



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Caracterización Tecnológica y Mineralógica de
la Mena de Hierro del Yacimiento Capao Xavier”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de



INGENIERA DE MINAS

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Presentada por:

Ana Mercedes Morales Carrera

Guayaquil - Ecuador

1999

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA Y MINERALÓGICA DE LA
MENA DE HIERRO DEL YACIMIENTO CAPÃO XAVIER”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERA DE MINAS

Presentada por:

ANA MERCEDES MORALES CARRERA

GUAYAQUIL – ECUADOR

1999



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todo el personal del Centro de Investigaciones-Miguelão de la empresa Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR, al personal de la Universidad Federal de Ouro Preto (UFOP), de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) y de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), que me brindaron su ayuda y colaboración para la realización del este trabajo.

A la Ing. Rita Virginia da Silva, orientadora por parte de la MBR

Al Dr. Júlio César Méndes, orientador por parte de la UFOP.

Al Dr. Paúl Carrión Mero, orientador por parte de la ESPOL.

Al Geol. Leandro Quadros Amorin, Jefe del Proyecto Capão Xavier.

Al Ing. César Mendonça, por el estudio de la caracterización mineralógica.

A la Ing. Luana Duarte por el estudio por Microscopía Electrónica de Barrido.

A todo el personal del Centro de Investigaciones – Miguelão de la MBR.

A mis padres, hermanos y a todos los buenos amigos que siempre estuvieron prestos a colaborar y apoyarme en el desarrollo de esta tesis.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DEDICATORIA



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

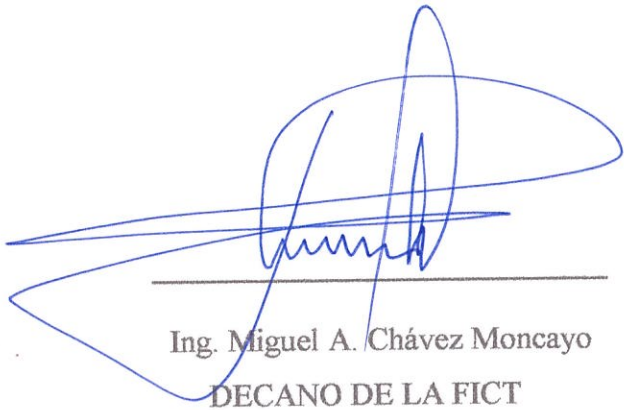
A DIOS

MI MADRE

MI FAMILIA

MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



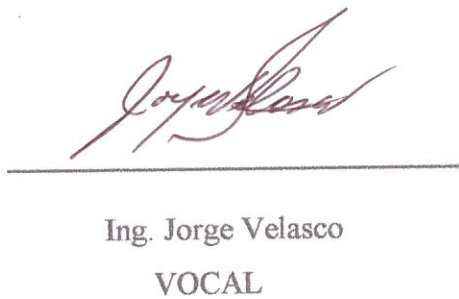
Ing. Miguel A. Chávez Moncayo
DECANO DE LA FICT




Dr. Paúl Carrión Mero
DIRECTOR DE TESIS



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Ing. Jorge Velasco
VOCAL



Ing. Jorge Rengel
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

A handwritten signature in cursive script, reading "Ana Mercedes Morales Carrera", written over a horizontal line.

Ana Mercedes Morales Carrera

RESUMEN

Capão Xavier es un yacimiento que forma parte de los planes de largo plazo de la Empresa Minerações Brasileiras Reunidas S.A.- MBR, su explotación será iniciada a partir del año 2000, por tanto es necesario un estudio previo de las características de la mena que posee este yacimiento.

A partir del año 1982, se abrieron tres galerías de sondage para realizar estudios complementarios de la mena de Capão Xavier de los resultados obtenidos se sabe que existen ciertas áreas específicas con altos tenores de alúmina (Al_2O_3) y manganeso (Mn), que son considerados como contaminantes dentro de las especificaciones de calidad de la empresa.

La caracterización tecnológica y mineralógica de la mena de este yacimiento se realizó, con el objetivo principal de conocer sus características generales, los minerales asociados y los responsables de estos altos tenores; con los resultados obtenidos se podrá visualizar las posibles metodologías para su tratamiento

Para la ejecución de todo este trabajo se utilizaron dos muestras, consideradas como las más representativas de estas áreas, una con alto tenor en alúmina y otra con alto tenor de manganeso, provenientes de la galería de exploración número 3.

La caracterización tecnológica comprende: análisis granulométrico, químico, deslamado, líquido denso y pruebas metalúrgicas. La caracterización mineralógica comprende: análisis mineralógico por microscopía óptica de luz reflejada, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
INTRODUCCIÓN	1
I. GEOLOGÍA	3
1.1. Geología Regional	3
1.1.1. Basamento Cristalino	3
1.1.2. Supergrupo Rio das Velhas	3
1.1.3. Supergrupo Minas	6
1.1.4. Intrusivos del Post-Minas	7
1.1.5. Grupo Itacolomí	7
1.2. Formación Cauê	9
1.3. Geología Local	12
1.3.1. Geología del Yacimiento Capão Xavier	12
II. MENA DE HIERRO	15
2.1. Clasificación Genética	15
2.2. Tipo de Rocas y Grado de Mineralización del Yacimiento	17
2.3. Descripción del Cuerpo de la Mena	19
2.4. Productos de Mena de Hierro	20

III. METODOLOGIA	21
3.1. Selección y Obtención de las Muestras	21
3.2. Caracterización Tecnológica	30
3.2.1. Análisis Granulométrico y Químico	32
3.2.2. Deslamado	35
3.2.3. Líquido Denso	37
3.2.4. Pruebas Metalúrgicas	38
3.3. Caracterización Mineralógica	39
3.3.1. Microscopía Optica	39
3.3.2. Difracción de Rayos X	40
3.3.3. Microscopía Electrónica de Barrido	42
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
4.1. Muestra con CPX-01 – Alúmina Alta	43
4.2. Muestra con CPX-02 – Manganeso Alto	50
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. POSIBLES APLICACIONES DE LAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA Y MINERALÓGICA DE LA MENA DE HIERRO PARA LA MINA DE LOS LOJAS – ECUADOR	64
APÉNDICES	65
BIBLIOGRAFÍA	119

ABREVIATURAS

Al ₂ O ₃	Alúmina
BIF	Formaciones Ferríferas Bandeadas
cm	Centímetros
ej	Ejemplo
Fe	Hierro
gr	Gramos
ICP	Espectrometría de emisión a plasma
kg	Kilogramos
km ²	Kilómetro Cuadrado
LO	Lump Ore (mineral de tamaño grueso)
l	Litro
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
P	Fósforo
PFF	Pellet Fines Feed (mineral de tamaño fino)
PPC	Pérdida por calcinación
ROM	Mena extraída directamente de la mina
S	Azufre
SF	Sinter Feed (mineral de tamaño medio)
SiO ₂	Sílice

SIMBOLOGÍA

ϕ	=	diámetro
$^{\circ}\text{C}$	=	grados centígrados
#	=	mallas
"	=	pulgadas



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura I – Mapa General de Localización del Cuadrilátero Ferrífero	4
Figura II – Mapa Geológico Resumido del Cuadrilátero Ferrífero	5
Figura III – A) Mapa Geológico, B) Sección Vertical, de Capão Xavier y áreas circundantes	11
Figura IV – Mapa Geológico del Yacimiento Capão Xavier	13
Figura V – Distribución por niveles de los tenores de Al_2O_3 y Mn en el yacimiento	22
Figura VI – Correlación alúmina–manganeso por fracciones granulométricas en todo el yacimiento.....	23
Figura VII – Distribución de Mn y Al_2O_3 a lo largo de la galería 3	24
Figura VIII – Distribución de las pilas muestreadas	27
Figura IX – Flujograma general para el tratamiento de las muestras	29
Figura X – Flujograma para análisis granulométrico y químico	33

