



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTIMACIÓN DE **R**ECURSOS Y **R**ESERVAS CON
DATAMINE **S**TUDIO 3.0 DEL **Y**ACIMIENTO **B**ISMARCK

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

Alfredo Gelover Manzo

Director de tesis:
Ing. Miguel Idelfonso Vera Ocampo

México D.F. - 2012

AGRADECIMIENTOS.

Esta tesis esta dedicada a mis Padres, a quienes agradezco de corazón todo su apoyo, amor, cariño y comprensión. Sin ellos este logro no se hubiera hecho realidad.

Agradezco el infinito apoyo a mis hermanos por la compañía en las buenas y en las malas. Sé que en todo momento cuento con ellos, los quiero.

Agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

Agradezco a todos mis amigos por su confianza y lealtad.

Agradezco muy en especial al Ing. Miguel I. Vera Ocampo por su apoyo para la realización de este trabajo de tesis.

Agradezco a todos mis profesores que tuvieron la disposición y apoyo en toda la carrera.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por el talento y grandeza de toda la gente que forma parte de ese recinto de sabiduría.

Agradezco a mi esposa Azucena por el amor, comprensión y apoyo para que este logro culminara exitosamente.

Agradezco a mi hijo Sebastián por haber nacido y llenar de felicidad mi corazón y el de toda mi familia.

Agradecimientos especiales a la empresa Peñoles por el apoyo infinito y facilidades que me brindo para la realización de este trabajo escrito.

CONTENIDO

	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
OBJETIVO	3
1. GENERALIDADES	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 MÉTODO DE TRABAJO	6
2. GEOGRAFÍA	9
2.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESO	9
2.2 CLIMA Y VEGETACIÓN	9
2.3 POBLACIÓN Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS	10
3. FISIOGRAFÍA	14
3.1 PROVINCIAS FISIográfICAS	14
3.2 RASGOS OROGRÁFICOS	17
3.3 CUENCAS HIDROLÓGICAS	19
4. GEOLOGÍA	21
4.1 MARCO GEOLÓGICO	21
4.2 ESTRATIGRAFÍA	23
4.3 ESTRUCTURAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS	34
5. YACIMIENTO BISMARCK	36
5.1 TIPO DE DEPÓSITO	36
5.2 MINERALOGÍA	36
5.3 GÉNESIS DEL YACIMIENTO	37
5.4 PARAGÉNESIS	37
5.5 ALTERACIONES	40
5.6 CLASIFICACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS	41
6. BARRENACIÓN CON DIAMANTE	44
6.1 MUESTREO	44
6.2 DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS	46
7. GEOESTADÍSTICA	48
7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	48

7.2 PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS	49
7.3 ESTADÍSTICA DE LA BASE DE DATOS	51
7.4 AGRUPACIÓN DE DATOS	59
7.5 MÉTODO MRO (MINABLE RESERVES OPTIMIZER)	60
7.6 PROCEDIMIENTO DE OPTIMACIÓN	63
RESULTADOS	67
APÉNDICE A	69
APÉNDICE B	74
BIBLIOGRAFÍA	79

RESUMEN

Históricamente México se ha caracterizado por su riqueza mineral a nivel mundial. En el estado de Chihuahua existen varios tipos de yacimientos que por su origen e importancia han sido explotados de manera sistemática. Como son: Santa Bárbara, Santa Eulalia, San Francisco del Oro, Naica, La Perla, Bismark, Piedras Verdes, El Sauzal, Plomosas, Ocampo y Parral.

El yacimiento de Bismark es del tipo skarn-calcáreo, originado en el contacto del intrusivo y la secuencia de calizas y areniscas de edad Cretácica. El contacto tiene un rumbo promedio de NW 70° SE con inclinaciones de 75°-80° al SW; existen cuerpos aislados de mineral en la caliza asociados al skarn así como vetas y chimeneas angostas en la zonas distales de la fuente principal de calor.

La explotación de un yacimiento requiere un ciclo continuo donde intervienen varios procesos, uno de estos procesos; que es de mucha importancia, es la evaluación de los recursos y reservas de mineral. La importancia de la evaluación de un yacimiento radica en garantizar un inventario de mineral que haga rentable la explotación de un depósito mineral. Por tanto es muy importante partir de un buen análisis y evaluación del yacimiento que se quiere explotar.

En la actualidad el análisis de la información geoestadística y geológica se realiza con nuevas tecnologías, de última generación, que han venido a sintetizar de manera gradual el proceso que se venía haciendo hace años con los métodos tradicionales en la evaluación de yacimientos minerales.

El presente trabajo describe la aplicación del software Datamine Studio 3.0 en la estimación de los recursos y reservas de mineral del yacimiento Bismark y la metodología usada para dicho cálculo.

OBJETIVO

El objetivo fundamental del presente trabajo, consiste en realizar una estimación de recursos y reservas de mineral para llevar a cabo una planeación más eficiente en el aprovechamiento del yacimiento “Bismark”.

1.- GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La actividad minera en la región se remonta al descubrimiento de la mina “LA FLORENCIA” en el distrito de San Pedro Corralitos en el año de 1885; no se tienen datos precisos respecto a Bismark, sin embargo, se cree que los primeros trabajos son también contemporáneos a los mencionados.

Las labores mineras antiguas en el área de Bismark se ubican en la zona de oxidación y consisten en labrados de reducidas dimensiones, pozos verticales e inclinados y algunos tiros con un máximo de 60 metros de profundidad.

Entre 1979 y 1984, Minera Cuicuilco realizó estudios de geofísica y perforó 55 barrenos con BDD, con un total de 17,224 m; localizó dos cuerpos contiguos de mineral asociados al skarn de contacto con los cuales se indicaron “Reservas Geológicas Inferidas” por 12.8 millones de ton con leyes de 52 g de Ag/ton, 0.6% de Pb, 11% de Zn y 0.4% de Cu. (Resumen de informe Proyecto Bismark, 1991).

Durante 1987, Peñoles analizó la información y confirmó la existencia de 8.2 millones de toneladas con leyes de 47 g de Ag/ton, 0.63% de Pb, 11% de Zn, y 0.32% de Cu. Posteriormente, se inició la asociación entre Cyprus-Banamex y Peñoles para complementar la exploración. En enero de 1988 se inició el desarrollo de la mina justamente con un programa de BDD complementario e inició la producción en 1992 (tabla 1.1).

FUNDOS MINEROS

AÑO	PRODUCCIÓN MINA			PRODUCCIÓN METÁLICA	
	TON	%		TONELADAS	
		Zn	Cu	Zn	Cu
1992	533,129	6.36	0.22	56,026	2,076
1993	717,249	7.72	0.27	101,213	2,422
1994	678,415	7.44	0.3	93,295	3,675
1995	560,630	6.62	0.36	67,880	4,225
1996	598,653	8.19	0.47	89,991	4,446
1997	563,978	8.04	0.42	83,413	4,578
1998	648,940	8.67	0.57	104,070	10,050
1999	674,212	8.53	0.47	105,329	8,476
2000	637,214	8.44	0.40	96,968	6,025
2001	585,509	9.87	0.42	100,359	5,939
2002	497,240	10.13	0.34	87,028	3,822
2003	487,289	10.38	0.38	84,056	4,516
2004	542,485	10.27	0.38	91,908	5,396
2005	553,656	9.27	0.37	84,167	5,869
2006	610,404	7.30	0.50	75,065	10,202
2007	697,338	6.28	0.47	86,597	9,765
2008	706,524	6.16	0.44	76,360	8,961
2009	696,232	7.33	0.39	76,157	8,806
2010	710,754	7.26	0.37	93,088	6,979
TOTAL	11,699,851	8.03	0.40	1,652,970	116,228

Tabla 1.1 Producción histórica de Bismark. Informe de reservas 2010 Minera Bismark.

Minera Bismark S.A de C.V., es concesionaria de 2,785.5275 hectáreas distribuidas de acuerdo a la tabla 1.2 y figura 1.1.

TÍTULO	FUNDOS	HECTÁREAS	VIGENCIA		CONCESIÓN
186687	BISMARK	260.0000	11/05/1990	10/05/2040	ÚNICA
190830	BISMARK I	465.5928	29/04/1991	28/04/2041	ÚNICA
190843	BISMARK III	439.7688	29/04/1991	28/04/2041	ÚNICA
190848	BISMARK II	342.0510	29/04/1991	28/04/2041	ÚNICA
192322	BISMARK IV	131.4567	19/12/1991	18/12/2041	ÚNICA
207981	TORRECILLAS	888.1744	31/07/1998	30/07/2048	ÚNICA
209682	BISMARK V	2.8810	03/08/1999	02/08/2049	ÚNICA
211492	TORRECILLAS I	66.3007	31/05/2000	30/05/2050	ÚNICA
211751	SAN FRANCISCO	65.6499	30/06/2000	29/06/2050	ÚNICA
231702	BISMARK VI	123.6522	15/04/2008	14/04/2058	ÚNICA
230675	TONY	141.6951	LOTE AJENO		
220310	LA PIRINOLA	50.0045	LOTE LA PARREÑA		
223863	CALIENTE	295.1260	LOTE LA PARREÑA		
SUMA FUNDOS BISMARK		2,785.5275			

Tabla 1.2 Distribución de los fondos mineros. Informe de reservas 2010 Minera Bismark.

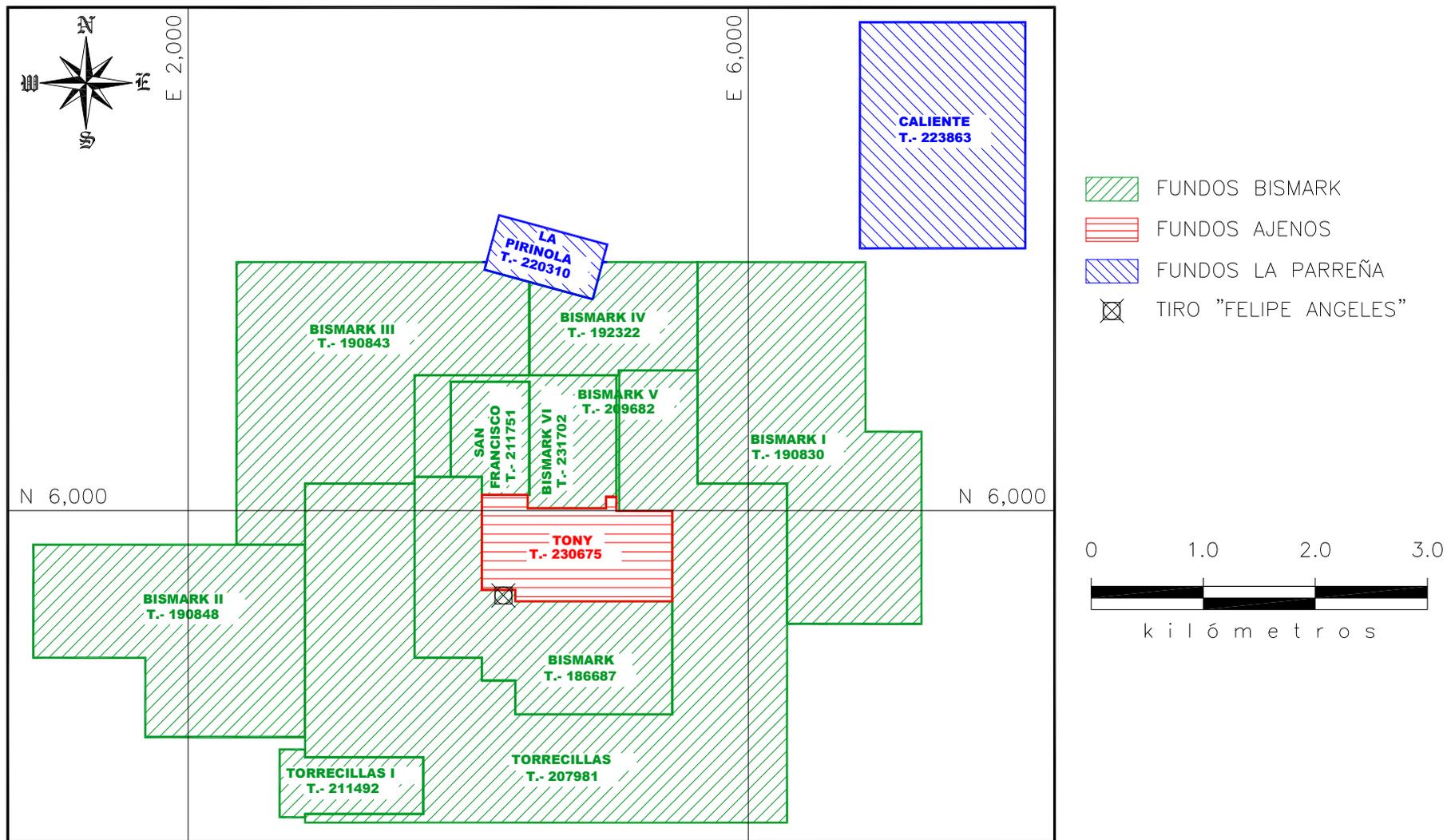


Figura 1.1 Fondos pertenecientes a Bismark. Informe de reservas 2010 Minera Bismark

1.2 MÉTODO DE TRABAJO

La metodología empleada para el cálculo y clasificación de los recursos y reservas de mineral están regidos bajo la normatividad internacional del código australiano para informar sobre recursos minerales y reservas de mena (el “Código JORC” ó el “Código”). Dicho código se utiliza para proporcionar información sobre recursos minerales y reservas de mena, éste establece estándares mínimos, recomendaciones y normas para la información pública de resultados de exploraciones, recursos minerales y reservas de mena en Australia; este texto ha sido redactado por el comité conjunto de reservas de mena de “The Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists y Minerals Council of Australia”. El comité conjunto de reservas de mena se constituyó en 1971 y publicó varios informes haciendo recomendaciones sobre la clasificación e información pública de reservas de mena antes de la primera divulgación del Código JORC en 1989.

Los principios básicos que rigen la operación y aplicación del código JORC son transparencia, relevancia y competencia. La “Transparencia” requiere que el lector de un informe público reciba suficiente información, cuya presentación sea clara y no ambigua, con el fin de entender el informe y no ser tergiversado. La “Relevancia” exige que el informe público contenga toda la información relevante que los inversionistas y sus asesores profesionales podrían necesitar razonablemente, con el fin de hacer un juicio equilibrado con respecto a la mineralización de la que se informa. La “Competencia” requiere que el informe público se base en trabajo que es de responsabilidad de una persona debidamente calificada y con experiencia que está sujeta y regida por un código de ética profesional que puede ser aplicado.

El código es la norma mínima requerida para información pública. El comité también recomienda que se adopte como una norma mínima para otros informes. La referencia que se hace en el código a un informe público o información pública es la referencia a un informe o información sobre resultados de exploración, recursos minerales o reservas de mena, preparado con el objeto de informar a los inversionistas reales o potenciales y a sus asesores. Esto incluye un informe o información preparada para satisfacer los requisitos reguladores. Se alienta a las compañías para que en sus informes públicos entreguen la información más amplia posible.

El Código es aplicable a todos los minerales sólidos, incluyendo diamantes, piedras preciosas y carbón, para los cuales las bolsas de valores de Australia y Nueva Zelanda requieren información pública sobre resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mena (figura 1.2).

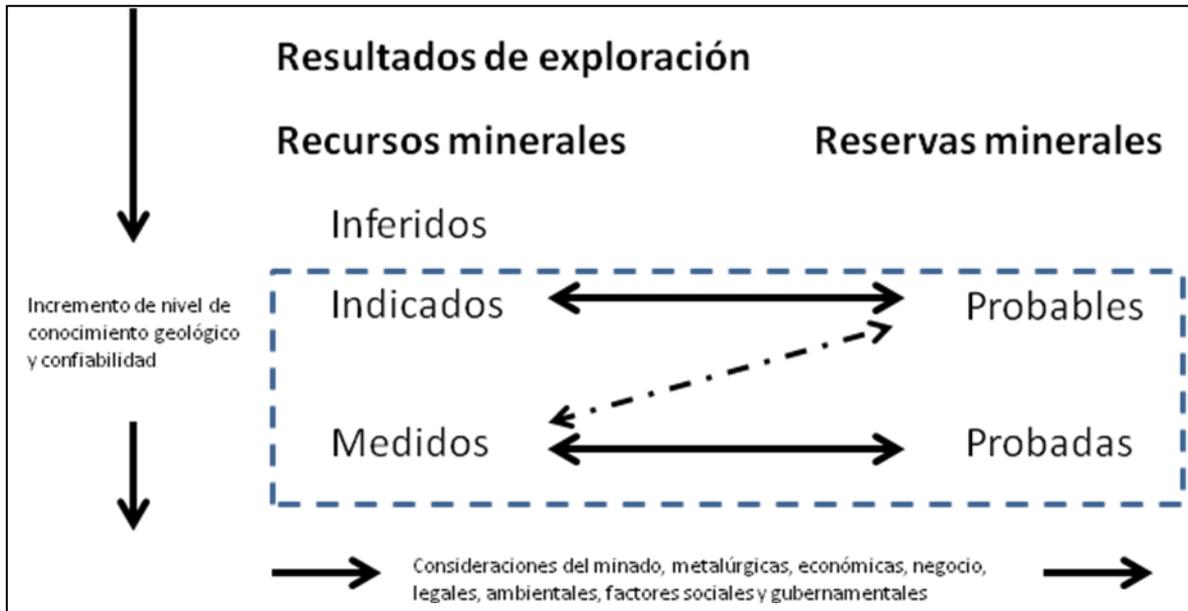


Figura 1.2 Relación general entre resultados de exploración, recursos y reservas minerales. (Código JORC, 1989).

En este trabajo la interpolación de los datos estadísticos y el modelo geológico se hizo con el software Datamine Studio 3.0.

El procedimiento de cálculo de reservas se resume en cuatro fases principales que se enlistan a continuación:

1. Generación de base de datos: consiste en la compilación de todos los datos a interpolar, como lo son los barrenos y muestras de canal ubicadas en el espacio tridimensional.
2. Análisis aritmético y estadístico: consiste en el análisis numérico de las bases de datos que se usaron en la interpolación.
3. Análisis geoestadístico: se aplican de métodos numéricos para la interpolación de los datos analizados.

4. Análisis y evaluación de reservas de mineral: después del análisis numérico y la aplicación de métodos numéricos para el cálculo, se realiza la compilación y análisis geológico para dar un resultado final de reservas.

2.- GEOGRAFÍA

2.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESO

El distrito minero Bismark se localiza en la provincia de cuencas y sierras, a 320 Km al noroeste de la ciudad de Chihuahua y a 120 Km al suroeste de Cd. Juárez en línea recta, a una altitud de 1320 msnm. El acceso es por carretera de Cd. Juárez-Janos, a 146 Km al sur de Cd. Juárez o 25 Km al norte de Ascensión, de ahí se toma un camino de terracería de 25 Km hacia el oriente (figura 2.1).

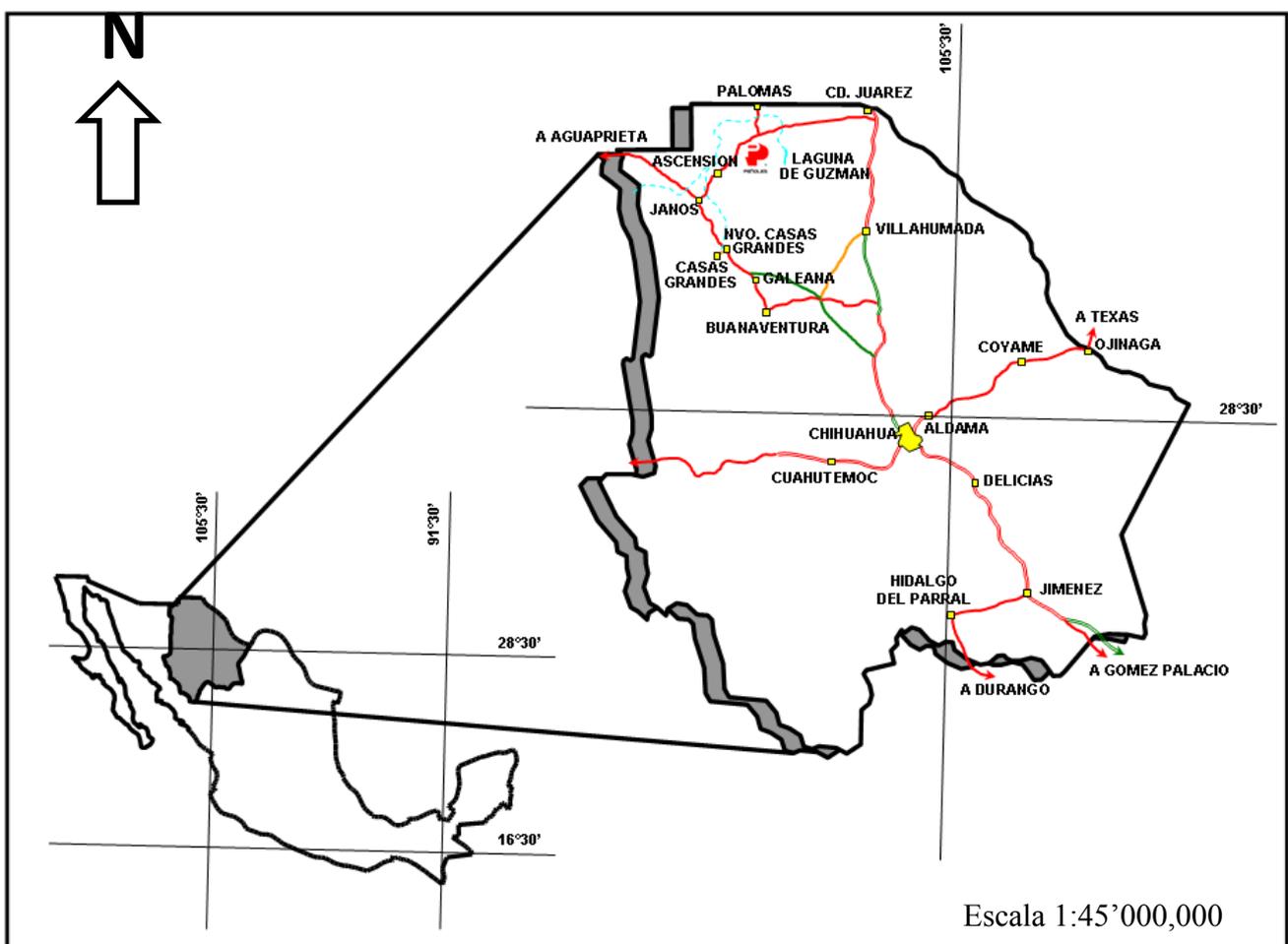


Figura 2.1 Localización y vías de Acceso.

2.2 CLIMA Y VEGETACIÓN.

El clima se clasifica como árido extremo, la temperatura máxima alcanza 44° C y la mínima de -18° C, su media anual es de 15.4° C. La precipitación pluvial media anual es

de 297.2 mm, con una humedad relativa del 42%. Su viento dominante proviene del sureste (figura 2.2).

