros citados, y es portadora

* Colaboró en el estudio de este yacimiento el señor Aleardo H. Zardini.

en casi toda su extensión del yacimiento hematítico-thuringítico que lleva el mismo nombre.

La topografía de la región que nos ocupa es suave, y los elementos partícipes del relieve, conjuntamente con su vegetación, realzan la hermosura de la misma; comprende elevaciones medianas y dos quebradas: la del arroyo de los Tomates y la del arroyo Pantanillos. Entre la parte

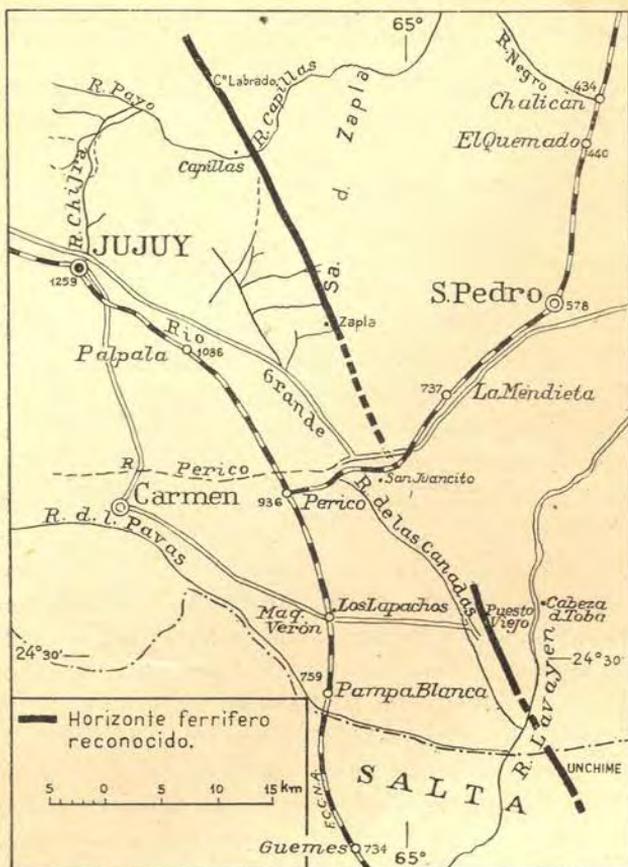


Fig. 1. — Croquis de ubicación

central y alta de la sierra y las estribaciones inmediatas que a ella se anteponen (cerros de los Cochuchos y del Aserradero), existe un relieve de erosión a modo de valle, constituido por material blando, el cual posee dos abras: la de los Tomates y la de El Mojón. Las elevaciones subsiguientes y al oeste son paralelas a aquéllas, de menor altura y rematan en el borde oriental del valle del río Grande de Jujuy.

La fracción explorada del yacimiento se halla atravesada, de este a oeste, por dos arroyos, el de los Tomates y el Pantanillos. El primero,

que limita por el norte la zona del mismo nombre, es portador de agua durante todo el año, aunque en proporciones variables; así, mientras en los meses de mayo a noviembre su caudal es reducido, en el período de noviembre a abril, durante la época de las lluvias, resulta muy caudaloso y hasta torrentoso. En los meses de sequía sus aguas se infiltran en su lecho unos 200 m aguas arriba del afloramiento ferrífero de la labor A₁₁. Constituye la única fuente permanente de abastecimiento para el campamento de dicha zona.

Más importante que dicho arroyo es el Pantanillos, por su mayor caudal y por conducir agua permanentemente en todo su lecho, aun en los meses de sequía.

I

GEOLOGÍA

Tratamos aquí únicamente la geología de la zona en cuestión, como un aporte necesario al estudio litológico de la misma, tendiente a orientarnos en los problemas geológico-genéticos, puesto que el yacimiento, dado su origen, forma parte integrante del complejo de sedimentos allí presente.

No cabe lugar a duda que, para la mejor comprensión de la geología local, hubiera sido menester establecer previamente la regional, ya que así habríamos estado en mejores condiciones para interpretar aquella, aunque tal labor no nos correspondía, aparte que nuestros deseos se vieron imposibilitados por la falta de tiempo y por la dificultad que a su realización oponía la exuberante vegetación de la región.

De la zona que nos ocupa no existe ningún estudio geológico detenido, y hasta hace poco tiempo las únicas referencias sobre la sierra de Zapla las constituían los estudios de Feruglio (*Fósiles devónicos*, 1929) y Schлагintweit (*Observaciones estratigráficas*, 1937). El primero de estos autores expone la geología de la pendiente oriental de la sierra de Zapla y presenta la sucesión estratigráfica del Terciario al Devónico, en tanto que el segundo, avezado conocedor de la geología de las sierras subandinas, enfoca el mismo problema en forma más amplia, haciendo sólo una ligera mención acerca de la constitución geológica de la de Zapla en su pendiente occidental. Más tarde él mismo, sin embargo, en su trabajo sobre La posición estratigráfica del yacimiento de hierro de Zapla y la difusión del Horizonte Glacial de Zapla en la Argentina y Bolivia, pone de relieve la existencia del Horizonte Glacial homónimo, a la vez que trata y compara en forma clara la sucesión estratigráfica de la vertiente occidental de dicha sierra, la que corresponde en todo con la establecida en su falda oriental. Este estudio, fruto de una breve inspección de la zona

del arroyo de los Tomates, como consecuencia del interés despertado por el mineral de hierro, nos ha sido obviamente de gran provecho, y el hallazgo de numerosos fósiles, los primeros encontrados en esta pendiente de la sierra, nos permite circunscribir aun más la edad de los estratos y, por ende, del yacimiento. Destacamos desde ya que los complejos de sedimentos delineados por él concuerdan en general con las observaciones practicadas por nosotros, como asimismo la identificación de las tilitas, que hemos estudiado con cierta detención.

El estudio geológico detallado de la sierra de Zapla es de sumo interés, puesto que, entre otras cosas, tendría por objeto verificar acabadamente la posición de los horizontes ferríferos en el ala oriental de la misma, como un primer paso para estudios posteriores de carácter minero. Poseemos datos vagos referentes a la presencia de mineral de hierro en la pendiente oriental de dicha sierra, y hasta el mismo doctor Schlagintweit cita en el arroyo Garrapatal areniscas muy ferruginosas en la cercanía inmediata de las tilitas. Su monografía sobre el *Horizonte Glacial de Zapla* deja entrever datos útiles para la geología económica de las sierras subandinas, pero lamentamos profundamente que en sus observaciones respecto al Horizonte Glacial no se haya detenido más en lo que denomina «areniscas ferruginosas» que es, sin duda, la capa hematítica sedimentaria que nos ocupa y que se halla en el techo de las tilitas. Este hecho es, sin embargo, comprensible, por cuanto el interés y la real importancia de la mena ferrífera en las sierras subandinas son prácticamente recientes. Con todo, creo de suma utilidad una revisión de los sitios en que dicho autor ubica las tilitas y, en particular, de aquellos en que se refiere a la presencia de «areniscas ferruginosas».

Si la existencia del Horizonte Glacial forma un elemento guía o de correlación en la estratigrafía de las sierras subandinas, no menos lo son los horizontes ferríferos, fáciles de localizar, dado el carácter de su material componente, aun partiendo de rodados existentes en arroyos y quebradas, y no cabe la menor duda que su extensión es muy vasta, si bien no siempre aprovechable como mineral ferrífero destinado a la siderurgia. He aquí, pues, un amplio campo para la geología económica, tendiente a la búsqueda racional de minas ferríferas en las sierras subandinas, sobre bases geológicas perfectamente esclarecidas.

Pero, antes de entrar a considerar en detalle la geología de la zona explorada, creemos necesario dar una idea de la estructura de la sierra de Zapla, como asimismo de su composición geológica, conforme al cuadro presentado por el doctor Schlagintweit en lo que atañe a formaciones presentes en la vertiente occidental de la misma.

Sabido es que la estructura de la sierra de Zapla corresponde a un anticlinal, compuesto en su parte central de sedimentos paleozoicos, no exentos de perturbaciones tectónicas, como ya lo han demostrado otros

geólogos y como se desprende del simple reconocimiento de los horizontes ferríferos de su ladera occidental, tanto en la zona reconocida mediante trabajos de exploración como también en la comprendida entre los arroyos Colorado y Tutimayo, situados al norte del arroyo Pantanillos. Esta estructura, que culmina en los cerros Los Tomates, Zapla y Centinela, posee en la región comprendida por estas tres elevaciones, su mayor pendiente en el ala occidental, en tanto que al norte y al sur de ellas disminuye en forma apreciable, como ser al norte y frente del cerro Labrado y en la zona de Puesto Viejo.

Y como datos comparativos con las formaciones geológicas establecidas por nosotros, presentamos a continuación los grupos indicados por el mencionado geólogo: *Schlegelweit*

- « ORD », un grupo de areniscas cuarcíticas, con poca intercalación de arcillas arenosas. Ordoviciano por litología.
- « GL », depósitos glaciales, para los cuales propongo el nombre de « Horizonte Glacial de Zapla ».
- « F », un grupo de pocas decenas de metros de espesor, de areniscas y arcillas esquistosas, grises, verdosas y coloradas. Contiene bancos de areniscas ferríferas que constituyen el yacimiento.
- « DL », un potente conjunto compuesto esencialmente por esquistos con pocas areniscas intercaladas, grupo que por analogías litológicas tomo por Devónico.
- « D₂ », un potente grupo esencialmente de areniscas con bancos relativamente gruesos y duros, con delgadas intercalaciones de esquistos. Devónico.
- « D₃ », areniscas coloradas, ferruginosas, con intercalaciones de arcillas muy arenosas. Hay bancos de areniscas con un considerable contenido de hierro, pero, por lo visto, menor que los bancos ferríferos « F ».
- « Y », « Areniscas inferiores », mal desarrolladas.
- « C », el Horizonte calcáreo-dolomítico, allí poco potente. Desaparece hacia el sur. Existe aún en « La Calera » de la hoja Palpalá, 1 : 50.000 del Instituto Geográfico Militar, pero ya lo echamos de menos en el sector de los Tomates.
- « M », Margas Multicolores.
- « T », El Terciario Subandino, abarcando también lo que corresponde a las Areniscas Superiores.