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I – Resultados de la prueba piloto realizada con las muestras recolectadas de la galería 3	25
Tabla II – Análisis químico de las pilas muestreadas de la galería 3	28
Tabla III – Características generales de las muestras del ROM CPX	31
Tabla IV.1 – Análisis químico por fracción granulometrica del ROM de la muestra CPX-01	44
Tabla IV.2 – Análisis químico por fracción de los productos del ROM – Muestra CPX-01	45
Tabla IV.3 – Análisis químico de la fracción PFF + Lamas – Muestra CPX-01	46
Tabla IV.4 – Análisis químico de los productos de deslamado – Muestra CPX-01	48
Tabla IV.5 – Líquido Denso – Muestra CPX-01	49
Tabla V.1 – Análisis químico por fracción granulometrica del ROM de la muestra CPX-02	51
Tabla V.2 – Análisis químico por fracción de los productos del ROM – Muestra CPX-02	52
Tabla V.3 – Análisis químico de la fracción PFF + Lamas – Muestra CPX-02	53
Tabla V.4 – Análisis químico de los productos de deslamado – Muestra CPX-02	54
Tabla V.5 – Líquido Denso – Muestra CPX-02	56
Tabla VI.1 – Evaluación del LO de la muestra CPX-02 (12/94)	57
Tabla VI.2 – Evaluación del LO de la muestra CPX-02 (06/99)	58
Tabla VII – Análisis Mineralógico por Microscopía Optica de Luz Reflejada (UFOP) por fracción granulométrica	60
Tabla VIII – Análisis Mineralógico por Difractometría de Rayos X (UFMG). Fracción de Lamas	61

INTRODUCCION

La Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL y la Universidad Federal de Ouro Preto - UFOP, son universidades que forman parte del Convenio ALFA. Entre sus planes de intercambio estudiantil, la UFOP consiguió una pasantía por un tiempo de seis meses en una prestigiosa empresa brasileña, Minerações Brasileiras Reunidas S.A. – MBR, en la que desarrolle mi tesis de graduación bajo la orientación del Dr. Paúl Carrión Mero por la ESPOL, del Dr. Júlio César Méndes por la UFOP y de la Ing. Rita Virginia da Silva por parte de la MBR.

La Empresa Minerações Brasileiras Reunidas S.A. – MBR es la segunda mayor productora de mena de hierro en Brasil y se ubica en cuarto lugar como mayor exportadora de hierro en el mundo. Cuenta con una reserva de 5,6 billones de toneladas de hierro de alto tenor, de los cuales, 1,5 billones constituyen hematita compacta ($Fe \geq 64\%$) y 4,4 billones constituyen itabirito rico ($64\% \geq Fe \geq 45\%$). Toda esta reserva está distribuida en las cinco minas que posee actualmente en explotación, con un porcentaje de producción respectivo de:

Aguas Claras	-	16,6%
Mutuca	-	27,8%
Pico	-	43,8%
Tamanduá	-	8,5%
Capitão do Mato	-	3,3%



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Entre sus proyectos de largo plazo, la MBR tiene previsto para el año 2000, iniciar la explotación de un nuevo yacimiento, Capão Xavier, el que junto con las minas Pico, Tamanduá y Capitão do Mato van a representar las mayores reservas en explotación de la empresa. Las Minas Aguas Claras y Mutuca se encuentran ahora en fase de finalización de labra.

Antes de comenzar la explotación de un yacimiento, es preciso saber cuales son las características de la mena que posee, es por esta razón que surgió la necesidad de realizar con la mena del Yacimiento Capão Xavier, una caracterización tecnológica, para conocer sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas visualizando las metodologías a aplicarse en el proceso de beneficio y también una caracterización mineralógica, para conocer sus características, tanto cualitativas como cuantitativas.

Todos los trabajos desarrollados en este estudio se realizaron en los laboratorios del Centro de Pesquisas - Miguelão de la MBR, excepto algunos de carácter fundamental que fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Federal de Ouro Preto (UFOP) y de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG).

I. GEOLOGÍA⁽¹⁾



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

1.1. Geología Regional

El Cuadrilátero Ferrífero está localizado en la parte central del Estado de Minas Gerais, en la región sudeste de Brasil (Figura I). Ocupa una área de aproximadamente 7000 km². Está representado principalmente por cinco unidades estratigráficas: Basamento Cristalino, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Intrusivos del Post-Minas y Grupo Itacolomí (Figura II).

