

SECCION II

CONOCIMIENTOS ACTUALES

- ***CAPITULO 6- Generalidades***
- ***CAPITULO 7- Minerales Metálicos***
- ***CAPITULO 8-Materiales de Construcción***
- ***CAPITULO 9- Minerales y Piedras Ornamentales***
- ***CAPITULO 10- Recursos Minerales Industriales***

CAPITULO 6

GENERALIDADES

Dentro de la enorme gama de minerales con valor económico, que fueron esquematizados en un capítulo anterior, Uruguay posee cantidad de ellos, pero en muy diversos grados de conocimiento geológico y estimación de volúmenes aproximados de reservas. De muchos de ellos ni siquiera se sabe la prefactibilidad económica de su eventual explotación.

En un momento histórico como el actual, en que todos los países están obligados a aumentar su capacidad de producción e inventar mecanismos para abatir la desocupación, generada por un crecimiento incontrolado de la tecnología un análisis criterioso de los recursos minerales de un país, para determinar aquellos que pueden crear un crecimiento autónomo, resulta una posible fuente de incremento del producto bruto interno y de las exportaciones.

Este aspecto, que es uno de los motores que impulsaron la escritura de este ensayo, merece ser tenido en cuenta por quienes tienen capacidad de decisión. El desarrollo de la actividad extractiva debe producirse donde se encuentra el recurso y por lo tanto es un factor de descentralización generando un enlentecimiento del crecimiento montevideoano. El desarrollo de la actividad extractiva, generará bienes que podrán ser más o menos transformados dentro del país, pero que en todos los casos aumentarán nuestro Producto Bruto Interno.

Para lograr esos objetivos es necesario disponer de información sobre los recursos conocidos tanto en aspectos geológicos como económicos. Una visión realista del grado del conocimientos, representa un factor de promoción para potenciales empresarios y puede ayudar a los organismos oficiales responsables del sector minero a promover actitudes y conductas que favorezcan el desarrollo a los niveles posibles.

Pareció razonable volcar en un ensayo como el presente, la abultada experiencia obtenida por los autores en estudios geológico-económicos durante más de 20 años, así como volcar otros datos de archivo, como instrumento de fomento para hacer resurgir al sector minero en Uruguay.

Se comenzará por realizar una descripción detallada de cada uno de los recursos minerales conocidos, clasificados según el modelo propuesto en el capítulo de Minerales de interés económico:

1. Materias primas metalúrgicas: metales preciosos, ferrosos, básicos y estructurales livianos.
2. Materias primas energéticas: carbón, petróleo y uranio.
3. Materias primas de la gran industria química: azufre, sal gema, fertilizantes.
4. Materiales de construcción: arcillas, limos, carbonatos, áridos, rocas de aplicación, materias primas para pigmentos
5. Minerales y piedras ornamentales.
6. Abrasivos.
7. Recursos minerales industriales.

fosfatos. Hasta ahora el tema podría ser tratado exclusivamente en sus aspectos teóricos pero recientemente se han descubierto rocas con tenores de más de 10 % en fosfato tricálcico (apatito) cubriendo extensiones considerables.

MATERIALES DE CONSTRUCCION: aquí está el grueso de los recursos minerales que posee Uruguay y su posible desarrollo racional puede generar incrementos apreciables del Producto Bruto Interno, de las exportaciones, de la ocupación a todos los niveles y además descentralizar la actividad capitalina. Por esos motivos serán descritos con el mayor detalle al que se puede acceder. Ya en 1982, las publicaciones informales de la DINAMIGE sobre la experiencia del convenio con el BUNDESANSTALT Für Geowissenschaften Rohstoffe (de ahora en más BGR de Alemania) señalaron la enorme importancia de estos recursos y evaluaron reservas para recomendar la continuación de los trabajos de prospección en aquellos casos de volúmenes previsiblemente agotables en poco tiempo.

La propia Dirección Nacional de Minería y Geología realizó algunos años más adelante una publicación formal (CORONEL et al; 1987) con documentos cartográficos y una memoria actualizada en el momento de su divulgación.

La clasificación utilizada, que será parcialmente seguida en este ensayo, refleja la necesidad de abrir un gran abanico para el tratamiento del tema de los recursos minerales no metálicos; los citados autores proponen dividir los recursos no metálicos en:

- Arcillas: caolínicas, bentoníticas, lodolitas
- Aridos: arenas, canto rodado, piedra triturada, pedregullo
- Carbonatos: calizas y dolomitas
- Minerales industriales: agatas y amatistas
arenas negras
cuarzo
talco
- Rocas ornamentales: granitos, piedra laja.

Aquí hay necesidad en Uruguay de diferenciar claramente entre materiales de construcción y Recursos Minerales no metálicos, porque estos segundos, abarcan un campo mucho más amplio, fundamentalmente el de los minerales industriales, las arcillas bentoníticas y las cargas minerales.

Volviendo a los **MATERIALES DE CONSTRUCCION** serán considerados por su orden:

- Arcillas caolínicas, base de elaboración de revestimientos cerámicos, uno de los principales productos de exportación de la industria mineral.
- Lodolitas, materia prima principal de la cerámica roja
- Calizas, materia prima esencial para cal y cemento portland
- Dolomitas de alta pureza para revestimiento de hornos
- Arenas de construcción
- Canto rodado del lecho de los ríos Uruguay y otros
- Pedregullo
- Piedra triturada

- Granitos
- Piedra laja.

Afortunadamente en Uruguay se realiza un ensayo como el presente, cada unos 10 años y ello permite ver la evolución interna de la producción del sector extractivo.

BOSSI (1969) da gran importancia a los mármoles, a las amatistas y al cemento portland que soportaba el desarrollo del país. Se hacía fuerte hincapié en los minerales metálicos, que en esa época representaban el mayor valor del subsuelo de cualquier región.

BOSSI (1978) ,mantiene gran preponderancia por los minerales metálicos incluso en yacimientos poco voluminosos como los de manganeso de Rivera; los mármoles tienen un lugar de privilegio y ya empiezan a aparecer datos sobre granitos, porque éstos van adquiriendo cada vez más espacio entre las rocas ornamentales o de aplicación; las amatistas y ágatas ocupan espacio importante porque en ese momento se hubiera podido lograr la creación de un centro industrial muy significativo en Artigas; también se da gran importancia el cemento portland con exportaciones anuales de más de 20 millones de dólares de la época; la cerámica blanca y roja es también considerada como importante. Se descartan posibilidades de carbón y petróleo.

CORONEL et al (1987) encaran solamente las materias primas minerales no metálicas. Se señala el predominio de las exportaciones de cerámica blanca (9 millones de dólares USA en 1981) de vidrio,(12 millones de dólares USA en 1980) y la producción nacional es la siguiente para 1981 en miles de toneladas

agatas	129	caliza	1240	piedra en bruto	185
amatistas	46	canto rodado	131	piedra triturada	526
arcilla	327	dolomita	61		
arena	3152				

MINERALES Y PIEDRAS ORNAMENTALES aquí serán incluidas solamente las variedades de sílice de los rellenos de geodas de los basaltos mesozoicos del noroeste del Uruguay, con énfasis en amatistas y ágatas.

En un discurso para la sociedad Uruguaya de Geología en diciembre de 1998, el director de la Dirección nacional de Minería y Geología anunció que la actividad en este rubro estaba totalmente detenida entre otros factores por problemas de extracción. Aquí se analizará el tema en profundidad porque la experiencia ha indicado que aplicando criterios geológicos de detalle puede preverse la distribución espacial.

RECURSOS MINERALES INDUSTRIALES aquí se agrupan los minerales que sirven como materia prima para elaborar productos de uso directo luego de un proceso industrial que los puede transformar más o menos intensamente.

Aquí serán tratados aquellos que tienen serias posibilidades de crear importantes empresas, sea por la calidad de la materia prima, la demanda internacional, el conocimiento de las reservas entre los factores principales:

- Cuarzo para elaboración de cuarzo de alta pureza molido a malla muy fina
- Arenas negras ilmeníticas para producir ilmenita, circón, epidoto verde, rutilo, monacita.- Talco pues el Uruguay posee extensos yacimientos de calidades muy variadas.

- Arcillas montmorilloníticas, transformables en decolorantes de aceites, filtros moleculares y/o agentes catalíticos.

CARGAS MINERALES este tema será abordado con poca información en Uruguay, pero pareció esencial introducirlo por el incremento de comercialización que tienen estos minerales cuando se logra estandarizar la calidad del material.

Una serie de recursos minerales no metálicos incluidos por los autores arriba referidos, no fueron incluidos por la imposibilidad actual y del próximo futuro que tengan significación en el sector. La mayoría de ellos dejaron de extraerse o se extraen esporádicamente (baritina, corindón, feldespato, fluorita, yeso), otros son muy poco conocidos (conchillas, grafito, hematita, margas), otros no se extrajeron nunca, como los fosfatos, pero en nuestro actual enfoque merecen resaltarse como fertilizantes.

En las rocas ornamentales no se tratarán los mármoles, de producción rápidamente decreciente, tendiendo a cero y sin ningún futuro para el fomento de la industria extractiva.

Como ya fue dicho en varias oportunidades, el interés de los recursos minerales varía con el tiempo en forma notoria y exagerada. Influyen muchos aspectos entre los cuales los tecnológicos están a la cabeza, pero los costos de flete, la calidad constante del producto y las necesidades comerciales internacionales también tienen su influencia

Los datos presentados abarcan solamente el período 1977 - 1981 y ello reduce el peso de las conclusiones generales que se puedan obtener para la fecha de publicación del ensayo. Se ve sin embargo, una industria del vidrio vigorosa, el crecimiento de la cerámica blanca y una industria de cemento portland con exportaciones en decadencia desde 9 millones de dólares en 1977 a 2 millones de 1981.

En el entretiempo, alrededor de 1980 se culmina la prospección de minerales metálicos realizada en convenio entre DINAMIGE y el Bureau de Recherches Geologiques et Minieres de Francia (BRGM en adelante) sin publicación de los resultados y sin trabajos adicionales significativos.

Resulta obvio que no se encontraron indicios que merecieran inversiones adicionales ni por el Estado ni por compañías francesas, públicas o privadas.

Esta situación de desinterés general por los recursos minerales metálicos soporta la idea de no gastar espacio en presentación de la información fragmentaria que poseen los autores de este ensayo.

Vistas estas consideraciones, hace en realidad, casi 18 años que no se publican en Uruguay datos sobre su industria extractiva, sus potencialidades en función de los conocimientos geológicos y del mercado mundial, sus posibles expectativas concretas para un desarrollo escalonado, con o sin apoyo estatal crediticio, pero con apoyo estatal firme en 4 aspectos fundamentales:

- Montaje de cursos para formar operarios en diferentes ramas de la industria extractiva
- Exigencia rigurosa de estudios geológico-económicos de cada yacimiento a explotar
- Anuarios del Ministerio de Relaciones Exteriores indicando tipos de materiales y precios en las diferentes áreas
- Fomentando la creación de grupos exportadores de modo de poder incrementar el volumen de oferta; es la técnica de Sudáfrica para, por ejemplo, el granito negro con un éxito fuera de discusión.

Luego de haber realizado todas las consideraciones precedentes es razonable dedicar ahora un importante espacio para describir con el máximo detalle disponible la información que se posee sobre cada uno de los recursos minerales del Uruguay.

De esa forma, el cuadro esquemático de la página va a adquirir valores más cuantificables, así como que cada recurso no va a estar en un solo casillero, porque existirán zonas con diferente grado de conocimiento geológico y diferente rentabilidad económica.

Los **RECURSOS MINERALES DEL URUGUAY** que serán considerados con el mayor detalle, exponiendo la totalidad de información clasificada disponible, son los que se presentan en la lista adjunta.

- ◆ **Minerales metálicos**
 - * Oro
 - * Hierro
 - * Titanio
 - * Fertilizantes
- ◆ **Materiales de construcción**
 - * Arcillas caolínicas
 - * Lodolitas
 - * Calizas
- ◆ **Arenas de construcción**
 - * Cantos rodados
 - * Pedregullo
 - * Piedra partida
 - * Granitos
 - * Piedra laja
- ◆ **Minerales y piedras ornamentales**
 - * Amatistas
 - * Agatas
- ◆ **Recursos minerales industriales**
 - * Cuarzo
 - * Arenas negras
 - * Talco
 - * Arcillas montmorilloníticas
 - * Dolomitas
- ◆ **Cargas minerales**
 - * Talco
 - * Arcillas
 - * Calizas
- ◆ **Agua mineral**

A las consideraciones anteriores se agregó el **AGUA MINERAL** como un recurso de gran valor actual y potencial. Uruguay posee aguas minerales con composición iónica equivalente a las mejores del mundo y es una industria clave para desarrollar en algunas zonas del país.

CAPITULO 7

MINERALES METALICOS

Constituyen la materia prima a partir de la cual se obtienen los metales. Este rubro es el que ha tenido mayor transformación a nivel mundial por lo que hoy, los indicios y pequeños depósitos de cobre, plomo, zinc y manganeso estudiados con mucho detalle en las décadas de los 60 y los 70 han perdido completamente el interés geológico-económico. BOSSI (1978) expuso una extensa síntesis de los conocimientos sobre esos indicios y desde entonces no se han producido modificaciones que se hayan dado a la luz pública.

Los tenores y volúmenes entonces conocidos, en las actuales condiciones de la economía mundial carecen totalmente de interés.

Por otra parte, no resulta necesario repetir aquí los conceptos entonces vertidos, porque puede accederse a ellos aunque la edición está agotada. Todas las bibliotecas universitarias vinculadas al tema poseen.

La anomalía N°.11 de la Misión del BRGM de Francia con altos tenores de molibdeno al sureste de la ciudad de Minas (Dpto de Lavalleja) que fuera intensamente estudiada entre 1979 y 1982 tampoco puede aquí considerarse como un recurso mineral con expectativas, porque a nivel mundial son económicos solamente los pórfiros de cobre y/o molibdeno de dimensiones descomunales.

Queda para tratar en este tema, los minerales de hierro de Valentines y Zapucay, lo poco que se conoce sobre depósitos de oro en distintas partes del país y los yacimientos de ilmenita que es la típica materia prima del titanio (metal estructural liviano).

El tema del hierro se plantea más con interés científico que geológico-económico, porque recientemente se ha logrado demostrar que las cuarcitas magnetito-augíticas de las áreas de Valentines en Florida y Zapucay en Rivera se han formado en las mismas condiciones y edad.

Los depósitos de oro de Uruguay son poco conocidos porque pertenecen a empresas privadas y por lógica, no van a publicar resultados que pueden ser de interés para empresas competidoras. Se ha hecho en cambio, un gran esfuerzo de recopilación bibliográfica para tratar de tipificar el estado actual de la minería del oro en el mundo.

El titanio es un metal que se ha valorizado sensiblemente en estos recientes 10 años. Aunque solamente se conozca una acumulación de ilmenita en el km 90 de la ruta nacional N° 5 descrita por WRIHT (1941), las rocas encajantes son muy abundantes.

En efecto, el gabro dentro del cual se segregaron los óxidos de hierro y titanio, aparece con gran frecuencia en los recientes relevamientos geológicos del programa Rocas Igneas Básicas del Uruguay, soportado por Facultad de Agronomía y la Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Universidad, aunque con otros objetivos.

7.1- ORO

Es un metal precioso por encontrarse en pequeña proporción y ser inalterable a los agentes atmosféricos y a la mayoría de los reactivos químicos. Tiene densidad muy elevada (19,5,g/cc), es muy maleable y fácil de mezclar con cobre y plata en cualquier proporción.

La bibliografía sobre yacimientos de oro locales en revistas y congresos creció increíblemente durante la década de los 80 según plantea el Prof. Dr G. C. AMSTUTZ en prólogo de 1990 al libro de la Dra. GASPARRINI: Gold and others precious metals, editado en 1993 por Springer-Verlag.

Ello hace muy difícil el planteo de ensayos de síntesis y recomienda -con plena razón- la lectura del libro que pretende abarcar desde la prospección minera hasta el mercado.

Un aspecto llamativo es que aunque los progresos tecnológicos en todos los campos han sido increíbles, la recuperación del oro y demás metales preciosos sea apenas mejor que hace 50 años.

Muchos aspectos considerados antieconómicos antes de los dos aumentos enormes del precio del oro (1973-75 y 1980-82) aún se mantienen como antieconómicos:

- Las técnicas de extracción son esencialmente las mismas que hace 100 años.
- En 1986 los principales productores fueron
- Sudáfrica 38 % URSS 18 % Canadá 7 % Australia 5 %
- China 4 % y Brasil 4 %-
- Sudáfrica produce principalmente en el conglomerado de Witwatersrand
- URSS produce principalmente de aluviones
- USA produce de yacimientos variados
- El oro sigue siendo fundamental como respaldo monetario, para lo cual se emplea alrededor del 60 % de la producción mundial.
- El precio en 1998 era de U\$S 400/onza y mientras en 1987 era de U\$S 450. La evolución histórica ha sido extremadamente variable:

Año	1873	1934	1973	1978	1979	1980	1980	1981
U\$S-oz	20	35	110	200	300	850	474	520
							enero	marzo

A partir de esos precios extravagantes comenzó un descenso sistemático.

Las fluctuaciones no tienen una explicación uniforme. Algunos autores piensan incluso que el precio es emocional: miedo a inflación, especulación, esperanza de bienestar, etc.

De hecho, la situación actual, con precios por debajo de los U\$S 300/oz promueve grandes inversiones en investigación e instalación de empresas extractivas apoyado en parte al progreso tecnológico, en parte al uso de equipos ya amortizados.

El oro es un elemento raro., el contenido medio en la corteza terrestre es de 2 átomos cada mil millones de átomos de silicio. Para que se explotación pueda ser considerada rentable debe presentar una concentración de 6 partes por millón (6 gramos por tonelada), lo que representa un enriquecimiento desde 0,01 a 6, es decir, de 600 veces el tenor medio en las rocas.

Ese enriquecimiento se produce en 4 ambientes fundamentales:

- Venas de cuarzo en formaciones rocosas; en inglés se denomina disseminados; Australia, California, Colorado
- Placeres o depósitos aluviales actuales o antiguos; Alaska, Siberia, Canadá
- Depósitos de metales de base como subproducto
- Conglomerados precámbricos: Witwatersrand (Sud. Africa)

En los yacimientos ocurre en un amplio rango de temperatura (200 a 700 °C). Las guías de prospección más favorables son las siguientes:

Salvandas con biotita y ortosa; fenómenos de silicificación; litologías ricas en minerales de hierro o minerales con hierro.

Clásicamente los yacimientos primarios se asociaban a depósitos mesotermales haciendo principal referencia a los encajantes que consistían en rocas metamórficas de grado medio (típico facies anfíbolita).

El descubrimiento de yacimientos en muchos terrenos de alto grado metamórfico en diferentes partes del mundo, sugiere una nueva área de investigación. La principal fuente del mineral son las litologías ferríferas en asociaciones gneiss-granulita arqueanas, producida por alteraciones de alta temperatura que generan feldespato K, biotita, granate y piroxeno.

Tanto la alteración como la mineralización son controladas por cizallas dúctiles a diferentes escalas. Entre los minerales de la mena predominan lollingita, pirrotina y arsenopirita. La mineralización aurífera ocurre en amplio rango de temperatura, variando desde 200 a 700°C.

Zonas fuertemente deformadas, con feldespato potásico y biotita como minerales de alteración, fenómenos de silicificación y litologías ricas en hierro, son las guías de prospección más favorables.

BARNICOAT et al (1991) fueron los primeros autores en publicar un yacimiento de oro formado en condiciones de facies granulita, pero luego se sucedieron hallazgos similares: GAN (1992), (1993) et al (1992, 1993). Van REENNEN et al (1994) determinaron la naturaleza de los fluidos en los yacimientos de oro en la faja granulítica Limpopo.

Los terrenos de alto grado son considerados en este ensayo desde facies anfíbolita hasta facies granulita.

Los greenstone-belts arqueanos son grandes productores de oro en todo el mundo: Canadian Shield 5000 tons; W Australia 2500 tons.

Las primeras investigaciones, AHNAEUSSE (1976) CONDIE (1981) KERRICH (1993) sugerían temperaturas entre 300 y 400°C para el depósito del oro (facies esquistos verdes). Como corolario, y a ese entonces, se abandonó la investigación en terrenos de temperaturas más altas.

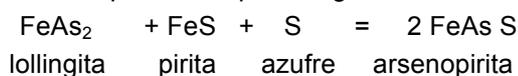
Desde 1991 en que se descubrió el primer yacimiento de oro en terrenos de facies granulita, fueron puestos en actividad muchos yacimientos: Fraser's Mine y Griffins Find en Australia; Jinchangyu y Hadamengon en el cratón del Norte de China; Kolalr en la India; Franke, Klein Letaba , Fumaru y Osprey en Limpopo, Sudáfrica

Los yacimientos australianos fueron formados durante el proceso de metamorfismo a 500-550°C y a 3 a 5 Kbars. La mineralización aurífera de Griffin's Find dio resultados todavía mayores, con temperaturas entre 700 y 740°C.

Los depósitos sudafricanos, a partir de las inclusiones fluidas primarias en varios yacimientos, demostraron que la zona de greenstone belt estuvo sometida a un proceso de alteración a 620°C y 6 Kbars.

El cratón Yilgran en W - Australia presenta grados metamórficos variables desde facies geenschist a granulita. Los depósitos de oro importantes (mayores a 10 ton de metal) se distribuyen por igual en toda el área cratónica.

El oro está en zonas de cizalla dúctil con fuerte alteración retrógrada a biotitas, en venas de cuarzo-dióxido-sulfuros y calcita. Los principales sulfuros son pirrotina, pentlandita y calcopirita. La mina Griffins Find, situada en facies granulita tiene gneisses como encajantes. La mineralización ocurre en venas de cuarzo + sulfuro + clinopiroxeno. La lollingita es parcialmente cubierta por arsenopirita según una reacción de sulfuración.



La edad Pb/Pb de esta mineralización es de 2635 ± 1 m.a. según BARNICOAT et al (1991)

El cratón Pilbara también en West-Australia presenta asociaciones granito-greenstone belts de más de 3300 m.a. (NEUMAYR et al,1993). La mineralización asociada al metamorfismo de facies anfibolita ocurre en BIFs, metavulcanitas, máficas y ultramáficas y está asociado a venas de cuarzo- anfíbol, de cuarzo-clinopiroxeno-calcita y una intensa alteración a biotita. El oro se aloja en pirrotina, arsenopirita y lollingita. La termometría indicó valores entre 450 y 570°C

En Canadá, el prospecto para oro en la Lilois, al Este de la bahía de Hudson está alojado en la formación ferrífera metamorfizada del complejo Ashuanipi, que consiste en paragneisses, ortogneisses máficos y BIFs (LAPONTE Y CHOWN, 1993). Todas las rocas sufrieron metamorfismo en facies granulita con temperaturas de 660 - 775°C y presiones de 7,0 a 7,5 Kbars hace 2653 ± 3 m.a.

