

**REPÚBLICA DE COLOMBIA**  
**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA**  
**MINERO-AMBIENTAL Y NUCLEAR**  
**INGEOMINAS**

**ANÁLISIS FINANCIERO PARA MINERALIZACIONES DE ILMENITA (TITANIO)**  
**EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA**

**Por**  
**LEOPOLDO GONZÁLEZ OVIEDO**

**Marzo de 2000**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	7
PROBLEMA .....	8
OBJETIVOS .....	9
ANTECEDENTES .....	9
JUSTIFICACIÓN .....	10
ACTIVIDADES DESARROLLADAS .....	10
ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES DE LOS RECURSOS .....	11
METODOLOGÍA .....	11
MÉTODO DE ESTUDIO .....	12
HIPÓTESIS .....	12
1 CONCEPTUALIZACIÓN .....	15
2 ESTUDIO DE MERCADO .....	16
2.1 Mercado mundial .....	16
2.2 Mercado nacional .....	26
2.3 Planes del gobierno .....	26
CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO .....	27
3 ESTUDIO TÉCNICO Y DE INGENIERÍA .....	27
3.1 Estudio técnico .....	27
3.1.1 Aspectos geológicos del proyecto .....	28

3.1.2	Generalidades .....	28
3.1.3	Geología regional.....	28
3.1.4	Geología local .....	29
3.1.5	Unidades litológicas .....	30
	a) Rocas metamórficas .....	30
	b) Rocas ígneas .....	33
3.1.6	Geología estructural.....	36
3.1.7	Evaluación económica del depósito.....	38
	a) Zona A .....	38
	b) Zona B.....	47
	c) Zona C .....	49
3.1.8	Conclusiones estudio técnico .....	49
3.2	ESTUDIO DE INGENIERÍA .....	50
3.2.1	Proceso de explotación .....	51
3.2.2	Potencial minero .....	52
3.2.3	Duración del proyecto .....	52
3.2.4	Maquinaria y equipos .....	52
3.2.5	Infraestructura .....	52
3.2.6	Mano de obra .....	53
3.2.7	Accesorios y herramientas .....	53
3.2.8	Elementos de dotación .....	53
4	EVALUACIÓN FINANCIERA .....	53
4.1	Inversiones .....	53
	4.1.1 Capital de operaciones .....	53
	4.1.2 Cronograma de inversiones .....	54
4.2	Análisis financiero.....	54
	4.2.1 Estado de flujo de caja .....	54
	4.2.2 Ventas .....	54
	4.2.3 Costos .....	55
4.3	Evaluación financiera .....	57
	4.3.1 Tasa Interna de Retorno .....	57
	4.3.2 Valor Presente Neto .....	57
	4.3.3 Relación Beneficio/Costo .....	57
	4.3.4 Análisis de sensibilidad .....	57

**Pág.**

5. ESTUDIOS DE IMPACTOS.....	65
5.1 Aspectos generales .....	65
5.1.1 Climáticos .....	65
5.1.2 Geomorfológicos .....	65
5.1.3 Geológicos .....	66
5.2 Actividad minera infraestructura y servicios .....	66
5.3 Medio ambiente físico .....	67
5.3.1 Recurso agua .....	67
5.3.2 Recurso suelo .....	65
5.4 Impacto sobre el medio ambiente físico .....	67
5.5 Medio ambiente biótico .....	
5.5.1 Flora .....	67
5.5.2 Fauna .....	65
5.6 Impacto sobre el medio ambiente biótico .....	
5.7 Medio ambiente socio económico .....	
5.7.1 Estructura económica .....	67
5.7.2 Actitud de la población hacia las explotaciones .....	65
5.7.3 Empleo .....	67
5.7.4 Salud .....	65
5.7.5 Educación .....	67
5.8 Aspectos culturales y paisajísticos .....	71
5.9 Usos de la tierra y formas de tenencia .....	71
5.10 Impactos sobre el medio ambiente socio económico .....	71
5.11 Uso del suelo .....	72
5.12 Impacto financiero .....	72
5.13 Ventajas y desventajas de un desarrollo minero .....	72
6. CONCLUSIONES .....	74
7. RECOMENDACIONES .....	75
GLOSARIO .....	76
BIBLIOGRAFÍA .....	80

## TABLAS

1. Mayores productores de ilmenita para 1993 .....	17
2. Producción de ilmenita .....	17
3. Producción de escoria de titanio .....	19
4. Producción mundial de concentrados de titanio .....	20
5. Producción de esponja de titanio .....	21
6. Producción de dióxido de titanio .....	22
7. Variación del precio de la esponja de titanio .....	25

## GRÁFICAS

1. Principales países productores de titanio .....	15
2. Producción de ilmenita .....	18
3. Producción de escoria de titanio.....	19
4. Producción mundial de concentrados de titanio .....	20
5. Producción mundial de esponja de titanio .....	22
6. Producción de dióxido de titanio .....	23
7. Variación del precio de la ilmenita .....	24
8. Variación del precio del rutilo .....	24
9. Variación del precio del ferrotitanium .....	25
10. Precio de la libra de esponja de titanio .....	26

## INTRODUCCIÓN

El titanio es uno de los elementos más abundantes en los minerales de la corteza terrestre, su contenido en las rocas se estima en un 0,62%; es el sexto metal y el noveno elemento en orden de abundancia. Es muy resistente a la corrosión y con alta resistencia mecánica.

Sus principales usos están en la industria de la aviación, en aviones de retropropulsión, en cápsulas espaciales, cohetes, aleaciones y pinturas especiales; hoy en día se ha convertido en un metal crítico y estratégico, principalmente en los países industrializados.

La ilmenita, que es el mineral prospectado en la Sierra Nevada de Santa Marta, es un óxido de hierro y titanio con fórmula  $\text{FeTiO}_3$ , se encuentra como mineral accesorio en rocas ígneas básicas, en venas y sedimentos detríticos; es el principal mineral de titanio. Contiene un 31,6% de Ti y un 36,8% de Fe y el resto es oxígeno.

En la Sierra Nevada de Santa Marta (Sector de Don Diego), el titanio se halla en forma de óxido (ilmenita) y se encuentra asociado a magnetita (óxido de hierro, con propiedades magnéticas) y apatito (fosfato de calcio, flúor y cloro).

El proyecto que a continuación se detalla, pretende realizar la evaluación financiera

del estudio de exploración de ilmenita, magnetita y apatito, realizado en 1990 en la Sierra Nevada de Santa Marta, en donde se encontraron prospectos interesantes de estos minerales y que ameritan por una parte la continuación de la exploración por parte del INGEOMINAS y por la otra, realizar la evaluación financiera de lo explorado hasta hoy y ver cómo es su comportamiento en cuanto a las principales variables utilizadas en ella.

Para desarrollar el tema, se consideraron factores geológicos, mineros, físicos, sociales, geográficos y estadísticos, así como el talento humano requerido para llevar a cabo una posible explotación

INGEOMINAS tradicionalmente en sus estudios de investigación sólo evalúa la parte técnica, dejando a un lado el análisis y la evaluación financiera; por consiguiente es de suma importancia, tomar uno de los estudios realizados por el instituto y complementarlo con el análisis y la evaluación financiera, que sirva primero para conocer otras variables determinantes en la toma de decisiones como es su factibilidad desde el punto de vista de viabilidad económica y en segundo lugar, para que sirva de modelo para otros estudios a realizar en el futuro.

## PROBLEMA

El análisis y la evaluación financiera en estudios técnicos, como los que realiza el INGEOMINAS, se constituyen en pieza fundamental en la toma de decisiones de inversión para las empresas particulares y estatales, y aportan una variable decisiva que hasta ahora no se tiene en cuenta, ya que los estudios hasta el presente muestran únicamente los resultados técnicos (geológicos, geofísicos, geotécnicos, químicos, estructurales).

Con el proyecto elegido se podrá analizar la viabilidad financiera de las mineralizaciones de titanio en la Sierra Nevada de Santa Marta, cuyos parámetros geológicos, estructurales, químicos, calidades y cantidades, en gran parte ya son conocidos en el sector de Don Diego.

El titanio, por sus características físicas de alta resistencia a la corrosión y alta resistencia mecánica, se ha constituido en un metal no sólo estratégico, sino crítico para los países industrializados, por tal motivo ha sido motivo de búsqueda a nivel mundial; actualmente los principales yacimientos se encuentran en Noruega, Finlandia, antigua URSS, USA, India y Brasil.

En Colombia se ha reportado ilmenita proveniente principalmente de arenas negras en sectores del Guainía, Vaupés, Costa Pacífica y Costa Atlántica. El primer estudio que menciona ilmenita "in situ" (di-

rectamente en la roca) es el realizado en 1990 en la Sierra Nevada por los geólogos Alfonso y González, donde la ilmenita está asociada con magnetita y apatito dentro de rocas ígneas básicas (ANORTOSITAS), ya sea como diques o como parches.

**LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA:** El estudio técnico fue elaborado en la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, sector limitado al norte por el río Don Diego, al oriente por la quebrada La Maroma, al occidente por el río Don Dieguito y al sur por la Cuchilla del Perdido. El área pertenece al Departamento del Magdalena, en el caribe colombiano (Figura 1).

**ASPECTOS GEOLÓGICOS.** Las mineralizaciones primarias se encuentran asociadas a rocas metamórficas precámbricas, ANORTOSITAS, y se ha definido como la fuente principal de las ilmenitas.

Las mineralizaciones están relacionadas con procesos de segregación magmática, que han dado lugar a zonas bandeadas y diseminadas, aparentemente con poca continuidad; la mineralización se presenta en varias formas, diseminada, en diques y en bolsones o bandas de ilmenita, magnetita y apatito, también emplazados en anortositas.

Las dos fases de mineralizaciones (en noritas y anortositas) indican expulsiones en tiempos diferentes durante la fase de segregación magmática, a partir de un magma único.

## RECURSOS MINERALES

Se realizó un cálculo para los recursos minerales; dados en términos de inferidos según la clasificación de las Naciones Unidas, 1996 (Capítulo de estudio técnico y de ingeniería) se calculó un volumen de 1'164.000 metros cúbicos.

Existen en el área varias concentraciones de mineral que no fueron cuantificadas en el estudio realizado; sin embargo, dichos recursos deben ser cuantificados y se debe iniciar una segunda etapa donde se incluyan perforaciones, con el objeto de tener cifras más reales y con seguridad se aumentarán sus recursos mineros, hasta llegar a cuantificarlos en términos de recursos medidos y reservas probadas.

## OBJETIVOS

### GENERAL.

Evaluar, financieramente, el estudio de las mineralizaciones de ilmenita presentes en el Sector de Don Diego, ubicado en la Sierra Nevada de Santa Marta.

### ESPECÍFICOS.

a) Realizar estudios de mercado, técnico, de ingeniería y de impacto ambiental.

- b) Determinar las necesidades de infraestructura física y de talento humano e involucrarlas en el estudio para facilitar la toma de decisiones de inversión.
- c) Divulgar los resultados obtenidos por medio del INGEOMINAS a las empresas particulares u oficiales interesadas en el tema, ya sean nacionales o internacionales.

## ANTECEDENTES

El Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear, INGEOMINAS, es la entidad oficial encargada, entre otras funciones, de la exploración de los recursos minerales en el país; por tal motivo, a raíz de un estudio realizado en 1970 en la Sierra Nevada de Santa Marta por Tschantz y otros, encontraron unos rodados (material suelto) de ilmenita, magnetita y apatito en el sector de Don Diego, lado norte de la Sierra Nevada de Santa Marta; más adelante, en 1990 el INGEOMINAS decidió iniciar estudios exploratorios en esta área, y tomar como referencia el citado estudio de 1970. De esta forma los geólogos Rafael Alfonso Roa y Leopoldo González Oviedo (autor del presente documento) encontraron "IN SITU" las mineralizaciones de ilmenita, magnetita y apatito, cuyo informe se denominó GEOLOGÍA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROSPECTOS DE

ILMENITA, MAGNETITA Y APATITO EN EL SECTOR DE DON DIEGO, SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA; el estudio incluyó la geología regional y de detalle, mineralizaciones, estructuras y cuantificación de recursos, entre otros parámetros que en el capítulo técnico se mencionan.

Hoy en día y gracias a los conocimientos adquiridos en el postgrado de Gerencia y Administración Financiera y con base en los resultados del informe, muy interesante desde el punto de vista de las mineralizaciones, se ha resuelto realizar la evaluación financiera a dicho proyecto para que se tengan otras herramientas en la toma de decisiones y que sirva como modelo a otros estudios similares por parte del INGEOMINAS.

## JUSTIFICACIÓN

La realización del análisis financiero revisa dos aspectos importantes: el primero es el análisis financiero que se hace a uno de los muchos proyectos que realiza el INGEOMINAS, ya que por costumbre únicamente se hace el estudio técnico y el segundo aspecto es el haber seleccionado a un metal, como el titanio, denominado como estratégico a nivel mundial.

Como el titanio es un mineral estratégico para cualquier país, el solo hecho de contar con mineralizaciones in situ en Colombia, se constituye en elemento interesante

para continuar con las exploraciones en el denominado Arco de Sevilla en la Sierra Nevada de Santa Marta. La evaluación financiera que se pretende hacer en el presente estudio permitirá tener parámetros financieros para futuras tomas de decisiones relacionadas con el tema.

El estudio contribuirá a facilitar la realización de planes de exploración y de explotación de estos recursos, así como de guía para la exploración de ilmenitas en Colombia.

## ACTIVIDADES DESARROLLADAS.

- a) Planteamiento de la necesidad. Surge a raíz de tener otros parámetros, además del puramente técnico, en la toma de decisiones, como el de realizar evaluaciones financieras a proyectos realizados por el INGEOMINAS, ya que existen muy pocas y no se tiene por norma su realización, pues se quedan sólo en la etapa técnica.
- b) Selección del proyecto. Se seleccionó el estudio sobre titanio por dos razones; la primera, por ser el titanio un mineral estratégico a nivel mundial y, la segunda, uno de los autores del presente análisis es coautor del informe geológico realizado en la Sierra Nevada de Santa Marta.
- c) Recopilación y análisis de datos estadísticos relacionados con el tema.

- d) Selección de variables. Geológicas, como la geología regional y local, las estructuras, las mineralizaciones, las cantidades y calidades, entre otras, y financieras a tener en cuenta en la evaluación como son Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Presente Neto (VPN), relación Beneficio - Costo (B/C), flujo de fondos, cálculo de inversiones, financiamientos, presupuesto y estados financieros entre otros.
- e) Análisis y evaluación financiera. Con las variables seleccionadas se hace el análisis y su respectiva evaluación, así como un cronograma de inversiones, capital de inversiones, acceso al financiamiento y costos, entre otros.

### ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES DE LOS RECURSOS

Para desarrollar el presente análisis se cuenta, en primera instancia, con el estudio geológico realizado en 1990 en el Sector de Don Diego, Sierra Nevada de Santa Marta, por los geólogos Rafael Alfonso y Leopoldo González; en segundo lugar, con la información geológica plasmada en el estudio realizado por Tschantz y otros en la Sierra Nevada de Santa Marta en 1970.

Para el análisis financiero se tomaron como guías varios textos relacionados con el tema, así como los conocimientos adquiridos en el postgrado de finanzas. Dentro

de las variables a determinar se tienen la TIR, VPN y B/C, entre otros; y se tiene en cuenta la información contable disponible como son flujo de fondos, estado de resultados, fuentes de financiamiento, costos, ventas proyectadas, mano de obra, insumos, etc.

### METODOLOGÍA

El proyecto parte de estudios anteriores y pretende inculcar en la cultura no sólo del INGEOMINAS, sino de otras entidades oficiales, la importancia del análisis financiero y no quedarse en la etapa técnica, y mostrar únicamente dichos resultados.

Dentro de los estudios que han tratado el tema se tiene el realizado por el INGEOMINAS en el sector de Don Diego en la Sierra Nevada de Santa Marta en 1990 y el realizado por Tschantz en 1970.

Todo el trabajo es de oficina, con datos tanto de informes como de revistas y de libros especializados en el tema de evaluación de proyectos.

Al estudio geológico seleccionado se le extractaron las variables geológicas a tener en cuenta como son su geología, estructuras, reservas y localización geográfica; para una posible explotación se seleccionó una metodología convencional que esté de acuerdo con la forma de presentarse la mineralización.

Se escogió una producción anual conservadora, de acuerdo con las cantidades de ilmenita aflorantes que puedan extraerse fácilmente y con base en estos parámetros se seleccionaron la maquinaria, los equipos y el personal requerido para la operación de explotación y de continuación con la exploración de titanio.

En el análisis financiero se utilizó el VPN, TIR, B/C como indicadores financieros a partir de los estados financieros y de resultados.

### MÉTODO DE ESTUDIO

El estudio emplea el método de estudio deductivo, debido a que se toman una serie de elementos generales y con base en dichos resultados se hace el respectivo análisis.

### FUENTES PRIMARIAS

Con el objeto de tener datos confiables que conlleven al éxito del proyecto, se tomó un estudio real hecho por uno de los autores del estudio geológico tomado como base para el análisis financiero; para la evaluación se tomaron las informaciones recibidas durante el postgrado así como de textos relacionados con el tema.

### FUENTES SECUNDARIA

Se tomaron estadísticas provenientes de revistas internacionales como Minerals Year Book, Annual Review y Economic Geology, así como de la institución (INGEOMINAS) y del DANE.

### OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**HIPÓTESIS 1**                    VD.: Análisis financiero  
    VI.: Ordenar y dar prioridades

V.D.: Análisis financiero

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Variables financieras	Número de variables	Datos : Principales De ordenamiento Evaluativos	Orden : Numérico

VI.: Ordenar y dar prioridades

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Grupo de datos	General Específico	Sencillo Complejo	Característic. particulares

HIPÓTESIS 2 VD.: Realización de estados financieros  
VI.: Resultados

V.D.: Realización de estados financieros

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Generales	Cinco años	Estados Financieros	Flujos de fondos

V.I.: Resultados.

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Evaluación financiera	Cinco años	Informe financiero	TIR,VPN, B/C

HIPÓTESIS 3 VD.: Divulgación  
VI.: Estudio geológico y análisis financiero

V.D.: Divulgación

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Aplicación y Comunicación	Dirigida Abierta	Clase de Público	Cantidad

V.I.: Estudio geológico y análisis financiero

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Conjunto de elementos	Variables	Geológicas financieras	Número de variables

**HIPÓTESIS 4** VD.: Conocimiento sobre yacimientos de titanio  
VI.: Evaluación de la información existente

V.D.: Conocimiento sobre yacimientos de titanio

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Conjunto de elementos	Características	Clase (metálicos)	Si No ¿Por qué?

V.I.: Evaluación de la información existente

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Control	Interno Externo	Puntual General	Por elementos Por asociaciones

**HIPÓTESIS 5** VD.: Selección de variables.  
VI.: Cumplir con objetivo final

V.D.: Selección de variables.

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Datos	Generales Específicos	Geológicos Mineros Geográficos	Tamaño de muestra

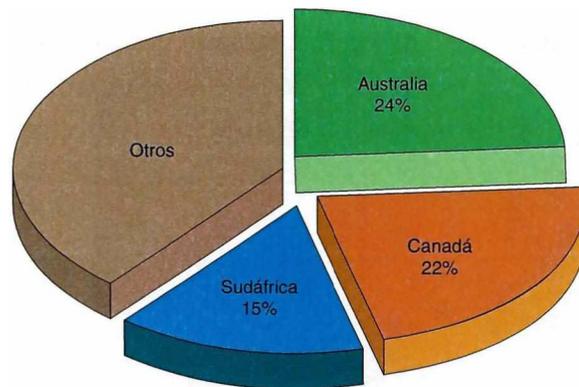
V.I.: Cumplir con objetivo final

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	SUB-ÍNDICE
Conjunto de elementos que contribuyen al análisis	Objetivo Subjetivo	Geología finanzas	Se cumplen No se cumplen ¿Por qué?

## 1. CONCEPTUALIZACIÓN

El titanio ha tenido a partir de la década del 70 un gran impulso por su utilización en la industria aeroespacial, en la fabricación de aviones, cohetes, cápsulas espaciales, pinturas especiales, de tal forma que los países industrializados, principalmente Estados Unidos, estén constantemente

explorando y buscando posibilidades de inversión a nivel mundial. Actualmente, Australia es el principal productor con un 24% de la producción mundial, seguido por Canadá con un 22% y Sudáfrica con un 15% de participación; lo siguen Noruega, antigua URSS, Malasia, India, China, Brasil y Sri Lanka.



Gráfica 1. Principales países productores de titanio.

En Colombia poco se ha explorado el titanio y aparentemente hasta ahora los yacimientos o prospectos encontrados son en su mayoría provenientes de arenas negras. Sólo un estudio ha reportado el titanio directamente en la roca fuente, como es el realizado en la Sierra Nevada de Santa Marta.

El titanio fué descubierto en 1790 como un óxido blanco recuperado de un mineral de ilmenita; se obtuvo en estado puro en 1857 y

a partir de 1918 se empezó a utilizar comercialmente, especial como pigmento.