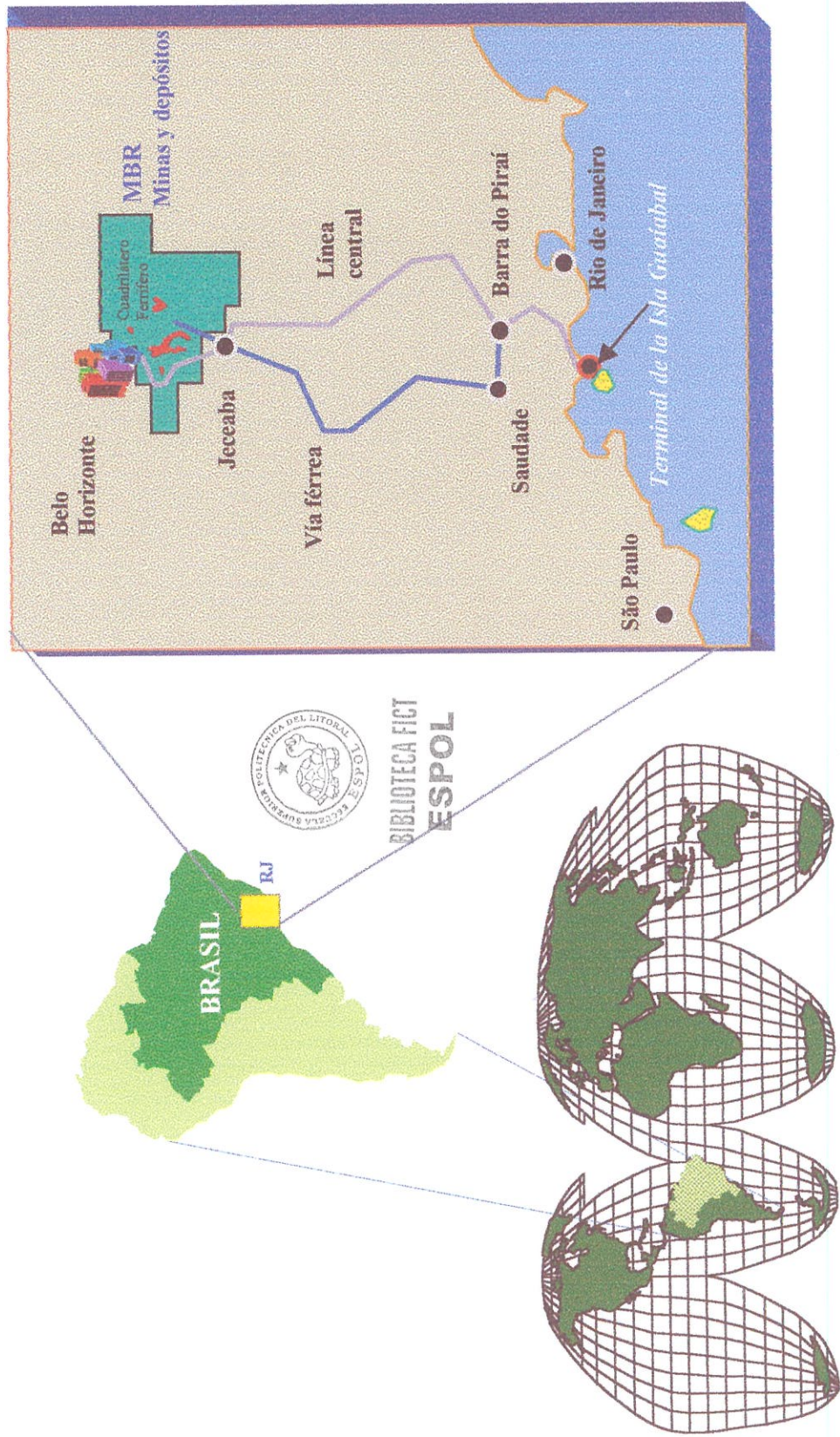
1.1.1. Basamento Cristalino

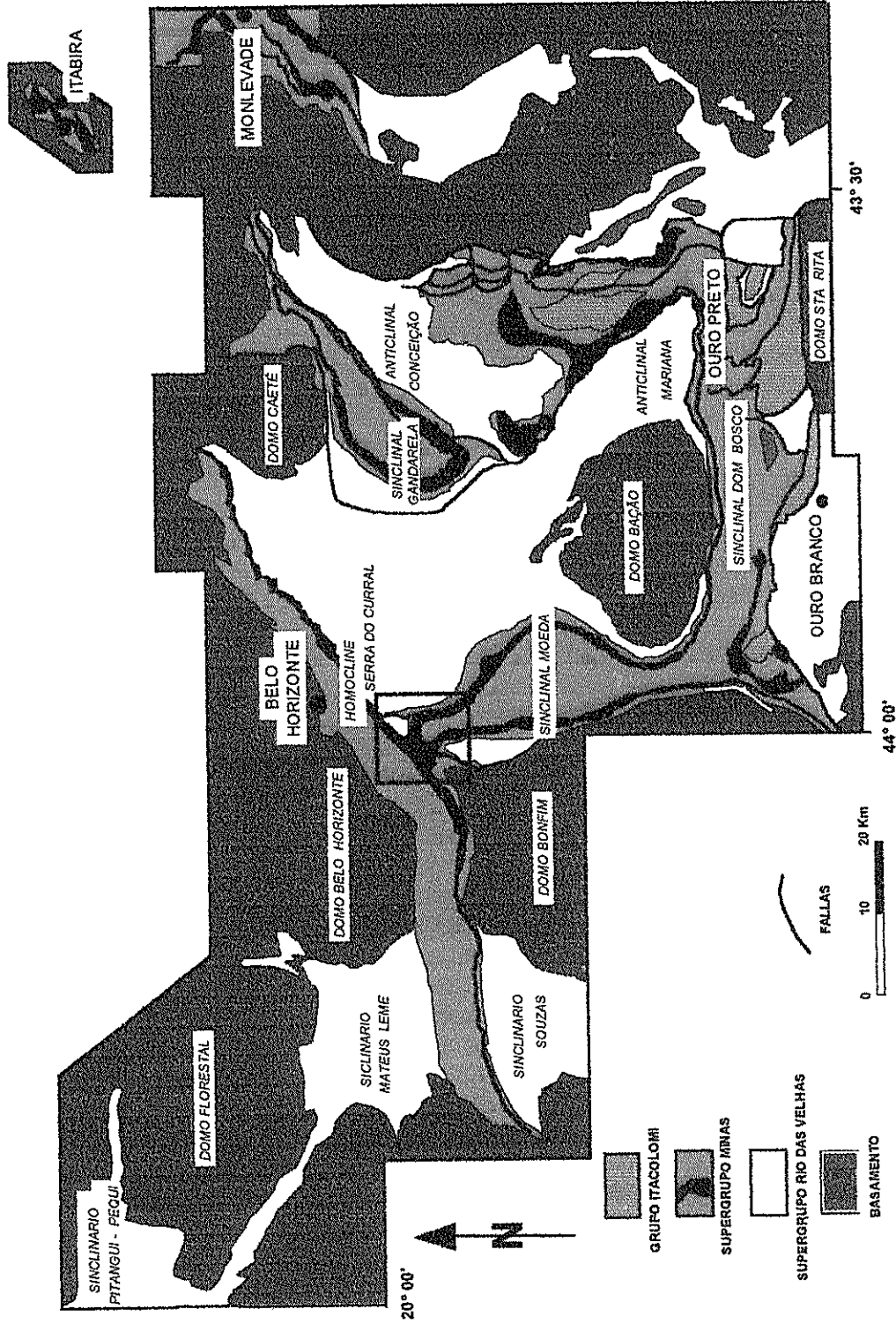
Tiene una antigüedad que va desde 3200 a 2900 millones de años. Comprende el Complejo Basal gneis/migmatita y dos formaciones del Plutonismo Arcaico Tardío. Estas rocas se presentan alrededor del Cuadrilátero Ferrífero y como un cuerpo interno, el Complejo Bação.

1.1.2. Supergrupo Rio das Velhas

Esta unidad tiene de 2780 a 2610 millones de años en antigüedad. Comprende una secuencia vulcano-sedimentaria compuesta

Figura I - Mapa General de Localización del Cuadrilátero Ferrífero





BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Figura II : Mapa Geológico Resumido del Cuadrilátero Ferrifero.

1.1.4. Intrusivos del Post-Minas

Con una antigüedad de 1700 millones de años. Las intrusiones cortantes del Supergrupo Minas incluyen principalmente diques máficos con una dirección N – S a NO – SE.

1.1.5. Grupo Itacolomí

Formada por dos facies, una constituida de cuarcito conglomerático con sericita, lentes de conglomerado e intercalaciones de filito, y la segunda facies compuesta de cuarcitos sericíticos, con estratos y lentes de conglomerado y filito.

El mapa geológico regional del Cuadrilátero Ferrífero define una estructura en forma de domo y de depresión, donde el basamento Arcaico se presenta en domos rodeado por depresiones dentro del Supergrupo Rio das Velhas y Supergrupo Minas. Las depresiones incluyen extensos sinclinales y un extenso homoclinal, la Serra do Curral.

Las rocas del Supergrupo Rio das Velhas han sido fuertemente deformadas previamente a la deposición del Supergrupo Minas y en consecuencia a la situación del domo. Por lo tanto, hay dos grupos de

principalmente por gneiss (basalto y komatita), lavas riolíticas e intercalaciones de unidades sedimentarias incluyendo formaciones bandeadas BIF (Banded Iron Formations). Estas BIF carecen de importancia económica, excepto los horizontes cargados de hierro. Algunos de estos horizontes están asociados con mineralización de oro. El Supergrupo Rio das Velhas representa el clásico cinturón de gneiss del Arcaico.

1.1.3. Supergrupo Minas

Esta unidad consiste de una secuencia metasedimentaria con una antigüedad de 2600 a 2000 millones de años. Forma una importante cordillera que sobrepasa los 500 m de altura. La unidad basal del Supergrupo Minas esta constituida de conglomerado aluvial y arenisca, el Grupo Caraça, sobre el que esta superpuesta una extensa región de BIF que incluye toda la reserva de mena de hierro, llamada formación Cauê, esta formación descansa sobre una secuencia carbonatada, la Formación Gandarela. Esas dos formaciones forman la secuencia química sedimentaria llamada Grupo Itabira.

estructuras marcantes del Post-Minas, las cuales aparentemente no representan una relación geométrica con los domos. Un grupo con inclinación NE-SO, comprende el sinclinal Gandarela y los sinclinales Itabira y Monlevade. El segundo grupo incluye una sucesión de fallas limitantes al oeste, las cuales están más desarrolladas al este del Cuadrilátero Ferrífero.

En segundo plano, plegamentos mesoscópicos están asociados a texturas tectónicas penetrantes (ej.: esquistosa, foliaciones miloníticas, delineamientos alargados) ocurre igualmente en toda la región. El delineamiento alargado y los plegamentos mesoscópicos tienen inclinación preferencial S80° E a 30°.

Dos grados del metamorfismo progrado, separados por una fase de metamorfismo retrogrado han sido reconocidos en las rocas del Proterozoico. El metamorfismo varía desde un esquistoso verde menor hasta facies mayores de anfibolito, y hay un incremento general con dirección E.



1.2. Formación Cauê

La Formación Cauê es una facies oxidada compuesta por formaciones bandeadas (BIF), intercaladas finas y oscuras que pueden variar de pocos milímetros a pocos centímetros de espesor.

Dependiendo de la mineralogía, en el Cuadrilátero Ferrífero se pueden encontrar tres tipos principales de itabirito:

- Itabirito estándar (común), esta compuesto de estratos alternados de cuarzo y hierro oxidado.
- Itabirito dolomítico que presenta estratos alternados de dolomita y hierro oxidado.
- Itabirito anfibólico compuesto de estratos alternados de cuarzo y hierro oxidado contiene también anfíboles como minerales secundarios.

El itabirito estándar es predominante en el Cuadrilátero Ferrífero. Los otros dos tipos ocurren como lentes dentro de la Formación Cauê, los cuales forman cuerpos que varían de menos de 10 millones de toneladas

hasta más de 500 millones de toneladas en reserva. El cuerpo de itabirito dolomítico ocurre comúnmente en la parte oeste del Cuadrilátero Ferrífero y el itabirito anfibólico comúnmente en el este.

De acuerdo con Dorr II (1964), el espesor máximo de la Formación Cauê se estima en 350 m, el autor lo señala así, debido al comportamiento plástico de este tipo de rocas, el espesor ha sido incrementado a más en algunos lugares debido al tectonismo. Desde un punto de vista práctico, la Formación Cauê presenta en ciertos lugares espesores de hasta 1500 m.

Capão Xavier aparece dentro de la Formación Cauê, entre dos importantes sistemas de fallas, una de ellas es la Falla de Mutuca. El yacimiento está localizado en una zona de transición entre una estructura homoclinal hacia el norte y una estructura sinclinal al sur (Figura III).