De estos grupos sólo nos detendremos en los cinco primeros, que son los existentes en la zona en consideración.

Al tratar la constitución litológica de la zona explorada, lo haremos de acuerdo con la edad de las formaciones presentes, ateniéndonos a la determinación provisoria de los fósiles hallados y a algunas sugerencias de los doctores Horacio J. Harrington y Armando F. Leanza (fig. 2).

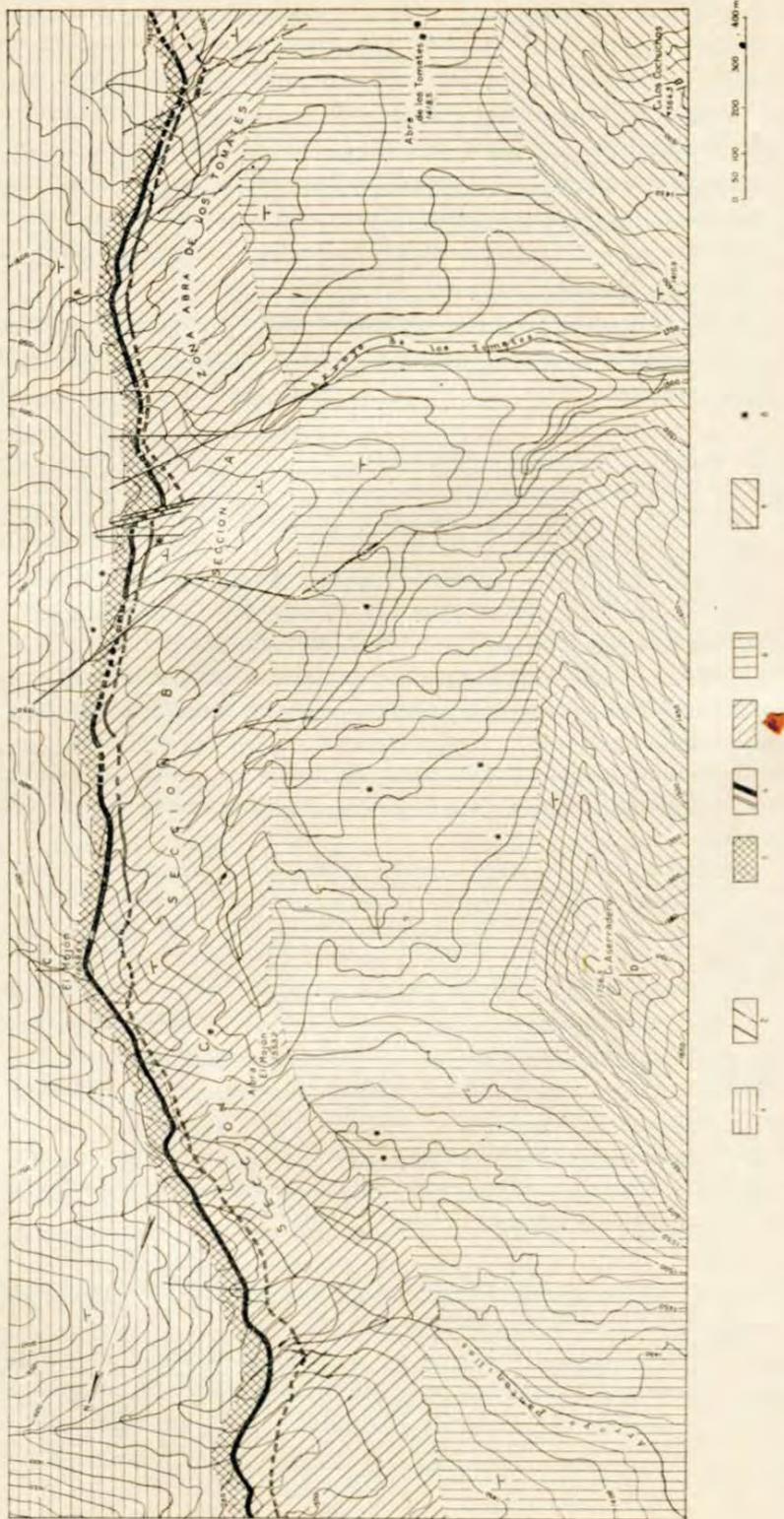


Fig. 2. — 1, arenisca cuarcítica; 3, tilita; 4, horizonte ferrífero; 5, arenisca amarillenta; 6, arenisca arcillosa clara; Godlandico; 7, arenisca clara y rosada; Devónico; 2, fallas; 8, fosiles

Ordovícico. — La parte alta y el mismo núcleo del anticlinal de Zapla están constituidos por areniscas cuarcíticas que en bancos hasta de 3 m de espesor se suceden sin intercalación alguna digna de mención, en una potencia de varios centenares de metros. Trátase de un material compacto, de grano fino, muy cementado y de un color blanco hasta ligeramente amarillento, a veces manchado por hidróxidos de hierro. Dicha arenisca, afectada por diaclasas, se muestra muy triturada en la zona volcada, a tal extremo que da la sensación de una brecha. En su parte más superior, cerca del límite de esta formación con las tilitas, existen algunos bancos delgados de arenisca menos cementada, portadora de los siguientes fósiles, hallados a raíz de la apertura del camino a lo largo del yacimiento.

Lingula sp.

Nuculites sp.

A no mucha distancia al este del horizonte ferrífero se hallan potentes capas de areniscas portadoras de *Scolithus* que continúan hasta la cercanía del Abra de Molulos, aguas arriba del arroyo de los Tomates, donde en su parte más elevada encontramos restos de trilobites no clasificables.

Gotlándico. — A diferencia de lo establecido por Schlagintweit, extendemos esta formación hasta el grupo D₂ del mismo, basándonos, conforme a lo manifestado por los doctores Harrington y Leanza, en que los trilobites hallados corresponden más bien al Gotlándico inferior y medio que al Devónico; es decir, en él se incluyen el Horizonte Glacial de Zapla, las areniscas amarillentas y las comprendidas entre éstas y el Devónico.

El techo del complejo potente de areniscas cuarcíticas lo constituye el Horizonte Glacial de Zapla. Es algo irregular en su espesor, alcanzando una potencia media total de 40 hasta 50 m, incluyendo naturalmente los bancos de areniscas, que dividen al mismo en dos fracciones. El camino lo ha puesto al descubierto en varios lugares, haciendo así factible su estudio. Las tilitas de dicho horizonte están representadas por un material grisáceo, hasta claro, en los sitios de meteorización, de naturaleza areno-arcillosa, que no presenta estratificación, salvo en algunos lugares vecinos al Horizonte principal, ferrífero. En ciertos puntos muestran disyunción esférica, tal cual lo dice Schlagintweit, y en su masa se notan rodaditos chicos de cuarzo y alguno que otro, de mayor tamaño, de una roca oscura (básica?). En la proximidad de la labor B₃ descubrimos rodados de 20 cm de diámetro, de un material eruptivo muy alterado, compuesto de cuarzo, feldespato y biotita (gra-

nito), el mismo a que se refiere el geólogo arriba citado, en otros parajes en que aflora este horizonte.

Dejamos expresa constancia de que en la masa de la tilita, al practicar el socavón (labor C_{1c}) en El Mojón, se encontró un ejemplar de *Callochonus* n. sp., bien conservado, hallazgo que, conjuntamente con la naturaleza del material glacial, nos induce a pensar que la tilita tiene origen glacimarino.

Entre los dos bancos glaciales se presentan uno o dos paquetes de areniscas hasta de 10 m de espesor cada uno, de características similares a las de arenisca ya consideradas, y en la cercanía de la labor B₃ es dable notar en ellas la presencia de « riple marks ».

Un potente conjunto de sedimentos psamíticos-areno-micáceos, predominantemente con un desarrollo de unos 700 m, separa el Horizonte Glacial de Zapla de las areniscas devónicas; en él están ubicados, en su parte basal, los horizontes ferríferos, a saber: Horizonte principal y Horizonte secundario.

El Horizonte Glacial se encuentra separado del ferrífero principal por un banco de arenisca clara a grisácea, de 0,20 a 0,80 m de potencia, la que a veces posee un aspecto conglomerádico, como ser en algunas labores altas de la zona del Abra de los Tomates. A partir de dicho banco, sobre el cual se superpone prácticamente el Horizonte ferrífero principal, se inicia con unos 220 m de espesor, un complejo de areniscas amarillentas, micáceas y de grano muy fino; en profundidad dichos sedimentos son oscuros, mostrando pasajes a material algo arcilloso y una mayor esquistosidad. Su cambio de color en superficie se debe a la destrucción de la materia orgánica contenida y a la oxidación de minerales de hierro (thuringita y piritita). A continuación damos los resultados de las observaciones microscópicas pertenecientes a dos muestras de la perforación P₂, practicadas por la doctora María E. Hermitte de Nogués:

« *Arenisca arcillosa, piritosa*. Sedimento arenoso de grano fino (0,05 mm de diámetro) constituido en su casi totalidad por granos de cuarzo de contornos irregulares, angulosos; el cemento es arcilloso. Se observan finas láminas de muscovita; la piritita es visible en zonas, formando aproximadamente el 5 % de la roca ».

« *Arenisca*. Arenisca constituida por granos de cuarzo (0,1 mm de diámetro), de forma algo redondeada, finas escamas de muscovita orientadas paralelamente y granos de clorita. El cemento es clorítico ».

En estos sedimentos hallamos un resto de coral y un graptolites no dendroideo, el primero en la vecindad de El Mojón y las segundas a unos 18 m del Horizonte ferrífero secundario, en el corte del camino correspondiente al tramo de la labor B₃, como también en la vuelta del mismo, en dirección a la labor B₃.