La mineralización se encuentra en lentes de formación ferrífera de 800 x 300m aflorando a 100 m de un plutón de tonalita. Venas de cuarzo y clinopiroxeno conteniendo sulfuros están asociadas a la mineralización. El oro se encuentra en lollingita y arsenopirita como inclusiones de 5 a 100 micras. La temperatura estimada para la asociación oro-sulfuros es de 690 - 770°C.

El yacimiento de oro de Enasen, en el centro de Suecia es único por su remarcable asociación cuarzo-sillimanita en la encajante y su ocurrencia de oro en metamorfitas paleo-proterozoicas de alto grado (HALLBER,1994). Las rocas supracrustales comprenden un complejo volcano-sedimentario depositado hacia 1900 m.a. atrás, metamorfizado a facies anfibolita alto (600 - 700°C) hace ca. 1800 m.a. Los gneisses a cuarzo-sillimanita son interpretados como producidos por actividad geotérmica con fuerte lixiviación e intensa silicificación.

Según el autor arriba citado, la deposición de oro se produjo antes del metamorfismo y deformación regionales. Los isótopos de oxígeno sugieren que el depósito se produjo en una sulfuración epitermal e temperatura de 200- 250°C - equivalente a las típicas terciarias-, sometidas luego a metamorfismo.

El yacimiento de Nalunaq, en Groenlandia, está emplazado en metamorfitos de facies anfibolita alta, de 1800 - 1845 m.a. (GOWEN et al, 1993). Las rocas dominantes son un gneiss a biotita-hipersteno-cordierita-granate y anfibolitas de varios tipos.

El oro ocurre en venas de cuarzo concordantes con anfibolitas que están rodeadas por anfibolitas con clorita, epidoto y carbonatos, con tenores de 20g/ton y cristales de hasta 0,4 mm. La lollingita es el mineral más importante asociado al oro. Las inclusiones fluidas, fuertemente salinas, se asemejan más a un tipo pórfido cuprífero que a los fluidos en los cuarzos asociados a greenstone belts.

La mina Renco, en Limpopo Belt en Zimbawe, ocurre en metamórficos de facies granulita formados a 800°C y 7,4 Kbars (TABEART,1987). Las rocas del área son charnokitas, piroxenitas y granulitas félsicas.

Están fuertemente deformadas por pliegues y cizallas dúctiles. La mineralización de oro está alojada en una granulita a cuarzo y magnetita finamente laminada interpretada como milonita por el autor arriba citado.

La mineralización es muy compleja y el oro forma texturas mirmequíticas con bismuto. La alteración en las salvandas hidrata el hipersteno a hornblenda y biotita. Sericitiza los feldespatos y reemplaza minerales ferromagnesianos por sulfuros. El control estructural de la mineralización es evidente: cada corrida representa una zona de cizalla.

Ciertos rasgos generales son comunes a todas las mineralizaciones de oro en terrenos metamórficos arqueanos de alto grado según GAN y Van REENNEN (1997). Según los ejemplos utilizados, el carácter de arqueano no es imprescindible y sería fundamental que los huéspedes fueron de facies anfibolita alto a granulita.

Las litologías preferidas son BIFs y rocas máficas, lo que contrasta netamente con los depósitos asociados a greenstone belts (bajo grado).

La fuente del metal es parcialmente constituida por los 10 a 40 ppb que contienen las rocas del área, pero los grandes yacimientos necesitan una fuente adicional. Las intensas

alteraciones de las rocas de caja asociadas a los yacimientos, sugieren la existencia de una interacción a escala regional con fluidos hidrotermales.

La alteración hidrotermal genera enriquecimiento en K con formación de biotita, microclina, pertita y muscovita. En la mina Hadamengou en el cratón del Norte de China, la mineralización está localizada en venas cuarzo-feldespáticas y el color rosado de la alteración del feldespato K es la principal herramienta de prospección en el área de la mina.

La alteración carbonática, que es un rasgo común a todos los filones auríferos de los greenstone belts arqueanos, (KERRICH, 1993) tiene poca significación en los yacimientos de alto grado.

La formación de los mayores yacimientos resultan de una actividad hidrotermal a escala crustal, controlada por zonas de dislocación regional. Están siempre asociados a zonas de cizalla o fallas. Las cizallas dúctiles y las charnelas de pliegues son las áreas ideales de acumulación de oro en terrenos de alto grado, con rumbos concordantes con la estructura de los metamórficos.

Las paragénesis son muy variadas, pero lollingita (FeAs_2) pirrotina (FeS) y arsenopirita (FeAsS) muestran la máxima frecuencia. El oro está en partículas visibles al microscopio dentro del cuarzo, arsenopirita y lollingita.

Las anomalías geoquímicas más notorias son As, Sb, W, U, dentro de las rocas mineralizadas. Las inclusiones fluidas en los cuarzos del área presentan baja salinidad y alto % de CO_2 . Desde el punto de vista de las condiciones P-T de la deposición del oro en terrenos de alto grado metamórfico, se pueden considerar como muy variables.

Si se tiene en cuenta la relación temporal del depósito de oro y del metamorfismo regional de alto grado, los yacimientos se pueden agrupar en 3 categorías: pre- syn- y post-metamórficos.

Los depósitos pre-metamórficos se forman en condiciones de P-T (facies greenschist) y luego se llevan a condiciones de alto grado metamorfismo sin remobilización. Los ejemplos propuestos son los mismos Big Bell (Australia) y Enosen (Suecia)

Los depósitos sin-metamórficos se forman durante el proceso de metamorfismo a temperaturas de 500 - 750°C y presiones entre 3 y 7 Kbars. Los ejemplos utilizables con mayor seguridad son las minas Fraser y Griffins Find en el cratón Yilgarn de Australia. La temperatura no es el principal factor del depósito del oro.

Las reacciones de la roca de caja con fluidos portadores de oro y variaciones de pH parecen ser factores más importantes. Durante el metamorfismo de alto grado, muchos minerales pierden su agua de constitución y generan así los vapores capaces de vehiculizar el oro en solución.

Los depósitos post-metamórficos se caracterizan por varios estadios de mineralización, en los cuales, la actividad tardi-tectónica, magmática e hidrotermal juegan importante rol.

En los depósitos del Norte de China los datos de campo y geocronológicos, indican que el enriquecimiento primario ocurrió durante el paleoproterozoico, pero que la mayoría del oro fue depositado en el Mesozoico.

En este último período, la orogénesis Yanshanian produjo granitos anatóxicos y magmáticos que desarrollaron fluidos magmáticos que produjeron el enriquecimiento actual.

A modo de resumen, se repiten los conceptos planteados al comienzo del capítulo pero ahora con un sesgo diferente, por la posibilidad real de poseer este tipo de yacimiento en Uruguay.

Los terrenos arqueanos o paleoproterozoicos de alto grado de metamorfismo tienen importancia equivalente a los de los greenstone belts para la exploración de oro, porque pueden contener yacimientos de gran valor.

Los depósitos pueden ser de 3 tipos fundamentales:

- Pre-metamórficos formados a temperaturas normales para los yacimientos de oro (200 - 250°C) y luego sometido al metamorfismo de alto grado sin destruirse la concentración original.

- Syn-metamórficos, a partir del contenido diseminado en los protolitos y normalmente con una contribución significativa de fluidos hacia zonas de cizalla dúctil o charnelas de pliegues
- Postmetamórficos, producidos a cualquier edad posterior en que se generen fluidos hidrotermales.

El alto grado de metamorfismo no es un factor destructivo de la mineralización aurífera. La deformación estructural, especialmente zonas de cizalla ductil, juegan un factor fundamental en la concentración.

Las rocas de caja preferidas son Bifs y metamórficos máficos. Un metasomatismo potásico está también siempre asociado desarrollando microclina, pertita y/o biotita. Los sulfuros quasi omnipresentes son lollingita, arsenopirita y pirrotina.

Las zonas de máxima prioridad de exploración en terrenos de alto grado metamórfico deben ser aquellas intensamente plegadas, con litologías ricas en hierro, tales como formaciones ferríferas y metabasitas, presencia de zonas de cizalla dúctil a diferentes escalas, fuerte alteración hidrotermal con desarrollo de feldespato K, biotita y silicificación.

Para tratar el tema de oro en el Uruguay es necesario realizar planteos generales sobre posibilidades de existencia de yacimientos en zócalos precámbricos.

No existe mucha información sobre las labores de prospección realizadas durante la década de los 90 ni se ha publicado ningún dato oficial sobre tipos de yacimiento, tenores medios de extracción, tonelajes de reservas posibles, probables ni probadas. Esto está en contraste con los enfoques de los países productores y hace difícil encarar el tema con perspectivas ciertas.

Afortunadamente es muy abundante la bibliografía sobre Africa del Sur, Oeste de Australia, Canadá y Brasil como para encarar el tema con adecuada solidez y poder sugerir algunos criterios de orientación.

El tema sobre investigación de oro se ha vuelto tan importante que el número 6 del volumen 28 de la Revista Mineralium Deposita en diciembre de 1993 fue totalmente dedicado a los depósitos de oro del Oeste de Australia uno de los centros productores más famosos del mundo.

Las contribuciones relacionadas a investigaciones de excelencia, tienen aplicación para el resto del mundo porque ayudan a entender los mecanismos de acumulación de oro en varias edades y contextos geológicos, así como la comprensión de la geoquímica del oro en la corteza. La metodología expuesta ayuda a programar las técnicas de exploración.

El prefacio de ese número fue escrito por el Prof. R. KERRICK de la Universidad de Saskatchewan en Canadá y apuntó a sintetizar los modelos genéticos de yacimientos de oro aceptados hoy y aceptables en el próximo futuro.

El referido autor plantea que los sistemas de venas y filones conteniendo oro, alojados estructuralmente en rocas metamórficas constituyen grupos coherentes de yacimientos epigenéticos. Su origen es sin embargo, controvertido, tanto en los mecanismos como en los tiempos en que se produjo el depósito.

Estos depósitos epigenéticos de venas de metales preciosos se denominan de diferentes formas: oro arqueano; oro mesotermal; sólo oro; "lode gold". El término oro arqueano se asocia a la relativa abundancia de estos yacimientos en greenstone belts fini-arqueanos (2900 - 2600 m.a.).

Dentro de estas cinturas arqueanas es frecuente que la mineralización aurífera se asocie - por lo menos geométricamente- con komatiitas y/o taconitas (BIFS), litologías restringidas casi exclusivamente al período Arqueano.

Las recientes investigaciones están demostrando que los yacimientos de oro filonianos entrecruzados (lode) en cinturas metamórficas de cualquier edad tienen muchas características en común con los yacimientos arqueanos y todos parecen haberse formado por un único proceso común.

Yacimientos exclusivos de oro (sólo oro) es un término equivocado porque siempre hay proporciones importantes de plata y con frecuencia aparecen W y Te.

El término mesotermal es apropiado, ya que la mayoría de los yacimientos están emplazados en terrenos metamórficos de facies esquistos verdes. No se hace referencia a un proceso hidrotermal de temperatura intermedia, sino a que se emplazan en un ambiente cortical de profundidad media.

Más recientemente se encontraron yacimientos de características similares en rocas metamórficas de facies superior a esquistos verdes (GROVES et al, 1992), facies anfibolita y granulita. Coinciden en alojamiento estructural en zonas de cizalla dúctil, paragénesis con Ag W As Sb Se Te Bi y naturaleza de los fluidos asociados.

Se llega entonces a la conclusión que este tipo de yacimiento de filones entrecruzados en parte siguiendo la estructura de los metamorfitos, tiene características similares en cualquier posición en la Corteza (GROVES,1993).

Esta clase de yacimientos de oro alojados estructuralmente en series metamórficas difieren de los otros 2 tipos fundamentales : tipo Carlin, de enorme tamaño ,bajo tenor, diseminados en sedimentos intracontinentales de típico ambiente geotectónico extensional, con fuertes anomalías de talio;-tipo epitermales asociados típicamente a litologías de arco magmático no metamorizadas.

Para intentar un modelo que explique el proceso genético de estos yacimientos en filones de áreas metamórficas, deben tenerse presente todas las observaciones geológicas, geoquímicas y geofísicas que se fueron acumulando en el tiempo en diferentes áreas cratónicas del mundo.

Están desarrollados principalmente en ciertos greenstone belts tardi-arqueanos pero también están presentes en terrenos metamórficos de Proterozoico, del Paleozoico e incluso del Mesozoico.

Las asociaciones geotectónicas sistemáticas de los yacimientos con taconitas y/o komatiitas así como la contemporaneidad del depósito con el metamorfismo, sugirieron fuertes conexiones genéticas entre la acumulación del oro y los protolitos involucrados.

Sin embargo, el uso de este criterio ha fallado para lograr un modelo integrado de aplicación general.

Los yacimientos de oro en venas con respeto de la estructura de todos los tiempos, tienen aspectos estructurales, mineralógicos y geoquímicos muy parecidos, implicando inevitablemente un proceso genético particular.

El rasgo más saliente y constante es encontrarse en caja metamórfica. La primera idea de BOYLE (1979) fue suponer difusión lateral hacia zonas de fractura con gradientes de potencial químico, como eran las ideas dominantes de la época.

Otra característica constante es acumularse en cinturones orogénicos ,complejos volcano-sedimentarios. Siguiendo el modelo singenético que tuvo éxito para los sulfuros de los metales de base (VMS) se intentó aplicar para estos yacimientos proveniendo el oro de la exhalación de las lavas submarinas y/o de sedimentos pre- orogénicos (FRIPP, 1976; HUTCHINSON and BURLINGTON, 1984).

Numerosos rasgos independientes señalaron la imposibilidad del origen singenético:

1. La paragénesis y la alteración hidrotermal asociada afectaba la estructura metamórfica, tanto en los cuerpos concordantes como en las venas entrecruzadas
2. Las venas están fuera de equilibrio redox, químico e isotópico con las rocas encajantes

Algunos modelos usaron los protolitos de las series metamórficas como la roca fuente suministradora de oro. Sin embargo, estudios geoquímicos detallados han demostrado que ninguna de las litologías tenía capacidad de contribuir con el volumen de oro acumulado.

Por otro lado, todos los protolitos se acumularon antes del metamorfismo, mientras que la mineralización aurífera puede ser syn- o post- metamorfismo. Eso limita seriamente la posibilidad de una fuente única del metal.

Un avance mayor se debe a FYFE and HENLEY (1973) quienes encararon que la maraña de filones de cuarzo auríferos formados en zonas de cizalla concentraran los fluidos generados en profundidad durante el metamorfismo. Los reservorios serían así enormes y se utilizaría el flujo térmico regional.

El escalón siguiente fue el reconocimiento de que los filones auríferos del precámbrico ocurrían sistemáticamente en un ambiente geodinámico específico: márgenes convergentes (FYFE and KERRICK, 1985).

WYMAN and KERRICK (1988) perfeccionaron este concepto en un esquema en el cual todas las provincias de filones auríferos entrelazados (lode gold deposits) se formaban por los mismos procesos durante la acreción transpresiva de terrenos alóctonos en cinturones orogénicos de estilo cordillerano.

La colisión entre terrenos genera esa complejidad litológica y estructural tan típica de estos depósitos.

También explica la aparición de estos yacimientos en forma abundante solamente en el finiarqueano, Paleozoico Inferior y Mesozoico, tiempos en los cuales dominó el estilo cordillerano en la acreción de terrenos a escala de todo el planeta.

Estudios de isótopos estables e inclusiones fluidas mostraron que los fluidos mineralizadores son de origen metamórfico generados por deshidratación en profundidad a medida que crece la temperatura, en la zona de colisión y se canalizaron hacia las estructuras de los bordes de los terrenos.

Los isótopos de C, S, Sr., y Pb mostraron que la fuente de los fluidos es litológicamente compleja por lo que se debe abandonar la idea de génesis vinculada a un solo estrato.

Como ya fué planteado líneas arriba, BARNICOAT et al (1991) documentó por primera vez un depósito de oro en filones entrecruzados con encajante de facies granulita.

Con este hallazgo se confirmó que este tipo de yacimiento podía estar en rocas de cualquier grado metamórfico desde los greenstone belts de bajo grado hasta típicas facies granulita.

GROVES (1993) propone del crustal continuum model para los yacimientos del cratón en el Oeste de Australia, donde encuentra yacimientos en facies sub-esquistos verdes y anfíbolita-granulita.

En la figura N° 7-1 se muestra la carta geológica de un área del Oeste de Australia de superficie equivalente al Uruguay con enormes fallas de cizalla sinestrales predominantemente noroeste y cizallas también sinestrales de rumbo NE de menor importancia tectónica.

El modelo propuesto consiste en la formación de una enorme discontinuidad tectónica asociada a una colisión oblicua que experimenta desplazamientos verticales y horizontales. Según la zona de la corteza el comportamiento será dúctil, dúctil-rúptil o rúptil y el facies metamórfico será variable.

En la figura N° 7-2 tomada de GROVES (1993) con modificaciones se muestra una reconstrucción esquemática de un hipotético sistema hidrotermal continuo extendiéndose en 25 Km de espesor de corteza, señalando las posibles fuentes de fluido mineralizante e isótopos radiogénicos.

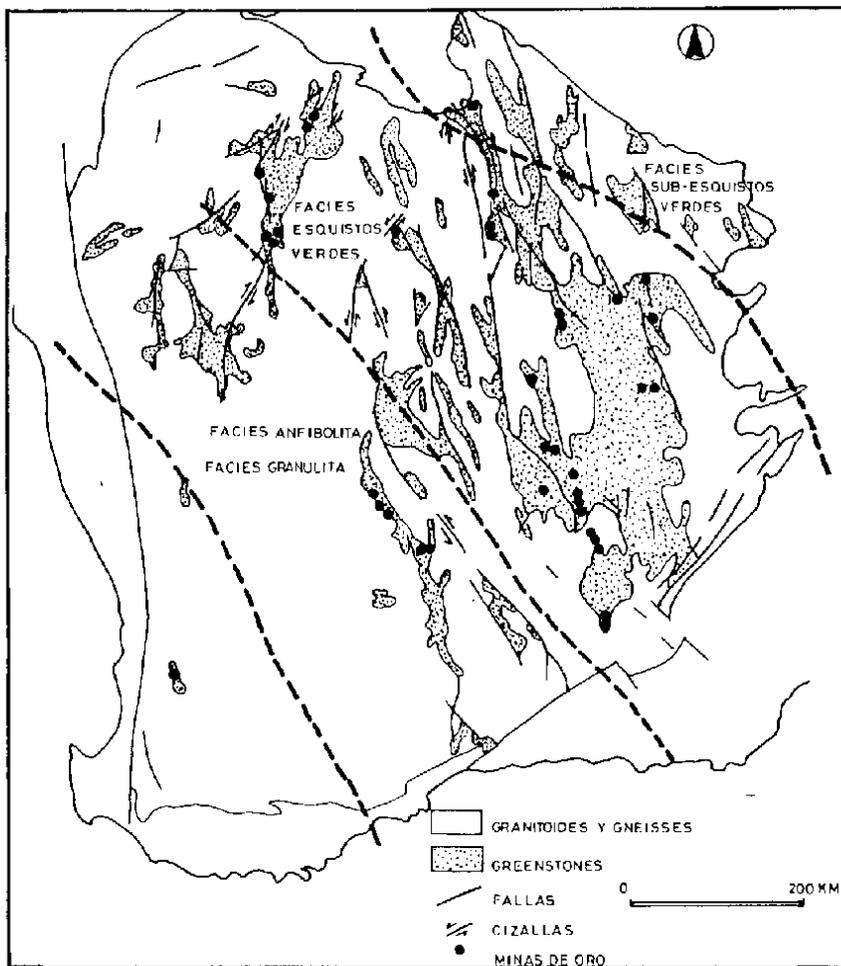
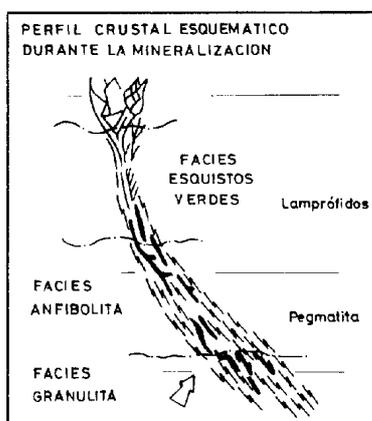


Figura Nº 7-1. Carta geológica de un área del Oeste de Australia con yacimientos de oro. (Según GROVES 1993)

Una breve descripción de 5 minas del W de Australia en actividad, con encajante de diferente grado de metamorfismo va a ayudar a comprender el modelo actualmente aceptado por las principales especialistas en el tema:



- Racetrack, con encajante de facies esquistos verdes bajo
- Norseman, en facies esquistos verdes alto-anfibolita
- Koolgardie Goldfield, en facies anfibolita
- Griffind' s Find, en facies granulita
- Lady Bountiful, uno de los pocos ejemplos encajado en granitoide.

Figura Nº 7-2. Modelo de sistema hidrotermal. (Según GROVES 1993)

GEBRE- MARIAM et al (1993) describen la mina Racetrack con encajante en basalto porfírico metamorizado en facies esquistos verdes superior. La mineralización se instaló en un sistema de fallas rúptiles con 3 etapas de actividad hidrotermal, de las cuales, las dos primeras fueron portadoras de oro. La alteración de la caja es intensa con sericitización y silicificación al igual que en los depósitos mesotermales. Las inclusiones fluídas tienen 4 % de ClNa y $\text{CO}_2 < 0,8$ molar. La temperatura de depósito está comprendida en 190 y 260°C, el pH entre 4,2 y 5,3. Las composiciones isotópicas exigen la intervención de agua meteórica pero los isótopos de Pb indican procedencia de gran profundidad en la corteza. En la figura N° 7-3 se muestra un esquema de la geología regional y una carta de detalle del yacimiento.

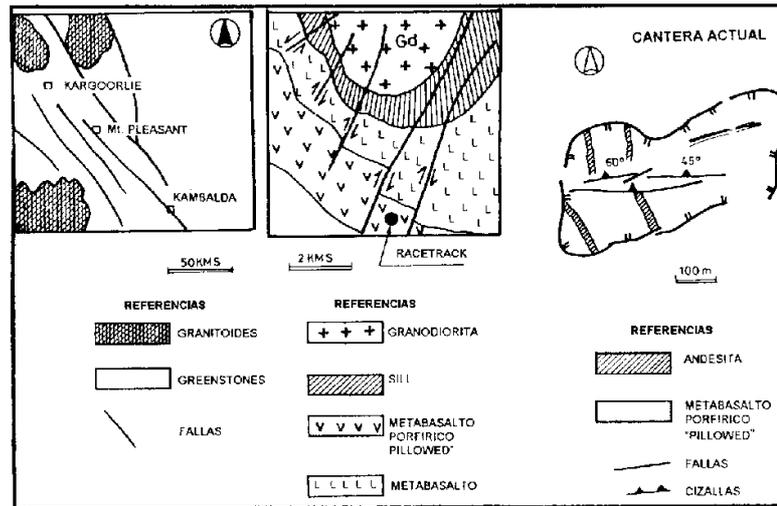
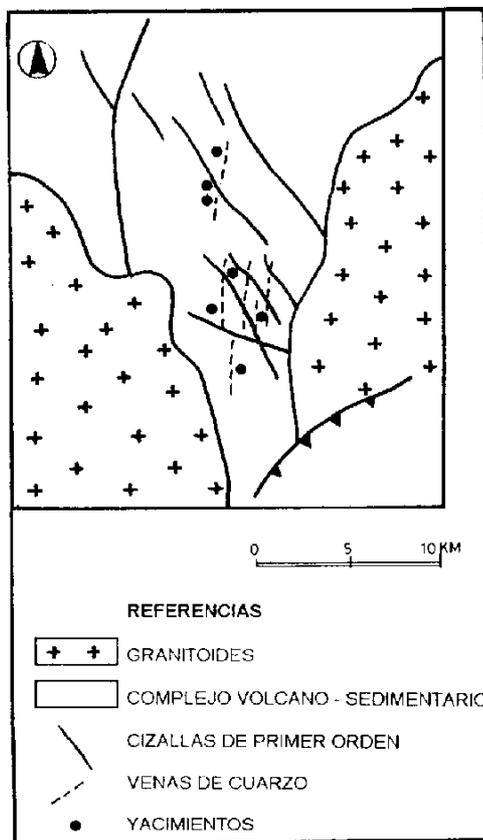


Figura N° 7-3. Geología regional y de detalle del yacimiento de la mina Racetrack.