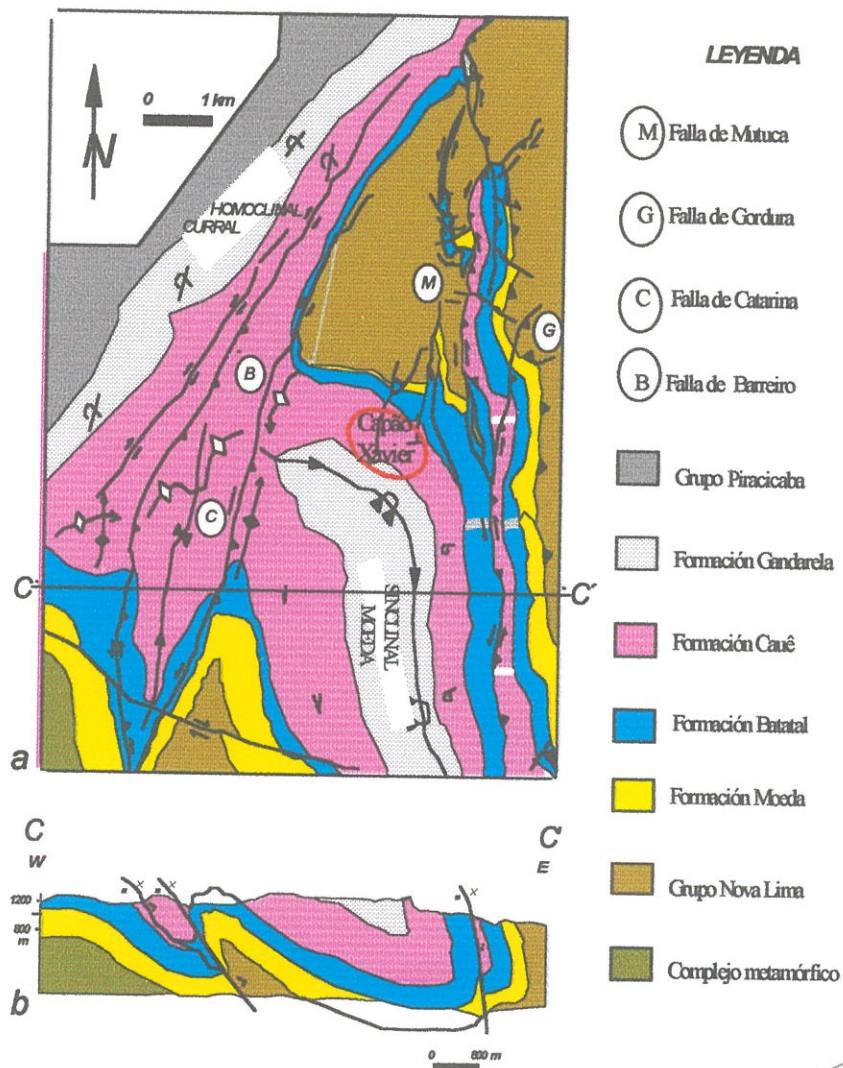


Figura III – A) Mapa Geológico, B) Sección Vertical, de Capão Xavier y áreas circundantes.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



BIBLIOTECA FIGT
ESPOL

1.3. Geología Local

1.3.1. Geología del Yacimiento Capão Xavier

El yacimiento Capão Xavier está localizado en el municipio de Nova Lima, aproximadamente a 15 km al sureste de la ciudad de Belo Horizonte, en el estado de Minas Gerais, Brasil (Figura IV).

Fisiográficamente representa el extremo norte de la Serra da Moeda, cuya altura media es de 1400 m.

Estructuralmente, el yacimiento Capão Xavier esta localizado en la zona de unión del Sinclinal Moeda y la Serra do Curral. El Sinclinal Moeda es la mayor estructura del Cuadrilátero Ferrífero, siendo éste su limite al occidente. Este plano axial esta orientado de N-S buzando hacia el este. Al norte, el Sinclinal Moeda se une con la Serra do Curral formando una estructura compleja, cuya superficie axial tiende hacia el oeste, asumiendo después una dirección E-O.

En toda la región, la topografía presenta elevaciones constituidas por cuerpos remanentes de itabiritos compactos, valles con acumulación de suelo, laterita, piedras redondeadas y bauxita, además de grandes y

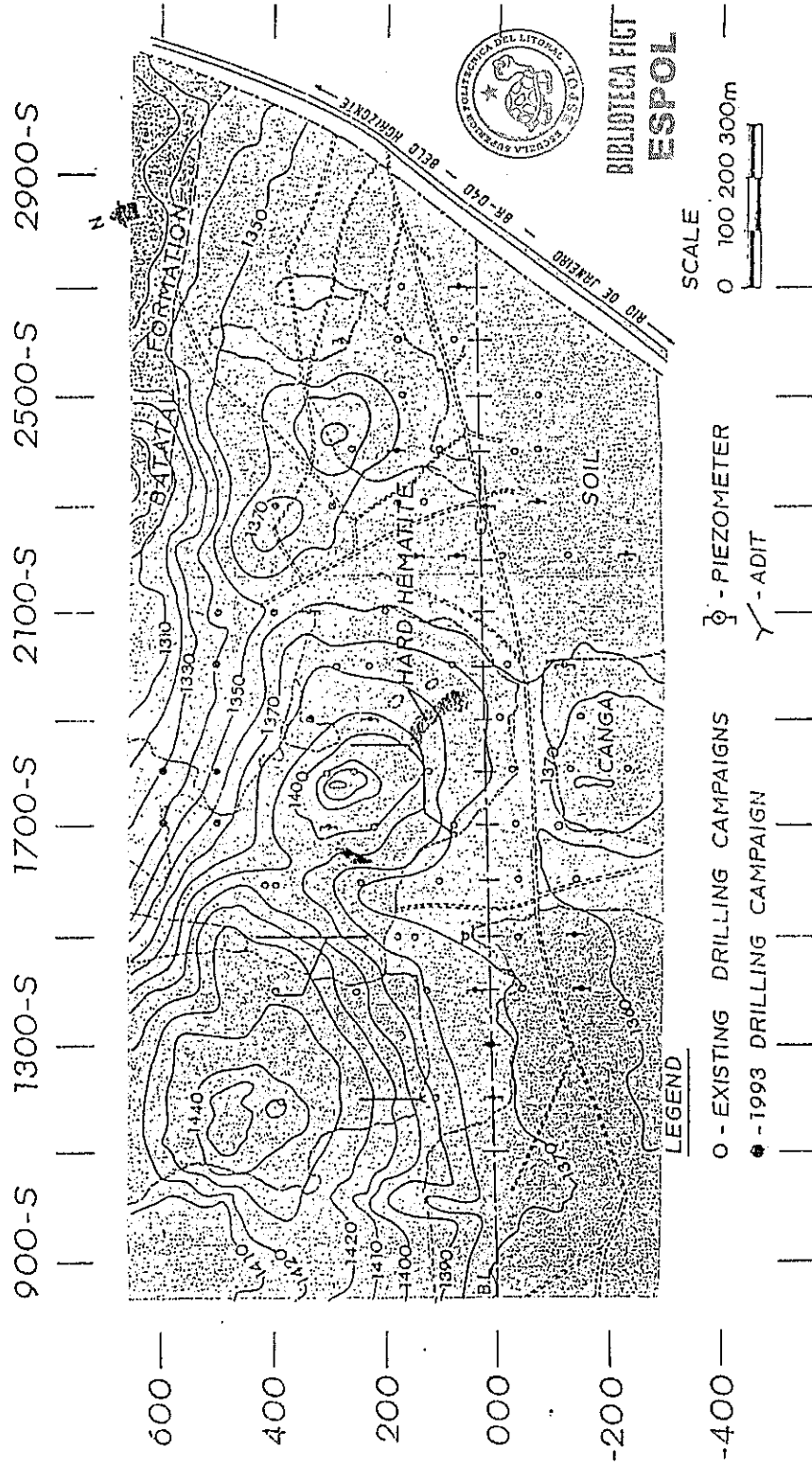


Figura IV – Mapa Geológico del Yacimiento Capão Xavier

moderadas planicies de canga (roca de Fe con alto contenido de impurezas) rodada.