Sin una marcada separación, estas areniscas pasan gradualmente a otras menos consistentes, a veces muy micáceas y también muy arcillosas, de una coloración clara a ligeramente gris azulada, cuyo desarrollo hasta las areniscas devónicas asciende a unos 480 m. Ellas son fosilíferas. En su fracción baja encontramos, detrás del Abra del Mojón, nódulos areno-fluringíticos y hematíticos con impresiones de los siguientes fósiles :

Pleurotomaria (?) sp. indet.

Phacops (?) n. sp. *Saticella zepelana* H. L.

Calymene angelellii Harr. et Leanza n. sp.

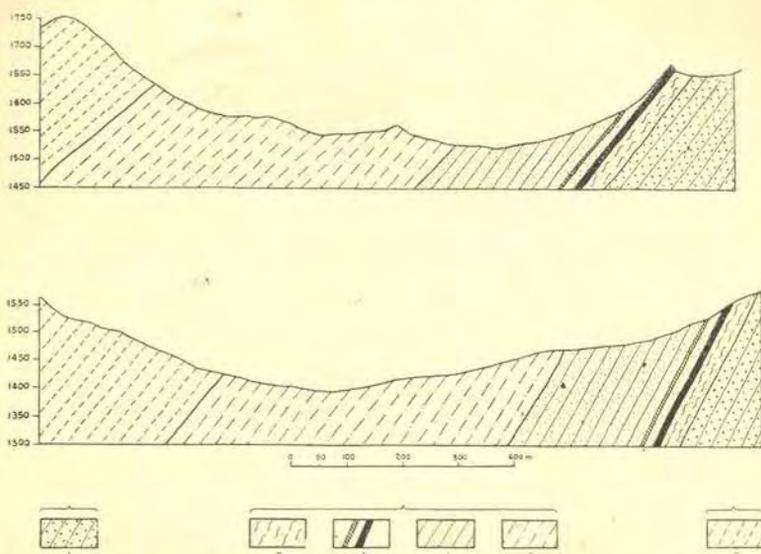


Fig. 3. — 1, arenisca cuarcítica; 2, tilita; 3, horizonte ferrífero; 4, arenisca amarillenta; 5, arenisca arcillosa clara; 6, arenisca clara rosada.

En un nivel superior al de los fósiles citados (unos 250 m) hallamos en la pendiente sur del Abra de los Tomates y en la oriental del cerro Aserradero :

Nautiloidea gen. et sp. indet.

Atrypina (?) sp. indet.

Phacopidae gen. et sp. n.

Dichos sedimentos en su techo pasan paulatinamente a areniscas más consolidadas, de grano siempre fino y blancas.

Devónico. — Representado en su parte basal por areniscas blancas y rojizas, en bancos delgados consistentes y de grano fino. En ellas no hemos encontrado fósil alguno, y constituyen los cerros de los Cochuchos y del Aserradero. La inclinación de estos estratos es menor que la de los ya tratados.

Establecida la naturaleza de los sedimentos y su edad relativa, correspondientes a una facies marina nerítica de carácter netamente silíceo, con una llamativa participación de mica, a través de todo el Gotlándico, pasaremos a considerar brevemente la tectónica de la zona investigada.

Sentada ya la estructura anticlinal de la sierra de Zapla, en cuya falda occidental se halla ubicado el yacimiento hematítico-thuringico

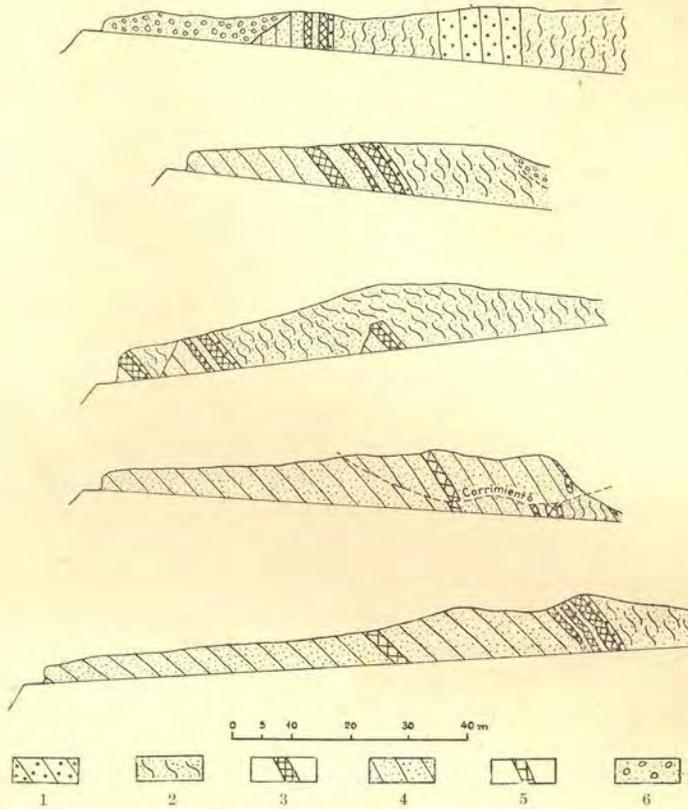


Fig. 4. — 1, arenisca cuarcítica; 2, tilita; 3, horizonte principal; 4, arenisca amarillenta; 5, horizonte secundario; 6, acarreo

homónimo y hecha una ligera mención de sus perturbaciones, diremos que en toda la longitud reconocida, a excepción de la sección A de la zona El Mojón, sur, y de la parte más austral del sector Abra de los Tomates, no se nota dislocamiento alguno que afecte al mismo.

En la zona Abra de los Tomates los estratos poseen un buzamiento de 60 a 75° O, correspondiendo el mayor al corte del arroyo del mismo nombre. En ella y en profundidad, los sedimentos ponen de relieve una ligera curvatura, un tanto concordante con la posición de las areniscas cuarcíticas de la zona.

En la zona El Mojón, sur, las capas tienen una menor inclinación (40 a 50° O), la que disminuye aun más a medida que avanzamos hacia el norte.

La sección fracturada o A, separada exprofeso a causa de su tectónica, representa un bloque de estratos volcados comprendido entre fallas que hemos localizado cerca del arroyo de los Tomates y de la iniciación de la sección B; en este último sitio hemos señalado tres fallas que siguen el curso de la quebrada o arroyo. Además de las que delimitan la zona afectada, en cuya extensión se produjo el plegamiento de los sedimentos, existen otras más, dispuestas en *échelon* con rechazos no muy considerables. Una idea más clara de lo que allí ha ocurrido podrá apreciarse en los cortes del camino presentados en figura 4, donde, entre otras cosas, se señala un pequeño corrimiento existente en el paraje de la labor B.

En el extremo austral de la zona Abra de los Tomates se observa otro tanto. En efecto, hay allí una inversión de los sedimentos motivada por una falla supuesta a lo largo del rumbo de las capas ferríferas, más o menos, y por otra también probable, pero transversal a aquélla.

II

EL YACIMIENTO

En diversas excursiones de índole minera efectuadas por el autor y el señor Aleardo Zardini, como asimismo por los doctores Luciano R. Catalano y Pascual Sgrosso, y también en una ocasión por el doctor Eduardo Truempy, se ha verificado la notable extensión de esta acumulación ferrífera sedimentaria, cuya longitud reconocida hasta la fecha, con intermitencia en su fracción austral, comprende aproximadamente 77 km, desde el cerro Labrador (sierra de las Capillas), al norte, hasta la cercanía de Güemes (Salta), al sur, sin que dichos límites especifiquen su desarrollo total.

Y si bien la magnitud del mismo es respetable en lo que a su longitud se refiere, su naturaleza, en cambio, no es constante, como ya lo manifestamos en el informe intitulado *El yacimiento hematítico-thuringítico de las sierras de Zapla y de las Capillas — Depto. de la Capital — Prov. de Jujuy, 1942*, pues en amplios trechos de sus afloramientos la ley del mineral es relativamente baja frente a su contenido en sílice, por lo menos en superficie, lo cual podemos hacer extensivo a la región comprendida entre el Abra de los Tomates hasta cerca de Güemes, exceptuando la zona de Puesto Viejo que posee un mineral muy similar al tramo Abra de los Tomates-El Mojón.

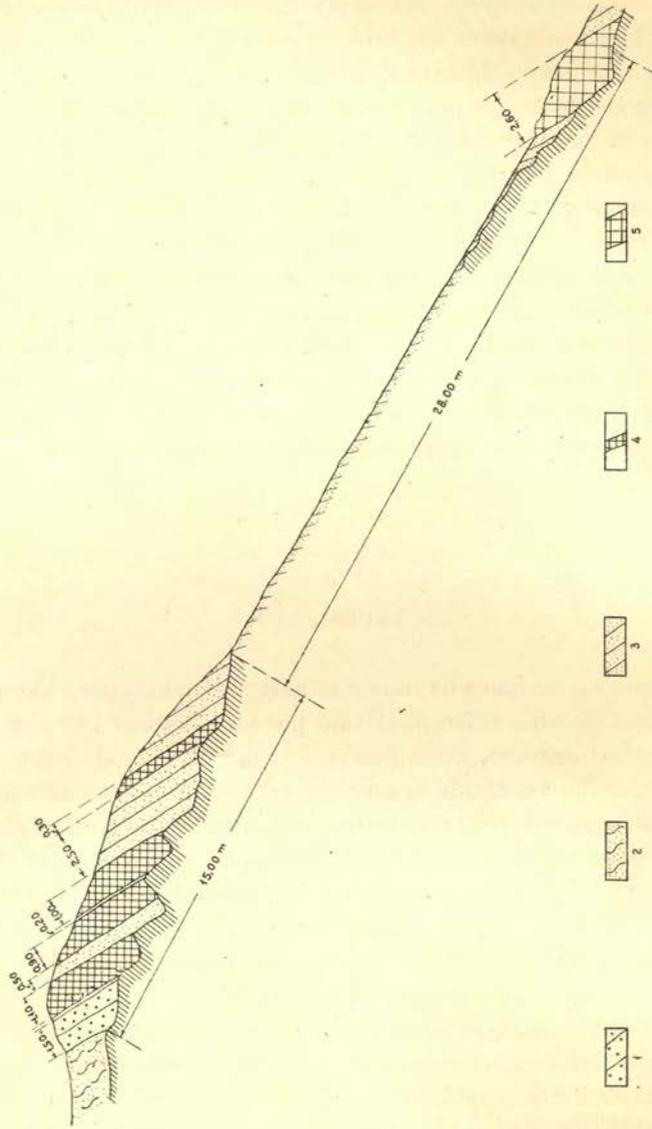


Fig. 5. — 1, arenisca ; 2, tilita ; 3, arenisca amarillenta ; 4, horizonte principal ; 5, horizonte secundario

La dirección general de los sedimentos partícipes de la región que nos ocupa es NNO-SSE, con un buzamiento general de 40 a 75° al oeste, pero en la zona fracturada su inclinación es de 23 a 85° al este.