Los primeros trabajos de explotación se llevaron a cabo en Pensilvania (USA), donde se explotó en forma de rutilo a partir de 1901 y posteriormente comenzó a recuperarse tanto rutilo como ilmenita para la producción de óxido de titanio.

Los minerales de titanio a partir de aluviones se extrajeron por primera vez en 1916

en las zonas costeras de la Florida (USA). Sus aplicaciones industriales se extendieron ampliamente hasta los años 50 en la industria militar; por otra parte, hasta 1957 el proceso metalúrgico para la recuperación del titanio fue el del sulfato, pero luego se desarrolló el método del cloruro que permite obtener una mayor pureza de óxido de titanio.

El titanio posee alta resistencia, bajo peso específico y alta resistencia al calor y a la corrosión, propiedades que permiten su aplicación en la industria aeronáutica civil y militar.

En la industria aeronáutica, el titanio ha sido un factor de desarrollo en la eficiencia de las turbinas y fuselajes, ya que sin él, estos artefactos serían pesados y antieconómicos. Su propiedad de ser inerte permite su aplicación en sistemas de enfriamiento a base de aguas salobres, procesos químicos, refinería de petróleo, plantas desalinizadoras, herramientas para cortar (buriles). Concentrados de rutilo, ilmenita y escoria de óxido de titanio se utilizan en el revestimiento de varillas de soldadura; compuestos orgánicos de titanio como álcalis y éteres se emplean como catalizadores en procesos de polimerización.

#### OTROS USOS\*

INDUSTRIA	PORCENTAJE
Lacas	44,9
Papel	23,5
Plásticos	11,6
Caucho	2,3
Tinta de imprenta	1,5
Cerámica	1,6

\*Promedio en la industria de USA

## 2. ESTUDIO DE MERCADO

### 2.1. MERCADO MUNDIAL

El titanio es uno de los metales considerados estratégicos a nivel mundial; este he-

cho ha conllevado a incrementar su búsqueda incluyendo a Colombia que, aunque no aparece en ninguna estadística, ya se ha encontrado en la Sierra Nevada de Santa Marta, como en sedimentos de arenas negras al oriente del país.

A nivel mundial, el mayor productor de ilmenita es Australia, seguido por Canadá, Sudáfrica y Noruega. La producción en el año de 1993 fue de 4'260.000 tonela-

das (tabla 1). Brasil es el único país suramericano que aparece en las estadísticas, y ocupa el décimo lugar.

TABLA 1. MAYORES PRODUCTORES DE ILMENITA PARA 1993.  
(Tomado de Industrial Minerals and Rocks, 1994)

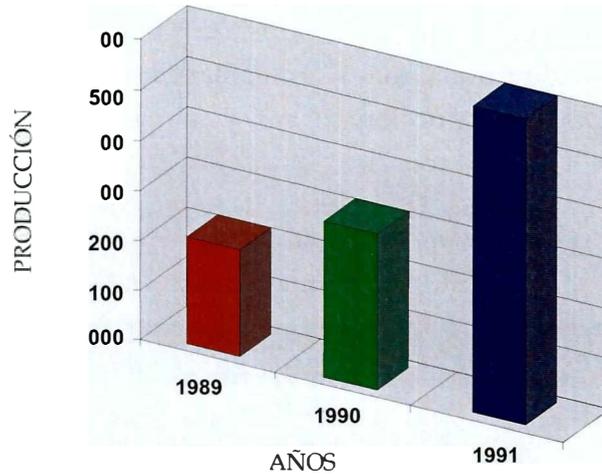
PAÍS	PRODUCCIÓN	PORCENTAJE
AUSTRALIA	1'100.000	26%
CANADÁ	830.000	19%
SUDÁFRICA	640.000	15%
NORUEGA	450.000	11%
MALASIA	275.000	6%
RUSIA	250.000	6%
USA	210.000	5%
INDIA	200.000	5%
CHINA	90.000	2%
BRASIL	83.000	2%
SRI LANKA	80.000	2%
TOTAL	4'208.000	100%

En el siguiente cuadro se aprecia la producción de ilmenita en los años de 1989,

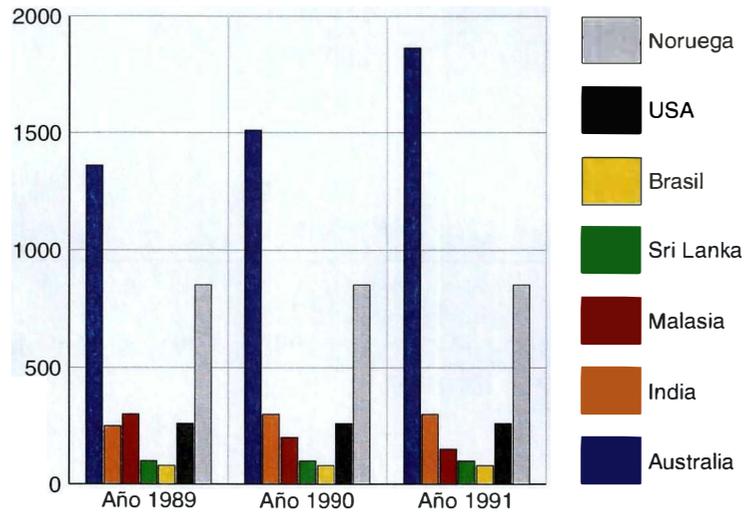
1990 y 1991, según Metals and Minerals de 1996.

TABLA 2. PRODUCCIÓN DE ILMENITA  
(En miles de toneladas)

PAÍS	1989	1990	1991
Australia	1.360	1.510	1.860
India	250	300	300
Malasia	300	200	150
Sri Lanka	100	100	100
Brasil	80	80	80
USA	260	260	260
Noruega	850	850	850
TOTAL	3.200	3.300	3.600



Gráfica 2a. Producción de ilmita (en miles de toneladas)



Gráfica 2b. Producción de ilmita (en miles de toneladas)

Aunque sólo se muestran tres años recientes, la tendencia a partir de los años 40 en la producción ha ido en aumento constante, con excepción de algunos años en la década de los 60, como se comenta en la revista Minerals Year Book de 1996.

## PRODUCCIÓN DE ESCORIA DE TITANIO

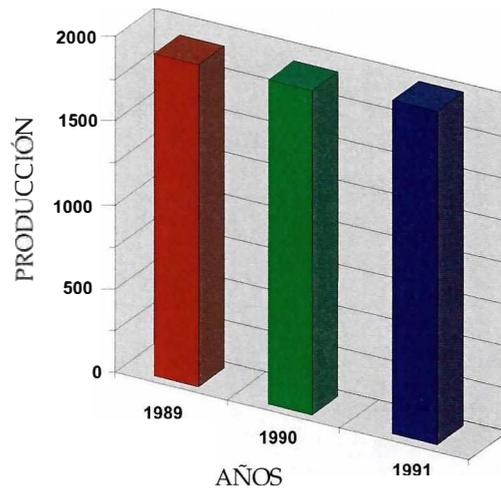
La escoria de titanio es el producto sobrante en el proceso de obtención de concentrados de titanio. Los principales países pro-

ductores de escoria de titanio son en su orden Canadá, Sudáfrica y Noruega; en el

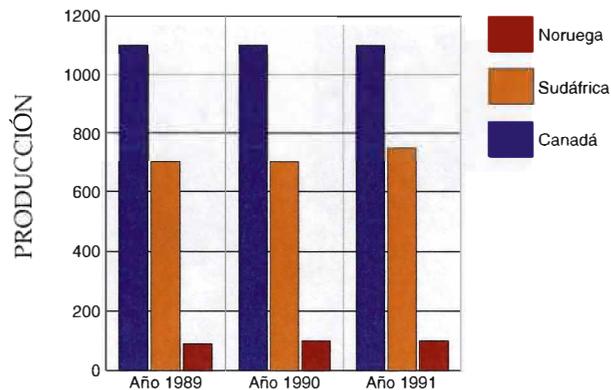
cuadro siguiente se aprecian las cantidades producidas en los años 89, 90 y 91.

**TABLA3. PRODUCCIÓN DE ESCORIA DE TITANIO**  
(En miles de toneladas)

PAÍS	1989	1990	1991
Canadá	1.100	1.100	1.100
Sudáfrica	700	700	750
Noruega	90	100	100
TOTAL	1.890	1.900	1.950



Gráfica 3a. Producción de escoria de titanio ( en miles de toneladas)



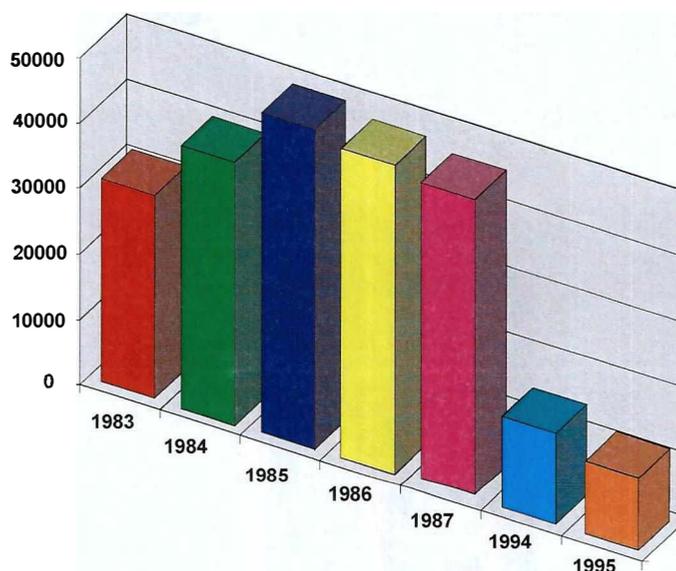
Gráfica 3b. Producción de escoria de titanio ( en miles de toneladas)

La producción de escoria de titanio, igual que la ilmenita, muestra una tendencia al alza continua a partir de 1989 hasta 1991, último dato.

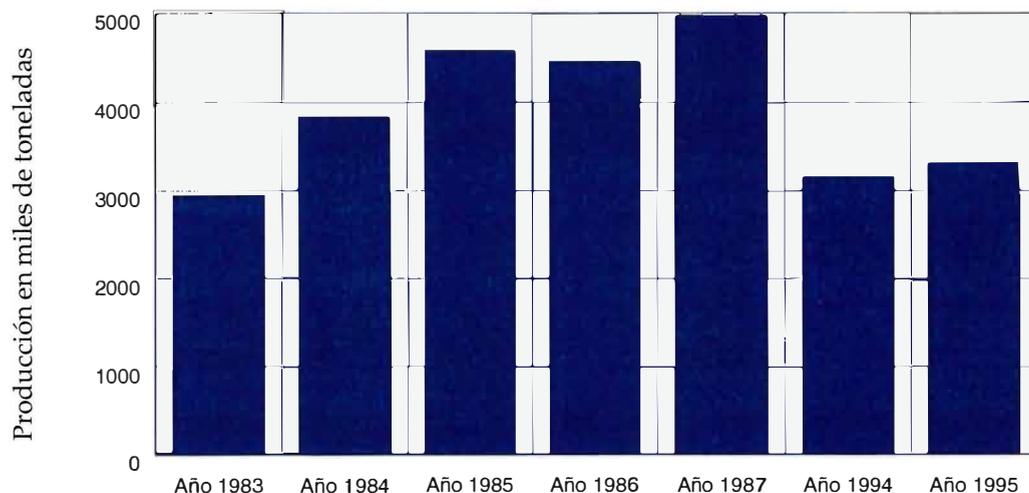
TABLA 4. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CONCENTRADOS DE TITANIO.  
(en miles de toneladas)

PAÍS	1983	1984	1985	1986	1987	1994	1995
Australia	1.003	1.681,3	1.579,3	1.380	1.534,5	1.010	1.030
Brasil	33,6	45,4	84,2	83,2	82,5	100	110
China	154	154	154	156	154	180	170
Finlandia	181	184	140	83,2	82,5		
Malasia	245,5	196	347	457,4	551	1.590	1.600
India	148,3	154,3	157,6	154	154	1.620	1.700
Noruega	603	718,5	811,2	885,8	939,5	3.150	3.200
Portugal	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3		
S. Leona	-	-	-	-	6,2		
Sri Lanka	90,1	1.12,5	811,2	885,8	939,5	1.680	1.420
Tailandia	0,2	0,2	1,2	14,8	28,7		
Antigua URSS	480	485	490	496	750	100	
Canadá						611	610
USA	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D		
TOTAL	2.939,3	3.731,4	4.754,4	4.596,4	4.472,7	10.691	9.940

Fuente: Minerals Yearbook, 1987  
Metals and Minerals, 1996



Gráfica 4a. Producción mundial de concentrados de titanio.  
(en miles de toneladas)



Gráfica 4b. Producción mundial de concentrados de titanio.  
(en miles de toneladas)

## PRODUCCIÓN DE ESPONJA DE TITANIO

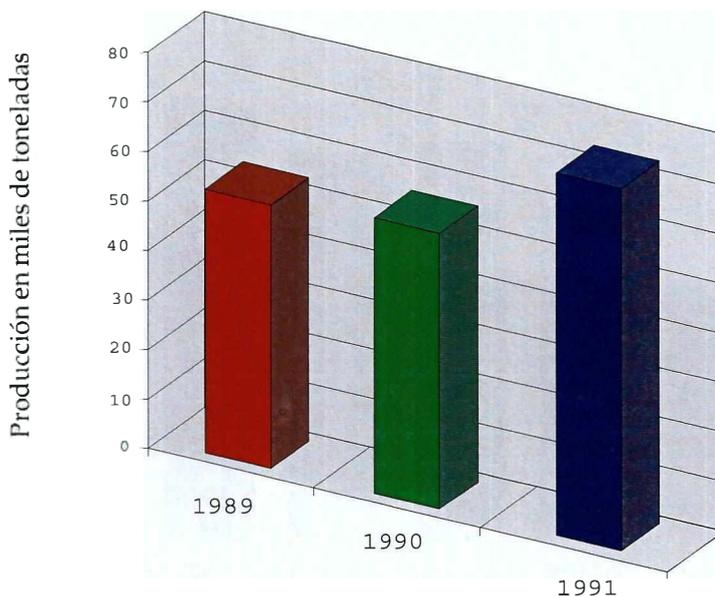
Se denomina Esponja de titanio a la etapa previa a la obtención de titanio metálico; el titanio metálico se obtiene por re-

ducción de tetracloruro de titanio por sodio o por magnesio, en una atmósfera inerte de helio o de argón a una temperatura de 1.040 °C, que constituye la base fundamental de los procedimientos conocidos como Kroll y Hunter

TABLA 5. PRODUCCIÓN DE ESPONJA DE TITANIO.  
(en miles de toneladas)

PAÍS	1989	1990	1991
USA	25,2	24,6	31,8
Japón	21,3	25,0	28,8
Reino Unido	5,0	4,2	5,0
Antigua URSS	-	-	6,0
TOTAL	51,5	53,8	71,6

Fuente: Metals and Minerals, 1992



Gráfica 5. Producción de esponja de titanio. (en miles de toneladas)

### PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO

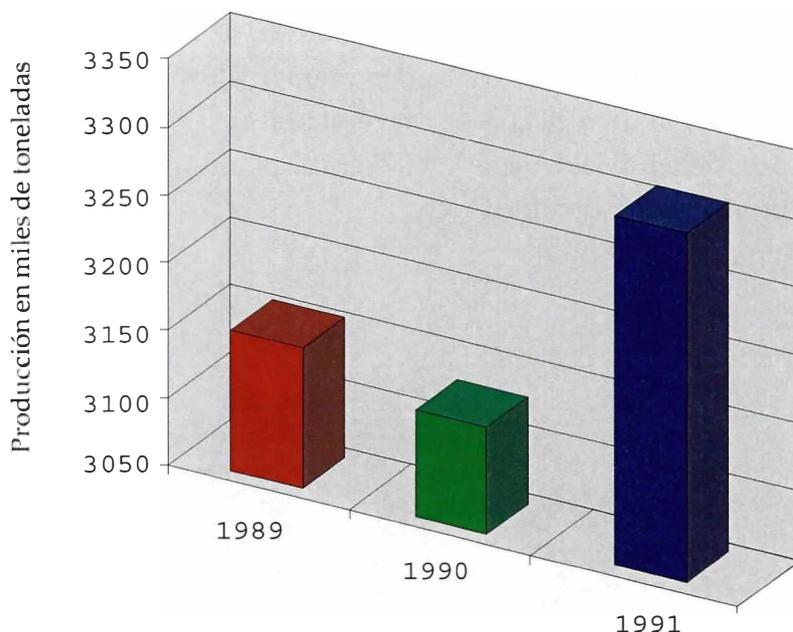
El dióxido de titanio se prepara por tratamiento de ilmenita o de escorias titaníferas con ácido sulfúrico concentrado; el hierro

férrico presente se debe reducir a la forma ferrosa, mediante chatarra de hierro. El titanio se disuelve como sulfato de titanio que, después de cristalizar selectivamente el sulfato ferroso, se precipita por hidrólisis, se filtra y luego se calcina como óxido.

TABLA 6. PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO.  
(en miles de toneladas)

PAÍS	1989	1990	1991
Américas	1.230	1.180	1.230
Europa occidental	1.180	1.170	1.210
Europa Oriental	200	200	200
Japón	270	280	290
Australia	140	40	90
Otros	120	230	280
TOTAL	3.140	3.100	3.300

Fuente: Metals and Minerals, 1992



Gráfica 6. Producción de dióxido de titanio.  
(en miles de toneladas)

### IMPORTACIONES DE TITANIO EN USA (en miles de toneladas)

Concentrado de ilmenita y escoria

	1994	1995
Importaciones	584	608
Consumo	—	920

### PRECIOS

(Fuente: Metals and Minerals 1996 e Industrial Minerals and Rocks de 1994).

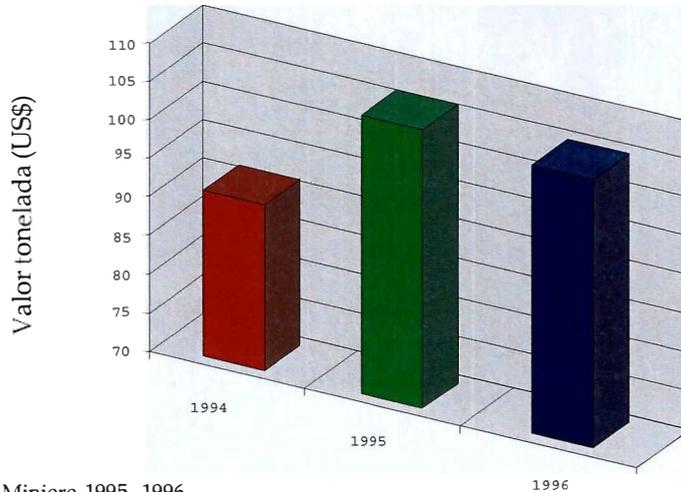
En la actualidad, el precio de la ilmenita es de 105 dólares la tonelada, la esponja de titanio alcanza los 4,38 dólares la libra, el de titanio en forma de dióxido (TiO<sub>2</sub>) os-

cila entre 0,9 y 1,04 dólares la libra y el de pigmento de titanio a 1,01 dólar la libra (Fuente : Metals and Minerals 1996).

Para el análisis financiero se empleará el valor del titanio en forma de ilmenita (óxido de titanio) cuyo valor actual es de US 105 dólares la tonelada.

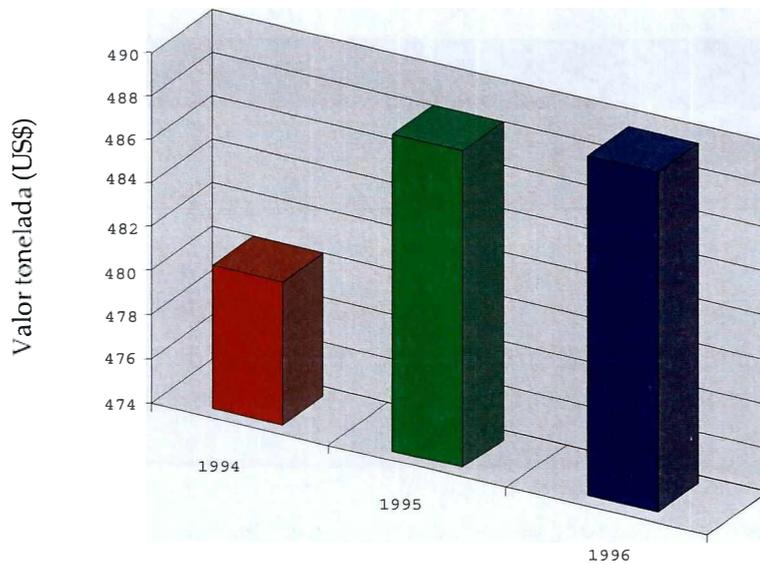
En general, tanto la producción de concentrados de titanio como de esponja y de óxido de titanio han mantenido un alza continua en su producción, debido a la demanda casi siempre en aumento principalmente en la industria aeroespacial y militar.