La flora está constituida por: yucas filamentosas, agavaceae, cactáceas como arecaceae y leucophyllum frutescens, diospyros ebenum, prosopis, ferocactus glaucescens y larrea tridentata. La fauna está formada por: bison bison, aves migratorias como la zenaida macroura, zenaida auriculata, oryctolagus cuniculus, leporidae, cervidae, felis concolor, lynx rufus y canis lupus Bailey (figura 2.3).

2.3 POBLACIÓN Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS.

Según el censo del INEGI de 2010, en el municipio de Ascensión hay 23,975 habitantes y las actividades económicas del municipio por sector, se distribuyen de la siguiente forma (tabla 2.1)

Población económicamente activa				
Condición y sector de actividad	1990		1995*	
	personas	%	personas	%
I. Sector Primario	1,942	40.4	2,595	29.6
II. Sector Secundario	1,453	30.2	3,349	38.2
III. Sector Terciario	1,275	26.5	2,770	31.6
No especificado	136	2.8	52	0.6
Total ocupada	4,806	100.0	8,766	100.0

Tabla 2.1 Fuente CIEE, sobre la base de datos del XI Censo General de Población y Vivienda 1990 y Conteo 1995.

Principales actividades económicas.

Agricultura.

Se cuenta aproximadamente con 11,279 hectáreas para cultivo; sus productos principales son: soya, papa y algodón, seguidos de trigo, maíz, frijol, durazno y nuez.

Ganadería.

El valor de la población ganadera se estima en 243.8 millones de pesos al 31 de diciembre de 1997, de los cuales, el 98.2% es de bovinos, el 0.6% de porcinos, el 0.02% de ovinos, el 0.03% de caprinos, el 1.18% de equinos y el resto de aves. Existe un rastro municipal con un sacrificio de 335 cabezas anuales.

Silvicultura.

El municipio carece de un aprovechamiento forestal de madera, las especies existentes son: brezales, lepidophyllum cupressiforme, opuntia ficus-indica, oboso y zacatón.

Minería.

La zona cuenta con los siguientes distritos mineros:

Bismark. La operación incluye una planta de flotación para moler 2,500 toneladas diarias de mineral de zinc, cobre, plata y plomo.

Sabinal. Es un distrito antiguo trabajado a pequeña escala desde 1821 con mineralización más variada asociado a oro, plata, plomo y zinc.

La Milagrosa-Tres estrellas. Es un distrito de vetas con relleno de cuarzo y silicificación actualmente fuera de operación.

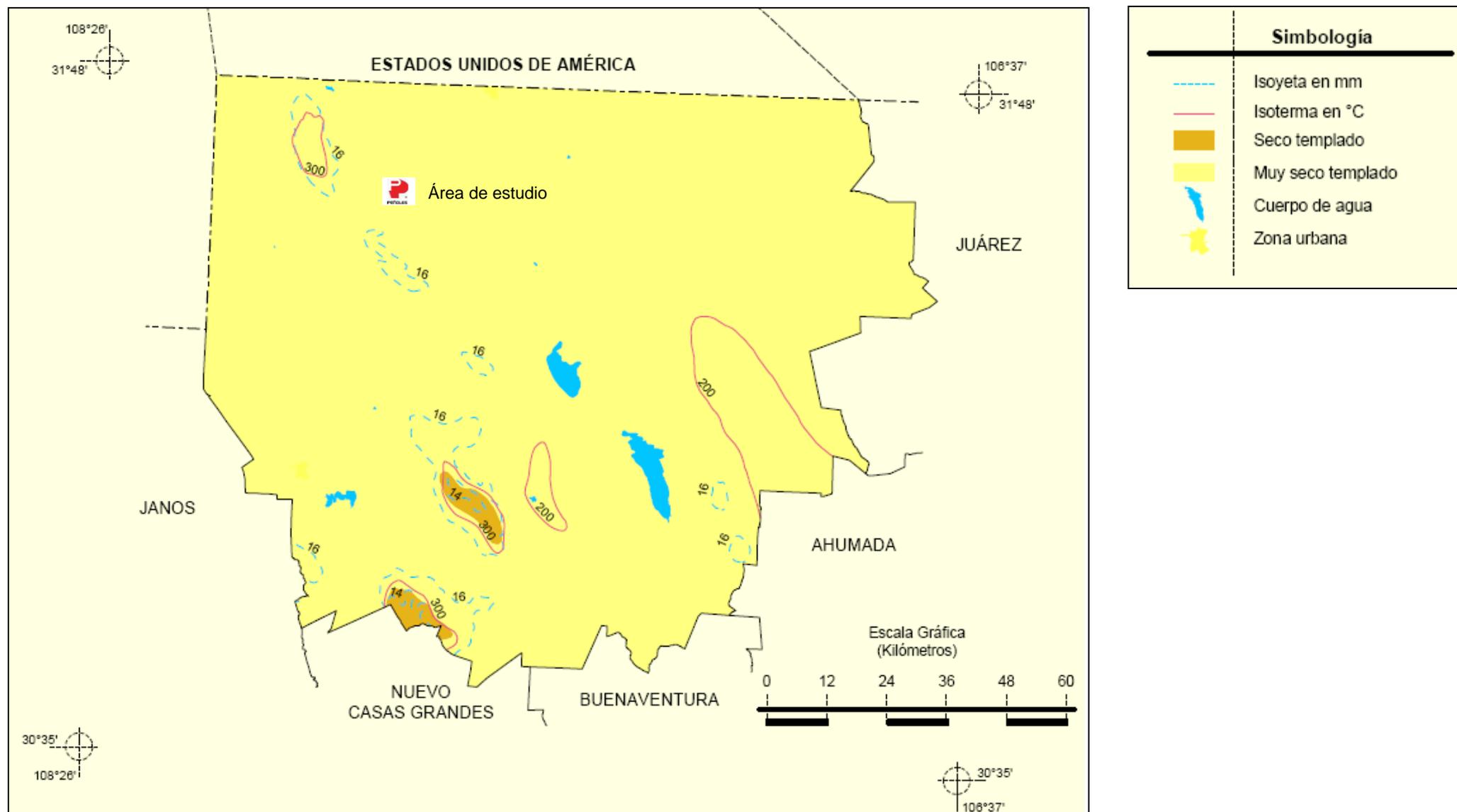


Figura 2.2 Mapa del municipio de Ascención Chihuahua mostrando climas de la región. Tomado del prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI 2010.

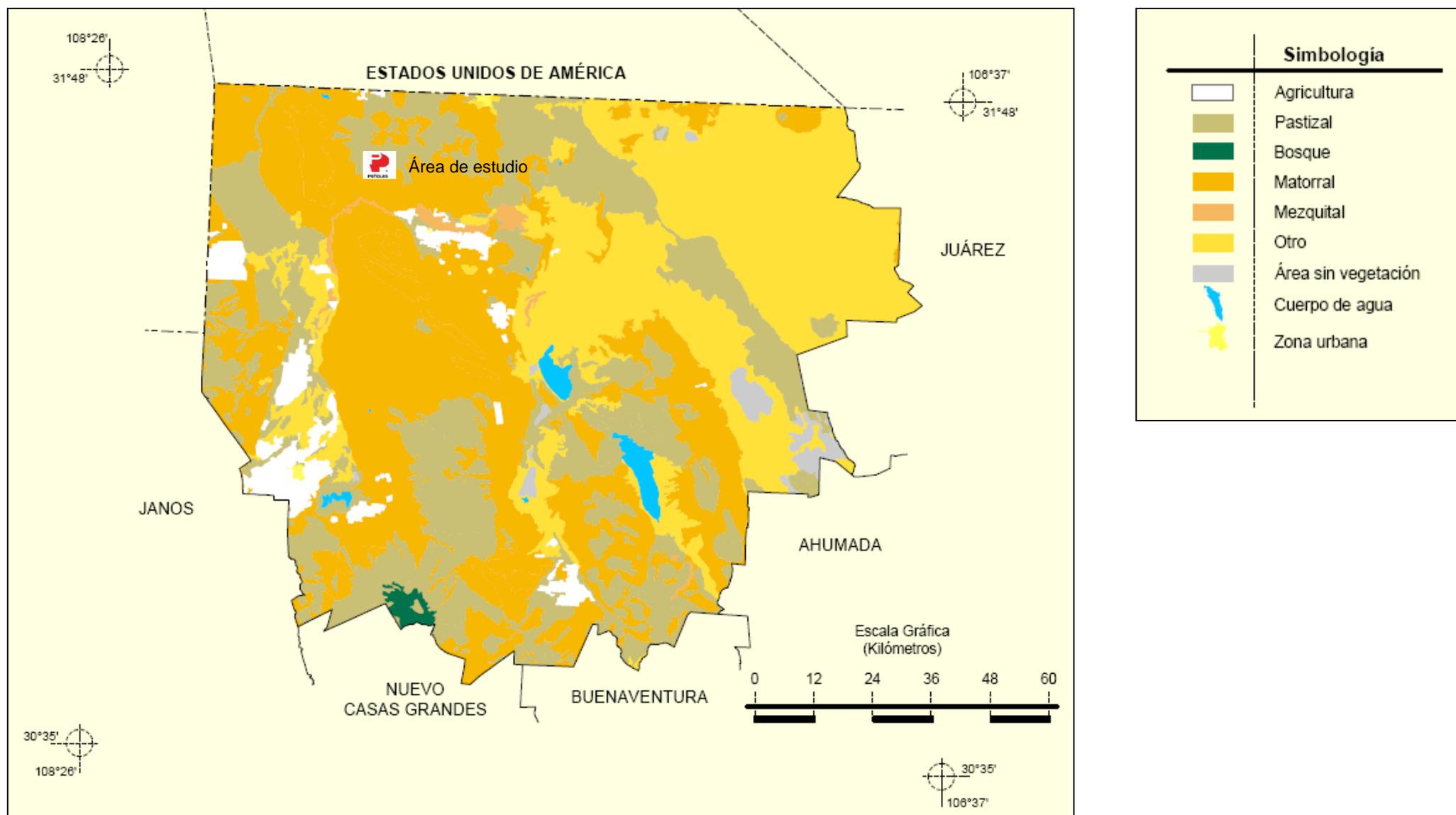


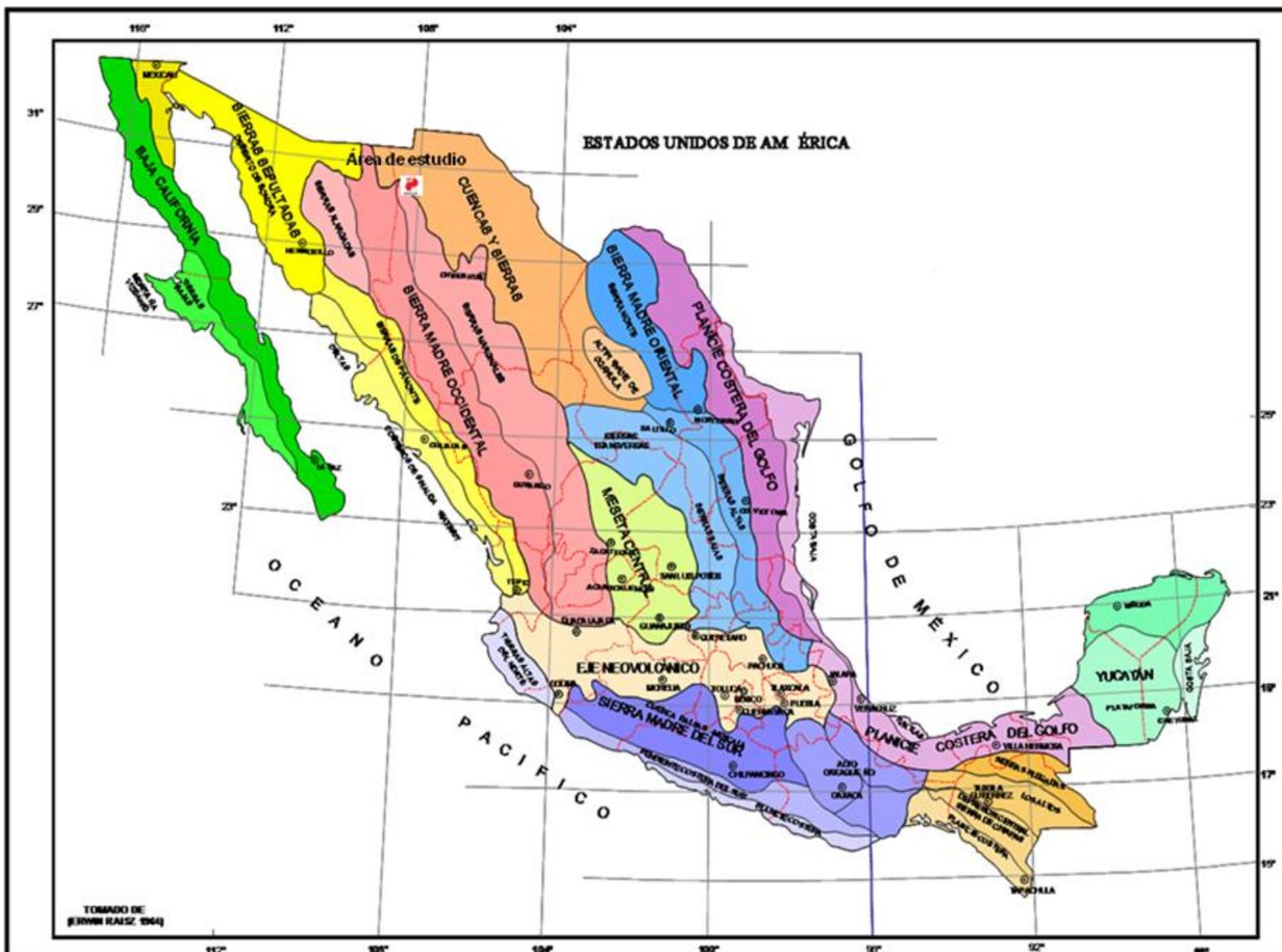
Figura 2.3 Mapa del municipio de Ascensión Chihuahua mostrando vegetación de la región. Tomado del prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI 2010.

3.- FISIOGRAFÍA.

3.1 PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS.

El depósito de Bismark se encuentra al noroeste de la capital del estado de Chihuahua, dentro de la Provincia Fisiográfica de Cuencas y Sierras del Norte (Figura 3.1 y 3.2). Los rasgos del relieve se repiten con poca variedad a lo largo de la provincia. Las llanuras se extienden por grandes distancias áridas y uniformes, sin otro cambio que su declive gradual hacia el oriente. Esta provincia árida y semiárida se extiende también profundamente hacia el territorio de Estados Unidos de América. Con variantes, sus sierras, más bien bajas y abruptas, se orientan burdamente nornoroeste-sursureste y quedan separadas entre sí por grandes bajadas y llanuras con relleno aluvial. Una parte de la cuenca del río Conchos, afluente del Bravo, se integra a la cuenca de este último en la región de la ciudad de Chihuahua, pero al noroeste de la misma y al sureste del Conchos, el drenaje es endorreico.

Al sur de Ciudad Juárez se encuentra uno de los campos de dunas más extensos del país, el de Samalayuca, en el sur de la provincia se extiende hacia el oriente una saliente, que es la laguna de Mayrán (o Bolsón de Coahuila), lecho seco en la actualidad, de lo que fuera en tiempos pasados un enorme lago. Hoy es una de las zonas más áridas del país, con salinidad en su eje central, pero aún con áreas inundables por chubascos esporádicos.



3.1 Provincias Fisiográficas de la República Mexicana, (sin escala, Raisz., E., 1964)

El área de Bismark está en el extremo norte de la Provincia Geológica de Chihuahua (Raisz, E., 1959), en donde la mayor parte de las sierras están constituidas por rocas sedimentarias plegadas de edad Cretácico Temprano, con excepción de las Sierras Boca Grande y Las Lilas, en donde la secuencia sedimentaria es del Paleozoico.

Las cuencas están rellenas por material terrígeno y/o derrames ígneos de composición básica, intermedia y acida. Estos materiales varían en edad del Terciario Temprano al Cuaternario. La actividad ígnea intrusiva del tipo félsico se encuentra en los cerros de Bismark y Microondas y afectan a la secuencia sedimentaria del Cretácico.

La intrusión está hacia el SW, en las profundidades en las secuencias de pizarra, arenisca y caliza de edad Cretácica. La mineralización económica se encuentra en las calizas alteradas. El yacimiento se encuentra formado paralelamente a la estratigrafía por reemplazamiento. La mineralización se encuentra en el alto y bajo de la falla Bismark y alojada contra el contacto del intrusivo Bismark.

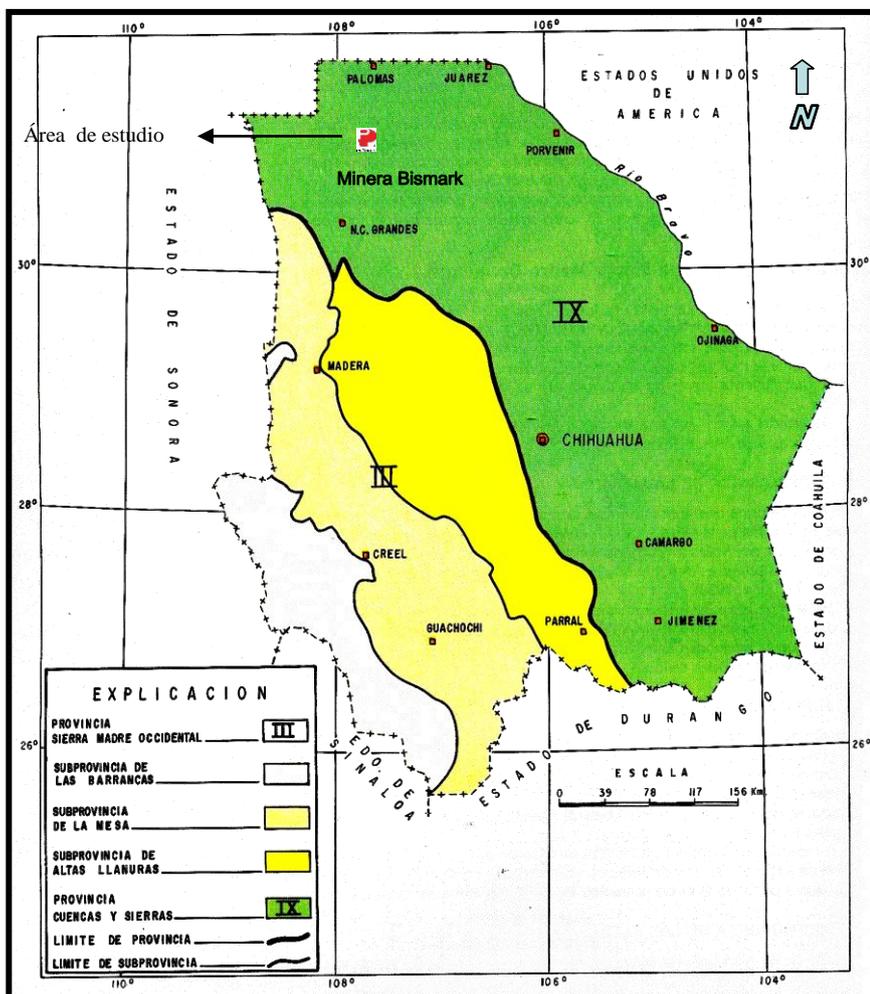


Figura 3.2 Provincias Fisiográficas del estado de Chihuahua (tomada y modificada de Consejo de Recursos Minerales, 1993, Monografía Geológico-Minera del Estado de Chihuahua).

3.2 RASGOS OROGRÁFICOS

En el área de Bismark, con base en afloramientos y datos de barrenación, existen 600 m de calizas fosilíferas y areniscas de edad Cretácico Temprano, se asumen una posible correlación con el Grupo Chihuahua, formado por calizas de la Formación Benigno, areniscas de la Formación Cox, así como calizas y lutitas de la Formación Benavides (López-Doncel, R., Labarthe-Hernández, G. y Mata-Segura, J.L., 2005).

La sierra del Cartucho es una estructura morfológica positiva con una longitud de 10.5 Km y una anchura máxima de 3 Km, la elevación promedio de esta sierra es de 1,500 m y su máxima de 1,900 msnm. Se encuentra limitada en su parte noroccidental-suroriental por una cubierta de sedimentos recientes, los cuales cubren el contacto entre los sedimentos mesozoicos de la sierra del Cartucho y la secuencia sedimentaria paleozoica de la sierra de Las Lilas (Consejo de Recursos Minerales, 1993, Monografía Geológico-Minera del Estado de Chihuahua). La terminación suroriental está truncada por el emplazamiento del intrusivo cuarzomonzonítico de Bismark. El límite EES-WWS de esta sierra está cubierto por una secuencia de sedimentos cuaternarios, así como por derrames basálticos y emisiones riolíticas terciarios (valle La Diana). Las partes bajas de la culminación noroccidental de la sierra del Cartucho están a su vez también cortadas por el intrusivo Palomas Microondas (figura 3.3).

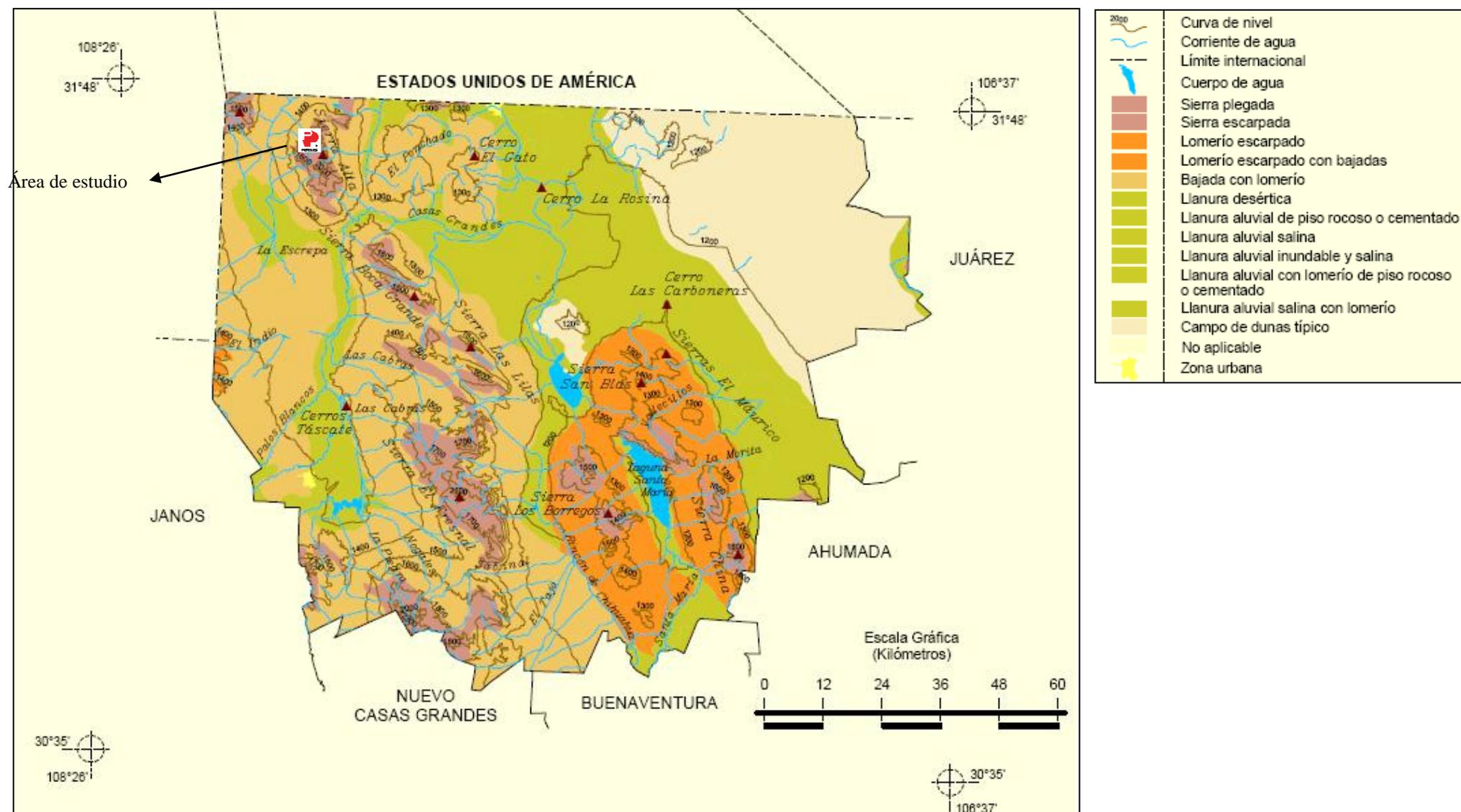


Figura 3.3 Mapa del municipio de Ascensión Chihuahua. Se muestran los rasgos orográficos y geohidrológicos de la región. Tomado del prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI 2010.