En todo su recorrido hemos comprobado invariablemente los dos horizontes, esto es, el Horizonte principal o inferior y el Horizonte secundario o superior, denominados así por la importancia de los mismos desde el punto de vista minero y por su posición estratigráfica.

El Horizonte principal comprende hasta 4 bancos paralelos y separados por una arenisca amarillento-verdosa en superficie; los dos inferiores son los más ricos en hierro y de mayor potencia en término general, siendo por otra parte los de más factible explotación conforme a las características del yacimiento, y los designamos como banco 1° al inferior y banco 2° al superior. Los restantes, de composición más irregular, sólo se muestrearon de vez en cuando, aunque en algunos sitios acusan leyes dignas de tenerse en cuenta. Todos ellos presentan irregularidades en sus espesores, las que se hacen extensivas a la separación de los mismos (fig. 5).

Dichas variaciones de espesores, vinculadas a factores irregulares de alternancia entre la sedimentación del silicato de hierro originario y la del material areno-micáceo, hacen a menudo un tanto difícil la discriminación real de los bancos, pues como éstos suelen presentar intercalaciones, nótanse a veces dos en lugar de uno.

El espesor del Horizonte principal en los sitios de mayor potencia llega a 5,80 m en la labor B, de los cuales 3,15 m pertenecen a bancos ferríferos y 2,75 m a las areniscas. Su espesor medio lo estimamos entre 4 y 5 m, siendo la relación entre la potencia total de los bancos ferríferos y la de la arenisca muy variable.

La potencia máxima registrada en superficie para el banco 1° asciende a 2,10 m (labor A₁) y la perteneciente al banco 2° a 1,60 m (labor D₁₀) mientras que las mínimas respectivas para ambos son de 0,30 y 0,25 m en las labores D₁₀ y C₁₅ ¹.

Queda, pues, de relieve la formación irregular de los bancos ferríferos, tanto en lo que atañe a sus espesores como también a su composición, como veremos más adelante. Ellos muestran una tendencia más o menos lenticular que nunca alcanza a estrangulamiento, por lo menos en el banco 1°, y por otro lado es dable asimismo observar en los trabajos superficiales irregularidades de los espesores, motivadas por deslizamientos originados por fuerzas tectónicas, pero que no afectan mayormente a los bancos ferríferos.

¹ Las labores A, corresponden a la zona Abra de los Tomates; las B a la sección A, y las C a la sección B, de la zona El Mojón, sur; y finalmente, las D a El Mojón, norte.

La distinción de los mismos es neta en la mayoría de los casos. Empero, existen lugares que se prestan a confusión en base a la escasa separación de los bancos. Otras veces, como ha ocurrido en las perforaciones P₁₀ y P₉, no hay una marcada separación petrográfica entre los bancos ferríferos y el material de separación, por cuanto la thuringita (silicato de hierro hidratado) está presente en mayor o menor grado en toda la potencia ferrífera perforada.

Las capas portadoras de mineral de hierro afloran en casi toda la extensión reconocida, y allí donde ellas no eran visibles se las encontró debajo de una cubierta de tierra vegetal, como ser en el tramo sur de la zona Abra de los Tomates. En otros parajes se hallan debajo de una cubierta apreciable de terreno de acarreo.

Signen, pues, el contorno del relieve de erosión tanto en las partes altas como en las bajas, registrando una diferencia de altura de 218 m entre el afloramiento más alto, sito en El Mojón a 1.660 m s. n. m., y el más bajo, ubicado en el arroyo de los Tomates, a 1.442 m s. n. m.

Los bancos hematíticos se encuentran afectados por diaclasas perfectamente visibles en casi todos los trabajos, las mismas que se notan en los sedimentos de la región, especialmente en las areniscas cuarcíticas. Se trata de tres sistemas principales que dividen a la masa ferrífera en paralelepípedos más o menos regulares. También se observan líneas de separación diagonales entre los bancos, debidas a una estratificación entrecruzada (labor C₁) con delgadas intercalaciones de un material areno-micáceo.

El banco 1° tiene por piso o yacente una arenisca de grano mediano, clara, que a veces posee un carácter conglomerádico, pero entre ambas suele interponerse una delgada intercalación arenosa, amarillenta, que en ciertos lugares desplaza a la arenisca cuarcítica mencionada, con espesores de hasta 0,50 m.

El Horizonte secundario o inferior, situado entre 15 y 18 m del principal y separado de éste por una arenisca de grano fino, nos ha servido de guía en muchas ocasiones para localizar los bancos ferríferos cuando éstos estaban ocultos. Posee un espesor de 0,85 a 2,50 m y está constituido por un material areno-micáceo, ferruginoso, de color violáceo, que en su parte central revela, por lo general, un mayor contenido en hierro con valores de hasta 43 % Fe, pero al parecer sólo en cortos trechos.

III

LA MENA

La mena o el mineral de Zapla presenta un aspecto bastante homogéneo, especialmente en el banco 1º, y se asemeja a una arenisca de grano fino en lo que se refiere a su estructura. En su masa se destacan puntos brillantes (mica teñida de rojo) como asimismo puntos blancos grisáceos (cuarzo) y hasta rodaditos de este mineral, en tanto que los granos de su masa principal rojiza (hematita) son apenas individualizables a simple vista.

Tiene una coloración rojiza con algunas tonalidades, según el grado de su pureza. En el Abra de los Tomates presenta, en los trozos más puros del banco 1º, un color rojo oscuro con un ligero tinte violáceo. La mena del banco 2º, de más baja ley en término general, muestra mayor variación hasta llegar a un rojo pardusco en ciertos sitios. Por percusión o por frotación da un polvo que va del rojo vivo, en los minerales de mayor porcentaje en hierro, al pardo en los más pobres, por la participación en éstos de limonita, pero nunca adquiere la coloración rojo-sangre de la hematita de vetas.

Còmpacto como el material del banco 1º, no lo es siempre en el caso del correspondiente al 2º, debido a que los granos partícipes del mismo se hallan menos cementados. Por lo general, la mena posee bastante tenacidad, que se señala particularmente en los lugares portadores de silicato de hierro, y en ciertos puntos su masa tiene tendencia a romperse siguiendo líneas de estratificación.

Su fractura es irregular. En cuanto a la «dureza» relativa de esta roca, conforme a la escala de Mohs, la estimamos en 3,5, puesto que es mayor que la de la calcita, pero menor que la de la fluorita. Se sobreentiende que ella se refiere tan sólo a la de la masa de hematita, ya que se trata de un material heterogéneo portador de granitos y astillas de cuarzo, y desde el punto de vista de su explotación clasificamos a dicha mena como relativamente blanda de perforar.

Su densidad y porosidad. — Para establecer la densidad de la mena se efectuaron diversas determinaciones, comprobándose que las correspondientes al material molido procedente de muestras comunes, no guardaban por lo general relación con el tenor en hierro pertinente, por razones aún no esclarecidas a pesar de todas las precauciones del caso. Por otro lado, también se practicaron ensayos partiendo de trozos aislados de ambos bancos y diversas labores, los que se realizaron en un porosímetro que nos permitió además determinar la porosidad efectiva en volumen.

Con los datos así obtenidos se construyó la línea de densidad aparente — de interés a los efectos de la cubicación — en función del porcentaje en hierro, con la cual establecemos los valores a aplicar en los cálculos de capacidad de las distintas zonas estudiadas.

A continuación exponemos los contenidos en residuos insoluble y en hierro, como así también la densidad aparente respectiva :

Muestra labor	Res. Ins. %	Hierro %	Densidad
C ₃	27,4	39,4	3,41
C ₇	19,5	41,1	3,50
A ₄	20,8	46,7	3,63
B ₃	20,9	47,3	3,68
A ₃	13,9	48,7	3,75
B ₂	14,3	51,5	3,84
A ₁	10,6	53,4	3,90
B.....	9,4	55,2	3,96

El mineral en cuestión es poco poroso, como podrá apreciarse por los siguientes resultados :

Muestra	Densidad aparente	Porosidad efectiva en volumen	Densidad real	Porosidad absoluta en volumen
C ₃ -2.....	3,55	5,85	no determ.	no determ.
A ₁ -1.....	3,63	4,12	»	»
B ₂ -1.....	3,68	3,18	3,73	5,00 %
B ₃ -2.....	3,84	3,38	3,89	5,00 »
B ₁	3,96	4,12	no determ.	no determ.

Su composición mineralógica. — En primer lugar tenemos la *hematita*, que ocupa un lugar preponderante en la constitución de la mena. Se presenta en asociaciones de grano fino (sobre su forma y dimensiones trataremos al considerar el origen del yacimiento), acompañada de cuarzo, sílice opalizada, silicato de hierro a veces, y mica. Su participación en la mena es muy variable, llegando los minerales de alta ley desde 70 a 75 % y hasta un 79 % en el caso de una muestra aislada de la labor B; en las menas muy pobres disminuye hasta cerca de 40 %.