El yacimiento arqueano de Norseman, en el W de Australia consiste en venas de cuarzo aurífero emplazadas en zonas de cizallas dextrales de comportamiento dúctil-rúptil dentro de metabasaltos toleíticos de grado metamórfico correspondiente al límite entre facies esquistos verdes superior- facies anfíbolita. Mc CUAIG et al (1993).

Se reconocen 3 tipos de yacimiento y se diferenciaron según la distribución espacial, el estilo de las venas, la paragénesis de la alteración y el grado de metamorfismo de las rocas encajantes. (Ver figura N° 7-4) que ha sido tomada de Mc CUAIG et al (1993) y fue simplificada para resaltar las cizallas NNW de primer orden y las venas de cuarzo aurífero de rumbo NS en fracturas de segundo orden.

Los yacimientos del Norte del área tienen encajante de facies esquistos verdes alto a anfíbolita inferior, comprenden venas de cuarzo masivas a laminadas con salvandas de cuarzo-clorita-calcita-biotita-plagioclasa.

Los yacimientos del centro tienen encajante en facies anfíbolita; contienen también venas de cuarzo masivos a laminados y las

Figura N° 7-4. Yacimientos de diferentes tipos en Norsenan, W de Australia, según Mac CUAIG et al (1993)

salvandas presentan cuarzo-actinolita-biotita-plagioclasa-calcita.

Los depósitos del Sur, emplazados en rocas de facies anfibolita medio consisten de venas de cuarzo bandeado con dióxido-calcita-microclina-zoisita.

Todos los yacimientos exhiben deformación dúctil consistente con una génesis syn-deformacional de alta temperatura.

De Norte a Sur hay evidencias de incremento de temperatura de formación así como un mayor grado de plasticidad. Estas observaciones implican que existe una variación térmica de la alteración hidrotermal en una distancia de 40 Km desde 420 - 475°C en el Norte, 470-495°C en el centro y más de 500°C en el Sur.

Las alteraciones se produjeron a alta temperatura por procesos hidrotermales y no sufrieron posterior metamorfismo. Las diferencias térmicas pueden reflejar un gradiente térmico a P = cte debido a la proximidad de complejos granitoideos o a la formación de los depósitos a profundidades corticales crecientes.

En cualquiera de las dos hipótesis, los depósitos auríferos representan un continuum desde facies esquistos verdes superiores a facies anfibolita ahora expuestos en una sección oblicua respecto a la corteza arqueana.

El área aurífera Coolgardie Goldfield, en W Australia está emplazada en un terreno metamórfico de facies anfibolita (KNIGHYS et al 1993), compuesto por rocas máficas y ultramáficas. La mineralización es prácticamente sincrónica con el pico de metamorfismo, la fase principal del emplazamiento granítico y la deformación regional.

Están representados varios estilos estructurales: 1) mineralización a lo largo de cizallas desarrollados en el contacto entre pórfidos félsicos y rocas ultramáficas; 2) marañas de filones de cuarzo alojados en gabros; 3) venas de cuarzo relativamente potentes limitados por fallas; 4) filones laminados de cuarzo instalados en zonas de cizalla en el límite dúctil-rúptil.

Las estructuras mineralizadas se formaron en respuesta a un proceso de deformación progresiva relacionada al emplazamiento de un gran cuerpo granitoide en un régimen compresional EW pero con gran heterogeneidad de direcciones locales de los esfuerzos. Esto ocurre poco después de un período de cabalgaduras que aumentan el espesor cortical con vergencia hacia el N.

Hay dos estilos contrastantes de alteración de las rocas encajantes de la mineralización. En un caso las rocas se alteran a más de 500°C generando paragénesis de granate + hornblenda + plagioclasa+ pirrotina.

En el otro caso las paragénesis son de menos de 500°C y consisten en anfíbol Ca+ biotita+ plagioclasa+ calcita+ arsenopirita+ pirrotina.

La distribución de los dos estilos de alteración está controlada por la distancia a la masa granitoide sintectónica ubicada en el Oeste del área aurífera. En esta zona resulta evidente que la intrusión de los plutones sin-tectónicos juega un rol significativo en el estilo de la alteración de la encajante. (Ver figura N° 7-5).

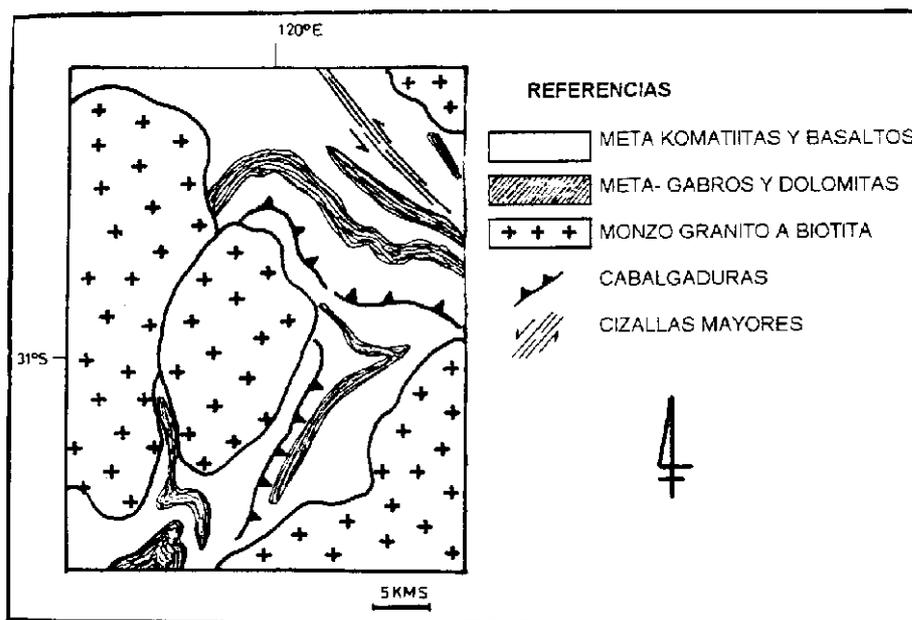


Figura N° 7-5 Geología regional del área aurífera Coolgardie en el W de Australia.

Como demostró WITT (1991) para las zonas de mineralizaciones auríferas en metamorfitos de alto grado (facies anfibolita a granulita) las aureolas de alteración son de alta temperatura y ocurren comúnmente en extensas bandas alrededor de granitoides sintectónicos. Esto sugiere que los plutones pueden haber actuado como centro de flujo de calor y de fluidos durante el metamorfismo y la actividad hidrotermal.

Este distrito contiene 4 yacimientos en actividad con más de 10 ton de reservas y varias decenas de minas entre 1 y 5 toneladas de oro. Dentro de la reducida área ocupada por los metamorfitos se pasa desde facies esquistos verdes a facies anfibolita superior.

Cuando se dispone de información geológica detallada siempre aparece un importante cuerpo granitoideo en las vecindades de la zona mineralizada, lo que seguramente contribuye- por lo menos con flujo térmico- a la acumulación del oro en las venas cuarzosas asociadas a cizallas. Más adelante se verá un ejemplo en que la mineralización está emplazada dentro del propio plutón.

El área de la mina Griffin's Find está compuesta por rocas metamórficas de facies granulita. Los encajantes son gneisses granitoides con dos paragénesis dominantes plagioclasa + ortopiroxeno + clinopiroxeno+ hornblenda+ ilmenita y plagioclasa+ cuarzo+ biotita+ almandino+ ortopiroxeno+ cordierita+ microclina. La mineralización aurífera, según describen GANN y Van REENEN (1997) se encuentra en venas de cuarzo + sulfuros + clinopiroxenos con alteración adyacente de las rocas de caja a paragénesis del tipo cuarzo + clinopiroxeno+ grosularia. Lollingita, arsenopirita y pirrotina están siempre presentes.

La mina Lady Bountiful es un ejemplo de mineralización aurífera mesotermal alojada en rocas granitoides. CASSIDY y BENNETT (1993) describen con detalle las características del yacimiento ubicado también en el cratón del SW de Australia.

Está emplazado en el greenstone belt Ora Banda en metamorfitos de típico facies esquistos verdes. Lo principal de la mineralización se encuentra en una granodiorita tarditectónica.

La mineralización aurífera está localizada en venas de cuarzo en zona de fracturas rúptiles con cizallas sinestrales que atraviesan el contacto entre la granodiorita y la serie metamórfica. En la figura N° 7-6 se muestra un esquema simplificado de la distribución de la mineralización tomado de los autores recién referidos.

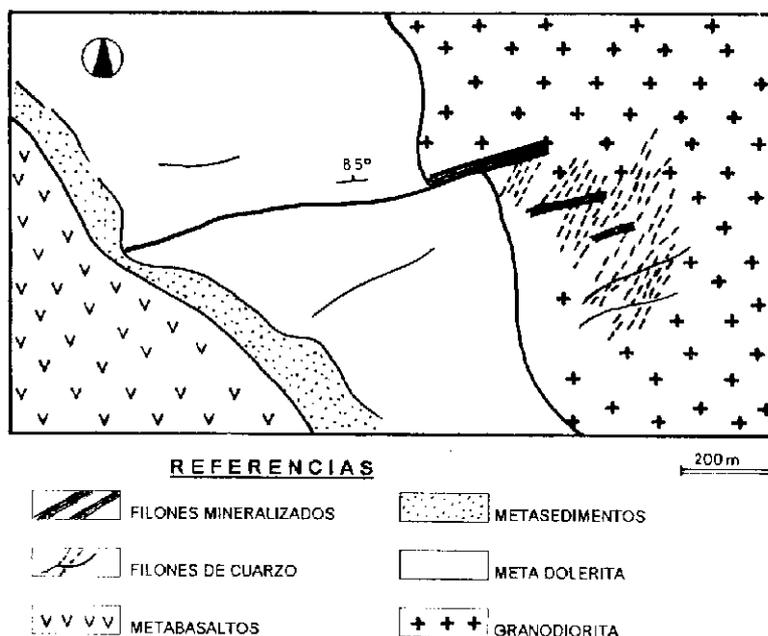


Figura N° 7-6. Estructura geológica simplificada de la mina a Lady Bountiful según CASSIDY & BENNET (1993)

La mineralización aurífera está en venas de cuarzo que se depositaron en fallas a temperaturas entre 300 ± 50 y $250 \pm 50^\circ\text{C}$. El oro está asociado a telururos y sulfuros. Las inclusiones fluidas tienen siempre menos de 15 % en volumen de CO_2 y salinidad moderada, alrededor de 1,3 moles de ClNa equivalente.

Las salvandas son menores a 1 metro de espesor y contienen albita + muscovita + clorita + calcita + rutilo.

Los terrenos compuestos de complejos greenstone belt-granitoides en el período Neoarqueano contienen numerosos depósitos de oro alojados en variadas litologías y diseños estructurales. La génesis de tales depósitos es motivo de controversias y los diferentes modelos de incorporación del oro a los yacimientos se plantean como mecanismos de aporte, fluidos magmáticos, metamórficos o mantélicos.

La descripción relativamente detallada de varios yacimientos del W de Australia agregada al planteo general de GAN y van REENEN (1997) permite disponer de criterios fundados para analizar el problema de las posibilidades de oro en Uruguay, aunque no se disponga de datos oficiales sobre ninguna de las áreas en prospección, exploración o actividad minera.

Los datos históricos planteados por Mac. MILLAN en 1931 y 1933 que fueron recogidos en forma resumida por BOSSI (1969) y BOSSI (1978) indicaban la existencia de 3 zonas preferenciales: Minas de Corrales en el Dpto de Rivera; Arroyo del Soldado, Arrospide y Retamosa en el Dpto de Lavalleja; Isla Patrulla en el Dpto de Treinta y Tres.

Intensos trabajos de prospección fueron realizados por DINAMIGE con el apoyo técnico del BRGM de Francia durante algunos años de la década del 70. Aunque no existe informe publicado de las conclusiones, se produjo un aumento de actividad en la prospección e incluso se realizaron intentos de explotación, algunos fracasados, otro en actividad.



Figura N° 7-7. Esquema geológico del zócalo precámbrico del Uruguay según Bossi et al (1998) con ubicación de los conocidos indicios auríferos.

En la figura N° 7-7 se exponen gráficamente las áreas donde se ha encontrado indicio de oro desde las primeras explotaciones de 1889 en el área de Minas de Corrales hasta las áreas que fueron recientemente estudiadas.

La única explotación importante hasta la década de los 70 fue el área de Minas de Corrales - Zapucay en el Dpto de Rivera aunque los datos publicados por Mc. MILLAN (1931) indican aparentes condiciones no rentables, hecho en cierta medida confirmado por el frecuente cierre y venta de las empresas mineras.

Las tareas de intensa exploración realizadas en las décadas de los 80 y 90 tomaron como base criterios geológicos: áreas granito- greenstone belts; áreas de alto grado metamórfico con taconitas y metabasitas; áreas con intensa actividad de filones de cuarzo.

ORO EN SUD AMERICA

La revista Latinominería en su editorial del N°.17 de febrero de 1996 plantea la necesidad de revitalizar programas de producción de oro en América Latina por lo que estaba aconteciendo a nivel mundial.

Los corredores de las principales bolsas del mundo consignan que importantes inversores internacionales han comprado grandes cantidades de oro para luego ofrecerlos a terceros con altas tasas de interés.

Esto trajo dos consecuencias directas: a) un significativo aumento del costo de tomar oro prestado a corto plazo y b) el beneficio para los productores y los corredores de oro que vieron como el mercado está más activo que nunca en las últimas décadas.

En diciembre de 1995 en las bolsas de Nueva York, Londres y Toronto, el oro a crédito subió un 6 % en un día y el precio subió U\$S 8 por onza. El año 1995 cerró a U\$S 387/oz. Y en enero de 1996 estaba a U\$S 415.

Otro efecto del alza súbita del oro es que a nivel de los fondos internacionales de inversión de renta variable, estas organizaciones financieras están comprando minas de oro. El tratamiento financiero de este metal ha cambiado: se lo considera como un metal básico (cobre, por ejemplo) y no únicamente como un activo financiero para mantener riquezas individuales.

América Latina se ha vuelto un polo de atracción para el oro debido a varias causas: hay grandes regiones inexploradas; han disminuído los riesgos políticos, se ha incrementado la seguridad personal; se han descubierto importantes nuevos yacimientos en varios países. Todos estos factores constituyen una invitación irresistible para la llegada de geólogos de corporaciones internacionales.

Los gobiernos de la región ven a la minería como un importante factor de desarrollo porque genera empleos y demanda infraestructura. En América latina ha experimentado un importante crecimiento en la década de los 90; las estrellas auríferas son: El Indio, La

Coipo, Yanacocha, Omai, Kori-Kollo, Don Mario, Boya I, San Antonio de Lípez y Bajo de La Alumbreira.

Uruguay no ha sido ajeno a ese fenómeno aunque con inversiones sensiblemente menores, del orden de los 40 millones de dólares USA: Lo que el editorialista sugiere es atraer geólogos de las corporaciones internacionales y efectivamente eso es fundamental e irremediable.

Ello lleva de la mano a la necesidad de crear especialistas uruguayos no formados en el exterior sino en Uruguay, con un sesgo notorio en Geología Económica del Precámbrico, lo que es realizable sin ninguna dificultad para formar 3 post graduados por año llamando a especialistas reconocidos para integrar el cuerpo docente y eventualmente algún docente argentino o brasilero durante algunas semanas.

El caso de Perú es analizado en detalle porque está teniendo gran desarrollo y puede llegar a ser el principal productor de oro de América Latina y encontrarse entre los 10 primeros del mundo si la evolución de 1995 se mantiene, con 18 % de incremento respecto a 1994 y 84 % respecto a 1993.

Ello ha sido debido al ingreso de la Minera Yanacocha, la principal empresa Sudamericana. La producción de Perú fue de 30 ton de oro en 1993; 47 ton en 1994 y 56 ton en 1995. Hay objetivos concretos de llegar a 100 ton por año hacia fin del siglo.

Brasil descubrió en 1995 un nuevo yacimiento de oro en Serra Leste en el Estado de Pará, a cargo de la empresa Vale do Rio Doce y podría producir 15 toneladas de metal por año. La compañía mixta pretende producir 31 ton de metal/año a partir del año 2000.

Una revisión por países de los principales proyectos, realizada por la revista *Latinominería* en 1995 ha permitido redactar un artículo muy optimista sobre el futuro de la minería del oro. Latinoamérica es uno de los polos de atracción más interesantes del mundo para inversores en oro. Las grandes minas de oro serán rápidamente descritas para ubicar la situación de América en 1995.

El Indio - Está ubicada en Chile y resultó ser el fruto de un nuevo Código de Minería y un trato con inversores extranjeros en 1978- 1981. Esta empresa creó una escuela de exploración utilizando anomalías cromáticas en fotografías aéreas. El proyecto actual de la mina y sus yacimientos cercanos de Tambo y Nevada plantea producir 14000 Kg de oro por año.

La Coipa- Desplazó a El Indio al segundo lugar en 1994. Con una producción de 8000 Kg/año, disputó el liderazgo latinoamericano en 1993 con la mina Omai en Guayana y Kori-Kollo en Bolivia.

Omai- Mina ubicada en Guyana por una empresa mixta de Denver (USA) y Montreal (Canadá). Fue la primera gran mina puesta en producción en el escudo precámbrico de Guyana, a orillas del río Essequibo, en plena selva tropical, operando desde 1993.

Kori-Kollo- Se encuentra en Bolivia, cerca de Oruro. Es la única mina a cielo abierto en Bolivia y fue desarrollada por la compañía minera Inti Raymi. Con fuertes inversiones para explotar el oro contenido en los sulfuros, alcanzó en 1995 una producción de 11000 Kg de oro, lo que se puede mantener por 10 años, hasta agotar las reservas evaluadas en 100 toneladas. Kori-Kollo se transformó en un modelo minero que puede ser útil de seguir en otros casos: una compañía local propietaria de un yacimiento promisorio se asocia con un grupo fuerte del extranjero para explotarlo, a cambio de participación en la empresa.

Don Mario- Es un proyecto de exploración cercano a la ciudad de Santa Cruz (Bolivia) en el que se asocian la compañía minera La Rosa con Billinton Development. Posee reservas inferidas de 11 millones de toneladas de mineral con 1,5 % de cobre, 1,6 g/ton de oro y 42g/ton de plata.

Bajo de La Alumbreira- La iniciación de las labores en este yacimiento colocará a Argentina entre los grandes productores de oro. Se han invertido U\$S 780 millones destinados a producir 20.000 Kg/año de oro y 140.000 ton de cobre. Este yacimiento abrió la senda para otras 80 exploraciones en la zona de las provincias andinas de Mendoza, San Juan, Jujuy, Salta y Catamarca.

Proyecto Uspallata- En Cerro Vanguardia, provincia de Santa Cruz, la empresa Puma Gold ha encontrado grandes reservas con 0,5 % de cobre y 0,2 g/ton de oro. Se juzga como uno de los proyectos más prometedores para la Argentina.

Producción de oro en Sud-América en Kg según Latinominería

PAIS	1993	1994	1995
ARGENTINA	1300	1400	1500
BOLIVIA	10.423	10.790	14.590
BRASIL	75.700	75.400	78.000
CHILE	33.638	38.786	42.000
COLOMBIA	26.400	25.500	23.000
ECUADOR	8100	7600	7000
GUAYANA FRANCESA	3100	3000	3000
GUAYANA	10.000	11.700	11.500
PERU	27.400	37.800	50.000
VENEZUELA	11.200	13.700	14.000

El panorama y las tendencias de la exploración y extracción de oro en América del Sur han sido expuestos por HARRIS (1998) en base a datos numéricos y comportamientos mundiales de las empresas.

Según el referido autor, docenas de empresas mineras, agobiadas por los problemas existentes en Norte América, Australia y Sudáfrica y atraídas por la geología favorable, el ambiente político más estable y las condiciones facilitadas para la inversión, desde hace 5 años, se han desplazado a América del Sur.

Los países más favorecidos son Brasil, Argentina, Chile y Perú donde se lograron importantes descubrimientos y el desarrollo de algunas minas de gran valor. Esto arrastró a empresas nacionales menores y el conjunto de la actividad elevó la producción desde 200 toneladas en 1992 a 270 toneladas en 1996.

En la Tabla N° 7-1 se exponen las cifras de producción de oro de mina de algunos países sudamericanos, en toneladas.

Tabla N°. 7-1 Producción de oro de mina por país Sud Americano, en toneladas.

PAIS	1987	1992	1996	1997 (estimados)
PERU	10,8	18,0	64,8	71
BRASIL	84,8	76,5	64,2	60
CHILE	23,3	39,3	56,4	52
COLOMBIA	32,5	29,9	23,1	22
VENEZUELA	16,0	11,7	19,9	
BOLIVIA	6,0	7,9	15,2	
ECUADOR	8,0	8,6	12,2	
GUAYANA	-	3,4	11,4	
GUAYANA FRANCESA	-	2,4	2,6	
ARGENTINA	-	1,6	0,9	

La producción de 1996 representa el 11,5 % de la producción mundial de oro de mina. La empresa a la que pertenece el autor de estas consideraciones pronosticaba aumentos considerables en Perú y en Argentina. En Argentina, la puesta en operación de la mina Bajo de La Alumbra producirá 20 ton/año de oro.

Grandes cantidades de fondos para exploración de oro llegan a Sudamérica desde todas partes del mundo a pesar del bajo precio actual del metal. La inversión en 1997 se situó alrededor de 555 millones de dólares con 150 millones en Chile y otro tanto en Brasil como las cifras más elevadas.

Los principales tipos de yacimiento desarrollados o explotados son: diseminados, aluviales y vetas.

También se explotan skarns, brechas, lateritas y sulfuros, pero en mucho menor proporción y volumen.