3.3 CUENCAS HIDROLÓGICAS.

El extenso estado de Chihuahua presenta en su territorio cinco Regiones Hidrológicas; la primera de ellas es la denominada Sonora Sur con la más pequeña superficie estatal (9.59%), ubicada al oeste de la entidad y la cual tiene dos Cuencas, la R. Mayo y R. Yaqui, en esta última se localiza la Presa Abraham González. En la Región Hidrológica Sinaloa que se encuentra al suroeste, se ubican las Cuencas R. Culiacán, R. Sinaloa y R. Fuerte, la primera y la última son las cuencas más pequeña y más grande en proporción, para el estado. La Región Bravo-Conchos es la que más número de cuencas presenta y se forma del límite noreste, hacia el centro y sur de Chihuahua, existe la Cuenca R. Bravo-Ojinaga, R. Bravo-Cd. Juárez, que ubica a este importante afluente de agua superficial que es el río Bravo, el que delimita además al estado y al país con Estados Unidos de América; también se localizan en esta región la Cuenca R. Conchos-Ojinaga, R. Conchos-P. El Granero y R. Conchos-P. de la Colina cuyo afluente principal es precisamente la corriente común del río Conchos y que nutre a su vez las presas Luis L. León y La Rosetilla (cabe señalar la existencia también de las P. El Rejón, San Marcos y Chihuahua), así como presa La Boquilla ubicadas en la cuarta y quinta cuencas (antes mencionadas) respectivamente para esta región; por último se encuentran las Cuencas R. Florido con una corriente del mismo nombre y la P. Parral, nutrida por la corriente del mismo nombre; y R. San Pedro, en ésta se localiza la presa Francisco I. Madero. La región de mayor territorio para el estado es la de Cuencas Cerradas del Norte (Casas Grandes) con 36.12% y cinco cuencas al norte, noroeste y centro; A. El Carrizo y otros que ubica el cuerpo de agua L. Encinillas, R. Del Carmen donde se encuentra el arroyo denominado de igual manera y la P. Las Lajas; R. Santa María que también incluye un arroyo del mismo nombre y las presas Aguja y El Tintero; R. Casas Grandes con cuatro presas, San Diego, Laguna Colorada, Lagunitas y Casa de Janos; se tiene también la Cuenca L. Bustillos y de Los Mexicanos, en donde está el cuerpo de agua L. Bustillos nutrida por la corriente La Vieja. Finalmente a la Región Mapimí, al sureste de Chihuahua le pertenecen las cuencas L. Del Guaje-Lipanes, Polvorillos-A. El Marqués, El Llano-L. Del Milagro y A. La India-L. Palomas, a la cual corresponde el cuerpo de agua del mismo nombre (figura 3.4).

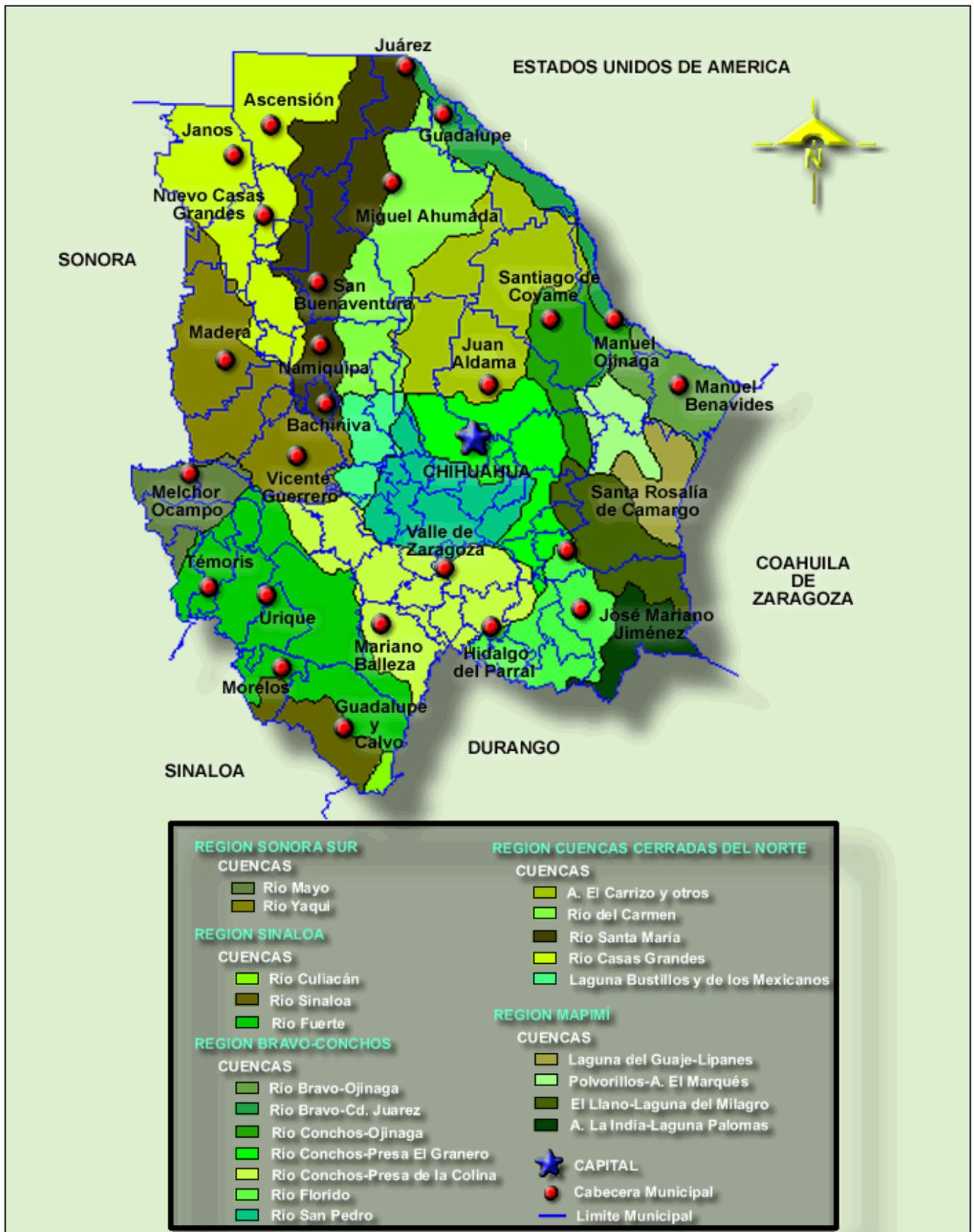


Figura 3.4 Mapa del estado de Chihuahua, mostrando regiones hidrológicas. INEGI 2011.

4.- GEOLOGÍA

4.1 MARCO GEOLÓGICO

Si se considera el marco geológico regional se observa una importante secuencia sedimentaria que constituye el cuerpo de las sierras Boca Grande, Las Lilas y El Cartucho, las que conforman notables estructuras anticlinales y sinclinales de rumbo NW-SE (figura 4.1).

La porción SE de la sierra Boca Grande y la sierra Las Lilas, está compuesta por una unidad de rocas sedimentarias paleozoicas (Pérmico), representada por calizas y dolomías con algunas intercalaciones de lutitas calcáreas y areniscas, bandas y lentes de pedernal. Esta unidad calcárea corresponde a la Formación La Concha (Díaz, T. y Navarro, A., 1964), está cubierta discordantemente por una secuencia clástica paleozoica, que de igual forma se cubre por las rocas mesozoicas y cenozoicas.

La secuencia sedimentaria mesozoica (Cretácico Temprano) está expuesta en la sierra Boca Grande y sierra El Cartucho, afloran en su base la Formación Las Vigas seguida hacia arriba por las Formaciones Cuchillo, Benigno, Lágrima, Finlay, Benavides y Loma de Plata.

Esta secuencia, en su parte basal, es clástica (Fm. Las Vigas) que descansa en un fuerte espesor de rocas calcáreas, calcáreo – arcillosas, depositadas en plataforma. Al sureste de las sierras mencionadas anteriormente, las rocas predominantes son de naturaleza volcánica representadas por derrames andesíticos y traquíticos, así como tobas de la misma composición de edad terciaria y que sobreyacen discordantemente a las rocas calcáreas cretácicas.

De la misma forma, se encuentra una serie de ignimbritas riolíticas, que aflora principalmente en la sierra El Fresnal. Sobre estas ignimbritas se encuentran derrames basálticos. Finalmente, los depósitos aluviales y de talud cuaternario, cubren a las rocas anteriores, así como a los conglomerados de edad terciaria que afloran entre Ascensión y Boca Grande (Resumen de informe Proyecto Bismark, 1991).

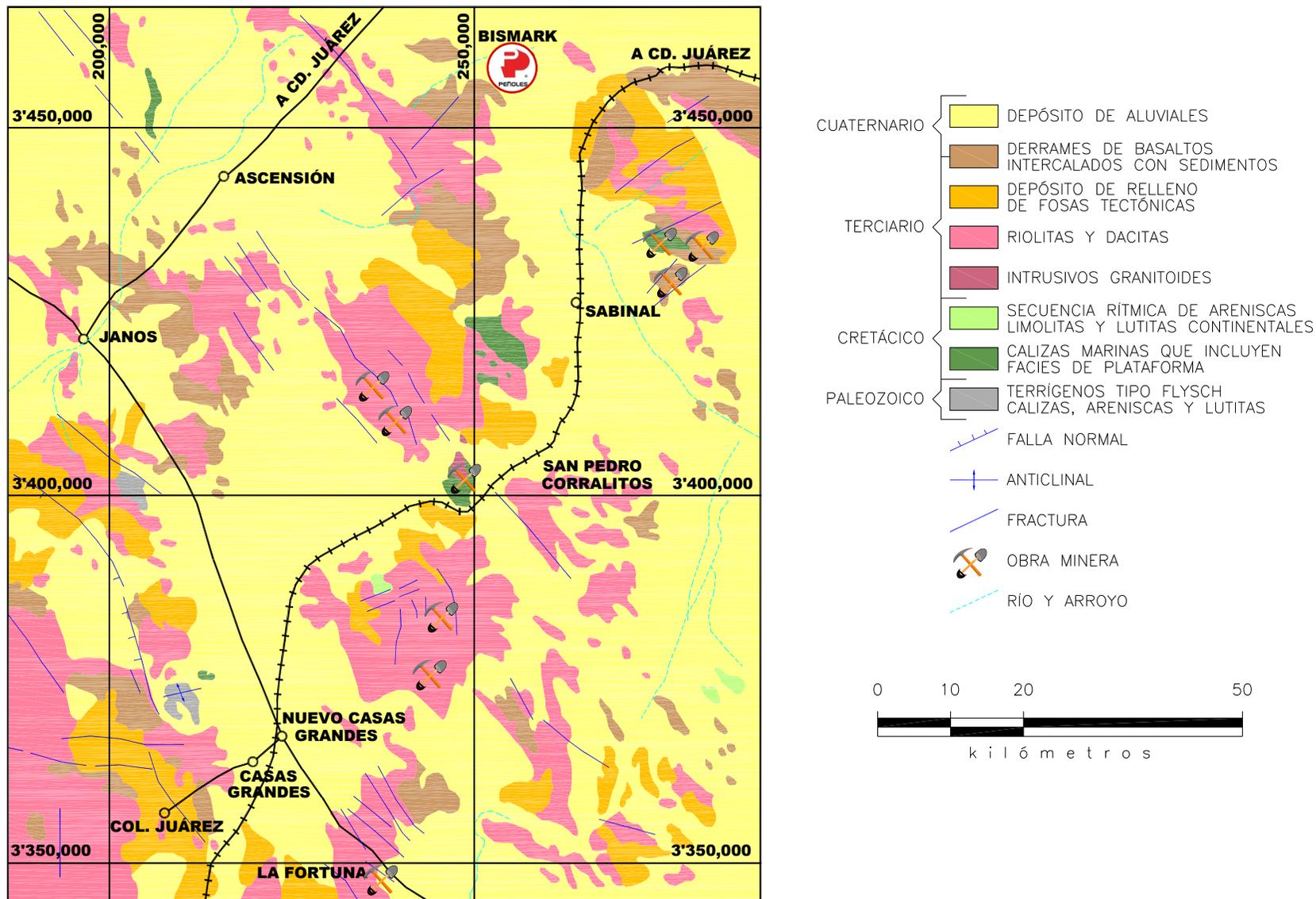


Figura 4.1 Mapa geológico del yacimiento de Bismark (tomado y modificado del Informe Proyecto Bismark, Industrias Peñoles S.A. de C.V., Junio 1999).

4.2 ESTRATIGRAFÍA

Si se considera el marco geológico regional se observa una importante secuencia sedimentaria que constituye el cuerpo de las Sierras Boca Grande, Las Lilas y El Cartucho, los conforma notables estructuras anticlinales y sinclinales de rumbo NW-SE. La porción SE de la Sierra Boca Grande y la Sierra Las Lilas está compuesta por una unidad de rocas sedimentarias Paleozoicas (Pérmico), representada por calizas y dolomitas con algunas intercalaciones de lutitas calcáreas y areniscas, bandas y lentes de pedernal. Esta unidad calcárea corresponde a la Formación La Concha (Díaz, T. y Navarro, A., 1964), está cubierta discordantemente por una secuencia detrítica Paleozoica, que en igual forma se cubre por las rocas Mesozoicas y Cenozoicas.

La secuencia sedimentaria Mesozoica (Cretácico Temprano) está expuesta en la Sierra Boca Grande y Sierra El Cartucho, en su base aflora la Formación Las Vigas seguida hacia arriba por las Formaciones Cuchillo, Benigno, Lagrima, Finlay, Benavides y Loma de Plata (figura 4.2)

Esta secuencia, en su parte basal es detrítica (Fm. Las Vigas) la que descansa un fuerte espesor de rocas calcáreas, calcáreo – arcillosas, depositadas en plataforma. Al sureste de las sierras mencionadas anteriormente, las rocas predominantes son de naturaleza volcánica representadas por derrames andesíticos y traquíticas, así como tobas de la misma composición de edad terciaria, y que sobreyacen discordantemente las rocas calcáreas cretácicas.

De la misma forma, se encuentra una serie de ignimbritas riolíticas, que aflora principalmente en la Sierra El Fresnal. Sobre estas ignimbritas se encuentran derrames basálticos. Finalmente, los depósitos aluviales y de la talud cuaternario, cubren a las rocas anteriores, así como a las conglomeradas de edad terciaria que afloran entre Ascensión y Boca Grande (Resumen de informe Proyecto Bismark, 1991)

Rocas Sedimentarias Paleozoicas

Formación La Concha

Era: Paleozoico

Sistema: Pérmico (Temprano)

Millones de años: 300-272

La Formación La Concha ha sido descrita en la literatura como una secuencia dolomítica con espesores que varían de 420 m (Zeller, 1965) a 670 m (Campbell y Muela, 1983) y que ha sido subdividida en tres unidades. En el área de estudio, la Formación La Concha está representada por una secuencia de dolomías en la que se pueden identificar tres unidades, las cuales litológicamente son comparables con las descritas por Campbell y Muela (1983), sin embargo a excepción de la unidad inferior, cuya base no aflora, tanto la unidad media como la superior presentan espesores marcadamente menores.

La unidad inferior consiste en capas medias a gruesas de dolomías color gris claro a oscuro, con cristales subedrales hasta euedrales, ocasionalmente se encuentran nódulos pequeños de pedernal negro, gris azulado hasta rosado. Esta unidad aflora en las partes bajas del flanco nororiental de la Sierra de Las Lilas. El espesor de esta unidad se desconoce, ya que no aflora su base, pero se estima que es mayor a los 150 metros.

Sobreyace a una unidad media compuesta por capas gruesas hasta masivas de dolomías negras, muy porosas y fuertemente silicificadas con abundantes nódulos de hematita.

La unidad superior está compuesta por capas medias a delgadas de dolomías grises a gris oscuro que, hacia las partes superiores de la unidad, se intercalan con algunas capas medias de areniscas bien recristalizadas de color café rosado. La cantidad y tamaño de nódulos y lentes de pedernal comunes en las otras unidades de esta formación tienden a disminuir notablemente hacia las capas superiores. El espesor de esta unidad es de aproximadamente 100 m.

Formación Santa Rita

Era: Paleozoico

Sistema: Pérmico (Temprano)

Millones de años: 272-253

La Formación Santa Rita en el área de estudio se encuentra expuesta en el flanco sureste de la Sierra de Las Lilas y está conformada por una alternancia de areniscas cuarcíferas (cuarzo > 95%) en capas que van de 10 hasta 40 cm de espesor, de color gris rosado, pardo hasta rojo, bien compactas y estratificadas con abundantes nódulos de hematita. Hacia las partes superiores de la formación se intercalan algunos horizontes medios (hasta 30 cm) de dolomías grises. Las areniscas de la Formación Santa Rita muestran un porcentaje de 70–80% en granos (>95% granos de cuarzo, el restante 5% son zircones y minerales opacos).

La matriz original fue reemplazada por sílice (cuarzo) a través de procesos diagenéticos tardíos. Los componentes de esta formación muestran una granulometría que va de arena media a gruesa en granos de cuarzo de 0.2–0.7 mm, casi exclusivamente monocristalinos, los cuales muestran una morfología semiangular a subredondeada.

El espesor de la Formación Santa Rita es desconocido ya que no afloran rocas sobreyacentes, pero se calcula no menor a los 100 m. Debido a una cubierta de sedimentos recientes, se desconoce el tipo de contacto de las rocas sedimentarias paleozoicas y la secuencia calcárea mesozoica de la sierra del Cartucho al SW. Aunque existen secuencias paleozoicas que sobreyacen a secuencias mesozoicas en la porción suroccidental de Nuevo México, al norte del área de estudio es aún especulativo su tipo de contacto.

Rocas Sedimentarias Cretácicas

En el área de Bismark, con base en afloramientos y datos de barrenación, existen 600 m de calizas fosilíferas y areniscas de edad Cretácico Temprano; se presume una posible correlación con el Grupo Chihuahua, formado por calizas de la Formación Benigno, areniscas de la Formación Cox, así como calizas y lutitas de la Formación Benavides (López-Doncel, R., Labarthe-Hernández, G. y Mata-Segura, J.L., 2005).

La sierra del Cartucho es una estructura morfológica positiva con una longitud de 10.5 Km. y una anchura máxima de 3 Km., la elevación promedio de esta sierra es de 1,500 m y su máxima de 1,900 msnm. Se encuentra limitada en su parte noroccidental–suroriental por una cubierta de sedimentos recientes, los que cubren el contacto entre los sedimentos mesozoicos de la sierra del Cartucho y la secuencia sedimentaria paleozoica de la sierra de Las Lilas (Consejo de Recursos Minerales, 1993, Monografía Geológico-Minera del Estado de Chihuahua). La terminación suroriental está truncada por el emplazamiento del intrusivo cuarzomonzónico de Bismark. El límite EES–WWS de esta sierra está cubierto por una secuencia de sedimentos cuaternarios, así como por derrames basálticos y riolíticos terciarios (valle La Diana). Las partes bajas de la culminación noroccidental de la sierra del Cartucho están a su vez también cortadas por el intrusivo Palomas Microondas.

En la literatura se ha diferenciado la secuencia sedimentaria de la sierra del Cartucho de una secuencia calcáreo-arenítica de lo que se nombra “sierra de Bismark y cerro de la Medalla”, como dos unidades geológicas y geomorfológicas diferentes. Ciertamente, la llamada “sierra de Bismark” no es otra cosa que la prolongación suroriental de la sierra del Cartucho, por lo cual en este trabajo el término sierra del Cartucho incluye también a la secuencia sedimentaria que se encuentra en contacto con el Intrusivo Bismark y que injustificadamente se le llama “sierra de Bismark”. Las rocas aflorantes en la sierra del Cartucho son fácilmente diferenciables entre sí debido a sus características litológicas, así como a su contenido faunístico (López-Doncel, R., Labarthe-Hernández, G. y Mata-Segura, J.L., 2005). De este modo se han diferenciado dos secuencias sedimentarias pertenecientes al Cretácico Inferior:

1) Secuencia compuesta por dos unidades con fauna neocomiana (Unidad Roja y Unidad Calcárea), para la cual no existen reportes publicados con su denominación formacional y que aquí se llamará informalmente secuencia Neocomiana Bismark.

2) Secuencia sedimentaria Aptiana–Albiana, compuesta por tres formaciones, que de acuerdo a las similitudes litológico- faciales y paleontológicas son correlacionables con formaciones del Cretácico Inferior del norte de Chihuahua y sur de Nuevo México, a saber la Formación Cuchillo del Aptiano–Albiano inferior y las Formaciones Benigno en su parte superior, ambas del Albiano.

Unidad Secuencia Roja

Esta unidad es la base de la secuencia de rocas que conforman la sierra del Cartucho. Debido a su característico color rojizo a ocre se le ha denominado de manera informal como Unidad Roja, esta se extiende a lo largo de todo el flanco norte y hacia la terminación NW de la sierra del Cartucho; conforman las partes bajas de ésta. Se reconocen tres subunidades diferentes.

La primera subunidad (A) que aflora es una secuencia alternante de lutita gris oscuro, negra o hasta de color beige rojizo, muy físil, en horizontes de hasta 2 m de espesor (normal 30–50 cm), los cuales se intercalan con capas medianas de wackestone y packstone gris oscuro (intemperizan a ocre). Las calizas llegan a ser ricas en macrofauna (gasterópodos, moluscos, etc.) y microfauna, principalmente foraminíferos planctónicos y radiolarios. Algunos de estos horizontes calcáreos son margosos, lo que hacia el contacto con la subunidad superior disminuye notablemente; la secuencia se hace marcadamente más calcárea. El espesor de esta subunidad es desconocido por no aflorar su base pero se calcula en no menor a 10 m.