A la hematita síguele en cantidad el *cuarzo*, en forma de granos chicos y de astillas, diseminado muy irregularmente. En ciertos parajes el cuarzo suele notarse en rodados hasta de 4 cm de diámetro, como ser en algunas labores altas del Abra de los Tomates, cuyo banco 1° tiene por yaciente una arenisca conglomerádica. Su proporción en la masa del mineral es asimismo variable, y en los casos en que registramos por vía química el cuarzo y la sílice soluble, éste llega a valores de 6 a 20 % para minerales de 53 y 41 % Fe, respectivamente.

Tratado el mineral por ácido clorhídrico hasta disolución total del hierro, deja un esqueleto silíceo que, además del cuarzo, contiene *silice*

hidratada blanca y porosa, muy liviana e íntimamente ligada a la hematita. Este mineral ha sido también individualizado como tal al microscopio, luego de haberlo separado incompletamente del óxido de hierro con bromoformo en el aparato de Clerici. Dicha silice se presenta en la mena en menor proporción que el cuarzo, no alcanzando al 10 %.

La *mica*, como hojuelas muy pequeñas blancas, amarillentas y rojizas, existe en todas las muestras, soliendo abundar en algunos sitios, preferentemente en las intercalaciones areno-micáceas de los bancos ferríferos (labor C₆ y otras de superficie, como asimismo en el material de la perforación P₉). Se trata de *biotita* y *muscovita*.

La *limonita* es escasa en el material del banco 1° y algo más frecuente en el del 2°, donde se destaca como puntos pardos dentro de la masa de hematita. A veces se le nota como delgada capita recubriendo planos de diaclasa.

En el mineral hematítico es dable observar intercalaciones delgadas, irregulares y chicas de un mineral verdoso (*thuringita*, silicato de hierro hidratado), el que en la labor A y también en los testigos de algunas perforaciones ocupa el lugar de la hematita o alterna con ella en proporción apreciable.

La *pirita* ha sido notada en los testigos de las perforaciones P₂ y, a modo de diminutos cubos asociados a silicatos de hierro, en el banco 3°; también, pero en menor escala, en el 2° y en el 1°, recubriendo por lo general planos de diaclasa y dando lugar, en algunos puntos, a asociaciones de granos apreciables que se desprendían al golpear las muestras. También se le reconoció en el material de la perforación P₁₂, si bien en menor cantidad.

Por su manera de presentación, parte de la pirita tiene un origen supergénico, originado por reducción de aguas sulfatadas descendentes, mientras la primaria es propia de la cuenca de sedimentación y contemporánea a la formación del silicato de hierro.

Calcita, en granos diminutos, fué observada en las diaclasas de los testigos de la perforación P₁₂.

La presencia de carbonato de hierro o *siderita* se puso en evidencia al estudiarse un corte delgado correspondiente al banco 3° de la perforación P₂, habiendo sido anteriormente señalada en la investigación de un corte de arenisca thuringítica del río Capillas. Forma masas pequeñas irregulares de un gris castaño y se halla acompañada de thuringita y hematita. Desconocemos la importancia de este carbonato en cuanto a su aporte en la formación de la hematita.

En determinadas labores hemos notado que los bancos 2° y 3° presentan en sus masas cavidades rellenas de un material areno-arcilloso amarillento, friable, depositado sin duda alguna como tal durante la formación de los mismos.

Citados los minerales macroscópicos contenidos en la mena, nos referiremos ahora a los de menor cuantía, comprobados por vía microscópica. Para ello, ya que a las evaluaciones del mineral las relacionamos con el ataque clorhídrico, investigamos el residuo insoluble del mismo, luego de haberle extraído la sílice soluble, partiendo de los remanentes de las muestras A₄₋₁ y Cs₅ (Horizonte secundario). Para la separación entre minerales pesados y livianos se usó bromoformo de 2,77.

Muestra A₄₋₁

Minerales livianos (100 % prácticamente): cuarzo en su totalidad, con restos de biotita alterada y algunas laminillas de muscovita ;

Minerales pesados : 2 granos de zircón, 1 de epidoto y 1 de turmalina.

Muestra Cs₅

Minerales livianos (100 % prácticamente): cuarzo, con una pequeña participación de muscovita y feldespato ;

Minerales pesados : óxido de hierro, zircón, turmalina, biotita desferizada y rutilo.

Vemos, pues, que los minerales pesados contenidos en la mena en pequeñísima proporción, son propios de casi todo sedimento y carecen de importancia a los efectos del beneficio metalúrgico del mineral.

Y, para dar término a este capítulo, agotando todo lo concerniente a las características de la mena, nos restaría detenernos en la composición de la misma, por cuanto surge de ella una serie de elementos no identificables mineralógicamente por su reducida participación.

La mena es bastante regular en su composición mineralógica, sobre todo en el banco 1° de la zona Abra de los Tomates, tanto en superficie como en profundidad ; sin embargo, no es así en la zona profunda del sector El Mojón, sur, donde se hace más frecuente la presencia de la thuringita, que a menudo alterna con capas de hematita, llegando, como en el caso de la perforación P₁₀, a reemplazar casi completamente a ésta, en forma de una arenisca thuringítica de muy baja ley en hierro.

Pero antes de considerar con cifras analíticas el comportamiento de la mena en profundidad, creemos necesario exponer una serie de ensayos efectuados con el objeto de estudiar la distribución del hierro y del residuo insoluble en las distintas capas componentes del banco primero, partiendo del material de muestreo fraccionado, cuyos resultados damos a continuación :

Zona Abra de los Tomates :

Labor A₄

Fracción	Espesor en cm	Fe %	Res. ins %
A.....	60	52,30	14,96
B.....	47	52,75	12,05
C.....	53	52,12	14,60
	160		

Ley media en Fe..... 52,40 %
 » » Res. ins..... 14,00 »

La evaluación de ambos elementos, en el muestreo directo de dicha labor, arrojó : 51,97 % Fe y 14,14 % Res. ins.

Labor A₁₁

Fracción	Espesor en cm	Fe %	Res. ins. %
A.....	30	52,64	12,92
B.....	35	47,49	19,68
C.....	40	47,92	18,52
D.....	40	51,18	13,88
	145		

Ley media en Fe..... 49,71 %
 » » Res. ins. 16,37 »

Valores obtenidos en el muestreo directo: 49,39 % Fe y 14,86 % Res. ins.

Zona El Mojón, sur :

Labor C₁

Fracción	Espesor en cm	Fe %	Res. ins. %
A.....	80	47,60	16,82
B.....	9	30,94	36,76
C.....	47	50,82	13,23

Ley media en Fe..... 47,6 %
 » » Res. ins. 16,9 »

Valores obtenidos en el muestreo directo efectuado a 2,5 m de distancia del fraccionado : 50,51 % Fe y 16,14 % Res. ins.

Estas evaluaciones comparativas demuestran la composición más o menos constante de las capas partícipes del banco 1°, cuyas diferencias en hierro y en residuo insoluble sólo alcanzan a pocas unidades por ciento, salvo el caso de la fracción B de la labor C₁, que representa una intercalación micáceo-arenosa considerada expofesa y fácil de elimi-

nar en la explotación, con lo cual se conseguiría un ligero mejoramiento en la calidad de la mena (49 % Fe y 15,5 % Res. ins.).

Y volviendo a la composición química de la mena, los análisis si-

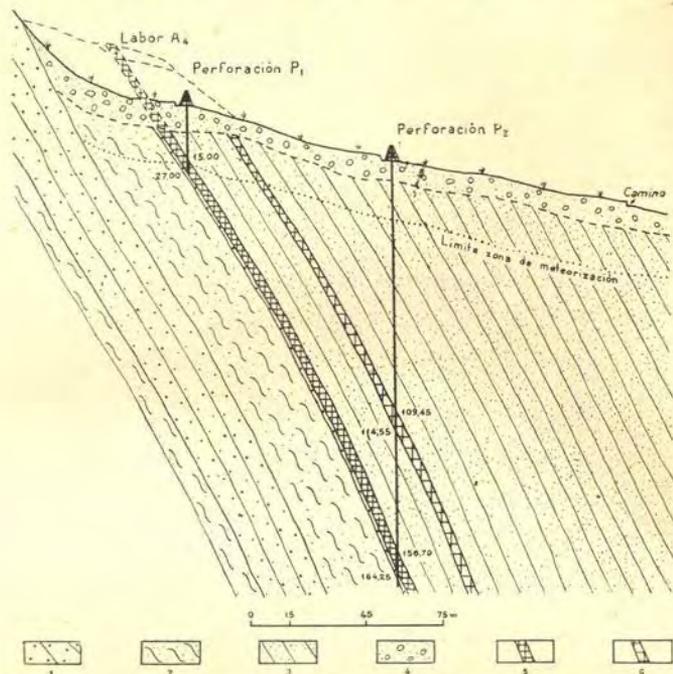


Fig. 6. — 1, arenisca cuarítica; 2, tilita; 3, arenisca micácea, amarillenta en superficie, grisácea en profundidad; 4, acarreo; 5, horizonte principal; 6, horizonte secundario.