Entre los años 1960 y 1993, fueron realizadas varias campañas de exploración, en donde se perforaron un total de 92 barrenos, con una profundidad media de 150 m. Como resultado de esta exploración, se estima que las reservas de mena de hierro, ya sean de hematita o itabirito enriquecido, comprendidas en su mayor parte entre los niveles 1200 a 1370 m, varían de 5 a más de 10 millones de toneladas en reserva explotable.

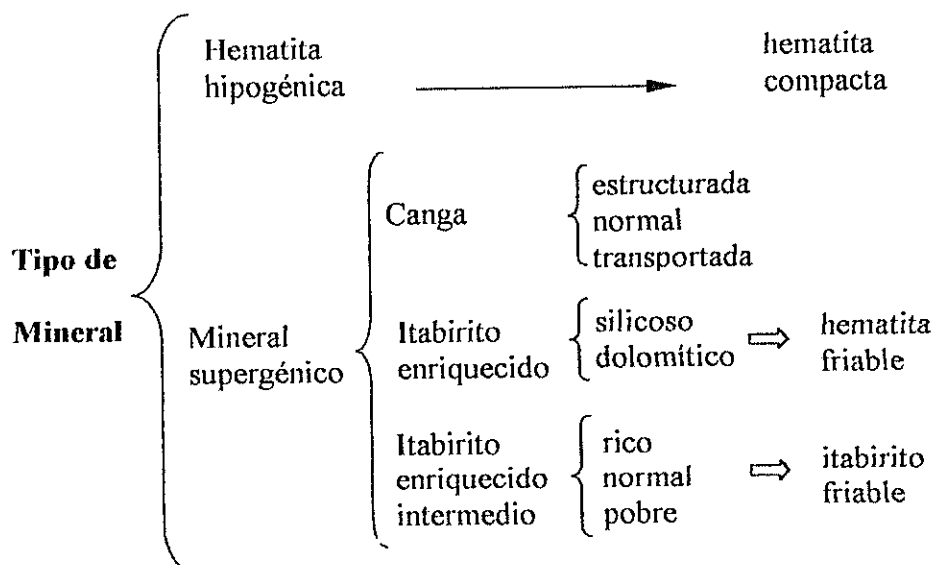
II. MENA DE HIERRO⁽¹⁾



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

2.1. Clasificación Genética

Todos minerales explotados hasta ahora en Brasil, son productos de una alteración natural del itabirito original, una clasificación muy general modificada de acuerdo con Dorr es la siguiente:



En Brasil, en lugar de los nombres “itabirito enriquecido” e “itabirito enriquecido intermedio”, los nombres “hematita friable” ($Fe \geq 64\%$) e “itabirito friable” ($Fe < 64\%$), respectivamente, son más comunes.

Los nombres hematita hipogénica, hematita compacta o mena metasomático, son usados para describir cuerpos de hematita compacta

muy rica ($\text{Fe} > 64\%$) y masiva, que fueron generados por procesos tectónicos y metamórficos. Estos cuerpos están rodeados por otros tipos de itabirito, y pueden variar de 5 a más de 50 millones de toneladas. Luego del beneficio, este tipo de mineral produce una alta proporción, más del 50%, de lump ore (mineral de granulometría gruesa), haciéndolo un material muy valioso.

La mayor parte de la reserva de mena de hierro del Cuadrilátero Ferrífero, fue enriquecida por procesos supergénicos, a la vez formó una corteza de canga la cual descansa sobre materiales friables (no alterados): hematita e itabirito.

La corteza de canga es resistente a la erosión y forma grandes estratos de BIF, superiores a los 500 m de espesor, sobre las regiones menos resistentes del basamento o greenstone. Esto crea las condiciones para que vertical y horizontalmente, las aguas de circulación lixivien la sílice y la dolomita del itabirito, quedando así solo la mena. La lixiviación es más intensa en el material residual. Este proceso puede generar algunos cuerpos de mena de hematita pura. Si el proceso no fuese eficiente, como generalmente ocurre, es generado itabirito friable. Como consecuencia del proceso descrito, hay una general y continua disminución del hierro y un

incremento en el contenido de sílice y en consecuencia del itabirito friable hasta el contacto con el itabirito alterado.

2.2. Tipo de rocas y grado de mineralización del yacimiento

Dependiendo de la intensidad de los procesos de lixiviación bajo condiciones climáticas tropicales asociadas en menor proporción a algunos mecanismos metasomáticos la mineralización, se incrementó una clasificación de los diferentes tipos de rocas ferríferas descritas a continuación. Dentro de esos tipos de rocas, principalmente la hematita es considerada como mena:

Hematita. Con un tenor alto en hierro ($\text{Fe} \geq 64\%$) se formó a partir de itabiritos por procesos supergénicos y metamórficos.

Itabirito. Es una roca de origen sedimentario marino que ha sufrido metamorfismo, bandeada, compuesta por hierro y minerales de sílice químicamente precipitados y cristalizados. Esta es una de las rocas predominantes del Cuadrilátero Ferrífero.

La MBR tiene su propia clasificación del itabirito de acuerdo con el contenido de hierro, como:

Itabirito rico: $45\% \leq \text{Fe} < 64\%$

Itabirito normal: $30\% \leq \text{Fe} < 45\%$

AIF (Formación Ferrífera Arcillosa). Esta representada por facies de arcilla de la Formación Ferrífera presentando un tenor de Fe de 60% y $\text{Al}_2\text{O}_3 > 4\%$. Se presenta intercalada con otros tipos de material de la formación ferrífera donde predominan los carbonatos. En general su espesor varía de fino a muy fino.

CIF (Formación Ferrífera Carbonatada). También llamado itabirito dolomítico, constituye la protomena del enriquecimiento supergénico de los depósitos de hematita del Cuadrilátero Ferrífero.

Canga. Es una roca ($\text{Fe} > 60\%$), compuesta por limonita, goethita y algunas veces por hematita. Se presenta en forma de una corteza o capa endurecida, cubriendo casi por completo la superficie del depósito. Puede contener una gran cantidad de pebbles o bloques de hematita cementada dando un aspecto rugoso (hematita de canga); con restos del material de la estructura original (canga estructurada), o en forma amorfa mezclada con laterita (suelo de canga). La canga en general, contiene un alto tenor de P ($\geq 0.12\%$) y Al_2O_3 ($\geq 4\%$).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

2.3. Descripción del cuerpo de mineral

El yacimiento Capão Xavier esta constituido principalmente por un cuerpo de hematita, que comprende un área de 320000 m², con 400 m de espesor y una profundidad que varia de 100 a 260 m, tiene una orientación general que va de este a oeste, con inclinación subhorizontal en la parte norte e inclinación 70°S en la parte sur.

La hematita presente esta rodeada por itabiritos silíceos, los que están localizados sobre lentes de itabirito dolomítico, siendo este último la mena original de la mena macio supergénico característico del depósito. La hematita descansa sobre lentes de itabirito dolomítico de la Formación Cauê, cerrando el contacto geológico con las dolomitas de la Formación Gandarela.

En la parte norte, en donde los estratos son subhorizontales, el enriquecimiento supergénico tiene en media 150 m en espesor, sobrepasando los 260 m en el sur, como una consecuencia del elevado ángulo de inclinación ahí presente, contribuyendo en la percolación y lixiviación de los fluidos. Debido a su origen supergénico, el porcentaje “in situ” de lump ore estimado para el depósito es bajo.

Una capa de arcillas asociada con una limitada sinclinal terciaria cubre parte de las rocas del Proterozoico principalmente sobre la Formación Gandarela. Procesos supergénicos generaron la deposición de bauxita en la parte superior del horizonte de arcilla (este depósito ya fue explotado) y generaron también un depósito de hematita de alto tenor debido a la lixiviación del itabirito dolomítico. Finalmente, una corteza de canga y/o suelo cubrió casi por completo el área.

2.4. Productos de mineral de hierro

Las especificaciones químicas y físicas de las materias primas (granulados y aglomerados) para la siderurgia son rigurosas, siendo exigidos productos con elevado tenor de hierro ($\%Fe > 64\%$) y bajo tenor de impurezas principalmente de P, SiO_2 , Al_2O_3 , S y álcalis (K_2O y Na_2O).