Sobreyace a ésta se encuentra la subunidad B, secuencia de al menos 20 m de espesor de caliza gris oscuro (intemperiza en rojizo ocre) en bancos gruesos (boundstone) de hasta 2.0 m de espesor. Estas calizas están formadas por bancos con abundantes moluscos, en acumulaciones en forma de coquinas donde se destaca la excelente preservación de las conchas de los ejemplares. En esta subunidad se intercalan capas más delgadas (30–50 cm) de grainstone oolítico y floatstone fosilífero, lo que indica claramente zonas de gran energía.

Sobre la subunidad B descansa la subunidad C, la cual consiste en una alternancia de aproximadamente 30 m de caliza fosilífera, de color gris oscuro (intemperiza a rojo), con un marcado olor fétido, en capas de 30 a 15 cm, las cuales se intercalan con capas delgadas de lutita de color ocre a rosado-rojo, sin fósiles.

Secuencia Neocomiana Bismark: Unidad Calcárea:

A las rocas basales de la Unidad Roja la sobreyace una serie de bancos de caliza micrítica (mudstone) hasta arrecifal (boundstones), se encuentra ampliamente distribuida a todo lo largo del flanco norte, parte noroccidental y en la terminación poniente de la Sierra del Cartucho.

Está constituida en su parte inferior por horizontes medios (30–40 cm) de color gris oscuro (intemperizado gris medio), de caliza micrítica a biomicrítica, los cuales hacia la parte media y superior de la unidad se engrosan marcadamente y muestran un marcado cambio facial a capas más fosilíferas hasta arrecifales. La unidad calcárea presenta marcada carstificación, fracturamiento, normalmente relleno con calcita, así como también abundantes nódulos de hematita de hasta 5 cm de diámetro. Localmente están presentes nódulos de pedernal de color gris oscuro.

Secuencia Sedimentaria Aptiana–Albiana:

Formación Cuchillo:

Era: Mesozoico

Sistema: Cretácico (Temprano-Tardío)

Piso: Aptiano-Albiano

Millones de años: 114-108

La Formación Cuchillo sobreyace concordantemente a la unidad calcárea de la Secuencia Sedimentaria Neocomiana. Esta formación se encuentra bien expuesta en la parte media oriental del núcleo de la sierra del Cartucho (fotografía 4.1). La Formación Cuchillo está compuesta por una intercalación muy regular de calizas carstificadas de color gris oscuro a negro, en bancos medios, gruesos y hasta masivos, con abundantes nódulos de pedernal y ocasionalmente nódulos de hematita, y horizontes gruesos, medios y delgados de lutita gris oscuro a negro.

Localmente se intercalan capas delgadas de limolitas color gris rosado a rojizo. En esta unidad, tanto los bancos lutíticos como los limolíticos se presentan marcadamente fósiles y sin fósiles. Pobrementemente representadas se encuentran algunas capas y lentes delgadas de una arenisca gris verdoso a ocre con poca distribución lateral. Las areniscas

se presentan muy impuras, son de grano fino y angular, con una matriz calcáreo-arcillosa y sin fósiles.

Por posición estratigráfica y contenido faunístico, la edad de esta formación es considerada del Aptiano al Albiano inferior del Cretácico Inferior. Los sedimentos de esta unidad indican marcadas variaciones en el ambiente de depósito, que incluye tanto aguas profundas a moderadamente profundas (micritas y biomicritas) de zonas desde el bordo y talud de plataforma hasta la cuenca, como zonas de aguas someras con corrientes moderadas. El espesor de esta unidad es de 120 metros.

Formación Benigno

Era: Mesozoico

Sistema: Cretácico (Temprano)

Piso: Albiano

Millones de años: 108-96

Aflora en la parte central y suroriental del margen sur de la sierra del Cartucho y forma por su hábito masivo grandes escarpes, por lo que es fácilmente diferenciable en el campo (fotografía 4.2). Esta formación consiste en estratos medios a gruesos y masivos de caliza, de color gris medio a claro, que en su mayor parte contienen abundante fauna arrecifal. Su base consta de una secuencia de por lo menos 10 m de caliza arrecifal masiva (sin estratificación) y bien carstificada. Los organismos que componen el arrecife son principalmente rudistas, gasterópodos, briozoos y ocasionalmente corales. Localmente, la Formación Benigno presenta zonas o “manchas” de dolomitización, las cuales aparecen en color gris oscuro a negro, muy porosas y, por su intensa recristalización, no se reconocen fósiles.

La Formación Benigno se encuentra moderadamente basculada al SW y desaparece hacia el extremo nororiental y hacia el sur de la sierra del Cartucho, debido por una parte a procesos tectónicos y por otra a una gruesa capa de sedimentos cuaternarios. El espesor de la Formación Benigno es desconocido ya que no aflora su cima, sin embargo, se sabe que esta formación se extiende hasta el área de la mina de Bismark, ya que rocas con fauna arrecifal son encontradas en cortes al nivel 1,000. Esto puede

interpretarse como la posible continuación del arrecife en el valle al sur de la sierra del Cartucho hasta la mina de Bismark, por lo que su espesor se considera no menor a los 300 m. Tanto la litología como la fauna de esta unidad corresponden con la definición original de la Formación Benigno (DeFord y Haenggi, 1970).

Durante el Terciario prevalecieron condiciones continentales propiciándose el depósito de clásticos en las cuencas y una actividad magmática evidenciada por el emplazamiento de cuerpos intrusivos de composición félsica (cuarzomonzonitas - granodioritas) y por lavas y tobas de composición félsica e intermedia (andesitas, traquitas y riolitas).

Secuencia Magmática Terciaria

Esta secuencia sobreyace y afecta a las secuencias sedimentarias antes descritas. Se reconocieron rocas ígneas como: basaltos, tobas ignimbritas e intrusivos; de las rocas ígneas intrusivas se reconocen 3 intrusivos:

Intrusivos:

1.- Intrusivo Microondas (Tim)

Era: Cenozoico

Sistema: Paleógeno

Piso: Paleoceno (Temprano)

Millones de años: 60

Se encuentra expuesto al Norponiente del área de estudio, con una extensión de 4.5 Km., se encuentra emplazado en las secuencias sedimentarias del Cretácico y Paleozoico. Este intrusivo es una roca de color blanco, cambia a pardo claro por el intemperismo, con textura porfídica de grano grueso y con alteración débil. De composición granítica, esta unidad intrusiva a las Formaciones Cuchillo y Santa Rita (Lilas).

2.- Intrusivo Bismark (Tib)

Era: Cenozoico

Sistema: Paleógeno

Piso: Eoceno (Medio)

Millones de años: 55

El nombre de este intrusivo fue tomado de la mina de Bismark ya que ahí se ubica intrusionando a la secuencia sedimentaria de la Formación Benigno. Se encuentra en la terminación Suroriental de la Sierra del Cartucho, limitado al Norte por el valle La Diana y al Sur por la Unidad Calcáreo-arenítica, es fácil de reconocerle por sobresalir sobre el nivel de los valles del área de estudio.

Consiste de una roca de color blanco, de textura porfídica de grano grueso, con alteración incompetente, se le ha clasificado como intrusivo cuarzomonzonítico, aunque de acuerdo con los análisis químicos de una muestra se clasifica como intrusivo granítico.

3.- Basalto los Chinos (Toch)

Era: Cenozoico

Sistema: Cuaternario

Piso: Pleistoceno

Millones de años: 1.8

No se encuentra descrita como una formación por lo que informalmente se designa con este nombre a una andesita-basalto. Aflora en la porción Noroccidental, en una franja alargada que comienza prácticamente en el Rancho Los Chinos; consiste en un derrame de lava color gris oscuro, con aspecto vesicular, las vesículas están rellenas, presenta fenocristales de plagioclasas, calcita, cuarzo secundario en forma de esferolitas y piroxenos.

Algunas ocasiones el basalto es de color rojizo debido al intemperismo. Su espesor es variable pero es relativamente delgado (10 – 20 metros); durante el Cuaternario se depositaron derrames de basaltos provenientes de una actividad magmática final en la región y continuó el depósito de sedimentos clásticos.



Fotografía 4.1 Calizas de las Formación Cuchillo en la sierra del Cartucho, se observan fósiles sobre una matriz de cuarzo y calcita.



Fotografía 4.2 Calizas de la Formación Benigno afloran en la falla amarilla al poniente del yacimiento Bismark.

4.3 ESTRUCTURAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

Existen en el depósito tres sistemas de fallas y fracturas importantes post-minerales, uno representado por la Falla Bismark, con rumbo NW 65°-70° SE, el otro por fallas-fracturas transversales con rumbo NE 25°-30° SW y el tercero con rumbo NW 5°-10° SE, cuyo ejemplo más evidente sería la Falla Diana (figura 4.4); las fallas se consideran del tipo normal, algunas transversales presentan un ligero movimiento lateral que ha dislocado los contactos de rocas y cuerpos minerales y pueden reflejarse en superficie rellenas de calcita.

Se presenta además otro sistema de fracturas premineral, transversal al contacto, representado por los diques de cuarzomonzonita con mineralización en sus contactos con la caliza y también por estructuras rellenas de óxidos de Fe (sulfuros oxidados) y calcita.

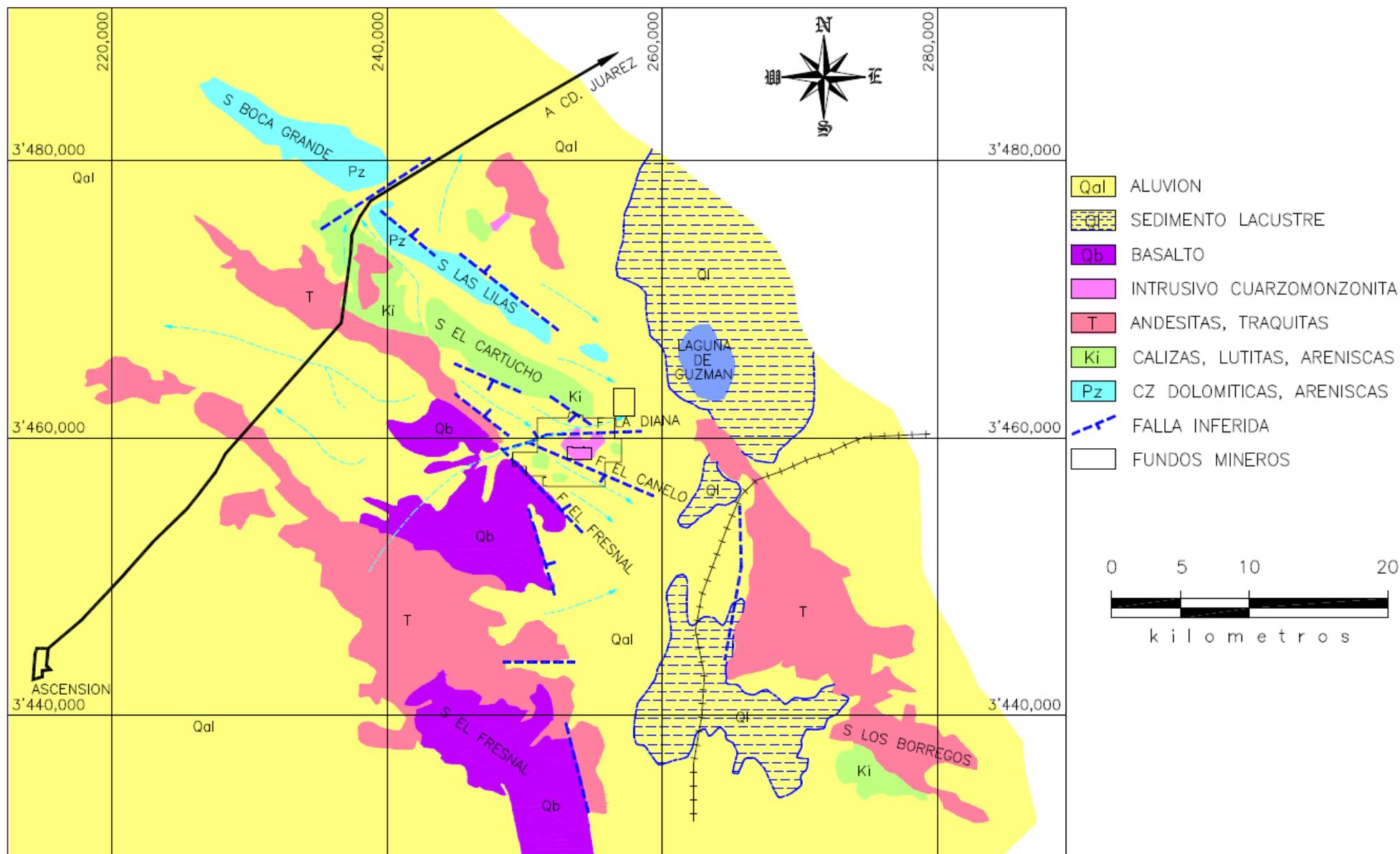


Figura 4.4 Principales estructuras y fallas sobre el área de estudio (tomada y modificada de Informe Proyecto Bismark, Industrias Peñoles S.A. de C.V., Junio 1999).

5.- YACIMIENTO BISMARCK.

5.1 TIPO DE DEPÓSITO.

El yacimiento de Minera Bismark es un depósito tipo skarn, que ocurre en el contacto entre rocas sedimentarias calcáreas cretácicas, posiblemente de la Formación Benigno, con un intrusivo cuarzomonzonítico. El contacto es muy vertical 75 a 85 grados y tiene un rumbo notable recto NW 70° SE, se asume que es debido al emplazamiento del intrusivo o parte de él en una falla terciaria premineral, del mismo rumbo.

Los cuerpos mineralizados identificados en el depósito de Bismark son; el Central, Poniente y Oriente. El espesor de los cuerpos varía de 1 a 20 m con promedio general de 6 m. La longitud de los cuerpos es variable. El cuerpo Central esta mineralizado en una longitud de 700 m y profundiza verticalmente; por información de la barrenación con diamante a 450 m, la mineralización continúa a profundidad

5.2 MINERALOGÍA.

Los principales minerales identificados en el yacimiento son: aguilarita, argentita, calcopirita, crisocola, esfalerita, galena, malaquita, molibdenita, proustita, piritita y pirrotita. El skarn es de granate de la serie grosularita-andradita, con piroxeno, hedenbergita-johansenita y con minerales de alteración retrógrada como anfíboles, actinolita-tremolita, clorita, ilvaíta y minerales accesorios como talco y wollastonita.

El zoneamiento transversal del yacimiento es normal, con granates rojo-pardo, pirrotita y sulfuros de cobre en el contacto intrusivo-skarn; granates verde-amarillo, piritita y sulfuros de zinc en los bordes skarn-caliza, la textura es bandeada y de grano fino a medio. Longitudinalmente, el centro de calor se encuentra en el extremo oriente del yacimiento con una aureola de minerales de cobre-zinc, bordean esta aureola y difundida hacia el poniente crece el porcentaje de zinc y disminuye el cobre. En las chimeneas se tiene la típica mineralización distal con mineralización de grano grueso de plata, plomo y zinc, en forma de bolsadas.

5.3 GÉNESIS DEL YACIMIENTO.

La mineralización económica del yacimiento de Bismark está formada por sulfuros masivos de zinc, plomo y cobre, en ganga de granates, pirita, pirrotita, epidota, calcita y clorita, se observa un zoneamiento con incremento de zinc y cobre a profundidad en los cuerpos tabulares. La textura en estos cuerpos es bandeada y de grano fino.

Dentro del Cuerpo Central es notorio el incremento en el contenido de pirita y pirrotita en su parte central. La zona del Cuerpo Poniente se caracteriza por un incremento en los contenidos de plomo-plata y por una textura bandeada de grano más grueso que los cuerpos tabulares. La ganga en ambos tipos de mineralización es básicamente la misma.

La silicificación es la alteración más abundante y está presente en las rocas sedimentarias cretácicas, específicamente en las calizas; se desarrolla un exoskarn con grosularita-andradita, calcita, epidota, cuarzo, tremolina y actinolita. En los horizontes calcáreo-arenosos y cuarzo-arenosos, la alteración se limita a la formación de hornfels y cuarcita.

5.4 PARAGÉNESIS.

Se identifican tres etapas de depósito de minerales, dos de ellas pertenecen al depósito primario y la tercera a un evento de enriquecimiento supergénico (figura 5.1).

PRIMERA ETAPA: El primer evento mineralizante es contemporáneo a la fase final de formación del skarn, está evidenciado por bandas de esfalerita-pirrotita, en menor cantidad calcopirita, galena, bismuto nativo y cosalita (fotografía 5.1).

SEGUNDA ETAPA: Se caracteriza por galena, calcopirita y la sustitución de pirrotita por pirita-marcasita (fotografía 5.2).

TERCERA ETAPA: En esta etapa se encuentra calcosita-covelita, cerusita y goethita-limonita (fotografía 5.3). La plata debe estar dentro de minerales de galena o bismutinita ya que no fue observada en forma individual.

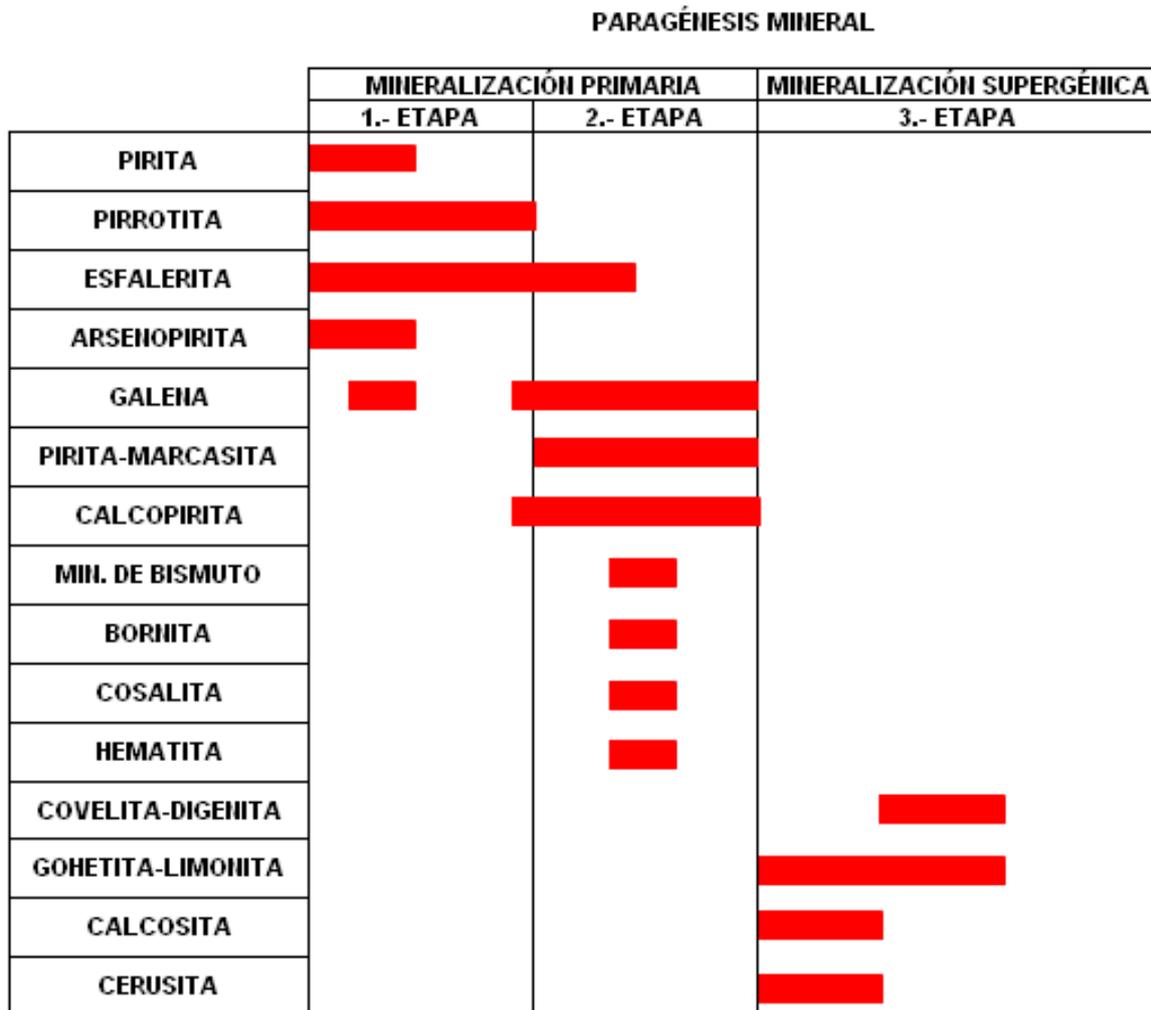


Figura 5.1 Muestra las principales etapas de mineralización del yacimiento Bismark. (Tomado del informe proyecto Bismark, 1991).



Fotografía 5.1 Paragénesis primaria donde se observa el bandeamiento de la esfalerita.



Fotografía 5.2 Paragénesis secundaria donde se observa la galena.



Fotografía 5.3 Paragénesis de la tercera etapa donde se observa la calcosita y calcopirita (mineral de cobre)

5.5 ALTERACIONES.

Las zonas de alteración de diferentes tipos y orígenes están ampliamente distribuidas en el lugar; destaca la zona de skarn que se encuentra en los sedimentos que están en contacto con los cuerpos intrusivos del área. La aureola de contacto que existe en los sedimentos de la Formación El Cuchillo del Cretácico y de la Formación Santa Rita del Pérmico, al contacto con el intrusivo Microondas, presenta grandes semejanzas con el halo de alteración y metamorfismo existente en los sedimentos de la Formación Benigno, que limitan al intrusivo Bismark. En ambas zonas, aunque las aureolas de alteración no están muy bien desarrolladas superficialmente, es posible reconocer la zona de skarn y metamorfismo de contacto (mármol y cuarcitas) en estas unidades. Las áreas al suroriente y sur del intrusivo Microondas, así como los cerros al poniente y sur poniente del intrusivo Bismark son un ejemplo de esto.

Zonas de oxidación y jasperización en asociación a fallamiento local, están bien distribuidas en el área de trabajo. De éstas destacan la gran franja de oxidación y silicificación a lo largo de las partes bajas del flanco sur de la sierra el Cartucho, donde

incluso temporalmente se abrieron pequeñas catas preferentemente de exploración. Grandes zonas de oxidación y jasperización se encuentran también en el núcleo de la sierra del Cartucho y en los cerros al suroriente del intrusivo Microondas al sur del rancho El Venado.

5.6 CLASIFICACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS.

Se incluyen definiciones y conceptos tomados del código JORC.

Recurso de mineral: es una concentración de mineral de orden económico que se estima o interpreta a partir de una evidencia geológica específica y dependiendo de su ubicación, cantidad, contenido metálico, características geológicas y continuidad se puede considerar para una eventual extracción.