Zona Abra de los Tomates

guientes nos señalan la naturaleza de la misma a lo largo de una línea de 247 m, en la zona Abra de los Tomates (fig. 6):

Muestra	Labor A ₄ A ₄₋₁	Perf. P ₁ P ₁₋₁	Perf. P ₂ P ₂₋₁
Humedad.....	1,66 %	1,58 %	0,10 %
Pérdida al rojo.....	5,46 »	4,24 »	3,40 »
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃).....	74,24 »	72,12 »	72,00 »
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃).....	3,98 »	5,44 »	3,63 »
Manganeso en Mn.....	vestig.	vestig.	0,01 »
Azufre en S.....	0,38 %	0,48 %	0,13 %
Fósforo en P ₂ O ₅	1,20 »	1,47 »	1,73 »
Titanio en Ti O ₂	0,41 »	1,10 »	1,20 »
Calcio en CaO.....	0,39 »	1,30 »	1,32 »
Magnesio en MgO.....	0,22 »	0,45 »	0,53 »
Vanadio en V ₂ O ₅	0,42 »	0,36 »	0,38 »
Residuo insoluble.....	14,14 »	14,40 »	15,39 »
Hierro en Fe.....	51,97 »	50,48 »	50,40 »
Potencia del banco 1° en cm :	160	204	94
Distancia progresiva en m :	0	60	247

Para completar los datos expuestos más arriba insertamos a continuación los resultados registrados en el banco 2°:

Muestra	Labor A ₁ A ₄₋₂	Perf. P ₁ P ₁₋₂	Perf. P ₂ P ₂₋₂
Humedad	2,06 %	1,66 %	0,32 %
Pérdida al rojo	6,52 »	6,69 »	3,12 »
Insoluble en HCl	18,00 »	18,22 »	26,18 »
Hierro en Fe ₂ O ₃	66,40 »	65,92 »	61,28 »
Azufre en S	0,46 »	0,49 »	0,01 »
Fósforo en P ₂ O ₅	0,70 »	1,02 »	1,41 »
Hierro en Fe	46,48 »	46,14 »	42,90 »
Potencia del banco en cm.....	115	94	67

Estudiando los valores apuntados, en los que atañe a sus elementos principales, se desprende:

Que hay una marcada disminución de la humedad en profundidad;

Que se pone de manifiesto una aminoración del contenido en hierro, poco sensible en el perfil del Abra de los Tomates;

Que, por lógica consecuencia, el contenido en residuo insoluble aumenta en profundidad, y

Que en cuanto a los elementos, entre ellos el titanio, el fósforo, el calcio y el magnesio, observamos un incremento gradual. El azufre, en cambio, tiende a disminuir.

IV

GÉNESIS

Sabida es la naturaleza sedimentaria de esta acumulación ferrífera, tesis que hemos sostenido en informes anteriores; sin embargo, creemos oportuno detenernos nuevamente en este punto para volver, con más detalle, a insistir sobre su origen, deposición y transformación ulterior, basándonos en los resultados de campaña y en las recientes observaciones de gabinete y de laboratorio. Pero desde ya adelantamos que, pese a todos nuestros esfuerzos, no hemos logrado esclarecer todos los problemas genéticos, por cuanto algunos de ellos escapan a nuestra observación, y al tratarlos tomamos como punto de apoyo hipótesis sostenidas acerca de otros yacimientos similares extranjeros.

Se estableció que el material hipogénico de la hematita corresponde a un miembro de la familia de las leptocloritas, silicatos hidratados de hierro, aluminio y magnesio, los que a veces por su cuantiosa acumulación dan origen a yacimientos de hierro, algunos de ellos en explotación. Figuran entre estos compuestos la thuringita, la chamosita, la greenalita, el atilpnomelano y otros, casi todos de composición dudosa y semejantes, en cuanto a su hábitus, a las verdaderas cloritas, y cuya

composición no sería la de simples mezclas químicas de sustancias de ortocloritas, sino más bien deducible del ordenamiento de grupos de $\text{Al}(\text{OH})_3$ o de $\text{Mg}(\text{OH})_2$ en su estructura reticular, sustituibles éstos por Fe_2O_3 y FeO en tal cantidad que motiva la formación de hierro aprovechable (*Lehrbuch der Mineralogie*, 1936).

La inseguridad en la distinción de algunas especies queda de manifiesto ya en la literatura mineralógica, como en el caso de la thuringita y chamosita, tratadas con distinta preferencia, pues mientras unos autores consideran a la chamosita en primer plano, citando vagamente a la segunda especie, otros, en cambio, hacen lo contrario. Y ni los índices de ambos silicatos son constantes debido a su variada composición, lo cual dificulta aun más su distinción.

El origen de estos silicatos es asimismo un tanto vago, por desconocerse realmente los elementos y procesos que intervienen en su formación. Pero, estudiando la literatura al respecto, señalamos dos hipótesis: la una, de la alteración de silicatos de magnesio, hierro y aluminio, esto es, de augita, hornblenda, biotita, ortocloritas, etc., y la otra, de elementos presentes en la cuenca de sedimentación, por reacción entre ellos, en la que nos detendremos más adelante por ser la más aplicable a nuestro caso.

Se considera como muy probable la deposición de estos compuestos al estado de coloides, en atención a su aspecto en inhomogeneidad, el que más tarde pasó al cristalino. Y la sedimentación de los mismos ha ocurrido en cuencas marinas, en su facies costera, es decir, de poca profundidad.

Al tratar los capítulos Geología y El Yacimiento, se expuso que en Zapla distinguimos perfectamente dos horizontes ferríferos, a saber: Horizonte principal y Horizonte secundario. El primero, de una potencia media de 4 a 5 m, comprende una serie de bancos separados entre sí por areniscas, mientras que el segundo representa un solo ciclo de sedimentación de material portador de hierro, bien definido y de un espesor medio de alrededor de 2 m y situado entre 15 y 18 m del primero.

La estratigrafía del Horizonte principal indica claramente una sedimentación alternante de los elementos que intervinieron en la formación del material ferrífero y de la arenisca. La inconstancia de los espesores de sus sedimentos, en particular la de los bancos ferríferos, es consecuencia de una deposición irregular que se amoldó al relieve de la cubeta. Por otra parte, los análisis de las muestras señalan una disminución gradual, en general, de la ley en hierro a medida que nos alejamos del banco más inferior, la que se interpreta como una aminoración de la formación del silicato de hierro y un lógico incremento de otros materiales no ferríferos.

Las condiciones de sedimentación del Horizonte secundario son más

simples, pues como ya dijimos ella se reduce a una sola capa que involucra, mayormente en su parte central, un material más rico en hierro que el adyacente.

Ahora bien, entre ambos horizontes no existe otra acumulación ferrífera, sin que ello signifique de modo alguno que no haya continuado, aunque en grado ínfimo, la formación del silicato, puesto que lo hemos verificado microscópicamente en los sedimentos comprendidos entre los mismos, cuyo tenor en hierro, conforme a un análisis correspondiente a una arenisca de superficie, amarillenta, es inferior al 8 por ciento. Dicho silicato sigue formándose en niveles muy superiores al del Horizonte secundario, ya que los fósiles (trilobites) hallados en estratos arcilloarenosos se encuentran dentro de nódulos areno-thuringíticos.

Volviendo al mineral originario de la hematita, como ya lo manifestamos en otra ocasión, diremos que se trata de una leptoclorita: la thuringita. En efecto, los recientes estudios microscópicos realizados por la doctora M. E. H. de Nogués apoyan nuevamente esta clasificación, y las observaciones llevadas a cabo por dicha investigadora sobre un corte delgado de una arenisca thuringítica procedente de la perforación P₁₀, establecen que es una clorita de figura de interferencia biáxica, de ángulo muy pequeño (-), con índice de refracción mayor de 1,64 y menor de 1,65 (cercano a 1,647). Conforme al trabajo *A third study of clorite*, de Winchell, el silicato de referencia se ubicaría en el límite de brunsvigite (1,63-1,65) y thuringite (1,65-1,68). El autor pone de relieve en dicha investigación, un incremento de los índices a medida que aumenta el contenido en óxido férrico originado por oxidación del óxido ferroso, citando el caso de la thuringita de Evisa (Córcega) con 10,56 % Fe₂O₃ y un índice de N_m igual a 1,65 y el de la Messina (Transvaal) con 17,95 % Fe₂O₃ y N_m = 1,685.

Y, al respecto, merecen recordarse las conclusiones a que arribó la ya citada técnica al estudiar cortes de material de la región de las Capillas, quien, entre otras cosas, dice: « El material clorítico es verde, a veces verde azulado, verde grisáceo y verde pardo hasta rojizo; posee índice de refracción determinado de 1,655, ángulo 2V pequeño, de una figura de interferencia a menudo de mineral uniáxico y signo positivo. Todos estos datos inducen a sospechar que nos encontramos quizás en presencia de la thuringita; en las cloritas de color verde pardo hasta rojizas las medidas del índice han dado valores distintos, de acuerdo a la coloración del grano observado. Este hecho me hace suponer que la variación de su índice debe estar relacionada con el grado de alteración de la thuringita, siendo mayor a medida que enriquece en hierro (Fe₂O₃). Los granos de thuringita son en su mayoría alargados, con bordes redondeados, algunos arqueados por flexión, mostrando preferentemente secciones de segundo y tercer pinacoide con clivaje característico

y su marcado pleocroísmo. La medida de los granos da un valor máximo de 0,5 mm. El cemento está representado por un material clorítico, dentro del cual se notan laminillas de muscovita y una que otra de biotita y, en algunos puntos del corte de Capillas, un carbonato (siderita) que engloba epidoto y óxido de hierro. He notado granos de thuringita oolítica; en algunos, la parte nuclear es un pequeño grano de cuarzo, en otros, la parte central es también thuringita » (lám. I).

A continuación se dan los resultados del estudio de un corte de muestra correspondiente al banco 3° de la perforación P₂: « Arenisca thuringítica constituida por granos redondeados de thuringita (término medio 0,2 mm) y granos angulosos de cuarzo (término medio 0,05 mm de diámetro) en un cemento clorítico. En zonas bastante extensas hay un material calcáreo (siderita) y, en venitas cortas e irregulares, piritita. Dentro de esas masas, excepcionalmente, se encuentran granos de thuringita; en cambio, el cuarzo se halla, aunque menos abundante, con el mismo aspecto que dentro de la masa clorítica ». Las medidas efectuadas con la platina de integración dan los siguientes resultados :

Clorita.....	41,04 %
Siderita.....	37,24
Cuarzo.....	15,58
Material opaco (pirita).....	6,08
	<hr/>
	99,94 %

Y, por último, indicamos las observaciones realizadas sobre un material hematítico-thuringítico perteneciente a una muestra superficial del banco 2° : « Arenisca constituida por granos de cuarzo de contorno irregular, de un diámetro aproximado de 0,08 mm, por thuringita en granos redondeados de 0,3 mm y por hematita en granos idénticos a los de thuringita. El cemento es thuringítico ».