El titanio en la actualidad tiene una gran demanda y altos precios, luego de una leve caída en 1994 como se aprecia en las gráficas.

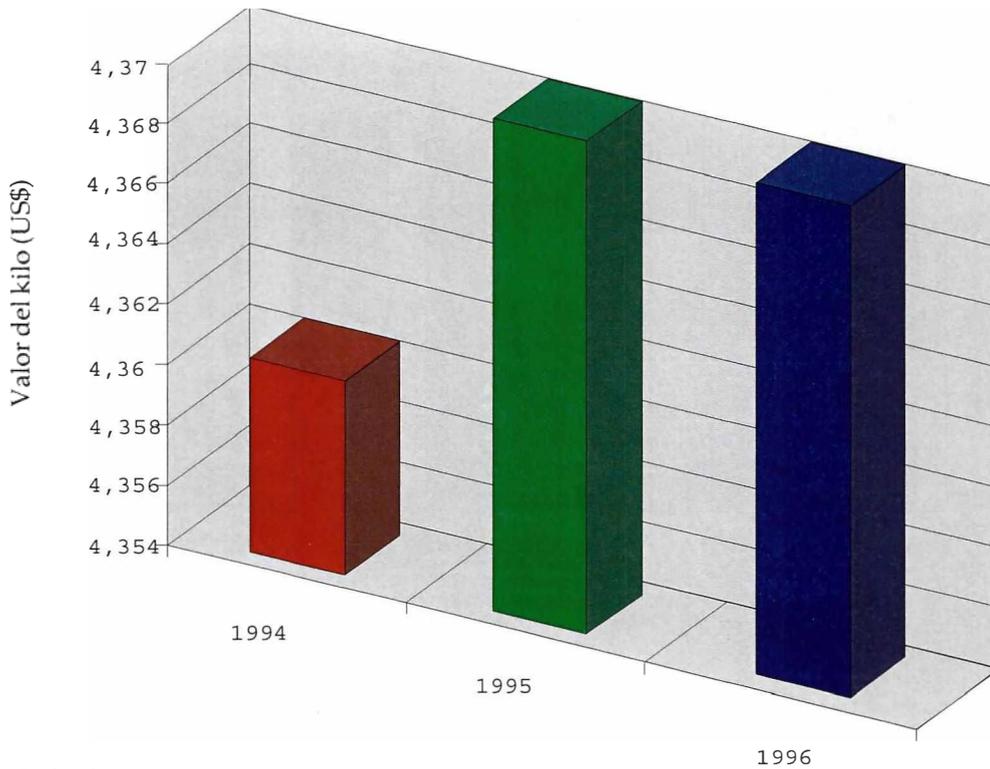


Fuente: Recherche Minière 1995, 1996

Gráfica 7. Variación del precio de la ilmenita.



Gráfica 8. Variación del precio del rutilo.



Fuente: Recherche Minière 1995 - 1996

Gráfica 9. Variación del precio del ferrotitanium.

TABLA 7. VARIACIÓN DEL PRECIO DE LA ESPONJA DE TITANIO.  
(PERÍODO 1991 - 1997)

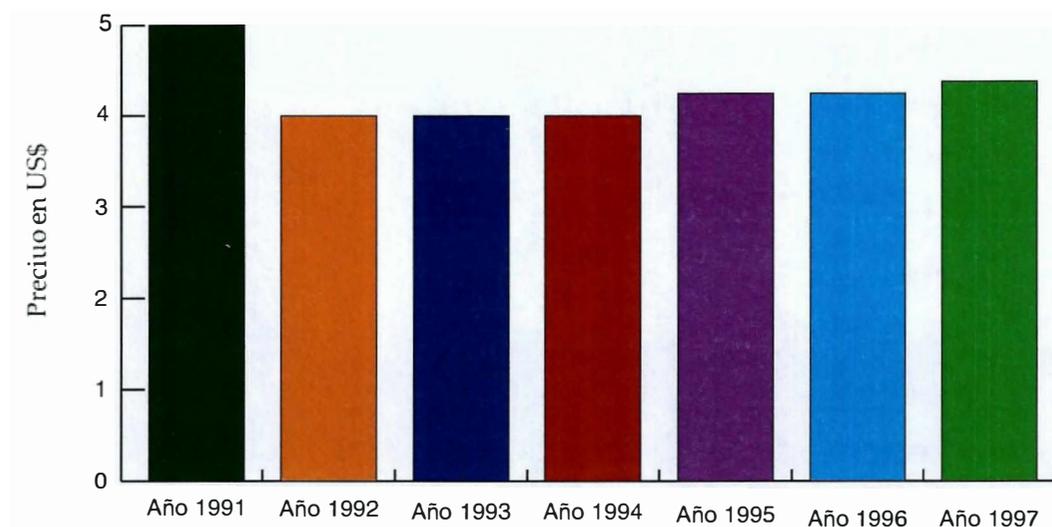
Precio de la libra de la esponja de titanio en dólares

ANO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
PRECIO	5,0	4,0	4,0	4,0	4,25	4,25	4,38

FUENTE: Engineering and Metal Journal - Varios años

La esponja de titanio mantuvo su precio estable durante los años 92, 93 y 94 y a partir de ese año ha mantenido un alza

constante, como lo muestra el gráfico, y se espera que continúe en aumento su precio, según los analistas internacionales.



Gráfica 10. Precio de la libra de esponja de titanio.

## 2.2 MERCADO NACIONAL

En Colombia, el titanio es extraído de arenas negras a partir de ilmenitas; explotaciones que actualmente se hacen en el Vaupés y esporádicamente en las playas de Don Diego, Departamento del Magdalena. Su utilización principal está en pinturas y aleaciones.

Hasta el presente no se cuenta con estadísticas de producción, ya que el país no es productor, sino que importa en pequeñas cantidades este metal y sus productos.

## 2.3 PLANES DEL GOBIERNO

El proyecto está enmarcado dentro del sector MINERIA, y se aclara que el proyecto no

está guiado a realizar estudios básicos, como son la exploración de recursos minerales o la evaluación de depósitos, sino que su objetivo se centra en el análisis financiero que sirva de herramienta efectiva para la toma de decisiones para continuar con las exploraciones, o para pensar en una posible explotación y a su vez en exportarlo a países como Alemania, USA y Japón que son los mayores consumidores de titanio en el mundo.

El estudio geológico, unido al análisis financiero, redundará en beneficio del personal técnico del instituto, en los investigadores externos, en los estudiantes, principalmente universitarios, y en empresarios dedicados a la explotación, beneficio y comercialización de estos minerales. Por otro lado, los clientes podrán obtener información, y contribuirá en cierta medida

a incrementar la exploración de recursos minerales en una zona con gran potencial como es la Sierra Nevada de Santa Marta, ya que al obtener información en forma oportuna y completa, podrán hacer planes de exploración y de explotación a partir de este estudio, complementar los estudios realizados o iniciar proyectos con la evaluación previa de toda la información existente y, finalmente, se podrán ahorrar cantidades significativas de dinero en exploración.

Incentivar la exploración de minerales, trae consigo la generación de empleo y de divisas para el país.

## **CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO**

Con relación al estudio de mercados, se tiene que el titanio hoy en día ocupa un lugar preponderante en la industria, gracias al auge que han tenido las comunicaciones, en el uso de satélites y en la fabricación de cohetes. A nivel doméstico, el titanio se está utilizando en aleaciones que requieren gran resistencia y en pinturas especiales.

La producción de ilmenita ha venido en aumento como lo demuestran las estadísticas para 1950, 271 ton, para 1960, 413 ton, para 1970, 594 ton, para 1980, 660 ton y para 1990, 979 ton; de igual forma ha habido un incremento constante para la escoria de titanio, el dióxido de titanio y

la esponja de titanio; expertos en el tema consideran que el uso del titanio continuará en aumento por sus múltiples aplicaciones y a que cada día se le descubren nuevos usos.

Los mayores productores a nivel mundial de ilmenita son en su orden: Australia, Canadá, Sudáfrica, Noruega, Malasia, Rusia, India, USA, China, Brasil y Sri Lanka, con una producción de 4'260.000 toneladas para 1993; por otra parte, los mayores productores de escoria de titanio son Canadá, Sudáfrica y Noruega y de esponja de titanio, USA, Japón, Reino Unido y antigua URSS.

En Colombia su mercado se limita al uso en pinturas y en aleaciones, principalmente; por consiguiente, el mercado del titanio es hacia el extranjero, a países como los Estados Unidos, Japón y Alemania.

## **3. ESTUDIO TÉCNICO Y DE INGENIERÍA**

### **3.1 ESTUDIO TÉCNICO**

El estudio técnico se ha tomado del realizado en la Sierra Nevada de Santa Marta, en 1990, acerca de las mineralizaciones de ilmenita presentes en el Sector de Don Diego (Alfonso y González, 1990). Uno de los autores (Leopoldo González) es el autor del presente trabajo; a continuación se mencionan los aspectos técnicos más relevantes.

### 3.1.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL PROYECTO.

Del estudio denominado Geología y Evaluación Económica de los Prospectos de Ilmenita - Magnetita y Apatito en el Sector de don Diego Sierra Nevada de Santa Marta (Alfonso y González, 1990), se toman los siguientes aspectos :

#### 3.1.2 GENERALIDADES. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA.

Estudio llevado a cabo en la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta (Figura 1). El sector se localiza entre las coordenadas X:1'722.000, Y:1'040.000, X:1'728.000, Y:1'047.000; sus límites geográficos aproximados están marcados al norte por el río Don Diego, al sur por la Cuchilla El Perdido, al este por la quebrada La Maroma y al oeste por el río Don Dieguito. Su área aproximada es de 45 km<sup>2</sup>. El acceso se hace a pie o mula a partir del caserío de Don Diego o Perico Aguado ubicado sobre la vía Santa Marta - Riohacha.

Geopolíticamente el área estudiada pertenece al Departamento del Magdalena y el sector está incluido en su gran mayoría dentro de la reserva indígena de la Sierra Nevada.

### 3.1.3 GEOLOGÍA REGIONAL.

Desde el punto de vista geotectónico, la Sierra Nevada de Santa Marta está constituida por tres terrenos geológicos: Sierra Nevada, Sevilla y Santa Marta (Etayo et al., 1983).

El área de estudio se localiza en el terreno Sevilla, constituido por un basamento probablemente oceánico acrecido durante el Jurásico al terreno Sierra Nevada, a lo largo del alineamiento de Sevilla. Ver mapa geológico.

Este alineamiento de rumbo noreste marca probablemente una zona de subducción a lo largo de la cual se desarrolla la franja metamórfica de Sevilla y las rocas ígneas del Triásico; además, controla la generación y emplazamiento de los magmas que formaron por diferenciación magmática las metadioritas del Pérmico, los plutones del Triásico y finalmente las franjas paralelas de batolitos graníticos del Jurásico medio. Este alineamiento controla la evolución geológica desde el Pérmico al Paleoceno, y separan provincias de basamento ígneo-metamórfico y estilos estructurales diferentes (terreno Sierra Nevada-terreno Sevilla).

Esta paleosutura fue activada en el Jurásico y el Cretácico, cuando rocas intrusivas, que probablemente presentan magmas a lo largo de una zona de subducción compleja durante la orogénesis de Santa Marta, fue-

ron emplazadas a lo largo de ella (Tschanz et al., 1969). Posteriormente y sucesivamente, durante el Cretácico-Paleoceno el terreno Santa Marta (corteza oceánica) se fue acrecentando al terreno Sevilla a lo largo del límite "Complejo metamórfico de Sevilla-Cinturón metamórfico de Santa Marta" (Etayo et al., 1983).

Durante la cartografía de la unidad de neises anortosíticos, se encontraron diques de composición gabroide (noritas mineralizadas), dioritas y diques compuestos totalmente por plagioclasa (oligoclasa) que atraviesan la unidad anortosítica con rumbos preferenciales N70°-80°E/45° a 80° al sur. Las noritas mineralizadas se relacionan genéticamente con la anortosita de Don Dieguito, mientras que los diques de diorita se pueden correlacionar con eventos de edad paleocena, representados por los plutones del Latal y Toribio localizados al W del área de estudio (Ver mapa geológico). Sin embargo, la oligoclasita no presenta correlación alguna con los eventos magmáticos descritos en la Sierra Nevada en trabajos como el de Gansser (1955), Radelli (1962) y Tschanz et al. (1969).

El terreno Sevilla está limitado estructuralmente al N por la Falla de Oca y al W por la Falla de Santa Marta; al SE por el lineamiento de Sevilla y al NW por el límite "complejo metamórfico de Sevilla-cinturón metamórfico de Santa Marta". Su estilo estructural general está marcado

por un fallamiento de bloques (Etayo et al., 1983).

El marco geológico mostrado expresa complejidad tectónica de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual se expresa geomorfológicamente por un triángulo tectónico limitado al norte por la Falla de Oca, al sur y este por el lineamiento del Cesar y al W por la falla de Santa Marta-Bucaramanga (Ver mapa geológico).

#### 3.1.4 GEOLOGÍA LOCAL.

En el sector afloran rocas metamórficas e ígneas intrusivas cubiertas en algunos sitios por depósitos cuaternarios tanto de origen aluvial (Qal) como de gravedad (Qc). Las rocas metamórficas han sido datadas del Precámbrico y están representadas por la granulita de Los Mangos (pEg) y por la Anortosita de Don Dieguito (PEm).

Las rocas ígneas intrusivas están representadas por diques de composición gabroide (noritas), dioritas, oligoclasitas o anortositas (Barker 1983) y por el Plutón de Buriticá. Las noritas están relacionadas con las anortositas de Don Dieguito (PEam) y las dioritas probablemente corresponden a eventos magmáticos paleocenos representados en la Sierra Nevada por los plutones de Latal y Toribio. Las oligoclasitas o anortositas presentan inconvenientes en su ubicación en el tiempo

y su correlación con otras rocas intrusivas no es clara. El Plutón de Buritaca de edad terciaria (Eoceno) está compuesto por rocas de composición intermedia (cuarzodioritas).

### 3.1.5 UNIDADES LITOLÓGICAS

#### a) Rocas metamórficas.

##### **Granulita de Los Mangos (PEg).**

Las rocas pertenecientes a esta unidad fueron reconocidas por Gansser (1955) en la parte central de la Sierra Nevada. Sin embargo, fueron Tschanz et al. (1969) los autores del nombre “granulita de Los Mangos” para agrupar un conjunto de neises bandeados claros y oscuros metamorfoseados hasta la facies granulita.

**Litología.** La descripción hecha en el trabajo de Tschanz et al. (1969) para esta unidad es la siguiente: consiste en una alternancia de bandas paralelas de colores oscuros (granulitas máficas o ultramáficas), claros (granulitas graníticas) y colores intermedios (granulitas de composición intermedia). Frecuentemente las bandas adyacentes tienen composición extrema y están separadas por centímetros a cientos de metros, una característica que se observa en toda la secuencia. Las granulitas, en general, son de grano medio a grueso, bien foliadas y la textura es típicamente granoblástica.

En el sector fueron observados neises cuarzo-feldespáticos y neises hornbléndico-biotíticos. Macroscópicamente los neises cuarzo feldespáticos son de color gris claro de aspecto masivo. Al microscopio tienen textura granoblástica (oligoclasa) xenoblástica-idioblástica; cuarzo xenoblástico con extinción, con sericita y clorita.

Los neises hornbléndico-biotíticos son macroscópicamente de color gris oscuro, y se presentan en bandas con un espesor máximo de 0,50 m dentro de los neises cuarzo-feldespáticos. Microscópicamente presentan textura granoblástica de grano medio a grueso. Están compuestos por cristales xenoblásticos e idioblásticos de hornblenda y biotita. Como minerales primarios también se presentan cuarzo y plagioclasa (oligoclasa). El cuarzo y la hornblenda desarrollan textura poiquiloblástica.

Los minerales accesorios son epidota, magnetita y de alteración, sericita.

**Edad.** Tschanz et al (1969) dataron estas rocas por el método Rb/Sr con los siguientes resultados:  $1.300 \pm 100$  Ma  $752 \pm 70$  Ma y  $940 \pm 34$  Ma; de acuerdo con estos datos su edad es precámbrica.

**Contactos.** En el sector montañoso estudiado se presenta en contacto con la anortosita de Don Dieguito (PE-am) y con el Plutón de Buritaca (Tcd). La relación entre la

granulita de Los Mangos y la anortosita de Don Dieguito es de tipo intrusivo; sin embargo, existen tramos en los cuales el contacto está controlado tectónicamente. Esta situación se presenta al W del área en ceranías al cerro El Mojón.

El contacto entre la Granulita de Los Mangos y el neis anortosítico no se presenta claro debido a los diferentes eventos ígneos y metamórficos que han sufrido estas rocas, por la anterior razón se ha mantenido el criterio expuesto por estos autores según el cual, para diferenciar los neises anortosíticos, se debe tener en cuenta sus minerales accesorios, por ejemplo, neis anortosítico con granate, neis anortosítico con magnetita, etc.

#### **Anortosita de Don Dieguito (PEam).**

Reconocida por Tschanz et al (1969a), cerca del río Don Dieguito, en la quebrada El Hierro, en la parte central norte de la Sierra Nevada de Santa Marta.

**Litología.** Macroscópicamente las rocas que constituyen esta unidad son de color crema a gris clara, foliadas y de aspecto masivo. Hacia la parte más oriental del sector, contienen mineralizaciones de ilmenita-magnetita-apatito y la roca presenta en un gran porcentaje delgadas bandas y lentes con minerales máficos que dan a la roca un aspecto moteado.

Microscópicamente y con base en las secciones delgadas estudiadas en el proyecto (IGM 830003-830005), las rocas presentan textura granoblástica con una composición de cuarzo en mayor porcentaje y plagioclasa tipo oligoclasa básicamente.

Los minerales máficos de los parches y augen son hornblenda y biotita, en gran parte cloritizados. Otros minerales de alteración presentes son la epidota y sericita. La magnetita de los parches y augen es muy escasa, con tamaño máximo observado de 0,5 cm cuando existe. Por lo anterior, las anortositas de Don Dieguito (PEam) no contienen neises anortosíticos "sensu stricto" (Barker 1983), sino que debido a los procesos de metamorfismo que han sufrido los neises, desde el punto de vista composicional son cuarzo-feldespáticos con relictos de la anortosita "primaria".

Los augen alargados tienen un máximo de 1 mm de espesor y se presentan asociados a mineralizaciones de ilmenita-magnetita-apatito, que siguen siempre la orientación de la foliación, que para el sector I oscila entre N 40° - 60°E/60° - 75° SE. Los parches lenticulares en realidad presentan formas irregulares y casi nunca están orientados con la foliación, salvo en algunos sitios donde se ha desarrollado foliación cataclástica sobre-impuesta.

En las márgenes del río Don Dieguito se observa que estos parches atacados por la

meteorización desaparecieron totalmente y dejaron cárcavas que dan a la roca aspecto de una zona kárstica.

Al reconstruir la probable evolución geológica desarrollada durante el emplazamiento de la anortosita "primaria", se puede establecer un modelo de diferenciación magmática para explicar las variaciones roca-mineralización que existen dentro de la unidad anortosítica.

El área se dividió en tres zonas con base en las relaciones roca-mineralización así: zona A, zona B y zona C.

En la zona A, localizada en la parte más oriental de la unidad de neises anortosíticos afloran las mineralizaciones bandeadas de ilmenita-magnetita-apatito, además de los diques noríticos mineralizados.

La zona B o de transición se caracteriza por la presencia de algunos rodados mineralizados concentrados localmente, que inducen a pensar que existen pequeñas mineralizaciones de ilmenita-magnetita-apatito; sin embargo, durante la cartografía geológica no se reconoció ningún afloramiento con mineralización in situ.

La zona C o estéril, la más occidental, presenta como aspecto principal la textura de motas o "patch" y además no se presentan mineralizaciones in situ de ilmenita-apatito, ni tampoco rodados mineralizados.

Al analizar las tres zonas desde el punto de vista roca-mineralización se ve claramente que existen un decrecimiento de E a W de la mineralización. Esto nos podría indicar que la zona A representa una de las primeras fases de la diferenciación mineral hasta llegar a la zona C actual, que no es importante desde el punto de vista económico.

**Edad.** Según Tschanz, et al. (1969a), la anortosita de Don Dieguito es precámbrica.

**Contactos.** Se presenta en contacto hacia el sur con la Granulita de Los Mangos, al norte con el Plutón de la Buritaca; al E y W el contacto es compartido con la granulita, y con las cuarzodioritas del Plutón de Buritaca. La relación con la unidad Granulita de Los Mangos (PEg) ya se comentó anteriormente.

El contacto con el Plutón de Buritaca se observa claramente por el río Don Dieguito y por la quebrada El Hierro, con un rumbo general N 85°E, inclinado 85° al NW; se presenta neto y aparece controlado tectónicamente; existe una coincidencia entre la foliación y la dirección de emplazamiento del cuerpo.