- La minería aluvial domina en Brasil, Colombia, Ecuador y Perú.
- La explotación subterránea de vetas, predomina en Brasil, Chile y Perú.
- La explotación a cielo abierto de yacimientos diseminados es significativa en Chile, Perú y Bolivia.

Cada uno de los países ha aplicado criterios para favorecer la producción de oro que merecen analizarse porque sin algunas de ellas no es posible desarrollar la producción en Uruguay.

Perú es el principal productor sudamericano, con 71 toneladas en 1997, en particular por el desarrollo de la compañía Mineral Yanacocha con 32,7 toneladas al costo más bajo de América Latina: U\$S 95 por onza.

Los incentivos utilizados en Perú incluyeron: otorgamientos de concesiones de exploración; aprobación de un contrato de estabilidad tributaria; capacidad de obtener crédito por el IVA; derecho a repatriar las utilidades; comercialización libre de los minerales; agresiva campaña anti-inflacionaria.

Brasil ha disminuído sistemáticamente la producción. Durante muchos años la principal extracción era de oro aluvial obtenida por garimpeiros. La reforma de la ley minera y la privatización de las minas estatales de Vale do Rio Doce (CVRD) a principios de 1997, produjo una enorme inversión de empresas nacionales y extranjeras.

En 1996 la producción principal estuvo a cargo de las siguientes empresas:

- | | |
|--|---------------|
| • CSN (joint-venture CVRD-Nations Bank of USA) | 18 toneladas |
| • Morro Velho (Anglo American Co.) | 6,5 toneladas |
| • Garimpeiros y pequeñas empresas | 17 toneladas |

La mayor inversión en exploración en 1997 fue realizada por CSN y alcanzó la cifra de 59 millones de dólares americanos.

La situación en Chile, Ecuador, Colombia y Bolivia no se justifica ser considerada porque la naturaleza geológica es netamente diferente de Uruguay.

Argentina va a pasar a ser un gran productor de oro al poner en marcha la mina del Bajo de La Alumbra (20 ton/año) y una reserva de 780 millones de toneladas de mineral con una ley de 0,5 % de cobre y 0,7 g/ton de oro. En el cerro Vanguardia en el Sur de la provincia de Santa Cruz se esperan producir 6 ton/año.

Uruguay también, luego de una serie de exploraciones fracasadas, consiguió poner en operación la mina San Gregorio prevista para producir 2 ton/año.

El futuro en general para el desarrollo de la producción de oro en América del Sur ha sido considerado muy favorable en varios simposios internacionales. Según Metals Economics Group citado por HARRIS (1998), todos los proyectos de extracción que están en etapa de factibilidad o de pre-producción buscan costos por debajo de los U\$S 200/onza. Son muchos los depósitos que contienen reservas de más de un millón de onzas con leyes de 1 a 3 gramos/ton que con adecuada tecnología están aportando estudios de factibilidad favorables.

ORO EN BRASIL

La mayor cantidad de oro producida por Brasil se debe a una zona del Estado de Minas Geraes ubicada entre las ciudades de Belo Horizonte, Itabira, Congonhas do Campo e Ponte Nova. Esta Zona contiene las minas más famosas de Brasil, todas con la mineralización encajada en rocas precámbricas: Congo Soco, Passagem, Morro Velho.

La única que subsistió a pesar de las dificultades del siglo XIX fue la mina de Morro Velho que aún actualmente es la segunda productora de oro de Brasil. Se encuentra dentro de lo que FROES DE ABREU (1973) propone denominar Cuadrilátero Aurífero, que prácticamente coincide en área con el Cuadrilátero Ferrífero de Minas Geraes.

Fue famosa en el mundo por el record de profundidad hasta 1950 cuando operaba a 2450 metros debajo de la superficie. Luego fue superada en India y Sudáfrica.

En superficie afloraba un “chapeu de fer” muy mineralizado que produjo en 1814 el enorme volumen de 16 Kg de oro con 24 brasileros y 120 esclavos africanos. Sigue explotación a cielo abierto con esporádicos desmoronamientos trágicos durante casi todo el siglo XIX, con una producción media de 1000 Kg/año y una ley de 15g/ton.

En 1898 se recomienza la explotación en otra zona y por técnica de extracción en galerías. Hasta 1929 se extrajeron 300.000 toneladas anuales de mineral con una ley de 20g/ton lo que permitirá producir unos 6000 Kg de oro por año, lo que es aproximadamente la producción actual.

Desde el punto de vista geológico, la mineralización tiene como encajante a la fm Nova Lima dentro del grupo Rio Das Velhas, del Proterozoico Inferior. Los cuerpos mineralizados están en una roca cuarzo-dolomítica lenticular concordante con gneisses y esquistos de la formación.

El cuerpo mineralizado principal tiene forma de una cinta de rumbo NW y buzamiento poco pronunciado (15 a 45°). Esta cinta tiene 150 metros de ancho, 4m 50 de espesor y 3200 m de longitud.

La mineralización puede estar estrato-ligada a la capa de cuarzo dolomita. FROES DE ABREU (1973) recopila información anterior y describe el proceso genético como un típico yacimiento de alta temperatura. La asociación con arsenopirita, pirrotina, scheelita y wolframita así como gran homogeneidad textural, mineralógica y tenor en oro, constituyen las evidencias citadas por diferentes tratadistas.

Estos rasgos geológicos coinciden con las estructuras, texturas y paragénesis de los grandes yacimientos precámbricos de Australia, Canadá y Sudáfrica. Incluso aparecen en áreas de alto grado de metamorfismo asociados a minerales de hierro y metamórficos máficos.

ORO EN URUGUAY

Después de haber analizado las distintas situaciones geológico estructurales en yacimientos mundialmente conocidos se consideró pertinente dedicar algunas páginas a las experiencias extractivas realizadas en el Uruguay en la década de los años 90.

En esta década ha sido muy intensa la actividad minera en prospección y extracción de oro en el Uruguay, a partir de la comunicación sobre la existencia de green- stone belts en diversos puntos del país: fm. Paso Severino, fm. A° Grande y fm. Valentines.

Los estudios detallados de las diferentes zonas no confirmaron la naturaleza geológica supuesta y los resultados fueron variables respecto de la rentabilidad de las operaciones.

Sin embargo las diferentes experiencias- aunque no fueron formalmente comunicadas- se canalizaron a través de la prensa y de reuniones técnicas sobre el tema, que permiten hoy

disponer de una información razonable como para encarar el problema geológico-económico con aceptable grado de precisión. Se van a tratar fundamentalmente tres áreas de las que se dispone algún grado de información como para poder encarar las perspectivas con un mínimo nivel de racionalidad.

COMPAÑIA MINERA SAN JOSE

En noviembre de 1993 esta Compañía invitó a una reunión de especialistas en diversas disciplinas para plantear el estado de los conocimientos del proceso de exploración, las labores realizadas y su programa de trabajo.

Las labores eran a cielo abierto contratando la maquinaria y sus operarios calificados. Estimaban un costo promedio de U\$S 3 por tonelada de piedra extraída.

Este proyecto se basaba en datos geológicos que fueron descritos por el Lic. Nelson CORONEL. El estudio de prospección, exploración y apertura de canteras piloto en esta zona próxima a la Estación González en el Dpto de San José se basó en considerar que las rocas de la fm Paso Severino constituían un greenstone belt arqueano. En la figura N° 7-8 se muestra la ubicación de la zona mineralizada, los filones auríferos y un esbozo geológico señalando la extensión reconocida de una granodiorita que aquí se manifiesta como un cuerpo alargado de pocos Km de espesor pero que en el resto del área ocupa enormes extensiones (BOSSI et al 1996).

La mineralización está enclavada en una granodiorita muy deformada que a nivel de campo puede describirse como pre-tectónica, aunque es desconocida la etapa tectónica que la afectó porque no está descrito si es dúctil o rúptil. La granodiorita está emplazada entre metasedimentos y metabasitos de la fm Paso Severino. Tampoco se establece relación de edad entre el plutonito y los metamorfitos pero los trabajos regionales han permitido definir que la relación es indudablemente intrusiva.

Las vetas cuarzosas mineralizadas tienen rumbo N80E, discordante con los bordes del cuerpo plutónico a pesar de estar asociado a zonas de cizalla de la granodiorita de las que no existe información estructural. En la área el Mahoma se encuentran 4 vetas (1, 2, 2 b y 4) que en su extensión atraviesan el contacto de la granodiorita encajante.

Estas vetas de cuarzo están mineralizadas en oro, pirita, galena, calcopirita y blenda de los cuales el oro es lo único recuperable. Algunos análisis indican que contiene algo de plata. Las vetas mineralizadas en oro presentan espesores medios de 0m 30 (veta 1) a 1m 60 (veta 2) con estructura lenticular y ramificada con buzamiento promedio de 80°N. El cuarzo es siempre sacaroide sugiriendo esfuerzos tectónicos.

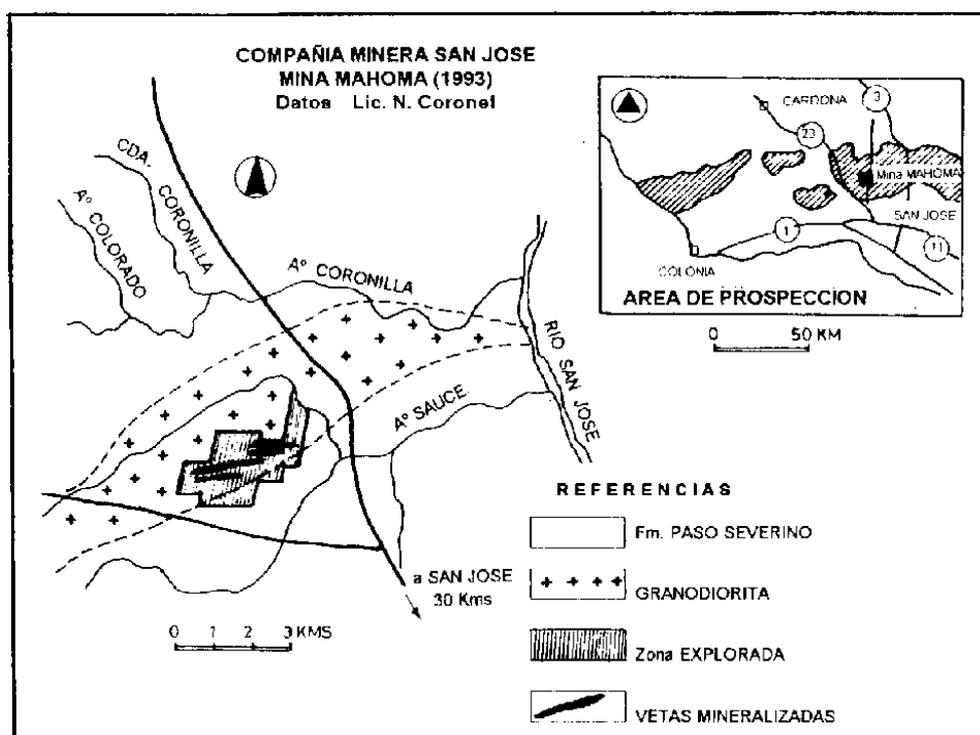


Figura N° 7-8. Zona mineralizada en los alrededores de Estación González (Dpto de San José)

En la actividad de la Mina Mahoma durante 1992 se extrajeron 43.337 toneladas con una ley media de 7,5 g/ton. Las previsiones de tenores superiores a 8g/ton no se cumplieron en esta primera etapa.

Las reservas calculadas para la veta 2 que es la más importante, han sido de 35.000 ± 3000 toneladas que con una ley de 7,5 g/ton daría un peso de oro recuperable de 250 ± 25 Kg hasta 10 metros de profundidad.

Los planes de actividad serían con extracción a cielo abierto hasta 42 metros de profundidad desde la actual superficie como se expone en la figura N° 7-9. Luego se supone que la explotación sería en galería, pero no está expresado.

De hecho las reservas calculadas se limitaban a una veta de $1m \ 60 \times 42m \times 2000m = 135.000m^3$ <- a 300.000 toneladas, con un error posible de calcular porque no hay datos para ello. El contenido en oro, admitiendo una ley media de 8g/ton es de alrededor de 2400 Kg.

Estas condiciones no brindaron factibilidad técnica y económica de explotación y las labores fueron abandonadas pocos meses después.

En definitiva no existe versión oficial del abandono de estas labores donde se produjeron conflictos con la Dirección Nacional de Medio Ambiente por el uso de cianuro en la beneficiación del oro.

Esta técnica que se tornó universal por la mayor seguridad y menor costo que la amalgama con mercurio no había sido nunca aplicada en Uruguay y no existían expertos nacionales capaces de un control riguroso del proceso.

Los metalogenistas de Uruguay hubiéramos deseado que la Dirección Nacional de Medio Ambiente y la Dirección Nacional de Minería y Geología presentaran los puntos de vista oficiales en este tema, porque en la situación actual no se sabe si la explotación de ese yacimiento hubiera sido rentable o no.

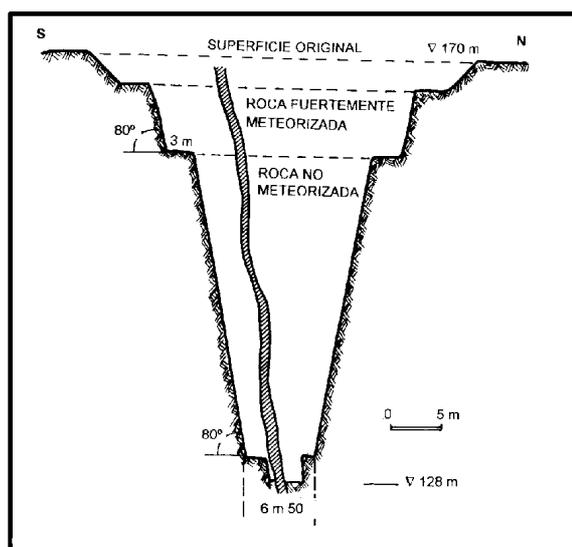


Figura N° 7-9. Plan de actividades de la Cía Minera San José en 1993.

Ello se ve agravado por el hecho que este tipo de depósito es casi el modelo de yacimiento aurífero en Uruguay: vetas de cuarzo, más o menos entrelazadas, en el límite de intrusiones granodioríticas y metamorfitos de rocas básicas, donde se produjeron fallas de cizalla coetáneas con la mineralización.

El tema de rentabilidad de extracción y beneficiación de oro a cielo abierto resulta esencial para definir conductas en Uruguay. Pocos años atrás era impensado explotar filones verticales (o casi verticales) a cielo abierto, porque el volumen de materiales estériles a extraer, elevar, desplazar y acumular no hacían rentable la operación.

La hipótesis de una explotación a cielo abierto con producción de oro y venta de la granodiorita fresca triturada es interesante de analizar contrastando con la convencional extracción en galería, desde que Uruguay produce desde 200 a 500.000 toneladas de piedra partida por año en promedio desde hace varias décadas.

La situación actual en 1999 desde que la mina Mahoma abandonó su extracción para la producción de oro y de su actividad resultó piedra granítica fresca que se comercializa como piedra triturada, permite intentar la conclusión de que un yacimiento de oro con una ley media de 8g/ton con reservas de 2400 kg (aprox. U\$2:000:000 de facturación) no es rentable ni aún comercializando la piedra triturada.

Sin embargo, el enfoque sería totalmente diferente si la extracción y beneficiación del oro hubieran sido impedidas por riesgos de contaminación del medio ambiente, por confirmaciones de efluentes contaminados o por cualquier otro motivo legal.

Es por eso que ha faltado un informe oficial que ubique a los profesionales uruguayos en una posición geológico-económica concreta, de modo de saber los verdaderos límites de tenor, reservas, volumen y geometría del yacimiento.

A lo que el precio internacional del oro baja en las principales bolsas del mundo, es imperioso encontrar soluciones para abatir los costos de producción. La explotación a cielo abierto puede ser un camino y de hecho ya muchos yacimientos de Australia y Sudáfrica lo están haciendo. Sin embargo, ello va a dificultar luego la explotación subterránea, aunque si durante 10 años la extracción a cielo abierto genera fuentes e trabajo y exportaciones, la tecnología a crear en ese lapso puede superar las dificultades actuales.

Dicho en otros términos, es necesario conocer por parte de los geólogos uruguayos, cómo es la ecuación económica de extracción a cielo abierto, para poder planificar la factibilidad de explotación de varias decenas de filones auríferos conocidos en el Uruguay.

ORO DE RIVERA

La zona minera tradicionalmente más importante para oro ha sido la isla cristalina de Rivera, al Norte de Uruguay. Esta zona fue motivo de una monografía por parte de Mac. MILLAN (1931) quien realizó la exposición más detallada conocida en documentos publicados. El referido autor reconoce 3 zonas: Minas de Corrales, Zapucay y Curtume, por orden de importancia. La ubicación es mostrada en la figura N° 7-10.

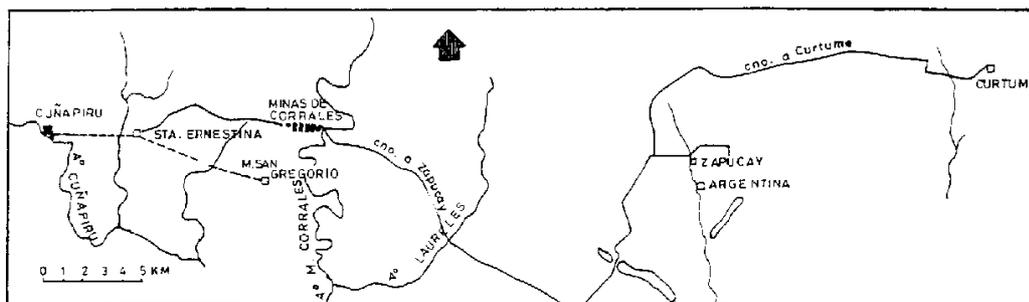


Figura N° 7-10. Principales yacimientos de oro de la zona de Minas de Corrales, Dpto de Rivera.

En Minas de Corrales las venas auríferas se desarrollan en encajante granítico con rumbo EW. Excepto en la Mina San Gregorio donde aparecen filones dioríticos en las salvandas.

En 1869 la compañía de Minas de Oro de Cuñapirú fue la primera de la que existe registro de haber realizado trabajos en la zona. Los arroyos no poseen aluviones importantes y no hay descripciones de existencia de oro aluvial.

En 1878 se formó la Cía Francesa de Minas de Oro del Uruguay para trabajar la concesión Santa Ernestina de 1500 hectáreas. Esta empresa construyó la planta motriz hidráulica en el arroyo Cuñapirú que generó energía hasta su destrucción por las inundaciones de 1959.

Se fueron formando sucesivas empresas para explotar otras concesiones entre las cuales, la más importante fue la firma Goldfields of Uruguay Ltd que explotó la mina San Gregorio entre 1888 y 1894.

Fue vendida a la Cía. Francesa original que montó un aerocarril de 12 kilómetros para llevar el mineral a la planta de tratamiento de Cuñapirú. En 1909 vendió los títulos a la Uruguay Consolidated Gold Mines Ltd.

Esta empresa operó la Mina San Gregorio y puso una pequeña planta de cianuración en Zapucay. La producción del segundo semestre de 1911 fue la siguiente, según MARSTRANDER (1916).

84 kg	de oro por amalgación	\$ 36.346
59 kg	de oro por cianuración	\$ 15.367
143 kg		\$ 51.613

El valor del oro en lingote era de \$0,43/gramo, conteniendo 20 % Ag mientras el oro de cianuración contenía gran proporción de zinc y valía \$0,23/gramo.

Las minas fueron cerradas en 1913 por falta de rentabilidad. A título de anécdota histórica, los jornales eran de \$1 y representaban un costo de \$23000 en 6 meses,

En 1914 fue rematada en subasta pública y quien la adquirió explotó los pilares de sostén con lo que se desmoronó el techo y el relleno así como los materiales alterados cayeron sobre el entibado del nivel de 80 metros.

Esto va a comprometer el futuro del desarrollo de la mina, según opinaba Mac. MILLAN (1931). Este autor consideró además que el futuro del distrito aurífero de Minas de Corrales depende de la continuación en profundidad de los filones de la mina San Gregorio.

Las producción total de oro entre 1885 y 1915 ha sido de 2780 Kg de los cuales 2000 fueron extraídos de la mina San Gregorio. El valor total fue de \$1:172.479.

Desde el punto de vista geológico, Mac. MILLAN (1931) describe que el granito de Minas de Corrales es intrusivo en los gneisses dominantes de la zona y vincula las venas cuarzosas a este granito.

El techo de los filones de la mina San Gregorio está formado por una roca clorítica de 85m de espesor. La mina tiene 2 vetas de cuarzo aurífero contenidas en un dique de roca cuarzo- feldespática de 30m de espesor.

El Granito de Corrales posee filones de cuarzo de rumbo EW a NW con fuerte buzamiento al Sur. Es el caso de las minas San Gregorio, Santa Teresa, Esperanza, Picaflor, Zapucay y Curtume.

Otros filones corren NS y son verticales como es el caso de Santa Ernestina, San Benito, Santa Matilda y Sobresaliente (ver figura N° 7-11).

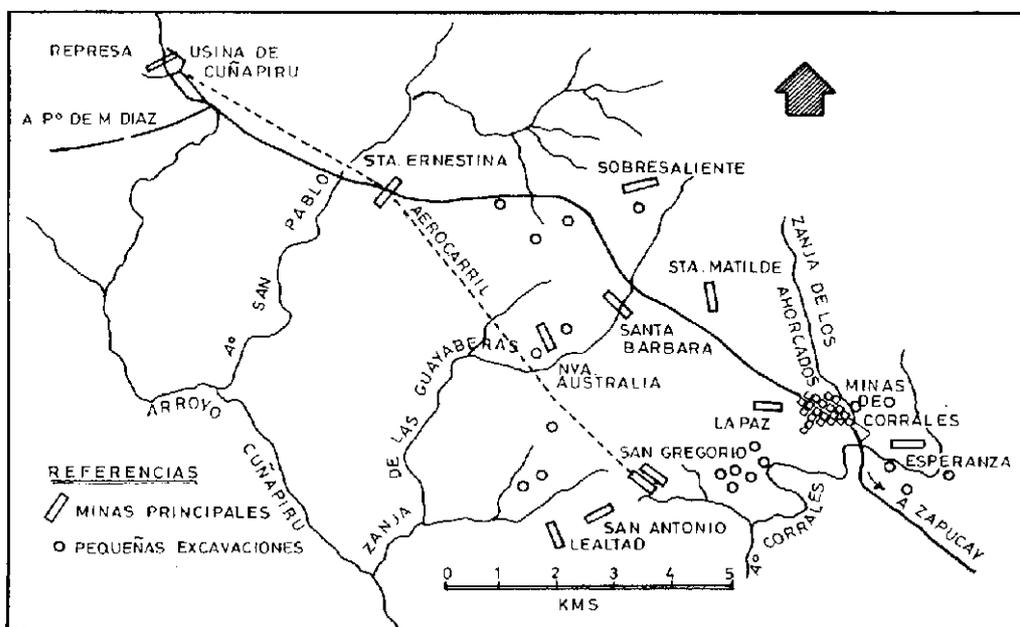


Figura N° 7-11. Minas de oro en los alrededores de Minas de Corrales (Mac MILLAN 1931)

En el Dpto de Rivera existen tres distritos auríferos reconocidos desde Mac. MILLAN (1931): Minas de Corrales, Zapucay y Curtume. El más importante de ellos es el de Minas de Corrales por la cantidad de excavaciones realizadas y de oro producido.

