

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE BOLÍVAR
ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS VARIABLES QUÍMICAS SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, MN EN LAS MENAS DE LOS YACIMIENTOS OCCIDENTAL, CENTRAL Y ORIENTAL DEL CERRO ALTAMIRA DE C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. CIUDAD PIAR, ESTADO BOLÍVAR.

**TRABAJO DE GRADO
REALIZADO POR LA
BACHILLER LISBETH M.
TORRES L. PARA OPTAR
AL TÍTULO DE GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, MARZO DEL 2011

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado, “**COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS VARIABLES QUÍMICAS SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, MN EN LAS MENAS DE LOS YACIMIENTOS OCCIDENTAL, CENTRAL Y ORIENTAL DEL CERRO ALTAMIRA DE C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. CIUDAD PIAR, ESTADO BOLÍVAR**”, presentado por la bachiller **TORRES L. LISBETH M.**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:	Firma:
Profesor Luis Araya	
_____	_____
(Asesor)	
_____	_____
(Jurado)	
_____	_____
(Jurado)	

Profesor Rosario Rivadulla
Departamento de Geología

Ciudad Bolívar, Marzo de 2011.

DEDICATORIA

A mi esposo Jean Carlos Díaz, por su amor, constancia dedicación y apoyo incondicional, por creer en mí y ser pilar fundamental en que realizara esta meta.

A mi hijo Cleyderman Díaz, por darme la fortaleza para seguir adelante, de todo corazón para ustedes mis amores.

Lisbeth Torres

AGRADECIMIENTOS

A mi señor Jesús Cristo por sobre todas las cosas y por las oportunidades que me ha brindado, a la madre María de San José, por llenarme siempre de su amor infinito.

A la Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G) Ferrominera Orinoco, C.A., y a mi tío José Ramón Licón por su apoyo y por permitirme desarrollar experiencias como profesional que Dios lo bendiga siempre. A la Universidad de Oriente y a todo su equipo de profesionales por instruirme académicamente en mi carrera.

A mi profesor y tutor académico quien me guio en el presente trabajo, el ingeniero Luis Araya por sus acertadas asesorías que Dios siempre lo siga llenando de sabiduría.

A mi tutora industrial la geóloga María Bravo por su gran corazón y por impartirme sus conocimientos durante la realización de este trabajo de grado. A todo el personal de la Jefatura de Área de Geología, muy especialmente a la ingeniero Ana Rodríguez, al geólogo Carlos Torrealba y a la geóloga Gyongyi Lautner.

A mi madre Graciela Licón, a mis hermanas Karina y Yaquelin por todo su apoyo, y estar a mi lado siempre, a mi abuelo José Licón que está en el Cielo.

Lisbeth Torres

RESUMEN

El presente trabajo de grado se basó en un análisis geoestadístico efectuado con el software minero MineSight-Compass a la base de datos de los sondeos geoexploratorios pertenecientes a los yacimientos Occidental Central y Oriental del Cerro Altamira. Esto con la finalidad de determinar los radios de influencia de los parámetros sílice, alúmina, pérdida por calcinación, fósforo y manganeso, en cada tipo litológico existente en los yacimientos. Para ello se recopiló la base de datos de los sondeos geoexploratorios de cada yacimiento, luego se analizó la base de datos de los sondeos geoexploratorios de cada yacimiento, se construyeron y analizaron variogramas partiendo de la data de los sondeos geoexploratorios de cada yacimiento, se determinaron los radios de influencia por grupos litológico de los parámetros químicos de cada yacimiento y finalmente se compararon los resultados derivados del estudio geoestadístico con los radios de influencia que se aplican actualmente. La compañía Mintec Inc. determinó los radios de influencia de 568 sondeos geoexploratorios del Cerro Altamira, sin embargo desde entonces se ha incrementado la base de datos a 849, lo que implica la diferencia a la hora de aplicar la variografía. En comparación a los resultados obtenidos con los datos de Mintec Inc. hubo disminución de aproximadamente 25 metros en promedio del radio de influencia, esto se explica en la disminución del mallado de perforación, además como sistemática para el cálculo de los variogramas aplicó de manera general la agrupación de las litologías en menas de alto tenor y bajo tenor, mientras que en el presente trabajo, se realizó agrupando las litologías por grupo litológicos 1, 2 y 3 dando mejores resultados. Los radios de influencia predominantes arrojados fueron de un promedio de 120 en comparación con los alcanzados por la empresa Mintec Inc. que en promedio eran de 125 metros. Este estudio logro cumplir con Los límites exigidos y los resultados obtenidos son equivalentes, y mantienen la misma veracidad que los alcanzados por la empresa Mintec Inc. por esta razón siguen en vigencia los radios de búsqueda obtenidos por dicha empresa en el año 1999.

CONTENIDO

	Página
HOJA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XIII
LISTA DE APÉNDICES	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPÍTULO II	7
GENERALIDADES	7
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NATURALES.....	8
2.2.1 <i>Clima</i>	8
2.2.2 <i>Hidrología</i>	9
2.2.3 <i>Geomorfología</i>	9
2.2.4 <i>Vegetación</i>	10
2.2.5 <i>Fauna</i>	10
2.2.6 <i>Suelos</i>	11
2.3 GEOLOGÍA REGIONAL.....	12
2.4 GEOLOGÍA LOCAL.....	15
2.5 TIPOS DE MENAS.....	17
2.5.1 <i>Menas de alto tenor (> 55% Fe Seco)</i>	17
2.5.1.1 Menas blandas (B, F).....	17
2.5.1.2 Finos negros (B).....	17
2.5.1.3 Finos marrones (F).....	18
2.5.1.4 Limonita (Y).....	18
2.5.1.5 Costra hematítica (Vh).....	19
2.5.1.6 Costra masiva (V).....	20
2.5.1.7 Costra limonítica (Vy).....	20
2.5.1.8 Costra silíceas (Vs).....	20
2.5.1.9 Costra laminada (Vp).....	21

2.5.2 Menas de bajo tenor (<55% Fe Seco).....	22
2.5.2.1 Cuarzita ferruginosa friable (IFf).....	22
2.5.2.2 Cuarzita ferruginosa (IF).....	22
2.6 MINERALES PRESENTES EN LOS DIFERENTES TIPOS DE MENAS.....	23
2.6.1 Magnetita.....	23
2.6.2 Hematita.....	23
2.6.3 Goetita.....	23
2.6.4 Cuarzo.....	24
2.6.5 Anfíboles.....	24
2.6.6 Mica.....	24
2.6.7 Mena fosforosa.....	24
2.6.8 Calcita.....	24
2.7 ESTÉRIL.....	25
2.7.1 Gneis.....	25
2.7.2 Laterita (Lat).....	25
2.8 INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DE LOS MINERALES DE HIERRO.....	26
2.8.1 Sílice (Si O ₂).....	26
2.8.2 Pérdida por calcinación (PPC).....	26
2.8.3 Alúmina (Al ₂ O ₃).....	27
2.8.4 Fósforo (P).....	27
2.9 RANGOS DE COMPOSICIÓN LITOLÓGICA PARA CADA TIPO DE MENAS.....	27
CAPÍTULO III.....	29
MARCO TEÓRICO.....	29
3.1 ANTECEDENTES.....	29
3.2 SONDEOS GEOEXPLORATORIOS.....	30
3.3 SECCIONES VERTICALES.....	30
3.4 GENERALIDADES DE LA ESTADÍSTICA.....	31
3.4.1 Número de casos.....	32
3.4.2 Rango de la distribución.....	32
3.4.3 Media aritmética.....	32
3.4.4 Moda.....	33
3.4.5 Mediana.....	33
3.4.6 Mínimo.....	34
3.4.7 Máximo.....	34
3.4.8 Varianza.....	34
3.4.9 Desviación estándar.....	35
3.4.10 Coeficiente de asimetría.....	35
3.4.11 Distribución normal.....	36
3.4.12 Distribución lognormal.....	38
3.4.13 Histogramas.....	38
3.5 GENERALIDADES DE LA GEOESTADÍSTICA.....	39
3.6 VARIOGRAMAS.....	42
3.6.1 Comportamiento en el origen de los variogramas.....	44
3.6.2 Parámetros del variograma.....	45
3.6.2.1 El efecto pepita.....	45
3.6.2.2 La meseta.....	46
3.6.2.3 El alcance:.....	46
3.7 SEMIVARIOGRAMAS TEÓRICOS.....	47
3.7.1 Modelo lineal.....	48
3.7.2 Modelo esférico.....	48

3.7.3 Modelo exponencial.....	48
3.7.4 Modelo cúbico	48
3.7.5 Modelo gaussiano.....	49
3.8 ANISOTROPÍAS.....	49
3.8.1 Anisotropía geométrica	50
3.8.2 Anisotropía zonal.....	50
3.9 APLICACIONES DEL VARIOGRAMA	50
3.10 KRIGING	52
3.11 MÉTODO DE INTERPOLACIÓN POR EL INVERSO DE LA DISTANCIA AL CUADRADO (IDW)	53
3.12 SOFTWARE GEOLÓGICO – MINERO MINESIGHT-COMPASS (MEDSYSTEM).....	55
3.12.1 Operaciones con datos de sondeo.....	55
3.12.2 Operaciones con compuestos.....	56
CAPÍTULO IV	59
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	59
4.1 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	59
4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	59
4.3 FLUJOGRAMA DE TRABAJO	60
4.3.1 Recopilación y chequeo de la información.....	61
4.3.2 Chequeo de la base de datos.....	61
4.4 CARGA DE LA BASE DE DATOS AL SOFTWARE MINERO MEDSYSTEM	64
4.5 CÁLCULO DE COMPUESTOS.....	64
4.6 APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS GRÁFICA PARA AGRUPAR LITOLOGÍAS	65
4.6.1 Gráfica de media vs. desviación estándar	66
4.6.2 Curvas log. probabilísticas.....	66
4.7 GENERACIÓN DE LAS ESTADÍSTICAS BÁSICAS.....	67
4.8 CONSTRUCCIÓN DE CORRELOGRAMAS.....	67
4.9 CÁLCULOS EXPERIMENTALES Y AJUSTE DE UN MODELO TEÓRICO	68
4.10 VALIDACIÓN DE LAS ESTIMACIONES	69
4.11 COMPARACIÓN DE LOS RADIOS DE INFLUENCIA CORRESPONDIENTES A LOS DISTINTOS YACIMIENTOS DEL CERRO ALTAMIRA	70
CAPÍTULO V	71
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	71
5.1 BASE DE DATOS DE LOS SONDEOS GEOEXPLORATORIOS	71
5.2 ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE MEDIA VS. DESVIACIÓN ESTÁNDAR, CURVAS LOG. PROBABILÍSTICAS	71
5.2.1 Gráfica de media vs. desviación estándar	71
5.2.2 Curvas log. probabilísticas.....	76
5.3 ESTADÍSTICAS BÁSICAS	77
5.4 HISTOGRAMAS.....	82
5.5 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE LOS CORRELOGRAMAS	89
5.6 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE LOS VARIOGRAMAS	91
5.7 ANÁLISIS DEL PUNTO DE VALIDACIÓN	95
5.8 DETERMINACIÓN DE LOS RADIOS DE INFLUENCIA PARA LOS YACIMIENTOS DEL CERRO ALTAMIRA.	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES.....	100

REFERENCIAS102
APÉNDICES.....105

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 UBICACIÓN RELATIVA DE LOS YACIMIENTOS FERRÍFEROS EN EL DISTRITO PIAR (C.V.G.FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	8
2.2 MAPA GEOLÓGICO GENERALIZADO DEL ESCUDO DE GUAYANA (MENDOZA, V. 2000).	13
2.3 COMPLEJO DE IMATACA EN LOS ALREDEDORES DEL CERRO BOLÍVAR (MENDOZA, V. 2000).	14
2.4 COLUMNA LITOLÓGICA Y ESQUEMA DE ENRIQUECIMIENTO SUPERGÉNICO DE LOS YACIMIENTOS (C.V.G FERROMINERA ORINOCO, C.A JEFATURA ÁREA GEOLOGÍA 2009).....	16
2.5 FINOS NEGROS (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	17
2.6 FINOS MARRONES (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	18
2.7 LIMONITA AMARILLA (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	19
2.8 COSTRA HEMATÍTICA (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	19
2.9 COSTRA MASIVA (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	20
2.10 COSTRA SILÍCEA (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	21
2.11 COSTRA LAMINADA (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	21
2.12 CUARCITA FERRUGINOSA FRIABLE (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	22
2.13 GNEIS (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A.2009).	25
2.14 LATERITA (C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A. 2009).	26
3.1 SECCIÓN VERTICAL NW-SE DEL CERRO ALTAMIRA (C.V.G FERROMINERA ORINOCO, C.A JEFATURA ÁREA GEOLOGÍA 2009).	31
3.2 CAMPANA DE GAUSS REPRESENTANDO LA DISTRIBUCIÓN NORMAL Y SUS DESVÍOS ESTÁNDARES (VILLANUEVA, A. 2002).	37
3.3 EJEMPLO DE HISTOGRAMA.	39
3.4 CARÁCTER MIXTO DE UNA FUNCIÓN ALEATORIA (JOURNEL Y HUIJBREGTS, 1978).	41
3.5 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL VARIOGRAMA (CHICA, M. 1998)).	43
3.6 COMPORTAMIENTO DEL VARIOGRAMA EN EL ORIGEN, A) PARABÓLICO, B) LINEAL, C) EFECTO PEPITA, D) DISCONTINUO PURO (CHICA, M. 1998).	44
3.7 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE INFLUENCIA Y EL COMPORTAMIENTO EN EL ORIGEN DE LOS VARIOGRAMAS (CHICA, M. 1998).	46
3.8 MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS TEÓRICOS (CHICA, M. 1998).	47
3.9 TIPOS DE ANISOTROPÍAS (CHICA, M. 1998).	50

3.10 DIFERENTES DISTANCIAS DE BÚSQUEDA EN LAS CUALES SE TOMAN MUESTRAS (SONDEOS) PARA SER UTILIZADAS EN LOS CÁLCULOS (VERA, M. 2008).	54
4.1 ETAPAS METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.	60
4.2 BASE DE DATOS DE LOS SONDEOS GEOEXPLORATORIOS EN HOJA DE CÁLCULO PARA SER CARGADA EN MEDSYSTEM.	63
4.3 FORMACIÓN DE COMPUESTOS POR LONGITUD FIJA.	65
4.4 EJEMPLO GRAFICA DE MEDIA VS. DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	66
4.5 EJEMPLO DE CURVAS LOG. PROBABILÍSTICAS GENERADO CON EL SOFTWARE MINERO MEDSYSTEM.	67
4.6 ELEMENTOS DEL CORRELOGRAMA GENERADO CON EL SOFTWARE MINERO MEDSYSTEM.	68
4.7 NUBE DE CORRELACIÓN CALCULADO POR EL SOFTWARE MINERO MEDSYSTEM.	70
5.1 PARÁMETRO QUÍMICO SiO_2 DEL YACIMIENTO OCCIDENTAL.	72
5.2 PARÁMETRO QUÍMICO Al_2O_3 DEL YACIMIENTO OCCIDENTAL.	73
5.3 PARÁMETRO QUÍMICO PPC DEL YACIMIENTO OCCIDENTAL.	73
5.4 PARÁMETRO QUÍMICO P DEL YACIMIENTO OCCIDENTAL.	73
5.5 PARÁMETRO QUÍMICO MN DEL YACIMIENTO OCCIDENTAL.	73
5.6 PARÁMETRO QUÍMICO SiO_2 DEL YACIMIENTO CENTRAL.	74
5.7 PARÁMETRO QUÍMICO Al_2O_3 YACIMIENTO CENTRAL.	74
5.8 PARÁMETRO QUÍMICO PPC YACIMIENTO CENTRAL.	74
5.9 PARÁMETRO QUÍMICO P YACIMIENTO CENTRAL.	74
5.10 PARÁMETRO QUÍMICO MN YACIMIENTO CENTRAL.	75
5.11 PARÁMETRO QUÍMICO SiO_2 YACIMIENTO ORIENTAL.	75
5.12 PARÁMETRO QUÍMICO Al_2O_3 YACIMIENTO ORIENTAL.	75
5.13 PARÁMETRO QUÍMICO PPC YACIMIENTO ORIENTAL.	75
5.14 PARÁMETRO QUÍMICO P YACIMIENTO ORIENTAL.	76
5.15 PARÁMETRO QUÍMICO MN YACIMIENTO ORIENTAL.	76
5.16 CURVA DE PROBABILIDAD DE LA SiO_2 YACIMIENTO OCCIDENTAL.	77
5.17 HISTOGRAMAS SiO_2 YACIMIENTO OCCIDENTAL.	82
5.18 HISTOGRAMAS Al_2O_3 YACIMIENTO OCCIDENTAL.	82
5.19 HISTOGRAMAS PPC YACIMIENTO OCCIDENTAL.	83
5.20 HISTOGRAMAS P YACIMIENTO OCCIDENTAL.	83
5.21 HISTOGRAMAS MN YACIMIENTO OCCIDENTAL.	84
5.22 HISTOGRAMAS SiO_2 YACIMIENTO CENTRAL.	84

5.23 HISTOGRAMAS AL₂O₃ YACIMIENTO CENTRAL	85
5.24 HISTOGRAMAS PPC YACIMIENTO CENTRAL	85
5.25 HISTOGRAMAS P YACIMIENTO CENTRAL	86
5.26 HISTOGRAMAS MN YACIMIENTO CENTRAL	86
5.27 HISTOGRAMAS SIO₂ YACIMIENTO ORIENTAL	87
5.29 HISTOGRAMAS PPC YACIMIENTO ORIENTAL	88
5.30 HISTOGRAMAS P YACIMIENTO ORIENTAL	88
5.31 HISTOGRAMAS YACIMIENTO ORIENTAL PARÁMETRO QUÍMICO MN	88

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 RANGO DE COMPOSICIÓN LITOLÓGICA PARA CADA TIPO DE MENA (C.V.G FERROMINERA ORINOCO, C.A JEFATURA ÁREA GEOLOGÍA 2009).....	28
5.1 ESTADÍSTICAS BÁSICAS DE LA BASE DE DATOS OBTENIDOS EN MEDSYSTEM PERTENECIENTE AL YACIMIENTO OCCIDENTAL.	79
5.2 ESTADÍSTICAS BÁSICAS DE LA BASE DE DATOS OBTENIDOS EN MEDSYSTEM PERTENECIENTE AL YACIMIENTO CENTRAL.	80
5.3 ESTADÍSTICAS BÁSICAS DE LA BASE DE DATOS OBTENIDOS EN MEDSYSTEM PERTENECIENTE AL YACIMIENTO ORIENTAL.	81
5.4 ÁNGULOS DE ANISOTROPÍA YACIMIENTO OCCIDENTAL.	89
5.5 ÁNGULOS DE ANISOTROPÍA YACIMIENTO CENTRAL.	90
5.6 ÁNGULOS DE ANISOTROPÍA YACIMIENTO ORIENTAL.	90
5.7 PARÁMETROS DE LOS VARIOGRAMAS YACIMIENTO OCCIDENTAL.....	92
5.8 PARÁMETROS DE LOS VARIOGRAMAS YACIMIENTO CENTRAL.	93
5.9 PARÁMETROS DE LOS VARIOGRAMAS YACIMIENTO ORIENTAL.....	94
5.10 PARÁMETROS DEL PUNTO DE VALIDACIÓN YACIMIENTO OCCIDENTAL.	95
5.11 PARÁMETROS DEL PUNTO DE VALIDACIÓN YACIMIENTO CENTRAL.	96
5.12 PARÁMETROS DEL PUNTO DE VALIDACIÓN YACIMIENTO ORIENTAL.....	96
5.13 RADIOS DE INFLUENCIAS DE LOS YACIMIENTOS DEL CERRO ALTAMIRA.....	98

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A CURVAS LOG. PROBABILISTICAS CORRESPONDIENTES A LOS DEL CERRO YACIMIENTOS ALTAMIRA.....	106
A.1 Curva de probabilidad de la Al ₂ O ₃ yacimiento Occidental.....	107
A.2 Curva de probabilidad de la PPC yacimiento Occidental.....	107
A.3 Curva de probabilidad de la P yacimiento Occidental.....	108
A.4 Curva de probabilidad para Mn yacimiento Occidental.....	108
A.5 Curva de probabilidad para SiO ₂ yacimiento Central.....	109
A.6 Curva de probabilidad para Al ₂ O ₃ yacimiento Central.....	109
A.7 Curva de probabilidad para PPC yacimiento Central.....	110
A.8 Curva de probabilidad para P yacimiento Central.....	110
A.9 Curva de probabilidad para Mn yacimiento Central.....	111
A.10 Curva de probabilidad para SiO ₂ yacimiento Oriental.....	111
A.11 Curva de probabilidad para Al ₂ O ₃ yacimiento Oriental.....	112
A.12 Curva de probabilidad para PPC yacimiento Oriental.....	112
A.13 Curva de probabilidad para P yacimiento Oriental.....	113
A.14 Curva de probabilidad para Mn yacimiento Oriental.....	113
B CORRELOGRAMAS CONSTRUIDOS POR LITOLOGÍAS AGRUPADAS PARA CADA PARAMETRO QUÍMICO CORRESPONDIENTES A LOS YACIMIENTOS DEL CERRO ALTAMIRA.....	114
B.1 Yacimiento Occidental grupo 1 SiO ₂	115
B.2 Yacimiento Occidental grupo 2 SiO ₂	115
B.3 Yacimiento Occidental grupo 3 SiO ₂	116
B.4 Yacimiento Occidental grupo 1 Al ₂ O ₃	116
B.5 Yacimiento Occidental grupo 2 Al ₂ O ₃	117
B.6 Yacimiento Occidental grupo 3 Al ₂ O ₃	117
B.7 Yacimiento Occidental grupo 1 PPC.....	118
B.8 Yacimiento Occidental grupo 2 PPC.....	118
B.9 Yacimiento Occidental grupo 3 PPC.....	119
B.10 Yacimiento Occidental grupo 1 P.....	119
B.11 Yacimiento Occidental grupo 2 P.....	120
B.12 Yacimiento Occidental grupo 3 P.....	120
B.13 Yacimiento Occidental grupo 1 Mn.....	121
B.14 Yacimiento Occidental grupo 2 Mn.....	121
B.15 Yacimiento Occidental grupo 3 Mn.....	122
B.16 Yacimiento Central grupo 1 SiO ₂	122
B.17 Yacimiento Central grupo 2 SiO ₂	123
B.18 Yacimiento Central grupo 3 SiO ₂	123
B.19 Yacimiento Central grupo 1 Al ₂ O ₃	124
B.20 Yacimiento Central grupo 2 Al ₂ O ₃	124
B.21 Yacimiento Central grupo 3 Al ₂ O ₃	125
B.22 Yacimiento Central grupo 1 PPC.....	125
B.23 Yacimiento Central grupo 2 PPC.....	126
B.24 Yacimiento Central grupo 3 PPC.....	126
B.25 Yacimiento Central grupo 1 P.....	127