La aureola del contacto en la quebrada El Hierro mide 2,05 m y está representada por 1,5 m de una zona de alteración de clorita y epidota (hacia el plutón) y 0,55 m de una milonita negra, de densidad media, con

fractura concoidea. El grado de fracturamiento de la unidad anortosítica hacia el contacto es grande, pero la roca conserva su aspecto masivo.

La presencia de la roca cataclástica (milonita) podría indicar que existía una zona de debilidad representada por una franja de rocas cataclásticas que permitieron el ascenso del magma que originó el Plutón de Buritaca.

Tschanz et al. (1969) indican que el Plutón de Buritaca está controlado tectónicamente, lo que se comprobaría con lo encontrado en este estudio.

#### **b) Rocas ígneas.**

En el área se presentan cuatro clases de rocas ígneas que se relacionan con cuatro eventos magmáticos de diferente edad. Estas rocas son: oligoclasitas o anortositas; noritas, dioritas y cuarzodioritas pertenecientes al Plutón de Buritaca (Tcd). Teniendo en cuenta que las noritas se encuentran mineralizadas, su descripción geológica se hará en el capítulo de mineralizaciones.

#### **Oligoclasitas o anortositas.**

Tschanz et al. (1969) hicieron referencia de esta roca y la citan como probablemente intrusiva y tal vez relacionada con una rara roca bimineral bandeada de ilmenita y apatito.

**Litología.** Barker (1983) indica que una anortosita es una roca con una composición mayor del 99 % de plagioclasa y menos del 5% de cuarzo del total de los minerales félsicos. Las rocas encontradas en el caño Tigre, caño La Mina y sobre el camino a la Cuchilla del Tigre son macroscópicamente de color blanco, compuestas totalmente por plagioclasa, con presencia de epidota de color verde como el único mineral secundario.

En los sitios donde la roca se encuentra meteorizada, la epidota ha desaparecido totalmente. Microscópicamente (IGM 830033) presenta textura fanerítica de grano medio, con cristales euhedrales de oligoclasa, sin ninguna evidencia de metamorfismo. El único mineral secundario presente es la epidota como producto de alteración hidrotermal.

**Edad.** Teniendo en cuenta que la mayoría de anortositas a nivel mundial han sido datadas del Precámbrico (1,5 a 1,1 x 10<sup>3</sup> años; Herz 1969 en Barker 1983) con algunas raras excepciones del Cámbrico (Emslie, 1978 en Barker 1983), se puede sugerir que la Anortosita de Don Dieguito y la Granulita de Los Mangos podrían ser del comienzo del Proterozoico (2.500-1.600 Ma) o probablemente del Arcaico; por lo tanto, las dataciones radiométricas hechas para éstas unidades son producto de un rejuvenecimiento isotópico. Además, si estos intrusivos anortosíticos son precámbricos, las rocas precámbricas en general

(Granulitas de Los Mangos, Anortosita de Don Dieguito), no deben haber sufrido metamorfismo por lo menos a partir del Cámbrico; sólo cuando se daten los diques anortosíticos se podrá establecer si existe la probabilidad de encontrar rocas anortosíticas con edades más recientes.

**Contactos.** Durante la cartografía se encontró que estas rocas cortan a la Anortosita de Don Dieguito y se presentan en forma de diques o enjambres de diques con espesores máximos observados de 5 m y con una orientación preferencial N70°-80°E e inclinaciones que oscilan entre 45° y 80° al sur; además de lo anterior, se estableció que estas rocas no tienen una relación estrecha con las mineralizaciones de la roca bimineral de Tschanz et al. (1969), sino que representan un evento magmático que afectó a la unidad anortosítica después del último metamorfismo de estas rocas.

### **Dioritas.**

Reportadas por Tschanz et al. (1969a) a manera de plutones y diques especialmente hasta la parte W de la Sierra Nevada de Santa Marta.

**Litología.** Macroscópicamente son de color verde oscuro, textura fanerítica de grano medio; se distinguen los siguientes minerales: hornblenda, plagioclasa, biotita, cuarzo y magnetita.

De estas rocas se estudiaron tres secciones delgadas: dos xenolitos que se encontraron dentro del Plutón de Buritaca (830012 y 830013) y una (830019) de un dique que corta la unidad de neises anortosíticos. Microscópicamente, las tres secciones delgadas presentan la siguiente descripción: textura fanerítica holocristalina, hipidiomórfica, granular, con cristales aliotromorfos e idiomorfos. El contenido de plagioclasa (andesina) varía entre 55 y 57%, hornblenda entre 20-35% biotita 10-15%. Presenta hasta el 1% de cuarzo, generalmente de textura poiquilítica con la hornblenda.

Mineral accesorio es magnetita, y los de alteración son epidota, clorita, tremolita y sericita; además, se encuentran venillas de epidota y cuarzo que atraviesan la roca. Es importante anotar que muy pocas veces la magnetita se encuentra dentro de la roca.

La sección delgada 830013 está compuesta en su totalidad por hornblenda con trazas de cuarzo y se clasifica como una hornblenda; esto significa que dentro de estos diques existen pequeñas diferencias composicionales, sin que esto sea un argumento para sugerir que podrían pertenecer a otro evento magmático diferente.

**Edad.** Por la semejanza composicional y por las relaciones intrusivas y de campo, estos diques parecen correlacionarse con los llamados plutones del Latal y Toribío, cartografiados y descritos por Tschanz et al.

(1969) en la parte NW de la Sierra Nevada . Por lo tanto, de acuerdo con las dataciones hechas por estos autores a los plutones enunciados anteriormente, los diques dioríticos tendrían una edad  $58,4 \pm 4,3$  Ma, correspondiente al Paleoceno.

**Contactos.** Se presentan como diques que cortan la unidad de neises Anortosíticos y como xenolitos dentro del Plutón de Buritaca. Los diques presentan una orientación preferencial N40-60E y se encontraron en mayor cantidad sobre el río Don Dieguito. El más representativo se encuentra geográficamente cerca del caserío de la comunidad Nabunkuimake y sobre el río Don Dieguito.

#### **Plutón de Buritaca (Tcd).**

Tschanz et al. (1969) reconocieron e incluyeron estas rocas en el denominado Batolito Complejo de Santa Marta, que a su vez dividieron en el Batolito de Santa Marta, Plutón de Buritaca (Tcd), Facies de Borde, Rocas Hídricas (Tb), Granito Muscovítico (Tq) y el Plutón de Palomino (Tcm).

**Litología.** Aflora claramente por el río Don Dieguito y la quebrada El Hierro y corta la Anortosita de Don Dieguito y la unidad Granulita de Los Mangos. Además, aflora por el camino que conduce del Caserío de Don Dieguito al campamento base (finca La Esperanza) e intruye la unidad Neis de Los Muchachitos (nm) de edad paleozoica.

Macroscópicamente se presenta con textura fanerítica de grano medio y los minerales que se aprecian son plagioclasa 50%, cuarzo 20%, hornblenda y biotita 30%. De acuerdo con esta composición, la roca se clasifica como cuarzodiorita.

En Tschanz et al. (1969, p.173-174), se describe el estudio petrográfico hecho por MacDonald (1966) de 11 secciones delgadas del plutón de Santa Marta-Buritaca. La descripción es la siguiente: cuarzodiorita de hornblenda y biotita gris, que presenta textura hipidiomórfica granular típica. La plagioclasa es andesina euhedral a subhedral con fuerte zonación oscilatoria. La plagioclasa, biotita subhedral y hornblenda están dispersas en una masa de cuarzo y feldespato potásico de grano grueso anhedral. El contenido de plagioclasa varía entre 43 y 60%, cuarzo entre 19 y 38%, feldespato potásico 9%, hornblenda de 0-13% y biotita de 4 a 10%. Los minerales accesorios son apatito, esfena, magnetita, circón, epidota y clorita, que varían entre 0,4 y 5%.

Es importante anotar que en este sector presenta variaciones locales a diorita, como se observa en la sección delgada 830016 localizada sobre el río Don Dieguito. Frecuentemente presenta xenolitos de diorita-gabro como los descritos en las secciones delgadas 830013 que pertenecen a las dioritas paleocenas descritas anteriormente.

**Edad.** Según Tschanz et al. (1969a) la edad de este plutón oscila entre  $48,8 \pm$

1,7 Ma y  $44,1 \pm 1,6$  m.a (Eoceno). El método utilizado para la datación fue K/Ar en hornblenda.

**Contactos.** En el sector se observa solamente el contacto del Plutón de Buritaca con la Anortosita de Don Dieguito (PEam). El contacto con la unidad Granulita de Los Mangos no se reconoció exactamente en el sitio, por lo inaccesible del área; sin embargo, la expresión morfológica del contacto es muy clara porque el intrusivo presenta una topografía de pendientes relativamente suaves con cerros redondeados mientras que en la granulita la topografía es más abrupta.

Aunque ya se describió el contacto con la Anortosita de Don Dieguito, es importante volver a recalcar que este cuerpo sí tiene un control estructural por tramos, como se puede observar en el mapa geológico generalizado de la sierra y por lo observado en la quebrada El Hierro.

Las fallas que controlan en algunos sitios este cuerpo pertenecen al sistema de Sevilla y tienen un rumbo preferencial N 60°E a E-W con inclinaciones de alto ángulo (70°-80°) al sur, hasta la vertical.

### 3.1.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área, por encontrarse en el denominado terreno Sevilla (Etayo et al. 1983), presenta predominantemente fallas y

discontinuidades paralelas al lineamiento de Sevilla.

La principal falla que afecta el sector es la denominada Falla La Maroma, de carácter regional con un rumbo general entre N 70E y E-W; su inclinación al parecer es hacia el sur, con ángulo alto (70°-80°) (es probable que en algunos puntos sea vertical).

Dicha falla se localiza en el extremo norte de la zona y afecta solamente al Plutón de Buritaca (Tcd). Su expresión morfológica es clara y su zona de brecha alcanza fácilmente los 200 m en este sitio.

En cercanías de la falla, la roca (cuarzodiorita) presenta una leve orientación cataclástica paralela al rumbo de la falla; en general, el fracturamiento es notable. En la zona de brecha los minerales constituyentes de las cuarzodioritas se presentan microfracturados, la meteorización es profunda y afecta principalmente a la plagioclasa y los máficos. La brecha se observa muy bien por el río Don Dieguito a unos 400 m aguas abajo de la finca La Esperanza; al parecer, está afectada por un fallamiento local sobrepuesto con dirección N 20°W, que produce foliaciones cataclásticas que intersectan casi en ángulo recto con las foliaciones N 70°-80°E.

A través de la zona de falla se han presentado eventos hidrotermales representados por abundantes venillas de epidota y principalmente de cuarzo, que silicifican la roca

y en algunos casos enmascaran la brecha de falla por una aparente recristalización.

La otra falla importante es la denominada Falla El Mojón; también es paralela al lineamiento de Sevilla. Está localizada hacia la parte norte del sector. Su rumbo e inclinación son muy semejantes a los de la Falla La Maroma (N70-80E a E-W/70°-80° al sur hasta vertical), al parecer, controla el contacto del Plutón de Buritaca (Tcd) y la unidad anortosítica (PEam) entre el caño Vijagual y el extremo más oriental del cuerpo anortosítico. Además del fallamiento paralelo al lineamiento de Sevilla, existe un sistema de fallamiento N 45°-50°W que es de gran importancia en el sector; se observó que afecta la unidad de neises anortosíticos y es de suponer que también corta a la unidad Granulita de Los Mangos (PEq) y al Plutón de Buritaca (Tcd), porque sus expresiones morfológicas se continúan sobre estas unidades. De este sistema son representativas la Falla El Hierro y la Falla Vijagual.

La Falla El Hierro es de gran importancia porque limita estructuralmente las mineralizaciones de ilmenita-magnetita-apatito y los diques de la norita mineralizada, y restringe, infortunadamente, el potencial económico de la zona de la quebrada El Hierro. La brecha de la falla está expuesta por el caño La Mina hacia la cota 300 msnm y por el camino hacia la finca del señor Gabriel Rizo. Sobre la quebrada, la zona del fracturamiento alcanza 10 m de espe-

sor y afecta a la unidad anortosítica así como a un dique de anortosita u oligoclasita. La expresión morfológica más clara se presenta en un cambio de pendiente brusco que existe por el camino antes nombrado. Al parecer, la falla tiene una inclinación al W, con el bloque oriental levantado y es de esta forma una falla normal. Debido a este levantamiento, las mineralizaciones fueron desplazadas y luego erodadas de modo que sus relictos se hallan sobre un área semiplana que se encuentra con abundantes rodados mineralizados de ilmenita-magnetita y apatito.

La otra falla geológica de importancia es la del caño Vijagual que se observa por dicho drenaje y afecta la Anortosita de Don Dieguito y la Granulita de Los Mangos. El rumbo de la falla es N30°-45°W con inclinación promedio de 70°W. No se pudo determinar cuál fue el movimiento de los bloques, pero por las características similares a la Falla El Hierro, el bloque levantado sería también el oriental. La brecha es de unos 10 m de espesor, aproximadamente, y desarrolla una foliación cataclástica en el área de influencia.

Los sistemas de diaclasas principales medidos en las diferentes unidades roca son: N 70°W/70°SW, E-W/60°-75°N, N 70°-80° E/70°-85°SE, N 40°E/70°NW, N 40°E/70°NW, N 25°-30° E/30°, N 40°-W/25°NE, N 15°W a N-S/40°-70°W, N 30°-50°W/70°-80°NE, E-W/60°-80°S. En general, sus superficies son planas, lisas y

cerradas; en las zonas cercanas a las fallas se presentan rellenas de cuarzo y epidota principalmente.

### 3.1.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DEPÓSITO.

Para la evaluación del potencial del depósito se acogió la clasificación propuesta por el Servicio Geológico de los Estados Unidos en la circular 831 del año 1980 (INGEOMINAS, 1987). De acuerdo con esta clasificación, el cálculo de los recursos del presente estudio se ubica en la categoría de inferidos.

Las mineralizaciones estudiadas se encuentran dentro de la llamada Anortosita de Don Dieguito (Peam) y se pueden dividir en dos: noritas mineralizadas y mineralización bandeada de ilmenita-magnetita-apatito. Hacia la parte occidental del cuerpo anortosítico (mapa geológico), los neises presentan textura moteada caracterizada por "parches" de composición gabroide con un diámetro máximo observado de 0,3 m, sin ninguna mineralización de importancia.

Con base en la cartografía geológica, el área se dividió en tres zonas (A, B y C) que tienen características diferentes en cuanto a la relación roca-mineral. Esta división permite describir detalladamente las características geológicas de la unidad anortosítica (PEam), y dilucidar su posible evolución

geológica que permitió la concentración de mineralizaciones interesantes en ciertos sitios.

#### a) ZONA A.

**Localización.** Se encuentra la parte más oriental de la unidad anortosítica y es la más importante desde el punto de vista económico, ya que en ella se encontraron las únicas mineralizaciones "in situ" tanto de las noritas mineralizadas como de la mineralización bandeada de ilmenita-magnetita-apatito (mapa geológico).

**Noritas mineralizadas.** Se encuentran geográficamente sobre la quebrada El Hierro y geológicamente hacia el contacto con el Plutón de Buritaca. Se presentan en forma de diques y cortan claramente la unidad de neises anortosíticos (Figura 2) y constituyen un enjambre de éstos por espacio de 6, con orientación preferencial N 70°-75° E/80° S. Dentro del espacio en que afloran, los neises de la unidad anortosítica se encuentran en forma de augen, con diámetros hasta de 5 m, y constituyen el estéril dentro de las noritas mineralizadas.

**Litología.** Macroscópicamente las noritas son de color gris verdoso a negro, generalmente con una pátina rojiza de óxido de hierro que enmascara su verdadero color.

De esta roca se hizo la sección delgada IGM 830001, la cual presenta las siguientes

tes características: textura fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, cristales alotriomorfos, con desarrollo de foliación incipiente, presenta estructura Schiller. Los minerales primarios son ortopiroxeno (hiperstena 40%), magnetita titanífera 30%, apatito 30% y trazas que pueden tratarse de pigeonita, ya que según Heinrich (1972 p.92), en las noritas la hiperstena o el piroxeno dominante o el acompañante puede tener crecimientos mixtos laminares con clinopiroxenos que son producto de la conversión de la pigeonita inicial en hiperstena y de segregación de diópsido o augita en forma de laminillas de exsolución.

El único mineral accesorio presente es piritita y el de alteración hornblenda, como producto de la uralitización. La epidota se encuentra como relleno en las microfracturas y en forma de venillas. En general, la roca se presenta intensamente fracturada con abundantes fisuras y microfallas, y contactos saturados; el mineral más afectado tectónicamente es el apatito, que se encuentra muy fracturado; otra característica observada en los cristales de apatito es la presencia de formas redondeadas a subredondeadas, que indican probablemente que es un mineral formado tempranamente en el proceso de diferenciación, que al no estar en completo equilibrio con el fundido silicatado durante sus estados superiores, fue parcialmente reabsorbido, y dejó bordes redondeados. En el estudio de los minerales opacos sólo se observaron magnetita, piritita y limonita como producto de alteración de la piritita.

Al microscopio, la magnetita presenta las siguientes características: color gris, isótropa, reflectividad baja, frecuente exfoliación. La relación de enganche con la piritita es simple. La piritita se presenta de color amarillo claro, textura esponjosa, reflectividad alta, isótropa y sin zonación, y puede tratarse de pirrotita (piritita de alta temperatura). La limonita se presenta de color rojo con textura coloforme.

**Análisis de laboratorio.** Los análisis semicuantitativos elaborados por microscopía electrónica (microsonda) se hicieron en cinco muestras. Estos análisis fueron puntuales y areales, y dieron concentraciones para Fe, Ti y P en forma de óxidos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Al hacer la integración promedio de los análisis se obtuvieron los siguientes resultados:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  35%,  $\text{TiO}_2$  7% y  $\text{P}_2\text{O}_5$  7%.

Los análisis químicos cuantitativos fueron hechos por la Subdirección de Investigaciones Químicas para hierro, titanio y fósforo a partir de 5 kg de muestra, con los siguientes resultados:

Muestra 830001

Hierro total en $\text{Fe}_2\text{O}_3$	36,10%
Titanio en $\text{TiO}_2$	5,49%
Fósforo en $\text{P}_2\text{O}_5$	1,60%

Como resultado de los estudios de laboratorio, se concluye que los principales mi-

nerales de mena presentes en las noritas son la magnetita titanífera y el apatito.

**Origen.** Con base en yacimientos estudiados en varias partes del mundo como en el de Kiruna, Bushveld, escudo canadiense (Labrador, Quebec, Sanford Lake, etc) y con lo observado y estudiado en el sector, las noritas serían parte del mismo evento ígneo precámbrico que generó las anortositas de Don Dieguito (PEam).

Como las noritas intruyen a la unidad anortosítica, se infiere que las noritas se inyectaron en las últimas fases del proceso de segregación magmática cuando ya las anortositas estaban formadas.

**Recursos.** Las noritas solamente se encontraron expuestas sobre la quebrada El Hierro por espacio de 60 m. Con el fin de comprobar su existencia en profundidad y lateralmente tanto al oriente como al occidente, se programaron las líneas geofísicas JOB1, JOB2 Y JOB3.

Con anterioridad, esta área se recorrió exhaustivamente con apertura de trochas, sin encontrar resultados positivos a excepción de la quebrada El Hierro. En la exploración geológica detallada en todas las áreas cercanas a los afloramientos de la quebrada El Hierro y en el estudio geofísico no se encontraron indicios de estas rocas; solamente se observaron pequeños diques de diorita-gabro con espesores máximos de 0,50 m y con dirección N 70°-80° E que se

correlacionan con las dioritas. Además, en las zonas B y C nunca se hallaron rodados que indicaran su presencia. Por lo tanto, se concluye que las noritas mineralizadas se restringen a una pequeña área de 300 m x 60 m, limitada por la Falla de El Hierro y que se pinchan al occidente formando un lente con dirección N70°-75°E.

El cálculo de los recursos es inferido pues se tomaron valores un tanto arbitrarios como es el de la continuidad en profundidad de los diques noríticos. La profundidad asumida para el cálculo de reservas es de 5 m, con el fin de poder visualizar las restricciones del yacimiento. Además, el área ocupada por las noritas contiene estéril representado por los neises anortosíticos que constituyen un 40% del área de cálculo:

- Profundidad asumida: 20 m
- Área a calcular: 300 m x 60 m = estéril  
= 300 m x 60 m x 20 m = 360.000 m<sup>3</sup>
- Volumen del estéril (40%) = 144.000 m<sup>3</sup>
- Volumen de la mineralización = 216.000 m<sup>3</sup>

Teniendo en cuenta lo anterior, por el momento las noritas mineralizadas no tienen interés económico, al menos que se pueda comprobar en futuras exploraciones la presencia de cuerpos en profundidad con volumen y calidad significativa.

**Mineralizaciones bandeadas de ilmenita-magnetita-apatito.** Afloran por el caño La

Mina hacia las cotas 210, 243, 265 msnm y en la quebrada El Hierro en la cota 245 msnm. Se presentan dentro de la unidad anortosítica a la que intruyen a manera de bolsones irregulares y con espesores variables.