La MBR mantiene sus propias normas de calidad en cuanto a los productos que ofrece al mercado. Se muestran a continuación los porcentajes máximos aceptables de los elementos y compuestos contenidos en los productos y que son considerados como contaminantes:

P: $\leq 0,05\%$

Al_2O_3 : $\leq 1,00\%$

SiO_2 : $\leq 1,40\%$

Mn: $\leq 0,20\%$

III. METODOLOGÍA

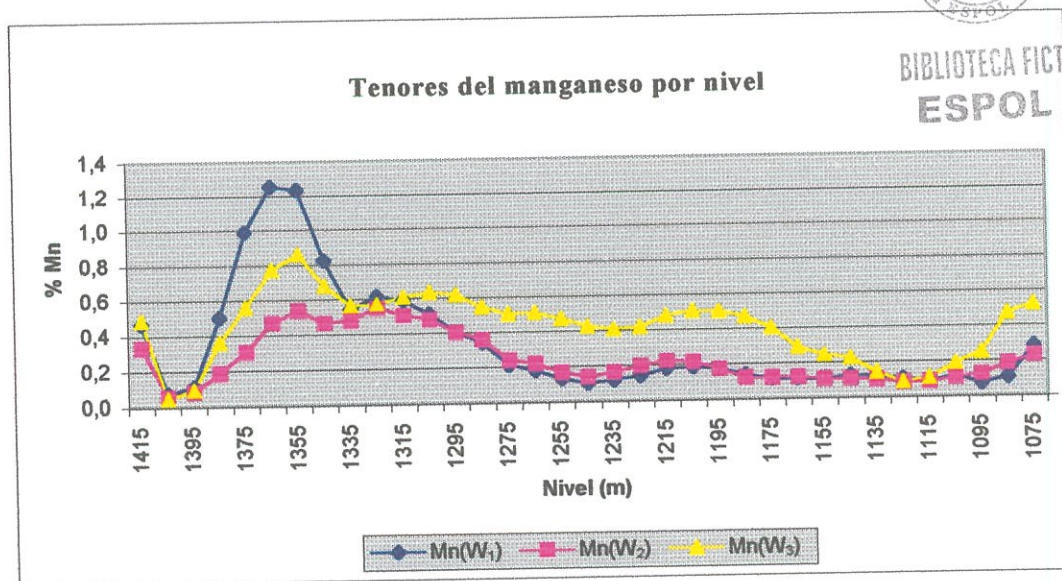
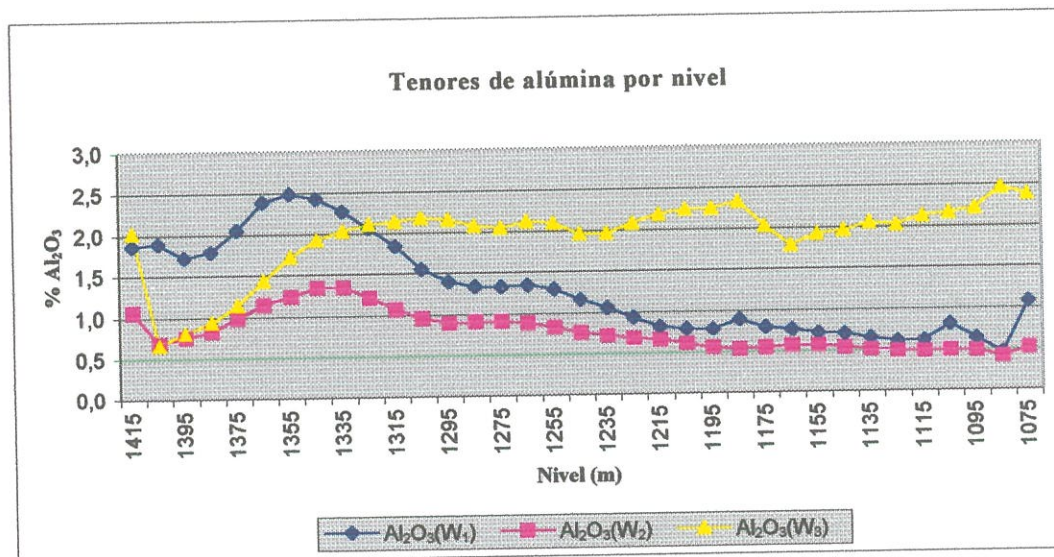
3.1. Selección y Obtención de las Muestras

La Figura V muestra la distribución por niveles de los tenores de Al_2O_3 y Mn en todo el Yacimiento Capão Xavier. Obsérvese que los niveles superiores (1335 a 1380) presentan los tenores más altos de alúmina y manganeso. En la Figura VI se pretende obtener una correlación por fracciones granulométricas entre estos tenores, pero como se puede observar, no existe ninguna relación entre los tenores de Al_2O_3 y Mn en el yacimiento.

La Figura VII, presenta la distribución de Al_2O_3 y Mn a lo largo de la galería 3. En la parte inicial de la galería, luego de un área de canga se ubica el área con alto tenor de Mn, y en la parte final de la galería, se muestra un área con alto tenor de Al_2O_3 en la fracción LO. Estas son las áreas de donde fueron tomadas las muestras para este trabajo.

La Tabla I, presenta los resultados por fracciones de productos, obtenidos de una prueba piloto que fue realizada (año 1994) con una mezcla de todas las muestras tomadas de la galería, se pueden observar los altos tenores de Al_2O_3 y Mn.

Figura V - Distribución por niveles de los tenores de Al_2O_3 y Mn en el yacimiento



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

$$W_1 = -50 \text{ mm} + 6,3 \text{ mm}; W_2 = -6,3 \text{ mm} + 0,15 \text{ mm}; W_3 = -0,15 \text{ mm}$$

Figura VI - Correlación Alúmina-Manganeso por fracciones granulométricas en todo el yacimiento