B.26	Yacimiento Central grupo 2 P.....	127
B.27	Yacimiento Central grupo 3 P.....	128
B.28	Yacimiento Central grupo 1 Mn.	128
B.29	Yacimiento Central grupo 2 Mn.	129
B.30	Yacimiento Central grupo 3 Mn.	129
B.31	Yacimiento Oriental grupo 1 SiO ₂	130
B.32	Yacimiento Oriental grupo 2 SiO ₂	130
B.33	Yacimiento Oriental grupo 3 SiO ₂	131
B.34	Yacimiento Oriental grupo 1 Al ₂ O ₃	131
B.35	Yacimiento Oriental grupo 2 Al ₂ O ₃	132
B.36	Yacimiento Oriental grupo 3 Al ₂ O ₃	132
B.37	Yacimiento Oriental grupo 1 PPC.....	133
B.38	Yacimiento Oriental grupo 2 PPC.....	133
B.39	Yacimiento Oriental grupo 3 PPC.....	134
B.40	Yacimiento Oriental grupo 1 P.	134
B.41	Yacimiento Oriental grupo 2 P.	134
B.42	Yacimiento Oriental grupo 3 P.	135
B.43	Yacimiento Oriental grupo 1 Mn.....	136
B.44	Yacimiento Oriental grupo 2 Mn.....	136
B.45	Yacimiento Oriental grupo 3 Mn.....	137

**C VARIOGRAMAS CONSTRUIDOS POR LITOLÓGÍAS AGRUPADAS PARA CADA
PARAMETRO QUIMICO CORRESPONDIENTES A LOS YACIMIENTOS DEL
CERRO ALTAMIRA FOTOGRAFÍAS DE ÁREA DE ESTUDIO..... 138**

C.1	Yacimiento Occidental parámetro químico SiO ₂	139
	C.1 Grupo 1 (lito 1).	139
	C.2 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	139
	C.3 Grupo 3 (lito 5, 6).	140
C.2	Yacimiento Occidental parámetro químico Al ₂ O ₃	140
	C.4 Grupo 1 (lito 1).	140
	C.5 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	141
	C.6 Grupo 3 (lito 5, 6).	141
C.3	Yacimiento Occidental parámetro químico PPC	142
	C.7 Grupo 1 (lito 1).	142
	C.8 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	142
	C.9 Grupo 3 (lito 5, 6).	143
C.4	Yacimiento Occidental parámetro químico P.....	143
	C.10 Grupo 1 (lito 1).	143
	C.11 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	144
	C.12 Grupo 3 (lito 5, 6).	144
C.5	Yacimiento Occidental parámetro químico Mn	145
	C.13 Grupo 1 (lito 1).	145
	C.14 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	145
	C.15 Grupo 3 (lito 5, 6).	146
C.6	Yacimiento Central parámetro químico SiO ₂	146
	C.16 Grupo 1 (lito 1).	146
	C.17 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	147
	C.18 Grupo 3 (lito 5, 6).	147
C.7	Yacimiento Central parámetro químico Al ₂ O ₃	148
	C.19 Grupo 1 (lito 1).	148

C.20 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	148
C.21 Grupo 3 (lito 5, 6).	149
C.8 Yacimiento Central parámetro químico PPC.....	149
C.22 Grupo 1 (lito 1).	149
C.23 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	150
C.24 Grupo 3 (lito 5, 6).	150
C.9 Yacimiento Central parámetro químico P.....	151
C.25 Grupo 1 (lito 1).	151
C.26 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	151
C.27 Grupo 3 (lito 5, 6).	152
C.10 Yacimiento Central parámetro químico Mn	152
C.28 Grupo 1 (lito 1).	152
C.29 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	153
C.30 Grupo 3 (lito 5, 6).	153
C.11 Yacimiento Oriental parámetro químico SiO ₂	154
C.31 Grupo 1 (lito 1).	154
C.32 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	154
C.33 Grupo 3 (lito 5, 6).	155
C.12 Yacimiento Oriental parámetro químico Al ₂ O ₃	155
C.34 Grupo 1 (lito 1).	155
C.35 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	156
C.36 Grupo 3 (lito 5, 6).	156
C.13 Yacimiento Oriental parámetro químico P.....	157
C.37 Grupo 1 (lito 1).	157
C.38 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	157
C.39 Grupo 3 (lito 5, 6).	158
C.14 Yacimiento Oriental parámetro químico Mn	158
C.40 Grupo 1 (lito 1).	158
C.41 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).....	159
C.42 Grupo 3 (lito 5, 6).	159

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se basó en la determinación de los radios de influencia determinados a partir de la base de datos de los sondeos geoexploratorios de los yacimientos, Occidental Central y Oriental del Cerro Altamira, en el estado Bolívar, esto como parte de la adecuación y actualización tecnológica que lleva a cabo la empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A., con la información existente. El estudio fue efectuado con el software minero MineSight-Compass (Medsystem) el cual es un moderno software geológico, que permite construir modelos geológicos y calcular las reservas de los yacimientos, y se identifica como un programa de computadoras.

La empresa C.V.G FERROMINERA ORINOCO C.A. se encarga de la explotación y comercialización del mineral de hierro en el país por lo que resulta importante tener un conocimiento integral de los yacimientos del mineral. La Jefatura de Área Geología es la encargada de evaluar las reservas geológicas de mineral de hierro que se extrae y para ello se vale de una serie de herramientas como lo son: geología de superficie, levantamientos de frentes de producción, descripción litológica de los conos para voladura, construcción de secciones verticales y *slices* (secciones horizontales), descripción de sondeos geoexploratorios, etc. Sin embargo, para conocer el comportamiento de los parámetros químicos SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, y Mn utilizados para determinar la calidad y el tenor de la mena, existe una herramienta que se aplica a través de la Geoestadística como lo es la determinación de los radios de influencia de cada uno de los parámetros químicos antes mencionados, lo que genera un conocimiento más preciso del comportamiento de los componentes químicos en cada litología para optimizar la confiabilidad de los modelos geológicos.

La geoestadística es la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio. (Journel y Huijbregts, 1978).

En el campo de las geociencias es común encontrar variables distribuidas espacialmente. Para el estudio de estas variables son usados diversos procedimientos geoestadísticos de estimación y/o simulación. Esto es, a partir de un conjunto de muestras tomadas en localizaciones del dominio en que se manifiesta un fenómeno a estudiar y consideradas representativas de su realidad. Estos procedimientos permiten la descripción o caracterización de las variables con fines diferentes. La geología y la minería son los campos típicos para la aplicación de estos modelos, campo en el que surge y se desarrolla la geoestadística como ciencia aplicada.

El trabajo está seccionado en seis capítulos, donde en el primer capítulo se especifica la situación a investigar, en el segundo capítulo se describen las generalidades de las zona en estudio. En el tercer capítulo se desarrollan los antecedentes del tema y las bases teóricas, en el cuarto capítulo, se detalla la metodología empleada para la obtención de los resultados, en el quinto capítulo se puntualizan los análisis de resultados obtenidos y por último, el sexto capítulo, donde se exponen las conclusiones y recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El estado Bolívar dispone de la reserva más grande de mineral de hierro del país, y C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A., empresa del Estado venezolano, tiene como responsabilidad la explotación de mineral de hierro con eficiencia, productividad, calidad y al más bajo costo posible.

Debido al notable incremento en los últimos años de la base de datos, en los sondeos geoexploratorios, surge en la Jefatura de Área Geología la necesidad de actualizar y verificar los radios de influencia mineral en los yacimientos Occidental Central y Oriental del Cerro Altamira. Esto se logra a través de los estudios geoestadístico que se le realiza a la base de datos correspondiente a los sondeos geoexploratorios, con la finalidad de determinar los radios de influencia de los parámetros sílice, alúmina, pérdida por calcinación, fósforo y manganeso, en cada tipo litológico existente en el yacimiento; así como también establecer direcciones preferenciales de mineralización. Un radio de influencia adecuado permitirá creación de estimación más ajustados a la realidad de la mina en estudio.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Comparar el comportamiento espacial de las variables químicas SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, Mn en las menas de los yacimiento Occidental, Central y Oriental del Cerro Altamira.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Recopilar la base de datos de los sondeos geoexploratorios del yacimiento Occidental, Central y Oriental del Cerro Altamira.
2. Analizar la base de datos de los sondeos geoexploratorios de los yacimientos Occidental, Central y Oriental del Cerro Altamira.
3. Analizar variogramas partiendo de la data de los sondeos geoexploratorios de los yacimientos Occidental, Central y Oriental del Cerro Altamira.
4. Determinar los radios de influencia por tipo litológico de los parámetros químicos SiO₂, Al₂O₃, PPC, P, y Mn, para cada yacimiento del Cerro Altamira.

1.3 Justificación de la investigación

La Jefatura de Área Geología realizó la última actualización de los radios de influencia de los parámetros químicos SiO₂, Al₂O₃, PPC, P, Mn del Cerro Altamira en el año 1999. Debe destacarse que desde entonces la base de datos de los sondeos geoexploratorios ha aumentado considerablemente, lo cual hace necesario determinar las variaciones generadas por el incremento de dicha data, permitiendo de este modo obtener mayor confiabilidad de los radios de influencia de los distintos parámetros químicos. El anterior estudio se realizó con toda la data del Cerro Altamira, es decir, se trabajaron todos los yacimientos como un todo, y lo que se requiere ahora con este trabajo es determinar el comportamiento individual de cada uno de los yacimientos que conforman al Cerro Altamira.

1.4 Alcance de la investigación

Esta investigación, a través de la obtención y actualización de los diferentes radios de influencia de los parámetros químicos SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P y Mn del Cerro Altamira, permite generar información de gran utilidad para la elaboración del modelo geológico de este yacimiento, logrando de esta manera un aumento en el grado de confiabilidad de dicho modelo.

1.5 Limitaciones de la investigación

No existen limitaciones de importancia para el desarrollo de este trabajo de investigación, salvo aquellas impuestas por la poca disponibilidad de los equipos de computación provistos del software geológico-minero MedSystem.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Descripción del área de estudio

Los yacimientos de hierro del Distrito Ferrífero Piar se encuentran ubicados entre el 7°25' de latitud Norte y los 63°10' de longitud Oeste. Están conformado principalmente por los cerros del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro (San Isidro, Los Barrancos, Las Pailas y San Joaquín), e igualmente por otros depósitos, como los Cerros: Bolívar, Altamira, La Estrella, Redondo, Ricardo, Toribio, Arimagua, Punta de Cerro (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., 2009).

Este yacimiento puede considerarse como de estructura geológica compleja, ya que presenta pliegues cerrados y extensas fallas que han afectado todos los yacimientos y las formaciones de hierro asociados. En la mayoría de los casos, las capas y horizontes de estratificación o foliación están interrumpidos y, raramente, pueden observarse a pocos metros brechas causadas por movimientos de fallas, plegamientos cerrados, y colapso de cavernas.

La mineralización del Cerro Altamira está dividido en tres secciones, según su importancia económica: Los yacimientos Oriental, Central y Occidental, separados por masas de lateritas. Los yacimientos se hallan en los flancos de un anticlinorio mayor; el yacimiento Occidental yace en la nariz o cierre, y los yacimientos Central y Oriental en el flanco Norte del extremo Oeste de dicho anticlinorio

El yacimiento Oeste tiene 1,6 kilómetros de largo y un área de 504.000 m³. Dicho yacimiento mide 85 m de ancho en su parte más ancha y de 30 a 40 m en su parte más angosta, al Noroeste del portón de entrada a la mina.

La parte Sur del yacimiento es la continuación, hacia el Norte, de la estructura del Cerro Purgatorio. La mayoría de la mena yace por encima de los 550 metros, pero en varios lugares en la ladera Oeste, aflora al nivel 450. La mena junto con la formación de hierro al Oeste del portón está plegada en forma sinclinal con un cabeceo bajo, hacia el Noroeste. El eje axial se encuentra bastante por debajo de la cresta en el flanco Oeste del Cerro. Las lateritas bandeadas afloran a lo largo de la carretera principal por debajo del brazo Norte con rumbos paralelos a la formación de hierro, también aflora a lo largo del brazo Sur y yace por encima y por debajo de la formación de hierro.

Los yacimientos Central y Oriental forman el eje principal del Cerro Altamira. Entre los dos tienen una longitud de unos 3,5 kilómetros y una anchura de 300 a 400 metros, y un área de aproximadamente 1,000,000.00 m² de mena "in situ", además de estar divididos entre sí por una depresión cuya litología está representada por laterita, que, como se verá más adelante, es gneis meteorizado. (Figura 2.1).

2.2 Características físicas y naturales

2.2.1 Clima

El clima es tropical seco, con una temperatura media de 26,7° C (tomada en Ciudad Piar, fluctuando entre un máximo de 33,3° C y un mínimo de 18,2° C). Las precipitaciones son medias, las lluvias torrenciales ocurren durante los meses de mayo a octubre, presentándose una mayor precipitación entre los meses de junio a agosto; siendo muy escasas entre los meses de febrero y abril (C.V.G-Tecmin, 1987).

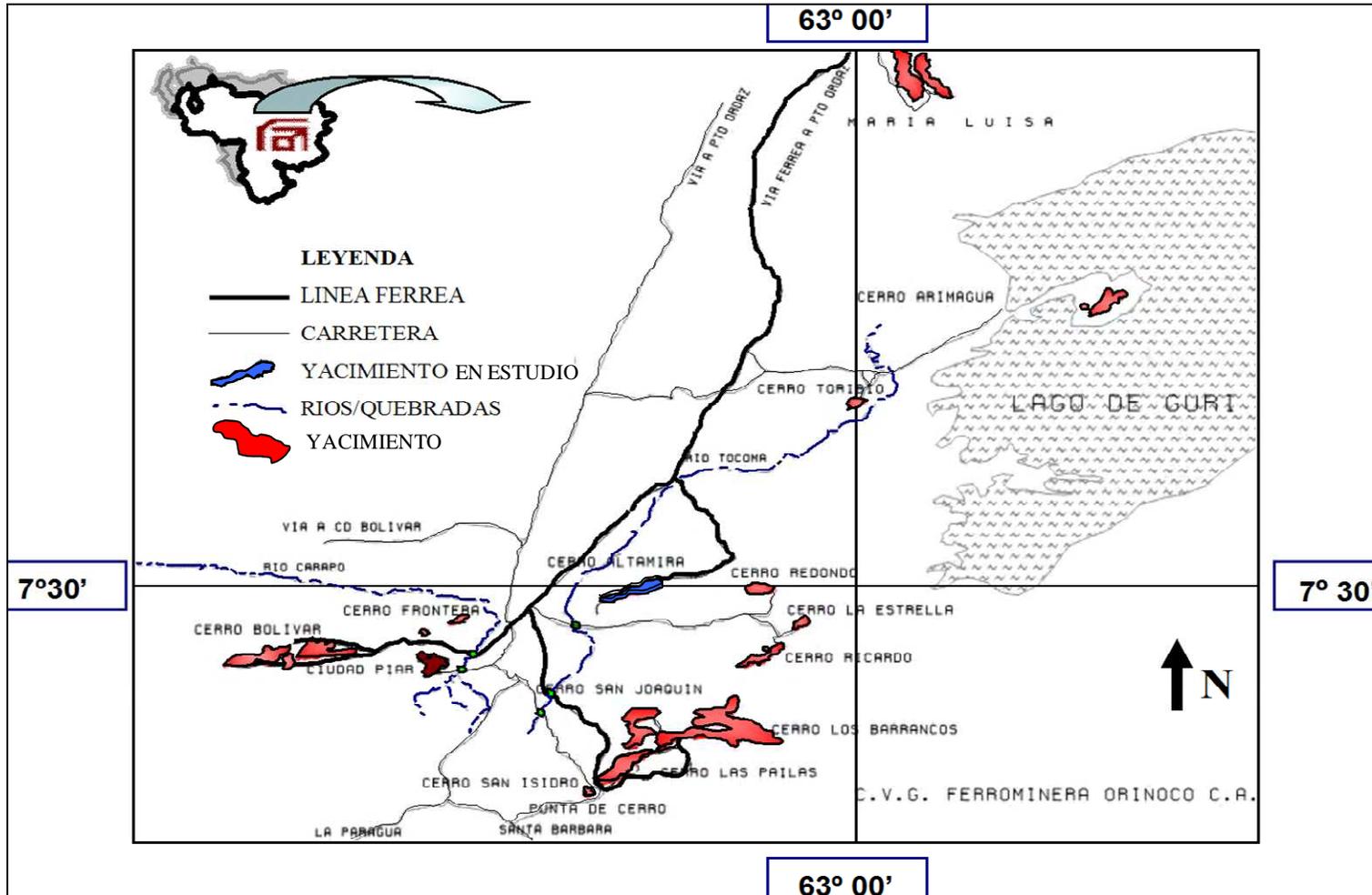


Figura 2.1 Ubicación relativa de los yacimientos Ferríferos en el Distrito Piar (C.V.G.Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.2.2 Hidrología

La red hidrográfica de la región pertenece a la cuenca del Caroní, siendo los cursos de agua en su mayoría intermitentes y torrenciales, aunque las quebradas Tocoma, San Isidro y Purgatorio son permanentes o casi permanentes. Por lo general las cabeceras de las fuentes de agua de la región se encuentran infrayacente a la formación de mineral de hierro y suprayacente a los gneis. En particular los manantiales poseen suficiente agua para alimentar a los ríos, tal es el caso del los manantiales que se encuentran en las cercanías del Cerro las Pailas que se encargan de alimentar al río Tocoma, el manantial del Cerro Altamira que no solo alimenta al río Tocoma si no, también, a la planta piloto y a parte de la población de Ciudad Piar, por otra parte las laderas del cerro San Joaquín poseen abundantes cabeceras de agua que circulan meridionalmente por los Barrancos y San Isidro. Gracias a la abundancia de quebradas y riachuelos fue posible la construcción de una represa o laguna artificial, que sirve de suministro de agua para las operaciones de la mina (C.V.G-Tecmin, 1987).

2.2.3 Geomorfología

Se presentan diversas formas controladas por los diferentes tipos de rocas constitutivas del complejo de Imataca y la Formación Mesa, comprendida entre el río Orinoco al Norte, la falla de Santa Bárbara al Sur, el río Caroní al Este y el río Aro al Oeste.

Acantilados característicos de formaciones sedimentarias horizontales destacan sobre la Formación Mesa, sobre los cuales aparecen afloramientos de roca de la parte norte del Complejo de Imataca. En la faja del Cerro Bolívar, al sur de la falla de Gurí, la topografía está caracterizada por afloramientos de formación de hierro entre los Cerros Arimagua y El Trueno. En la faja de Santa Rosa se desarrolla un grupo de

colinas alargadas y paralelas controladas por gneises cuarzos feldespáticos bandeados con intercalaciones de gneis diorítico blanco y lentes delgados de formaciones de hierro.

Geomorfológicamente el área está representada por una unidad de montaña baja, caracterizada por una topografía con pendientes fuertes, superiores al 60%. Esta unidad está compuesta por cuatro (4) tipos de relieve los cuales son: Sierra, cresta, viga y vega. Se presentan serranías y diversas formaciones rocosas propias del Complejo de Imataca y la Formación Mesa, comprendidas entre el río Orinoco al Norte, la falla de Santa Bárbara al Sur, el río Caroní al Este y el río Aro al Oeste (C.V.G-Tecmin, 1987).

2.2.4 Vegetación

Ha sido clasificada como bosque tropófito macrotérmico y bosque pluvial. Las regiones montañosas están cubiertas de espesas vegetaciones relativamente bajas en las colinas, y alta en los valles. Sobre los suelos de la región se desarrolla una flora específica denominada Copey (*Clusia Lakeii*), la cual indica la presencia de menas feríferas. Los suelos lateríticos están cubiertos de hierba sabanera o de vegetación alta tipo tropical, que contrastan claramente con la vegetación sobre la mena y marcan los contactos del yacimiento (C.V.G-Tecmin, 1987).

2.2.5 Fauna

Los únicos animales peligrosos de la zona son algunos tipos de serpientes venenosas. La fauna en sí se caracteriza por varias clases de monos, venados, cachicamos, picures, conejos, pavos, morrocayos, tigres, entre otros (C.V.G-Tecmin, 1987).

2.2.6 Suelos

Se caracterizan por presentar suelos Kanhaplohumults esqueléticos y Usthorthens muy esqueléticos con inclusiones de Kandihumults y Haplustults.

Los suelos Kanhaplahumults esqueléticos son suelos superficiales a poco profundos, presentan un horizonte A de textura arcillosa a franco arcillo arenosa; se caracterizan por tener baja retención de humedad y una permeabilidad moderadamente rápida, son poco fértiles por sus bajos niveles de nutrientes y por poseer un PH de extremada a moderadamente ácido.

Los suelos Usthorthents muy esqueléticos se asocian a una alta jocosidad, se caracterizan por ser de orden residual, con escasa evidencia de desarrollo pedogenético, derivados a partir de rocas metamórficas como cuarcitas ferruginosa y anfibolitas; son suelos muy superficiales, con un horizonte A delgado, de textura comúnmente franco arcillosa; su retención de humedad es muy baja y su permeabilidad es rápida (C.V.G-Tecmin, 1987).

La retención de humedad del suelo se ha estimado como baja y la permeabilidad moderada rápida; la clase de drenaje algo excesivamente drenada. Poseen una moderada fertilidad natural en superficie y baja a muy baja en profundidad; la cual está asociada a valores bajos y muy bajos de nutrientes, en profundidad; poseen pH extremadamente ácido a moderadamente ácido; la capacidad de intercambio catiónico es moderada en superficie y baja en profundidad, la saturación con bases es moderada en los horizontes superficiales y baja en profundidad, debido a la fuerte y moderada lixiviación a que son sometidos (C.V.G-Tecmin, 1987).

2.3 Geología regional

Las formaciones de hierro consideradas de importancia económica relevante en Venezuela, está localizada en la Provincia Geológica de Imataca. En el se distinguen, según el tamaño del grano, tres grandes tipos de depósitos de hierro, que son los siguientes (Ascanio,G. 1985).

Depósitos de hierro de grano grueso (> 1 mm): El Pao, Las Grullas, Piacoa.

Depósitos de hierro de grano medio (= 1 mm): Cerro María Luisa.

Depósitos de hierro de grano fino (< 1 mm): Cerros Bolívar, San Isidro, Los Barrancos, El Trueno, Altamira, Redondo, Toribio, Arimagua, etc.

Las rocas que componen el Complejo de Imataca afloran en la parte Norte del estado Bolívar, al Este del río Caura y paralelamente al río Orinoco hasta penetrar en el estado Delta Amacuro, formando un cinturón Norte-Sur de 510 km de longitud, representado hasta el presente, las rocas más antiguas (3500-3600 millones de años) conocidas en la parte Nor-Oriental del Escudo Guayanés. (Figura 2.2).