Recurso medido: es una parte del recurso mineral para el cual el tonelaje, densidad, forma y características físicas, puede ser estimado con un alto nivel de confianza, ya que está basado en una exploración detallada, como muestreo, barrenación a diamante y otras técnicas aplicadas apropiadamente dependiendo de las características físicas de cada lugar. La densidad de la exploración está espaciada suficientemente para confirmar la continuidad geológica.

Recurso indicado: es una parte del recurso mineral para el cual el tonelaje, densidad forma y características físicas, puede ser estimado con un nivel razonable de confianza, ya que está basado en exploración detallada, como muestreo, barrenación a diamante y otras técnicas aplicadas apropiadamente dependiendo de las características físicas de cada lugar. La densidad de la exploración está muy espaciada para confirmar la continuidad geológica, pero está lo suficiente para asumir dicha continuidad.

Recurso inferido: es una parte del recurso mineral para el cual el tonelaje y características físicas, pueden ser estimados con un bajo nivel de confianza ya que está basado en exploración, como muestreo, barrenación a diamante y otras técnicas dependiendo de las características físicas de cada lugar, los cuales pueden ser limitados o de incierta confiabilidad. Se le infiere por evidencia geológica, pero no se verifica su continuidad.

Reserva de mineral: es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido o indicado en la que fueron realizados estudios de factibilidad y se tomaron en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales (normas y leyes que establece la STPS) para demostrar y justificar su extracción, en el tiempo en que fue estimada.

Reserva probada: es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido en la que fueron realizados estudios de factibilidad y se tomaron en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales para demostrar y justificar su extracción, en el tiempo en que fue estimada.

Reserva probable: es la parte explotable de un recurso mineral medido o indicado en la que fueron realizados estudios de factibilidad y se tomaron en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales para demostrar y justificar su extracción, en el tiempo en que fue estimada.

Mineral económico: es la parte de mineral cuyo valor es superior al valor mínimo costeable.

Mineral marginal: es la parte de mineral cuyo valor es inferior al valor mínimo costeable, pero superior a la suma del costo variable más la mitad del costo fijo.

Mineral sub-marginal: es la parte de mineral cuyo valor es inferior al costo variable pero superior al valor mínimo costeable menos un dólar multiplicado por el % del costo variable, este mineral puede ser aprovechado con una variación positiva de cotizaciones, disminución de costos o producción a gran escala.

Valor mínimo costeable: es igual a la suma del costo fijo (equivale al 48% del costo total de producción) más el costo variable (equivale al 52%).

Costo fijo: son aquellos costos sobre los cuales no se puede hacer un ajuste considerable debido a que son indispensables para la operación, tales como ventilación, mantenimientos preventivos, salarios, prestaciones, etc.

Costo variable: son aquellos costos que van íntimamente ligados a la operación y dependen directamente de la cantidad y calidad de la producción, es decir, energía eléctrica, reparaciones de equipos, tumbe, desarrollo, acarreo, materiales de operación, etc.

Peso específico: es el peso en gramos de un centímetro cúbico de mineral. Este debe estimarse sistemáticamente, haciendo un muestreo en varios puntos del depósito, pero aplicando una reducción al peso resultante, por aquellos espacios vacíos propios de un cuerpo mineralizado, como son la porosidad, huecos por fallas, fracturas, oquedades, etc., así como fragmentos de roca estéril que tienen menor peso que el mineral.

6.- BARRENACIÓN CON DIAMANTE.

6.1 MUESTREO.

En los 55 barrenos perforados por Minera Cuicuilco se analizaron 2,283 muestras para un total de 4,861.65 metros; con un promedio de 88.39 metros analizados por cada barreno, en los 283 barrenos perforados a la fecha por peñoles en superficie se analizaron 8,621 muestras y en interior mina 1,191 barrenos para un total de 22,372 muestras lo cual da un promedio de 28.1 metros analizados por cada barreno perforado por peñoles (tabla 6.1). El número de muestras de canal analizadas a la fecha es de 10,189 dando un total de 12,334.7 metros analizados.

La barrenación dada es sistemática y diseñada en plantillas de 25 X 25 m y 50 X 50 m según las características de los cuerpos (figura 6.1)

		NO. BNOS.	METROS	NO. MUESTRAS
SUPERFICIE	CUICUILCO	55	17,224.00	2,283
	PEÑOLES	283	127,297.90	8,621
	SUMA	338	144,521.90	10,904
INTERIOR MINA	PEÑOLES	1,191	153,556.60	22,372
TOTAL		1,529	298,078.50	33,276

Tabla 6.1 Barrenación dada para el análisis de muestras de barrenos.

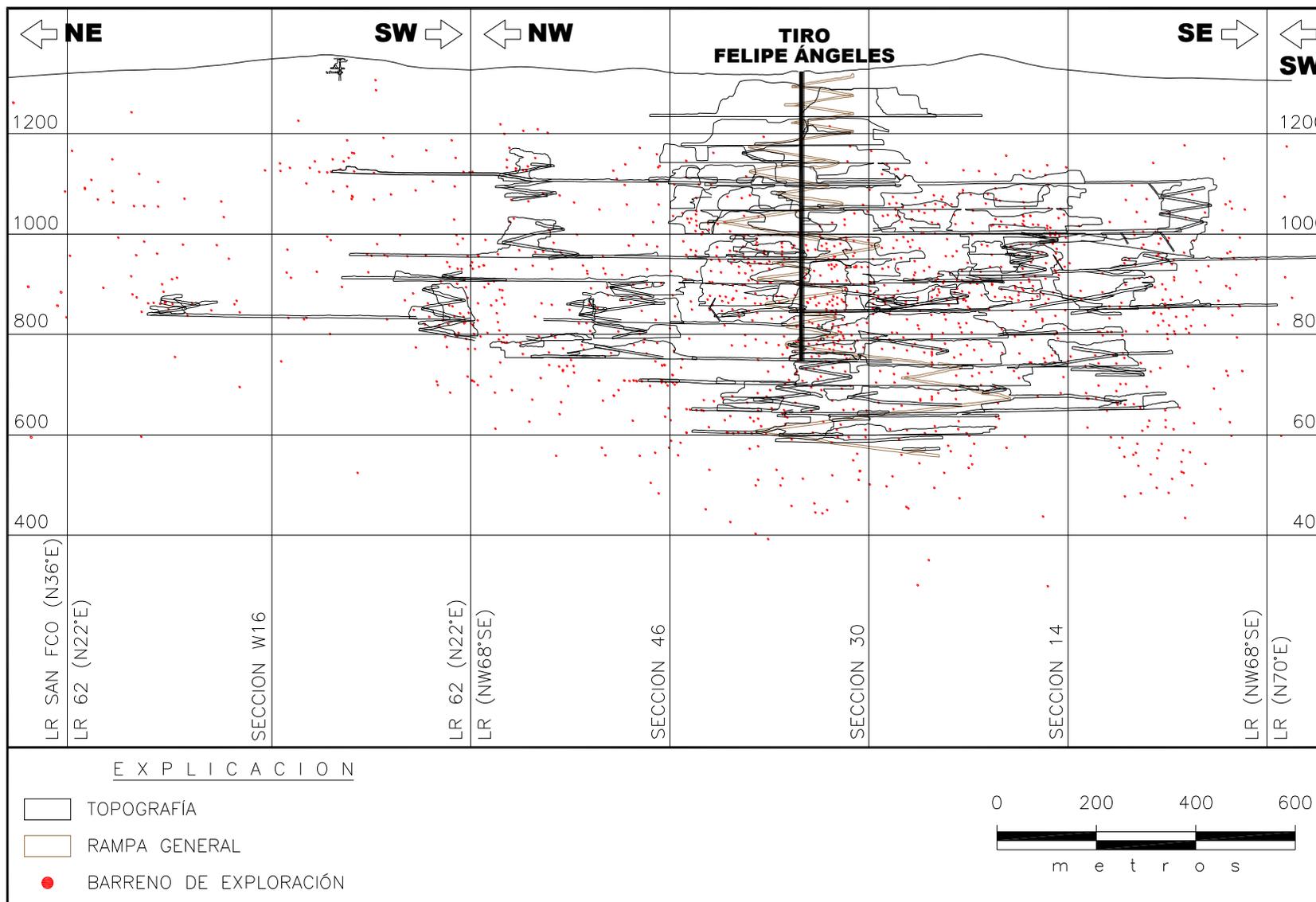


Figura 6.1 Sección longitudinal que muestra la barrenación que se usó en el cálculo de las reservas.

6.2 DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS.

La descripción geológica de barrenos se realiza a la par del cuando se realiza el estudio o logeo de un barreno; ésta es una etapa de gran importancia donde se detallan: la litología, alteraciones, texturas, mineralización, fallas, fracturas, ángulos, distancias, el índice de recuperación del núcleo, etc. (ver tabla 6.2), por tanto es recomendable utilizar una escala gráfica adecuada para dibujar y plasmar todos estos detalles que posteriormente cuando se dibujan en una sección geológica ayudarán a realizar una interpretación más fácilmente de las estructuras geológicas y minerales (figura 6.2).

MINERA BISMARCK S. A. de C.V.											
LITOLOGÍA											
Proyecto CUERPO 07											
Barreno 1175											
No.	De (m)	A (m)	Longitud (m)	Formación	Litología	Tipo	Color	Intensidad	Textura	Angulo°	Observaciones
1	0.00	3.90	3.90		Sk		Vrd	Clr	Gf	60	
2	3.90	39.40	35.50		Cz	Clc	Grs		Scr	60	
3	39.40	40.10	0.70		And		Vrd	Osc	Prfa	55	Dike
4	40.10	93.50	53.40		Cz	Clc	Grs		Scr	60	Aislados nódulos de pedernal
5	93.50	136.80	43.30		Cz	Clc	Grs	Clr	Scr	40	
6	136.80	167.90	31.10		Cz	Clc	Grs	Osc	Gf	50	Aislados nódulos de pedernal
7	167.90	170.00	2.10		Hf		Vrd	Clr	Gf	45	
8	170.00	205.10	35.10		Cz	Clc	Grs	Clr	Scr	45	
9	205.10	205.70	0.60		SkSS		Vrd	Osc	Gm	65	
10	205.70	208.60	2.90		SkSD		Vrd	Osc	Gm	65	
11	208.60	282.90	74.30		Sk		Vrd	Osc	Gm	60	
12	282.90	283.65	0.75		SkSD		Vrd	Osc	Gm	50	
13	283.65	285.50	1.85		Sk		Vrd	Osc	Gm	55	
14	285.50	286.75	1.25		SkSD		Vrd	Osc	Gm	40	
15	286.75	287.75	1.00		SkSM		Vrd	Osc	Gm	40	
16	287.75	315.25	27.50		Qmz		Grs	Clr	Prf	35	

Tabla 6.2 Formato de descripción geológica en excel para barrenos de exploración.

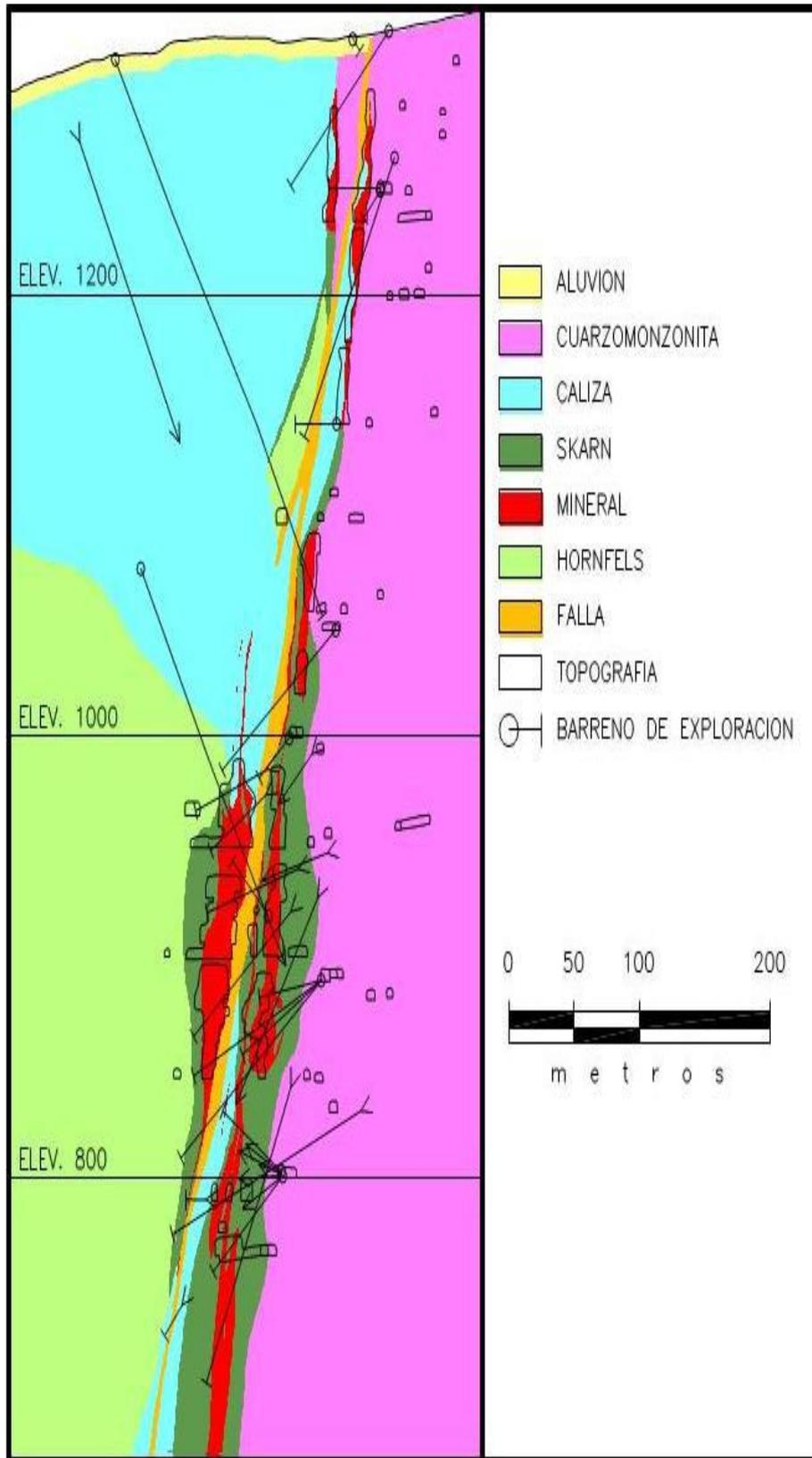


Figura 6.2 Sección geológica hacia el poniente del block 19, en donde se usó la proyección de los barrenos para construir la traza del cuerpo para construir el modelo tridimensional.

7.- GEOESTADÍSTICA.

7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

La estimación de recursos y reservas de mineral se realizó por métodos geoestadísticos, utilizando el software Datamine Studio 3.0. Esta metodología comprende varias etapas, donde destacan la elaboración de diferentes bases de datos como la de muestras de canal y muestras de barrenos a diamante, construcción de un modelo geológico tridimensional de los diferentes cuerpos mineralizados, análisis estadístico y geoestadístico de las principales variables químicas del depósito y el análisis de los resultados obtenidos.

La ventaja de utilizar el método geoestadístico consiste en encontrar la mejor manera de estimar la ley de un bloque considerando tanto las muestras internas como las externas al mismo, aprovechando al máximo la información existente; eliminando errores sistemáticos de sub o sobre estimación de los recursos.

Los métodos de interpolación utilizados fueron el Kriging ordinario y el inverso de la distancia al cuadrado, dependiendo de la densidad de información con la que contaba cada uno de los cuerpos mineralizados.

Los resultados se pueden mejorar una vez que se vaya obteniendo mayor información, tanto de las obras de exploración con obra directa así como la exploración con barrenación a diamante, y los muestreos de canal, rezaga y lodos.

Además, la información proveniente de prácticas de protocolo de QA/QC da un nivel de confianza y precisión en la calidad y el control de muestras, para una mejor elaboración de semivariogramas y parámetros de interpolación.

Para efectos de llevar a cabo una planeación más eficaz de la preparación y extracción de las reservas de mineral, se tendrá que realizar un análisis de los diferentes cuerpos por medio de una evaluación por secciones longitudinales, que permitirá optimar la explotación de los cuerpos minerales para obtener el máximo beneficio, de acuerdo a los intervalos de mineral asignados para esta estimación y al valor de mineral en cada uno de los bloques a minar.

7.2 PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS.

Los parámetros utilizados para la estimación de recursos y reservas de mineral fueron proporcionados por la Gerencia Divisonal de Exploración en unidades mineras del grupo Peñoles. A continuación se enuncian los parámetros en las tablas 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4.

COTIZACIÓN DE LOS METALES			
<i>Elemento</i>	<i>Unidad</i>	<i>Estimación de recursos y reservas de mineral</i>	
		<i>Al 31 de mayo de 2010</i>	<i>Al 30 de noviembre 2010</i>
Ag	USD/oz	14.77351	15.86089
Pb	USD/lb	0.98591	0.91519
Zn	USD/lb	0.96483	0.86445
Cu	USD/lb	2.77921	2.82825

Tabla 7.1 Cotización de los metales.

VALORES UNITARIOS LIQUIDABLES			
<i>Elemento</i>	<i>Unidad</i>	<i>Estimación de recursos y reservas de mineral</i>	
		<i>Al 31 de mayo de 2010</i>	<i>Al 30 de noviembre de 2010</i>
Ag	USD/oz	0.20876	0.21557
Pb	USD/lb	4.52454	7.55267
Zn	USD/lb	9.79508	8.19720
Cu	USD/lb	29.52255	24.66871

Tabla 7.2 Valores unitarios liquidables.

LÍMITES DE COSTEABILIDAD		
	<i>Estimación de recursos y reservas de mineral</i>	
	<i>Al 31 de mayo de 2010</i>	<i>Al 30 de noviembre de 2010</i>
Mineral económico (USD/ton)	> 50.10	>50.39
Mineral marginal (USD/ton)	38.03 – 50.09	39.65 – 50.38
Mineral submarginal (USD/ton)	25.53 – 38.02	28.39 – 38.64

Tabla 7.3 Límites de costeabilidad.

LEY MÍNIMA DE CORTE			
<i>Elemento</i>	<i>Unidad</i>	<i>Estimación de recursos y reservas de mineral</i>	
		<i>Al 31 de mayo de 2010</i>	<i>Al 30 de noviembre de 2010</i>
Ag	gr/ton	20	22
Pb	%	0.02	0.02
Zn	%	4.54	5.45
Cu	%	0.05	0.05

Tabla 7.4 Ley mínima de corte.

Definiciones:

Cotización de los metales.- Valor promedio de la cotización de los 36 meses anteriores al cálculo de reservas con respecto a la cotización de la bolsa de valores de Londres.

Valor unitario liquidable.- Es el valor por cada gramo, por cada 1% o por unidad de metal o no metal vendible. Este se calcula a partir de las proformas de liquidación de la fundición, en las que se consideran los volúmenes de concentrados, sus ensayos,

cotizaciones de los metales, valor y porcentaje pagado en la fundición, deducciones, castigos, maquila, fletes, energía eléctrica, etc.

Límite de contabilidad.- Valor del mineral que es mayor al total de los costos de operación y gastos divisionales, a partir del cual se considera el valor del mineral como económico.

Ley mínima de corte.- Ley mínima explotable que entra en el intervalo del mineral económico.

7.3 ESTADÍSTICA DE LA BASE DE DATOS.

Para la estimación de recursos y reservas de mineral se utiliza el sistema Data Mine; se hace con la siguiente metodología (diagrama 7.1): entradas y salidas que comprenden varias etapas, donde destacan la construcción de diferentes bases de datos como la de muestras de canal y muestras de barrenos a diamante, construcción de un modelo geológico tridimensional de los diferentes cuerpos minerales, el análisis estadístico y geoestadístico de las principales variables químicas del depósito y el análisis de los resultados obtenidos.