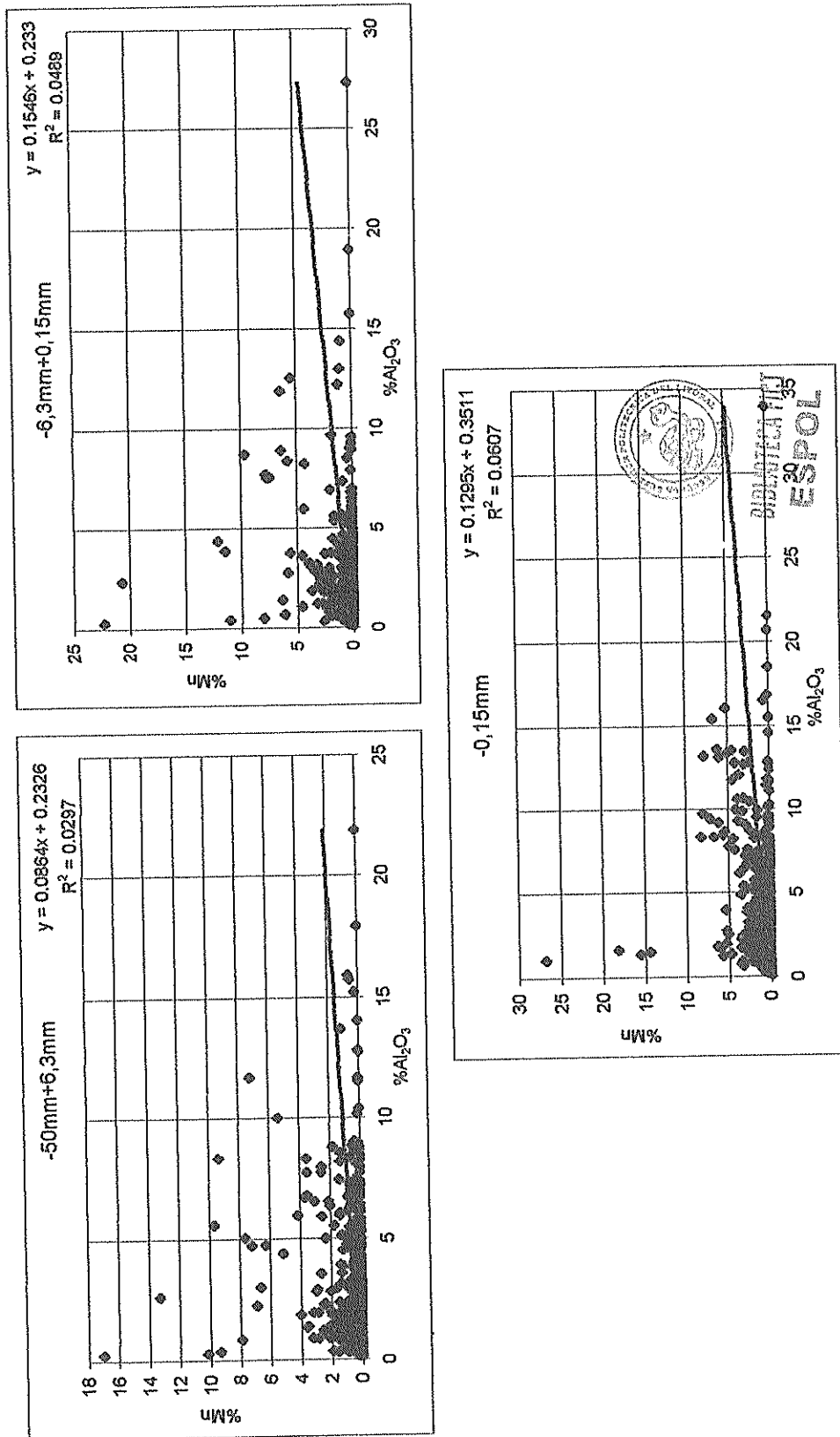


Figura VII - Distribución de Mn y Al₂O₃ a lo largo de la galería 3

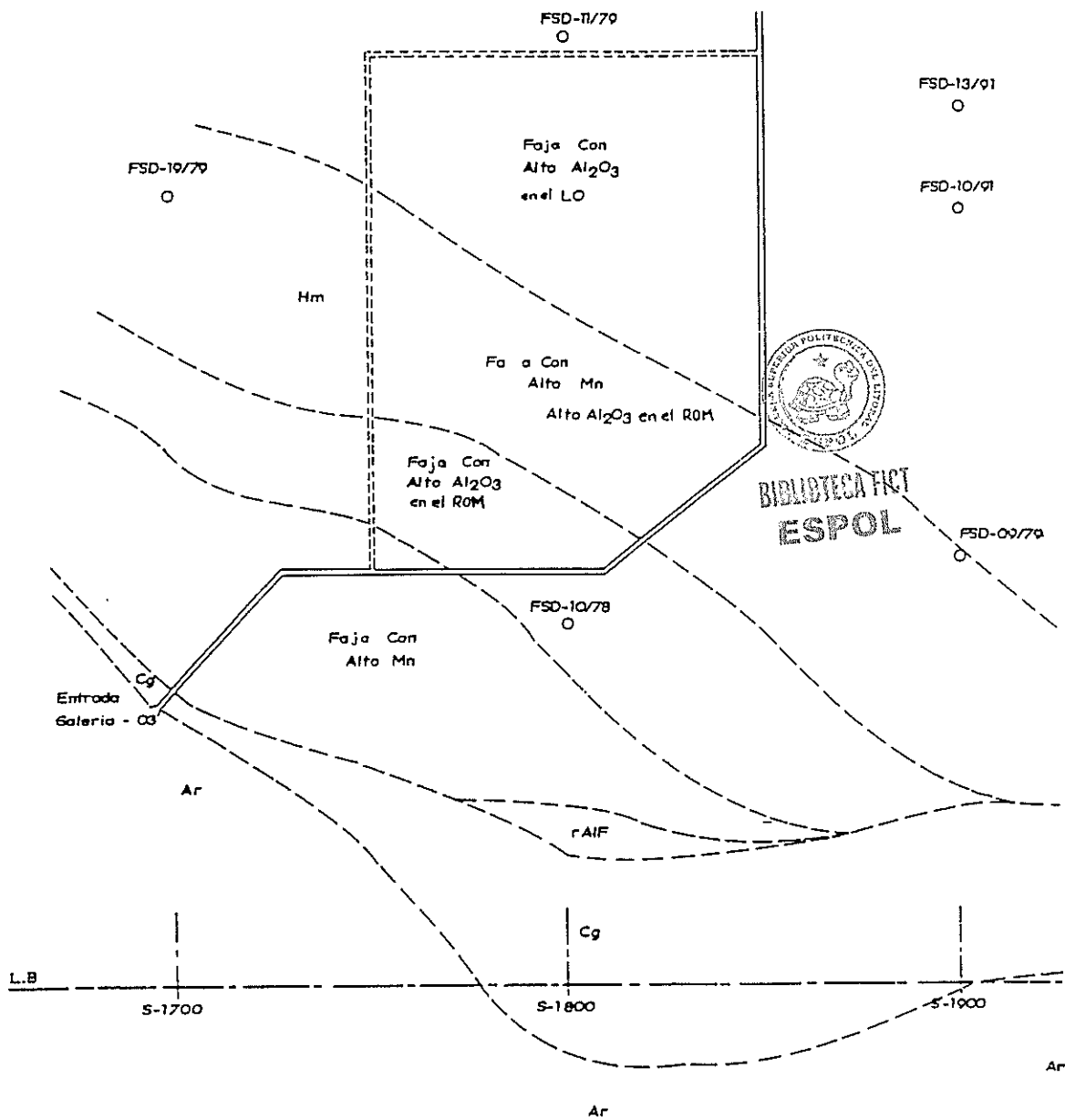


Tabla I - Resultados de la prueba piloto realizada con las muestras recolectadas de la galería 3 (Junio/94)

Cribas mm	%Retenido Simple	Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos %						Distrib. Acum. de los Elementos %						Tenores Acumulados %						
		Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	
Cabeza Analizada		1.32	66.0	2.146	0.024	0.82	0.32																			
Cabeza Calculada	100.0	1.27	65.2	2.665	0.025	1.04	0.37																			
-37,5 +6,35 (LO + Hem)	29.3	1.41	64.6	3.562	0.022	0.85	0.21	32.5	29.0	39.2	26.1	23.9	16.6	32.5	29.0	39.2	26.1	23.9	16.6	29.30	1.41	64.6	3.562	0.022	0.85	0.21
-6,35 +0,15 (SF)	39.5	0.96	66.4	1.978	0.019	0.64	0.37	29.8	40.2	29.3	30.4	24.3	39.4	62.3	69.3	68.5	56.5	48.2	56.0	68.80	1.15	65.6	2.663	0.020	0.73	0.30
-0,15 Deslamado (PFF)	25.1	1.10	66.2	1.598	0.028	1.11	0.55	21.7	25.5	15.0	28.5	26.8	37.2	83.9	94.8	83.5	84.9	75.0	93.3	93.90	1.14	65.8	2.371	0.022	0.83	0.37
-0,15 Lama	6.1	3.35	55.7	7.201	0.061	4.27	0.41	16.1	5.2	16.5	15.1	25.0	6.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	1.27	65.2	2.665	0.025	1.04	0.37
								100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0						



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

De entre las pilas de material extraído de la galería, 15 de ellas fueron muestreadas para este trabajo, la distribución de éstas pilas se puede ver en la Figura VIII.

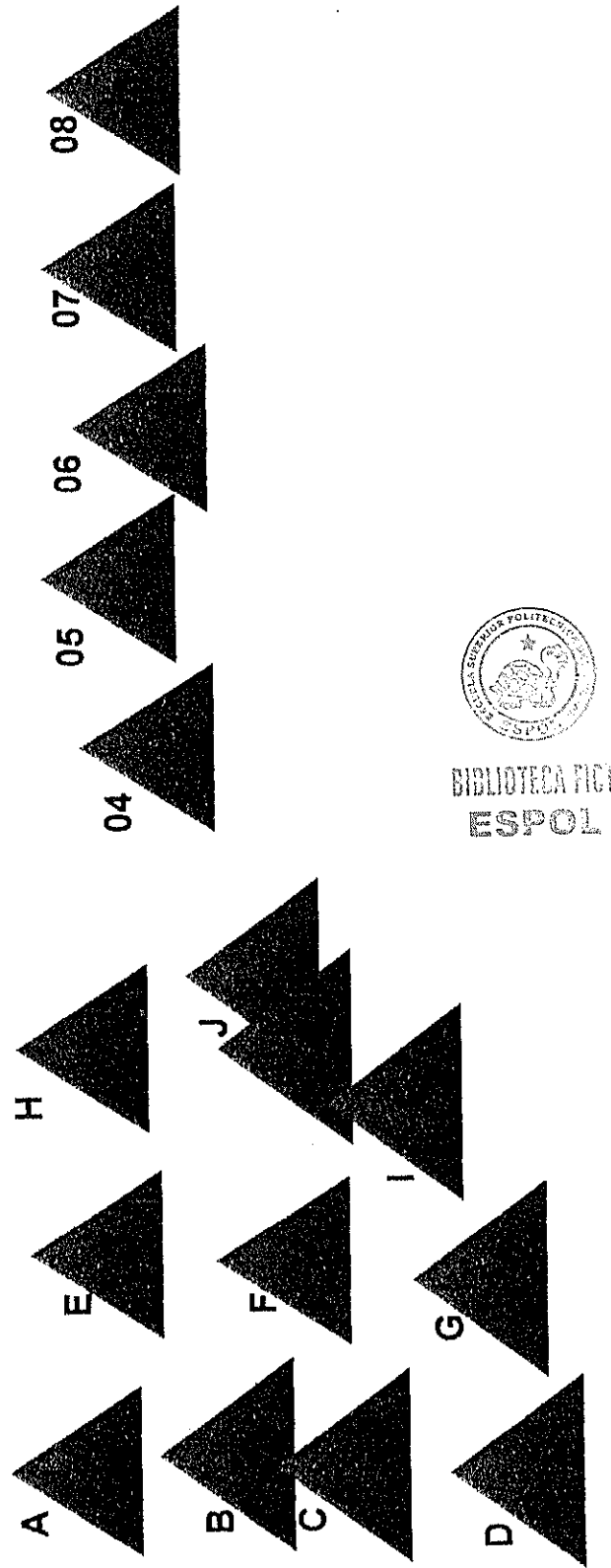
Se recolectaron aproximadamente 100 kg por cada muestra, las mismas que fueron tratadas hasta obtener una alícuota representativa de 20 gr con un tamaño - 0,150 mm, con las alícuotas se realizó un análisis químico (cabeza), véase los resultados en la Tabla II.