La Provincia de Imataca se extiende en dirección SW- NE desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco en dirección NW-SE, aflora desde el curso del río Orinoco hasta la falla de Gurí por unos 550 Km y 80 Km, respectivamente. Litológicamente la Provincia de Imataca está formada por gneises máficos y félsicos interestratificados con capas de cuarcitas ferruginosas, granulitas, esquistos anfibólicos, anfibolitas, mármoles dolomíticos y areniscas acuíferas; también se encuentran intrusiones de rocas graníticas y básicas, diques y sills de diabasa y pegmatita, así como vetas de aplita y cuarzo (Kalliokoski, J. 1965).

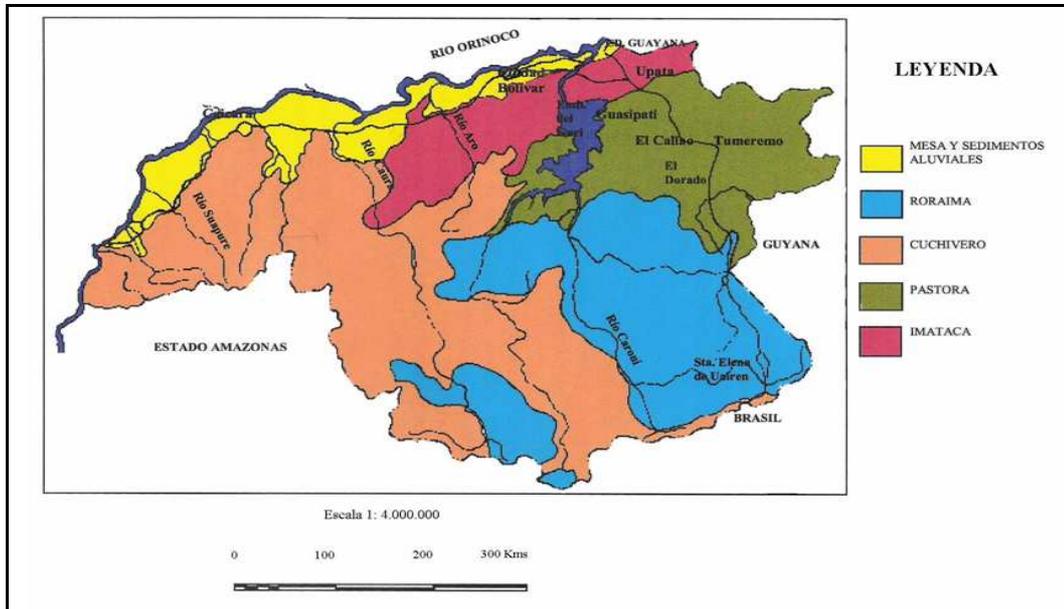


Figura 2.2 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana (Mendoza, V. 2000).

Petrológicamente la Provincia de Imataca pertenece al denominado cinturón granulítico.

En el Complejo de Imataca los suelos provienen de la meteorización química de la roca del complejo ígneo-metamórfico. Se les denomina suelos residuales y están formados principalmente por arcillas.

En general, el estilo estructural de la Provincia de Imataca, estuvo regido por dos factores pliegues de flujo sintectónicos y fallas transcurrentes tardía a post-tectónicas.

El Complejo de Imataca está formado por varias fajas tectónicas que representan microcontinentes que por deriva chocaron unos con otros con obducción, quedando separados entre sí por grandes corrimientos, estas se denominaron como:

La Encrucijada, Ciudad Bolívar, Santa Rosa, La Naranjita, La Ceiba, Laja Negra y Cerro Bolívar (Ascanio, citado por Mendoza, V. 2000). (Figura 2.3).

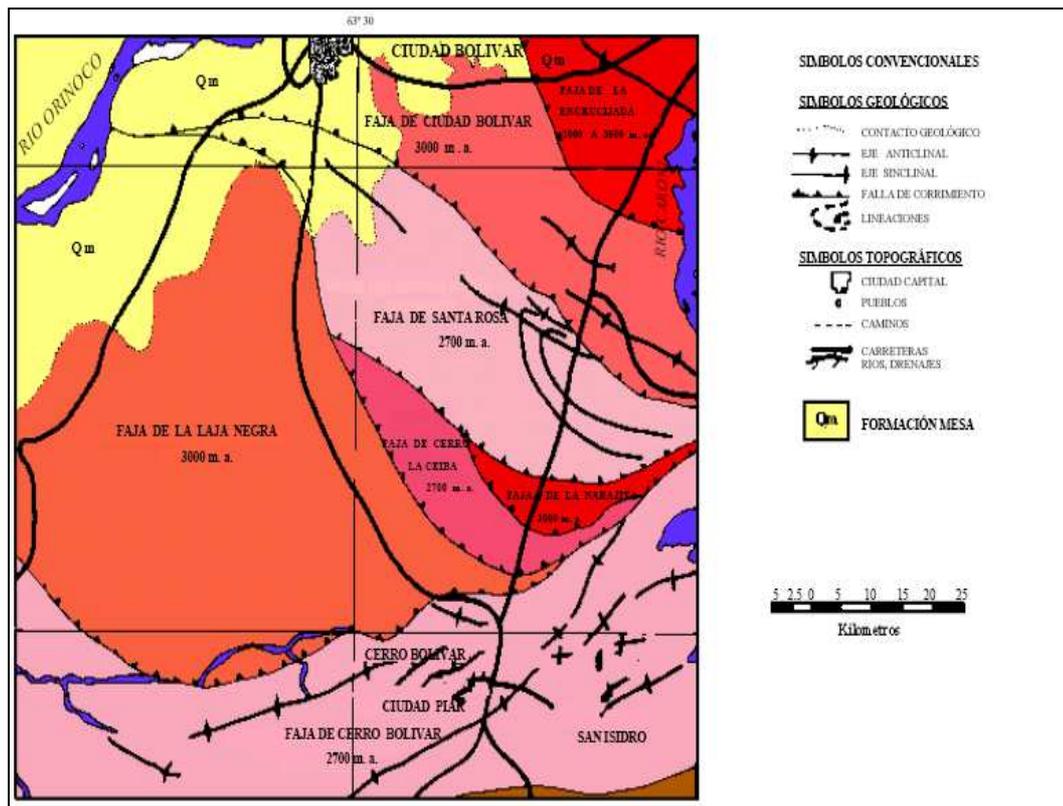


Figura 2.3 Complejo de Imataca en los alrededores del Cerro Bolívar (Ascanio, citado por Mendoza, V. 2000).

El Granito de La Encrucijada tiene su localización tipo al oeste del río Caroní y Sudoeste de la carretera a Ciudad Piar. Considera que podría representar una unidad separada, entre las rocas del Complejo de Imataca, aunque el contacto exterior del granito de La Encrucijada, no se puede localizar con precisión. Los cuerpos granodioríticos se encuentran intrusionando a los gneises y las cuarcitas ferruginosas del Complejo de Imataca y a la migmatita de La Ceiba y en contacto discordante con los sedimentos de la Formación Mesa que la subraya. (Kalliokoski, J. 1965).

2.4 Geología local

Las menas de mineral de hierro de alto tenor del Distrito Ferrífero Piar se originaron a partir de las cuarcitas ferruginosas de Imataca por enriquecimiento supergénico. El proceso que origina las menas es la remoción por meteorización de la sílice y los silicatos de las cuarcitas ferruginosas, con la consecuente concentración residual de óxidos o hidróxidos de hierro. Este proceso es observado en los frentes de producción con las características siguientes (C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A 1991):

1. El contacto entre las menas y las cuarcitas ferruginosas corta los planos de estratificación.
2. El área de contacto presenta características transicionales típicas que resultan de la meteorización debido a las aguas de escorrentía.
3. Las bolsadas de mineral tienen una forma y distribución que refleja la ruta normal de las aguas percolantes.
4. Los rasgos estructurales controlan el desarrollo de las menas, lo cual es típico de depósitos residuales.

El proceso de enriquecimiento supergénico de las cuarcitas ferruginosas ha dado origen a distintos tipos de mena según sea la intensidad o naturaleza del proceso, dando como resultado menas esencialmente hematíticas, gohetíticas y limoníticas. La condición necesaria para que se forme un yacimiento residual de mineral de hierro es la presencia de formaciones de hierro plegadas y alojadas en la parte superior de la columna estratigráfica expuesta. Estos pliegues son sinclinales, generalmente, aún cuando pueden ser también anticlinales o monolitos. Lo

importante es la presencia de un perfil topográfico estable durante un largo periodo de tiempo que permite la lixiviación de la sílice y la concentración de óxidos (Mendoza, V. 2000). (Figura 2.4).

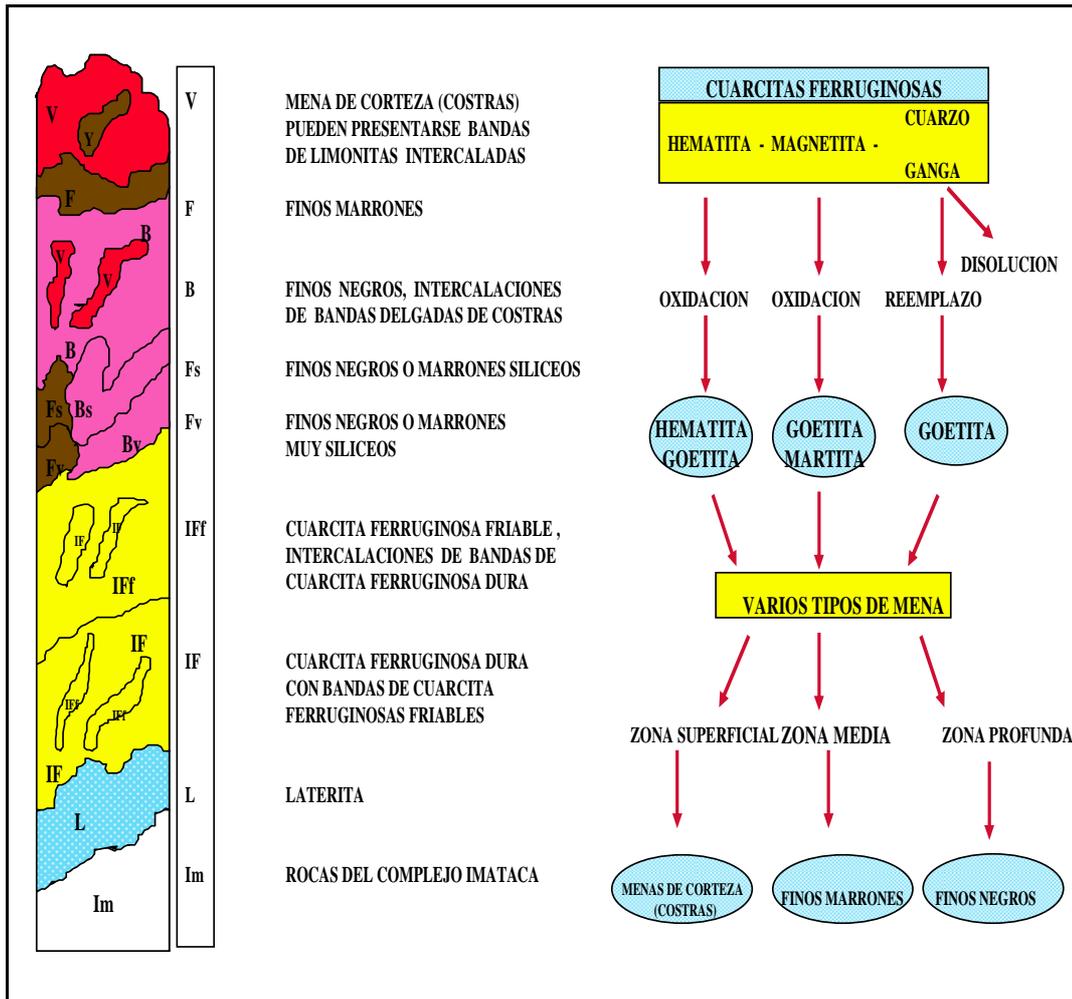


Figura 2.4 Columna litológica y esquema de enriquecimiento supergénico de los yacimientos (C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A Jefatura Área Geología 2009).

2.5 Tipos de menas

Se clasifican de acuerdo a su contenido de Fe: Menas de alto tenor (>55%) y menas de bajo tenor (<55%). La clasificación de los tipos litológicos de menas de hierro está basado en dos grupos: Menas duras o costras y menas friables conocidos como finos.

2.5.1 Menas de alto tenor (> 55% Fe Seco)

2.5.1.1 Menas blandas (B, F): son llamados finos y su aspecto es similar a la arena suelta; son moderadamente hidratados con alta porosidad. Debido a su textura son llamados finos laminados. Usualmente existen como grandes masas debajo de las menas duras o interestratificados con ellas, formando bolsadas que se hacen menos densas a profundidad.

Se clasifican en los siguientes subtipos:

2.5.1.2 Finos negros (B): están mineralógicamente compuestos de hematita y martita (como un producto de alteración de magnetita), con una baja proporción de aproximadamente 2-3% de goetita, pequeñas cantidades de cuarzo y pequeños granos de arcilla. Son de color gris metálico y contienen hasta un 69% de hierro seco. (Figura 2.5).



Figura 2.5 Finos negros (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.1.3 Finos marrones (F): estas menas muestran una pequeña variación química en comparación con los finos negros, un incremento del contenido de alúmina y pérdida por ignición debido al incremento de goetita y minerales alumínicos. Tienen un color marrón claro oscuro y se encuentra usualmente en los depósitos sobre los finos negros y debajo de las costras superficiales. (Figura 2.6).

Al mismo tiempo los finos negros y marrones están subdivididos de acuerdo al contenido de sílice en finos silíceos (entre 2 y 6%) y finos muy silíceos (mayor de 6%) y están limitados por un contenido de hierro seco mayor o igual a 55%. En los depósitos se encuentran en contacto directo con las cuarcitas ferruginosas.



Figura 2.6 Finos marrones (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.1.4 Limonita (Y): está constituida principalmente por limonita terrosa, porosa, de color amarillo ocre, y minerales de arcilla en menor cantidad. Está compuesta mineralógicamente por goetita criptocristalina y agua capilar y/o de absorción. Está caracterizada por un alto contenido de agua con una cristalización de 8 % y un contenido de hierro seco entre 56 % y 60 %. (Figura 2.7).



Figura 2.7 Limonita amarilla (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.1.5 Costra hematítica (Vh): compuesta principalmente por hematita. Su composición química es bastante semejante a la de los finos negros, diferenciándose de estos por presentar un mayor contenido de alúmina, sílice y pérdida de por ignición. La costra hematítica va desde homogénea y con cristales desarrollados los cuales pudieran ser agregados de hematita primaria, hasta finalmente laminada y bandeada. En diferentes niveles del yacimiento pueden encontrarse tanto en la superficie, como interestratificada con las menas friables en profundidad. (Figura 2.8).



Figura 2.8 Costra hematítica (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.1.6 Costra masiva (V): compuesta por proporciones variables de goetita, limonita y hematita. Por lo general muestra textura porosa, contiene fragmentos de otras menas y no presenta laminación remanente. Corresponde a un proceso avanzado de meteorización superficial con precipitación intensa de hidróxidos de hierro coloidales y relleno parcial de espacios porosos. Suele recubrir bolsadas de finos con alta proporción de bandas de limonita amarilla. El tenor de Fe seco es alrededor de 62%. (Figura 2.9).



Figura 2.9 Costra masiva (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.1.7 Costra limonítica (Vy): las costras limoníticas se presenta en color amarillento y es cavernosa y sus principales componentes microscópicos son hematita, goetita y limonita en diferentes proporciones. Estas costras limoníticas Se encuentran además en pequeñas proporciones (menos del 5%), minerales como cuarzo, caolinita, gibsita entre otros. Presentan un incremento en el contenido de alúmina, pérdida por ignición y fósforo. Las costras limoníticas Normalmente se desarrollan en la parte superior de los finos marrones muy hidratados.

2.5.1.8 Costra silíceas (Vs): las costras silíceas están microscópicamente formadas por granos de cuarzo residuales o remanentes de cuarcitas ferruginosas. Contiene de 2 a 6% de sílice y puede exhibir, estas costras silíceas poseen las siguientes características texturales características texturales tales como: Textura masiva y/o

laminada. Generalmente estas costras cubren menas silíceas deleznales, cuarcitas ferruginosas frescas y/o menas meteorizadas. (Figura 2.10).



Figura 2.10 Costra silícea (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.1.9 Costra laminada (Vp): está compuesta por proporciones variables de goetita, limonita y hematita, distribuidas en finas láminas alternadas, algunas veces frágiles y quebradizas. De acuerdo a la mineralogía dominante que existe en la costra laminada, éstas pueden ser definidas como: Costra hematítica laminada o costra limonítica laminada. Alcanza contenidos de hierro seco de hasta 67% y se desarrolla típicamente en los flancos superiores de los depósitos, en contacto con cuarcitas ferruginosas. (Figura 2.11).



Figura 2.11 Costra laminada (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.2 Menas de bajo tenor (<55% Fe Seco)

2.5.2.1 Cuarcita ferruginosa friable (IFf): es una cuarcita parcialmente lixiviada por remoción incipiente de sílice. De acuerdo al grado de meteorización, su tenor puede variar entre un 45% y 55% de hierro seco. En profundidad pasa a cuarcita ferruginosa dura o se encuentra en contacto directo con laterita. Mineralógicamente está compuesta por granos de hematita, martita, algo de goetita y la ganga es principalmente cuarzo. (Figura 2.12).



Figura 2.12 Cuarcita ferruginosa friable (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.5.2.2 Cuarcita ferruginosa (IF): constituye la roca fresca primaria de la cual se originan las menas de hierro. Tiene color gris a oscuro y presenta una estructura bandeada bien definida con un espesor de las bandas que varía desde 0.5 mm hasta varios centímetros, con granos minerales uniformemente diseminados.

Hay evidencias microscópicas y de campo que indica que la laminación metamórfica coincide con la estructura sedimentaria original. En otras partes, las cuarcitas son sólidas, sin esquistosidad y bien bandeadas. La cuarcita ferruginosa presenta la siguiente mineralogía: magnetita, hematita y goetita, y en menor proporción mica, anfíbol, calcita y apatito.

2.6 Minerales presentes en los diferentes tipos de menas

2.6.1 Magnetita

Existe en cristales euhedrales que tienen una variación del tamaño del grano entre 30-100 micrones. También puede ser mostrada sencillamente como octaedros entrelazados que están extendidos uniformemente como inclusiones en los silicatos y el cuarzo, el cual está estrechamente asociado con hematita especular. Generalmente los granos de magnetita están parcialmente reemplazados por magnetita y martita a ciertas distancias en las direcciones cristalográficas.

2.6.2 Hematita

Generalmente, los granos de hematita son intersticiales entre los granos de cuarzo, los cuales muestran contornos mas curvilíneos e irregulares que los de hematita lo cual indica una movilidad relativamente mayor de los óxidos de hierro. Ocurre en arreglo paralelo con inclusiones de magnetita. Por lo general, muestra textura porosa y cavernosa, contiene fragmentos d otras menas y no presenta laminación remanente.

2.6.3 Goetita

Se encuentra en pequeñas cantidades en la cuarcita ferruginosa y es un producto resultante de la alteración de los anfíboles. Presenta un clivaje plano en el contorno del grano y conserva la textura anfibólica. Está compuesta de goetita microcristalina o amorfa, masiva, dura y frágil, de color pardo de brillo mate o negro de brillo adamantino.

2.6.4 Cuarzo

Es la mayor ganga de la mena. Su grano es variable y su tamaño es generalmente uniforme.

2.6.5 Anfíboles

Son de color gris azulado, ocurren como fibras de arreglo paralelo a subparalelo. En algunos casos han sido reemplazados por carbonato y goetita. En ciertos lugares (depósitos Cerro Bolívar y Altamira) la cuarcita ferruginosa contiene hornblenda sódica.

2.6.6 Mica

Marrón es de color amarillo grisáceo y exhibe birrefringencia fuerte, extinción y arreglo paralelo.

2.6.7 Mena fosforosa

Existen formando facies minerales tales como apatito, fosfosiderita, estringita y raramente monacita.

2.6.8 Calcita

Ocurre como agregados irregulares localmente dispersos y extendidos a través de la mena. Se presenta como un producto secundario resultante de la carbonización de anfíboles.

2.7 Estéril

Son el producto residual resultante de meteorización de gneises, esquistos y rocas intrusivas adyacentes y/o intercaladas con cuarcitas ferruginosas y menas de hierro. Su alto contenido en sílice (30%), alúmina (30%) y bajo contenido de hierro (10 a 15%) la clasifica como estéril, ocurre principalmente en los flancos de los yacimientos.

2.7.1 Gneis

El gneis es una roca perteneciente al grupo de los granitoides que varían entre granito, dioritas, gneises esquistos desarrollados por metamorfismo regional, de composición cuarzo feldespática y biotítica con microclino, de grano medio a grueso y poseen bandeamiento bien desarrollado.



Figura 2.13 Gneis (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.2009).

2.7.2 Laterita (Lat)

Son realmente arcillas residuales, producto residual de la meteorización profunda de rocas gneisicas, esquistos y rocas ígneas intrusivas de la serie Imataca, de allí su variedad en algunas zonas. Su alto contenido en sílice (30%), alúmina (30%) y

bajo contenido de hierro (10 a 15%) la clasifica como mineral estéril. Ocurre principalmente en los flancos de los yacimientos.



Figura 2.14 Laterita (C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. 2009).

2.8 Influencia de la composición de los minerales de hierro

2.8.1 Sílice (Si O₂)

Un alto contenido de sílice, implica un alto contenido de escoria en el proceso de aceración y requiere un consumo mayor de energía. Este óxido se reduce parcialmente y pasa al arribo, pero la mayor parte de la sílice pasa a la escoria necesitando cal para escorificarse.

2.8.2 Pérdida por calcinación (PPC)

El porcentaje de la pérdida por calcinación es la cantidad de agua de cristalización que tiene el mineral, mayor cantidad de carbonatos y compuestos volátiles que contenga. A mayor pérdida por calcinación mayor cantidad de impurezas, especialmente alúmina. La pérdida por calcinación consiste en someter un gramo de mineral seco (sin humedad) a 900° C, hasta que se alcance la

homogeneización y luego dejar enfriar y pesar nuevamente para determinar las pérdidas obtenidas, las cuales se expresan en porcentajes. Las pérdidas alcanzadas están asociadas con el contenido de agua de cristalización y carbonato de la muestra.

2.8.3 Alúmina (Al_2O_3)

No es conveniente un alto contenido de alúmina, puesto que pasa totalmente a la escoria cuando se está produciendo acero e influye fuertemente en las propiedades de éste, ya que eleva su temperatura de fusión y proporciona al baño un mayor contenido de alúmina a la escoria.

2.8.4 Fósforo (P)

El fósforo se considera una influencia perjudicial en la elaboración del acero, puesto que se disuelve en cantidades considerables. Cuando existe exceso de fósforo en el acero el mismo resulta frágil.

2.9 Rangos de composición litológica para cada tipo de menas

Estos fueron establecidos en el área de geología fundamentándose en rangos de composición química estrictos, para los diferentes tipos de litologías, estos permiten establecer la cantidad que posee cada litología respecto a un parámetro químico en particular. (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Rango de composición Litológica para cada Tipo de Mena (C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A Jefatura Área Geología 2009).