Bases de Datos y Diagrama de Flujo para la Estimación de Reservas

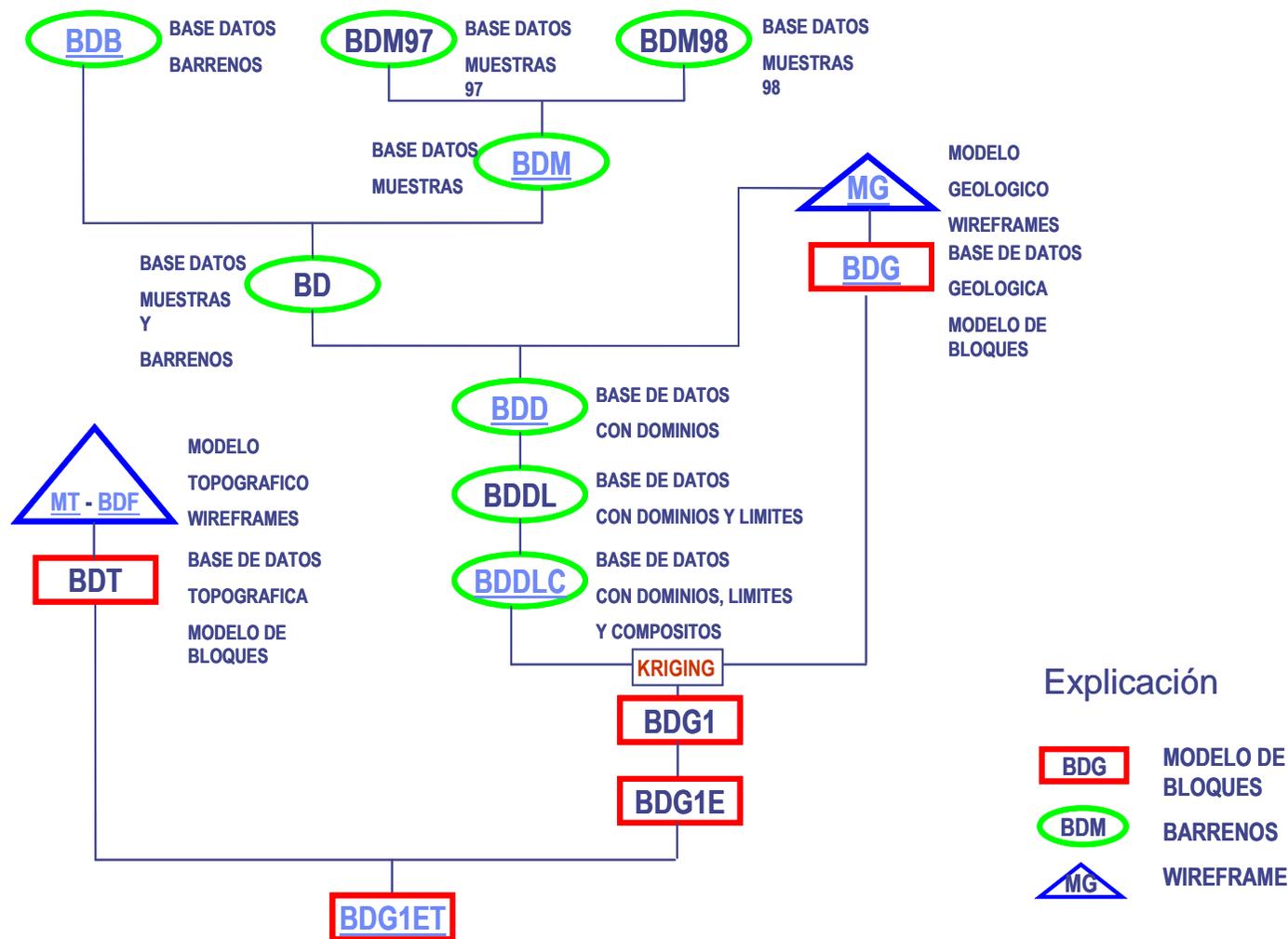


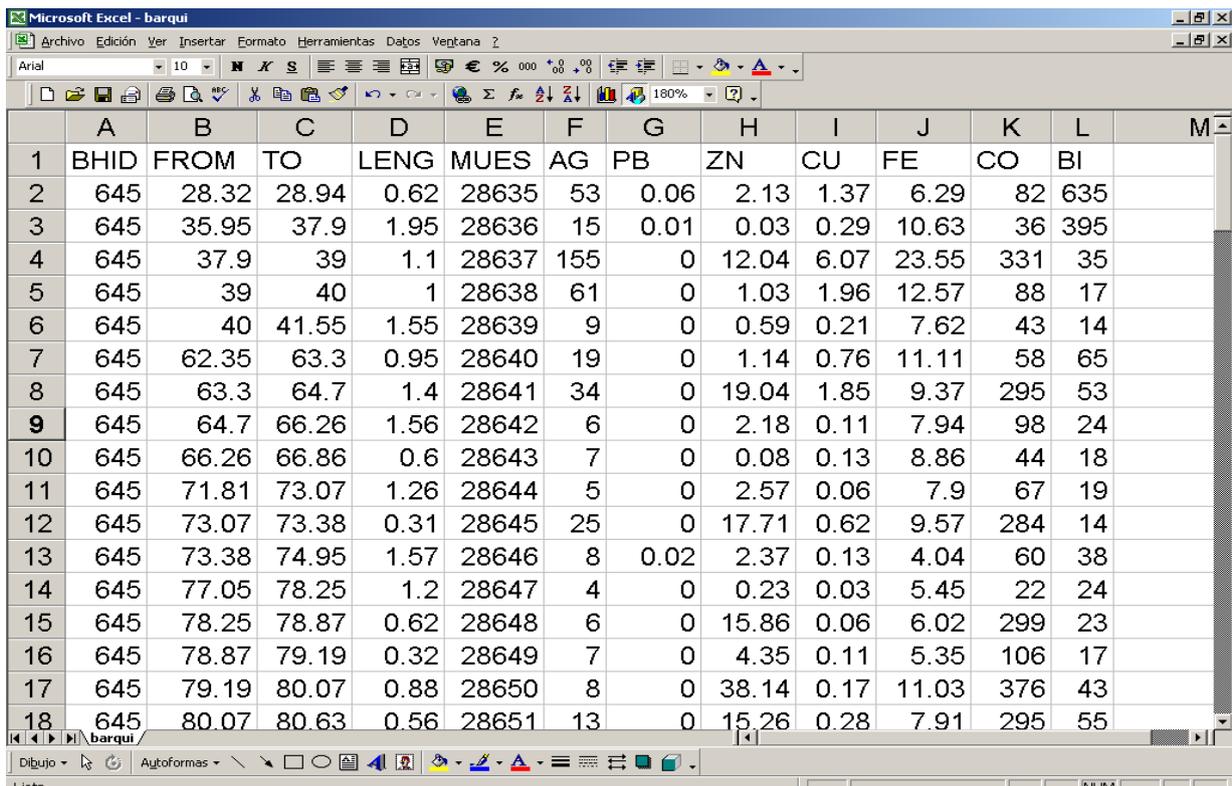
Diagrama 7.1 Metodología utilizada para la generación de recursos y reservas con Datamine.

El proceso de estimación de reservas se puede dividir para su estudio y entendimiento en las cuatro fases funcionales siguientes:

- **Generación de bases de datos**
- **Análisis aritmético y estadístico**
- **Análisis geoestadístico**
- **Análisis de reservas**

1.- En la fase de generación de base de datos: se genera toda la información que se utilizará en el análisis y cálculo de reservas, tal como:

Base de datos de barrenos (bdb): esta contiene toda la información de cada barreno como son coordenadas, rumbo, inclinación, longitud, elevación, desviaciones, estudio geológico, muestreo y ensayos (figura 7.1).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	BHID	FROM	TO	LENG	MUES	AG	PB	ZN	CU	FE	CO	BI	
2	645	28.32	28.94	0.62	28635	53	0.06	2.13	1.37	6.29	82	635	
3	645	35.95	37.9	1.95	28636	15	0.01	0.03	0.29	10.63	36	395	
4	645	37.9	39	1.1	28637	155	0	12.04	6.07	23.55	331	35	
5	645	39	40	1	28638	61	0	1.03	1.96	12.57	88	17	
6	645	40	41.55	1.55	28639	9	0	0.59	0.21	7.62	43	14	
7	645	62.35	63.3	0.95	28640	19	0	1.14	0.76	11.11	58	65	
8	645	63.3	64.7	1.4	28641	34	0	19.04	1.85	9.37	295	53	
9	645	64.7	66.26	1.56	28642	6	0	2.18	0.11	7.94	98	24	
10	645	66.26	66.86	0.6	28643	7	0	0.08	0.13	8.86	44	18	
11	645	71.81	73.07	1.26	28644	5	0	2.57	0.06	7.9	67	19	
12	645	73.07	73.38	0.31	28645	25	0	17.71	0.62	9.57	284	14	
13	645	73.38	74.95	1.57	28646	8	0.02	2.37	0.13	4.04	60	38	
14	645	77.05	78.25	1.2	28647	4	0	0.23	0.03	5.45	22	24	
15	645	78.25	78.87	0.62	28648	6	0	15.86	0.06	6.02	299	23	
16	645	78.87	79.19	0.32	28649	7	0	4.35	0.11	5.35	106	17	
17	645	79.19	80.07	0.88	28650	8	0	38.14	0.17	11.03	376	43	
18	645	80.07	80.63	0.56	28651	13	0	15.26	0.28	7.91	295	55	

Figura 7.1 Se muestra un ejemplo del formato para generar la base de datos de barrenos que se usa en el cálculo de reservas.

Base de datos de muestras de canal (bdm): contiene todas las muestras de canal tanto de obras de desarrollo como de rebajes en producción, esta base de datos contiene toda la información necesaria de cada muestra, al igual que la de los barrenos (figura 7.2).

MINERA BISMARK, S. A. DE C. V.														
UNIDAD BISMARK														
PEÑALES														
SUPERINTENDENCIA DE EXPLORACION														
INFORMACION DE MUESTRAS DE CANAL														
MUESTREADO POR:														
DIAMANTES														
MINA: LOCALIZACION: ESTRUCTURA: NIVEL: OBRA: FECHA: REFERENCIA:														
BISMARK		PONIENTE		BAJO		740		FTE. 5036 W		20040722		X		
Valores Unitarios							Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Co	Bi	Valor del Mineral
							0.0351965		4.5383265	6.5206087				
Punto de Medida	Distancia	Lado	Litología	Línea o Fajilla	Número de Muestra	Ancho	Análisis Químico							Valor del Mineral
							Ag gr/ton	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	Co PPM	Bi PPM	USD
X	14.0	TOPE	MI	1	38639	1.20	6	0.00	46.09	0.02	5.05	740	3	209.51
X	14.0	TOPE	SK	1	38640	0.70	3	0.01	1.10	0.01	0.53	11	0	5.16
X	14.0	TOPE	SKMI	1	38641	0.50	2	0.00	5.96	0.03	3.25	100	24	27.31
X	14.0	TOPE	SKMI	1	38642	0.90	5	0.03	0.32	0.04	1.99	8	29	1.89
X	14.0	TOPE	SK	1	38643	0.65	8	0.01	15.59	0.14	4.08	216	46	71.95
X	14.0	TOPE	SK	1	38644	1.15	2	0.02	0.54	0.04	2.22	7	4	2.78
														0.00
														0.00
														0.00
														0.00
														0.00

Figura 7.2 Mostrando ejemplo del formato para generar la base de datos de muestras de canal que se usa en el calculo de reservas.

Base de datos (bd): es el agrupamiento de las dos bases de datos anteriormente mencionadas.

Modelo geológico (mg): modelos tridimensionales “wireframes”, para la construcción de los modelos geológicos, el modelo geológico representa el cuerpo de mineral definido por información de barrenos y mapeos geológicos y por interpretación, la cual define el tonelaje de mineral, su clasificación por rangos de ley y disposición de mineral in situ. Para la generación de los modelos 3D se realiza la captura de los datos en secciones transversales a la estructura mineral, dibujadas cada 25 y 12.50 m así como la construcción de plantas geológicas a cada 10 metros, éstas digitalizadas apoyándose en el sistema Autocad (dwg) y convertidas a archivo de graficación compatible a data mine

(dxf), para al fin realizar la importación de segmentos de Autocad en la ventana “output”. En la ventana “design”, se lleva a cabo la construcción del modelo tridimensional “wireframe”, se manipulan los diferentes comandos de aplicación y apoyandose fuertemente en la ventana “visualizer”. (ver figura 7.3)

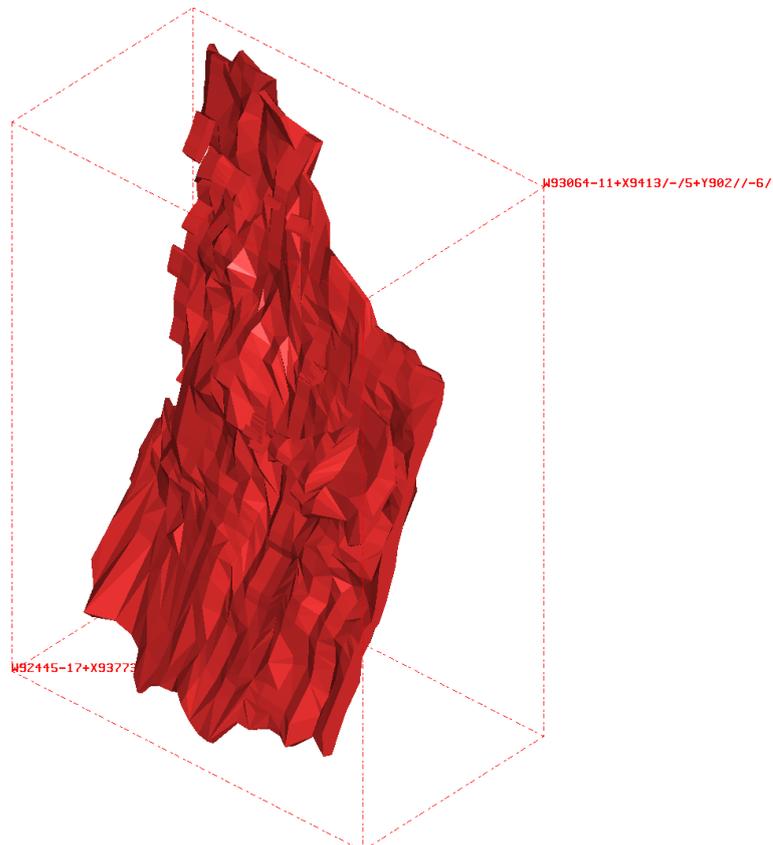
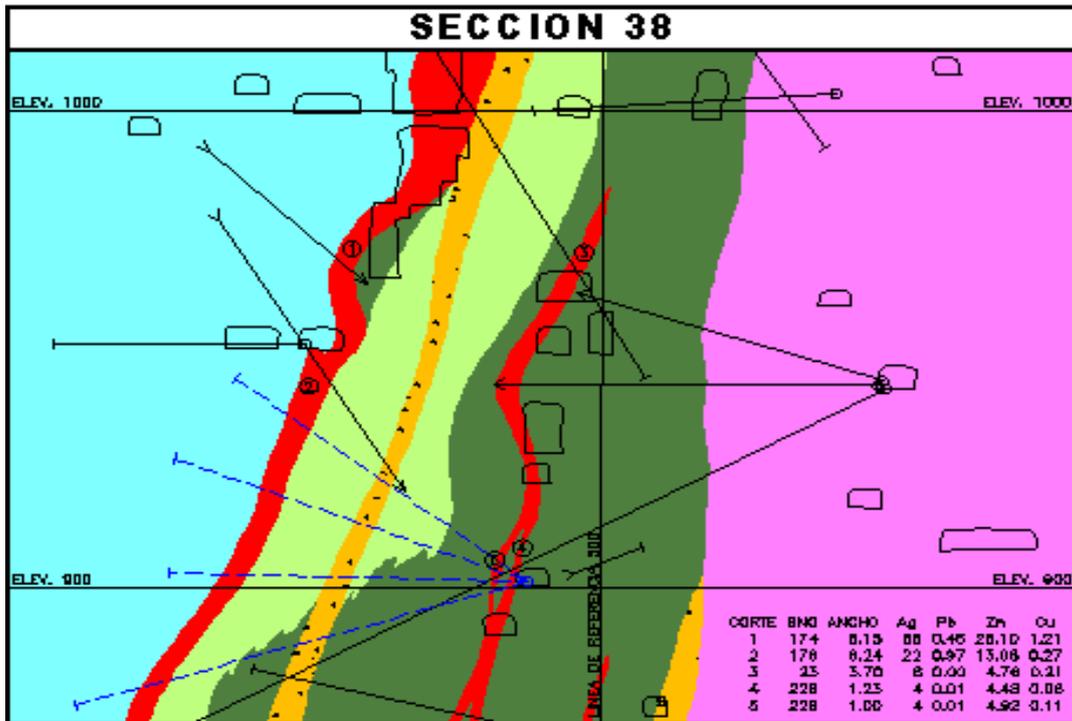


Figura 7.3 Construcción del modelo geológico mediante el uso de secciones geológicas y con el Datamine para la construcción del wireframe (modelo 3D).

Modelo de Bloques (bdg): es la construcción de bloques de dimensiones específicas que se genera a partir del modelo geológico tridimensional (figura 7.4).



Figura 7.4 Modelo de bloques, cuerpo Central (bdg).

2.- En la fase del análisis aritmético y estadístico: se consideran las características del depósito, tales como; litología y alteraciones, los valores de cada variable química (ley), así como las longitudes óptimas de cada muestra, para esto se aplican dominios que se definen por la asignación de códigos litológicos o por intervalos de mineral y, por el uso de los límites definidos en la modelación geológica, resultando por consiguiente en la creación de una base de datos con dominios (figura 7.5).

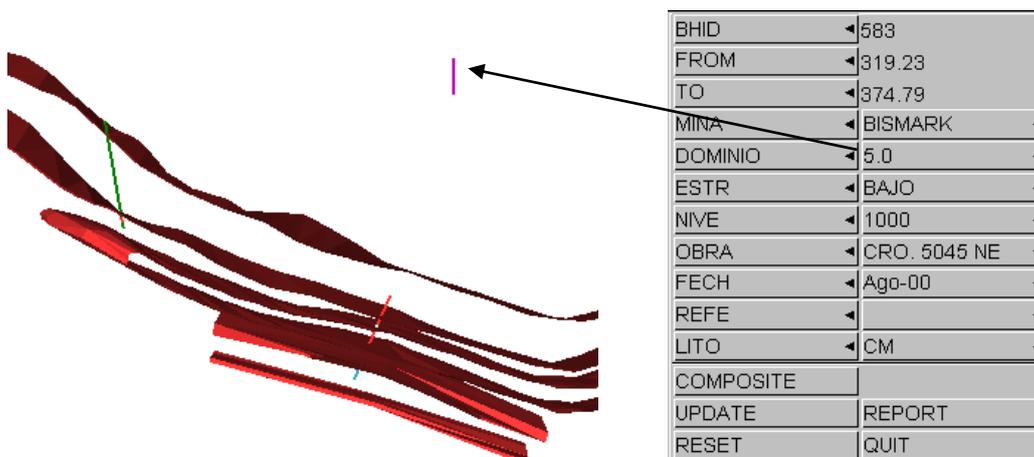


Figura 7.5 Dominio geológico, ejemplo con litología de quartzomonzonita (CM).

Base de datos con dominios (bdd): se genera por medio del análisis aritmético y consiste de aquellos tramos de barrenos y muestreo de canal que corresponden a cierto dominio geológico; litología o modelo geológico de mineral (figura 7.6).

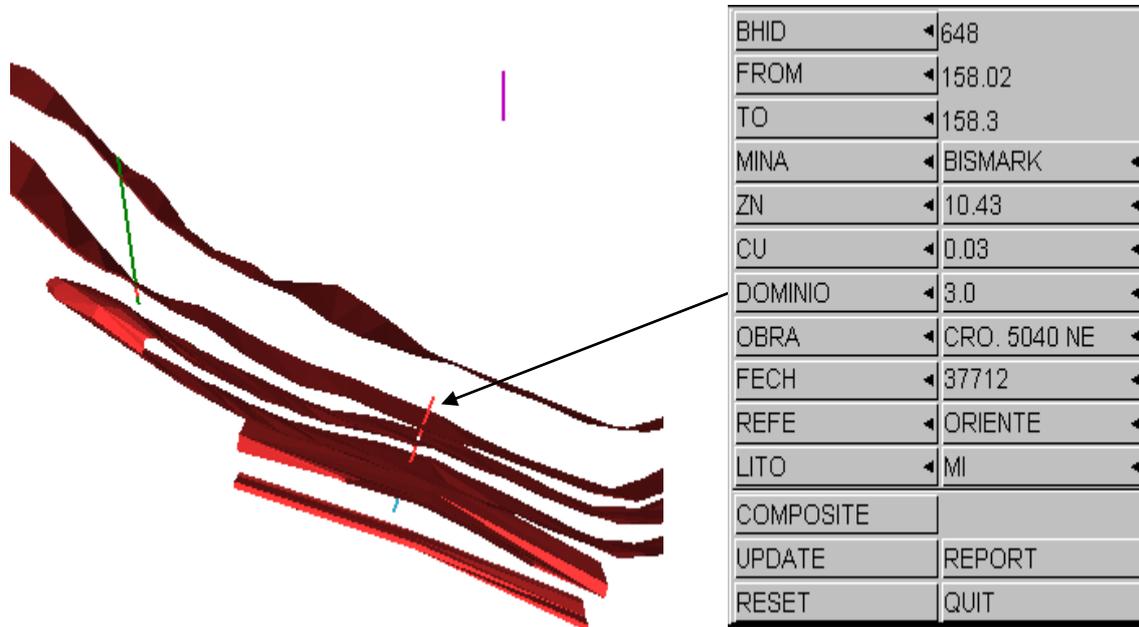


Figura 7.6 Dominios químicos, ley de Zinc > 10.06 y < 20.06 igual a dominio 3.

Base de datos con dominios y limites (bddl): resulta del análisis aritmético y de la aplicación de los criterios geológicos y/o estadísticos de las variables químicas. Este análisis se apoya fuertemente con un análisis estadístico, donde se analizan las variables químicas del archivo bdd para localizar errores en la distribución espacial de las muestras, los ensayos y la captura, así mismo en este paso se determina la distribución de probabilidad, los parámetros estadísticos y los valores anómalos de cada variable química (figura 7.7).

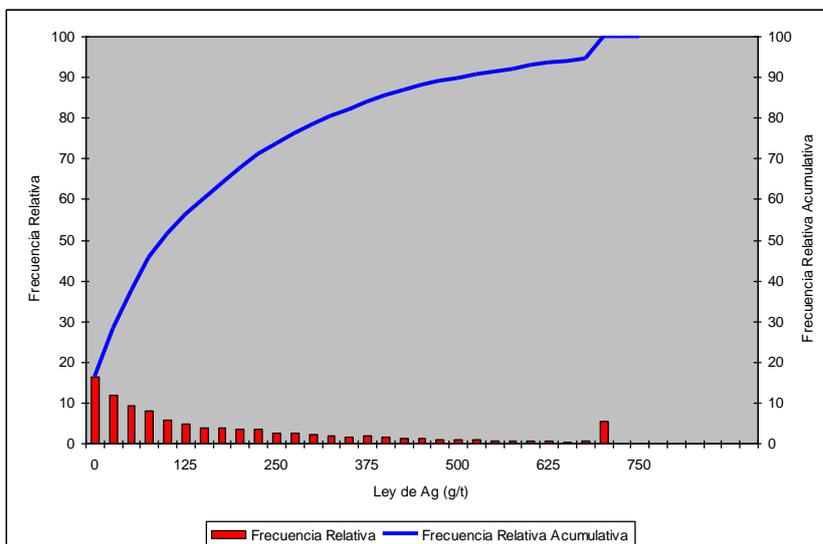


Figura 7.7 Se muestra el histograma de frecuencia de la bddl de la variable plata.

Base de datos con dominios, límites y compósitos (bddlc): se obtiene apoyándose en el histograma de frecuencia de la variable ancho. Cuando los tramos de barrenos y muestras de canal pertenecientes a un mismo dominio geológico no son de la misma longitud, se regulariza la información para que en el proceso de interpolación se considere el mismo peso y no se sobreestimen las leyes del mineral (figura 7.8).

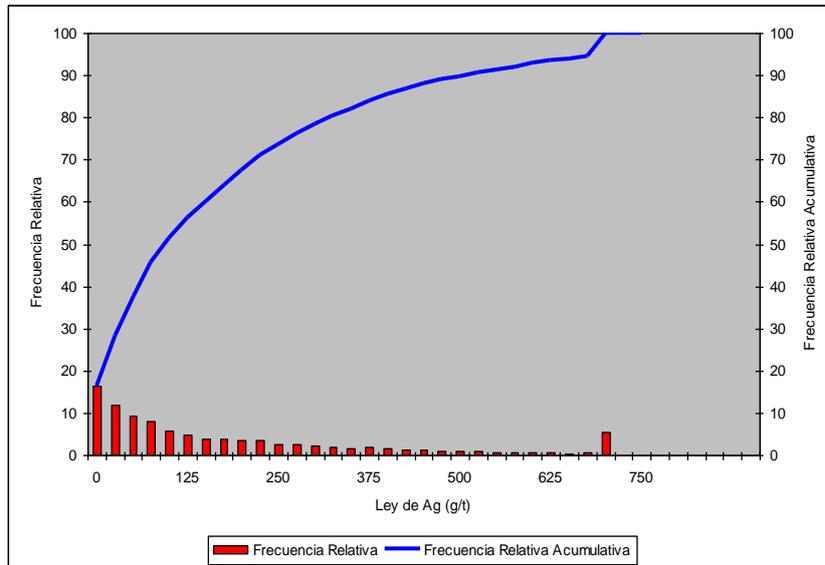


Figura 7.8 mostrando el histograma de frecuencia de la bddl de la variable plata.

Base de datos geológica (bdg): se crea para determinar la distribución espacial de las variables químicas a partir de los barrenos y las muestras de canal, esta base ya es un modelo de bloques que representa la discretización del yacimiento definida previamente por el modelo geológico.

3.- En la fase del análisis geoestadístico: se tiene como objetivo determinar todos los parámetros geoestadísticos indispensables, en el proceso de interpolación de las variables químicas definidas en un proyecto minero, mediante la aplicación de alguno de los algoritmos contemplados en el sistema Datamine:

Base de datos geológica vecino más cercano (bdgvc).