Se puede ver en la Tabla II, que la muestra H contiene un alto tenor de alúmina (3,41%) y que la muestra 06 contiene un alto tenor de manganeso (12,97%). Considerando estas dos muestras como casos críticos e interesantes para estudiar, desde el punto de vista de la caracterización, se optó por seleccionarlas para realizar el presente trabajo.

En adelante, se denominará como muestra CPX-01 a la que contiene alto porcentaje de alúmina (Al_2O_3) y como muestra CPX-02 a la que contiene alto porcentaje de manganeso (Mn).

La Figura IX representa el flujograma general aplicado en el tratamiento de las muestras CPX-01 y CPX-02.

Figura VIII - Distribución de las pilas muestreadas



BIBLIOTECA FIC I
ESPOI

Tabla II – Análisis químico de las pilas muestreadas de la galería 3

MUESTRA	%Al ₂ O ₃	%Fe	%Mn	%P	%PPC	%SiO ₂
A	1.39	67.4	0.038	0.012	0.68	1.53
B	1.58	67.4	0.025	0.012	0.79	1.29
C	1.22	66.6	0.040	0.014	0.57	2.97
D	1.24	67.4	0.083	0.012	0.59	1.92
E	1.50	66.1	0.054	0.015	0.68	3.07
F	1.60	66.5	0.025	0.011	0.78	2.08
G	1.39	67.0	0.037	0.011	0.65	2.14
H	3.41	65.3	0.018	0.012	1.66	1.64
I	2.91	65.2	0.033	0.012	1.38	2.91
J	1.50	67.5	0.166	0.014	0.76	1.03
K	1.50	65.4	2.326	0.028	1.35	0.33
L	0.54	65.1	3.827	0.020	0.63	0.26
M	0.59	66.3	2.870	0.025	0.33	0.26
N	1.74	64.4	2.639	0.017	1.66	0.54
O	1.28	67.9	0.443	0.019	0.52	0.30

BIBLIOTECA 104
 RESPON

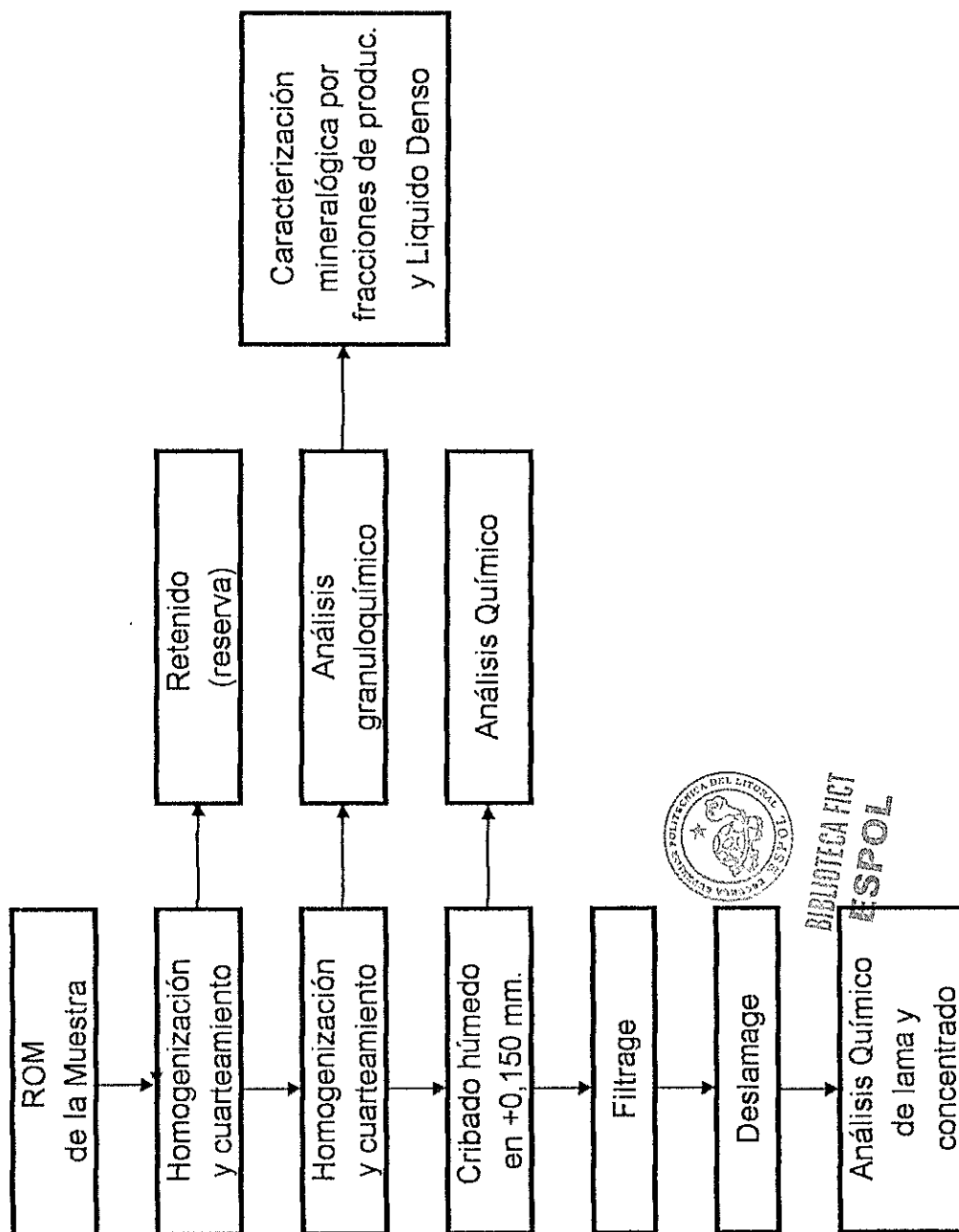


Figura IX - Flujoograma general para el tratamiento de las muestras

3.2. Caracterización Tecnológica

La caracterización tecnológica de minerales estudia las propiedades físicas, químicas y mineralógicas frente a su empleo final o a su comportamiento en el proceso de beneficio. En este último caso, los estudios deben contemplar, además de los minerales valiosos, los minerales de ganga. Esta caracterización proporciona resultados de mucha importancia, entre estos se pueden citar: datos para el desarrollo de Flujogramas de beneficio, desempeño del mineral evaluado en el proceso de tratamiento, determinación de la calidad de los productos para su utilización, conocimiento de los diferentes tipos de mineral, y definición de las aplicaciones industriales más indicadas para los productos obtenidos. Adicionalmente, la caracterización permite anticipar posibilidades de efectuar una planificación de la explotación más selectiva con relación a determinadas litologías.

Las metodologías empleadas para la caracterización tecnológica fueron: análisis granulométrico, análisis químico, deslamado, líquido denso y pruebas metalúrgicas.

Inicialmente se determinaron algunas características generales de las muestras (Tabla III).