**Litología.** Macroscópicamente se presentan con bandas claras y oscuras, y son de aspecto masivo duras y frescas. El contacto con las rocas de la unidad anortosítica es neto y en la gran mayoría de los casos paralelo a la foliación.

Las bandas claras están constituidas en un 80% por apatito de color crema con cristales de aristas redondeadas; el 20% restante está constituido por ilmenita-magnetita. La ilmenita se presenta como exsolución a partir de la magnetita. Las bandas oscuras son en un 95% de ilmenita-magnetita y un 5% de apatito. También se presenta piritita secundaria ligada a las intrusiones dioríticas.

Las bandas tienen un espesor máximo observado de 15 cm, con predominio en general de las oscuras; sin embargo, en algunos sitios, dentro de la mineralización, se presenta tramos con enriquecimiento de apatito que alcanza espesores hasta de 10 cm

Como se comentó en la descripción de la unidad de neises anortosíticos, en cercanías del contacto roca-mineralización se presentan augen alargados y delgados que con-

tienen ilmenita y magnetita que son guías para localizar las mineralizaciones.

En la sección delgada 830002 la mineralización presenta estructura bandeada (néisica) con 60% de opacos, 40% de apatito y trazas de tremolita-actinolita siempre relacionada con el apatito. Además de lo anterior, se presentan venas de cuarzo y clorita (hornblenda) que cortan perpendicularmente el bandeamiento.

De las zonas mineralizadas se prepararon 15 secciones pulidas para seguir las probables variaciones composicionales de base a techo.

En el estudio de los opacos al microscopio, se vio claramente la exsolución de ilmenita en magnetita, y se observó un espaciamiento promedio entre los lentes de ilmenita de 0,033 mm y con espesor de los lentes que oscilan entre 0,00166 mm y 0,0083 mm. El porcentaje de distribución dentro de la mineralización ilmenita-magnetita varía entre 40 y 60% para ambos minerales.

**Análisis de laboratorio.** Los análisis semicuantitativos elaborados por microscopía electrónica consistieron en numerosos barridos areales y puntuales, con el fin de obtener promedios representativos de las concentraciones de hierro, titanio y fósforo principalmente. Los resultados fueron los siguientes:

Promedio WT %	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32
TiO <sub>2</sub>	17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10

Los análisis químicos cuantitativos se realizaron en Colombia, Finlandia y Estados Unidos. Los ejecutados en Colombia fueron elaborados por la Subdirección de Investigaciones Químicas y se hicieron para hierro, titanio y fósforo, con los siguientes resultados:

	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,18
SiO <sub>2</sub>	0,69
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,38
ZrO <sub>2</sub>	0,01
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0
CeO <sub>2</sub>	0
K <sub>2</sub> O	0
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0
SC <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01
Th (ppm)	< 20
U (ppm)	< 20

WT %

Hierro total	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57,91
Titanio	TiO <sub>2</sub>	7,18
Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13,52

Los de Estados Unidos fueron elaborados por el doctor Antony Mariano, cuyos resultados en un análisis para 22 elementos dio los siguientes valores en porcentajes:

	%
TiO <sub>2</sub>	34,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,31
CaO	1,31
BaO	0,07
SrO	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06
MgO	1,20
MnO <sub>2</sub>	0,18
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01

Como se puede apreciar, hay una diferencia sustancial del contenido de fósforo con los resultados anteriores, mientras que en el titanio y hierro son muy similares. La explicación de esta diferencia radica en que las muestras tomadas por el doctor Mariano fueron muy puntuales, y como se anotó anteriormente, dentro de las mineralizaciones existen súbitos enriquecimientos de apatito que lógicamente, al tomar una muestra representativa de la mineralización, el porcentaje de fósforo tiene que subir.

El contenido de vanadio de la mineralización es muy similar a los yacimientos titaníferos de Lake Sanford en donde este elemento varía entre 0,1 y 0,2% (Park y Macdiarmid 1981); el vanadio se concentra en los líquidos magmáticos residuales hacia el final del proceso de segregación magmática, posteriormente a la cristalización de la ilmenita.

**Origen.** Estudios realizados en yacimientos de magnetita-ilmenita, especialmente cerca a Lake Sanford, New York, Estados Unidos, indican que estas menas son diferenciadas de un magma de anortosita-gabro y se cree que se formaron a partir segregaciones residuales de líquido magnetita-ilmenita, que fue en parte atrapado en los intersticios de los cristales y forzado en la roca todavía plástica (Park & Macdiarmid, 1981). También en los yacimientos de Allard Lake, Quebec, Canadá, las mineralizaciones de ilmenita-hematita están asociadas a una gran masa de anortosita y anortosita-gabro, y se encontraron inclusiones de anortositas dentro de la mineralización, que confirman la edad más joven de la mena.

En el distrito de Kiruna en Suecia, se encuentra el yacimiento de segregación magmática más productivo y probablemente el más conocido del mundo (Park & Macdiarmid, 1981). Con base en lo hallado en este yacimiento, se ha popularizado el término "mena de tipo Kiruna" que hace referencia a mineralizaciones de hierro, especialmente magnetita, con un alto contenido de apatito (el contenido de fósforo es más del 2%).

En el caso de Kiruna, especialmente en la mina Kiirunavaara, el cuerpo mineral principal (parecido a un sill) se halla entre cuerpos intrusivos estratificados de pórfidos cuarzosos que integran su respaldo alto y de pórfidos sieníticos precámbricos que

constituyen su respaldo bajo (Park & Macdiarmid, 1981). Geijer (1931, 1960, 1967, en Park & Macdiarmid, 1981) concluyó que este yacimiento resultó de la intrusión de magmas minerales altamente móviles, presumiblemente antes que las rocas regionales fueran basculadas.

El fluido de magnetita-apatito se concentró durante la diferenciación magmática como una fracción inmiscible dentro del magma madre y la separación de dos fracciones inmiscibles tuvo lugar en profundidad dentro de la corteza terrestre antes de la intrusión. Esta interpretación está apoyada por Fischer (1950, en Park & Macdiarmid, 1981) que por confirmación experimental comprobó que puede existir un líquido de magnetita-apatito inmiscible.

En el caso de la mineralización de ilmenita-magnetita-apatito, ésta se puede enmarcar en parte en el modelo de yacimiento tipo Kiruna debido al alto contenido de  $P_2O_5$  (hasta 13,52%). Sin embargo, la relación mena-roca no es la misma. Mientras en la mina Kiirunavaara la mineralización se asocia con pórfidos sieníticos y con pórfidos cuarzosos, en el sector la mineralización está hospedada en un magma anortosítico. Por lo anterior, las mineralizaciones de ilmenita-magnetita-apatito pueden provenir de un magma madre anortosítico rico en magnetita y apatito, minerales que se fueron concentrando en un silicato fundido residual que se fue enriqueciendo durante la diferenciación magmática para ser

posteriormente expulsado por presión filtrante.

La formación de esta mineralización correspondería a la quinta etapa postulada por Bateman (1951, en Stanton, 1972) en el esquema idealizado para la formación de depósitos concordantes y transversales de yacimientos magmáticos tardíos y, por lo tanto, el líquido mineralizado tuvo que ser expulsado cuando la masa anortosítica ya estaba solidificada, porque dentro de la mineralización se encontraron xenolitos de anortosita, que indican que la mineralización es más joven. La presencia de ilmenita exsuelta en magnetita en estos depósitos se explica de acuerdo con Park & Macdiarmid (1981, pp 192-195), donde plantean cómo la textura de exsolución se debe a que las altas temperaturas tienden a provocar desorden en una estructura mineral; bajo estas condiciones, algunos elementos son rápidamente absorbidos y retenidos.

Cuando posteriormente sucede el enfriamiento, se desarrolla una estructura más ordenada, que expulsa los materiales extraños que tienden a acumularse a lo largo de las superficies de exfoliación o de direcciones controladas cristalográficamente, en forma de pequeñas "ampollas" o líneas como es el caso de la de ilmenita-magnetita encontrada en el presente estudio. Todo el proceso es complejo y está influenciado por la temperatura, presión, concentración, pureza, estructura y tamaño de grano, de

la solución sólida, además de los coeficientes de difusión y distribución de esfuerzos dentro de la solución sólida.

Señala este mismo autor que la razón para que el mineral exsuelto (ilmenita en este caso) tenga un volumen mayor que el huésped, se debe a una reducción equivalente en volumen del mineral huésped residual, así que aunque haya separación, no hay migración hacia afuera del mineral exsuelto.

**Recursos.** Como se puede observar en el mapa geológico, la distribución de las mineralizaciones no es constante para enmarcarla en un área exactamente; las secciones geofísicas programadas para esta zona se hicieron con base en los afloramientos de la quebrada El Hierro y el caño La Mina.

El Job I se programó para seguir las mineralizaciones encontradas sobre el caño La Mina; el total de metros levantados fue de 412,5 y se observaron cuatro anomalías magnéticas y ninguna de VLF (M)

**Anomalía 1.** Se localiza entre la cota 220 y 260 msnm. Es una anomalía magnética fuerte (amplitud 3.305 gamas) y de corta extensión (30 m); esta anomalía es causada por una mineralización bandeada que aflora en la cota 245 msnm a manera de un bolsón irregular que continúa por espacio de 5 m sobre el caño. Lateralmente se conserva por espacio unos 10 m, y redu-

ce su espesor hasta 0,20 m. En este sitio se presenta un escarpe de 10 m y la roca se encuentra altamente fracturada, pero recristalizada, con aspecto masivo; debido a este factor no se observa claramente la foliación general de los neises; PN 94 solamente se estimó la medida puntual del contacto roca-mineralización que es N 15°E/48°SE.

**Anomalía 2.** Se encuentra entre las cotas 250 y 280 msnm aproximadamente. Esta anomalía magnética es muy fuerte y alcanza una amplitud de 8.200 gamas. Las mediciones de VLF (M) no muestran CROSSOVER. Según la interpretación del perfil magnético suavizado, se observa el origen de ésta hacia la cota 265 msnm, que coincide con un afloramiento de una mineralización de ilmenita-magnetita-apatito.

La mineralización está representada por lentes irregulares que tienen espesores entre 0,50 m y 0,80 m con longitudes observadas en el sentido de la foliación hasta de 3 m, y se presentan por espacio de unos 15 m sobre el caño. Lateralmente se encontró dificultad para seguirlos debido a lo escarpado del lugar. En los 15 m aproximadamente que aflora la mineralización, el estéril (neises anortosíticos) representa un 50% del área expuesta.

**Anomalía 3.** Se presenta entre las cotas 275 y 290 msnm. Es de amplitud mediana (1.600 gamas) y de pequeña extensión.

Como esta anomalía tiene superposición parcial con la primera y la segunda, no se puede definir claramente la localización de su origen. Sin embargo, hacia la cota 280 se presentan algunos rodados angulares con diámetro máximo de 0,10 m. Como se observó en la zona B, en los sitios donde se concentraban los rodados se presentaron anomalías magnéticas; se asume la misma situación en este caso, que indican que los lentes son de menor concentración areal que en el caso de las anomalías 1 y 2 en donde la amplitud es fuerte (3.305 gamas) y muy fuerte (8.200 gamas), respectivamente.

**Anomalía 4.** Se presenta entre las cotas 290 y 320 msnm. Geológicamente este tramo se caracteriza por estar intensamente fracturado por la Falla El Hierro con dirección N30°W/70°NE, y por la presencia de diques de anortosita u oligoclasita. No se observaron rodados de mineralización que indiquen su presencia superficial. La interpretación geofísica señala una anomalía de amplitud y extensión mediana, cuyo origen estaría localizado hacia la cota 300 msnm con el cuerpo mineral a una profundidad mayor de 20 m.

La línea geofísica Job 2 se realizó por la quebrada El Hierro y por un camino paralelo; esta línea se programó con dos objetivos 1) Determinar la continuidad de las noritas al occidente de la quebrada El Hierro y las anomalías de la quebrada La Mina. 2) Detectar nuevas anomalías sobre la quebrada para así poder correlacionar aflora-

mientos de mineralización bandeada, como el que se presenta en la cota 245 msnm sobre dicha quebrada.

En total se levantaron 1.700 m y se determinaron seis anomalías magnéticas. La primera anomalía fue discutida en la sección de evaluación de las noritas mineralizadas.

**Anomalía 2.** Se detectó sobre el camino entre las cotas 220 y 215 msnm. Esta anomalía magnética es de amplitud débil y de corta extensión. Teniendo en cuenta que en este sitio se encontraron algunos rodados de mineralización bandeada ilmenita-magnetita-apatito, debe existir un pequeño lente de mineralización cercano a la superficie. Por observaciones de campo, el lente no debe tener más de 0,50 m de espesor y su continuidad no pasa de los 5 m.

**Anomalía 3.** Se encuentra entre las cotas 210-215 msnm. Es una anomalía de gran amplitud (4.000 gamas) y pequeña extensión (30 m). Durante la cartografía geológica se encontraron rodados angulares de mineralización hacia la parte media del tramo que comprende la anomalía. Según la interpretación geofísica, se trata de un dique de 2,5 m aproximadamente que se localiza exactamente en la parte donde se concentran los rodados. Por lo tanto, se ratifica lo anotado en ocasiones anteriores en cuanto a los sitios en donde se presenta alguna concentración de rodados angulares; los lentes o diques están en este sitio o en un área muy cercana.

**Anomalía 4.** Es una anomalía magnética de fuerte amplitud (6.000 gamas) y de pequeña extensión. Geológicamente este sitio está cubierto por depósitos cuaternarios, por lo tanto, la anomalía puede ser causada por cantos y bloques de mineralización que se observan en el depósito. Este mismo depósito continúa al oriente de la quebrada El Hierro, y es muy rico en hierro; sobre esta misma línea se encuentran dos anomalías de mediana y pequeña amplitud y de mediana extensión, que son causadas seguramente por los cantos de mineralización bandeada que deben estar dispersos o menos concentrados. En este tramo las mediciones de VLF (M) no muestran CROSSOVER.

**Anomalía 5.** Esta anomalía se localiza sobre la quebrada El Hierro hacia la cota 240 msnm. Se trata de una anomalía de pequeña amplitud (1.000 gamas) y de mediana extensión. La interpretación geofísica puede indicar un lente o dique de 2 m de espesor, localizado probablemente entre 20 y 30 m.

**Anomalía 6.** También encontrada sobre la quebrada, tiene una amplitud mayor (1.600 gamas) y la extensión es muy similar a la anterior. Esta anomalía también parece que es causada por un cuerpo mineral no aflorante, situado a una profundidad más cercana a la superficie que en el caso de la anomalía 5.

Sobre esta línea no se encontraron más anomalías magnéticas, pero por la quebra-

da El Hierro, en la cota 245 msnm, se presenta un afloramiento mineralizado que tiene en su parte más gruesa 4,20 m, y se pincha lateralmente hasta 0,10 m y se conserva por espacio de unos 12 m.

Por último, con el fin de delimitar el área mineralizada se programó la línea Job 3 con 2 rumbos preferenciales, N 80° W y N-S. En esta línea solamente se obtuvo un valor magnético por encima de 37.000 gammas, lo que confirma lo observado en la cartografía geológica en el sentido de que en la zona A, las noritas y la mineralización bandeada están limitadas tectónicamente por la Falla El Hierro y, además, que la parte más oriental de la zona A es estéril desde el punto de vista económico.

Con base en la cartografía geológica y los resultados de la prospección geofísica, el área que contiene las mineralizaciones tiene una extensión aproximada de 490 m x 645 m.

Para el cálculo de las reservas inferidas se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Del área a calcular se asume que en un 30% como máximo podría estar compuesto por mineralizaciones.
- Para dar una idea del potencial de las mineralizaciones se toman 10 m como la continuidad promedio en profundidad de éstas.
- Gravedad específica de las mineralizaciones : 4,1.

- Área a calcular = 490 m x 645 m = 316.050 m<sup>2</sup> x 10 m = 3'160.500 metros cúbicos.
- Volumen de estéril (70%) = 2'212.350 metros cúbicos.
- Volumen de mineralización (30%)  
948.150 m cúbicos.

Al considerar que estas mineralizaciones son restringidas y de pequeña magnitud, se descarta por el momento el interés económico; es importante aclarar que siguen siendo de gran importancia geológica como guías para futuras exploraciones con fines económicos en la Sierra Nevada de Santa Marta.

#### b) ZONA B.

**Localización.** Se encuentra en la parte central de la unidad de neises anortosíticos; se caracteriza por presentar una vegetación primaria espesa, con pendientes entre 30 y 70%; se encuentran zonas escarpadas que dificultan notoriamente el desplazamiento.

**Mineralizaciones.** Geológicamente ha sido considerada zona de transición debido a que en ella no se encontró "in situ" ningún afloramiento de noritas ni de mineralización bandeada de ilmenita-magnetita-apatito. Solamente se encontraron rodados de la mineralización bandeada que coinciden con anomalías magnéticas, que indican lentes mineralizados muy cercanos a la superficie, cubiertos por suelos residuales y vegetación.

Hacia la parte más occidental de esta zona aparecen esporádicamente parches de roca gabroide dentro de la unidad anortosítica, que coinciden con la desaparición de rodados de mineralización bandeada. Este último aspecto señala el límite entre la zona de transición y la zona estéril o C, como se denominó en este estudio.

La unidad anortosítica presenta rasgos similares a los ya descritos, pero se encuentran relictos de la Granulita de Los Mangos sobre todo hacia la parte norte, que coinciden con zonas altamente fracturadas y brechadas que indican zonas de desgarre paralelas a la Falla El Mojón.

La foliación en este tramo oscila entre N 50° W/50°-80°SW con desarrollo de abundantes estrías de fricción en las paredes de los planos de foliación. El tramo enunciado aparece por unos 50 m y hacia su parte más baja desarrolla un suelo rojo arcilloso, lo cual hace pensar que pueden existir bandas de neises máficos que son características de la unidad Granulita de Los Mangos. Sin embargo, esto no se pudo comprobar debido a la intensa meteorización presente. Estos suelos rojos podrían ser también producto de dioritas o gabros que fueron intruídos por la zona de fractura y contribuyeron al aspecto caótico presente.

Otro punto importante es que al finalizar este tramo fracturado, aparecen rodados mineralizados, que durante el levantamien-

to geofísico coincidieron con una anomalía magnética.

**Recursos.** Durante la cartografía geológica se detectaron dos sitios donde se concentraban rodados angulares y subangulares de mineralización bandeada. A partir de estos sitios se hicieron trochas para hacer un reconocimiento de la distribución de los rodados y se comprobó que el área de concentración era muy restringida. Teniendo en cuenta los anteriores resultados, se programó la línea geofísica JOB 4 para verificar la probable existencia de lentes o bolsones de mineralización bandeada. Esta sección se trazó perpendicular a la foliación general de las rocas para detectar los espesores de los lentes, confiando en que éstos siguieran la dirección de la foliación.

En la sección geofísica Job 4 existen dos anomalías: una entre las cotas 290-300 msnm y otra entre las cotas 470-490 msnm. La primera alcanza valores entre 37.027 y 37.050 gamas; teniendo en cuenta los valores magnéticos, se considera una anomalía pobre y puede tratarse de pequeños lentes de mineralización bandeada.

Sobre la segunda anomalía existen dudas sobre sus valores, porque durante el desarrollo del levantamiento se presentó una tormenta eléctrica que pudo alterarlos. Sin embargo, como en este sitio se encontraron rodados mineralizados, se asume para este tramo una situación similar a la de la primera anomalía.

A juzgar por la información geológica y geofísica obtenida, esta zona carece de importancia económica y sólo se podría decir que pueden existir algunos lentes mineralizados delgados que no presentan ninguna continuidad lateral.

### c) ZONA C.

**Localización.** Ocupa la parte más occidental de la Anortosita de Don Dieguito y tiene poco interés económico.

**Mineralizaciones.** No se encuentran rodados de noritas mineralizadas ni de mineralización bandeada y los neises presentan textura moteada. Estas "motas" o "parches" son composicionalmente gabros hornbléndicos.

Como se indica en el origen posible de la unidad anortosítica, la zona puede representar una de las partes estériles en la formación de los depósitos magmáticos tardíos, cuando el fluido expulsado por presión filtrante estaba con muy poca o casi nada de concentración mineral; infortunadamente esta situación no permitió que las "motas" se mineralizaran; solamente en algunas se presentan trazas de magnetita, los augen o parches son irregulares y los diámetros oscilan entre 0,05 m y 0,30 m. Su distribución es errática, mientras que en algunos sitios se encuentran muy concentrados y en otros están esparcidos cada 0,4 - 0,5 m hasta 1 m. Sobre el

río Don Dieguito los "parches" han sido destruidos por la meteorización y han dejado cárcavas que permiten observar los espacios que ocupan, y dan una mejor idea de sus formas y tamaños.