En la figura N° 7-10 se muestra la ubicación geográfica de las áreas con respecto a la localidad de Minas de Corrales, para señalar que son varios los indicios auríferos conocidos en la isla Cristalina de Rivera, cuya geología es todavía relativamente muy poco conocida.

En la carta geológica a escala 1/500.000 publicada por BOSSI et al (1998) la estructura regional de la isla Cristalina de Rivera es dividida por una discontinuidad tectónica de primer orden con rumbo N70W. Al Sur de esta discontinuidad las rocas son metamórficas de alto grado, con frecuente desarrollo de facies granulita.

Las litologías dominantes son valentinesitas (cuarcitas magnetito-augíticas), piroxenitas y charnokitas. La mitad Norte está constituida por gneisses micáceos representando un grado

de metamorfismo mucho menor. La estructura geológica regional fué mostrada en forma esquemática en la figura N° 7-11.

Todos los indicios o yacimientos de oro conocidos están en la mitad Sur de la isla Cristalina de Rivera, donde el grado de metamorfismo es alto (frecuentemente típico facies granulita).

Mina San Gregorio

La potencia media es menor a 1 metro. La vena principal de San Gregorio tenía entre 1m 50 y 2m 50 y poseía pequeñas venas paralelas. La segunda vena, al Norte, variaba de potencia en forma más pronunciada desde 0m 30 a 2m 50.

Las venas cuarzosas contenían oro nativo, pirita, galena y blenda. Los dos filones corren a una distancia que varía de 4 a 30 metros. El descubridor, Gregorio Suárez, dio el nombre a la Mina. El filón Sur tiene 2m de potencia y 200 m de longitud.

La mina se encuentra a cota 1180m. Han existido labores a cielo abierto y un pique con galerías a 50 y 80 metros desde la superficie.

El resto de los yacimientos fueron menos importantes.

En julio de 1999 la embajada de Canadá publicó un suplemento en el diario "El País" de Uruguay donde aparecen los primeros datos sobre la "Minera San Gregorio" que está dedicada a la extracción de oro en el Dpto de Rivera, en las cercanías de la ciudad de Minas de Corrales.

Según el referido artículo, sin autor identificado, se trata de una mina convencional con una cantera principal y tres canteras de apoyo.

La planta de recuperación de oro utiliza el proceso de carbón en lixiviación con una capacidad de 75000 onzas por año (aprox. 2500 kg/año).

Los objetivos a largo plazo son mantener la actividad, tratando de mejorar sistemáticamente la productividad.

La historia muestra que durante el período 1884-1916 se produjeron en total 2800 kg de oro. En 1997, esta compañía produjo 1734 kg de oro y en 1998, elevó la producción a 2250 kg previendo llegar en 1999 a una cifra de 2400 kg.

Las principales etapas en la planta de procesamiento son:

- Trituración primaria en molinos de mandíbula
- Molienda en molinos tipo SAG
- Molienda en molinos de bolas

La harina de roca se trata con cianuro para disolver el oro metálico y la solución se lleva a tanques para lixiviación en carbón activado (figura N° 7-12)



Figura Nº 7-12. Tanques de lixiviación en carbono activado (tarjeta de CIR de 1997-98)

Las instalaciones fueron diseñadas para procesar 2500 ton/día de roca aurífera. Actualmente se procesan 3000 ton/ día y se redujo el costo de producción de la onza-troy de oro de U\$S 243 a U\$S 207. Utiliza solamente 170 empleados uruguayos luego de haber empleado 268.

Zapucay

Los filones tienen gneiss como roca de caja y varios de ellos son de tipo silla (saddle back). Las labores no han sido muy importantes y fueron cuidadosamente relevadas por Mac. MILLAN (1931) de donde se reproduce la figura Nº 7-13. Los filones varían de 0m30 a 2m con rumbo variable pero el buzamiento es normalmente bajo, del orden de 60o. Se han excavado unos 1200 metros de galerías.

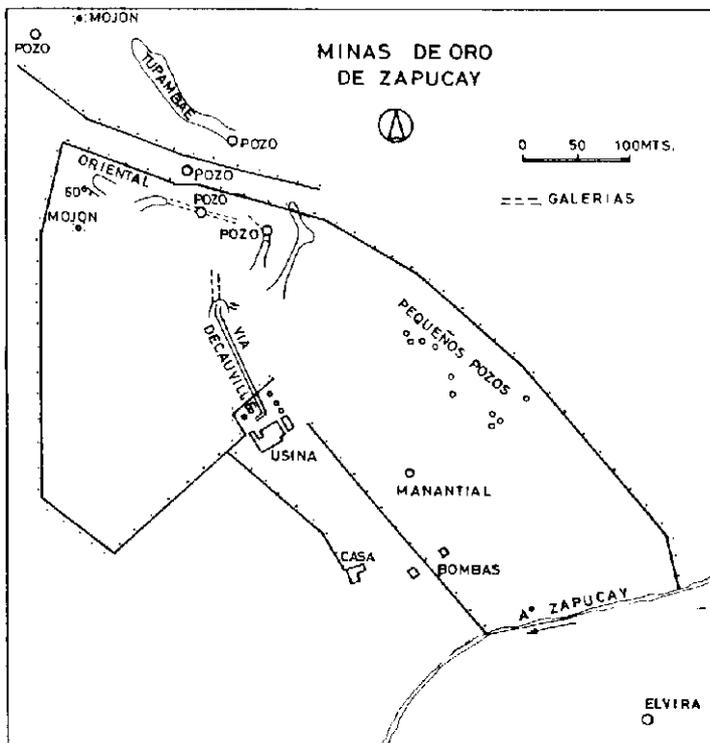


Figura Nº 7-13. Labores de la Mina Zapucay según Mac Millan (1931).

Entre 1889 y 1899 se produjeron 59 Kg de oro a partir de 4667 toneladas de roca, a un promedio de 13g/ton.

Curtume

Esta zona se explotó entre 1891 y 1900 produciendo 22 Kg de oro con una ley de 11g/ton. El filón portador, de 0m 80 de potencia, es casi vertical. Las labores superficiales tienen 150m de longitud y hay 2 pozos a 80 y 125 metros del extremo occidental del filón.

Aspectos geológico-económicos

Según Mac. MILLAN (1931), los ingresos no se correspondían con el capital invertido. Hay una carta del 30 de mayo de 1911 de la Cía Uruguay Consolidated Gold Mines Ltd.

El valor de oro producido de 1912 a 1915 fue de \$160.000 en San Gregorio y de \$ 16.600 en Zapucay. En San Gregorio se recuperó la inversión pero en Zapucay no se llegó ni a ese nivel de producción.

En definitiva, la explotación de oro en este período de los alrededores de 1900, no fue rentable para las empresas que invertían su propio capital y usaban la tecnología disponible para la época.

Los tenores de oro por tonelada, son sin embargo, importantes para la época actual (8- 14 g/ton). El gran problema es que los filones son subverticales y ello impide la explotación a cielo abierto para volúmenes importantes.

Todos los escasos antecedentes disponibles plantean que la mineralización más importante se encuentra en la mina San Gregorio, con filones de hasta 5 metros de potencia integrada y con 8 - 12 g/ton de oro.

La producción de toneladas de oro por año exige extraer volúmenes muy importantes de rocas estériles para lograr costos de producción del orden de los U\$S 200/oz.

Algunos resultados preliminares de investigaciones geológicas sobre los yacimientos de oro de la isla cristalina de Rivera fueron presentados por ELLIS (1998) como anexo a su tesis, usando la frase acuñada por KERSWILL (1990) “oxide rich BIF is a negative indicator for stratiform gold mineralization, but is the typical host of non-stratiform deposits”.

La mina de oro de San Gregorio, en las vecindades de la localidad de Minas de Corrales (Dpto de Rivera) fue la única que experimentó procesos extractivos a escala industrial, sostenidos a largo plazo. En esta unidad geológico-económica debe incluirse la mina Santa Teresa, vecina de la anterior y aparentemente menos importante.

Los datos accesibles comunicados en ELLIS (1998) y ELLIS et al (1995) serán aquí utilizados para tipificar el yacimiento.

Según el referido autor la mina de oro está instalada en una discontinuidad estructural extensional. El área está atravesada por una zona de cizalla dextral transcurrente desarrollada en un sistema dúctil-rúptil, bajo condiciones térmicas equivalentes a facies esquistos verdes.

Desde el punto de vista geológico, ARRIGHETTI et al (1981) en un informe inédito de la Dirección Nacional de Minería y Geología citado por ELLIS et al (1995) cartografiaron un área de 255 Km² con centro en la localidad de Minas de Corrales reconociendo 5 unidades litológicas:

- Complejo granito gneissico antiguo, compuesto por gneisses, anfíbolitas y micaesquistos;
- Granitos intrusivos
- Serie joven, poco metamórfica
- Cuarzitas ferruginosas
- Rocas filonianas

ELLIS (1993) agrega información detallada de 15 Km² alrededor de la mina San Gregorio y realiza una revisión crítica de la información existente. En esa monografía se separan unidades diferentes:

- litologías metamorizadas en facies anfibolita (550 - 600°C) incluyendo ortogneisses, BIF, metabasitas y paragneisses y un cuerpo metacuarzo diorítico intrusivo en el complejo gneissico
- litologías metamorizadas en facies esquistos verdes en pequeños afloramientos aislados compuestos por orto y paragneisses
- Litologías no metamorizadas que incluyen el granito de Minas de Corrales y una secuencia volcano- sedimentaria

Desafortunadamente, toda esta información literaria sin adecuadas cartas geológicas y algunos cortes explicativos, hacen imposible la discusión del tema, pero los autores del presente ensayo tienen un enfoque regional diferente que no puede eludirse de plantear aquí, aunque se hará más adelante para no distorsionar la exposición ordenada.

En las metabasitas del área de la mina San Gregorio, ELLIS et al (1995) reconocen una paragénesis compuesta por andesina, hornblenda, dilopsido, cuarzo, opacos y apatito. Ello apoya la idea de un metamorfismo en facies anfibolita alcanzando condiciones térmicas de 550 - 600°C.

Las cuarcitas ferríferas de esta zona son completamente diferentes de las que se desarrollan en Zapucay: tienen escasos metros de potencia, presentan ilmenita y hercinita con apatito accesorio.

La mena de la mina San Gregorio y su vecina de Santa Teresa está encajada en gneisses y metabasitas. La mineralización está controlada por estructuras tectónicas que preservan un estéril central constituido por una faja granítica de comportamiento competente frente a los esfuerzos.

Los cuerpos mineralizados están encajados en rocas que fueron alteradas por intensos procesos hidrotermales: silicificación, cloritización, propilitización, sericitación,, carbonatación y feldespatización alcalina.

La mineralización propiamente dicha se ubica en un sistema de vetas de cuarzo, la principal de las cuales, que originalmente tenía varios metros de potencia, está prácticamente agotada en superficie.

El resto de las mineralizaciones de la zona son: la mina Santa Teresa, la Veta Sur de la mina San Gregorio y las tres ocurrencias auríferas del Cerro de La Cruz.

Las reservas de oro según ELLIS et al (1995), incluyendo probadas y probables, estarían contenidas en 6:500.000 toneladas de mena con una ley de 2,4 a 3,1 g/ton. Expresado en oro metálico contenido, daría cifras del orden de los 17000 ± 3000 kilogramos.

Estas cifras son igualmente imprecisas porque no se sabe si se refieren a extracción a cielo abierto y es ese caso cuenta que profundidad o si se vinculan a volúmenes de doble propósito cielo abierto/galería.

Tomando en cuenta los sulfuros asociados que se depositaron en un episodio más antiguo que la generación aurífera, se puede estimar un máximo de 330°C para la temperatura de deposición.

Desde el punto de vista geológico todos los datos preliminares sugieren que la mineralización aurífera de los alrededores de Minas de Corrales está asociada a un contexto radicalmente diferente del que contiene las mineralizaciones ferríferas.

Las mineralizaciones ferríferas han experimentado un metamorfismo regional de facies granulita con rocas típicas compuestas por cuarzo, pertitas cordadas y ortopiroxenos.

Como corolario, las mineralizaciones auríferas de Zapucay y Curtume pueden asociarse a típicos yacimientos de oro de facies granulita (mesotermales) mientras que la mina de San Gregorio seguramente parece vincularse a procesos hidrotermales de temperatura mucho menor (no contienen mispikel, por ejemplo).

En la figura N° 7-11 se mostró un esquema geológico del área cristalina del Dpto de Rivera desde Manuel Díaz en el W hasta Vichadero en el Este. El conocimiento geológico es fragmentario, pero existe suficiente coincidencia entre diversos ensayos de que un rasgo muy característico es el desarrollo de enormes fallas transcurrentes de rumbo N70W conteniendo milonitas entre ambos extremos (PRECIOZZI et al, 1985; SOLIANI, 1986; ELLIS, 1998; BOSSI et al, 1998).

Lo que es necesario agregar es la falla N10 - 20 W que pasa por la localidad de Minas de Corrales (BOSSI y NAVARRO, 1991) y la transcurrente dextral Sarandí del Yi- Piriápolis, también N10 - 20 W (BOSSI y CAMPAL, 1992) al W de la anterior.

Con esas fallas se explica el comportamiento diferencial al E y al W de la localidad de Minas de Corrales. (ver Figura N° 7-14).

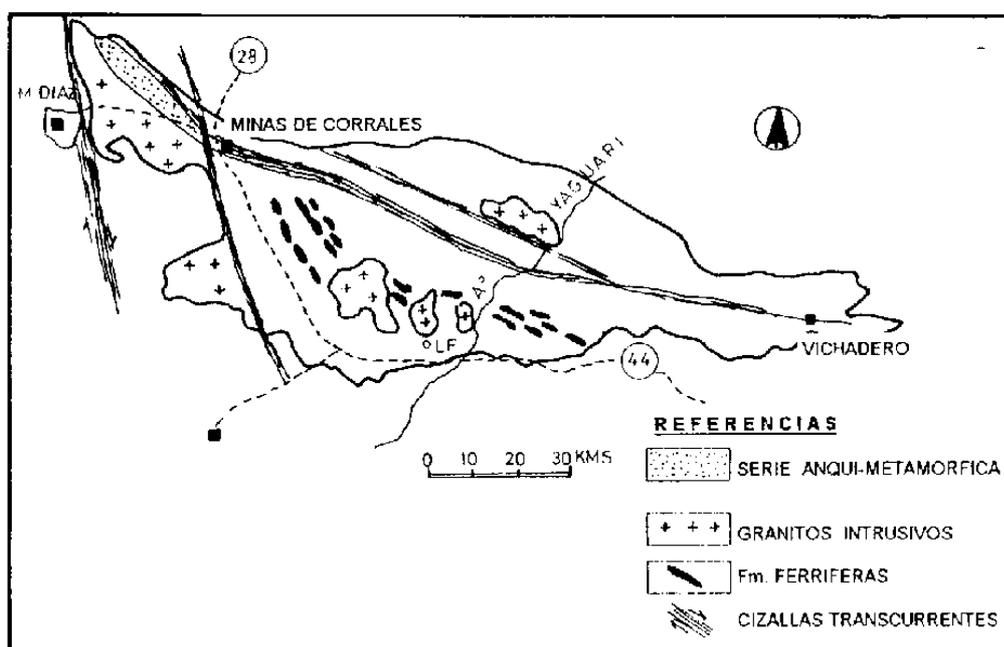


Figura N° 7-14. Esquema geológico del área cristalina de Rivera

Las enormes transcurrentes milonitizadas, de rumbo N70W, representan también un límite entre dos dominios geológicos diferentes: facies granulitas con abundantes formaciones ferríferas en el Sur; facies anfíbolita con magmatismo sienítico en el Norte.

Las transcurrentes paralelas se separan 5 Km entre sí al W de Minas de Corrales y allí se conservó una serie sedimentaria anquimetamórfica que BOSSI et al (1998) sugieren de edad Vendiana por la similitud tectónica, ambiental y litológica con el grupo Arroyo del Soldado.

A° del Soldado

Esta zona es la tercer área a considerar dentro de las expectativas de yacimientos de oro en el Uruguay. En la cuenca de este importante curso de agua del Dpto de Lavalleja fueron explotadas varias minas en las primeras décadas del siglo.

La única descripción de esta zona fue realizada por Mc MILLAN (1931) y la información registrada ha sido muy reducida.

En la figura N° 7-15 se presenta gráficamente la ubicación de las minas explotadas respecto a la ciudad de Minas y los accidentes geográficos más notorios.

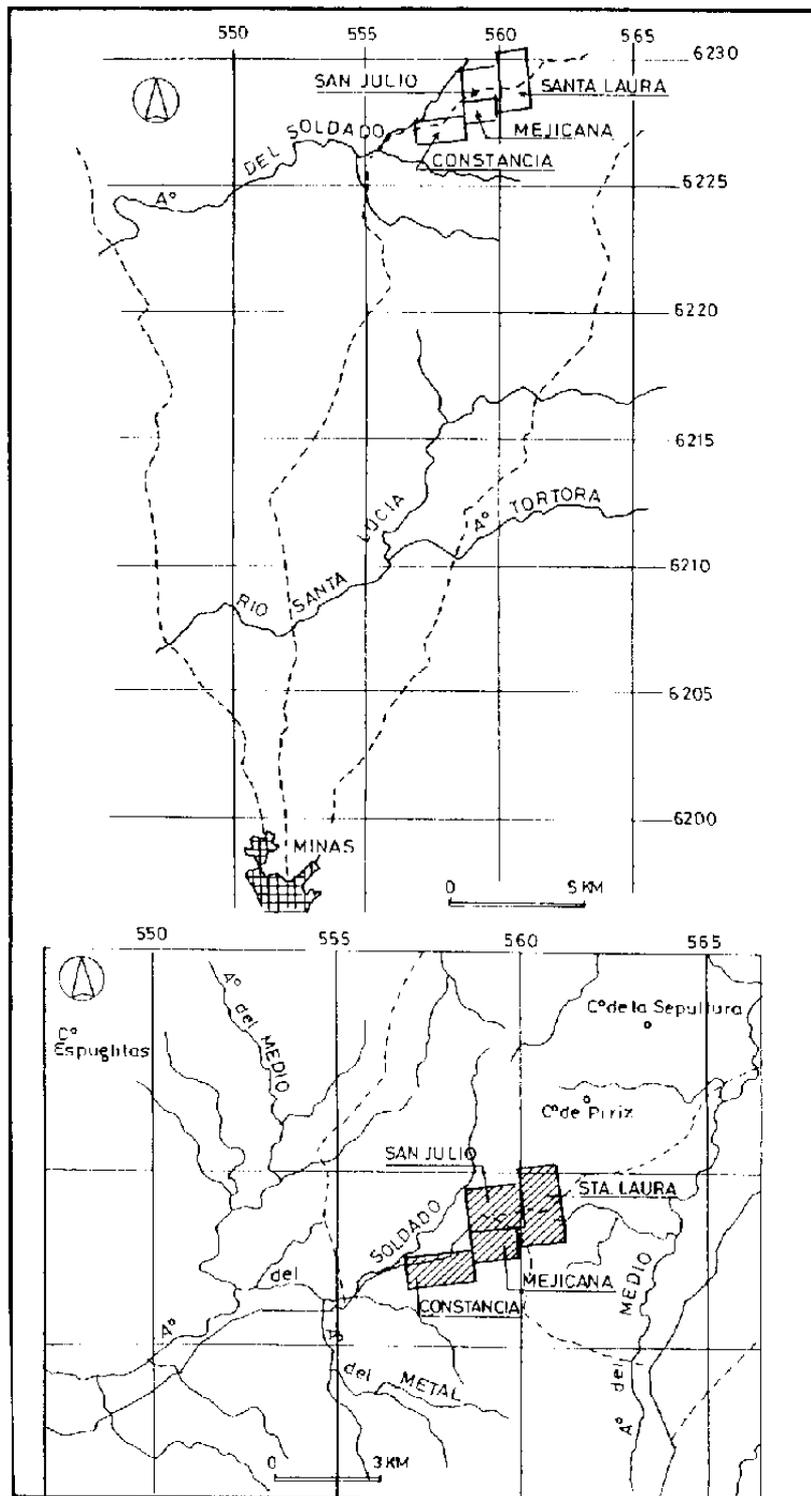


Figura N° 7-15. Concesiones mineras en A° del Soldado según Mac MILLAN (1931)

El área específica de la zona de explotación con la delimitación de las diferentes concesiones mineras se muestra a escala más detallada en la figura N° 7-16.

No existen datos cuantitativos sobre producción, rentabilidad ni períodos de explotación pero es una zona que merece atención especial porque posee algunos rasgos muy favorables para la eventual acumulación de filones auríferos.

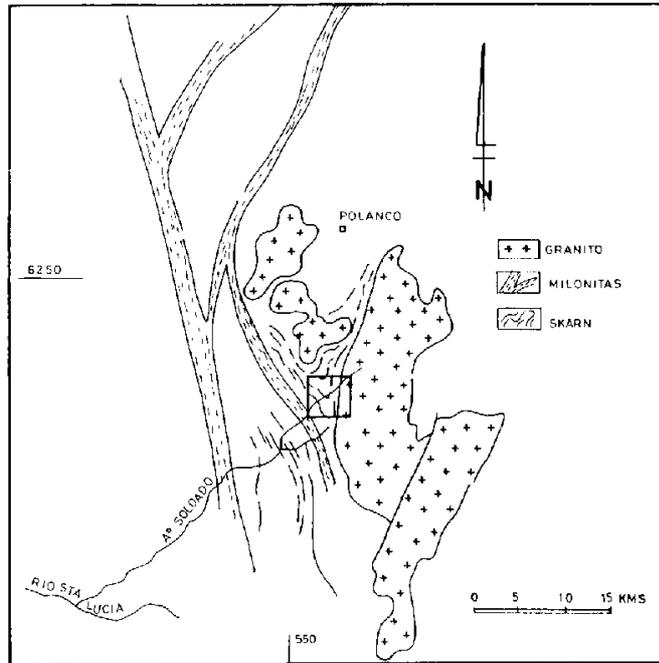


Figura N° 7-16. Estructura geológica regional de la mineralización aurífera del área de A° Soldado.

Desde el punto de vista geológico, el área consiste en una zona de contacto entre calizas más o menos magnesianas y granodioritas, generando extensas zonas de metamorfismo de contacto con movilización de fluidos. (Ver figura N° 7-17).