Para confirmar la clasificación de la clorita de Zapla, se envió una muestra procedente de Capillas, al señor Samuel G. Gordon, jefe del Departamento de Minerales de la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, quien comunicó lo siguiente :

La muestra de clorita de la sierra de Zapla ha sido examinada. Un corte delgado de la roca muestra que ésta consiste principalmente de granos redondeados de cuarzo (aparentemente elásticos) cementados por la clorita.

Fragmentos triturados y examinados en líquidos de inmersión mostraban una variación de los índices de refracción de la clorita. Los granos más translúcidos — que se cree son puros y sin alteración — dieron un índice de refracción medio de 1,660. Únicamente las thuringitas tienen índices tan altos.

Resumiendo, el mineral ferrífero primario es, por todos los datos señalados, la thuringita, que constituyó la masa principal de los actuales bancos hematíticos, a la que se asoció el cuarzo, la mica (muscovita, principalmente) y la siderita, además de otras especies de menor cuantía. Dejamos expresa constancia de que la estructura de la thuringita no es oolítica, sino más bien granosa, oscilando el tamaño de sus granos mayores entre 0,2 y 0,5 mm, y el de sus granos menores entre 0,02 y 0,10 mm. El reducido tamaño de éstos dificulta una concentración económica de la mena.

A fin de establecer sus componentes químicos, se efectuaron varios ensayos para separarla de sus minerales acompañantes y luego someterla al análisis, pero tanto éstos como otros fueron infructuosos. Por ello nos decidimos solamente a investigar su composición química aproximada, ya que comprendemos los errores en que incurriríamos si pretendiéramos determinar su composición real y, por ende, su fórmula. Se partió, luego, del análisis total de una arenisca thuringítica, practicado por el doctor A. Chaudet, y cuyas evaluaciones son:

			a 100 % ¹	
Pérd. al rojo (incluye humed.)	5,40 %	5,40 %	11,93 %	12 %
Sílice insol. (cuarzo princip.)	52,54 »			
Sílice soluble (SiO ₂)	8,65 »	8,65 »	19,11 »	19 »
Alúmina (Al ₂ O ₃)	11,40 »	11,40 »	25,18 »	27 »
Titanio (TiO ₂)	0,60 »	0,60 »	1,32 »	
Vanadio (V ₂ O ₅)	0,18 »	0,18 »	0,40 »	
Oxido ferroso (FeO)	18,00 »	18,00 »	39,77 »	42 »
» de magnesio (MgO)	0,90 »	0,90 »	1,99 »	
» » manganeso (MnO)	0,13 »	0,13 »	0,29 »	
» férrico (Fe ₂ O ₃)	0,90 »			
» de calcio (CaO)	0,28 »			
Alcalis (K ₂ , Na ₂ O)	0,38 »			
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,27 »			
Azufre (S)	0,21 »			
	99,75 %	45,26 %	100,00 %	100 %

Al indagar la composición química del silicato ferrífero, hemos tenido en cuenta todos aquellos elementos partícipes o que pueden intervenir en su fórmula; en nuestro caso, a la alúmina sumamos el titanio y el vanadio (trivalentes), y al hierro ferroso, el magnesio y el manganeso.

El azufre pertenece a la piritita, como asimismo parte del hierro férrico; el fósforo y el calcio a la existencia de apatita; y los álcalis proceden, probablemente, de la muscovita, aunque podrían ser propios de la misma thuringita. En el corte delgado del material analizado se comprobó

¹ En cifras redondas.

hematita en cantidad muy reducida. Todos los elementos revelados en los análisis de la mena ferrífera figuran en la arenisca thuringítica.

Estudiado el mineral originario de la hematita, se pasará a completar otros detalles de la misma, para luego hacer algunas consideraciones referentes al pasaje de la thuringita a la hematita. Desde ya dejamos de lado todo lo tocante a su estructura, densidad y otras propiedades más, expuestas en el capítulo La Mena, para dedicarnos en primer término a las observaciones microscópicas en cortes pulidos. Ellas denotan claramente que la forma de los granos componentes de la mena corresponde a la de los de thuringita (compárense las microfotografías de lám. I, figs. 1 y 2).

Con luz polarizada, pero sin nicoles cruzados, luego de haber sometido los cortes al ataque de ácido clorhídrico en frío durante algunos minutos, a fin de realzar su estructura, se notan granos blancos grisáceos frente a otros oscuros de escaso poder de reflexión. En algunos es dable observar líneas más o menos definidas que corresponderían a las de clivaje de la primitiva thuringita. El cuarzo se presenta en granos redondeados, como asimismo en astillas distribuídas irregularmente en la masa de la mena; muestra un marcado relieve debido a la diferencia de dureza con la hematita. A nicoles cruzados las observaciones son más nítidas, pudiéndose distinguir perfectamente los granos del cemento. Los granos de hematita blanco-grisáceos dan un fuerte efecto de anisotropía, mientras que los oscuros presentan una coloración rojiza con una grisácea en ciertas posiciones. El cuarzo posee reflejos amarillos, rojizos y hasta azulados, y la mica claros.

Para investigar la forma cómo se encuentra distribuída la sílice hidratada que mencionamos al tratar la composición mineralógica de la mena, atacamos en frío un corte delgado de la misma con HCl y cloruro estañoso, consiguiendo eliminar todo el hierro presente, y allí donde estaban los granos de hematita aparentemente puros y guardando su forma, aparecieron esqueletos de sílice opalizada, como podrá apreciarse en la lám. I, figs. 3 y 4. Este hecho, ya que por otra vía verificamos la existencia de la misma, revela que la sílice hidratada procede de la destrucción de la thuringita.

En cuanto a su participación en el mineral, ella es muy variable y no tiene relación con el porcentaje en hierro, registrándose cifras menores en las menas más ricas y mayores en las más pobres. Dicho enunciado se dedujo de los resultados de los siguientes análisis :

Muestra	Res. ins. %	Cuarzo %	SiO ₂ soluble %	Hierro %	Fe : SiO ₂ sol.
B-1	11,72	5,91	5,81	53,28	9,2 : 1
B ₂ -1	10,66	6,75	3,91	52,64	13,5 : 1
A ₁ -1	11,56	5,66	5,90	50,63	8,7 : 1
P ₂ -1	15,39	8,49	6,90	50,40	7,3 : 1
A ₇ -1	16,48	11,83	4,65	49,84	10,7 : 1
B ₆ -2	24,21	19,71	4,50	46,03	10,2 : 1
A ₁₀ -2 . . .	26,71	19,21	7,50	41,44	5,5 : 1

De este cuadro analítico se puede deducir, en un primer intento, que la falta de relación entre el hierro y el residuo insoluble sería atribuible a dos causas: o en el proceso de transformación de la mena originaria ha habido una extracción de sílice conjuntamente con la de otros elementos, o, de no mediar esta causa, la siderita ha ocupado un lugar destacado en la composición primaria del material. Por otra parte, deducimos que la sílice opalizada se encuentra en el residuo insoluble en proporciones que oscilan entre 20 y 50 por ciento con respecto a aquél.

Evidenciado el origen secundario de la hematita, cabe preguntarnos cómo se efectuó dicha alteración y qué agentes intervinieron en este proceso.

En un principio se admitió que él se debía a fenómenos de meteorización, pero los resultados obtenidos en campaña muestran en forma convincente, sin negar en todo la acción de los agentes atmosféricos en los afloramientos, la participación de elementos ajenos a aquéllos. En efecto, la escasa porosidad de la mena no ayuda, en modo alguno, a concebir tales medios de destrucción química, ya que ella es indispensable para la circulación de los elementos causantes de fenómenos de oxidación. Además, la existencia verificada de mena hematítica, idéntica, en cuanto a su composición a los minerales de superficie, a 103 m debajo del nivel del arroyo de los Tomates, se opone a toda idea de meteorización, por cuanto ni aun admitiendo un cambio de nivel hidrostático, la explicaría satisfactoriamente si tenemos presente su reducida porosidad. Y, finalmente, la distribución irregular de thuringita en la masa del yacimiento y su alternancia en capas delgadas con hematita, vienen a demostrar que la transformación del silicato de hierro en hematita no ha sido motivada por procesos atmosféricos.

Este problema vinculado al origen de la hematita nos preocupó mucho desde un principio, y de su esclarecimiento dependía en gran parte el valor del yacimiento, pues si la transformación del silicato se hubiera debido a la meteorización, en profundidad hubiéramos encontrado la

Incluye mica.

thuringita, lo que significaba una sensible disminución del tenor en hierro y un mayor porcentaje en residuo insoluble.

Atento a lo expuesto, opinamos que la hematita se originó en la misma cuenca de sedimentación por un proceso intenso de oxidación, en circunstancias que desconocemos. Dicho proceso, y en las condiciones manifestadas, es conocido en la naturaleza, y estudiando la literatura al respecto nos detuvimos en la acción bacteriana, tomando como ejemplo el caso del yacimiento de Terranova, compuesto de hematita, chamosita y siderita (*Mineral Deposits*, 1933). Allí se ha demostrado la existencia de perforaciones de algas que penetran tanto en las oolitas como en la matrix, y que la mena, prácticamente en su estado actual, fué cubierta por sedimentos posteriormente. A menudo las oolitas están constituídas por capas delgadas de chamosita y de hematita alternantes. Se admite que el oxígeno desprendido por estas algas ha causado la oxidación de la chamosita transformándola en hematita.