**Recursos.** En este caso se podría hablar de recursos hipotéticos teniendo en cuenta el ambiente geológico favorable, donde podrían eventualmente presentarse cuerpos anortosíticos mineralizados. Sin embargo, hasta el momento, tanto la información geológica como geofísica indican que esta zona presenta muy poco interés económico, pero en futuras exploraciones debe tenerse en cuenta.

### 3.1.8 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO TÉCNICO.

La mineralización primaria de ilmenita-magnetita-apatito es el producto de un proceso de segregación magmática, posiblemente a partir de un magma anortosítico, que en la fase final del proceso de diferenciación expulsó un silicato fundido residual rico en magnetita-apatito. El punto importante radica en el hecho de que la mineralización primaria se presenta en dos formas: diseminada en una norita, como diques que evidencian su inyección secundaria, y como bolsones o bandas de ilmenita-magnetita-apatito, también emplazados, en este caso, en una anortosita.

Con base en lo anterior, se deduce que las dos fases de la mineralización primaria (la norita y la mineralización bandeada) fueron expulsadas en tiempos diferentes durante la fase final del proceso de segregación magmática, a partir de un magma madre posiblemente más profundo, seguramente con concentraciones importantes de ilmenita-magnetita-apatito.

Este tipo de mineralización presenta un alto potencial en todo el terreno Sevilla, el cual debe ser objeto de un programa sistemático de exploración.

Respecto a los recursos geológicos establecidos hasta el momento, no deben tomarse con preocupación, pues se considera que éstas sólo están relacionadas con partes distales de la mineralización primaria cuyo centro o foco está por localizar.

El total de recursos inferidos en las zonas seleccionadas asciende a 1'164.000 m<sup>3</sup>, que con una densidad de 4,1 dan 4'772.000 toneladas de ilmenita; sin embargo, el volumen puede ser significativamente mayor si se comprueba una mayor continuidad en profundidad, para lo cual sería necesario perforar.

De las zonas en que se dividió el área de estudio, la A es la más importante desde el punto de vista de cantidad y calidad de ilmenita, además de ser la zona más cercana a la costa (Playas de Don Diego).

### 3.2 ESTUDIO DE INGENIERÍA

De acuerdo con el estudio técnico, la zona A es en principio la más promisoriosa y es la zona por donde se iniciaría la minería, además de ser la zona más cercana a la costa, sitio de embarque del mineral.

Las reservas de ilmenita son del orden de 1'164.000 metros cúbicos, que con una densidad de 4,1 nos dan 4'772.000 toneladas de ilmenita; para una producción inicial de 2.000 toneladas mensuales, veinticuatro mil toneladas al año.

Inicialmente se explotaría la ilmenita y se vendería directamente sin ningún tipo de beneficio, ya que los costos de montar una planta de beneficio son demasiado altos; sin embargo, se dan los precios a 1997 de algunos de las formas como se vende el titanio a nivel mundial.

De cada 1.000 toneladas de ilmenita se producen aproximadamente 100 toneladas de esponja de titanio.

Y de cada 1.000 toneladas de ilmenita se producen aproximadamente 120 toneladas de dióxido de titanio.

En la actualidad, la esponja de titanio que es una de las formas de beneficiar el titanio, se vende a 4 dólares la libra (US \$8.000 la tonelada).

El dióxido de titanio se vende (1997) a un dólar la libra (US\$ 2.000 la tonelada).

La ilmenita se vende a 105 dólares la tonelada.

### 3.2.1 PROCESO DE EXPLOTACIÓN.

La explotación se realizará inicialmente a cielo abierto en donde se explotarán primero las venas de ilmenita presentes dentro de las anortositas; este método de explotación se basa en la construcción de bancos escalonados, que dejan una pared alta (aproximadamente 10 metros) que siguen el buzamiento y se desplazan en el rumbo hasta donde económicamente sea rentable y la relación estéril - mineral permita una labor minera factible.

Los estériles se depositarán en un botadero, donde no afecte el yacimiento ni a las aguas y, en lo posible que minimicen los posibles impactos ambientales que se podrían presentar; el sitio y diseño del botadero se definirían una vez se concluya el estudio de conceptualización minera que debería realizarse en el futuro.

En una etapa posterior se extraería la ilmenita por medio de minería subterránea con el empleo del sistema de cámaras y pilares; de igual manera, este diseño dependerá de la conceptualización minera.

El sistema de cámaras y pilares consiste en extraer el mineral que conformaría la cámara; los soportes que sostienen los espacios vacíos se denominan pilares.

En la minería a cielo abierto, el transporte interno del mineral se hará por la combinación de cargador- volqueta, para posteriormente descargar la ilmenita en un centro de acopio o patio de almacenamiento.

En la minería subterránea se usarían los siguientes servicios:

Transporte. - Vagonetas jaladas por malacate, desde el interior de la mina hasta descargar el mineral en las tolvas de almacenamiento.

Ventilación. - Se usarían ventiladores principales y auxiliares, para mantener la cantidad de oxígeno exigido por los decretos correspondientes del Ministerio de Minas.

Iluminación. - Ésta se haría por medio de baterías personales recargables.

Desagüe. - Se haría a través de motobombas con piscinas de recolección y tratamiento de aguas y desechos.

Sostenimiento. - Como los respaldos de las mineralizaciones son competentes, los respaldos serán casi nulos y únicamente se utilizarían en zonas de fallas o de diaclasas.

Arranque. - El arranque del mineral se deberá hacer con explosivos.

El proyecto contempla únicamente los costos necesarios para explotar el mineral y posterior venta en boca mina; por consiguiente, la empresa o empresas que lo compren, cargarán con los costos de transporte, fletes, impuestos y demás ítems para su venta en el país o en el exterior.

Dentro del proyecto únicamente se contemplan costos para la minería a cielo abierto, sistema a emplear hasta cuando las condiciones técnicas, financieras y de mercados lo permitan.

### 3.2.2 POTENCIAL MINERO.

El potencial de ilmenitas en la Sierra Nevada de Santa Marta es alto ya que existen en otros sectores dentro de la sierra, rocas similares a las reportadas en el sector de Don Diego (anortositas y rodados de magnetita) que hacen pensar en su presencia, pero es necesario realizar estudios encaminados a su localización y caracterización.

En el sector de Don Diego, los recursos mineros se han estimado en cerca de 4 millones de toneladas. Considerando una explotación inicial mensual de 24.000 toneladas, se tendría mineral por más de 150 años; sin embargo, dicha producción se podría duplicar, dependiendo del mercado a nivel mundial.

### 3.2.3 DURACIÓN DEL PROYECTO.

Para el manejo de algunas variables financieras, se tiene pensado para el proyecto una duración inicial de 20 años; sin embargo, las reservas de mineral dan para más de 150 años con una explotación de 2.000 ton/mes; obviamente, si se duplica la producción, se reduciría a la mitad su vida útil y de igual manera si el mercado no es lo suficientemente atractivo, se podría cambiar la duración del proyecto.

### 3.2.4 MAQUINARIA Y EQUIPOS

Cantidad	M Y E
1	Planta eléctrica
1	Motobomba
1	Compresor
1	Ventilador
1	Malacate
3	Vagonetas
10	Lámparas portátiles
1	Cargador de baterías

### 3.2.5 INFRAESTRUCTURA

Cantidad	Referencia
1	Campamento
1	Almacén y taller
1	Centro de acopio
1	Vía de acceso

**3.2.6 MANO DE OBRA**

Cantidad	M.O
1	Geólogo
1	Ingeniero de minas
1	Tecnólogo de minas
1	Secretaria
1	Almacenista
1	Administrador
1	Perforador
1	Ayudante
1	Cargador coche
1	Malacatero

**3.2.7 ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS**

Cantidad	A y H.
2.000 m	Mangueras para compresor
2.000 m	Mangueras para ventilador
20	Palas
20	Picas y herramientas
500 m	Tubería para desagüe
Global	Explosivos
Global	Repuestos varios

**3.2.8 ELEMENTOS DE DOTACIÓN**

Cantidad	Elemento
20	Cascos
60	Botas
60	Overoles
120	Guantes
1.500	Mascarillas

**4 EVALUACIÓN FINANCIERA****4.1 INVERSIONES**

La maquinaria y equipos se discriminarán más adelante, en el numeral 4.2.2. como costos.

Activos fijos:      Terrenos      \$20.000.000  
                                  Maquinaria y equipos      \$70.000.000

Activos diferidos:

Gastos preoperacionales      \$180.000.000

Capital de trabajo:      \$100.000.000

**4.1.1 CAPITAL DE OPERACIONES**

(En pesos constantes en el momento cero)

Ventas      \$ 180.000.000

Costos de producción y ventas :

Materiales      \$20.000.000  
 Mano de obra      \$90.000.000  
 Otros gastos      \$12.000.000

Gastos de administración y ventas

Personal      \$ 5.000.000  
 Otros gastos      \$ 1.000.000

#### FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.

El 70% de los activos fijos serán financiados mediante préstamo concedido por una institución bancaria con una tasa nominal del 31% anual, correspondiente a una tasa efectiva anual del 35.80%, en cinco cuotas iguales sobre saldos; el préstamo se recibe en el año uno; esta tasa de interés es la que ofrece el sector financiero en este momento.

La maquinaria se deprecia a 10 años en línea recta y los terrenos sufren un agotamiento a 20 años.

La tasa de impuestos de la empresa es del 35% anual, con un anticipo tributario del 75% y se recupera a los dos años de su causalidad.

Para el año de corte (año 6) los terrenos se venderán por el 100% de su valor en libros, la maquinaria y equipos por un 80% y el capital de trabajo reajustado se liquida por un 80% de su valor final

Los dividendos distribuirán como máximo la utilidad neta liquidada cada año.

#### 4.1.2 CRONOGRAMA DE INVERSIONES.

La inversión se hará básicamente en el primer año, como se muestra en los datos generales del análisis financiero del proyecto.

## 4.2 ANÁLISIS FINANCIERO

### 4.2.1 ESTADO DE FLUJO DE CAJA.

Con base en el análisis de costos, se hará una proyección de los flujos de fondos para cinco años, teniendo en cuenta las variables endógenas que afectan el proyecto, por lo tanto, se permite determinar el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno; estas dos razones, que son las más utilizadas y tiene un alto grado de confianza, permiten determinar la viabilidad del proyecto.

El proyecto, en su primera etapa, tendrá una vida de 20 años; sin embargo, se hace un flujo de caja a cinco años para ver su comportamiento, teniendo en cuenta un incremento en las ventas del 20% anual para los dos primeros años y del 18% para los tres restantes (de acuerdo con el comportamiento histórico en los últimos 3 años en el país y la inflación proyectada por el DANE).

### 4.2.2 VENTAS.

Los ingresos están dados por la venta de ilmenita. En el primer año se tiene calculado un ingreso por \$180'000.000, con un promedio en ingresos mensuales de \$21'600.000 por la venta directa de ilmenita sin ningún tipo de beneficio, llámese esponja, concentrado o dióxido.

#### 4.2.3 COSTOS.

En este proyecto se encuentran costos fijos incrementales, como son los impuestos al patrimonio, y costos variables incrementales, que se presentan cuando se aumenta la producción y el impuesto a la renta al subir el precio. En otros casos se pueden presentar los llamados costos muertos; en el proyecto se han determinado los costos según las necesidades y la

magnitud del mismo; es así que se determinaron teniendo en cuenta los precios ofrecidos para 1997 y según los rubros como son : costos de activos fijos, activos diferidos, costos de capital, costo de producción y ventas y los costos de administración y ventas. Estos rubros mencionados se afectarán en los años de duración del proyecto por el índice de precios al consumidor que reporta el DANE.

#### MAQUINARIA Y EQUIPOS

	CANTIDAD	VAL. UNITARIO	VAL.TOTAL
Planta eléctrica	1	\$20'000.000	\$20'000.000
Motobomba	1	\$10'000.000	\$10'000.000
Compresor	1	\$10'000.000	\$10'000.000
Ventilador	1	\$15'000.000	\$15'000.000
Malacate	1	\$10'000.000	\$10'000.000
Vagonetas	4	\$ 500.000	\$ 2'000.000
Lámparas portátiles	10	\$ 1'000.000	\$10'000.000
Cargador de baterías	1	\$ 1'000.000	\$ 1'000.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$78'000.000</b>

#### INFRAESTRUCTURA

Campamento	\$30'000.000
Almacén y taller	\$30'000.000
Centro de acopio	\$20'000.000
Vía de acceso	\$60'000.000
Otros	\$10'000.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$150'000.000</b>

MANO DE OBRA PRIMER AÑO

El valor de la mano de obra se incrementa en el índice de inflación.

	VALOR MES	VALOR ANUAL
Geólogo	\$1'500.000	\$18'000.000
Ingeniero de minas	\$1'000.000	\$12'000.000
Tecnólogo de minas	\$ 500.000	\$ 6'000.000
Secretaria	\$ 500.000	\$ 6'000.000
Almacenista	\$ 500.000	\$ 6'000.000
Administrador	\$ 500.000	\$ 6'000.000
Perforador	\$ 500.000	\$ 6'000.000
Ayudante	\$ 400.000	\$ 4'800.000
Cargador coche	\$ 434.000	\$ 5'200.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$5'834.000</b>	<b>\$70'000.000</b>

ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS

	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
Mangueras para compresor	2.000	2.000	\$4'000.000
Mangueras para ventilador	2.000	500	\$1'000.000
Palas y picas	50	20.000	\$1'000.000
Herramientas			\$1'000.000
Tubería para desagüe	500	2.000	\$1'000.000
Explosivos	Global		\$10'000.000
Repuestos varios	Global		\$2'000.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$20'000.000</b>

## ELEMENTOS DE DOTACIÓN EN EL AÑO

	C/TIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Cascos	20	50.000	\$1'000.000
Botas	60	50.000	\$3'000.000
Overoles	60	100.000	\$6'000.000
Guantes	100	10'000	\$1'000.000
Mascarillas	100	10'000	\$1'000.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$12'000.000</b>

### 4.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

#### 4.3.1 TASA INTERNA DE RETORNO

El proyecto tienen una tasa interna de retorno del 41,00% . En consecuencia es la tasa de interés que produce un valor presente igual a cero. Esto quiere decir, que los dineros que se mantienen invertidos en el proyecto rentan un 41,00 por ciento de interés anual, que es igual a la tasa de rentabilidad.

Si se tiene en cuenta que hoy en día una Corporación paga al rededor de un 31,0% anual, el proyecto es rentable.

#### 4.3.2 VALOR PRESENTE NETO.

\$26'170.000.00 representan las ganancias extraordinarias que genera el proyecto, esto es, lo que debe pagar para que se lo ceda;

en caso de que fuese negativo, representa lo que cuesta comprometerse en el proyecto o lo que se está dispuestos a pagar para que otro lo lleve a cabo en su lugar.

#### 4.3.3 RELACIÓN BENEFICIO / COSTO = 819,91/ 577,59 = 1,4195

La relación beneficio/costo es una función de la tasa de interés que se emplea en los cálculos VPN de los ingresos y egresos, de tal manera que al calcular este índice con propósitos decisorios, es necesario utilizar la tasa de oportunidad; este resultado significa que al evaluar durante cinco años el proyecto, por cada peso que se invirtió genera una utilidad de veintinueve centavos.

#### 4.3.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

En el proyecto se modificó la variable significativa ventas en un 15% por menor

valor, con lo cual arrojó una tasa interna de retorno del 28% y un valor presente neto de 36 millones; teniendo en cuenta estos datos con los de la evaluación financiera, indica que si las ventas se disminuyen en

una cuantía superior al 15% el proyecto dejaría de ser atractivo y, por lo tanto, sería necesario ampliar el horizonte del proyecto a unos 10 años para determinar su viabilidad.

## ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO (Cifras en millones de pesos)

Leopoldo González Oviedo

### I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO (PRECIOS CORRIENTES)

1.1 Variables Económicas	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Inflación	18%	18%	18%	18%	18%	18%
Índice de Inflación	1,180	1,392	1,643	1,939	2,288	2,700
Tasa de Impuestos de Renta	0	35%	35%	35%	35%	35%
Tasa de Anticipo Tributario	0	75%	75%	75%	75%	75%
Tasa de descuento a Pktes	12%	12%	12%	12%	12%	12%
Tasa de Descuento a Pctes	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%
Índice de descuento, Pktes						
Índice de descuento, PCtes						

### 1.2 INVERSIONES DEL PROYECTO

(\$ Millones Corrientes)	AÑO 1
Terrenos	-20,00
Maquinaria y equipos	-70,00
Capital de trabajo	-150,00
Gastos preoperacionales	-10,00
Gastos preoperacionales (Costos muertos)	-3,00

### 1.3 DATOS OPERACIONALES DEL PROYECTO

Costos de producción \$ millones Ctes	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Materiales	-10,00	-13,92	-16,43	-19,39	-22,88	-27,00
Mano de Obra	-70,00	-97,47	-115,01	-135,71	-160,14	-188,97
Otros gastos	-5,00	-6,96	-8,22	-9,69	-11,44	-13,50
Depreciación de la maquinaria		-8,26	-9,75	-11,50	-13,57	-16,01
Amortización de diferidos	13,00	-3,07	-3,62	-4,27	-5,04	-5,95
Otros monetarios		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gastos de Administración						
<u>Y Ventas (\$millones Ctes)</u>						
Personal	-12,00	-16,71	-19,72	-23,27	-27,45	-32,39
Otros gastos	-5,00	-6,96	-8,22	-9,69	-11,44	-13,50
<u>Ingresos por ventas(\$millones Ctes)</u>	180,00	250,63	295,75	348,98	411,80	485,92

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
<u>Depreciación de Activos(años)</u>						
Terrenos	0,00					
Maquinaria y equipos	10,00					
<u>Amortización de Activos diferidos(años)</u>						
Gastos preoperacionales						
<u>Valor de salvamento(% de valor final,PKtes)</u>						
Terrenos						100%
Maquinaria y equipo						80%
Capital de trabajo						90%
Activos Diferidos		30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	0%
Rendimientos, inversiones temporales, PCorrientes		30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%

**II. CÁLCULO DEL PRÉSTAMO:**

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
<u>Préstamo de activos fijos a \$ millones corrientes</u>						
Tasa nominal						31%
Capitalizaciones						
Tasa efectiva anual	0,358	0,358	0,358	0,358	0,358	0,358
% financiado, maquinaria	70%					
Plazo(años)	5					
Préstamo recibido(\$ millones corrientes)	63,00					
Cuota de servicio de deuda de préstamo		-28,79	-28,79	-28,79	-28,79	-28,79
Amortización a capital		-6,23	-8,46	-11,49	-15,61	-21,20
Intereses		-22,55	-20,32	-17,29	-13,18	-7,59
Saldo de la deuda	63,00	56,77	48,30	36,81	21,20	0,00

**III. CÁLCULO DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIÓN DIFERIDOS; VALORES SALVAMENTO (\$MILLONES CORRIENTES)**

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
<b>ACTIVOS</b>						
Maquinaria y equipos	70,00	82,60	97,47	115,01	135,71	160,14
Depreciación/año		-8,26	-9,75	-11,50	-13,57	-16,01
Depreciación acumulada		-8,26	-19,49	-34,50	-54,29	-80,07
Maquinaria y equipos,valor neto	70,00	74,34	77,97	80,51	81,43	80,07
Valor de venta de maquinaria						64,06
Utilidad en venta de maquinaria						-16,01
<b>Terrenos,valor neto</b>	20,00	23,60	27,85	32,86	38,78	45,76
Valor venta de terrenos						45,76
Utilidad en venta de terrenos						0,00

Capital trabajo,valor reajustado	150,00	177,00	208,86	246,45	290,82	343,16
Valor de venta de capital de trabajo						308,85
Valor utilidad(pérdida)en venta de capital de trabajo						-34,32
Valor total de venta de activos						418,66
Utilidad total de activos						-50,33
Activos diferidos	13,00	15,34	18,10	21,36	25,20	29,74
Amortización/año		-3,07	-3,62	-4,27	-5,04	-5,95
Amortización acumulada		-3,07	-7,24	-12,82	-20,16	-29,74
Activos diferidos,valor neto	13,00	12,27	10,86	8,54	5,04	0,00
Depreciación total acumulada	0,00	8,26	19,49	34,50	54,29	80,07
Amortización acumulada	0,00	3,07	7,24	12,82	20,16	29,74

**IV. CUENTA DE CORRECCIÓN MONETARIA:+HABER= > UTILIDAD.-DEBE= >PÉRDIDA(\$MM CTES)**

Terrenos	3,60	4,25	5,01	5,91	6,98
Inversión fija(maquinaria y equipos)	14,00	16,52	19,49	23,00	27,14
Activos diferidos	0,61	0,72	0,85	1,01	1,19
Depreciación acumulada	0,00	1,49	-3,51	-6,21	-9,77
Amortización acumulada	0,00	-0,83	-1,96	-3,48	-5,47
Revalorización del patrimonio	-34,20	-40,36	-50,77	-60,12	-70,60
Ganancia(pérdida)inflacionaria,PCtes	-15,99	-21,18	-30,88	-39,88	-50,53