CODIGO LITOLOGICO	SIMBOLO	CODIGO MEDSYSTEM	NOMBRE DE LA UNIDAD	% FE (SECO)	% SiO2	% Al2O3	% PPC	% P
200	B	2	Finos Negros	65 - 69	0 - 2	0 - 2	0 - 2	0,010 - 0,060
260	Bs		Finos Negros Silíceos	63 - 65	2 - 6	0 - 2	0 - 2	0,010 - 0,060
270	Bv	4	Finos Negros muy Silíceos	55 - 62	> 6	0 - 2	0 - 2	0,010 - 0,060
272	Bpv	4	Finos Negros muy Silíceos Laminados	55 - 62	> 6	0 - 2	0 - 2	0,010 - 0,060
220	By	2	Finos Negros Limoníticos	63 - 67	0 - 2	0 - 2	3 - 7	0,080 - 0,150
300	F	2	Finos Marrones	64 - 67	0 - 2	0 - 2	2 - 3	0,010 - 0,080
322	Fpy	2	Finos Marrones Limoníticos Laminados	63 - 66	0 - 2	0 - 2	3 - 8	0,080 - 0,160
360	Fs	3	Finos Marrones Síceos	62 - 66	2 - 6	0 - 2	2 - 3	0,010 - 0,080
370	Fv	4	Finos Marrones muy Silíceos	55 - 66	> 6	0 - 2	2 - 3	0,010 - 0,080
400	Y	8	Limonita	56 - 60	1 - 6	1 - 6	7-12	0,120 - 0,300

Fe > 55 % = Mena **P > 0,080 % = Limonítico**

CODIGO LITOLOGICO	SIMBOLO	CODIGO MEDSYSTEM	NOMBRE DE LA UNIDAD	% FE (SECO)	% SiO2	% Al2O3	% PPC	% P
110	Vh	1	Costra Hematítica	64 - 69	0 - 2	0 - 2	0 - 2	0,010 - 0,060
100	V	1	Costra Masiva	62 - 67	0 - 2	0 - 2	2 - 6	0,060 - 0,080
103	Vb	1	Costra Bandeda	62 - 67	0 - 2	0 - 2	2 - 6	0,060 - 0,080
102	Vp	1	Costra Laminada	62 - 67	0 - 2	0 - 2	2 - 6	0,060 - 0,080
120	Vy	1	Costra Limonítica	60 - 62	0 - 2	0 - 2	5 - 9	0,080 - 0,250
107	Vc	1	Costra Recementada	64 - 68	1 - 3	0 - 2	4 - 8	0,040 - 0,130
130	Vg	1	Costra Goetítica	58 - 63	0 - 3	0 - 2	7 - 12	0,100 - 0,250
190	Val	1	Costra Aluminica	58 - 65	1 - 2	2 - 5	9 - 12	0,060 - 0,100
162	Vps	1	Costra Laminada Silícea	60 - 66	2 - 6	0 - 2	4 - 8	0,060 - 0,080
172	Vpv	1	Costra Laminada muy Silícea	55 - 62	> 6	0 - 2	4 - 8	0,060 - 0,080
500	C	1	Canga	55 - 57	3 - 5	2 - 5	5 - 11	0,050 - 0,120
180	Ve	1	Costra Estringítica	58 - 66	0 - 6	0 - 2	4 - 8	0,250 - 8

Al2O3 > 2 % = Aluminico

CODIGO LITOLOGICO	SIMBOLO	CODIGO MEDSYSTEM	NOMBRE DE LA UNIDAD	% FE (SECO)	% SiO2	% Al2O3	% PPC	% P
704	Iff	5	Cuarcita Ferruginosa Friable	45 - 55	18 - 35	0 - 2	0 - 2	0,015 - 0,080
700	IF	6	Cuarcita Dura	30 - 45	35 - 55	0 - 2	0 - 2	0,010 - 0,050
800	Lc	9 Y/O 7	Canga Laterítica	30 - 40	5 - 15	8 - 12	5 - 15	0,030 - 0,080
800	Lat	9 Y/O 7	Laterita	5 - 30	10 - 70	10 - 20	10 - 15	0,030 - 0,080

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

Albarrán (2008) realizó un estudio consistente en un análisis geoestadístico y variográfico del yacimiento Cerro Bolívar, ubicado cerca de Ciudad Piar, en el Estado Bolívar para determinar los radios de influencias de los parámetros químicos sílice y fósforo para cada tipo litológico presente en el yacimiento.

Vera (2008) determinó los radios de influencia de los diferentes tipos litológicos provenientes de los sondeos geoexploratorios del yacimiento los Barrancos, basándose en un estudio geoestadístico que se realizó a la base de datos correspondiente a los sondeos geoexploratorios, con la finalidad de determinar los radios de influencia de los parámetros sílice, alúmina, pérdida por calcinación, fósforo y manganeso, en cada tipo litológico

Dávila (2006) trabajó en un análisis geoestadístico de los variogramas contruidos a partir de la base de datos de los sondeos geoexploratorios y conos de voladura para determinar el radio de influencia de los parámetros químicos sílice, alúmina, pérdida por calcinación, fósforo y manganeso para la mina San Isidro.

Mintec Inc. (1999) realizó un análisis geoestadístico completo de los depósitos de mineral de hierro que están a cargo de Ferrominera Orinoco C.A. y determinar los parámetros de interpolación necesarios para construir modelos de reservas para estos depósitos. Estos modelos se usaron para el cálculo de reservas explotables en planes de mina a largo plazo. Este trabajo se realizo a partir de la data de los sondeos de perforación y la geología de los depósitos de mineral de hierro que contiene

información sobre de porcentaje de hierro (Fe), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), fósforo (P), pérdida por calcinación (PPC) y manganeso (Mn).

Estudios geoestadísticos en otros tipos de minas se han realizado también, por ejemplo:

Grijalva, y Carrión (2008) crearon un modelo geoestadísticamente de un yacimiento de oro del distrito minero La Joya (Oruro-Bolivia). Este trabajo tiene como objetivo principal definir la distribución de los valores de mineral útil dentro de la mineralización.

3.2 Sondeos geoexploratorios

Son perforaciones que se realizan a lo largo del yacimiento sobre secciones verticales, las cuales son previamente programadas cada 100 metros y luego cada 50 metros en algunas zonas. Estos proporcionan información sobre la mena en el subsuelo (características mineralógicas y texturales). Se realizan utilizando taladros de circulación reversa (C.R.) para todo tipo de mena, taladros de percusión (CDH) y corona de diamantes (DDH) para recuperación de testigos de rocas. Las muestras obtenidas son descritas por el geólogo y analizadas químicamente en el laboratorio.

3.3 Secciones verticales

Son cortes transversales que permiten observar las variaciones verticales y laterales del depósito. La información es obtenida e interpretada a partir de estudios previos como los sondeos geoexploratorios, entre otros.

En cada yacimiento existe una línea principal (LP) la cual surca el depósito con rumbo aproximadamente igual al rumbo general de las estructuras presentes en el

mismo y se emplea como línea de referencia espacial ya que las secciones verticales se construyen perpendiculares a la línea principal, con un espaciamiento de 50 o 100 metros entre sí. Figura 3.1.

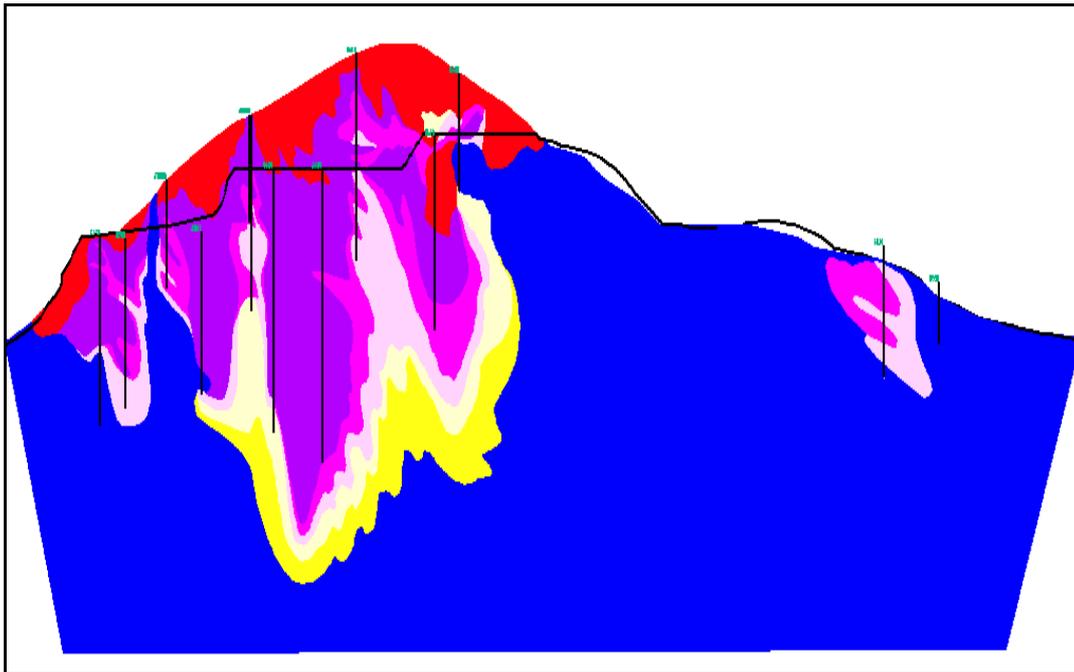


Figura. 3.1 Sección vertical NW-SE del Cerro Altamira (C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A Jefatura Área Geología 2009).

3.4 Generalidades de la estadística

La estadística estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos.

La estadística descriptiva tiene por objeto fundamental describir y analizar las características de un conjunto de datos, obteniéndose de esa manera conclusiones sobre las características de dicho conjunto y sobre las relaciones existentes con otras poblaciones, a fin de compararlas.

La estadística inductiva o inferencial está fundamentada en los resultados obtenidos del análisis de una muestra de población, con el fin de inducir o inferir el comportamiento o característica de la población.

3.4.1 Número de casos

Es el número de valores muestreados del fenómeno en estudio, representados por “n” y los datos por X_i para $i = 1, 2, 3, \dots, n$, se llama distribución.

3.4.2 Rango de la distribución

Es la medida de dispersión más elemental, y es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la distribución de los datos.

3.4.3 Media aritmética

Es la medida más importante de la tendencia central; su cálculo es el resultado de la división que resulta de sumar los valores de todas las observaciones por el número de muestras realizadas dentro de población, su fórmula matemática es.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.1)$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética de la variable X

X: Valores de la variable X

n: Número de observaciones.

3.4.4 Moda

Es el valor que ocurre con más frecuencia en un conjunto de observaciones. Puede decirse que es el valor más común. La moda puede no existir e incluso, si existe, puede no ser única.

3.4.5 Mediana

Es el valor para el cual la mitad de los datos son menores y la otra mitad están por encima de este valor, su fórmula matemática es.

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (3.2)$$

Si n es un número impar.

$$Me = \frac{x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}}{2} \quad (3.3)$$

Si n es un número par.

Donde:

Me: Es la mediana de los datos.

n: Es el número total de datos.

x= Valor de la variable.

La mediana no presentan el problema de estar influido por los valores extremos, pero en cambio no utiliza en su cálculo toda la información de la serie de datos (no pondera cada valor por el número de veces que se ha repetido).

3.4.6 Mínimo

Es el mínimo valor numérico que el parámetro puede alcanzar. Los parámetros pueden tener un valor mínimo positivo o negativo. Los valores por debajo del mínimo establecidos serán considerados como valores faltantes. El valor mínimo más usado es el 0.

3.4.7 Máximo

Este es el máximo valor numérico que puede tomar el parámetro. Si un valor ingresado o calculado excede el valor máximo establecido automáticamente, este será reducido al valor máximo asignado en ese parámetro.

3.4.8 Varianza

Describe la variabilidad de la distribución. Es la medida de la desviación o dispersión de la distribución., y es importante debido a que será utilizada para discutir la magnitud de los posibles errores en cualquier predicción que se haga y siempre debe considerársela como una manera de medir dispersión.y se calcula por:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2 f_i}{n} \quad (3.4)$$

Donde:

σ^2 = Varianza

x_i = Valor de la Variable X

\bar{x} = Media aritmética de la información

f_i = Número de veces que se repite la observación x_i

n = Tamaño de la muestra.

3.4.9 Desviación estándar

La desviación estándar es una medida de variabilidad o dispersión, la cual representa la desviación que tiene un conjunto de valores con respecto a la media. Su fórmula es:

$$\sigma = (\sigma^2)^{1/2} \quad (3.5)$$

Donde:

σ = Desviación estándar

σ^2 = Varianza

Así si la desviación es pequeña, los datos están agrupados cerca de la media; si por el contrario, la desviación es grande, entonces los datos están muy dispersos.

3.4.10 Coeficiente de asimetría

El coeficiente de asimetría, describe la simetría de la distribución relativa a la distribución normal, además indica ciertos parámetros estadísticos si la distribución

es más o menos asimétrica. En la distribución normal la asimetría tiene valor cero, un valor negativo indica una cola a la izquierda y un valor positivo indica una cola a la derecha. (Spiegel, 1991) se calcula por:

$$\alpha_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^3 / S^3 \quad (3.6)$$

3.4.11 Distribución normal

Es la distribución teórica de probabilidad más importante y común usada en estadística. La distribución normal tiene forma de campana, habitualmente llamada distribución de Gauss.

Es simétrica en torno a su media (μ); la media, mediana y moda son iguales; el área total de la curva por encima del eje basal x es la unidad del área = 1, por lo tanto cada sector de derecha e izquierda tiene un valor de 0,5. Si se trazan líneas perpendiculares a un desvío estándar (σ) de distancia de la media, se obtiene un 68% del área de la curva. Dos desvíos estándar encierran un 95% y tres un 99,7% de la curva.

La distribución normal es una distribución continua, definida por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (3.7)$$

En matemáticas, la ecuación de la distribución normal se puede representar visualmente como una curva en forma de campana, el área debajo de esta curva se halla por medio del integral de la función y corresponde al por ciento o la proporción de puntuaciones que se encuentran en el intervalo dado. (Figura 3.2).

La curva normal depende solamente de los dos parámetros de la distribución normal, la media μ y la desviación estándar σ . Las diferentes curvas normales van a variar dependiendo de esos dos parámetros mencionados anteriormente, y se utilizan para determinar el nivel de confianza de los datos en estudio.

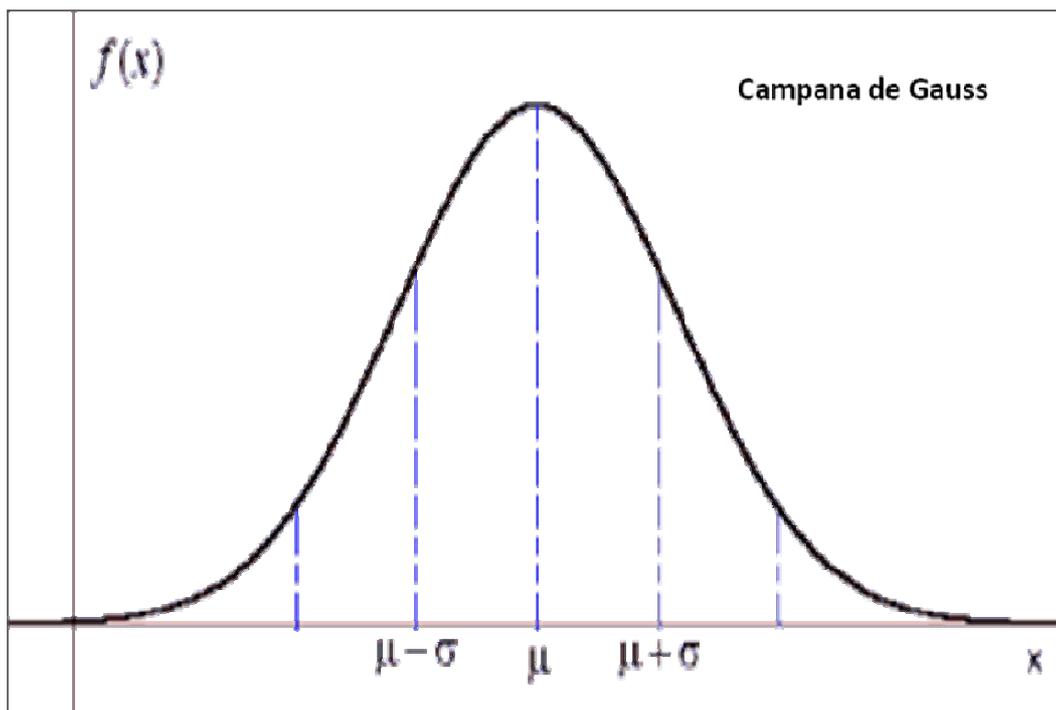


Figura 3.2 Campana de Gauss representando la distribución normal y sus desvíos estándares (Villanueva, A. 2002).

3.4.12 Distribución lognormal

Es a menudo una distribución sesgada, esta distribución esta descrita por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{x\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\alpha)^2}{2\beta^2}} \quad (3.8)$$

Donde:

α = es el promedio de los logaritmos.

β^2 = es la varianza de los logaritmos.

3.4.13 Histogramas

Se define como el dibujo de una curva, diagrama de barras o polígono de frecuencias que puede representar gráficamente la tendencia o distribución de frecuencias de un conjunto de datos. El histograma, es una serie de rectángulos con bases iguales al rango de los intervalos y con área proporcional a sus frecuencias. Los histogramas son muy usados, y pueden llegar a ser una herramienta general y versátil en el momento de tratar de entender los números fríos que muestran los son usados para ver las características descriptivas de la distribución. El histogramas es un gráfico de barras donde en las abscisas aparecen los límites de las clases y en las ordenadas las frecuencias correspondientes a cada clase. (Figura 3.3).

Básicamente un histograma suministra la siguiente información:

1. Distribución del conjunto de datos.
2. Intervalo de ocurrencia.
3. Presencia de una o más poblaciones.
4. Simetría o sesgo de la población.
5. Visión de datos modales, bimodales o multimodales.
6. Presencia de datos anómalos.

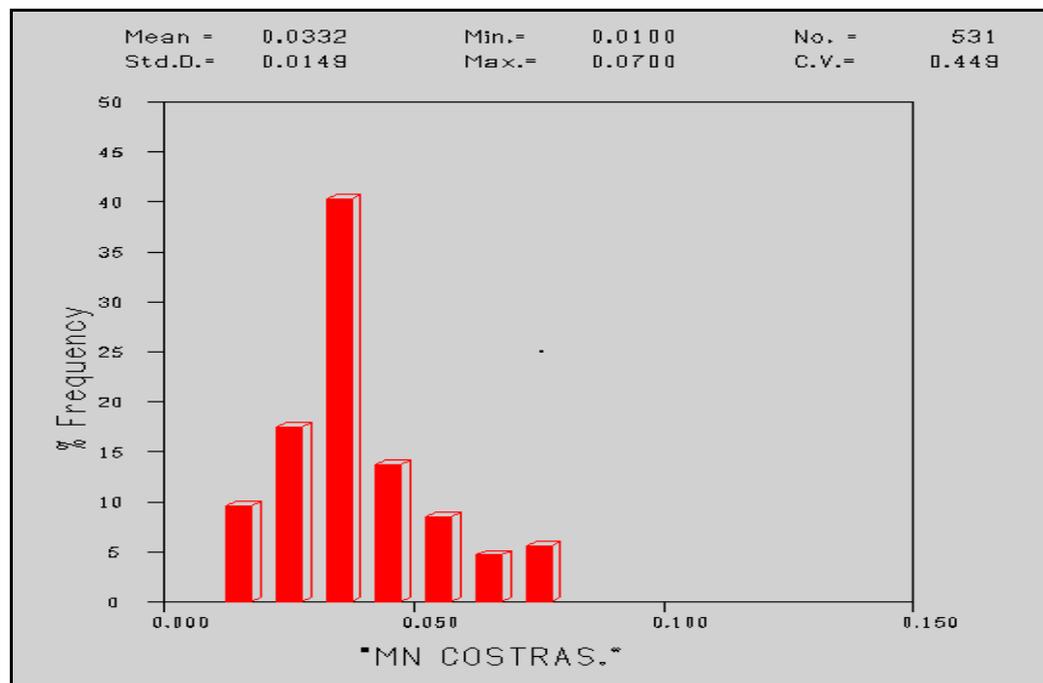


Figura 3.3 Ejemplo de histograma.

3.5 Generalidades de la geoestadística

La geoestadística es la aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de los depósitos mineros (con todas las aproximaciones que esto

implica). De manera general, diremos que un fenómeno es regionalizado cuando se desplaza en el espacio, manifestando una cierta estructura. (Matheron, G. 1970).

Según Journel y Huijbregts, (1978) se reconoce como una rama de la estadística tradicional, que parte de la observación de que la variabilidad o continuidad espacial de las variables distribuidas en el espacio tienen una estructura particular.

En el campo de las geociencias es común encontrar variables distribuidas espacialmente. Para el estudio de estas variables son usados diversos procedimientos geoestadísticos de estimación y/o simulación. Esto es, a partir de un conjunto de muestras tomadas en localizaciones del dominio en que se manifiesta un fenómeno a estudiar y consideradas representativas de su realidad, que por lo general es siempre desconocida, estos procedimientos permiten la descripción o caracterización de las variables con dos fines diferentes, primero, proporcionar valores estimados en localizaciones de interés y segundo, generar valores que en conjunto presenten iguales características de dispersión que los datos originales.

Existen métodos más eficientes que proporcionen la mayor información posible de los datos disponibles, es decir, los modernos, de los que se pueden citar entre los geomatemáticos: El Inverso de la Distancia, Triangulación, Splines, etc. Aún más, buscando el mejor estimador que minimice la varianza del error de estimación surge la Geoestadística por los trabajos de Georges Matheron en la Escuela Superior de Minas de París.

La caracterizan los siguientes aspectos:

La localización: Toma sus valores dentro de un determinado campo geométrico: un yacimiento o parte de él. El campo se elige respetando ciertas condiciones de homogeneidad.

La continuidad: Se expresa por la desviación de mayor o menor importancia entre muestras vecinas.

La anisotropía: Se dice que una V.R. tiene un comportamiento anisotrópico cuando presenta direcciones particulares de variabilidad. Tales direcciones privilegiadas corresponden generalmente a direcciones genéticas o estructurales del fenómeno geológico.

El soporte: Está determinado por el elemento físico sobre el cual se realiza la determinación de la variable aleatoria regionalizada, esto no es más que la muestra unitaria, sobre la cual estudiaremos el atributo de interés. (Figura 3.4).