Esta hipótesis podríamos, hasta tanto no se haga una investigación más detenida, aplicarla a Zapla, lo que explicaría casi en un todo los distintos problemas vinculados a la naturaleza de la mena; y la irregularidad de la distribución de la thuringita, a modo de islas dentro de la masa de hematita, se debería a zonas o fracciones no afectadas por bacterias, como asimismo la existencia simultánea de capas de hematita y de thuringita.

De todo lo antedicho surge, pues, comparando las evaluaciones de las muestras comunes con la composición determinada de la thuringita, un enriquecimiento en hierro y una disminución, por consiguiente, de otros elementos partícipes del silicato de hierro.

Con miras a resolver este problema, valiéndonos de los datos de análisis completos, presentamos los siguientes valores demostrativos, en los que se han tomado en consideración todos los compuestos de las menas que se tuvieron en cuenta en la thuringita:

	Thuringita	B ₁	P ₂₋₁	C ₁₁₋₁	P ₁₂₋₁
H ₂ O.....	12 %	3,7 %	3,7 %	5,3 %	3,5 %
SiO ₂	19 »	6,7 »	7,8 »	9,4 »	10,7 »
Al ₂ O ₃	27 »	2,9 »	5,9 »	8,9 »	12,3 »
FeO.....	42 »	—	—	no determinado	
Fe ₂ O ₃	—	86,7 %	82,6 %	76,5 %	73,5 %
		100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
Res. insol...	—	5,9 %	8,5 %	11,2 %	17,9 %

Los valores asignados a los distintos compuestos han sido llevados a 100 % luego de haber descartado el residuo insoluble que, asimismo, indicamos para una mayor comprensión.

Estas columnas ponen en evidencia el aumento en Fe_2O_3 a menores porcentajes en otros elementos, ya que de no mediar una apreciable participación de la siderita en la mena primitiva y careciendo de datos para afirmarlo, debemos, pues, aceptar obviamente una extracción de sílice hidratada, alúmina y magnesio, sumada a una pérdida de agua. La forma y circunstancias en que dichos elementos han sido eliminados nos resulta una incógnita más dentro de los intrincados problemas de orden genético.

Y, para finalizar, queda pendiente el origen de la thuringita y en particular la formación de las leptocloritas partiendo de los elementos propios de la cuenca de sedimentación, teoría propuesta por Hallimond (Lindgren, *Mineral Deposits*, p. 275) para esclarecer la formación de yacimientos sedimentarios del Jurásico de Inglaterra, la que, como la más plausible, la hacemos propia para aplicarla a Zapla.

En cuanto al aporte del hierro a la cuenca de sedimentación, procede, como es sabido, de la destrucción y lavaje de las rocas portadoras de hierro, llegando a la misma en estado de bicarbonato, preferentemente. Este compuesto ferroso, en un medio reductor — como lo demuestra el contenido orgánico del residuo insoluble del material de las perforaciones — actuó sobre un fango flúido de materia arcillosa coloidal, originando por reacción directa la thuringita, soluble en dicho medio, pero que a mayor concentración se precipitó como tal conjuntamente con el material fino no ferroso, como el cuarzo y la mica.

En el grado de concentración de la thuringita, como asimismo en la variación de los espesores de los bancos, han influido lógicamente factores tales como irregularidad del fondo del mar, acción de las olas y aun de las mismas corrientes que impidieron toda deposición uniforme, resultando, en consecuencia, zonas ricas en thuringita y otras con mayor tenor en cuarzo, etc.

Con fines comparativos, a continuación se presenta una breve descripción de algunos yacimientos europeos, similares por su formación a los depósitos en estudio:

Schmidelfeld, cerca de Saafeld, en el bosque de Turingia. (Beyschlag, Vegt & Krusch, *The deposits of the useful minerals, etc.*). — El yacimiento está constituido por dos horizontes correspondientes al piso más bajo del Silúrico inferior de Turingia. Se conocen tres bancos: el más bajo, considerado como explotable, de 3 m de potencia total, está representado por hematita con intercalaciones de cuarcitas y de pizarras (Griffelschiefer); el medio, de 2 m de espesor, contiene hematita de estructura oolítica, y el banco principal, ubicado en la parte superior, en la cercanía del medio, posee una potencia de 15 a 20 m, rumbo NE-SW e inclinación de 60° SE. La mena está compuesta de thuringita y chamosita, predominando esta última, de estructura compacta y hasta

oolítica y de color gris oscuro a negro. Carbonato de hierro (siderita) existe soldando las oolitas de chamosita. La ley del banco es de 30 a 35 % de Fe, y la mena tostada, después de una pérdida del 20 % de su peso, contiene 43 a 45 % de Fe, 20 a 31 % de residuo insoluble y 0,7 a 1,2 % P. La chamosita cruda acusa 1,63 % TiO_2 . El mineral se funde con calcáreos ferruginosos de Karmsdorf. La producción de este distrito en 1929 fué de 138.000 t. de mena tostada.

Nucitz, en Bohemia. — El yacimiento de minerales de hierro (mena chamosítica) de Nucitz, al oeste de Praga, reconocido en una extensión de 40 km, ha sido explorado en 8 km de longitud. Pertenece al complejo del Silúrico inferior y al piso D de Barrende (menas d_1 - d_2). La zona d_1 está formada por grauwacas y pizarras con tobas de diabasas y sedimentos ferruginosos. Este último es una hematita oolítica de 17 m de potencia, aunque una gran parte de su desarrollo está representada por numerosas capas delgadas que alternan continuamente. La zona ferrífera d_2 , esto es, los bancos de Zahoran, es mucho más importante y comprende los de Nucitz. Se presentan en las rocas esquistosas de la región, se explotan a cielo abierto y alcanzan en conjunto un espesor de 22 m como máximo, disminuyendo gradualmente al este y al oeste. La tectónica que afecta estos estratos, de un buzamiento de 50 a 60°, es complicada por la presencia de seis fallas y como consecuencia de ellas se han practicado seis piques. La mena, de estructura oolítica y de color gris verdoso, está constituida por silicatos de hierro y considerada como chamosita con una fuerte participación de siderita. El tenor medio de la mena cruda de Nucitz es de 35,5 % de Fe con alrededor de 20 % de residuo insoluble. El mineral tostado, con 20 % de pérdida, llega a 44,3 %. Su producción, antes de la conflagración de 1914, era de 700.000 t. Las reservas de Nucitz, entre Jinocan y Chustenitz (8 km) se estiman en 11.000.000 de toneladas.

Krusna Hora, cerca de Beroun (Bohemia). — En esta localidad, situada al surdeste de Praga, existe en los horizontes superiores del Silúrico un yacimiento similar al de Nucitz. El mineral, de estructura oolítica, contiene 38 a 40 % de Fe. El alto porcentaje en sílice de estos minerales, que además contienen 0,5 a 1,5 % P, obliga a fundirlos con minerales de hierro básicos.

Entre otros depósitos donde la chamosita forma parte integrante de menas ferríferas, hay que mencionar los del Jurásico de Inglaterra. Gran parte de las necesidades de la industria siderúrgica de este país, que en tiempos de paz ascienden a unos 15.000.000 de toneladas, se satisfacen con estos yacimientos, cuya producción procede mayormente de las regiones de Cleveland, Frodingham, Leicester y Northampton. El tipo de mena, que se denomina «chamositic mudstone» y «chamositic sideritic mudstone», se explota a cielo abierto y por trabajos subterráneos; el espesor de los mantos varía de 6 a 25 pies y la ley media de la mena es de 30 % de Fe, 0,3 a 1 % de Mn y 0,7 % de P (*The iron and steel*, 1939).

LISTA DE LOS TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ANGELELLI V., 1941, *El yacimiento hematítico-thuringítico de las sierras de Zapla y de las Capillas*, Depto. de la Capital, Prov. de Jujuy (inéditos), Direc. Gral. de Minas y Geología, Buenos Aires.
- BEYSLAG, VOGT y KRUSCH, 1916, *The deposits of the useful minerals and rocks*, pp. 1040-1044, Londres.
- FERUGLIO E., 1929, *Fósiles devónicos del Quemado (San Pedro de Jujuy) en la región subandina del Norte (primera parte)*, Bol. Inf. Petrol., VI-6, 851-861.
- KLOCKMANN, 1936, *Lehrbuch der Mineralogie*, p. 548, Stuttgart.
- LINDGREN W., 1933, *Mineral deposits*, pp. 275 y 277-278, Nueva York y Londres.
- SCHLAGINTWEIT O., 1937, *Observaciones estratigráficas en el Norte Argentino*, Bol. Inf. Petrol., XIV-156, pp. 1-49.
- SCHLAGINTWEIT O., 1943, *La posición estratigráfica del yacimiento de hierro de Zapla y la difusión del Horizonte Glacial de Zapla en la Argentina y Bolivia*, Rev. Minera, XIII-4, 115-127.
- WINCHEL A. N., 1936, *A third study of clorite*, Journ. of Miner. Soc. of Amer., XXI-10.
- WRIGHT W., 1939, *The iron and steel industries of Europe*, Bureau of Mines Washington, Econ. Paper.



1



2

1. Arenisca thuringítica (Perforación P₁₃) en granos grisáceos y oscuros, con clivaje y en la pasta, cuarzo, thuringita y mica ; 2. Mineral de la Zona Abra de los Tomates : granos de hematita con líneas de clivaje pertenecientes a la thuringita y entre ellos, granos de cuarzo redondeados (1 y 2, por transparencia y reflexión respectivamente).



3



4

3. Mineral hematítico atacado con HCl mostrando granos alargados claros y oscuros, con líneas transversales oscuras de sílice opalizada y granos claros de cuarzo ; 4. Mineral hematítico atacado con HCl, mostrando esqueletos de sílice hidratada : los trazos blancos corresponden a líneas de clivaje de la thuringita primitiva (3 y 4, por transparencia en corte delgado y grueso respectivamente).