**V. CÁLCULO IMPUESTOS Y ANTICIPO TRIBUTARIO,\$ MM. CTES DESPUÉS DEL FINANCIAMIENTO**

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Ingresos del proyecto		250,63	295,75	348,98	411,80	485,92
Ventas de productos						
Deducir costos de producción		-13,92	-16,43	-19,39	-22,88	-27,00
Materia prima		-97,47	-115,01	-135,71	-160,14	-188,97
Mano de obra		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros gastos		-8,26	-9,75	-11,50	-13,57	-16,01
Depreciación maquinaria y equipos		-3,07	-3,62	-4,27	-5,04	-5,95
Amortización de activos diferidos		127,91	150,94	178,10	210,16	247,99
Utilidad bruta						
Deducir gastos de administración y ventas		-16,71	-19,72	-23,27	-27,45	-32,39
Personal		-6,96	-8,22	-9,69	-11,44	-13,50
Otros gastos		-23,67	-27,93	-32,96	-38,89	-45,89
Total gastos de administración y ventas						

	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Utilidad operacional	104,24	123,00	145,15	171,27	202,10
Utilidad en venta de activos	-50,33				
Intereses préstamo activos fijos	-22,55	-20,32	-17,29	-13,18	-7,59
Intereses préstamo capital de trabajo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>VI. CÁLCULO IMPUESTOS Y ANTICIPO TRIBUTARIO \$ MM</b>					
Agregar rendimientos financieros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad antes de impuestos e inflación	81,69	102,68	127,85	158,09	144,18
Agregar (deducir) Corrección monetaria	-15,99	-21,18	-30,88	-39,88	-50,53
Utilidad antes de impuestos	65,70	81,50	96,97	118,21	93,65
Impuestos de renta causados	23,00	28,52	33,94	41,38	32,78
Anticipo tributario causado	17,25	21,39	25,46	31,03	24,58
Total impuesto causado	40,24	49,92	59,40	72,41	57,36
Total impuesto pagado (para flujo de fondos)		-40,24	-49,92	-59,40	-72,41
Total recuperación de anticipo tributario(=>flujo fondos)			17,25	21,39	25,46
Utilidad neta del proyecto	42,71	52,97	63,03	76,84	60,87
Dividendos distribuidos	59,78	35,48	61,87	78,73	1,72
Utilidades netas retenidas / período		17,49	1,17	-1,89	59,16
Utilidades netas retenidas acumuladas		17,49	18,66	16,76	75,92
<b>VII. ESTADO DE CAJA \$ MILLONES CORRIENTES, CON FINANCIAMIENTO Y DESPUÉS IMPUESTOS</b>					
<b>1. INGRESOS</b>					
1.1 Ingresos operacionales					
Ventas de productos	250,63	295,75	348,98	411,80	485,92
1.2 Otros ingresos					
Recuperación anticipo tributario	0	0	17,25	21,39	25,46
Valor de salvamento de activos					418,66
Valor de salvamento de activos financieros	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Rendimientos financieros	0	0,00	17,25	21,39	444,11
Subtotal otros ingresos			366,23	433,19	930,03
<b>1 TOTAL INGRESOS</b>	<b>250,63</b>	<b>295,75</b>	<b>366,23</b>	<b>433,19</b>	<b>930,03</b>
<b>2. EGRESOS</b>					
2.1 Egresos operacionales					
Costos de producción	111,39	131,44	155,10	183,02	215,96
Gastos de administración y ventas	23,67	27,93	32,96	38,89	45,89
Recuperación poder adquisitivo capital trabajo	27,00	31,86	37,59	44,36	52,35
Total Egresos operacionales	162,06	191,23	225,65	266,27	314,20
2.2 Otros egresos					

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Inversiones						
Terrenos	20,00					
Maquinaria y equipos	70,00					
Capital de trabajo	150,00					
Activos diferidos	10,00					
Total inversiones	250,00					
Otros egresos	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Impuestos	0,00	0,00	40,24	49,92	59,40	72,41
Subtotal otros egresos	0,00	0,00	40,24	49,92	59,40	72,41
2 TOTAL EGRESOS	250,00	162,06	231,48	275,57	325,67	386,61
3 Superavit (déficit)/período	250,00	88,57	64,27	90,65	107,52	543,42
Agregar caja inicial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 SALDO FINAL CAJA SIN FINANCIAMIENTO	250,00	88,57	64,27	90,65	107,52	543,42
	-250	88,57	64,27	90,65	107,52	543,42

**VIII. ESTADO DE CAJA \$ MILLONES CORRIENTES**

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
5 AGREGAR (DEDUCIR) FINANCIAMIENTO NETO	250,00	-28,79	-28,79	-28,79	-28,79	-28,79
Agregar aporte de capital	187,00					
Agregar préstamo activo fijo	63,00					
Agregar préstamo capital trabajo						
Deducir amortización préstamo activos fijos	-6,23	-6,23	-8,46	-11,49	-15,61	-21,20
Deducir amortización préstamo capital trabajo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deducir intereses préstamo activos fijos	-22,55	-22,55	-20,32	-17,29	-13,18	-7,59
Deducir intereses préstamo capital trabajo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6 SALDO FINAL, CAJA CON FINANCIAMIENTO	0,00	59,78	35,48	61,87	78,73	514,64
Deducir distribución dividendos	0,00	59,78	35,48	61,87	78,73	1,72
Deducir inversiones temporales/período	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7 SALDO NETO DE CAJA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	512,92
Total inversiones temporales acumuladas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**IX. BALANCE GENERAL PROYECTO; \$ MILLONES CORRIENTES, DESPUÉS DE FINANCIAMIENTO E IMPUESTOS:**

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
I. ACTIVOS CORRIENTES						
Saldo de caja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	512,92
Capital de trabajo	150,00	177,00	208,86	246,45	290,82	0,00
Anticipo tributario	0,00	17,25	21,39	25,46	31,03	24,58

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Inversiones temporales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de activos corrientes	150,00	194,25	230,25	271,91	321,85	537,50
<b>II. ACTIVOS FIJOS</b>						
Terrenos, Vr. neto	20,00	23,60	27,85	32,86	38,78	0,00
Maquinaria y equipos, Vr. neto	70,00	82,60	97,47	115,01	135,71	0,00
Total de activos fijos	90,00	106,20	125,32	147,87	174,49	0,00
<b>III. OTROS ACTIVOS</b>						
Activos diferidos, valor neto	12,27	10,86	8,54	5,04	0,00	AÑO 6
Total otros activos		12,27	10,86	8,54	5,04	0,00
<b>TOTAL ACTIVOS</b>	240,00	312,72	366,43	428,33	501,38	537,51
<b>X. BALANCE GENERAL PROYECTO; \$ MILLONES CORRIENTES, DESPUÉS FINANCIAMIENTO E IMPUESTOS:</b>						
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
<b>PASIVOS</b>						
<b>I. PASIVOS CORRIENTES</b>						
Préstamo activos fijos, parte corriente	6,23	8,46	11,49	15,61	21,20	0,00
Préstamo capital trabajo, parte corriente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Impuestos por pagar	0,00	40,24	49,92	59,40	72,41	57,36
Total pasivos corrientes	6,23	48,70	61,41	75,01	93,61	57,36
<b>II. PASIVOS NO CORRIENTES</b>						
Préstamo activo fijo, parte no corriente	56,77	48,30	36,81	21,20	0,00	0,00
Préstamo capital trabajo, no corriente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total pasivos no corrientes	56,77	48,30	36,81	21,20	0,00	0,00
<b>TOTAL PASIVOS PATRIMONIO</b>	63,00	97,00	98,22	96,21	93,61	57,36
Capital social	187,00	187,00	187,00	187,00	187,00	187,00
Capital preoperacional	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Utilidades retenidas acumuladas	0	0,00	17,49	18,66	16,76	75,92
Revalorización del patrimonio	0	34,20	74,56	125,32	185,44	256,04
Anticipo tributario a recuperar						
<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	190	224,2	282,05	333,98	392,20	521,96
<b>TOTAL PASIVO + PATRIMONIO</b>	253,00	321,21	380,27	430,18	485,81	579,32

## 5. ESTUDIO DE IMPACTO

### 5.1 ASPECTOS GENERALES

#### 5.1.1 CLIMÁTICOS.

La Sierra Nevada es la mayor y casi única discontinuidad orográfica de la llanura del Caribe que se presenta al norte del país, y representa un obstáculo a los vientos zonales; se encuentran altitudes desde el nivel del mar, hasta 5.775 msnm (Pico Colón) que abarcan todos los pisos térmicos, desde tierra caliente hasta nieves perpetuas.

El sector montañoso estudiado de la sierra se localiza entre los 400-750 msnm y está caracterizado por un bosque semidicuo tropical (Pérez, 1984) en el que se han desarrollado la ganadería y cultivos como el cacao, yuca y plátano. Presenta una temperatura promedio de 24°C.

Respecto a la precipitación pluviométrica, al ser la Sierra Nevada un obstáculo para los vientos alisios que soplan del noreste principalmente, los flancos norte (área de estudio) y noreste quedan en posición de barlovento presentan una mayor nubosidad y una mayor pluviometría, y alcanzan valores de 2.500 mm, aproximadamente (Pérez, 1984). Esto ocasiona que la parte norte se caracterice por la abundancia de aguas superficiales. Entre los ríos principales se destacan el Buritaca, Palomino, Don

Diego y Don Dieguito, los cuales poseen numerosas quebradas como afluentes.

#### 5.1.2 GEOMORFOLÓGICOS.

Según Bartels (1984), en la Sierra Nevada no se observan variaciones esenciales de los elementos morfológicos, explicables como consecuencia del clima, desde 2.500 msnm hasta el nivel del mar; por esta razón, el relieve de los pisos inferiores (área del estudio) consta de crestas determinadas por la litología.

En la zona de estudio, las rocas plutónicas presentan una morfología de cerros redondeados con pendientes entre 10° y 30° con desarrollo de un perfil de meteorización profundo. Las rocas metamórficas poseen una morfología más pronunciada (20°-60°), y en algunos casos hasta 70° (neises anortosíticos), y conforman cuchillas alargadas y estrechas.

En el piedemonte, el contraste topográfico es brusco; en pocos metros se pasa de pendientes entre 35° - 40° a zonas planas o de depósitos litorales con pendientes máximas de 5°. Bartels (1984, p. 126) indica que todo este conjunto de geoformas nació en el Cuaternario tardío y en la actualidad continúa formándose, y que la morfogénesis sucedió aproximadamente en la misma altura en donde se sucede hoy en día. Actualmente, por efectos de la colonización en las cuencas de los ríos Don Diego y Don

Dieguito se observa la vegetación natural degradada por el hombre y con frecuencia está completamente desforestada y transformada en rastrojos y praderas, lo que contribuye a un acelerado proceso de erosión, con el desarrollo de movimientos en masa que han ido remodelando el paisaje rápidamente.

Afortunadamente, en gran parte del sector se conserva el bosque primario por estar el área ubicada dentro de la reserva indígena, aunque existen algunos sitios que han sido colonizados con las consecuencias anteriormente mencionadas.

### 5.1.3 GEOLÓGICOS.

En el sector afloran rocas metamórficas e ígneas intrusivas, cubiertas en algunos sitios por depósitos cuaternarios tanto de origen aluvial como de gravedad. Las rocas metamórficas han sido datadas del Precámbrico y están representadas por la Granulita de Los Mangos y por la Anortosita de Don Dieguito.

Las rocas ígneas intrusivas están compuestas por diques de composición gabroide como noritas, dioritas, oligoclasitas o anortositas y por el Plutón de Buritaca. Las noritas están relacionadas con la Anortosita de Don Dieguito y las dioritas probablemente corresponden a eventos magmáticos paleocenos identificados en la Sierra Nevada por los plutones de Latal y Toribio.

Las oligoclasitas o anortositas presentan inconvenientes en su ubicación en el tiempo, y su correlación con otras rocas intrusivas no es clara. El Plutón de Buritaca de edad terciaria (Eoceno) está compuesto por rocas de composición intermedia (cuarzodioritas).

## 5.2 ACTIVIDAD MINERA INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS

No hay actividad minera en el sector de Don Diego (se exceptúan algunas labores esporádicas de arenas negras en la zona de playa). La ilmenita sería el primer mineral a extraer en la zona; la actividad minera estaría limitada principalmente al mercado internacional y en menor escala al nacional donde estas explotaciones de ilmenita tendrían buenas proyecciones en un futuro.

En lo que respecta a servicios, no se cuenta con distribución de energía, ni con acueducto y mucho menos con alcantarillado; la energía tendría que traerse de la red principal que va paralela a la troncal del Caribe; o comprar una planta eléctrica.

Desde el punto de vista de la infraestructura vial, la zona no cuenta con carretables hacia donde sería el sitio de la mina; sólo cuenta con algunos senderos que son utilizados por los campesinos y los indígenas del área.

Con relación a la minería, una característica de estas explotaciones es su ubicación en zonas de falla, que facilitan su extracción por el grado de fracturamiento de las rocas. Este mismo hecho hace que los buzamientos varíen fuertemente en sectores cercanos; pueden variar dentro de un mismo frente en caso de llevarse a cabo explotaciones por frentes en el futuro.

### 5.3 MEDIO AMBIENTE FÍSICO

#### 5.3.1 RECURSO AGUA.

Las principales fuentes de agua superficial son los ríos Don Diego, Don Dieguito, Palomino, Buritaca y la quebrada del Hierro e infinidad de quebradas y riachuelos que vierten sus aguas a estos ríos. En general hay mucha disponibilidad del recurso, no sólo en el sector del estudio sino en toda la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el área donde se ubicaría la explotación presenta un patrón dendrítico a subdendrítico de densidad alta a media, cuyo principal cuerpo de agua lo constituyen los ríos Don Diego y Don Dieguito. Estos ríos presentan flujo permanente durante todo el año e incrementan sustancialmente su caudal durante las épocas de invierno.

#### 5.3.2 RECURSO SUELO.

En el área de estudio se encuentran suelos muy fértiles, originados a partir de la meteorización de las rocas ígneas y metamórficas aflorantes principalmente en el área y en menor grado por calizas; la erosión actual es baja y llega a ser moderada en zonas que por las continuas quemadas realizadas por los colonos generan estos fenómenos. (IGAC - ORSTOM, 1984).

### 5.4 IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE FÍSICO.

En un medio donde los suelos son fácilmente afectables, el resultado de las explotaciones genera procesos erosivos que cubren alrededor del 8%, que podrían llegar a graves; por consiguiente, la minería tendría que realizarse conjuntamente con planes de mitigación y de rehabilitación ambiental realizados por firmas especializadas.

Con respecto al impacto sobre el recurso aire, los niveles de contaminantes y partículas en suspensión que se presentarían en la atmósfera, producto de la explotación, podrían ser molestos en áreas aledañas; por consiguiente se tendrían que tomar medidas correctivas desde un comienzo de la explotación. En el decreto 02 de 1982 y 948 de 1995 se establecen los niveles máximos permisibles, que en el caso de la Sierra Nevada difícilmente superararían dichos niveles.

El impacto sobre el recurso hídrico se ocasiona, entre otros, por factores tales como: deforestación, cortes desiguales en la superficie del terreno, presencia de maquinaria pesada, probable desarrollo de fenómenos erosivos, modificación y pérdida del suelo e inestabilidad del mismo, pérdida de nutrientes y arrastre de sedimentos. Este impacto no sería de gran magnitud en las zonas de suelos poco evolucionados.

Algunas mediciones realizadas en el área contienen valores promedios de contenidos de nutrientes, encontrados en suelos de la misma categoría.

## 5.5 MEDIO AMBIENTE BIÓTICO

### 5.5.1 FLORA.

La zona de estudio, según la clasificación de Holdridge, corresponde al bosque húmedo montano, y se encuentra densamente poblada por árboles y arbustos. La vegetación nativa está parcialmente intervenida sobre todo en las partes bajas, y han desaparecido varias especies vegetales.

Actualmente, este sector presenta hacia las partes bajas y planas, principalmente, una vegetación natural que está siendo reemplazada por especies foráneas o combinada con cultivos de plátano, maíz y yuca; a medida que se asciende hacia la sierra, la vegetación natural va tomando importancia.

### 5.5.2 FAUNA.

La fauna representativa de la zona está ligada a las asociaciones vegetales existentes y de ellas depende. Se observan insectos, aves y algunos mamíferos domésticos; las especies de fauna silvestre se conservan gracias a las asociaciones vegetales existentes; de igual manera en cercanías del bosque nativo se aprecian visual y auditivamente insectos y aves.

## 5.6 IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE BIÓTICO.

La actividad minera podría reemplazar la vegetación natural por vegetación exótica, ocasionar disminución de la biótica existente, y modificar sus hábitats y con la alteración el ecosistema.

El principal impacto se le adjudicaría a la pérdida de cobertura vegetal, desplazamiento de fauna, alteración de ecosistemas naturales y la rápida aparición de extensas zonas deforestadas, donde se perdería la estructura del suelo y se crearía un escenario propicio para la generación de procesos erosivos y de inestabilización del suelo.

El índice de biodiversidad muestra una tasa del 5% de afectación de especies florísticas y faunísticas únicas o endémicas, propias de la zona. Este valor se puede considerar bajo, teniendo en cuenta las actuales condiciones del ambiente.

Otro impacto a considerar es el que se produciría en el sector de explotación, debido a las descargas directas de agua sin tratar a los ríos, lo cual podría ocasionar contaminación de las aguas y disminución de la fauna y flora acuáticas existentes.

Como impacto positivo se menciona la creciente conciencia ambiental de protección de la naturaleza y sus recursos. La alteración que en alguna época anterior se presentaba como consecuencia de las explotaciones mineras, actualmente se contrasta con un claro ejemplo de recuperación vegetal y faunística.

## 5.7 MEDIO AMBIENTE SOCIO-ECONÓMICO

**Demografía y población.** En el sector de Don Diego se encuentran algunos núcleos humanos ubicados a lo largo de la vía Santa Marta Riohacha. El área de estudio es una zona que no es muy poblada; se presentan migraciones de otras partes del país principalmente de Santander y Antioquia, y se ha creado una mezcla de emigrantes y de indígenas.

El nivel de cubrimiento de servicios públicos es sumamente bajo, especialmente para el caso de acueducto y alcantarillado; el servicio de energía eléctrica es tomado de la red principal de la Troncal del Caribe (Santa Marta, Riohacha).

No existen vías de acceso, hay esporádicas escuelas, no hay colegios, ni puesto de salud; Santa Marta es el principal centro de todo tipo de transacciones.

### 5.7.1 ESTRUCTURA ECONÓMICA.

Aun cuando la agricultura y la ganadería constituyen las actividades económicas características de la zona, éstas se realizan en forma artesanal, a excepción de los grandes cultivos de banano en la parte plana, y constituyen las principales fuentes de ingresos; en cuanto a la minería, la información de las reservas que se tienen y el potencial explotable hacen suponer que habría continuidad en esta actividad por varios años.

### 5.7.2 ACTITUD DE LA POBLACIÓN HACIA LAS EXPLOTACIONES.

El área exhibe una vocación predominante agrícola y en menor grado ganadera. Las perspectivas de generación de empleo y de otros ingresos económicos y de rentabilidad social favorecerían el impulso de la actividad minera; sin embargo, habría que sondear el modo de pensar de sus escasos habitantes.

### 5.7.3 EMPLEO.

La continuación de la exploración en la zona, incluidas las perforaciones, genera

empleos directos e indirectos para algún personal radicado en el área de influencia. Pero si los resultados son satisfactorios como para pensar en un puerto marítimo para exportar el mineral, se creará un importante polo de desarrollo no sólo para la región, sino para el país.

Se estima en un aumento del 20% la tasa de empleo, atribuible al desarrollo minero, lo que es considerado como positivo para la dinámica económica de la región.

#### 5.7.4 SALUD.

Una explotación a gran escala conllevará de inmediato, dentro de los planes de salud ocupacional que deben tener las empresas, la construcción de centros de salud no sólo para sus empleados sino para la población que habita en sus alrededores, más, teniendo en cuenta que el proyecto se desarrollaría en un área rural, sin vías y cercana a asentamientos indígenas. De igual manera ayudará a dar soluciones oportunas a las comunidades asentadas en zonas de explotación, que pudieran correr riesgo de deslizamientos, avalanchas o inundaciones, debido a las mismas explotaciones o fenómenos naturales.

Se destaca el avance dramático de los índices de morbilidad en un 40%, adjudicado a la escasa infraestructura de servicios, para soportar los asentamientos humanos en la zona minera.

#### 5.7.5 EDUCACIÓN.

Así como con los centros de salud, un proyecto de esta naturaleza deberá contemplar la construcción de una o más escuelas, tanto para los hijos de los trabajadores de la empresa que explotaría y beneficiaría el mineral, como para los habitantes de la región.

El nivel de escolaridad se podría incrementar en un 30% con la construcción de escuelas en donde tendrían acceso no solamente los hijos de los trabajadores, sino niños del resto del área de influencia de las explotaciones.