Base de datos geológica inverso de la distancia (bdgid).

Base de datos geológica Krigging ordinario (bdgko).

4.- En la fase del análisis de reservas: se realiza una revisión de los parámetros económicos para dar valor al mineral, de peso específico y criterios para las diferentes

clasificaciones del mineral. En esta fase se obtienen tonelajes, leyes y valor del mineral de las diferentes categorías económicas, marginales y submarginales. (Figura 7.9).

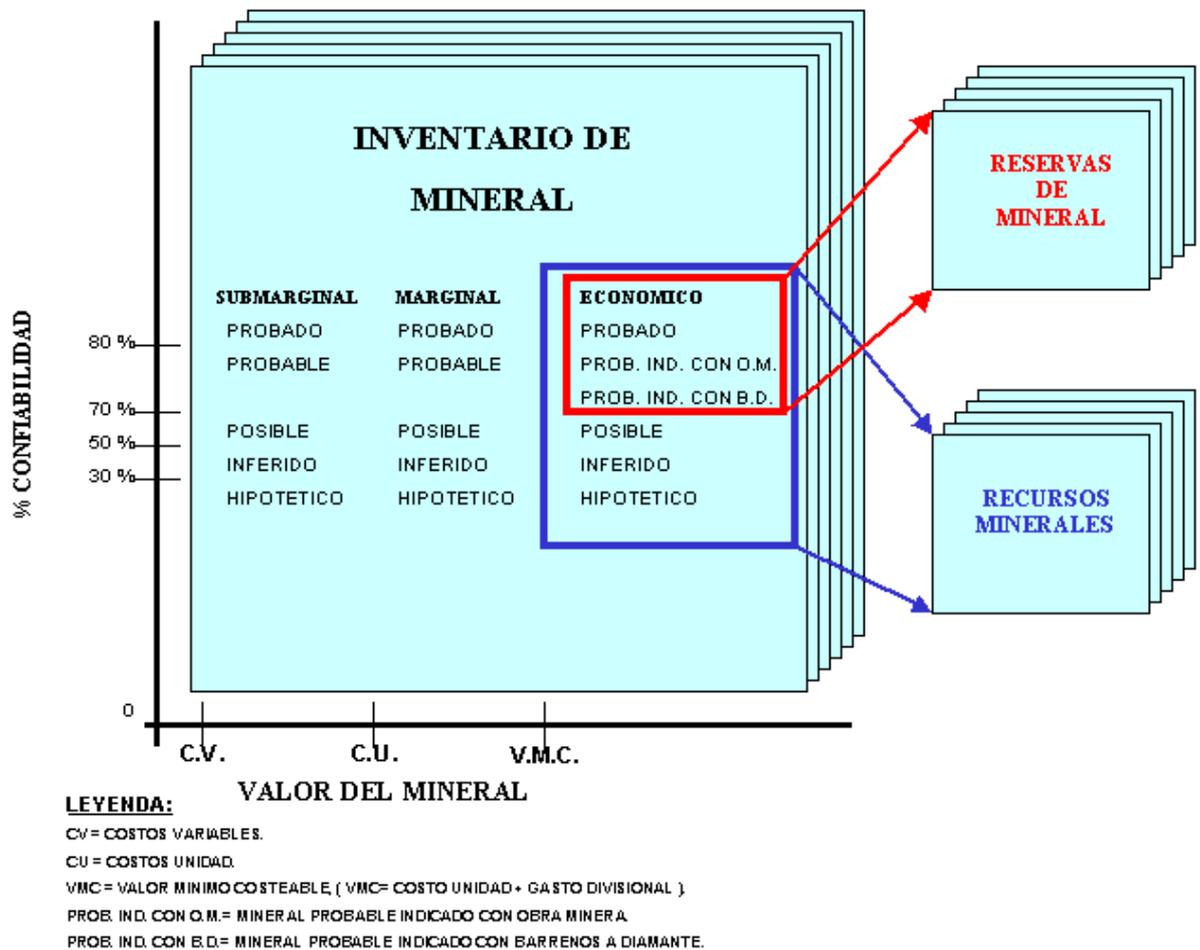


Figura 7.9 Se muestra la estructura del inventario de Recursos y Reservas de mineral

7.4 AGRUPACIÓN DE DATOS.

El método empleado para esta estimación fue geoestadístico bajo la siguiente secuencia:

- 1.- Captura de base de datos de barrenación de diamante y muestreo de chip de roca con la siguiente información: localización geográfica, descripción geológica, medidas de desviación, intervalos de muestreo y ensaye químico de muestras.
- 2.- Construcción del modelo geológico tridimensional mediante plantas y secciones transversales cada 10 metros, apoyados en el módulo DESING de DATAMINE.

- 3.- Elaboración del modelo topográfico de los diferentes lugares de producción que define el volumen ya explotado.
- 4.- Validación de las bases de datos.
- 5.- Integración de la DATA dentro del sistema DATAMINE.
- 6.- Estudio estadístico de las principales variables: Ag, Pb, Zn y Cu.
- 7.- Análisis variográfico en las tres direcciones: rumbo, inclinación y espesor.
- 8.- Definición de las dimensiones de los bloques, los cuales fueron de 3.0X3.0X3.0 metros y con sub-bloques de 1.0X1.0X1.0 metros. Los primeros están definidos de acuerdo al sistema de explotación actual.
- 9.- Interpolación mediante KRIGING o Inverso Cuadrado de la Distancia, que dependen de la densidad de muestreo.
- 10.- Asignación de leyes a cada bloque y estimación de tonelaje y ley del modelo de bloques de cada cuerpo mineral.
- 11.- Determinación de la categoría de cada bloque en Medido ó Indicado, con el empleo, para el primero una vez el intervalo del variograma de Zn y, para la segunda categoría dos veces el intervalo.
- 12.- Una vez obtenidos los Recursos de Mineral y de acuerdo a los parámetros operativos actuales, se utilizó el sistema “MRO” para definir la Reserva de Mineral, con la dilución implícita, exclusión de pilares de sostenimiento y viabilidad operativa de explotación del mineral existente.

7.5 MÉTODO MRO (MINABLE RESERVES OPTIMIZER)

El cálculo de tonelaje y ley a partir de un modelo geológico es una parte integral de un estudio de viabilidad y de la planeación a corto y largo plazo. Sin embargo, no es suficiente sólo determinar los tonelajes y leyes del modelo y reportarlos como reservas. Lo que se requiere es estimar cuantas toneladas y de que calidad podrán ser minadas bajo ciertas consideraciones mineras prácticas. Precisamente esto es lo que hace el MRO. Crea y evalúa envolventes tridimensionales de material tomando en cuenta factores como la Unidad Mínima de Minado, forma y orientación del rebaje y la ley mínima requerida. El origen del problema es la clasificación de un recurso geológico en una reserva minera de acuerdo a los parámetros de minado.

El objetivo del método, es determinar un envolvente de mineral que de acuerdo a ciertas restricciones mineras y económicas sea viable su extracción.

El proceso de optimización permite especificar una ley de corte a manera de diferenciar los bloques entre mineral y tepetate. El contorno económico del cuerpo de mineral es determinado a través de un envolvente máximo y un envolvente mínimo. El envolvente mínimo es el contorno definido sólo con los bloques de mineral que cumplan el criterio de optimización escogido, ver figura 7.10 (ej. Maximizar la ley media del rebaje). El envolvente máximo es el contorno definido con los bloques de mineral y tepetate, siempre que cumplan con el criterio de optimización escogido. En este caso, la ley del bloque puede ser mayor que la ley de cabeza, pero menor a la ley de corte.

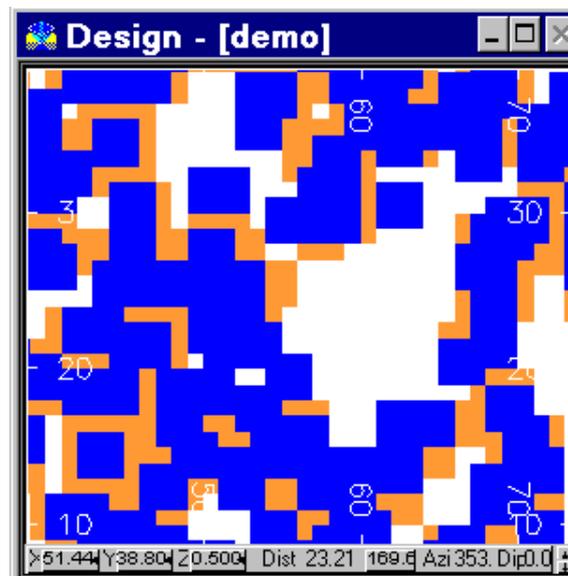


Figura 7.10 Corte de un modelo de bloques en 3D indicando la envolvente mínima (azul) y la envolvente máxima (naranja).

El concepto de envolvente minable es similar al concepto de compósitos de barrenos, por ejemplo, se tiene una muestra de tepetate entre dos muestras de alta ley, en el compósito se incluyen la muestra de tepetate. El MRO, sin embargo, extiende este concepto a tres dimensiones.

El proceso fue concebido para ser ejecutado de forma interactiva a manera de tomar en cuenta los costos de desarrollo y actividades auxiliares como la ventilación, instalación de ademes y para hacer análisis de sensibilidad oportunos.

En una primera fase, a través del modelo de bloques, el proceso define todas las posibles posiciones de los rebajes, y se respeta los criterios de optimización.

Posteriormente, en una segunda fase, el proceso analiza los rebajes resultantes, tomando en cuenta el objetivo principal de la optimización.

Este procedimiento puede ser mejor entendido como una “navegación” de la Unidad Mínima de Minado (UMM) a través del modelo de bloques geológico; se determina un envolvente en donde los bloques cumplen con los criterios de optimización (ver figura 7.11).

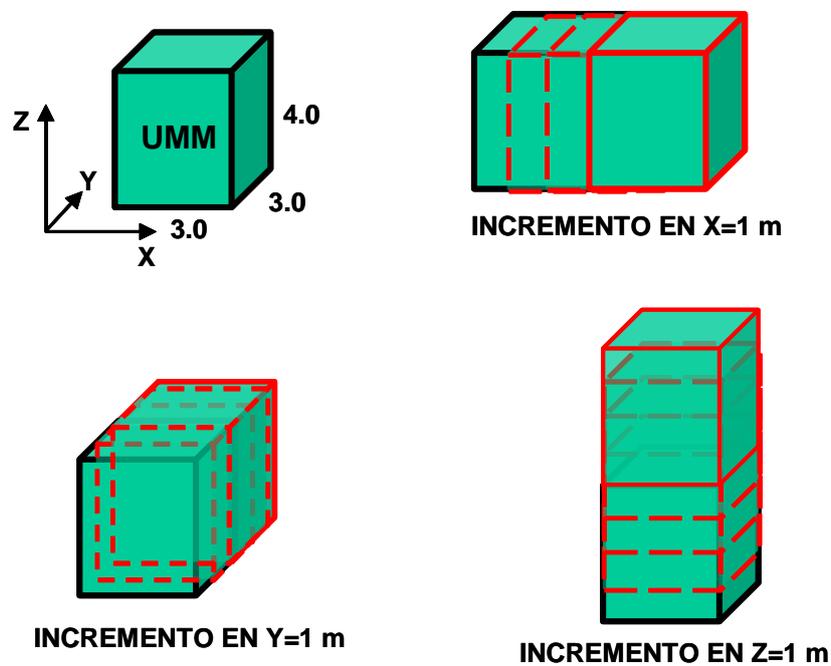


Figura 7.11 Movimientos de los incrementos de la UMM en cada uno de los ejes.

El algoritmo de optimización, es como sigue:

Algoritmo del Método de Optimización por Rebaje Flotante (Floating Stope).

- 1.- ¿La ley media del bloque es mayor que la ley de corte?
- 2.- ¿Este bloque puede ser incluido en el envolvente que satisface la restricción de la ley media mínima?
- 3.- Si las condiciones 1 y 2 se satisfacen, el bloque es incluido.

7.6 PROCEDIMIENTO DE OPTIMACIÓN.

Los criterios de optimación para determinar el envolvente final, pueden ser: maximizar las toneladas de mineral (minimizar la cantidad de tepetate); maximizar la ley media por rebaje; maximizar el contenido metálico; y, finalmente, maximizar el valor del mineral.

Modelo Geológico: el cuerpo de mineral es representado en un modelo de bloques “padre” y subbloques (Figura 7.12). El uso de los subbloques permite mayor detalle en los contornos de la geología de mina y de la distribución de la ley. Las dimensiones de los bloques para el cuerpo Central, es de 3 metros en el eje X, 3 metros en el eje Y y 3 metros en el eje Z, con subbloques de 1 x 1 x 1 metros.

700

500

SECCION NW 68° SE
VIENDO AL NE

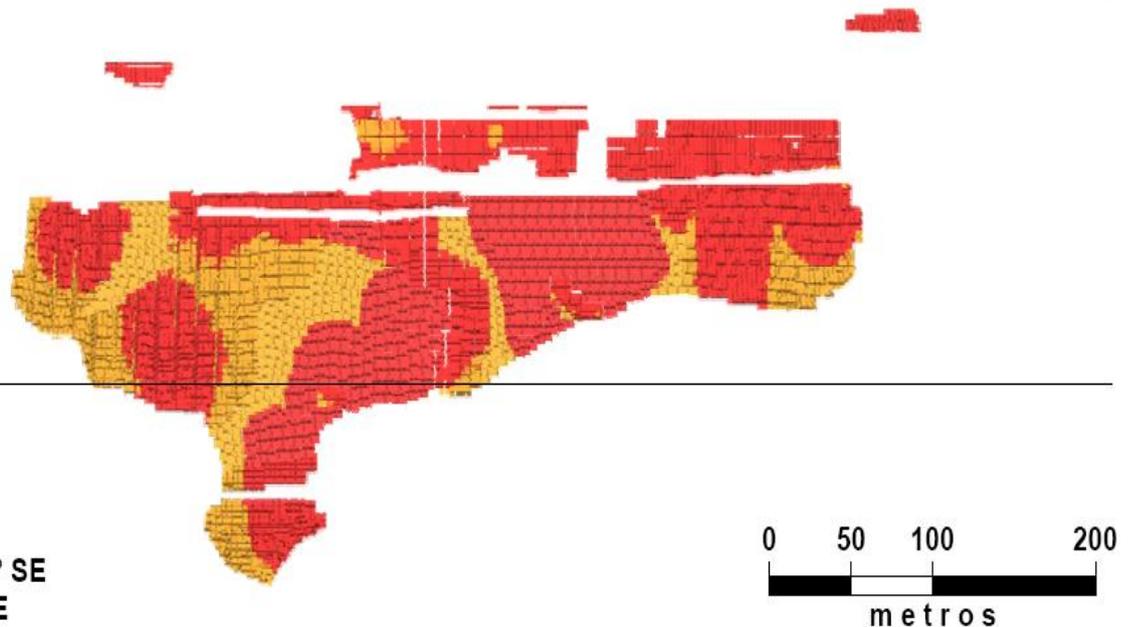


Figura 7.12 Modelo de bloques del Cuerpo Central (Block 54).

Unidad Mínima de Minado (UMM): se debe entender la Unidad Mínima de Minado, como el volumen mínimo y forma, en 3D, que es práctico minar. Esta UMM es definida por el ingeniero de planeación con base en las dimensiones del cuerpo mineral que será explotado y del equipo de operación que será utilizado. Se pueden definir diferentes UMM para diferentes áreas de minado. Para los cuerpos analizados del yacimiento Bismark, la UMM fue definida con las siguientes dimensiones: 3 metros en el eje X, 3 metros en el eje Y y 3 metros en el eje Z. Así mismo, el tamaño de los incrementos

considerados fue de 1 x 1 x 1 metros, acorde al tamaño de los subbloques del modelo geológico.

Criterio de optimación: una vez definida la Unidad Mínima de Minado, que no es otra cosa que el denominado “rebaje flotante”, se determina el incremento del movimiento en las tres direcciones X, Y y Z. La UMM no necesariamente debe tener las mismas dimensiones del modelo de bloques geológico, sin embargo, es recomendable que el tamaño del incremento sea el mismo de los subbloques del modelo geológico para facilitar la optimación. El posicionamiento y la forma de los envolventes determinados no toman en cuenta detalles como la preparación para la extracción, ventilación, servicios, etc. Sólo considera los criterios de optimación definidos.

Una característica muy importante del MRO es la capacidad de realizar análisis de sensibilidad. Cada ejecución del proceso, tiene un nombre definido por el usuario, con todos los criterios de optimación almacenados y recuperados automáticamente. Así, se pueden variar los criterios de optimación como la ley de corte de acuerdo a una disminución o a un aumento en las cotizaciones de los metales, de manera que se pueden tener varios escenarios económicos.

Los parámetros de entrada para la optimación por el método del rebaje flotante, se enlistan abajo:

1. Modelo de bloques geológico del depósito.
2. Geometría del rebaje que incluye las dimensiones mínimas en tres direcciones.
3. Incrementos en cada dirección.
4. Ley de corte.
5. Ley de cabeza mínima.
6. Criterio de optimación:
 - Maximiza las toneladas de mineral (minimiza la cantidad de tepetate).
 - Maximizar la ley media.
 - Maximizar el contenido metálico.
 - Maximizar el valor del mineral.
7. Criterio de dilución:

- Cálculo de la ley media entre dos bloques de mineral y tepetate (minado en conjunto).
- Cálculo de la ley media que considera una extracción selectiva.

8. Definición de zonas de exclusión.

Las aplicaciones típicas que pueden ser consideradas mediante el análisis del rebaje flotante, entre otras, son:

1.- Para identificar que parte del recurso geológico es económicamente minable basados en criterios prácticos de minado, costos de mina, de desarrollo, y método de explotación. El análisis de costos indicará la ley de cabeza requerida en la producción.

2.- Para asistir en la definición del método de explotación que podría ser aplicable al depósito en estudio. Por ejemplo, se puede evaluar el efecto de un método de tumba selectivo o un método de volumen.

3.- Para asistir en el diseño de la mina. Se puede definir la localización óptima para el desarrollo de los niveles, rampas y accesos a los cuerpos de mineral.

Como se observa en la figura 7.13, el método de optimación genera dos archivos de salida: Un modelo de bloques, para realizar análisis de sensibilidad donde varían algunos criterios de optimación; y un wireframe para realizar el diseño de obras mineras de detalle.

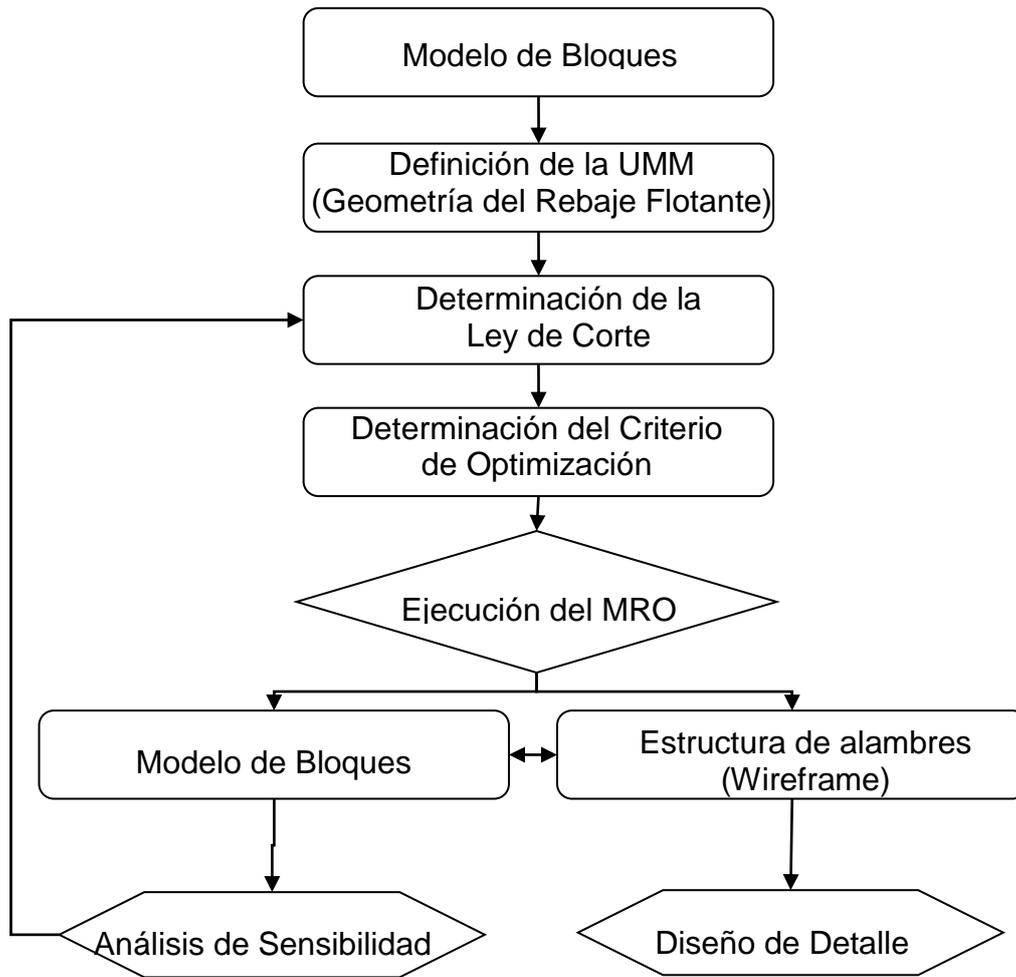


Figura 7.13 Diagrama de flujo del método MRO (User Guide, Lakewood Colorado USA 1996).

RESULTADOS.

Se concluyó este trabajo con la aplicación del software Datamine Studio 3.0 para la estimación de recursos y reservas del yacimiento Bismark y se realizó con ayuda del modelamiento tridimensional para calcular sus tonelajes y leyes, con el empleo de los parámetros geológicos y criterios geoestadísticos interpolados por métodos de Kriging Ordinario y el inverso de la distancia al cuadrado.

El resultado obtenido de la interpolación, es clasificado en los diferentes intervalos y categorías de mineral, se obtiene el producto final de la estimación de los recursos y reservas de mineral con Datamine Studio 3.0; los resultados del inventario generado de mineral realizados con este cálculo es el siguiente:

Para el recurso generado se totalizó:

Toneladas	Ag (gr/ton)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)
10,525,879	22	0.27	6.27	0.29

Para las reservas de mineral se totalizó:

Toneladas	Ag (gr/ton)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)
6,549,213	23	0.23	6.67	0.32

Finalmente es importante mencionar lo siguiente:

- 1).- El objetivo de una estimación, es predecir la ley de mineral en un lugar donde no se tiene información. Los métodos geoestadísticos son los mejores estimadores lineales insesgados de las leyes de mineral en un depósito.
- 2).- El software Datamine Studio 3.0 es una herramienta sumamente útil que facilita el manejo y procesamiento de datos y el análisis de los resultados obtenidos además de realizar los programas de exploración y producción de una mina
- 4).- El método de optimización de reservas minables (MRO por sus siglas en inglés) es una herramienta muy poderosa y versátil para la optimización económica y para realizar

análisis de sensibilidad para definir las reservas minables y la geometría del rebaje en una mina subterránea.