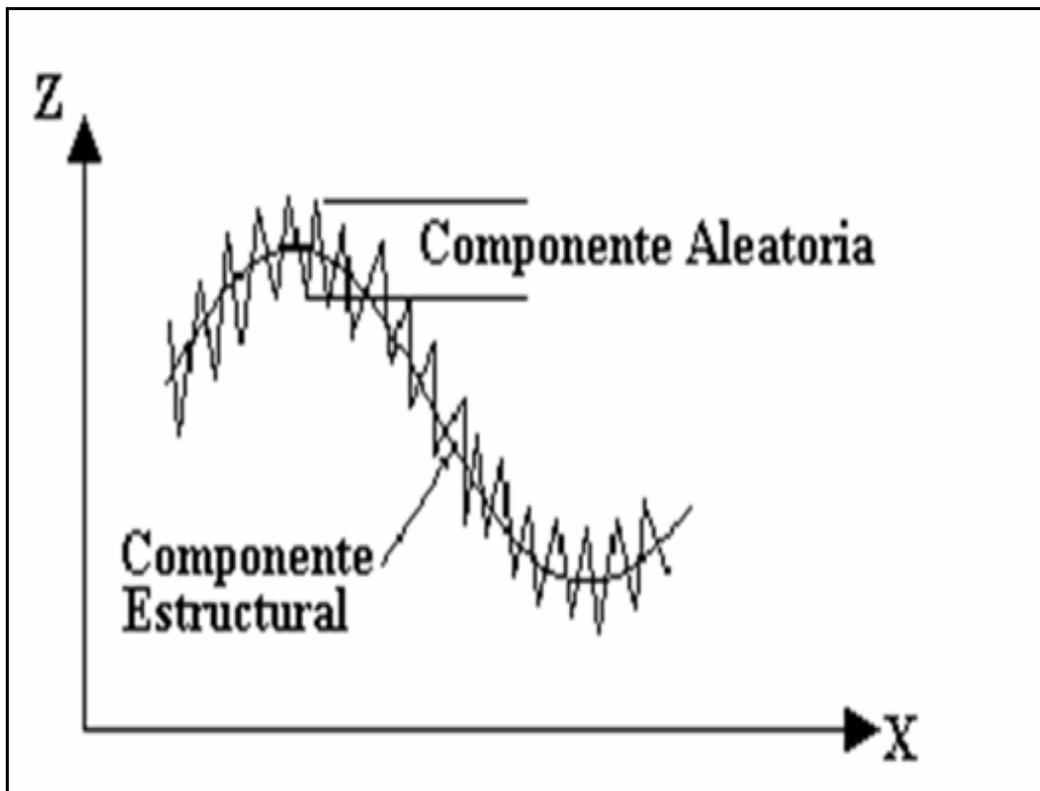


Figura 3.4 Carácter mixto de una función aleatoria (Journel y Huijbregts, 1978).

Dado que esas condiciones son raramente adecuadas cuando se toman muestras de sondeos, la geoestadística no demanda que esas muestras sean independientes, por el contrario, admite que las muestras vecinas están estrechamente correlacionadas y que la relación particular expresada entre ellas está definida por una función conocida como variograma.

3.6 Variogramas

El variograma se define como la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados una distancia h , o lo que es lo mismo, la varianza de los incrementos de la variable regionalizada en las localizaciones separadas una distancia h . (Journel y Huijbregts, 1978).

La función variograma, se denota por $\gamma(h)$. La cual mediante datos experimentales puede obtenerse con las expresiones siguientes.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_p(h)} \sum_{i=1}^{N_p(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3.9)$$

Donde:

$N_p(h)$ = es el número de pares a la distancia h .

H = es el incremento.

$Z(x_i)$ = son los valores experimentales.

X_i = localizaciones donde son medidos los valores $z(x_i)$.

El principal objetivo de un variograma es caracterizar la variabilidad espacial de las variables regionalizadas.

El variograma permite cuantificar la información estructural del fenómeno estudiado y permite utilizar esa información en los procesos de evaluación de los recursos minerales; además permite calcular las distancias o radios de búsqueda de las muestras usadas para la asignación de los grados químicos a través de la interpolación en cada bloque del modelo (Chica, M. 1998). (Figura 3.5).

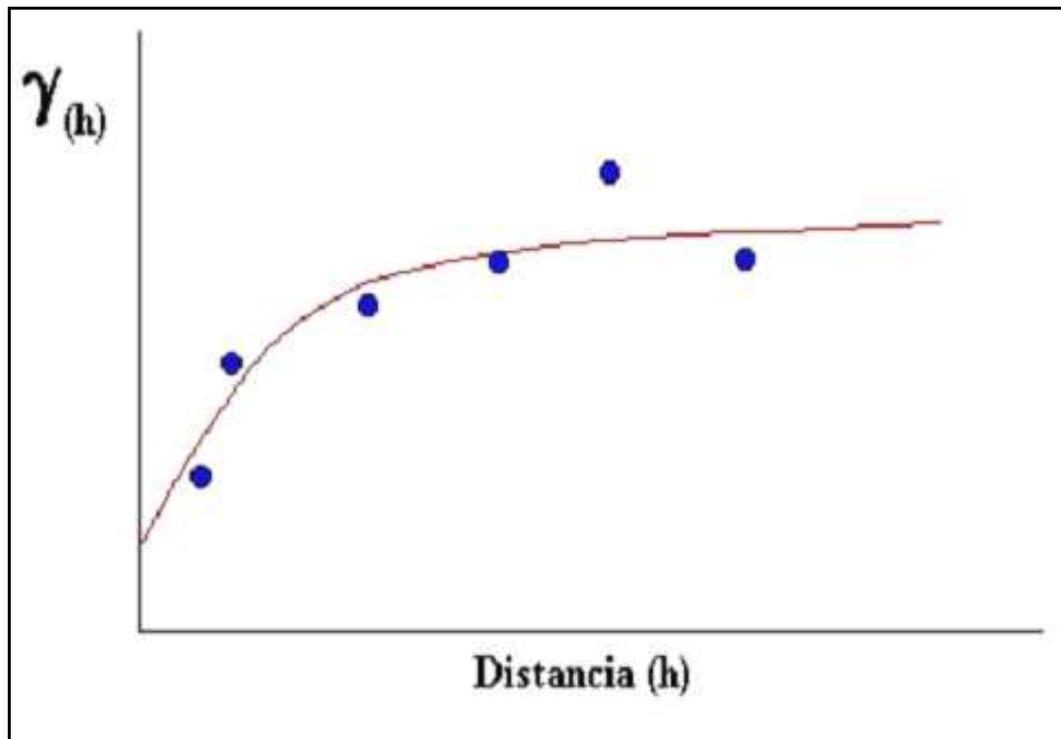


Figura 3.5 Representación gráfica del variograma (Chica, M. 1998)).

3.6.1 Comportamiento en el origen de los variogramas

El comportamiento en el origen puede tener las siguientes formas, las cuales son según, (Chica, M. 1998). (Figura 3.6):

Parabólico: Caracteriza a una variable muy regular, siendo continua y diferenciable.

Lineal: Caracteriza a una variable continua, pero no diferenciable, es decir menos regular.

Discontinuidad en el origen: “Efecto de pepita”, es el caso en que $\gamma(h)$ no tiende a cero cuando h tiene a cero. Representa a una variable muy irregular. Este caso será explicado más adelante.

Discontinuo puro: Llamado también ruido blanco o efecto pepita puro, representa el caso de mayor discontinuidad, siendo el caso límite de ausencia de estructura, donde los valores de dos puntos cualesquiera no tienen correlación alguna.

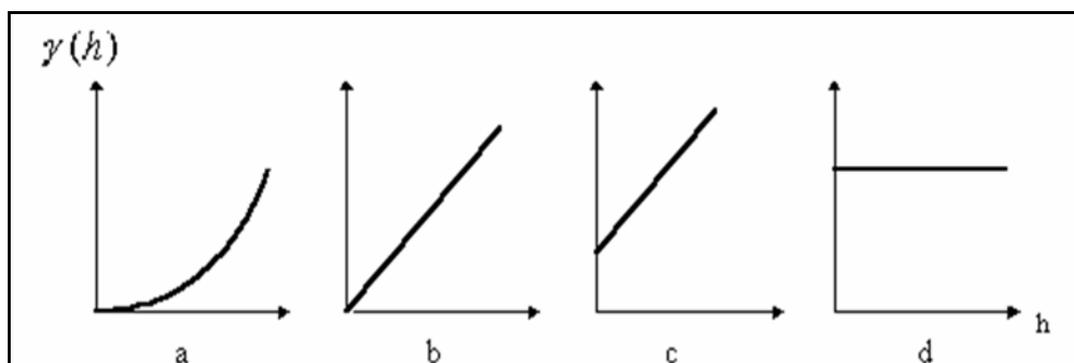


Figura 3.6 Comportamiento del variograma en el origen, a) Parabólico, b) Lineal, c) efecto pepita, d) Discontinuo puro (Chica, M. 1998).

3.6.2 Parámetros del variograma

Los parámetros del variograma caracterizan tres elementos importantes en la variabilidad de un atributo que son: La discontinuidad en el origen (existencia de efecto de pepita), el valor máximo de variabilidad (meseta), y el área de influencia de la correlación (alcance), y se describen a continuación. (Cuador y Quintero 1999).

3.6.2.1 El efecto pepita: el variograma por definición es nulo en el origen, pero en la práctica las funciones obtenidas pueden presentar discontinuidad en el origen, a esta discontinuidad se le llama valores negativos de $\gamma(0)$ no tienen efecto de pepita, (nugget effect). (Figura 3.7).

Puede ser obtenido trazando una línea recta entre los primeros puntos del variograma empírico y extender ésta hasta que se intercepte con el eje Y. Si esta intersección ocurre por debajo de cero, el valor asumido por este efecto es cero, pues significado y no es común. El efecto pepita se representa como C_0 . También es un importante indicador de la presencia de muestras con valores anómalos así como errores de análisis químicos.

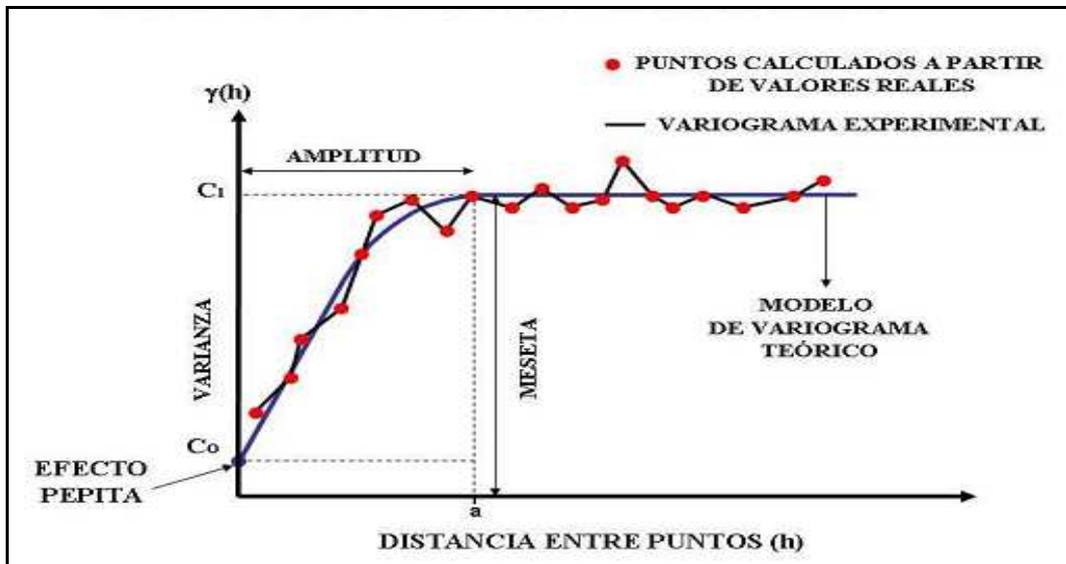


Figura 3.7 Identificación de zonas de influencia y el comportamiento en el origen de los variogramas (Chica, M. 1998).

3.6.2.2 La meseta: es el valor de $\gamma(h)$ para el cual con el aumento de h su valor permanece constante, se representa como $(C_T = C + C_0)$ y se denomina meseta. Puede obtenerse trazando una línea paralela a la abscisa y que se ajuste a los puntos de mayor valor del variograma y su valor se lee en la intersección de esta línea con la ordenada.

3.6.2.3 El alcance: el alcance o el rango es la distancia en la cual el semivariograma alcanza el valor de la meseta y representa la distancia de máxima influencia de las muestras en una dirección dada. La distancia h para la cual las variables $Z(x)$ y $Z(x+h)$ son independientes, se denomina Alcance y se representa por (a) , es decir las distancias para la cual la variable no está más correlacionada, o lo que es lo mismo, la distancia para la cual el variograma alcanza su meseta.

3.7 Semivariogramas teóricos

Para los propósitos de estimación o simulación de variables mediante krigado no es posible usar directamente el variograma experimental, ya que estos últimos pueden no satisfacer las ecuaciones. Por lo que previamente se deberá ajustar a éste a un variograma teórico.

Los semivariogramas teóricos son funciones con una función analítica sencilla y que, por ello, saben satisfacer determinadas condiciones.

Estas funciones son las utilizadas en la práctica para ajustar los semivariogramas experimentales, ya que estos últimos pueden no satisfacerlas y son más incómodos para trabajar con ellos. En la figura 3.8 se representan gráficamente los modelos de variogramas más importantes.

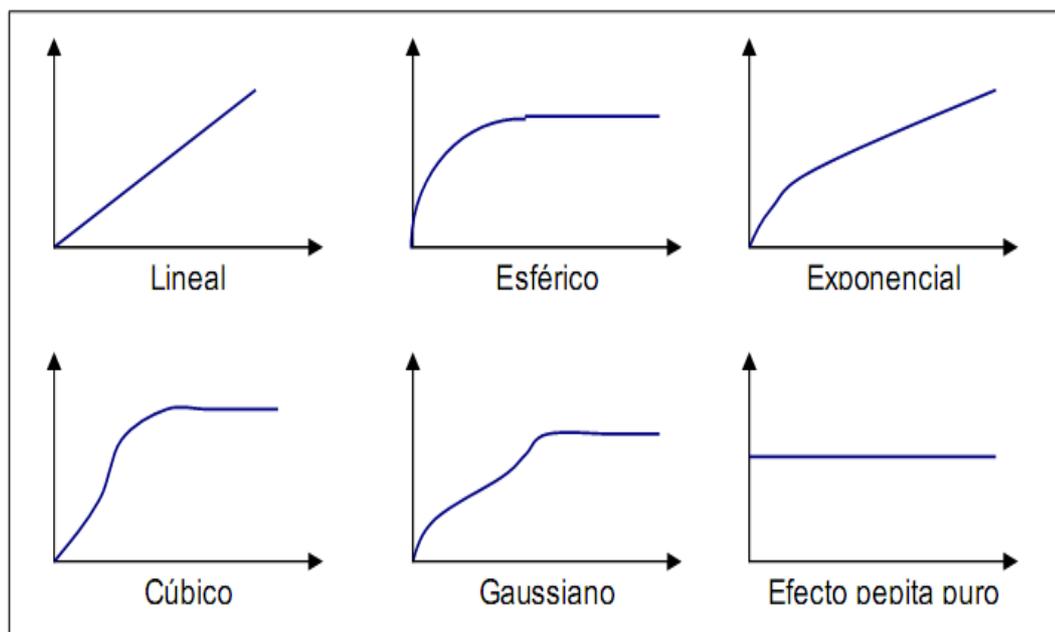


Figura 3.8 Modelos de semivariogramas teóricos (Chica, M. 1998).

3.7.1 Modelo lineal

Indica que para distancias pequeñas el variograma tiene un comportamiento lineal.

$$g(h) = (C/a) |h| \quad (3.10)$$

3.7.2 Modelo esférico

Se caracteriza por alcanzar la meseta para una distancia finita ($h = a$). Es indicativo de fenómenos continuos (o con un conjunto a lo sumo numerable de discontinuidades), aunque no derivables.

$$g(h) = C \left[\frac{3}{2}(h/a) - \frac{1}{2}(h/a)^3 \right] h \quad (3.11)$$

$$C h > a$$

3.7.3 Modelo exponencial

Este modelo a diferencia del esférico crece inicialmente más rápido y después se estabiliza de forma asintótica.

$$g(h) = C [1 - \text{Exp}(-|h|/a)] \quad |h| > 0 \quad (3.12)$$

3.7.4 Modelo cúbico

Indica un comportamiento cuadrático en el origen representa fenómenos bastantes continuos.

$$\gamma(h) = \begin{cases} s \left(7 \frac{|h|^2}{a^2} - 8.75 \frac{|h|^3}{a^3} + 3.5 \frac{|h|^5}{a^5} - 0.75 \frac{|h|^7}{a^7} \right) & \text{si } |h| \leq a \\ s & \text{si } |h| > a \end{cases} \quad (3.13)$$

3.7.5 Modelo gaussiano

Este es un modelo extremadamente continuo, inicialmente presenta un comportamiento parabólico en el origen, después al igual que en el modelo Exponencial se alcanza la meseta de forma asintótica.

El alcance práctico tiene un valor de $a' = 1.73a$, que es el valor de la abscisa donde se alcanza el 95% de la meseta.

$$\gamma(h) = C [1 - \text{Exp}(-|h|^2/a^2)] \quad |h| > 0 \quad (3.14)$$

3.8 Anisotropías

Se conoce que el variograma describe las características de continuidad espacial de la variable regionalizada en una dirección, pero este comportamiento puede variar según la dirección que se estudie. Este comportamiento se denomina Anisotropía, y es muy importante que se analice.

Cuando el variograma calculado en diferentes direcciones (Norte-Sur, Este-Oeste, y en direcciones intermedias de 45° o de 22.5°, con tolerancia de 22.5°), muestra similar comportamiento, se dice que el fenómeno es Isótropo, cuando muestran diferentes comportamientos la anisotropía puede ser geométrica y zonal. (Figura 3.9).

3.8.1 Anisotropía geométrica

Está presente cuando los variogramas en diferentes direcciones tienen la misma meseta pero distintos alcances.

3.8.2 Anisotropía zonal

Está presente cuando los variogramas en diferentes direcciones tienen diferentes mesetas en un mismo alcance.

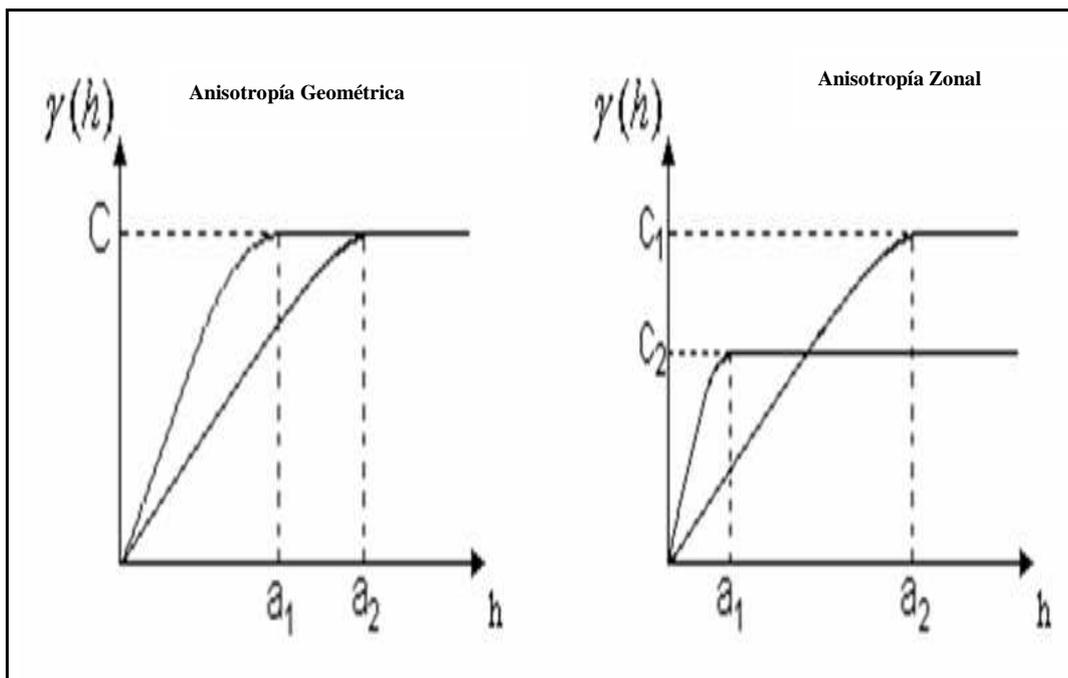


Figura 3.9 Tipos de anisotropías (Chica, M. 1998).

3.9 Aplicaciones del variograma

El estudio del variograma es una de las partes más importantes en la geoestadística. El variograma es un prerrequisito para el uso del kriging en la

evaluación de reservas (Cuador y Quintero 1999). El variograma puede suministrar información relacionada a:

1. La dirección de mejor continuidad en la mineralización.
2. La orientación y tamaño de los mayores grados de mineralización.
3. El promedio espacial entre zonas de menas y periodicidad en la mineralización.
4. El rumbo y buzamiento de zonas de fracturas así como la orientación de la mineralización dentro de estas zonas.
5. La distancia de influencia de una muestra o la distancia más allá en la cual la similitud entre los valores es despreciable.
6. La precisión con la cual la mineralización es conocida en el punto donde es muestreada.

Usando esta información se pueden dar respuestas a algunas preguntas críticas, tales como:

¿Cuál es la orientación óptima de los sondeos exploratorios y cuál es la malla requerida para completar los programas de sondeos?.

¿Cuál es el efecto de una alta selectividad de los métodos de minería o minería altamente selectiva con una minería a gran escala, sobre el tonelaje y el grado minado?

¿Cuáles métodos de muestreo, incluyendo el espaciamiento de las muestras deberán ser usados para el control de los grados durante la producción?

3.10 Kriging

El kriging o krigeado en español, consiste en encontrar la mejor estimación lineal posible de la ley de un panel, considerando la información disponible, es decir las leyes de las diferentes muestras que se han tomado, sea al interior, sea al exterior del panel que se quiere estimar. El kriging es una técnica de estimación que proporciona el mejor estimador lineal imparcial (BLUE, en inglés, Best Linear Unbiased Estimator), y que además, proporciona un error de estimación conocido como varianza de kriging que depende del modelo de variograma obtenido y de las localizaciones de los datos originales. Esto brinda la posibilidad de hacer análisis sobre la calidad de las estimaciones. (Journel y Huijbregts, 1978).

En términos mineros, el problema de kriging consiste en encontrar la mejor estimación lineal posible del contenido mineral de un panel o yacimiento teniendo en cuenta la información disponible, mediciones que han sido obtenidas de sondeos geoexploratorios o conos de voladura.

El kriging consiste en obtener un factor de ponderación, es decir, atribuir un peso a cada valor observado. Los pesos son calculados de manera que minimice la varianza de estimación resultante, teniendo en cuenta las características geométricas del problema. Al minimizar la varianza de estimación se garantiza el uso óptimo de la información disponible. (Matheron, G. 1970).

Se dispone de los valores muestreados $Z(X_i)$, $i=1, \dots, n$, y deseamos estimar un valor de la característica observada en el panel $Z(v)$ por una combinación lineal de $Z(x_i)$. (Figura 3.10).

$$Z^*(v) = \sum \lambda_i Z(x_i) \quad (3.15)$$

Donde:

$Z^*(v)$ = valor estimado.