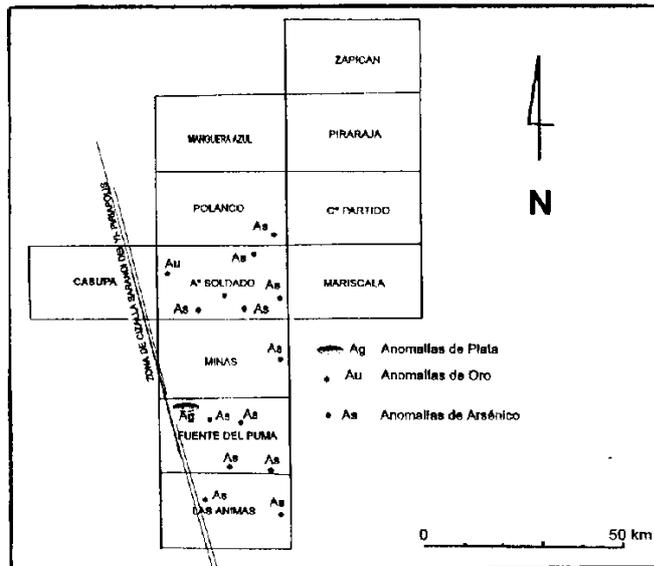


Figura N° 7-17. Esquema de distribución de anomalías en el Terreno Nico Pérez según DINAMIGE (modificado).

Desde el punto de vista geoquímico durante el trabajo de prospección llevado a cabo por el BRGM de Francia en convenio con DINAMIGE, se encontraron importantes anomalías en el fotoplano A° del Soldado y sus alrededores. Es muy significativo que se hayan encontrado anomalías de arsénico tal como se señalan en la figura N° 7-17.

En la cuenca del arroyo del Soldado es frecuente encontrar cristales de pirita (FeS) pirrotina (Fe₂S) y arsenopirita o mispickel (Fe As) en las áreas de metamorfismo de contacto entre calizas y rocas magmáticas intrusivas.

Se trata de un área que merece prospección detallada comenzando por cartografía geológica a escala 1/100.000 incluyendo litología, tectónica y sobre todo relaciones tectono-estratigráficas y ambientes de formación.

7.2- HIERRO

En 1997 se produjo un excelente incremento en la siderurgia de América Latina que llegó a producir el 7 % del acero crudo del mundo. En 1998 el incremento fue de 6 % con una producción de 55 millones de toneladas. Esto, según ILAFA, obedece al crecimiento del PBI de los países. El consumo por habitante sigue sin embargo, bajo, en 85Kg/habitante/año cuando fue de 110 en 1980 y cuando los países industrializados consumen 500 Kg. A la inversa, en 1980 se importaron 5 millones de toneladas mientras que en 1996 se exportaron 20 millones de toneladas de acero.

Uno de los rasgos más notables de la siderurgia latinoamericana es la expansión del comercio interregional de acero. En esto influyen positivamente los acuerdos de libre comercio: Mercosur, Grupo Andino, G-3 y diversos acuerdos bilaterales. La producción de acero bruto, en miles de toneladas, ha sido la que se expone en la Tabla N° 7-2 para los principales productores latino-americanos.

Tabla N° 7-2- Producción de acero bruto en miles de toneladas.

PAIS/AÑO	1994	1995	1996	1997
BRASIL	25.747	25.076	25.237	25.800
MEXICO	10.260	12.090	13.207	14.000
ARGENTINA	3314	3852	4106	4500
VENEZUELA	3521	3634	3751	3725
CHILE	1041	1018	1179	1182

Brasil representa el 50 % de la producción regional de acero y ocupa el 7° lugar en el mundo, donde la producción global es del orden de 700 millones de toneladas por año.

La producción mundial por otro lado no ha experimentado un gran incremento y se expresa en la Tabla N° 7-3.

Tabla N° 7-3 Producción mundial por periodos

PERIODO	MILLONES TON/AÑO
1850-1900	35
1900-1950	149
1950-1960	265
1960-1970	575
1970-1980	652
1980-1990	653
1997	700

La producción y las reservas de mineral, sumando Cuadrilátero Ferrífero de Minas y Carajás alcanzan a cifras de 120 millones y 78000 millones de toneladas respectivamente. Las reservas representan el 12 % de las reservas mundiales que se encuentran principalmente en los estados de Minas Gerais (42 %) y Pará (58%).

Argentina, otro país vecino de enorme incidencia en la política de utilización de nuestros recursos minerales, es el tercer productor de acero en América Latina y aunque las cifras son muy inferiores a Brasil y México, representan sin embargo, tonelajes considerables para nuestras dimensiones.

La producción de acero aumentó 2,5 % en 1997 aunque este aumento fue menor que el de 1995 y 1996 que alcanzó al 13 % en igual período. Este menor aumento es causado -según la revista Latinominería N°.30- por el déficit de abastecimiento interno de semi -terminados pues el mercado se mantiene firme en 1998 en varios sectores: construcción, agrícola y minero. Lo que el ensayista de la citada revista prevee para los próximos años es una expansión del 4 % en el consumo de acero crudo.

Es sobre este esquema regional que se consideran los depósitos de mineral de hierro de Uruguay, como recursos minerales. En el contexto del Mercosur, no es posible imaginar la instalación de una planta siderúrgica a partir de yacimientos de baja ley relativa entre grandes productores y exportadores de acero. Sin embargo, no sería imposible que alguna empresa argentina tuviera interés en explotar y beneficiar o en adquirir mineral beneficiado de un mercado próximo si los parámetros económicos y técnicos lo permitieran.

Cuando en 1964 se realizó la evaluación de las reservas y calidad del mineral de hierro de Valentines, fueron varias las empresas argentinas interesadas en su explotación para alimentar los altos hornos de San Nicolás. En ese entonces no se había puesto en operación el yacimiento de Sierra Grande y Argentina importaba mineral. La situación actual puede no ser muy diferente por varias razones entre las cuales el Mercosur tiene que representar un posible factor coadyuvante.

Argentina produce 4 millones de toneladas de acero bruto por año, de las cuales Uruguay podría suministrarle la materia prima necesaria adecuadamente beneficiada, en la medida que se procure desarrollar la minería semi-pesada en nuestro país y alguna empresa argentina salga favorecida con la obtención de pellets a un precio competitivo.

Si ello no es posible, los depósitos de mineral de hierro existentes en Uruguay no constituyen recursos minerales como materia prima para la industria siderúrgica. Se entendió conveniente realizar este planteo antes de adentrarse en el tema geológico-económico, porque sin coyunturas favorables, las reservas y calidad del mineral no permitirían considerarlo un recurso mineral en 1999. Actualmente se apuesta sólo a los enormes yacimientos, como es claramente expuesto por el programa quinquenal de la Comunidad Económica Europea, redactado con bastante detalle en un capítulo posterior.

YACIMIENTOS URUGUAYOS

De 90.000 millones de toneladas de reservas de mineral de hierro que posee América latina, Uruguay tiene solamente unos pocos cientos. Brasil y Bolivia son los poseedores de las mayores reservas. Curiosamente sin embargo, el misma fuente (ILAFA,1978) indica que Argentina tiene aún menos reservas que Uruguay, lo que dio pie a las consideraciones expuestas líneas arriba.

De todos los indicios de minerales de hierro que fueron reconocidos y citados en Uruguay (BOSSI,1978) las únicas dos zonas que contienen potenciales yacimientos de mineral de hierro utilizable como materia prima siderúrgica, son: Valentines (Dpto de Florida) y Zapucay (Dpto de Rivera).

El único yacimiento suficientemente estudiado desde el punto de vista geológico-económico ha sido el de Valentines, donde se realizaron perforaciones de hasta 200 metros de profundidad para demostrar la continuidad de la estructura, litología y composición mineralógica.

Sin embargo, un detallado relevamiento superficial realizado en 1984 en el área de Zapucay, ha permitido a los autores, verificar que existe una absoluta identidad de comportamiento hasta en los mínimos detalles con el área de Valentines. Esto permite concluir que pueden extraerse datos geológico-económicos valederos a pesar de no existir perforaciones, que confirman la naturaleza litológica en profundidad.

La única diferencia que pudo detectarse fue un contenido de 2 % de Mn en la magnetita, que es definible como jacobsita. Los otros parámetros: textura, composición modal, estructura, topografía, espesor de los bancos, buzamientos, tectónica, fenómenos de meteorización, etc. ,son asombrosamente idénticos.

Para lograr una descripción más ordenada, se comenzará por analizar el yacimiento de Valentines, donde la información en profundidad es conocida con escaso margen de error, por la cantidad de perforaciones realizadas y estudiadas metro a metro desde el punto de vista estructural, textural, mineralógico y químico.

Valentines

La información a brindar es extraída de BOSSI (1978) porque los datos disponibles a esa fecha no han sido modificados por nuevas publicaciones. En realidad allí no se exponen los resultados de perforaciones realizadas en 1965- 1968 ni 1972 - 75 pero la no publicación de esos datos habilita mantener como válida la información y conclusiones geológico-económicas obtenidas en 1965.

Este yacimiento se encuentra ubicado a 260 Km de Montevideo, en la cuenca del arroyo Valentines, pequeño curso de agua afluente del río Yí, en las proximidades de la estación Valentines, perteneciente a la línea férrea de Melo.

El yacimiento se encuentra distribuido en varios cerros alargados de los cuales los principales son:: Apretado, Aurora, Isabel y Los Morocho (figura N° 7-18) De ellos, los tres primeros han sido los únicos estudiados en detalle. El cerro Los Morocho ha sido estudiado sólo en superficie.

El cerro Mulero, junto a la vía férrea, fue el primero conocido como poseedor de mineral de hierro, pero los estudios realizados indican que posee un volumen muy pequeño y que por lo tanto debe ser descartado.

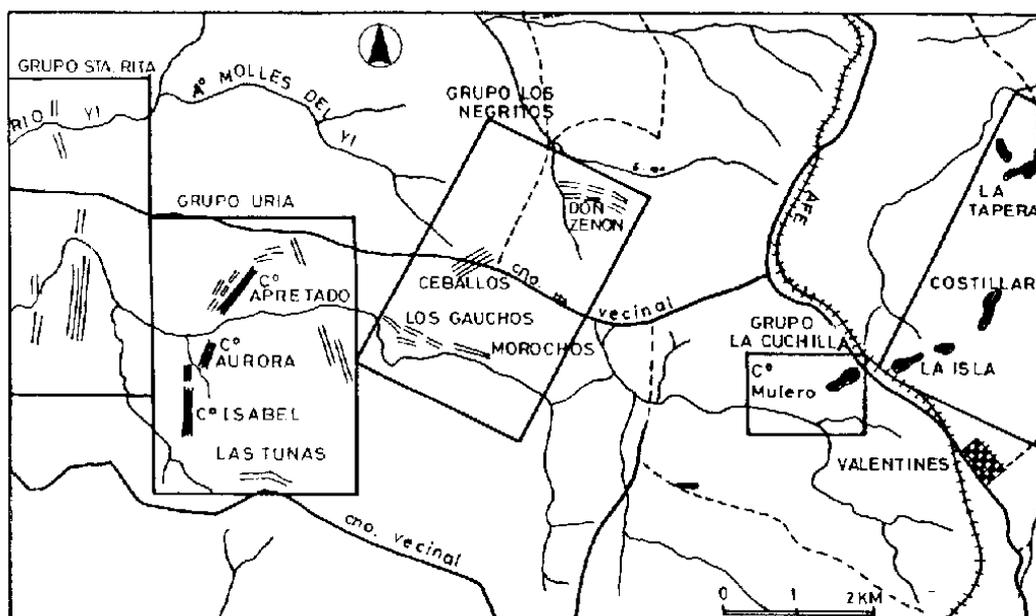


Figura N° 7-18.. Primer relevamiento del área ferrífera de Valentines, según ALVARADO (1959).

Las características del yacimiento del arroyo Valentines han sido definidas a través de un detallado estudio que comprendió:

1. Relevamiento de campo a escala 1/100.000 durante 1957 (CAORSI- GOÑI, informe interno al I.G.U.)
2. Relevamiento geológico con base en fotografías aéreas y trabajo de campo, a escala 1/20.000, lo que permitió definir las principales estructuras y la posición de la roca portadora de mineral
3. Relevamiento a escala 1/1000 de cada cerro mineralizado (B. ALVARADO, J. BOSSI y A. FERNANDEZ 1959- 60).
4. Excavación de trincheras para definir la dirección que la roca mineralizada seguía en profundidad
5. Realización de perforaciones de orientación para comprobar las hipótesis del estudio de superficie
6. Estudio de laboratorio (químico y microscópico) para conocer exactamente la naturaleza de los minerales de hierro y su concentración.
7. Realización de perforaciones definitivas tendientes a suministrar los datos que permitieran definir el volumen, la forma, la naturaleza y la calidad del mineral en el subsuelo
8. Ensayos de beneficiación realizados en el laboratorio de investigaciones Científicas de ANCAP, en La Marcona Co de USA e IRSID de Francia.

Todas estas etapas se cumplieron en los cerros Apretado, Aurora e Isabel. En el cerro Mulero se llegó hasta la etapa N°.6, en el Cerro Morochos hasta la etapa N°.4, en el cerro Santa Rita sólo hasta la etapa N°.3.

Los resultados obtenidos serán presentados aquí en una secuencia que comienza con los datos puramente geológicos y termina con consideraciones de índole geológico-económicas:

- Estructura geológica
- Mineralogía y textura
- Composición química
- Densidad
- Volumen de mineral
- Cálculo de tonelaje
- Conclusiones

ESTRUCTURA GEOLÓGICA la roca portadora de los minerales de hierro se distribuye en bandas plegadas cuyo espesor varía entre 30 y 60m. La mineralización, originalmente continua, se encuentra en bloques separados como consecuencia de fracturas posteriores, que quebraron y desplazaron entre sí cada uno de los fragmentos resultantes.

Estos fragmentos tienen en promedio una longitud de 800m, por lo que desde el punto de vista económico dicha fracturación dificultará sólo parcialmente las labores de explotación.

La roca ferrífera presenta una resistencia a la erosión más marcada que el resto de las rocas del área (granitos, gneises), de modo que su prospección es sumamente fácil. Constituye la cresta de las colinas, que son alargadas según la dirección de desarrollo del mineral.

En la figura N° 7-19 se presenta la carta geológica de la cuenca del arroyo Valentines en la zona mineralizada. En ella se muestra la distribución de la roca ferrífera (valentinesita), así como los rasgos estructurales más salientes del área.

Las medidas de buzamiento realizadas en superficie, y sobre todo aquellas obtenidas en las trincheras, mostraron que los bancos mineralizados se hundían con un ángulo de 60 -70° hacia el Oeste, en los tres cerros mejor estudiados.

Se previó así que la mineralización ferrífera se extiende con esa orientación hasta grandes profundidades. Un sondeo en el cerro Apretado llegó a una profundidad de 222m y permitió probar ampliamente las suposiciones (BOSSI, 1963).

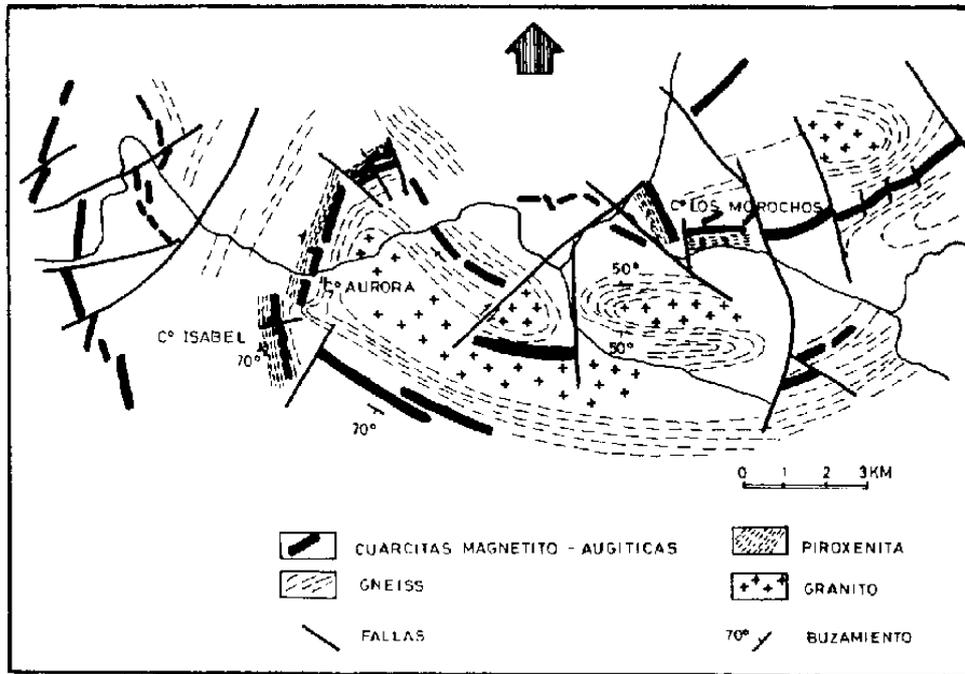


Figura N° 7-19. Carta geológica del área ferrífera de Valentines según Bossi y Umpierre (1969); espesores de mineral de hierro exagerados.

El relevamiento geológico superficial muestra bandas mineralizadas separadas por angostas franjas sin afloramiento que corresponden a rocas cuarzo-feldespáticas. Los sondeos, así como el propio relevamiento superficial, indican que el espesor de cada banda individual es, a su vez, variable. En la figura N° 7-20 se expone el relevamiento superficial y los cortes geológicos normales al rumbo del mineral, en el cerro Apretado.

MINERALOGÍA Y TEXTURA

La composición mineralógica modal de la mena ferrífera de Valentines, en condición de fresca y no afectada por fenómenos posteriores, es la siguiente (BOSSI,1963):

magnetita	38 %
augita	30 %
Cuarzo	31 %
Apatito	0,5 %
esfeno	0,5 %
pirita	presente

Este fenómeno de meteorización tiene capital incidencia sobre la economía del proceso a seguir, desde la extracción de la materia prima hasta la obtención del material apropiado para la alimentación del horno de reducción a metal. Ha sido expuesto en detalle en BOSSI (1963) y BOSSI y UMPIERRE (1969).

Uno de los fenómenos más impotentes a considerar es la oxidación de magnetita a hematita, lo que hace que la mena ferrífera presente características totalmente distintas en profundidad y en superficie.

Esa dualidad de la naturaleza mineralógica de la materia prima es, nuestro, la causa de la necesidad de un delicado estudio para determinar el proceso de concentración más apropiado.

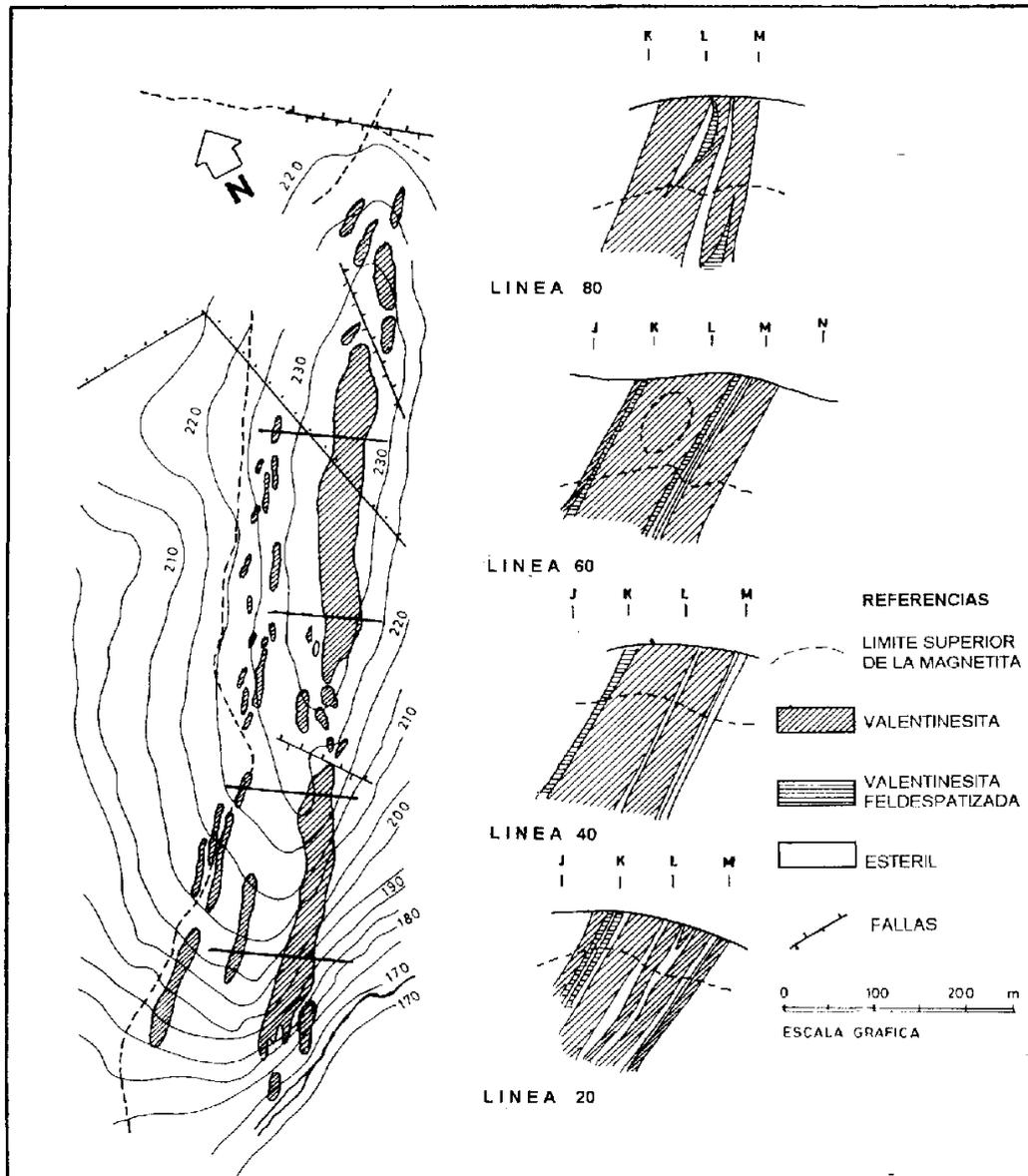


Figura N° 7-20. Cartografía y cortes geológicos en el Cerro Apretado (BOSSI, 1978),
 La meteorización provoca las siguientes transformaciones mineralógicas:

EN PROFUNDIDAD	PROCESO	EN SUPERFICIE
MAGNETITA	OXIDACION	HEMATITA
AUGITA	HIDRACION	SERPENTINITA + LIMONITA
CUARZO	INALTERADO	CUARZO
APATITO	DISOLUCIÓN	-----
PIRITA	OXIDACION	LIMONITA

En cada uno de los cerros mineralizados estudiados el fenómeno es cualitativamente el mismo, pero varía sensiblemente la profundidad a la que se ponen de manifiesto actualmente las transformaciones. Así por ejemplo, se encuentra magnetita y piroxeno en superficie, en la ladera Sur del cerro Los Morochos, que es el que presenta la máxima pendiente del área; en cambio, en el cerro Apretado, el de pendiente menos pronunciada de los estudiados, la magnetita no aparece antes de los 30 - 35 m de profundidad (ver figura N° 7-21).