Dentro de los efectos negativos se podrían citar algunos cambios culturales que se podrían presentar para los habitantes de la región, ya que las personas asentadas allí han vivido exclusivamente de la agricultura y algo de la ganadería y sólo para su consumo; por su ubicación geográfica son habitantes que esporádicamente tienen contacto con el mundo actual y no están contaminados por el consumismo en que vivimos; por otro lado, una explotación minera conlleva la construcción de vías que aunque generan grandes beneficios para la población, también crean la expectativa en personas de otras zonas por colonizar un área rica en fauna y flora, lo que podría generar un desequilibrio en el medio ambiente por la posible deforestación causada en una zona donde un gran porcentaje es de bosque primario.

## 5.8 ASPECTOS CULTURALES Y PAISAJÍSTICOS.

Cerca al área del proyecto se encuentra el parque Tayrona y la reserva indígena de la Sierra Nevada de Santa Marta, en donde existen grupos como los Tayronas, Ahruacos y Koguis, entre otros, así como antiguos poblados de gran valor cultural como Ciudad Perdida.

Por otra parte, la exuberancia de la Sierra Nevada de Santa Marta, unida a la diversidad de climas, la ha hecho muy atractiva a los colonos que poco a poco la han ido "invadiendo", reemplazando costumbres, cultivos y modificando la flora y la fauna, entre otros.

Cerca a la línea de costa existen extensos cultivos de banano para la exportación, los cuales cuentan con toda la infraestructura necesaria tanto para su cultivo como para su recolección, empaque y envío en contenedores al Puerto de Santa Marta.

El valor paisajístico que posee esta zona es invaluable, primero porque la Sierra Nevada de Santa Marta es la montaña más alta del mundo, tomando en cuenta que se inicia desde los cero metros en el nivel de mar hasta los 5.880 m en un ascenso continuo, a diferencia de otros grandes picos, donde primero se recorren extensas montañas para luego sí comenzar a ascender hacia la cima; esta particularidad hace que en la Sierra Nevada se encuentren todos

los pisos térmicos y, por consiguiente, gran diversidad de flora y fauna.

En segundo lugar, el paisaje que se divisa desde cualquier punto de la sierra es único por lo que cuenta con un mar hermoso hacia el norte, así como de extensas planicies cultivadas hacia el oriente y el occidente.

## 5.9 USOS DE LA TIERRA Y FORMAS DE TENENCIA.

Los suelos permiten agricultura como plátano, banano, yuca y frutas, y ganadería en las partes planas.

La forma de tenencia predominante es el minifundio, a excepción de las plantaciones de banano cerca a la playa; de resto, esta parte de la Sierra Nevada la conforman las parcelas en las cuales se desarrollan pequeños cultivos, unido a un fenómeno nuevo que son los cultivos de coca.

## 5.10 IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE SOCIO-ECONÓMICO.

Directamente, se presenta impacto positivo en la parte plana por los cultivos de banano, ya que lo anterior ha generado buena oferta de empleo y, por consiguiente, mejor nivel de vida de los habitantes del sector.

En un futuro podrían existir impacto visual, producto de la actividad extractiva e impacto positivo dado por los ingresos y las bonificaciones en dinero que recibirían los trabajadores mineros, así como al menos una vía para que puedan sacar sus productos agrícolas y que hoy en día no tienen, lo cual genera la pérdida de sus cosechas por lo costoso del transporte hacia los poblados vecinos.

### 5.11 USO DEL SUELO.

En el área de Don Diego la vocación del suelo es eminentemente agrícola; la minería no cambiaría la vocación de los habitantes del sector, ya que esta labor se desarrollaría muy localmente, y la idea no es reñir con las demás actividades de los habitantes, sino compartir y trabajar en beneficio de la región.

### 5.12 IMPACTO FINANCIERO

La realización de un proyecto minero de esta naturaleza en donde sus principales clientes son los países extranjeros como los Estados Unidos, Japón y Alemania, lleva a crear una infraestructura financiera compleja, en donde toman preponderancia todas las variables relacionadas con el comercio exterior, incluyendo entre otras los fletes, divisas, manejo de carga y conocimiento de regulaciones internacionales para cada uno de los países a donde se exporte el mineral.

A nivel local, la posible construcción de un puerto en un futuro daría un vuelco a la actividad económica de Santa Marta y, por ende, a los municipios aledaños a esta ciudad, además de cambiar la cotidianidad de los habitantes del sector, y crear un polo de desarrollo importante tanto para la región como para el país; aun si no se construye el puerto, el solo hecho de crear un tipo de actividad diferente a la agricultura, en donde se construiría al menos una vía, generaría mayores ingresos para los habitantes en donde el comercio de sus productos se haría más fácil y rápido, además de crear un polo de desarrollo a lo largo de la vía.

### 5.13 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL DESARROLLO MINERO

**VENTAJAS.** En cuanto al recurso mineral, puede anticiparse que según los cálculos, se estimaría una explotación de 1,3 millones de metros cúbicos en el área propuesta; sin embargo, se puede elevar esta cifra sustancialmente a medida que se continúen con las exploraciones en el sector norte de la Sierra Nevada, para lo cual se requeriría de diseños mineros integrados.

Es un depósito de titanio cuyas dimensiones han sido determinadas parcialmente, pero que podría constituirse en un depósito con reservas importantes.

Los afloramientos se encuentran en un área concentrada hacia la parte alta del

sector de Don Diego, lo cual favorece un diseño de manejo integral con el aprovechamiento de la topografía, y la creación de barreras visuales adecuadas. Además, geológicamente el sector presenta un buen potencial de ilmenita a corta distancia de un posible sitio de exportación, así como para el consumo doméstico.

La cercanía de la vía que conduce de Santa Marta a Riohacha, así como la posibilidad de construir un puerto de embarque, hacen muy atractiva la zona desde el punto de vista de reducción de costos en el transporte, ya que rara vez se cuenta con tan buen factor a favor, como es el de poder exportar el mineral directamente desde muy cerca al sitio de extracción.

La abundancia de fuentes de agua hacen a la zona también muy atractiva para las labores mineras.

La minería en dicha zona apenas comenzaría, lo cual favorece un buen planeamiento minero a mediano y largo plazo.

La existencia de recursos minerales como el titanio podría constituirse en fuente de empleo para las personas que laborarían en la mina, así como a un buen número de personas que directa o indirectamente se beneficiarían de ello.

La facilidad en la consecución de servicios, como electricidad y agua, distancias rela-

tivamente cortas al posible puerto de embarque, así como la poca concentración, de la población facilitan la organización de las labores mineras.

DESVENTAJAS. El agua, como se describió anteriormente, es un recurso a evaluar para el desarrollo de explotaciones, así como las limitantes espaciales que tiene la industria dentro de la misma zona por el desarrollo urbano.

Las explotaciones mineras se incrementarían debido al inicio de esta actividad lo cual hace que se imite el ejemplo por parte de otras empresas o particulares, y se crea posibles daños al ecosistema; lo anterior generaría mayores controles por parte de las autoridades hacia los explotadores.

Carencia de servicios de acueducto, alcantarillado y servicio de energía en zonas cercanas al posible sitio de explotación.

Por la fragilidad de la zona para los procesos erosivos, la minería puede afectarla, y generar fenómenos de erosión.

En este momento las tierras son utilizadas para la agricultura, por tanto, habría que evaluar este aspecto, en caso de contemplar la alternativa de zona para la explotación de minerales.

El área de estudio, en parte, se encuentra en zona de reserva indígena, hoy en día

sometida a recientes legislaciones que restringen la actividad minera.

## 6. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de la rentabilidad, el proyecto es atractivo, como se puede ver en el capítulo de evaluación financiera; dado que la tasa interna de retorno es del 41.00% y teniendo en cuenta que la tasa de oportunidad del mercado está en un 21% en promedio, sin ajustarla al riesgo, con un valor presente neto positivo (21 millones) y una relación beneficio/costo mayor a uno (1,47), el proyecto es viable en las condiciones expuestas en este trabajo. Además, por la población que beneficiará, ya sea directamente (personas o empresas que tienen que ver con recursos minerales) o indirectamente con las comunidades asentadas en las zonas de explotación, el proyecto es beneficioso para el gobierno por las ayudas oportunas que se puedan dar a las comunidades, por las medidas de prevención que se puedan tomar en zonas de riesgo, por la generación de empleo y por la entrada de divisas al país por la exportación de la ilmenita.

La producción de ilmenita ha venido en aumento como lo demuestran las estadísticas : para 1950, 271 ton; para 1960, 413 ton; para 1970, 594 ton; para 1980, 660 ton y para 1990, 979 ton; de igual forma,

ha habido un incremento constante para la escoria de titanio, el dióxido de titanio y la esponja de titanio; según expertos en el tema, consideran que el uso del titanio continuará en aumento por sus múltiples aplicaciones que tiene y a que cada día se le descubren nuevos usos.

Los mayores productores de ilmenita a nivel mundial son en su orden: Australia, Canadá, Sudáfrica, Noruega, Malasia, Rusia, India, USA, China, Brasil y Sri Lanka, con una producción de 4'260.000 toneladas para 1993; por su parte, los mayores productores de escoria de titanio son Canadá, Sudáfrica y Noruega y de esponja de titanio, USA, Japón, Reino Unido y antigua URSS.

En Colombia, su mercado se limita al uso en pinturas y en aleaciones, principalmente, y por consiguiente, el mercado del titanio es hacia el extranjero, a países como los Estados Unidos, Japón y Alemania.

La mineralización primaria de ilmenita-magnetita-apatito es el producto de un proceso de segregación magmática, posiblemente a partir de un magma anortosítico, que en la fase final del proceso de diferenciación expulsó un silicato fundido residual rico en magnetita-apatito. La mineralización primaria se presenta en dos formas: diseminada en una norita, como diques que evidencian su inyección secundaria, y como bolsones o bandas de ilmenita-magnetita-apatito,

también emplazados en este caso en una anortosita. Con base en lo anterior, se deduce que las dos fases de la mineralización primaria (la norita y la mineralización bandeada) fueron expulsadas en tiempos diferentes durante la fase final del proceso de segregación magmática, a partir de un magma madre posiblemente más profundo, seguramente con concentraciones importantes de ilmenita-magnetita-apatito.

El total de recursos inferidos en las zonas seleccionadas asciende a 1'164.000 m<sup>3</sup> que con una densidad de 4,1 corresponden a 3'710.000 toneladas de ilmenita; sin embargo, el volúmen puede ser significativamente mayor si se comprueba una mayor continuidad en profundidad, para lo cual sería necesario perforar.

De las zonas en que se dividió el área de estudio, la A es la más importante desde el punto de vista de cantidad y calidad de ilmenita, además de ser la zona más cercana a la costa (Playas de Don Diego).

Finalmente, el proyecto tiene gran incidencia en INGEOMINAS, en su entorno tanto interno como externo. En su medio interno se lo puede dividir en dos grupos : el primero se relaciona con los clientes dentro de la misma Área de Minería como son Ingeniería de Minas e Ingeniería geoambiental, y el segundo grupo reúne a las áreas de Geología, Geofísica y Química.

Como clientes externos al Instituto se tienen principalmente a las empresas nacionales e internacionales dedicadas a la exploración, explotación, beneficio, transformación o comercialización de minerales; también se tienen a las universidades, colegios y, finalmente, a las personas que por una u otra razón tienen que ver con el tema en cuestión.

## 7. RECOMEDACIONES.

Bien es sabido que el solo hecho de tener recursos minerales, no significa gran cosa para un país; lo importante es que se conozcan, que se evalúen sus reservas y calidades, y que se den alternativas de explotación y de financiación; por consiguiente, una forma de incentivar a las empresas es proporcionarles información oportuna y completa por parte del Estado, para que éste a su vez pueda definir con mayor facilidad sus planes de exploración, explotación y comercialización de minerales.

Dentro de los objetivos del proyecto se contempló la divulgación de los resultados de la evaluación; esta divulgación está dirigida a aquellas personas o instituciones que tienen que ver con prospección, explotación, beneficio, transformación o mercadeo de minerales, con el fin de que puedan utilizar dichos resultados en futuras explotaciones, así como de continuar con las exploraciones de

ilmenita en el denominado Arco de Sevilla en la Sierra Nevada de Santa Marta.

La evaluación económica y financiera unida a un proyecto de exploración y de explotación de minerales, lleva a una racionalización y modernización en la búsqueda de información y a la toma de decisiones de inversión relacionada con minerales.

## GLOSARIO

### TÉRMINOS GEOLÓGICOS

**Abrasivos.** Sustancias naturales o artificiales empleadas para moler, desgastar o pulir otros materiales.

**Accesorios.** Minerales que aparecen en una roca en porcentaje reducido.

**Ambiente geológico.** Son las condiciones geológicas y geoquímicas regionales que son favorables para la formación de un depósito mineral.

**Anfíbol.** Es grupo de silicatos, cuyo mineral principal es la hornblenda, de color verde oscuro, presentes en algunas rocas metamórficas.

**Anomalía.** Desviación de los valores teóricos respecto a los reales medidos en un punto concreto.

**Anortositas.** Rocas ígneas intrusivas formadas principalmente por plagioclasa cálcica.

**Apatito.** Fosfato de calcio, flúor y cloro.

**Arena.** Conjunto de partículas disgregadas de las rocas, sin consolidar o pobremente consolidadas, con diámetro entre 0,06 y 2 mm.

**Azufre.** Cuerpo simple metaloide de color amarillo quebradizo, asociado a rocas ígneas sedimentarias y metamórficas.

**Caliza.** Roca compuesta principalmente por carbonato de calcio.

**Calcita.** Mineral de la clase de los carbonatos.

**Cretácico.** Período superior de la era Mesozoico.

**Depósito.** Concentración de minerales económicamente explotables.

**Descripción depósito.** Es la numeración de las cualidades del depósito.

**Diaclasa.** Fisura en una roca, plano y superficie de rotura de las rocas, en donde no existen desplazamientos de los bloques.

**Diagénesis.** Etapa final del ciclo sedimentario, en donde los materiales sufren compactación.

Diferenciación magmática. Proceso por el que a partir de una mezcla única que constituye el magma, se originan diferentes tipos de rocas.

Diorita. Roca ígnea intermedia entre el gabro y los granitos.

Dominio de los recursos naturales. Es el área geográfica y geológica en la que existe una alta probabilidad de encontrar un recurso mineral.

Esquistos. Rocas metamórficas que presentan esquistosidad.

Esquistosidad. Textura formada por láminas irregulares.

Estrato. Masa de rocas en forma de capa y de grosor generalmente uniforme que constituye los terrenos sedimentarios.

Estación. Punto de observación geológica.

Falla: Fractura de una roca por presiones laterales en donde existe un desplazamiento relativo de una parte respecto a la otra.

Feldespatos. Grupo de alúmino-silicatos cristalizados combinados con potasio, sodio y calcio.

Fosfato. Sal del ácido fosfórico; el fósforo es su principal elemento.

Gabros. Rocas plutónicas básicas de tonos oscuros.

Geología. Ciencia que estudia la estructura de la Tierra y su evolución.

Granito. Roca ígnea compuesta por cuarzo, feldespato y mica, principalmente.

Gravimetría. Estudio que mide la fuerza que retiene y hace permanecer unidos a los cuerpos (sólidos, gaseosos y líquidos), en un determinado lugar o región.

Ilmenita. Óxido de hierro y titanio. Mena principal del titanio.

Jurásico. Período intermedio de la era Mesozoico.

Lineamiento. Rasgos que muestran las rocas en superficie, como expresión del componente estructural en el interior de la Tierra.

Magma. Mezcla de sustancias, principalmente silicatos y compuestos volátiles, originados en el interior de la Tierra a alta presión y temperatura.

Magnetita. Mineral conformado por óxido de hierro.

Manifestación. Afloramiento de vestigios de minerales aparentemente sin valor económico. Pequeña acumulación de mineral que por conocimiento o información que

se tiene de ella, reviste poca importancia geológico-minera.

Mena. Parte aprovechable de una explotación minera.

Mesozoico. Era intermedia de las tres que incluye el Fanerozoico.

Metamórfica (roca). Roca que procede de la transformación de otras rocas preexistentes.

Meteorización. Conjunto de procesos externos que provocan la alteración de las rocas superficiales. Puede ser mecánica, física, química, biológica, etc.

Mica. Grupo de minerales (filosilicatos) que cristalizan en el sistema monoclinico.

Mineral. Sustancia inorgánica de origen natural con una composición química determinada.

Modelo del depósito. Se refiere a la descripción de las características físicas, químicas, mineralógicas y petrográficas que presenta un depósito mineral.

Mineralización. Formación de nuevos minerales, especialmente de mena en una roca existente, normalmente como vetas o masas.

Muestra. Porción de roca o mineral, extraída de su lecho natural con un fin específico.

Neis. Roca metamórfica regional producida por metamorfismo de alto grado.

Noritas. Rocas ígneas intrusivas, próximas a los gabros, formadas principalmente por plagioclasa cálcica y piroxenos.

Paleoceno. Parte inferior del período Terciario de la era Cenozoica.

Plagioclasas. Grupo de los feldespatos cálcico-sódicos.

Roca. Agregado natural de uno o más minerales.

Subducción. Proceso por el que la corteza oceánica se hunde bajo la continental.

Tectónica. Parte de la geología que estudia las deformaciones de la corteza terrestre.

Terreno. Área geográfica con características geológicas y tectónicas propias, que lo hacen diferenciarse de otros.

Textura. Aspecto, forma y dimensiones de los distintos minerales que conforman una roca y que sirven para definirla.

Unidad cartográfica. Unidad geológica con piso y techo diferenciables y espesor cartografiable.

Unidad de exploración minera. Es el área que se caracteriza por la presencia de uno

o más minerales con características genéticas similares.

Unidad de explotación minera. Es el conjunto de actividades que permiten explotar o beneficiar uno o más minerales.

Unidad de manejo ambiental. Es la expresión espacial de las diferentes variables ambientales que condicionan el uso de una determinada zona.

Yacimiento. Lugar en donde se encuentran concentraciones de minerales explotables.

## **TÉRMINOS FINANCIEROS**

Activos. Propiedad del bien; son todos los bienes que posee una Empresa.

Apalancamiento. Uso de buscar o conseguir recursos que soporten las operaciones en el mismo lapso.

Capacidad de endeudamiento. Capacidad que tiene toda empresa para endeudarse y pagar oportunamente al vencimiento de la deuda.

Flujo de caja. Presupuesto de ingresos y egresos de efectivo en un período determinado.

Liquidez. Facilidad de convertir cualquier activo a caja en un período no superior a un año.

Pasivos. Son las obligaciones o deudas que tiene la Empresa con terceros.

Patrimonio. Capital o deuda propia que tiene una empresa.

Período de recuperación de la inversión. Término de tiempo que requiere el inversionista para recuperar la inversión.

Presupuesto. Plan expresado en términos cuantitativos, es decir, una intención.

Rentabilidad. Rendimiento generado por la inversión.

Tasa de interés de oportunidad. Tasa que el evaluador está dispuesto a adquirir o colocar en el mercado.

Tasa interna de rentabilidad (TIR). Tasa generada por los recursos propios del proyecto; es la rentabilidad del proyecto.

Utilidad contable. Lo que arrojan los resultados financieros y el producto de enfrentar los ingresos y los egresos.

Utilidad económica. Aquella a la cual se le han retirado todos los dividendos.

Valor presente neto (VPN). Valor de los flujos netos de dinero a hoy y está dado por la tasa de oportunidad del evaluador.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALFONSO, R.; GONZÁLEZ, L. 1990. Geología y Evaluación Económica de los Prospectos de Ilmenita, Magnetita y Apatito, en el Sector de Don Diego Sierra Nevada de Santa Marta. INGEOMINAS, 1990.
- BATEMAN, A.M., 1982. Yacimientos minerales de rendimiento económico. Sexta edición. Ed. Omega. 975 p. Barcelona.
- ENGINEERING AND METAL JOURNAL 1991, 1992, 1994, 1996
- KAFFURY, M. Administración Financiera, Elementos para la toma de decisiones, Justo a Tiempo y Costos de Calidad. Universidad Externado de Colombia, Séptima edición. 1993
- KAFFURY, M. Presupuestos y Gerencia Financiera, Elementos de Riesgo, Probabilidad e Incertidumbre. Universidad Externado de Colombia. Tercera edición. 1993
- GARCÉS, G., H. Geología económica de los yacimientos minerales. Medellín, Colombia. 1995
- INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS - 1994
- INGEOMINAS. 1987. Recursos Minerales de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales. No. 1. Segunda edición. 1987 Tomo I. P. 457-470 - Bogotá.
- METALS AND MINERALS. 1989, 1990, 1991, 1992, 1996
- MINERALS YEAR BOOK. 1987 - 1996
- PARK, C.F., MACDIARMID, R.A. Yacimientos minerales. Barcelona, España. 1981. Editorial Omega. 512 p. Barcelona.
- PÉREZ, A.. Aspectos climáticos de la Sierra Nevada de Santa Marta. En estudios de ecosistemas tropandinos. 1984. Vol. 2. J. Cramer p. 33-44. Berlín.
- RECHERCHE MINIERE. 1995, 1996.