λ_i = los peso de kriging.

De modo que los λ_i sean obtenidos de tal forma que proporcione un estimador: insesgado $E[Z^*(v) - Z(v)] = 0$ y de varianza mínima $\text{Var}[Z^*(v) - Z(v)]$.

3.11 Método de interpolación por el inverso de la distancia al cuadrado (IDW)

Es una técnica de estimación que toma en cuenta la ubicación espacial de las muestras, para calcular valores dentro de un bloque o área específica usando un ponderador calculado a partir del inverso de la distancia al cuadrado entre cada muestra y el punto medio del bloque, y expresa que todos los elementos de un cuerpo mineral que pueden ser expresados numéricamente, cambian gradual y continuamente a lo largo de una línea recta entre dos estaciones colindantes.

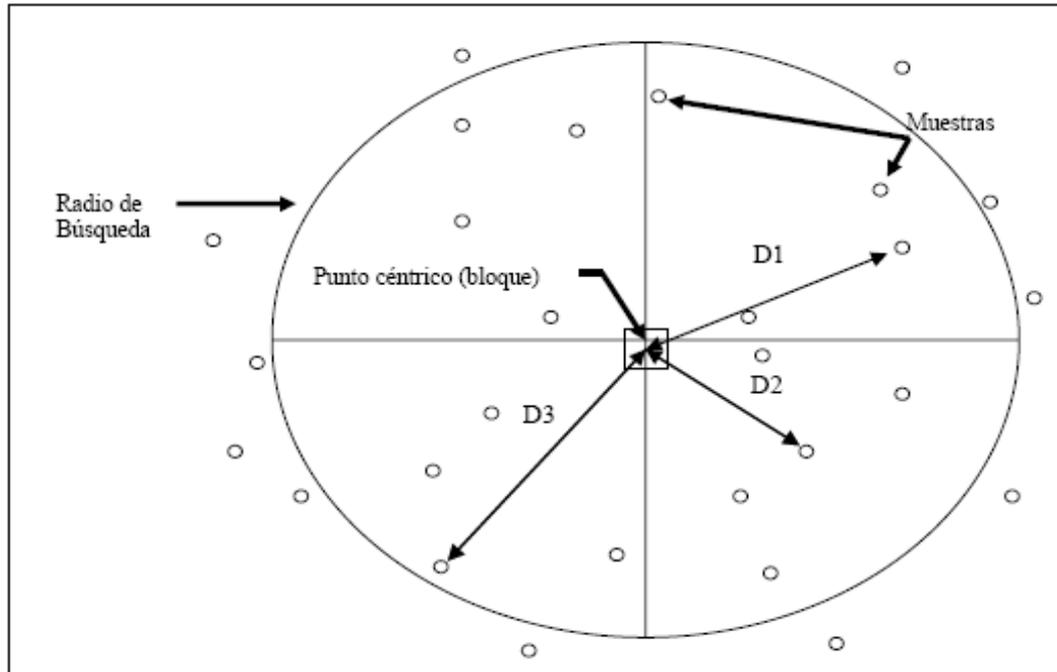


Figura 3.10 Diferentes distancias de búsqueda en las cuales se toman muestras (Sondeos) para ser utilizadas en los cálculos (Vera, M. 2008).

La ecuación está definida por la siguiente expresión:

$$G = \frac{(V_1/D_1^2) + (V_2/D_2^2) + \dots + (V_k/D_k^2)}{(1/D_1^2) + (1/D_2^2) + \dots + (1/D_k^2)} \quad (3.16)$$

Donde:

G= Valor estimado del bloque.

V= Valor de la muestra (compuesto).

D= Distancia de la muestra al centro del bloque.

K= Número de muestras empleadas para calcular el valor del bloque

3.12 Software geológico – minero minesight-compass (Medsystem)

El software MedSystem (*Mineral Evaluation and Design System*) reúne características aplicables a varios procesos mineros que desarrolla la empresa en sus distintos puntos de explotación minera. Las múltiples características de este software lo identifica como un sistema de programas de computadoras (paquete computarizado), creado en lenguaje Fortran y desarrollado por la empresa MINTEC, inc. (*MINeral TECcnology*, empresa ubicada en Tucson, Arizona, USA.). El mismo ha sido diseñado para tomar datos no elaborados de origen estándar (sondeos, muestreos subterráneos, barrenos de voladura, entre otros) y extender esta información hasta el punto de derivarse un programa de producción (Mintec Inc. 1999).

Los datos y las operaciones sobre los mismos pueden ser clasificados en los siguientes grupos litológicos: Operaciones con datos de sondeo, operaciones con datos digitalizados, operaciones con compuestos, operaciones de modelamiento, diseño económico de límite de excavación, evaluación del límite de excavación y programas de producción. En este sentido, Medsystem permite elaborar modelos de bloques para cada yacimiento; a estos bloques se les asigna información litológica, la cual proviene de los diseños geológicos (secciones verticales y horizontales) previamente elaborados a partir de la geología de superficie y sondeos perforados en las minas, y luego descrito por los geólogos (Mintec Inc. 1999).

3.12.1 Operaciones con datos de sondeo

Una variedad de datos de sondeos pueden ser almacenados en Medsystem, incluyendo ensayos, litologías y códigos geológicos, parámetros de calidad, información de collar (coordenadas y orientación de la perforación) y datos del fondo del sondeo. Revisiones de valores y consistencia de los datos pueden llevarse a cabo

antes de que éstos sean cargados a Medsystem. Después de haberse almacenado en el sistema, los datos se pueden listar, actualizar, analizar geoestadística y estadísticamente y ser ploteados en planos o secciones lógicas de Medsystem, que es la de operaciones con compuestos (Mintec Inc. 1999).

3.12.2 Operaciones con compuestos

Los compuestos son agrupaciones de longitud definida por el usuario que contienen información de litología y de grados químicos representativos de un conjunto de muestras.

Hay tres (3) tipos de compuestos dentro del software minero MedSystem:

1. Banco (con modelo 3-D).
2. Manto.
3. Longitud fija.

El Software minero MedSystem puede considerar compuestos tanto verticales como horizontales. Los compuestos pueden ser formados por distintas longitudes según las necesidades del usuario y las características particulares de cada yacimiento mineral.

Los compuestos son calculados por bancos (para la mayoría de las minas de metales básicos), los datos compuestos pueden ser generados en Medsystem o fuera del sistema y cargados. Dichos datos compuestos pueden ser listados, actualizados, analizados geoestadísticamente y estadísticamente, y ploteados en planos o secciones. Estos datos se pasan a la próxima fase de Medsystem que consiste en el modelamiento del cuerpo mineral (Mintec, INC. 1999).

En rasgos generales, para la inicialización de un proyecto de mina, involucran la utilización de una estructura de archivos de programas, cada uno de estos archivos almacenan una porción específica de datos necesario para el desarrollo del proyecto de mina. Cada archivo de datos ha sido designado con un número de referencia, el cual es usado en el programa de corrida de los archivos. A menudo, los archivos son referidos, por ejemplo como Archivo 11, etc. Además, no necesariamente son usados todos los archivos dentro de un mismo proyecto, el uso o no de estos depende de las necesidades del proyecto emprendido. El número de referencia de los archivos y una breve descripción se presenta a continuación:

Archivo 08 Compuestos ordenados, contiene el conjunto de datos ordenados por coordenadas.

Archivo 09 Compuestos Desordenados, contiene el conjunto de datos sin ningún orden específico.

Archivo 10 Control del Proyecto, contiene los límites mínimos y máximas de ubicación del área de estudio, así como también el tamaño de los bloques a utilizar en el modelo de mina.

Archivo 11 Perforaciones, almacena la información química y geológica de los mismos.

Archivo 12 Descripción del levantamiento topográfico, contiene la ubicación espacial de cada uno de los datos.

Archivo 13 Superficie 2D, almacena la topografía del yacimiento es estudio en una vista bidimensional.

Archivo 14 Mantos, especial para minas de carbón, almacena el modelo de mina en forma de capas o mantos.

Archivo 15 Modelo Tridimensional, guarda el modelo de mina en un formato 3D.

Archivo 25 Geometría del bloque, almacenan información digitalizada.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Nivel de la investigación

El nivel de investigación realizado en este estudio fue descriptiva y comparativa.

Descriptiva, debido que no se manipuló la data, se apreció u observó el comportamiento geológico del mineral de hierro del yacimiento Occidental, Central y Oriental del Cerro Altamira, a través de técnicas y herramientas geoestadísticas para establecer o apreciar los radios de influencias. Comparativa, ya que este estudio permitió establecer las posibles diferencias que pueden existir en la actualidad en relación con los estudios geoestadísticos previos realizados a la base de datos de los sondeos geoexploratorios del Cerro Altamira.

4.2 Diseño de la investigación

La estrategia que se tomó para la investigación fue en primer lugar bibliográfica tomando en consideración que se revisó la documentación de estudios previos realizados en la zona, en este caso el cerro Altamira. En segundo lugar el diseño se estableció en no experimental, y se observaron datos de muestras del subsuelo de los yacimientos, sin ser alteradas o manipuladas para luego analizarse y compararse, en este caso, los sondeos geoexploratorios del cerro Altamira.

4.3 Flujograma de trabajo

La metodología para realizar este trabajo se representa en la figura 4.1 siguiente.

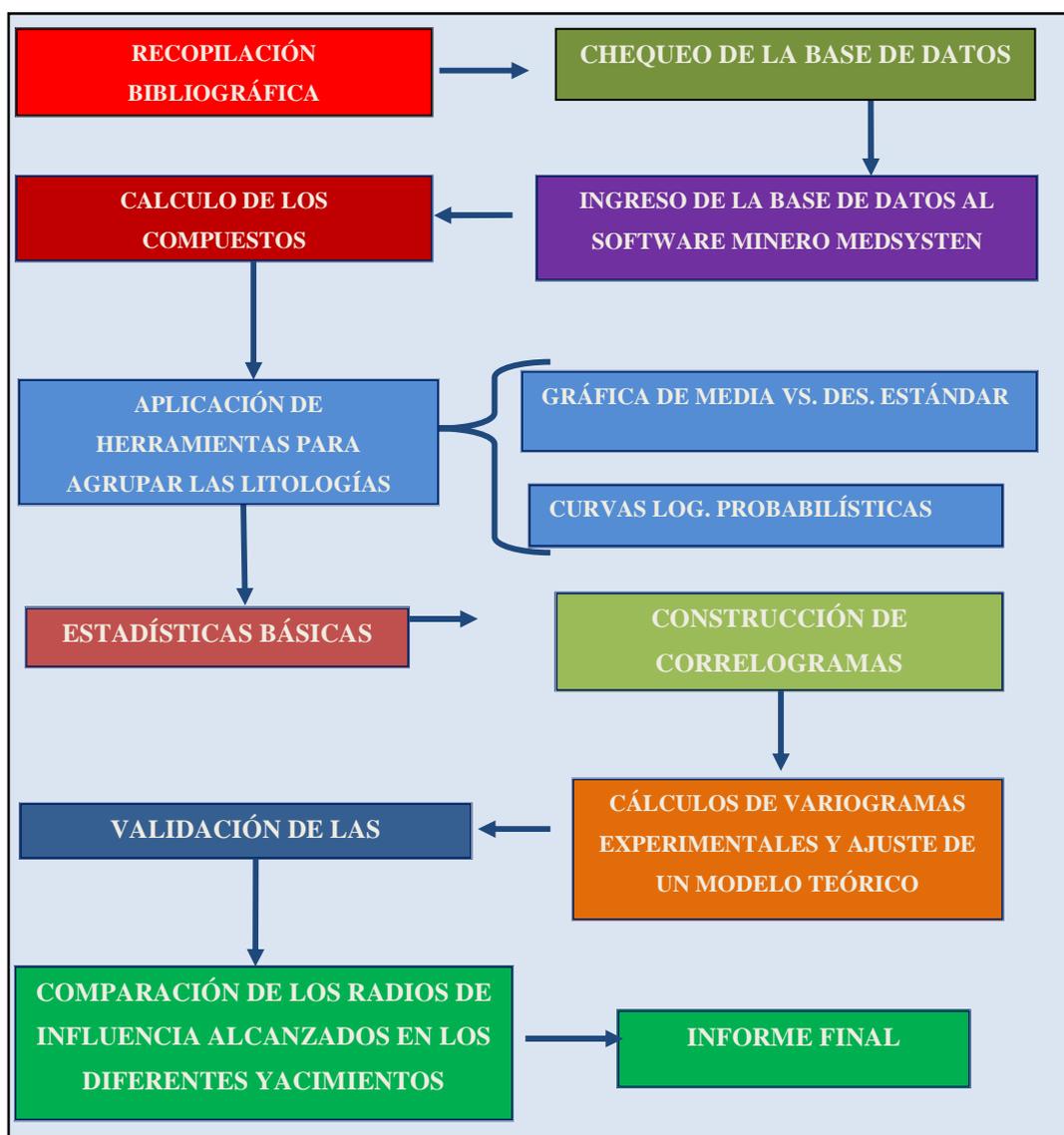


Figura 4.1 Etapas metodológicas para el desarrollo del proyecto.

4.3.1 Recopilación y chequeo de la información

Esta es la primera etapa de la investigación se realizó la búsqueda de toda la información posible respecto al tema, esta involucró la información de trabajos anteriores, y todo tipo de documento (físico o digital) de información relacionado al tema desarrollado.

4.3.2 Chequeo de la base de datos

Se procedió a examinar la base de datos de los sondeos organizados en hojas de cálculos, estos están identificados con un numero en la primera columna, luego continúan las coordenadas, profundidad inicial y final, el intervalo en que se tomó la muestra, los valores porcentuales de hierro (Fe), sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), pérdida por calcinación (PPC) y contenido de fósforo (P), código litológico, fecha de inicio y culminación, esta la información está dispuesta de la siguiente manera. (Figura 4.2).

Fila 1: Datos del collar

Columna A: Número del sondeo.

Columna B: Coordenada Este del sondeo.

Columna C: Coordenada Norte del sondeo.

Columna D: Cota de la perforación.

Columna E: Profundidad inicial igual a cero.

Columna F: Azimut de la perforación.

Columna G: Profundidad de la perforación.

Fila 2: Datos de la perforación.

0000: Número del sondeo de perforación (el resto de la fila está vacía).

Fila 3:

Columna A: Número del sondeo.

Columna B: Profundidad inicial de la muestra.

Columna C: Profundidad final de la muestra.

Columna D: Intervalo de la muestra.

Columna E: Contenido de hierro en porcentaje en la muestra.

Columna F: Contenido de sílice en porcentaje en la muestra.

Columna G: Contenido de alúmina en porcentaje en la muestra.

Columna H: Contenido de pérdida por calcinación en porcentaje en la muestra.

Columna I: Contenido de fósforo en porcentaje en la muestra.

Columna J: Contenido de manganeso en porcentaje en la muestra.

Columna K: Contenido de titanio en porcentaje en la muestra.

Columna L: Simbología de la litología de la muestra.

Columna M: Código de mena de la muestra.

Columna N: Código litológico de la muestra.

Columna O: Código de cuarcita de la muestra.

Columna P: El número correspondiente al yacimiento.

Columna Q: El número correspondiente al tipo de perforación.

Columna R: El número de la sección donde se encuentra el sondeo en cuestión.

Columna S: Fecha de inicio del sondeo, debe tener formato *aaaammdd*.

Columna T: Fecha final del sondeo, debe tener formato *aaaammdd*.

The image shows a screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - ALT.xls'. The spreadsheet contains a large table of data organized by rows and columns. The columns are labeled A through Y, and the rows are numbered 1 through 53. There are three callout boxes pointing to specific rows:

- Fila 2:** Points to row 2.
- Fila 1:** Points to row 1.
- Fila 3 Hasta la ultima:** Points to row 3 and indicates it continues to the last row.

The data in the spreadsheet includes numerical values, text labels (e.g., '0001', '0001A', '0002'), and codes (e.g., 'VS', 'VAL', 'Y', 'FF', 'LAT', 'VPVA'). The spreadsheet interface includes a menu bar (Archivo, Edición, Ver, Insertar, Formato, Herramientas, Datos, Ventana) and a toolbar with various icons for file operations and formatting.

Figura 4.2 Base de datos de los sondeos geoexploratorios en hoja de cálculo para ser cargada en Medsystem.

4.4 Carga de la base de datos al software minero MedSystem

Se realizó y analizó el depósito mineral con el software minero Medsystem, primeramente se creó y definió un archivo de control del proyecto (PCF por las siglas en inglés) donde quedó especificado todas las características de los yacimientos Occidental Central y Oriental del Cerro Altamira tales como: Identificación del proyecto, coordenada Este mínima y máxima, coordenada Norte mínima y máxima, cota mayor y menor, tipo de modelo geológico (3D o GSM) entre otras.

Luego para ingresar los datos de los sondeos de los yacimientos Occidental Central y Oriental del Cerro Altamira al sistema se hizo uso de una hoja de cálculo en Excel y depurada de valores anómalos, luego se guardó como un archivo de extensión “prn” (delimitado por espacios) ya que sólo de esta forma pudo ser leído por el software Medsystem, prontamente se procedió a revisar una vez más el archivo, pero por medio del software mencionado y no arrojó errores, como paso final se cargó la base de datos de los yacimientos mencionados.

4.5 Cálculo de compuestos

Para el cálculo de los compuestos, se creó por el usuario agrupaciones de distancia fija definida (cinco (5) metros para el presente estudio) y comienzan en el tope de cada sondeo que contienen información de grados químicos y litología.

Además, este se creó con la finalidad de facilitar el manejo de la data. (Figura 4.3).

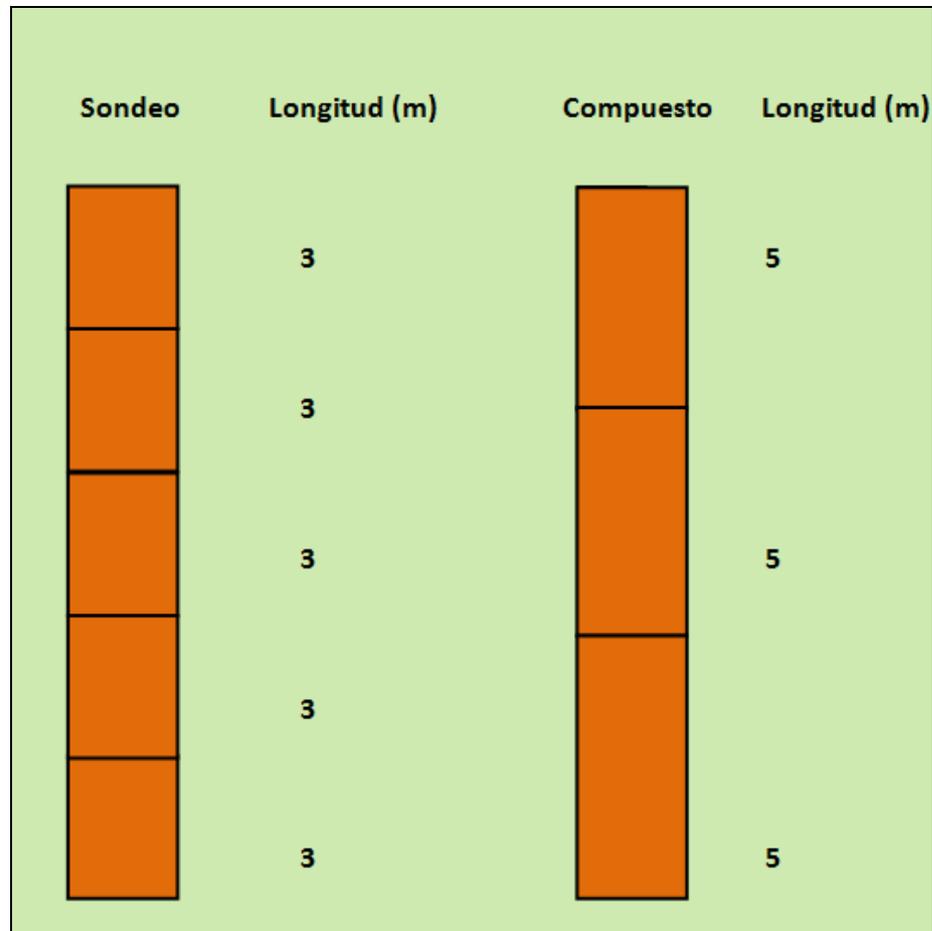


Figura 4.3 Formación de compuestos por longitud fija.

4.6 Aplicación de herramientas grafica para agrupar litologías

El análisis poblacional para agrupar las litologías se realizó a través de una serie de gráficas en donde se comparó y observó el comportamiento estadístico de cada parámetro químico para las distintas litologías. El objetivo fue agrupar las litologías con comportamientos similares para obtener mayor cantidad de datos y por ende resultados más confiables.

4.6.1 Gráfica de media vs. desviación estándar

Se observó el comportamiento conjunto de ambos estadísticos, y se analizó con esta la similitud de las distintas litologías para cada uno de los parámetros químicos (Figura 4.4).

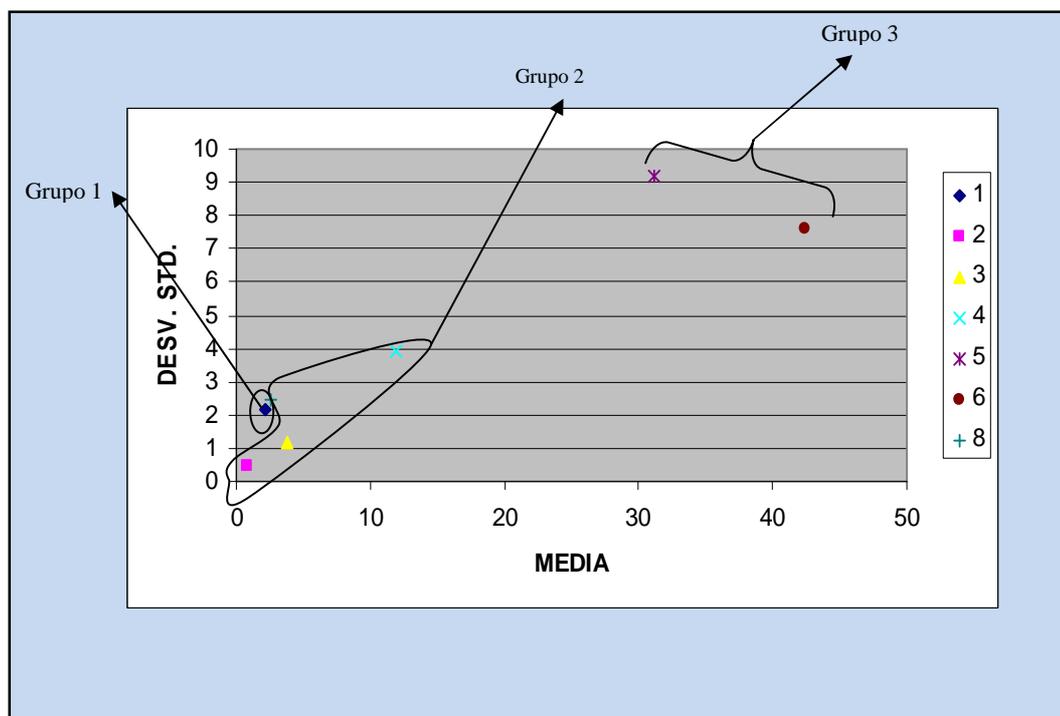


Figura 4.4 Ejemplo grafica de media vs. desviación estándar.