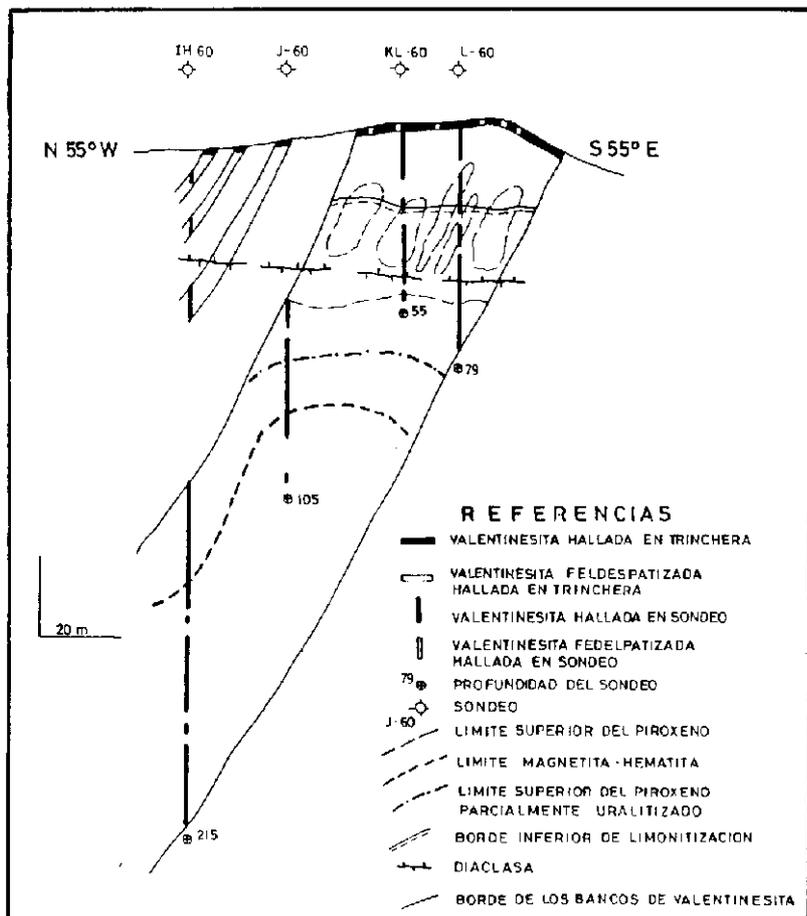


Figura N° 7-21. Corte geológico mostrando los distintos grados de meteorización en función de la profundidad.

El otro componente importante de la roca es la augita. Esta se altera primero a actinolita; luego se libera hierro que pasa a limonita y se forma una mezcla de serpentina y clorita. Estos minerales neofrmados, en parte de tamaño coloidal, son en ciertos casos arrastrados por las aguas circulantes y dejan la roca constituía por cuarzo y hematita, con una porosidad de hasta 30 %.

Como resultado del citado proceso geológico aparecen dos minerales de hierro en la mena: hematita y magnetita. Como la roca fresca tiene solo magnetita, la aparición de hematita se debe a una oxidación superficial, y la línea de separación de ambas sigue, aproximadamente, la topografía actual y las fracturas principales.

Como regla general, los minerales más abundantes se presentan en granos bien desarrollados, lo que determina la textura granoblástica. Hay una marcada tendencia a la textura esquistosa, pero esta nunca se desarrolla nítidamente. En la figura N° 7-22 se muestra un dibujo en cámara clara de una sección delgada, donde se puede observar tamaño de grano y relación entre distintos minerales, lo que es fundamental para enfocar el problema de beneficiación.

En cuanto al tamaño de grano, normalmente variable, puede encuadrarse entre los siguientes valores:

MINERAL	DIAMETRO (mm)	
	MINIMO	MAXIMA FRECUENCIA
CUARZO	0.4	0.7
AUGITA	0.3	0.9
MAGNETITA	0.3	0.7
APATITO	0.05	0.1

De acuerdo con los datos anteriores, será necesario moler a tamaño entre 0,3 y 0,5 (tamices 35 y 28 Tyler respectivamente) para asegurar un grado de liberación adecuado entre los distintos minerales. En ensayos preliminares realizados en Santiago de Chile,, WORNKEE (1958), de la Junta de Asistencia Técnica de NNUU determinó como óptima una molienda de (-28, +35) mallas/cm² en la fracción principal. Coincide, pues, con los datos microscópicos.

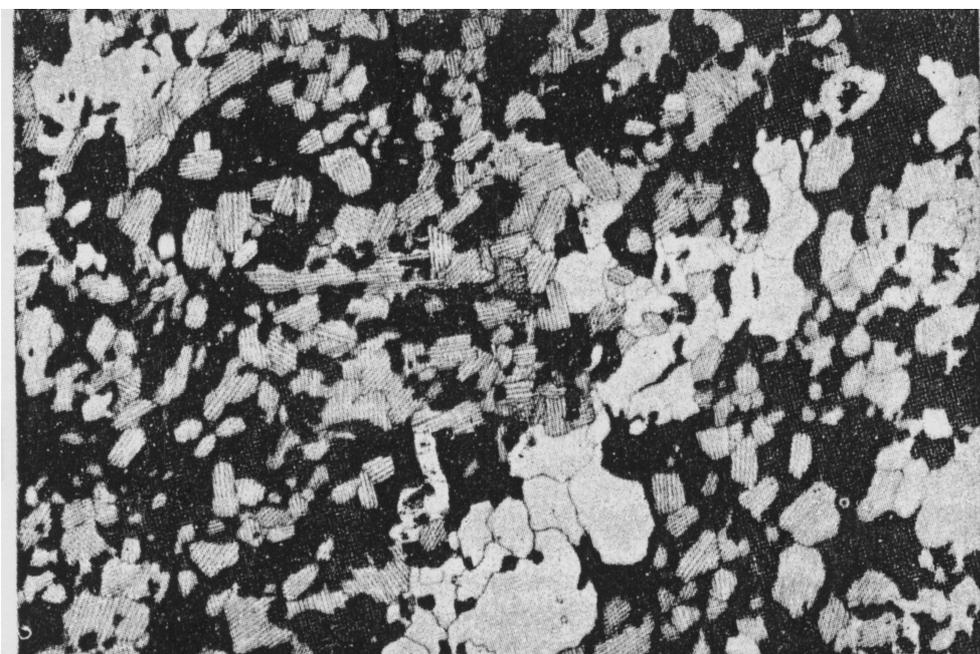


Figura N° 7-22. Imagen microscópica del mineral de hierro mostrando neta distribución en bandas milimétricas de composición diferente (LN x 20).

COMPOSICIÓN QUÍMICA El laboratorio del Instituto Geológico del Uruguay, bajo la dirección del Qco.Ind. H. Tosi, realizó alrededor de dos mil análisis de testigos de perforación y muestras superficiales. Los resultados son presentados gráficamente mediante un histograma de distribución que se muestra en la figura N° 7-23. Además en la figura N° 7-24 se presenta la distribución de frecuencia de los análisis químicos de la valentinesita cuando no es afectada por ningún proceso posterior.

El valor más importante a obtener es el tenor medio en Fe% en peso de la mena. Para ello, resulta imprescindible enfocar el estudio químico, tomando como base la petrografía. En ese sentido se pueden definir dos tipos principales de rocas, desde el punto de vista económico:

a) Valentinesita. Roca (mena) constituida por óxido de hierro (hematita o magnetita), cuarzo y un ferromagnesiano: augita, actinolita o serpentina. El tipo de óxido de hierro o de ferromagnesiano que contiene la roca depende de la profundidad. El estudio químico de rocas que caen dentro de esa definición señala un valor mínimo de 33 % de Fe, uno máximo de 46 % y un promedio de 38,5 % en base a los ochocientos análisis que de ello se han realizado.

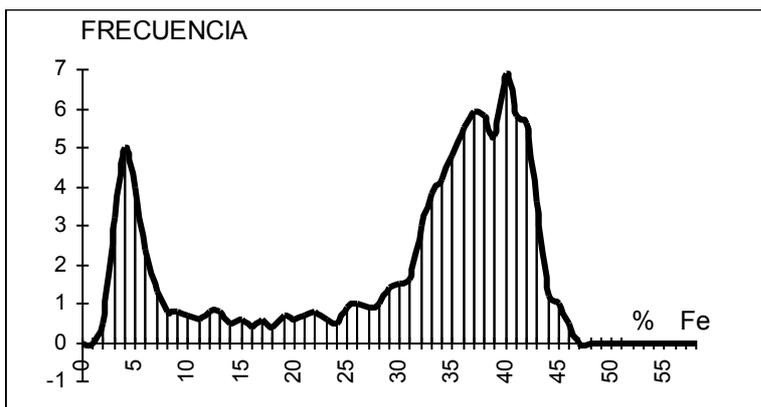


Figura N° 7-23. Histograma de distribución de análisis químicos de testigos de perforación (analista Q.I.H. TOSI).

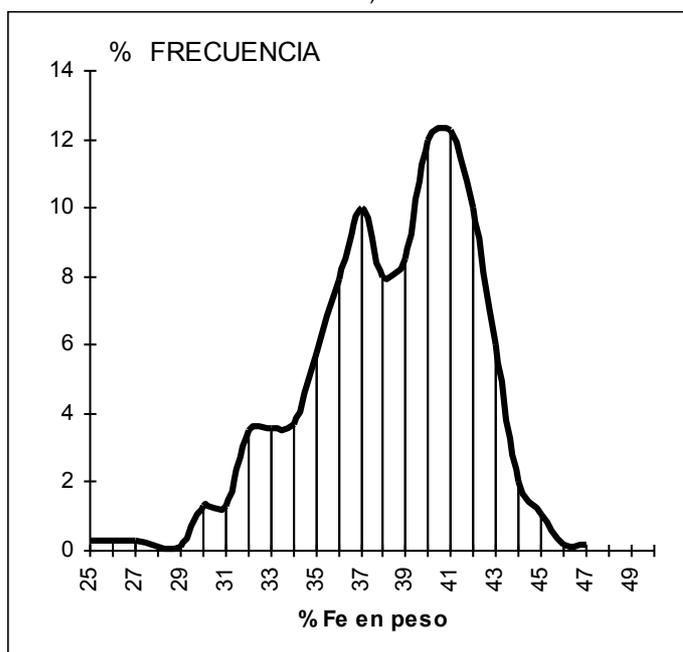


Figura N° 7-24. Histograma de distribución del contenido en Fe % en peso en valentinesitas no meyorizadas.

Una causa de variación del tenor en Fe de la valentinesita es la alteración superficial sufrida posteriormente. Tratados los datos analíticos en función de la profundidad, se ha podido comprobar cierto aumento del tenor de hierro en peso hacia la superficie, como consecuencia de la alteración del piroxeno a productos coloidales (clorita y serpentina) y posterior lavado de ellos.

Los números adjuntos confirman lo expuesto, pero el enriquecimiento es del mismo orden de magnitud que el error del dato analítico, por lo que no siempre resulta claramente significativo.

PROF. (m)	Fe % EN PESO	P%	Ti %	DENSIDAD APARENTE
0-10	41	0.02	0.06	
10-20	39	0.05	0.08	3.3
20-30	38	0.06	0.10	
30-40	38	0.08	0.09	
40-50	37	0.07	0.08	3.38 (?)
50-60	38	0.10	0.12	
MAS DE 80	39	0.10	0.12	3.42

El comportamiento del fósforo es exactamente el inverso. Aparece en el mineral en estado de apatito, mineral de fácil solubilidad geológica. Las aguas meteóricas, con pH ácido, lo solubilizan y provocan disminución de su tenor en superficie.

Con respecto al titanio, éste aparece en tenores variables y algo comprometedores si el mineral se utilizará directamente, pero como se encuentra en estado de esfero, también se podrá obtener un concentrado de hierro libre de titanio. Hay casos en que se usa mineral hasta con 3 % de titanio sin problemas mayores. Aumenta algo el contenido en profundidad, pero no sobrepasa el 0,15 %.

b) Rocas estériles. El término comprende a un granito filoniano pegmatóide con valores entre 3 y 8 % de Fe; a los gneisses piroxénicos con tenores de hasta 10 % en Fe y a las piroxenitas, que constituyen realmente un pasaje entre los gneisses y la valentinesita, sin un límite petrográfico definido. Todas estas rocas se considerarán en conjunto como estériles, pues sus tenores en hierro están comprendidos entre 2 y 10 %.

DENSIDAD Se hicieron medidas de densidad real y aparente muy exactas, sobre muestras de pocos centímetros cúbicos de volumen, por lo que se apartan de ser representativas. Se ha subsanado el problema realizando muchísimas medidas y tomando el promedio:

ROCA	DENSIDAD APARENTE
VALENTINESITA SUPERFICIAL	3.36 (20 MEDIDAS)
VALENTINESITA FRESCA	3.42 (70 MEDIDAS)
VALENTINESITA FELDESPATIZADA	3.20 (CALCULO APROX.)
ROCAS ESTERILES	2.65 (8 MEDIDAS)

Estos valores de densidad aparente serán los utilizados para transformar volumen en tonelaje, dato necesario pues los análisis se expresan en % de Fe en peso.

Volumen existente. En el caso en análisis la estructura geológica tan simple de los bloques individuales evitó un elevado número de perforaciones para probar el volumen del yacimiento, por lo menos hasta el nivel del arroyo Valentines (una altura promedio de 70m). El Instituto Geológico del Uruguay ha realizado suficientes labores de trincheras y perforaciones en los cerros Apretado, Aurora e Isabel como para tener un volumen probado.

Como reservas probables son consideradas aquellas de los cerros Los Morochos y Mulero, que sólo han sido relevados superficialmente; pero la estructura geológica general del área permite suponer su desarrollo subterráneo con aceptable precisión.

Para las reservas posibles se tomaron los datos superficiales obtenidos en 1959 para el I.G.U. (ALVARADO, 1959), pero reelaborados considerando que el mineral forma planos de pliegues. En estos casos no se conoce la estructura geológica de detalle, pero se conocen las medidas aproximadas de longitud y potencia. En este sentido los yacimientos Santa Rita y las Palmas resultan de posible valor económico.

Pasando ahora a considerar cada uno de los tres bloques cuyo volumen ha sido probado, se conoce con certeza la existencia de mineral hasta 220 m de profundidad, pero debe admitirse sólo como extraíbles los 150m superficiales en explotación a cielo abierto, por razones económicas que luego se verán.

El cerro Apretado fue el primero en ser estudiado y, en consecuencia, el que exigió más labores para probar su volumen. La figura N° 7-22 mostró la distribución de sus afloramientos, la ubicación de las trincheras, los sondeos y los cortes normales al rumbo, que fueron relevados detalladamente.

La longitud de la mineralización es de 900 m, limitada al SW por la falla donde corre hoy el arroyo Valentines y un sistema de fallas groseramente paralelas en las cercanías de la nariz del anticlinal, en el NE. La falla con rumbo NW a unos 700m del arroyo Valentines, no afecta en forma sensible el banco mineralizado.

El cerro Aurora experimentó el mismo estudio. Se realizó un relevamiento superficial a escala 1/1000, trincheras y perforaciones a rotación.

El cerro Isabel es el de mayor longitud de los tres cuyo volumen de mineral fue probado. No obstante, en éste la potencia de la banda mineralizada disminuye considerablemente y a la vez, las rocas estériles intercaladas se hacen más potentes.

Su desarrollo es casi exactamente norte-sur. Su estructura de detalle ha sido relativamente poco afectada por la tectónica de fractura posterior a su formación. La longitud mineralizada es de 1100m, sumando los distintos bloques unitarios.

De la misma manera, en el departamento de Treinta y Tres J.H:CAORSI y J.C. GOÑI encontraron en 1958 yacimientos mineralizados que fueron medidos y publicados a escala 1/100.000 por ALVARADO (1959). Según el actual nivel de conocimiento de la geología del área, estas mineralizaciones no presentan ninguna posibilidad de explotación económica.

Cálculo del tonelaje. Para ello se tomarán los datos de las secciones normales al rumbo. La heterogeneidad litológica, así como la estructura parcialmente lentiforme de las masas estériles intercaladas (granitos, migmatitas, piroxenitas) obligaron a realizar un número elevado de perforaciones para que los datos no excedieran un error del 20 % pues se debían evaluar las reservas seguras.

Las labores de ingeniería minera se siguieron hasta que se pudo obtener la estructura geológica de detalle con total seguridad. Las bandas mineralizadas presentan intercalaciones estériles lentiformes, que hacen imposible considerar los sondeos individuales para extraer el dato de tenor en Fe % promedio.

Por eso fue necesario estudiar cada corte geológico para evaluar la cantidad relativa de cada una de las rocas, que serán irremediamente extraídas en conjunto, en cualquier tipo de explotación a cielo abierto, dado que el precio del mineral no soporta ningún proceso de extracción selectiva.

En todos los casos se considera una altura de 70m que fue lo probado en C° Apretado, C° Aurora y C° Isabel.

La mayoría de los sondeos han alcanzado sólo hasta 70 m, hecho que junto el carácter lentiforme de las intercalaciones estériles ha impedido extrapolar mucho por debajo de ese nivel. En consecuencia, el mineral hasta 150 m será computado como probable.

RESERVAS PROBADAS

CERRO APRETADO	
LONGITUD	800 m
SECCION PROMEDIO	3635 m ²
VOLUMEN	3.000.000 m ³
TENOR PROMEDIO (TON Fe/m ³)	1.12
TONELADAS DE Fe	3:250.000
TENOR EN Fe DEL MINERAL A EXTRAER	34.5 % EN PESO

CERRO AURORA	
LONGITUD	500 m
SECCION PROMEDIO	2.800 m ²
VOLUMEN	1:400.000 m ³
TENOR PROMEDIO (TON Fe/m ³)	1.03
TONELADAS DE Fe	1:440.000
TENOR EN Fe DEL MINERAL A EXTRAER	32.2 % EN PESO

CERRO ISABEL	
LONGITUD	1.000m
SECCION PROMEDIO	2.785 m ²
VOLUMEN	2:785.000 m ³
TENOR PROMEDIO (TON Fe/m ³)	0.865
TONELADAS DE Fe	2:400.000
TENOR EN Fe DEL MINERAL A EXTRAER	27.5 % EN PESO

Estos tres cerros contienen un total probado de hierro de 7:000.000 de toneladas expresado en hierro metálico.

RESERVAS PROBABLES. Para la ubicación de las reservas probables se seguirá tomando una altura de 70 m, pues los estudios sobre la morfología de los estériles han demostrado que sus paredes difieren tan poco del paralelismo hasta esa profundidad, que los datos superficiales son extrapolables sin riesgo.

Los cerros Los Morochos, La Isla y Santa Rita están incluidos en la categoría de reservas probables. Los dos últimos no pertenecen a la cuenca del arroyo Valentines, pero están muy próximos al resto del yacimiento.

En todos estos cerros se ha efectuado un relevamiento superficial y, aunque con diferente detalle, han sido medidas sus dimensiones. En el estado actual de los conocimientos sobre la estructura geológica de esta área ferrífera, es posible tener una certeza suficiente del desarrollo en profundidad, lo que habilita la realización del cuadro adjunto, en que se da cuenta de los cálculos seguidos para la estimación de las reservas probables.

CERRO	LONGITUD (m)	POTENCIA (m)	ALTURA (m)	VOL. (m ³)	TON Fe/m ³	TON Fe
SANTA RITA	500	35	70	1:220.000.	0.9	1:100.000
MOROCHOS	600	35	70	1:470.000	0.9	1:320.000
LA ISLA	400	15	70	420.000	0.9	380.000
						2:800.000

RESERVAS POSIBLES. En la categoría de reservas posibles se incluyen las bandas de mineral por debajo de los 70m probados de los cerros Apretado, aurora e Isabel; el C° La Tuna, que muestra poco mineral en superficie y el cuerpo mineralizado del paso del Medio del arroyo Las Palmas, en el departamento de Durazno, por estar muy alejado del grupo de cerros en estudio.

Tabla N° 7-4- Reservas posibles de mineral de hierro de Valentines

RESERVAS POSIBLES						
YACIMIENTO	LONGITUD (m)	POTENCI A (m)	CUELGA (m)	VOL (m ³)	TON Fe/m ³	TON Fe
LAS PALMAS	1500	30	150	6:750.000	0.9	6:100.000
APRETADO	800	55	80	3:500.000	0.9	3:150.0000
AURORA	500	35	80	1:400.000	0.9	1:250.000
ISABEL	1000	40	80	3:200.000	0.9	2:900.000
MOROCHOS	600	20	80	960.000	0.9	860.000
						14:260.000
			OTROS POSIBLES			5:740.000
						20:000.000

Bajo la denominación de "otros" se incluyen varias lomas mineralizadas, una pasa detrás de la escuela rural de la zona, otra es cortada por el camino al P°. Santa Rita del Yí, el C°. La Tuna y algunas más, pero se ha trabajado tan poco sobre ellas que no es posible brindar cifras exactas. Subjetivamente y en base a la experiencia que se posee del área, se les ha atribuido un volumen estimativo para redondear cifras a 20 millones.

Las conclusiones que se pueden extraer del estudio del yacimiento con las que se expresan a continuación:

1. El área de Valentines posee mineral de hierro en bancos aislados de potencia variable entre 20 y 60m con longitud no menor a los 500m y una altura probada de 70m. Estos bancos se hunden con un ángulo de 60 - 70° con la horizontal, lo que determina una posible explotación hasta 150m de profundidad.
2. Los bancos mineralizados presentan intercalaciones estériles lentiformes de dimensiones tales que deberán ser extraídos junto con el mineral. Eso disminuye el tenor promedio en Fe de la roca.
3. La cantidad de mineral existente, expresado en hierro metálico, según los datos disponibles hasta el presente (y hasta 150m de profundidad) es la siguiente:

	Fe metálico (ton)	magnetita (ton)	mineral (ton)
RESERVAS PROBADAS	7:000.000	10:000.000	20:000.000
RESERVAS PROBABLES	3:000.000	4:500.000	9:000.000
RESERVAS POSIBLES	20:000.000	30:000.000	60:000.000

4. En los cerros en que se ha probado la cantidad de mineral, este se extraerá con un tenor promedio de 35,5 % Fe. Las muestras superficiales de mineral, extraídas por el Dr. ALVARADO (1958- 59), en todos los cerros del área dan como tenor medio también 35,5 % Fe en peso.
5. La mena, originalmente magnetítica, ha sufrido oxidación a hematita en el casquete superficial. Cuanto mayor ha sido esta alteración, menos pendiente presentan hoy los cerros mineralizados

Zapucay

La otra provincia ferrífera de Uruguay se encuentra en la isla cristalina del departamento de Rivera, donde los estudios han sido menos detallados, pero con indicios claros de poseer volúmenes de mineral mucho más importantes.

Esta unidad ferrífera ha sido petrológicamente considerada idéntica a la formación Valentines por BOSSI (1978) y BOSSI y NAVARRO (1991) y ELLIS (1998). Esas similitudes

genéticas permiten acceder a conclusiones geológico-económicas con aceptable grado de seguridad, a pesar de la no existencia de estudios de detalle con perforaciones.