El uso de nuevas tecnologías y software especializados para la generación y procesamiento de información geológica es imprescindible en la actualidad, los geólogos modernos aparte de tener un conocimiento muy amplio en geología es importante que cuenten con buenas bases en el manejo de software y programación estructurada, para que con este tipo de herramientas se haga más eficiente su trabajo.

La estimación de los recursos y reservas de mineral es una actividad de gran relevancia y responsabilidad, por tanto, se recomienda ampliamente el uso de los métodos geoestadísticos, ya que proporcionan información muy valiosa del comportamiento de las variables involucradas que puede llevar a tomar decisiones con valor agregado.

Apéndice A

**Tablas con resultados del cálculo de recursos
geológicos y sección longitudinal con el inventario de
recursos geológicos generados**

RECURSOS VENDIBLES (DIC/2010)

ZnEQ CORTE >= 2.7947 (CUT OFF)

ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
FACTOR	0.2887	10.2179	18.0322	43.8464

CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	2,875,576	7	0.02	6.54	0.20
03	87,144	33	0.05	6.43	0.35
07-24	1,934,655	37	0.14	4.87	0.62
19	1,029,773	14	0.15	7.82	0.17
78	72,655	163	3.22	15.98	0.41
40	52,100	6	0.02	9.97	0.12
W1	47,979	60	2.71	5.67	0.04
POZOS CUATES	65,667	100	2.19	8.10	0.05
LA MEDALLA	10,612	66	3.25	4.48	0.09
TOTAL	6,176,161	21	0.17	6.38	0.33

RECURSOS VENDIBLES (DIC/2010)

ZnEQ CORTE >= 2.7947 (CUT OFF)

ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
FACTOR	0.2887	10.2179	18.0322	43.8464

CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	847,011	6	0.02	5.76	0.14
03	63,885	28	0.05	5.56	0.35
07-24	995,982	39	0.18	4.76	0.63
19	958,860	8	0.04	5.67	0.13
78	57,838	106	2.12	11.26	0.27
40	12,246	4	0.03	6.07	0.08
W1	154,667	82	3.92	6.89	0.03
POZOS CUATES	75,803	87	1.96	8.84	0.04
LA MEDALLA	21,213	73	3.76	5.14	0.11
TOTAL	3,187,504	25	0.38	5.64	0.29

RECURSOS VENDIBLES (DIC/2010)

ZnEQ CORTE >= 2.7947 (CUT OFF)

ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
FACTOR	0.2887	10.2179	18.0322	43.8464

CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	3,722,587	7	0.02	6.37	0.19
03	151,028	31	0.05	6.06	0.35
07-24	2,930,637	38	0.15	4.84	0.63
19	1,988,634	11	0.10	6.79	0.15
78	130,493	138	2.73	13.89	0.35
40	64,347	5	0.02	9.23	0.11
W1	202,646	77	3.64	6.60	0.04
POZOS CUATES	141,470	93	2.06	8.50	0.04
LA MEDALLA	31,824	71	3.59	4.92	0.10
TOTAL	9,363,665	23	0.24	6.13	0.31

RECURSOS VENDIBLES (DIC/2010)

ZnEQ CORTE >= 2.7947 (CUT OFF)

ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
FACTOR	0.2887	10.2179	18.0322	43.8464

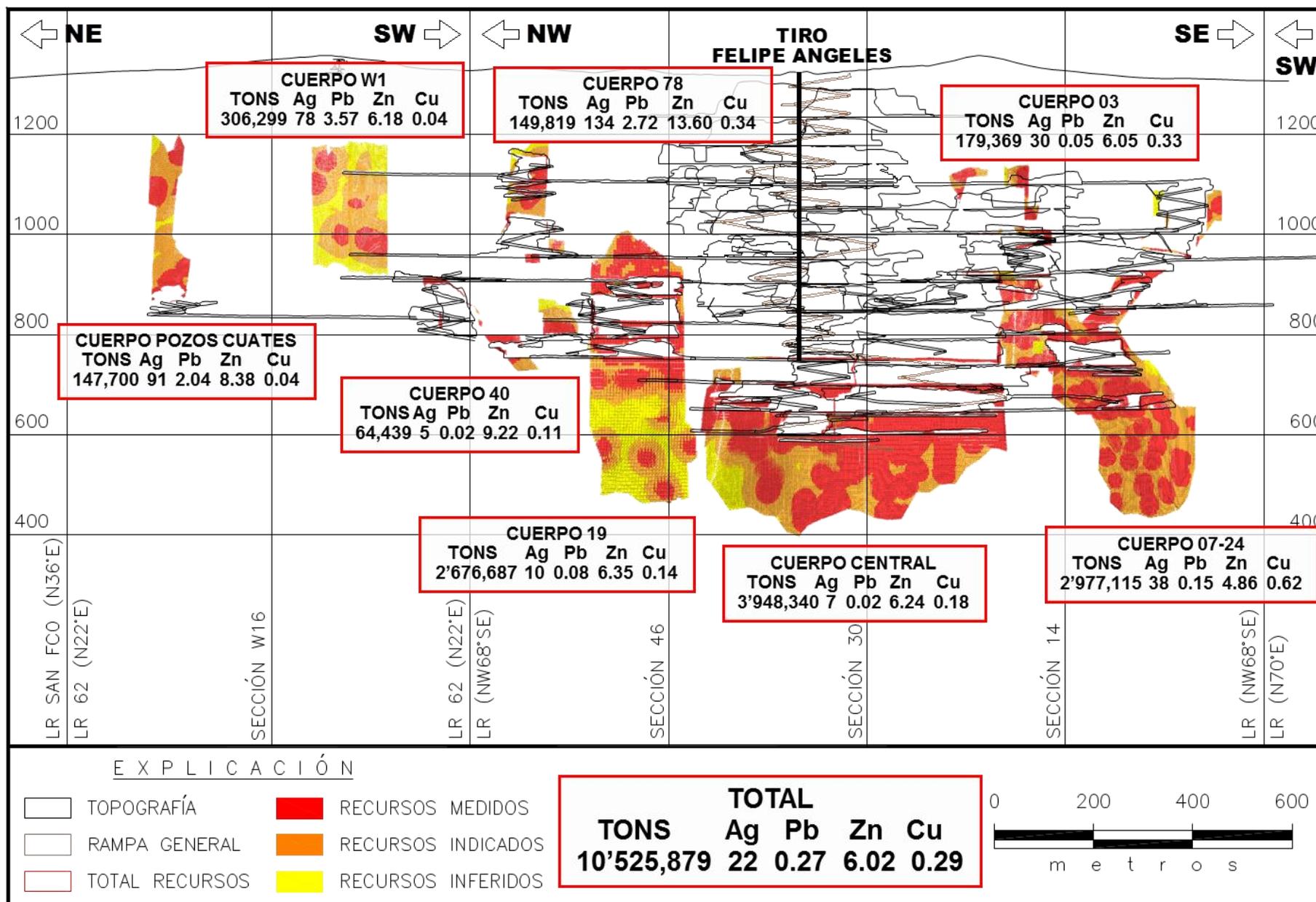
CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	225,753	3	0.02	4.23	0.06
03	28,341	25	0.03	5.98	0.23
07-24	46,478	48	0.13	6.69	0.49
19	688,053	6	0.01	5.09	0.10
78	19,326	112	2.61	11.63	0.26
40	92	4	0.03	5.02	0.08
W1	103,653	79	3.43	5.35	0.04
POZOS CUATES	6,230	58	1.39	5.83	0.03
LA MEDALLA	44,287	54	2.82	4.41	0.07
TOTAL	1,162,213	18	0.48	5.12	0.11

RECURSOS VENDIBLES (DIC/2010)

ZnEQ CORTE >= 2.7947 (CUT OFF)

ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
FACTOR	0.2887	10.2179	18.0322	43.8464

CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	3,948,340	7	0.02	6.24	0.18
03	179,369	30	0.05	6.05	0.33
07-24	2,977,115	38	0.15	4.86	0.62
19	2,676,687	10	0.08	6.35	0.14
78	149,819	134	2.72	13.60	0.34
40	64,439	5	0.02	9.22	0.11
W1	306,299	78	3.57	6.18	0.04
POZOS CUATES	147,700	91	2.04	8.38	0.04
LA MEDALLA	76,111	61	3.15	4.62	0.09
TOTAL	10,525,879	22	0.27	6.02	0.29



Sección longitudinal que muestra el inventario de recursos geológicos generados.

Apéndice B

Tablas con resultados del cálculo de reservas de mineral y sección longitudinal con el inventario de reservas geológicas generadas

Reservas generadas por nivel.**Cuerpo Central.**

NIVEL		TONS	gr/ton Ag	%		
DE	A			Pb	Zn	Cu
390	440	58,698	1	0.06	8.63	0.01
440	490	64,312	3	0.04	6.64	0.10
490	540	527,132	6	0.01	7.77	0.24
540	590	1,067,105	8	0.03	8.50	0.15
590	640	796,715	6	0.02	7.28	0.18
640	690	39,007	3	0.03	8.90	0.06
TOTAL		2,552,968	7	0.02	7.93	0.17

Cuerpo 03.

NIVEL		TONS	gr/ton Ag	%		
DE	A			Pb	Zn	Cu
740	790	27,413	19	0.05	5.30	0.32
790	840	19,132	15	0.02	6.78	0.14
840	890	5,549	20	0.03	5.96	0.22
900	950	11,885	22	0.02	6.37	0.22
1050	110	4,282	62	0.01	6.84	1.14
1100	1150	20,717	76	0.11	5.34	0.57
TOTAL		88,978	34	0.05	5.89	0.36

Cuerpo 07-24.

NIVEL		TONS	gr/ton Ag	%		
DE	A			Pb	Zn	Cu
440	490	145,414	23	0.02	5.42	0.64
490	540	372,580	31	0.14	6.04	0.49
540	590	305,050	51	0.18	3.17	0.96
590	640	453,093	51	0.29	4.95	0.54
640	690	187,929	39	0.20	2.88	0.79
690	740	371,355	22	0.09	6.16	0.48
740	790	89,246	18	0.05	5.44	0.51
790	840	143,789	25	0.08	4.24	0.43
840	900	33,657	31	0.09	3.95	0.45
900	950	24,538	49	0.22	3.04	0.46
1000	1100	79,760	56	0.31	3.68	0.65
TOTAL		2,206,410	37	0.16	4.84	0.60

Cuerpo 19.

NIVEL		TONS	gr/ton Ag	%		
DE	A			Pb	Zn	Cu
440	490	75,393	11	0.00	8.00	0.23
490	540	232,479	13	0.00	7.60	0.26
540	590	232,047	7	0.00	6.26	0.16
590	640	111,842	8	0.00	6.08	0.16
640	690	134,531	8	0.03	6.72	0.21
690	740	167,998	4	0.02	7.01	0.13
740	790	144,347	6	0.03	9.36	0.11
900	950	126,413	27	0.34	6.43	0.21
950	1000	83,904	36	0.68	5.78	0.17
TOTAL		1,308,954	12	0.09	7.06	0.18

Cuerpo 78.

NIVEL		TONS	gr/ton Ag	%		
DE	A			Pb	Zn	Cu
790	840	30,760	24	0.19	8.00	0.09
840	900	11,967	32	0.23	8.79	0.15
1000	1050	10,630	55	1.20	5.36	0.10
1050	1100	54,169	145	2.75	12.46	0.36
1100	1150	30,326	171	3.89	15.21	0.40
1150	1200	13,077	120	2.94	7.80	0.18
TOTAL		150,927	108	2.17	10.91	0.26

Cuerpo W1.

NIVEL		TONS	gr/ton Ag	%		
DE	A			Pb	Zn	Cu
900	1000	1,552	44	4.10	0.95	0.03
1000	1050	6,568	53	3.30	2.30	0.03
1050	1100	57,628	66	3.00	3.62	0.02
1100	1150	41,348	91	4.09	3.62	0.03
1150	1200	3,296	72	3.10	2.44	0.02
TOTAL		110,392	74	3.45	3.47	0.02

Cuerpo Pozos Cautes.

NIVEL		TONS	gr/ton Ag	%		
DE	A			Pb	Zn	Cu
840	900	47,202	106	2.68	7.57	0.05
900	950	47,386	83	1.59	9.13	0.05
1000	1050	2,045	38	0.82	4.37	0.01
1050	1100	31,283	43	1.08	5.56	0.01
1100	1150	2,668	32	0.97	4.65	0.01
TOTAL		130,584	80	1.84	7.54	0.04

Reservas probadas.**RESERVAS DE MINERAL (DIC/2010)****UTILIZANDO PROCEDIMIENTO "MRO"**

ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
VALORES UNITARIOS	0.21557	7.55267	8.19720	24.66871

CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	1,854,191	7	0.02	8.09	0.18
03	56,281	37	0.06	5.82	0.38
07-24	1,400,852	36	0.15	4.90	0.61
19	745,018	13	0.12	7.34	0.17
78	92,846	122	2.44	11.90	0.30
W1	14,403	64	2.91	3.43	0.03
POZOS CUATES	51,348	90	2.18	8.10	0.04
TOTAL	4,214,940	22	0.17	6.93	0.32

Reservas probables.**RESERVAS DE MINERAL (DIC/2010)****UTILIZANDO PROCEDIMIENTO "MRO"**

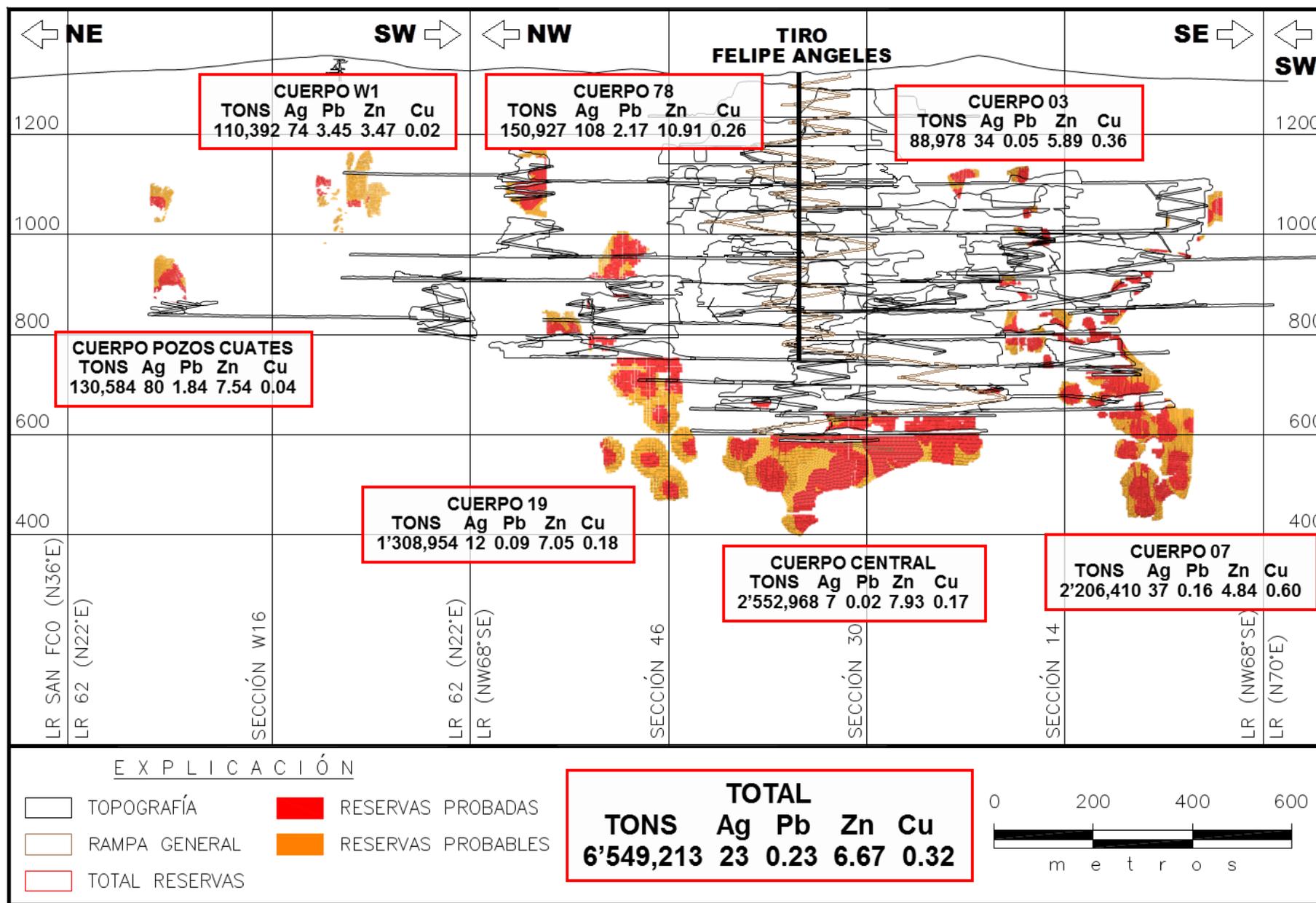
ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
VALORES UNITARIOS	0.21557	7.55267	8.19720	24.66871

CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	698,777	6	0.02	7.50	0.15
03	32,697	29	0.04	6.00	0.33
07-24	805,558	38	0.19	4.73	0.59
19	563,936	11	0.05	6.68	0.20
78	58,080	86	1.73	9.33	0.20
W1	95,988	76	3.53	3.47	0.02
POZOS CUATES	79,236	74	1.61	7.19	0.04
TOTAL	2,334,273	26	0.33	6.20	0.31

Reservas probadas + probables.**RESERVAS DE MINERAL (DIC/2010)****UTILIZANDO PROCEDIMIENTO "MRO"**

ELEMENTO	Ag	Pb	Zn	Cu
COTIZACIÓN	15.86089	0.91519	0.86445	2.82825
REC. METALÚRGICA	56.609	50.643	94.618	70.321
VALORES UNITARIOS	0.21557	7.55267	8.19720	24.66871

CUERPO	TONELADAS	gr/ton	%		
		Ag	Pb	Zn	Cu
CENTRAL	2,552,968	7	0.02	7.93	0.17
03	88,978	34	0.05	5.89	0.36
07-24	2,206,410	37	0.16	4.84	0.60
19	1,308,954	12	0.09	7.05	0.18
78	150,927	108	2.17	10.91	0.26
W1	110,392	74	3.45	3.47	0.02
POZOS CUATES	130,584	80	1.84	7.54	0.04
TOTAL	6,549,213	23	0.23	6.67	0.32



Sección longitudinal que muestra el inventario de reservas geológicas generadas

BIBLIOGRAFÍA.

- | | | |
|---|------|---|
| The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and The Minerals Council of Australia | 1999 | Código de Australasia para Informar sobre Recursos minerales y Reservas de Mena |
| Brown Michael, L. | 1990 | Geology of Sierra de los Chinos-Cerro La Cueva Area Northwest Chihuahua, México, Symposium on mineral resources of the Chihuahua desert UTEP. |
| Burrows, R.H. | 1910 | Geology of northern Mexico: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 7, 85-103. |
| Campbell, M.P., Muela P. | 1983 | Preliminary report of stratigraphic and structural studies of the Sierra Santa Rita, Chihuahua, Mexico. |
| Cantú-Chapa, C.M. | 1993 | Sedimentation and Tectonic Subsidence During the Albian-Cenomanian in the Chihuahua Basin, Mexico: Instituto Mexicano del Petróleo, 61-70. |
| Castro Izquierdo, A. | 1994 | Castro Izquierdo, A., 1994, Programas semivari.c y Kri_area.c, Guía de Usuarios, Inédito. |

Castro-Izquierdo, A.	2010	Conceptos Básicos de Geoestadística, Torreón, Coahuila, Dirección de Ingeniería y Construcción, Gerencia Técnica de Informática Industrias Peñoles, 101 p.
CIEE	1995	XI Censo General de Población y Vivienda 1990 y conteo 1995.
Consejo de Recursos Minerales	1993	Monografía Geológico-Minera del Estado de Chihuahua, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Chihuahua, México.
DeFord, R.K., Haenggi, W.T.	1970	Stratigraphic nomenclature of Cretaceous rock in northeastern Chihuahua.
Díaz, T., Navarro, A.	1964	Litología y correlación del paleozoico superior en al región de Palomas Chihuahua, México.
Febrel-Molinero, T.	1971	Investigación Geológica y Evaluación de Depósitos Minerales, Editorial Fundación Gómez Pardo.

- González-León, C.M. 1988 Estratigrafía y Geología estructural de las rocas sedimentarias cretácicas del área de Lampazos, Sonora: Revista del Instituto de Geología, 2(7), 148-162.
- López-Doncel, R., Labarthe-Hernández, G. y Mata-Segura, J.L. 2005 Estudio sedimentológico-estratigráfico de la Sierra Las Lilas (Paleozoico) y Sierra El Cartucho (Mesozoico) en la porción noroccidental del Estado de Chihuahua, México (Distrito Minero de Bismark), Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22, núm. 3, 2005, p. 298-314.
- INEGI 2010 Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.
- 2011 Sitio web www.inegi.gob.mx
- Malpica, C., De la Torre, G. 1980 Integración estratigráfica del Paleozoico de México. Parte I Cámbrico-Ordovícico: Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Reporte Inédito 148 p.
- Minera Bismark S.A. de C.V. 1991 Resumen de informe Proyecto Bismark, Industrias Peñoles S.A. de C.V., Editorial Ifims.

- 1999 Informe Proyecto Bismark, Industrias Peñoles, S.A. de C.V.
- 2010 Resumen de reservas 2010.
- Mineral Industries Computing Limited 1996 Datamine Mining Software: User Guide, Lakewood Colorado USA.
- Murray, R. 1983 Estadística, Editorial McGraw-Hill, 280 p.
- Myers, D.E. 1992 Kriging, Cokriging, Radial Basic Functions and The Role of Positive Definiteness, Computers Mathematical Application, Vol. 24, No.12, pp.139-148.
- NACSN, North American Commission on Stratigraphic Nomenclature 1983 North American Stratigraphic Code: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67(5), 841-875, 11 figs, 2 tablas.
- Nichols, J.C. 1958 Stratigraphy of Sierra de los Fresnos, Chihuahua, Mexico: Austin, University of Texas, tesis de maestría, 64 p.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Alaniz-Álvarez, S., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Nieto-Samaniego, A., Morán-Zenteno 1991 Geologic Provinces of Mexico; a new proposal and bases for their modern definition en Rubinovich-Kogan, R., Carreño, A.L. (eds), Convención sobre la Evolución Geológica de México, Memoria: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 143-144.

-
- Raisz, E. 1959 Landforms of Mexico, Cambridge, Mass., Ed. privada.
- Rea-Armendáriz, A Explotación de rocas calcáreas cretácicas de las Formaciones Benigno y Cuchillo en la sierra de Presidio en el noroeste del estado de Chihuahua dentro del municipio de Juárez, Clark, K.F.,
- Zeller, R.A. Jr., 1965 Stratigraphic of the Big Hatchet Mountains area, New Mexico. New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Memoir 16, 128 p.