4.6.2 Curvas log. probabilísticas

Se ejecutó con el software minero MedSystem, para cada parámetro químico de todas las litologías y se observó en esta, las tendencias similares de las curvas, de esta forma se logró agrupar las litologías semejantes de tal manera que se incrementara los datos para realizar el variograma. (Figura 4.5).

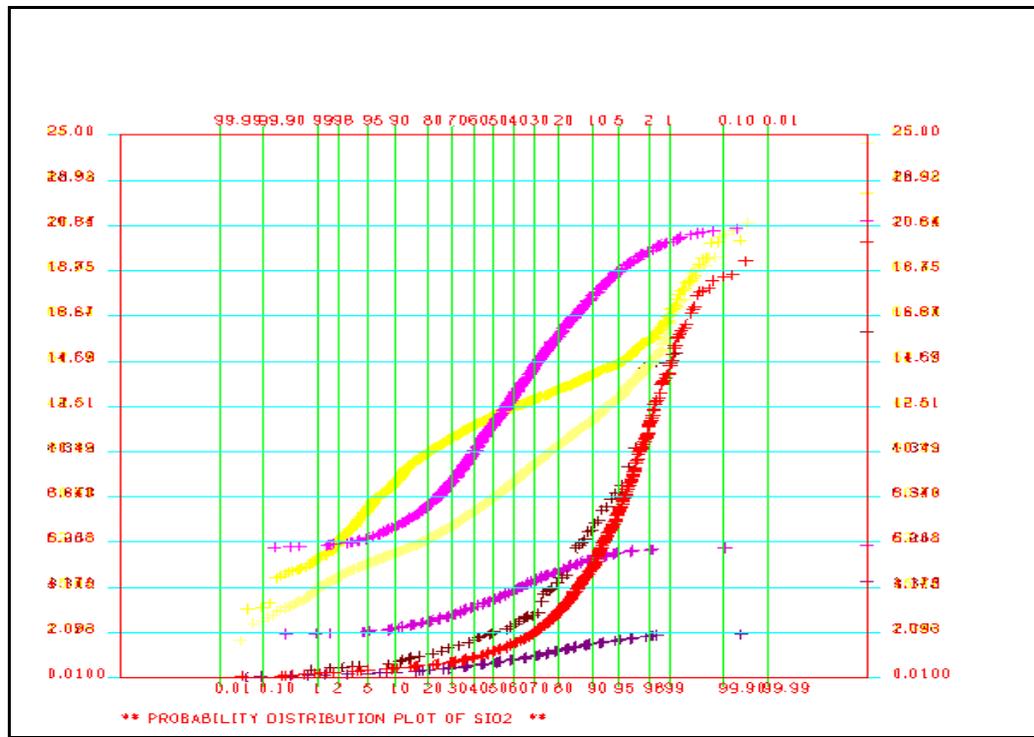


Figura 4.5 Ejemplo de curvas log. probabilísticas generado con el software minero Medsystem.

4.7 Generación de las estadísticas básicas

Luego de ingresada la base de datos de los sondeos geoexploratorios al software Medsystem se procedió a calcular la estadística básica por litologías agrupadas para cada parámetro químico, en donde se determinó el número de muestra, la media, la desviación estándar, límites de confianza, valores mínimos y máximos.

4.8 Construcción de correlogramas

Una vez concluido el análisis poblacional se construyeron los correlogramas con el software minero Medsystem, y entendiéndose que son una representación

gráfica de las curvas de probabilidad de ocurrencia para un parámetro químico en particular. El correlograma permitió modelar la posible área de influencia en cada caso; en este trabajo se calculó los correlogramas por litologías agrupadas. Estos correlogramas, generalmente, presentan formas elípticas o esféricas para delimitar un área, de manera que se modelan a partir de dos variables que representan las longitudes de 2 ejes perpendiculares entre sí, eje mayor y eje menor (para el caso de una elipse), esto se refiere solo al plano horizontal. Existe una tercera variable que es el ángulo de inclinación de eje mayor de la elipse con respecto a un eje de referencia que representa 0° para las coordenadas del software minero Medsystem. A nivel tridimensional existe otro eje, el eje vertical. Este se trabajó con una longitud fija de 30 metros. (Figura 4.6).

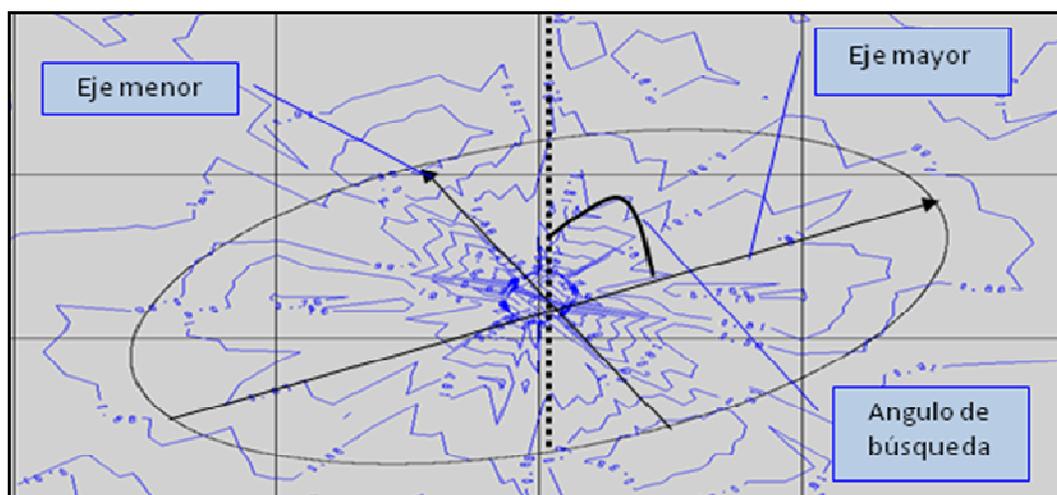


Figura 4.6 Elementos del correlograma generado con el software minero Medsystem.

4.9 Cálculos experimentales y ajuste de un modelo teórico

Después de ser elaborados los correlogramas, se procedió a realizar los variogramas, el cual se construye en litologías agrupadas. En el variograma se

observaron y analizaron los elementos tales como: El nugget o efecto pepita el cual expresa la variabilidad de muestras para una distancia cero (0) en el variograma, la meseta o sill que es el máximo valor que alcanza el variograma para el eje de las ordenadas o en otras palabras es el valor en el eje de las ordenadas para la máxima distancia de influencia (representada en el eje de las abscisas), rango o alcance máximo. Este último se toma como radio de influencia, es decir que a partir de esa distancia el comportamiento del variograma es puramente aleatorio, ya que la distancia no influye en la correlación.

4.10 Validación de las estimaciones

Luego los variogramas se validaron mediante la técnica de “ Poin validation” (Punto de validación) que haciendo uso de los interpoladores kriging e inverso de la distancia y basado en la información del variograma (nugget, sill, rango, azimuth etc.) muestra los valores reales y estimados para ciertos estadísticos, como por ejemplo la media, desviación estándar, valor máximo y mínimo entre otros, así como la diferencia de error entre tales valores además expone el grado de correlación entre las muestras por medio del coeficiente de correlación se expresa en forma porcentual, y en forma grafica expresa la correlación entre las muestras por medio de una nube de correlación.

La ecuación está definida por la siguiente expresión:

$$r = \frac{1/n * \sum (x_i - \bar{x}_m) * (y_i - \bar{y}_m)}{\left((1/n * \sum (x_i - \bar{x}_m)^2) * (1/n * \sum (y_i - \bar{y}_m)^2) \right)^{1/2}} \quad (4.1)$$

En la nube de correlación aparece una línea recta con una pendiente de 45° por encima de la cual se encuentran los valores sobreestimados y por debajo de la misma los valores subestimados el comportamiento ideal es la tendencia hacia la recta de 45° de inclinación lo que permite inferir que los valores estimados son muy parecidos a los valores reales. (Figura 4.7).

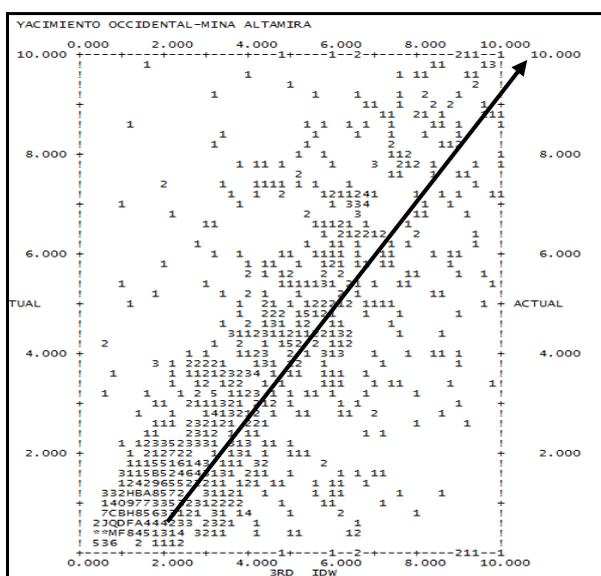


Figura 4.7 Nube de correlación Calculado por el software minero Medsystem.

4.11 Comparación de los radios de influencia correspondientes a los distintos yacimientos del Cerro Altamira

Una vez ya finalizado el estudio, mediante una observación visual realizada a los resultados de los radios de influencia obtenidos en cada parámetro químico para los diferentes grupos litológicos pertenecientes a los distintos yacimientos en cuestión, se procedió a efectuar la comparación entre los mismos, Logrando optimizar dichos valores, quedando estos por debajo o cercano al límite esperado.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Base de datos de los sondeos geoexploratorios

La base de datos de los sondeos geoexploratorios de los yacimientos Occidental, Central y Oriental de Cerro Altamira está conformado por un total de 849 sondeos, específicamente 248 sondeos correspondiente al yacimiento Occidental, 237 sondeos correspondiente al yacimiento Central y 364 sondeos correspondiente al yacimiento Oriental.

Luego del proceso de depuración de la base de datos de los sondeos geoexploratorios antes mencionados y debido a los resultados arrojados por la insuficiencia de la misma ya que la data era muy poca, cabe destacar que no fue recomendable emplear el límite de corte, y así tener éxito en el modelamiento de los variogramas. Para realizar este análisis se tomó como base los rangos de composición litológica para cada tipo de mena establecidos por la empresa C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A.

5.2 Análisis de las graficas de media Vs. desviación estándar, curvas log. probabilísticas

5.2.1 Gráfica de media vs. desviación estándar

Los resultados alcanzados en los análisis permiten ver el comportamiento de ambos estadísticos para cada parámetro químico en las diferentes litologías mostrando totalmente tres (3) grupos presentes en los yacimientos Central, Occidental y Oriental del Cerro Altamira.

Tales grupos son: grupo uno (1) integrado por la litología 1 que son las costras, grupo dos (2) integrado por las litologías 2, 3, 4, 8 que corresponden a finos, finos silíceos, finos muy silíceos y limonita respectivamente, el grupo tres (3) lo conforman las litologías 5 y 6 que son cuarcita dura y cuarcita friable respectivamente.

El grupo uno (1) está integrado solo por las costras, dado que para efectos de la clasificación litológica que opera la jefatura de área geología de C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A, el código litológico de las costras es uno (1) independientemente de diferencias químicas (cantidad de sílice, alúmina, fósforo etc.) o físicas (laminada, bandeada, masiva), el grupo dos (2) contiene los diferentes tipos de finos y la limonita, esta última presenta un comportamiento estadístico similar a los finos excepto en el parámetro fósforo donde se ubica más separada, sin embargo más cercana de las costras que a los finos; mientras que las cuarcitas (dura y friable) quedan en el grupo tres (3), ya que están definidas como mena de bajo tenor y su comportamiento estadístico es parecido lo que refleja una similitud en los valores químicos de ambas litologías. (Figuras 5.1 - 5.15).

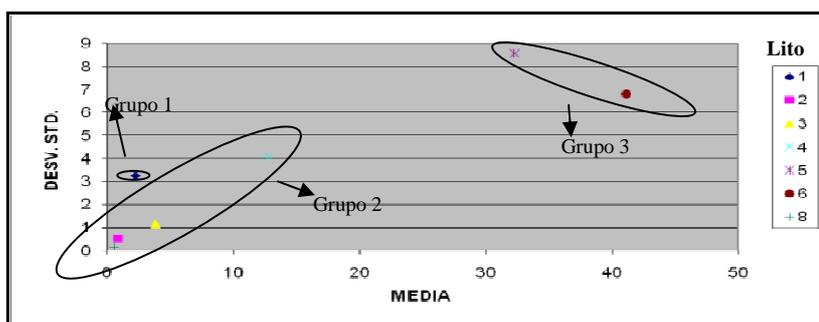


Figura 5.1 Parámetro químico SiO_2 del yacimiento Occidental.

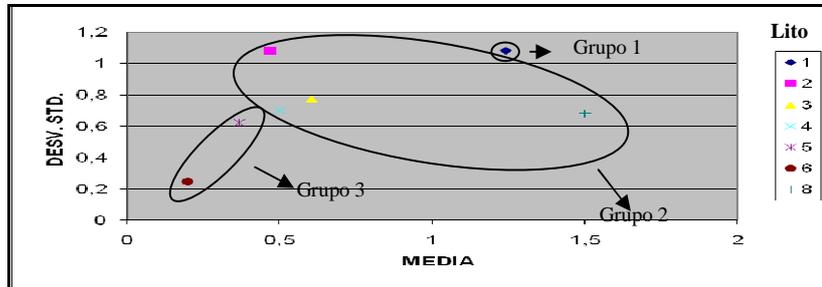


Figura 5.2 Parámetro químico Al_2O_3 del yacimiento Occidental.

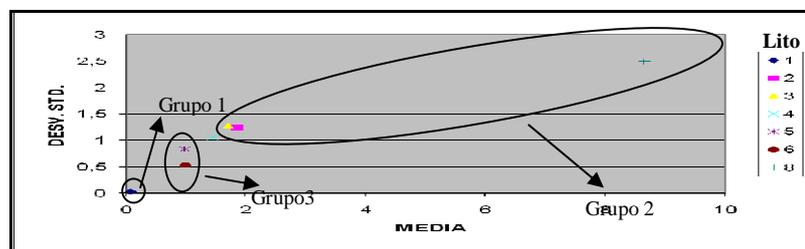


Figura 5.3 Parámetro químico PPC del yacimiento Occidental.

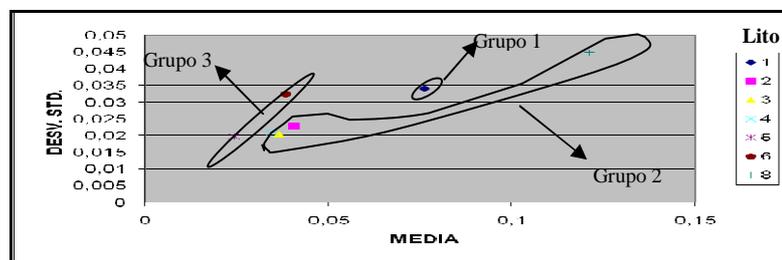


Figura 5.4 Parámetro químico P del yacimiento Occidental.

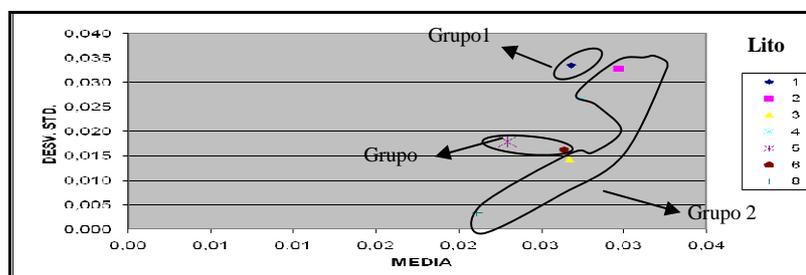


Figura 5.5 Parámetro químico Mn del yacimiento Occidental.

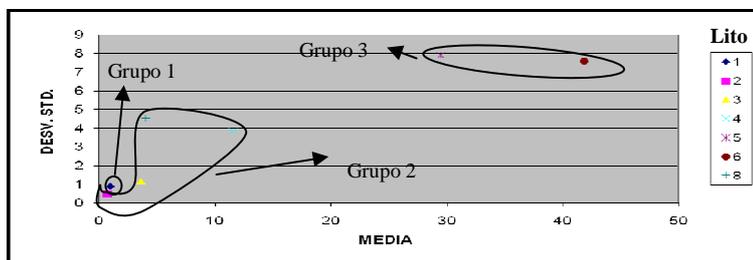


Figura 5.6 Parámetro químico SiO₂ del yacimiento Central.

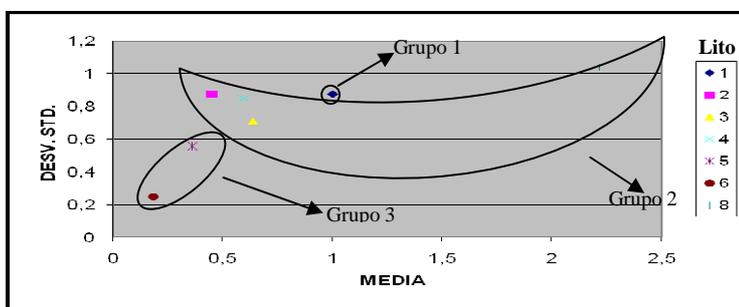


Figura 5.7 Parámetro químico Al₂O₃ yacimiento Central

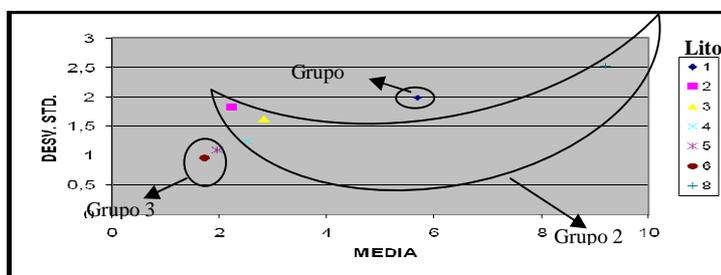


Figura 5.8 Parámetro químico PPC yacimiento Central.

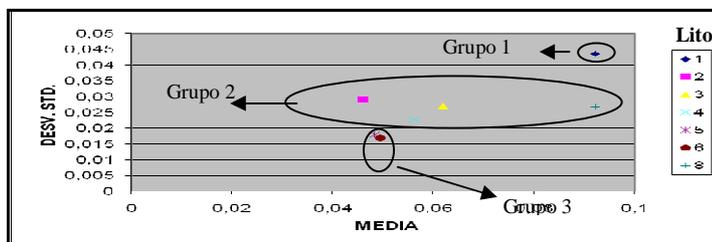


Figura 5.9 Parámetro químico P yacimiento Central.

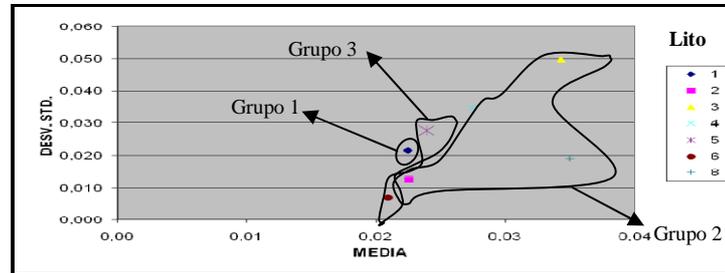


Figura 5.10 Parámetro químico Mn yacimiento Central.

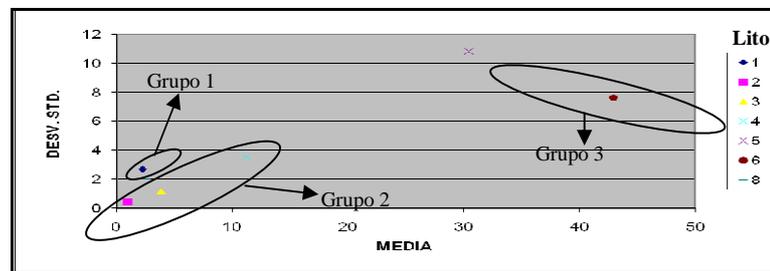


Figura 5.11 Parámetro químico SiO_2 yacimiento Oriental.

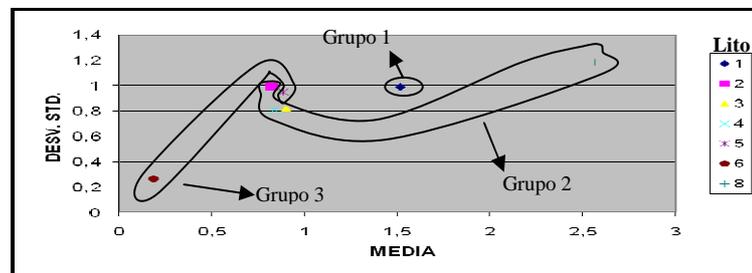


Figura 5.12 Parámetro químico Al_2O_3 yacimiento Oriental.

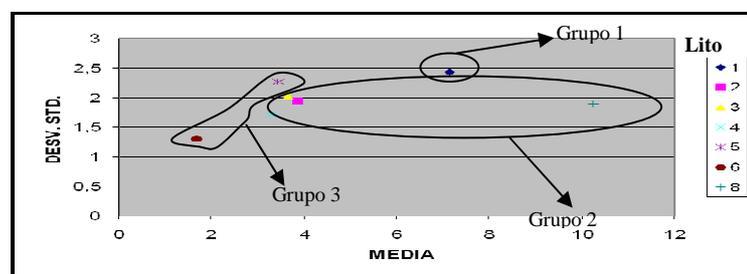


Figura 5.13 Parámetro químico PPC yacimiento Oriental.

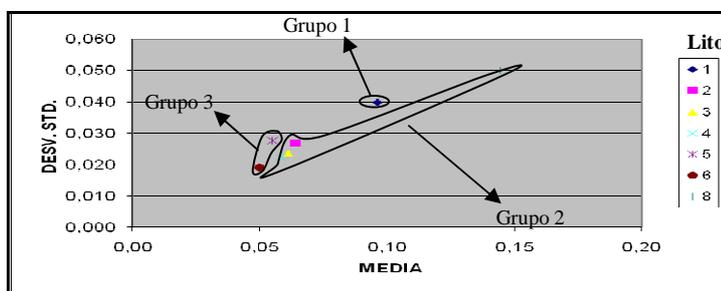


Figura 5.14 Parámetro químico P yacimiento Oriental.