Los depósitos de hierro bandeados fueron incluidos por ELLIS (1998) en su propuesta fm. Vichadero, junto con piroxenitas, mármoles a forsterita (WALTHER 1922) y granulitas a dos piroxenos.

La localidad tipo es en los alrededores del Cerro Vichadero y la secuencia completa alcanza una potencia de alrededor de 100m. El miembro más potente es precisamente la formación ferrífera bandeadada que normalmente alcanza 50m de potencia.

El detallado estudio petrológico del autor recién referido, es lo que permite extraer conclusiones válidas sobre la dimensión de este recurso mineral a partir de relevamientos geológicos a escala entre 1/1000 y 1/20.000 realizados por los autores del presente ensayo.

El protolito de las formaciones ferríferas y manganésíferas ha sido un barro con óxidos de (Fe y Mn) y gel silíceo (chert). En algunos niveles intervienen los carbonatos, pero no son significativos. La asociación litológica sugiere la deposición en una plataforma continental de margen pasivo, a lo largo de unos 100 Km.

Esta secuencia fue luego metamorfozada en facies granulita (800°C y 6 a 9 Kbar) e intensamente plegada y fallada.

Las formaciones ferríferas contienen cuarzo, piroxeno y magnetita con débiles proporciones de manganeso (jacobsita). En la figura N° 7-25 se expone la estructura regional mostrando la distribución de los cuerpos mineralizados, de los cuales los más importantes se encuentran en el borde SW de la gran estructura en arco.

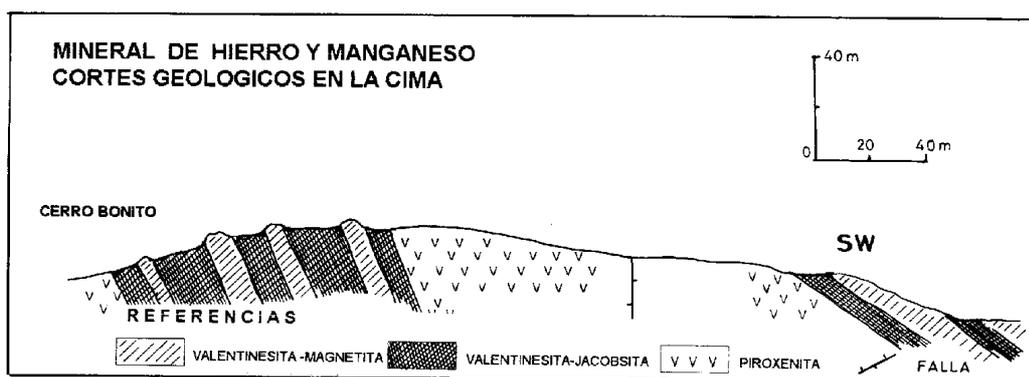


Figura N° 7-25. Líneas estructurales fundamentales de los depósitos de mineral de hierro de Zapucay (Dpto de Rivera).

Un relevamiento más detallado realizado en escala original 1/20.000 se muestra en la figura N° 7 26 donde se ubican con mayor precisión los cuerpos mineralizados de Cerro Papagayo, Cerro Bonito, Cerro Manganeso, Cerro Picudo y Cerro Imán.

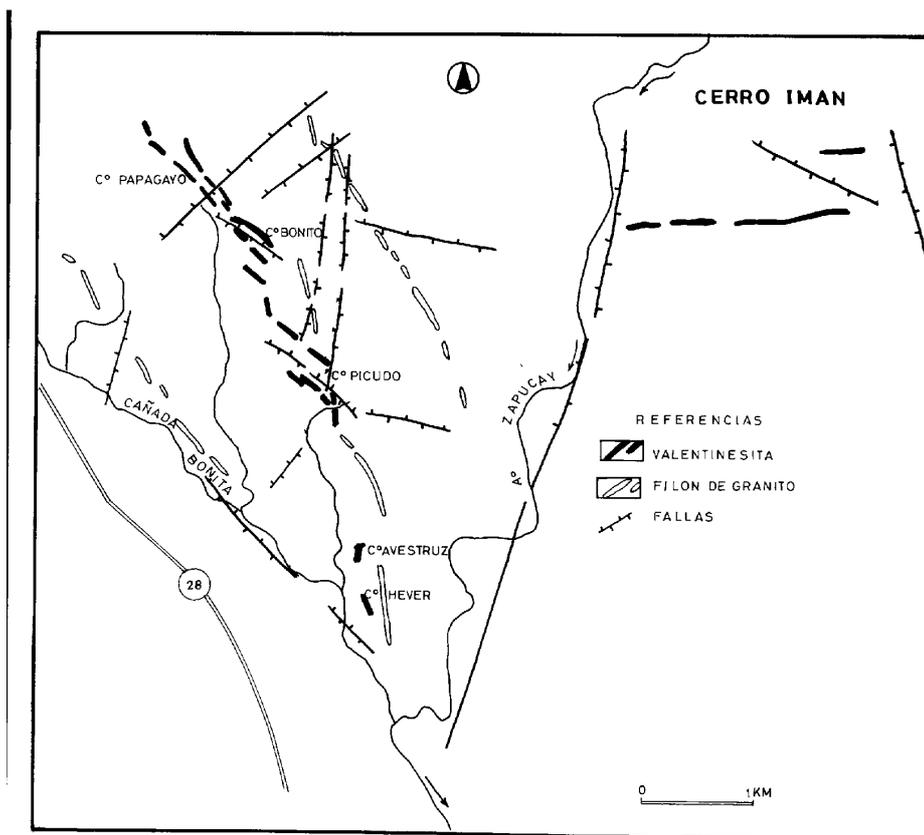


Figura N° 7-26. Carta geológica regional de la principal área mineralizada en el Dpto de Rivera.

Estas unidades constituyen bloques alargados de cuarcita-magnetito-augítica (valentinesita) comportamiento competente en relación a las litologías vecinas.

Durante mucho tiempo se prestó atención exclusiva a las concentraciones supergénicas de óxidos de manganeso generados por meteorización de la jacobsita en una mezcla de hematita y psilomelanos. Como resultado, no se obtuvieron datos concretos sobre estructura regional de los depósitos de formaciones ferríferas.

Un ejemplo claro de esta situación es que BOSSI (1978) considerar el área de Valentines como única reserva de minerales de hierro y al tratar el tema Manganese plantea un esquema muy tímido de la posible estructura en profundidad.

Un detallado relevamiento geológico-económico realizado por los autores de este ensayo en 1982- 83 ha permitido obtener información precisa sobre la naturaleza geológica de la acumulación del mineral de hierro y la estructura en bancos subverticales limitados por fallas que son las que generan las discontinuidades perpendiculares al rumbo general.

Todos los cerros del área fueron relevados pero aquí se expondrá solamente el cerro Bonito, que constituye una de las zonas con más mineral de hierro, porque una pequeña falla transcurrente enfrentó dos bloques de 500 - 600m de longitud a lo largo de 400m.(figura N° 7 - 27).

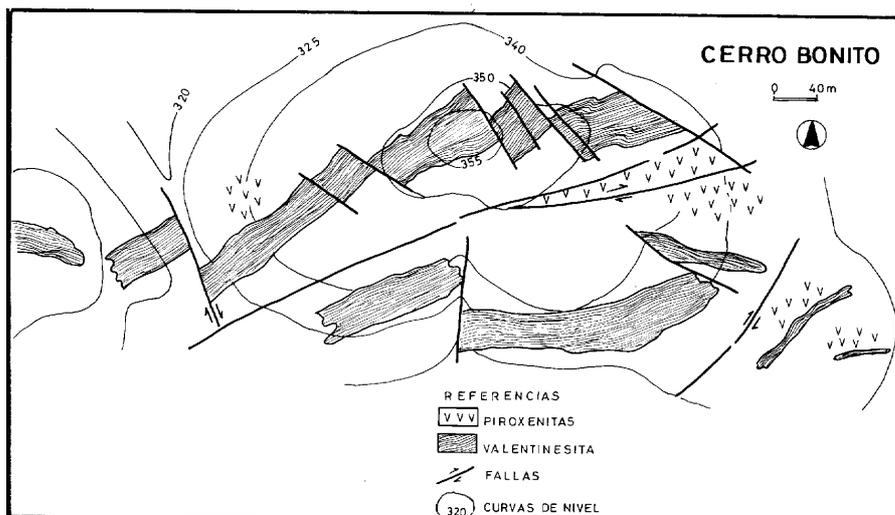


Figura N° 7-27. Estructura geológica de detalle de la mineralización ferrífera en el Cerro Bonito, área zapucay, Dpto de Rivera.

Los bancos de mineral presentan rumbo, buzamiento y potencia variables como consecuencia de la intensa tectónica rígida a la que fueron sometidos. En lo esencial puede evaluarse una potencia media de 35m con un buzamiento del orden de 60o predominantemente hacia el Sur.

Como las cuarcitas magnetito-augíticas son muy resistentes a la meteorización determinan cerros prominentes con desniveles de 40 - 50m y pendientes medias de 20% en sentido perpendicular al rumbo de los bloques mineralizados.

El volumen de mineral existente hasta una profundidad de 70 metros desde la superficie ha sido posible de calcular gracias a los datos estructurales y el relevamiento geológico de detalle.

La longitud total de los cuerpos mineralizados es de 6000m incluyendo las zonas de Cerro Papagayo y Cerro Imán. Tomando en promedio una potencia de 35m y una profundidad razonablemente posible de explotar técnicamente, el volumen de mineral existente, a nivel de reservas probables es de:

$$6000\text{m} \times 35\text{m} \times 70\text{m} = 14 \text{ millones de m}^3 \text{ } \langle \text{ } \rangle 50 \text{ millones de toneladas}$$

El mineral de hierro fue muestreado y analizado por ELLIS (1998) en el área de Vichadero y Zapucay con valores medios de 42 ± 10 % de Fe_2O_3 y 46 ± 10 % de SiO_2 en 37 muestras cuyos histogramas de distribución se muestran en la figura N° 7-28.

Las cifras muestran una composición muy variable pero para el pequeño tamaño de cada individuo (aprox. 1 Kg) es significativa una moda entre 50 y 55 % de Fe_2O_3 que coincide con el tenor del cerro Apretado en el área de Valentines (36 % en peso expresado en Fe metálico).

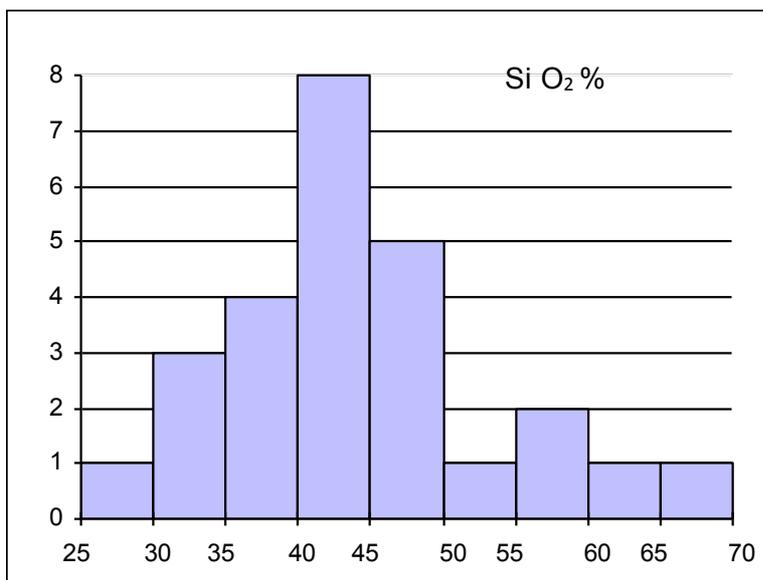
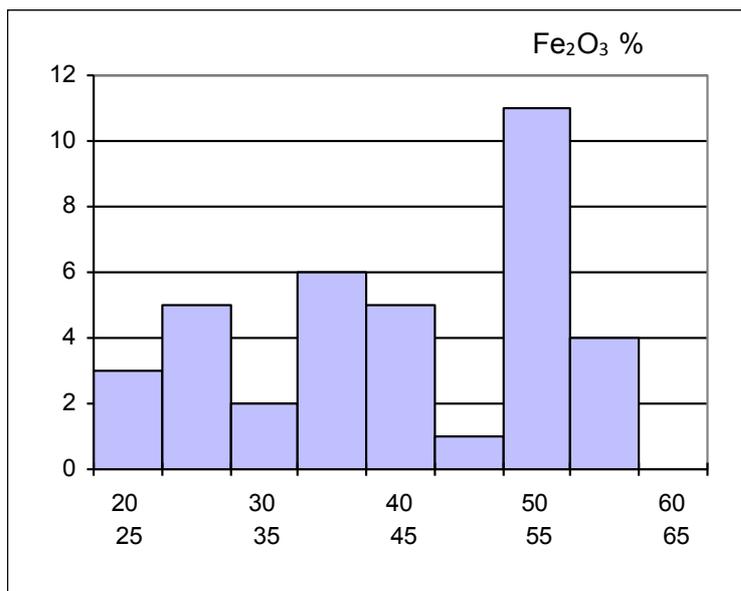


Figura N° 7-28. Datos preliminares del contenido en FeO % y Si O₂ % de los minerales de hierro del Dpto de Rivera, según ELLIS (1998).

CONSIDERACIONES GENERALES

La realidad uruguaya en materia de yacimientos de hierro es poco destacada. Posee dos áreas, una en Valentines (Florida) aceptablemente bien estudiada y otra en Zapucay (Rivera) de la que recién se dan a publicidad algunos datos químicos, petrográficos y estructurales en este ensayo.

Los datos disponibles son los siguientes expresados en millones de toneladas de hierro metálico:

	VALENTINES	ZAPUCAY
RESERVAS PROBADAS	7	----
RESERVAS PROBABLES	3	20
RESERVAS POSIBLES	20	20

7.3 - TITANIO

Este metal ha sido permanentemente utilizado para elaboración del pigmento blanco de las pinturas (TiO_2 dióxido de titanio) por el color y la opacidad que transmite. Es el pigmento más blanco y de mayor poder cubriente que se conoce.

A medida que los procesos tecnológicos de transformación de la materia prima (ilmenita= FeTiO_3) en dióxido de titanio fueron perfeccionándose, este pigmento blanco de consumo pasó a ser el único utilizado desde hace más de 10 años. Ese fenómeno condujo a un incremento significativo en el empleo del titanio como metal de aleaciones especiales, lo que contribuyó a una mayor demanda de recursos minerales titaníferos.

Aunque en 1998 la relación de empleo era de 90 % como dióxido de titanio y 10 % como titanio metálico y esa relación es difícil que se modifique, el consumo total de titanio en el mundo crece rápidamente, Sud Africa es después de Australia el principal productor de ilmenita y circón provenientes de arenas con minerales densos porque la información aquí transmitida puede considerarse actualizada aunque provenga solamente de fuentes bibliográficas sudafricanas (Suoth African Minning).

El titanio es el cuarto metal estructural en abundancia en la corteza terrestre y su uso al estado metálico tiene aplicaciones en química, industrias, equipos marinos y aeroespaciales. Las propiedades más importantes del titanio metálico incluyen=

- Altísima relación resistencia/peso
- Excelente resistencia a la corrosión
- Muy alta resistencia a la erosión
- Alta eficiencia en transferencia térmica.

La mayoría del titanio metálico producido en el mundo aplica el método KROLL que usa magnesio como agente reductor y rutilo (TiO_2) como materia prima. El rutilo es transformado inicialmente en esponja por reacción de $\text{TiO}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{TiCl}_4 + \text{O}_2$

Este producto (tetracloruro de titanio) es reducido a esponja metálica por reacción con magnesio en atmósfera inerte.

La esponja se transforma en lingotes por fusión del material triturado con los elementos deseados para formar la aleación. Un prensado posterior los transforma en briquetas que son soldadas entre sí para construir un electrodo.

El electrodo es fundido en un horno de arco donde se hace saltar al arco eléctrico entre el electrodo y una capa de titanio en un crisol de cobre enfriado por agua.

El titanio fundido de la superficie exterior solidifica en contacto con la pared fría formando una cáscara que contiene el material aún fundido. Esta porción final del lingote se le hace solidificar al vacío en el horno.

Los recursos minerales conteniendo titanio son escasos en el Uruguay hasta donde actualmente se han realizado estudios de evaluación. Pueden clasificarse cualitativamente en 3 categorías:

- Ilmenita de segregación magmática en un gabro al Sur de la ciudad de Florida
- Ilmenita acumulada en niveles de arenas negras en Aguas Dulces (Rocha)
- Rutilo integrante de las mismas arenas negras.

La ilmenita de segregación magmática se encuentra ubicada a escasos 500 metros al W del KM 90 de la ruta nacional N°.5 donde un camino vecinal pasa actualmente al costado de las excavaciones.

Este yacimiento fue descubierto en la década de los años 30 y allí se hicieron excavaciones de cateo, extrayendo varios cientos de toneladas de una mena conteniendo más de 80 % de ilmenita.

Los únicos estudios publicados (GOÑI et al,1962) describen el proceso como un típico fenómeno de acumulación de hierro y titanio por segregación magmática. La roca gabroide de caja y de la cual se habría separado la mena titanífera presenta gran variación textural pero la composición mineralógica es relativamente constante:

45 %	LABRADOR-ANDESITA
45 %	HORNBLENDA
10 %	ILMENITA PARCIALMENTE TRANSFORMADA EN LEUCOXENO

La composición química de la roca fue calculada a partir de unos 40 Kg de muestra original, molida y cuarteada, dando los valores siguientes:

SiO ₂ %	46	FeO %	10	Na ₂ O %	2
Al ₂ O ₃ %	20	MgO %	7	K ₂ O %	0
Fe ₂ O ₃ %	3	CaO %	11	H ₂ O (+) %	1

Asociada a esta diorita gábrica se encuentra la mineralización ferro-titanífera, compuesta por ilmenita, hematita y magnetita parcialmente martitizada. Los autores arriba referidos reconocieron dos generaciones de ilmenita: la primera, epitáxica sobre soporte de magnetita y la segunda, en cristales aislados englobando la asociación antes descrita.

El mineral extraído durante las etapas de explotación ha sido acumulado en varias pilas alargadas por selección manual. Según WRIGHT (1941) el mineral así seleccionado tenía la composición química siguiente:

Ti	18 ± 5 %	(30 análisis) <> TiO ₂ 29 %
Fe	50 ± 2 %	(30 análisis) <> Fe ₂ O ₃ 70 %
V	0,2 %	(6 análisis)

A efectos comparativos, para tener idea de la pureza con que era extraído dicho mineral, la ilmenita pura, de fórmula TiFeO₃ tiene la siguiente composición:

TiO ₂	53 %
FeO	47 %

Recientes trabajos de relevamiento geológico sistemático del cinturón San José, una unidad volcánica sedimentaria metamórfica de bajo grado con enormes intrusiones post-orogénicas, permitieron cartografiar a escala 1/100.000 los bordes del macizo gábrico SCHIPILOV et al (1998). Dicho cuerpo es considerado como integrante de un complejo plutónico de raíz de arco magmático y tiene dimensiones suficientemente interesantes como para intentar la prospección de nuevos cuerpos titaníferos en el área. En la figura N° 7-29 se reproducen las líneas fundamentales de la carta geológica.

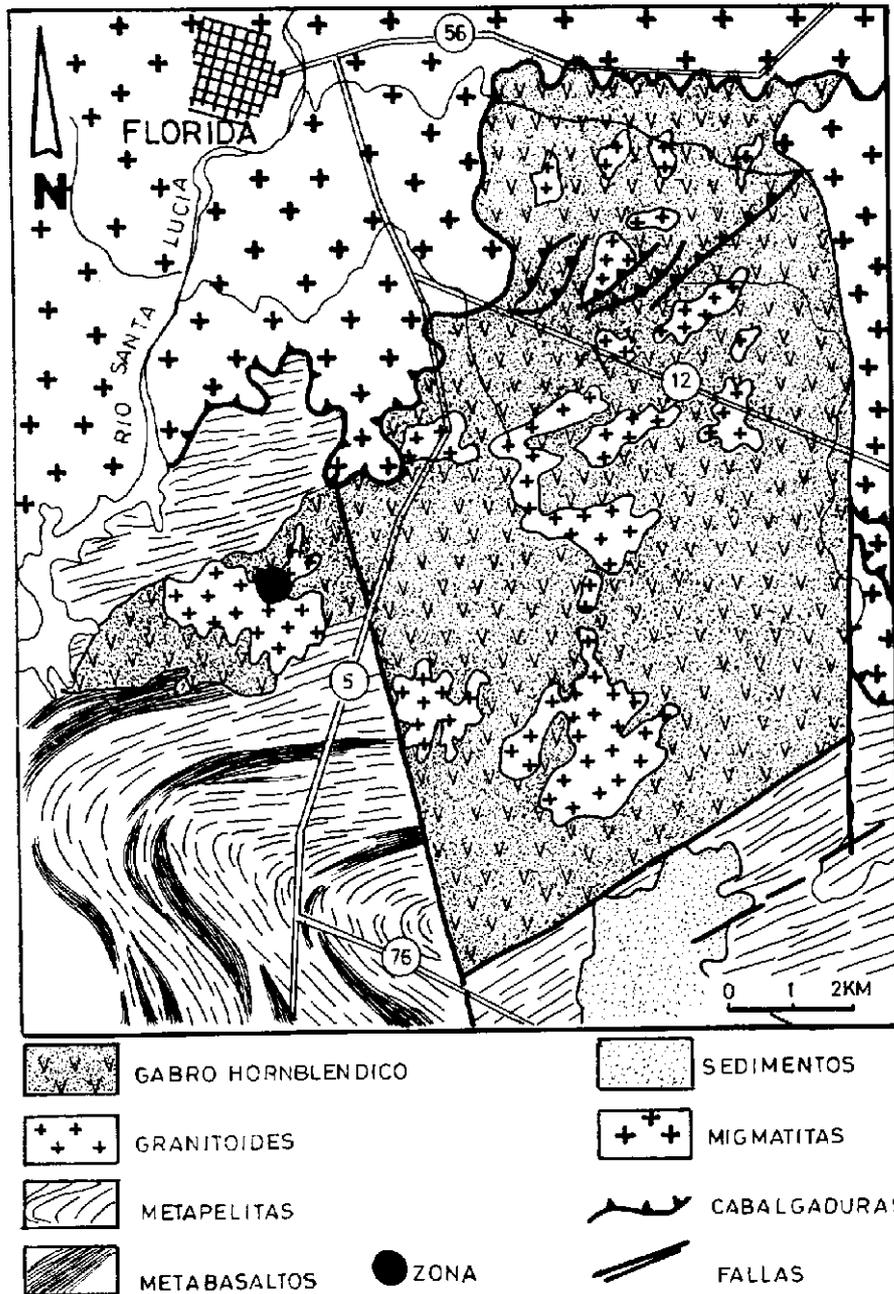


Figura N°7-29. Gabro hornbléndico de Rospide según SCHIPILOV et al (1998) indicando el área donde se reconoció acumulación de ilmenita.