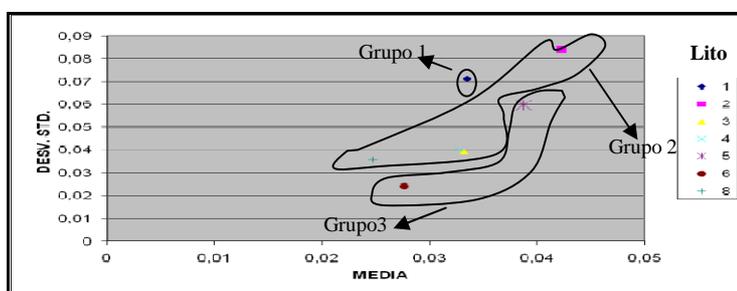


Figura 5.15 Parámetro químico Mn yacimiento Oriental.

5.2.2 Curvas log. probabilísticas

Las curvas log. probabilísticas correspondientes a las litologías de los finos, finos silicios y finos muy silicios presentaron tendencias similares, excepto en el parámetro químico SiO_2 , dado que es justamente éste el que genera la clasificación de los grupos en los diferentes yacimientos, a diferencia de las costras que están en un mismo conjunto independientemente del parámetro químico. Las graficas de Al_2O_3 , PPC, y P se observaron curvas análogas en las litologías de los finos, finos silicios y finos muy silicios y separados siempre de la costra al igual que la cuarcita dura y la cuarcita friable. Sin embargo, la limonita en todas las gráficas se observa más cercana a las costras que a los finos y respecto a la gráfica del Mn se observan que todas las litologías tienen similar comportamiento, lo cual demuestra que no es un

elemento químico muy variante dentro de los yacimientos. (Figura 5.16). (Apéndice A).

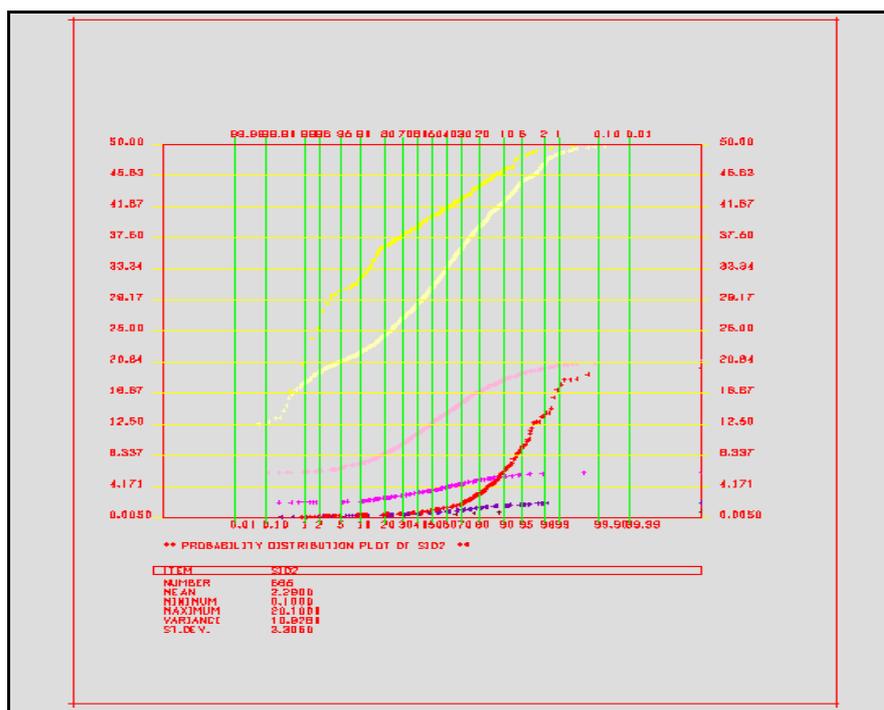


Figura 5.16 Curva de probabilidad de la SiO₂ yacimiento Occidental.

5.3 Estadísticas básicas

La estadística básica realizada a la base de datos de los sondeos geoexploratorios, fue hecha a un total de 849 sondeos pertenecientes a los yacimientos del cerro Altamira. Los comportamientos poblacionales de estos yacimientos se encuentran representados de manera gráfica en los histogramas realizados por grupos litológicos.

En las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se muestran los resultados obtenidos de los sondeos. Los metros perforados y principales estadísticos (Media, desviación estándar, valores

mínimos, valores máximos) de cada parámetro químico logrados con el software minero Medsystem

En la tabla 5.1 para el yacimiento Occidental se muestran los valores de los parámetros químicos de la SiO_2 correspondientes a los grupos 1, 2, y 3, y PPC correspondientes a los grupos 1, y 2 presentan una gran desviación con respecto a la media indicando mayor variabilidad, mientras que en los parámetros químicos de la Al_2O_3 , P y Mn correspondientes a los grupos 1, 2, y 3 y PPC específicamente el grupo 3 presentan baja desviación con respecto a la media, indicando menor variabilidad.

En la tabla 5.2 para el yacimiento Central se muestran los valores de los parámetros químicos de la SiO_2 y PPC correspondientes a los grupos 1, 2, y 3, presentan una gran desviación y dispersión con respecto a la media indicando mayor variabilidad, mientras que en los parámetros químicos de la Al_2O_3 , P y Mn correspondientes a los grupos 1, 2, y 3 presentan baja desviación con respecto a la media, indicando menor variabilidad.

En la tabla 5.3 para el yacimiento Oriental se muestran los valores de los parámetros químicos de la SiO_2 y PPC correspondientes a los grupos 1, 2, y 3, presentan una gran desviación y dispersión con respecto a la media indicando mayor variabilidad, mientras que en los parámetros químicos de la Al_2O_3 , P y Mn correspondientes a los grupos 1, 2, y 3 presentan baja desviación con respecto a la media, indicando menor variabilidad.

Tabla 5.1 Estadísticas básicas de la base de datos obtenidos en Medsystem perteneciente al yacimiento Occidental.

Parámetros	Grupos litológicos	Metros perforados	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
SiO ₂	1	2515	0.1000	20.1000	2.1018	3.0627
SiO ₂	2	8521	0.1200	21.0300	6.24295	5.9549
SiO ₂	3	6949	13.0200	69.5800	32.6642	8.3760
Al ₂ O ₃	1	2506	0.1000	9.2300	1.2235	0.9473
Al ₂ O ₃	2	7688	0.1000	9.0000	0.6003	0.6854
Al ₂ O ₃	3	5719	0.1000	5.0000	0.4620	0.6852
PPC	1	2510	0.3000	13.3600	5.4521	2.4375
PPC	2	8478	0.1000	12.6000	1.7877	1.2643
PPC	3	6934	0.1000	7.8700	1.0332	0.7764
P	1	447	0.1000	0.3100	0.1251	0.0266
P	2	103	0.1000	0.1900	0.1226	0.0266
P	3	62	0.1000	0.3500	0.1561	0.0769
Mn	1	63	0.1000	0.4100	0.1800	0.1060
Mn	2	75	0.1000	0.4320	0.1704	0.0776
Mn	3	47	0.1000	0.3000	0.1269	0.0496

Tabla 5.2 Estadísticas básicas de la base de datos obtenidos en Medsystem perteneciente al yacimiento Central.

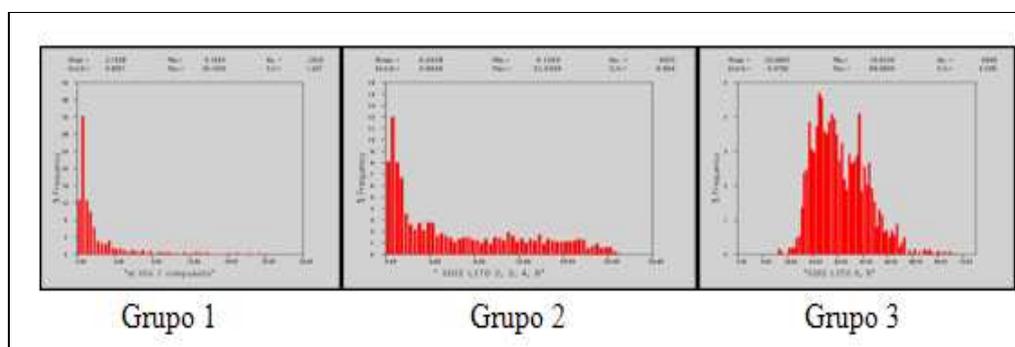
Parámetros	Grupos litológicos	Metros perforados	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
SiO ₂	1	1986	0.1700	17.8000	1.9962	2.6496
SiO ₂	2	1652	0.1000	20.0600	4.6055	5.2364
SiO ₂	3	991	12.0000	86.6000	32.5496	9.5816
Al ₂ O ₃	1	1992	0.1000	8.3600	1.0319	0.7940
Al ₂ O ₃	2	1569	0.1000	6.2500	0.6027	0.7017
Al ₂ O ₃	3	820	0.1000	3.9000	0.3972	0.5614
PPC	1	1992	1.2000	11.6000	5.7435	1.9027
PPC	2	1650	0.1000	12.3000	2.4856	1.7618
PPC	3	991	0.2000	8.7000	1.9070	1.0241
P	1	466	0.1000	0.2940	0.1342	0.0405
P	2	89	0.1000	0.1600	0.1141	0.0159
P	3	7	0.1000	0.1500	0.1183	0.0212
Mn	1	3	0.3900	0.3900	0.3900	0.0
Mn	2	29	0.1000	0.4000	0.2110	0.0935
Mn	3	13	0.1040	0.3320	0.1753	0.0612

Tabla 5.3 Estadísticas básicas de la base de datos obtenidos en Medsystem perteneciente al yacimiento Oriental.

Parámetros	Grupos litológicos	Metros perforados	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
SiO ₂	1	6526	0.1500	30.0500	2.2575	2.4741
SiO ₂	2	6845	0.1600	20.7000	4.5641	4.7155
SiO ₂	3	991	12.000	86.6000	32.5496	9.5816
Al ₂ O ₃	1	6532	0.1000	8.9000	1.5346	0.9476
Al ₂ O ₃	2	6607	0.1000	8.3000	1.0014	0.8790
Al ₂ O ₃	3	6863	0.1000	6.2000	0.5280	0.7361
PPC	1	6450	0.2000	13.7400	7.1346	2.2940
PPC	2	6797	0.2700	14.2700	4.0559	2.2246
PPC	3	6912	0.1000	12.7000	2.5878	2.0104
P	1	466	0.1000	0.2940	0.1342	0.0405
P	2	572	0.1000	0.2700	0.1275	0.0336
P	3	281	0.1000	0.1850	0.1195	0.0206
Mn	1	215	0.1000	0.8400	0.2470	0.2413
Mn	2	292	0.1000	0.9500	0.2428	0.1881
Mn	3	257	0.1000	0.6300	0.2250	0.1017

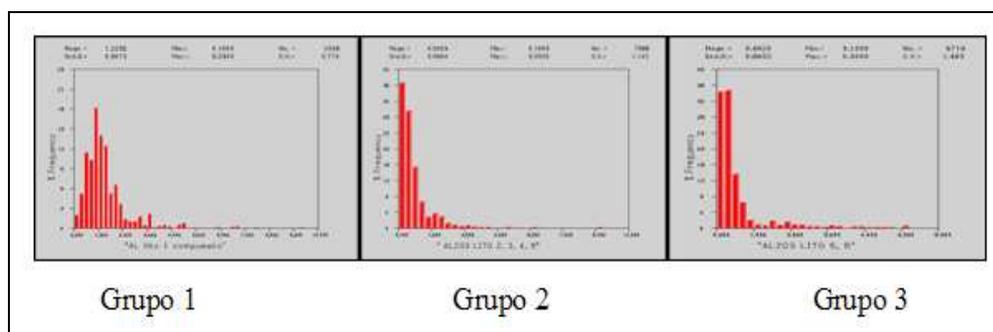
5.4 Histogramas

Los histogramas de los yacimientos anteriormente mencionados, se presenta a continuación por parámetros químicos sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), fosforo (P) y manganeso (Mn) y perdida por calcinación (PPC) y por grupos litológicos. (Figuras 5.17 - 5.31).



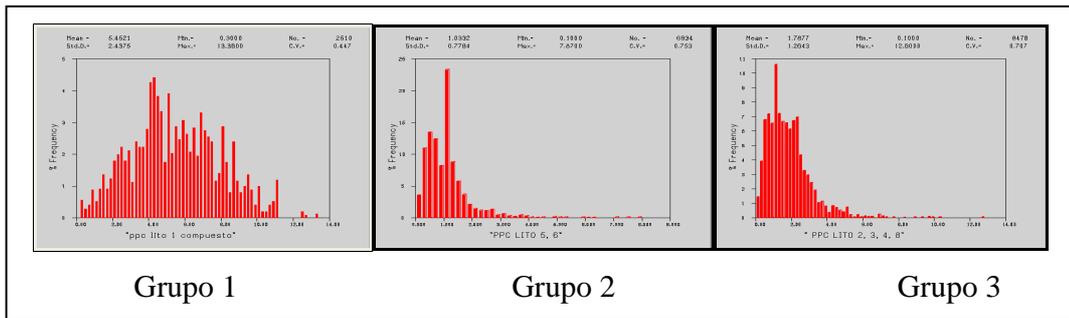
Figuras 5.17 Histogramas SiO_2 yacimiento Occidental.

En la figura 5.17 los histogramas de los grupos 1, y 2 pertenecientes a la sílice, son muy segados y asimétricos, mientras que el grupo 2 se aproxima a una distribución normal.



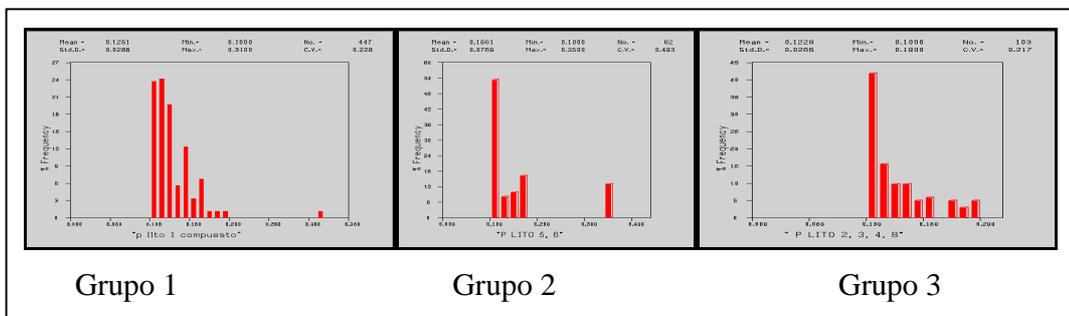
Figuras 5.18 Histogramas Al_2O_3 yacimiento Occidental.

En la figura 5.18 los histogramas de los grupos 1, 2, y 3 correspondientes a la alúmina muestran claramente un comportamiento muy asimétrico.



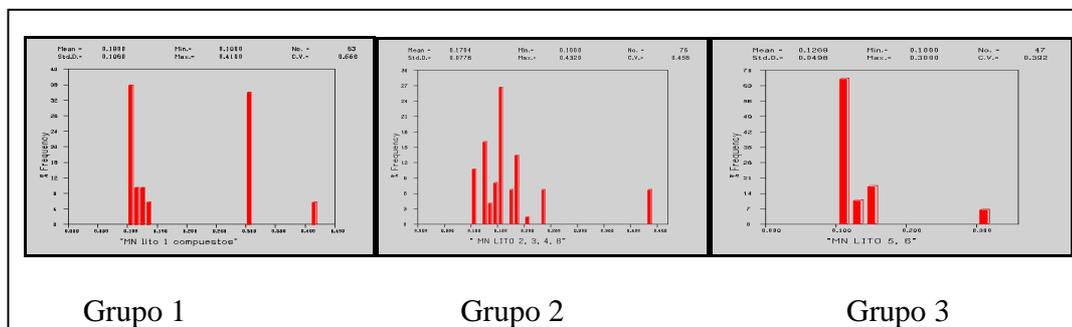
Figuras 5.19 Histogramas PPC yacimiento Occidental.

En la figura 5.19 los histogramas del grupo 1, perteneciente a la PPC se aproxima a una distribución normal, mientras que los grupos 2 y 3 son muy sesgados.



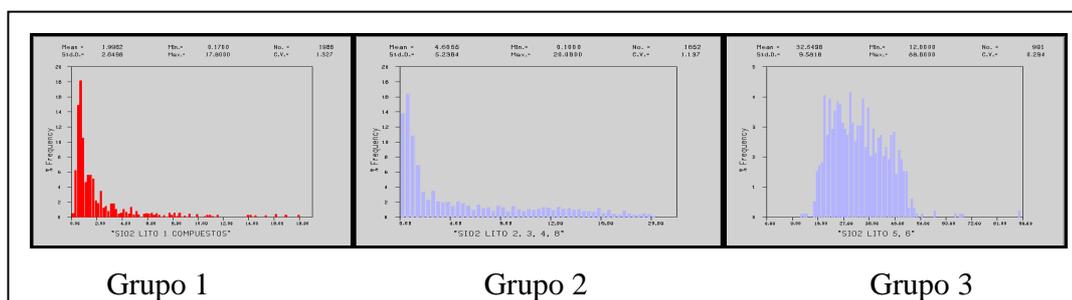
Figuras 5.20 Histogramas P yacimiento Occidental.

En la figura 5.20 los histogramas del grupo 1, 2, y 3 pertenecientes al P muestran un comportamiento sesgado, a pesar de la poca población.



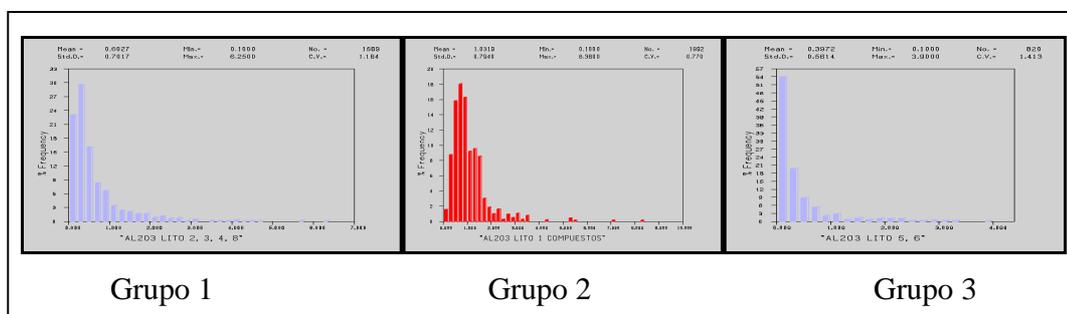
Figuras 5.21 Histogramas Mn yacimiento Occidental.

En la figura 5.21 los histogramas de los grupos 1, y 3 pertenecientes al Mn se aproximan a un comportamiento sesgado a pesar de la poca población, mientras que el grupo 2 se aproxima a una distribución normal.



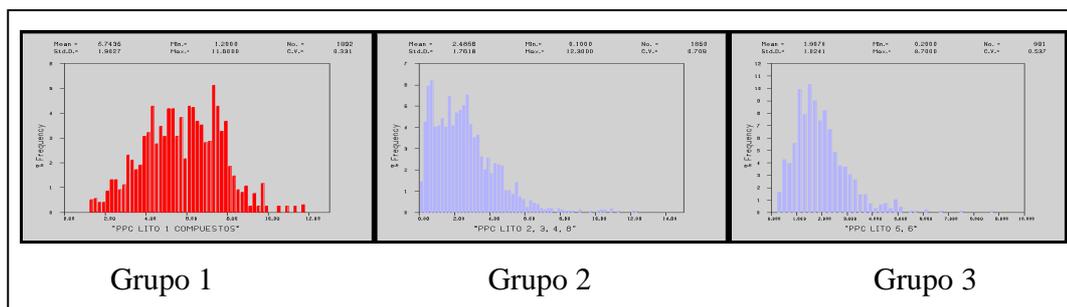
Figuras 5.22 Histogramas SiO₂ yacimiento Central.

En la figura 5.22 los histogramas de los grupos 1, y 2 pertenecientes a la SiO₂ muestran un comportamiento muy sesgado y asimétrico, mientras que el grupo 3 se aproxima a una distribución normal.



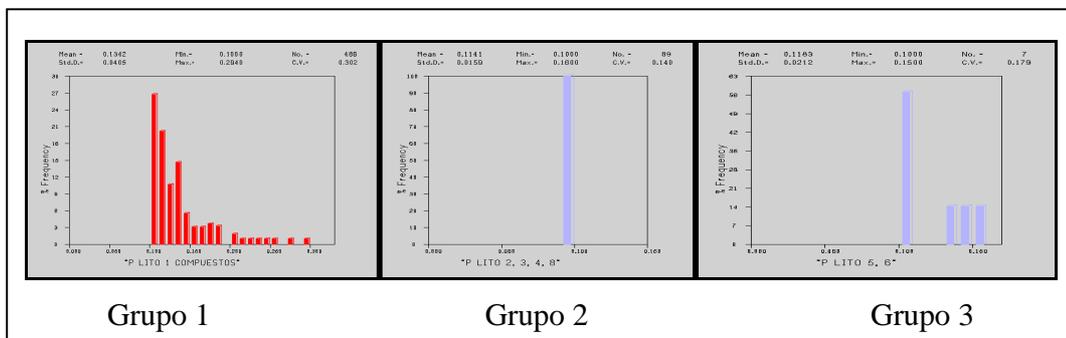
Figuras 5.23 Histogramas Al_2O_3 yacimiento Central.

En la figura 5.22 los histogramas de los grupos 1, 2, y 3 correspondientes a la alúmina muestran claramente un comportamiento muy asimétrico y sesgado a la derecha.



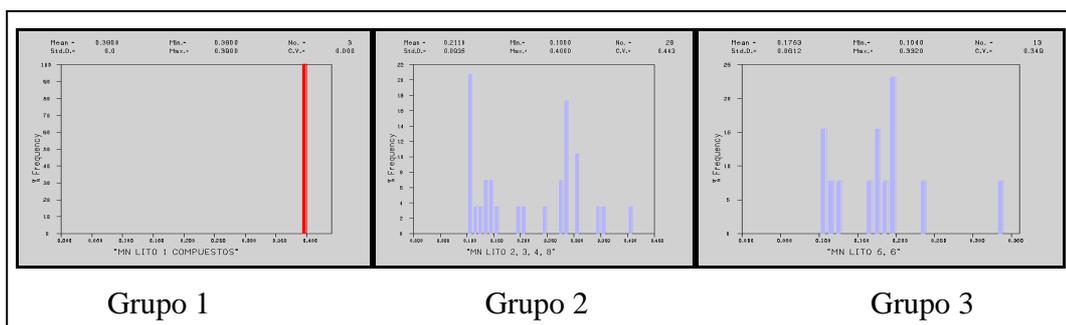
Figuras 5.24 Histogramas PPC yacimiento Central.

En la figura 5.24 los histogramas del grupo 1, perteneciente a la PPC se aproxima a una distribución normal, mientras que los grupos 2 y 3 son sesgados.



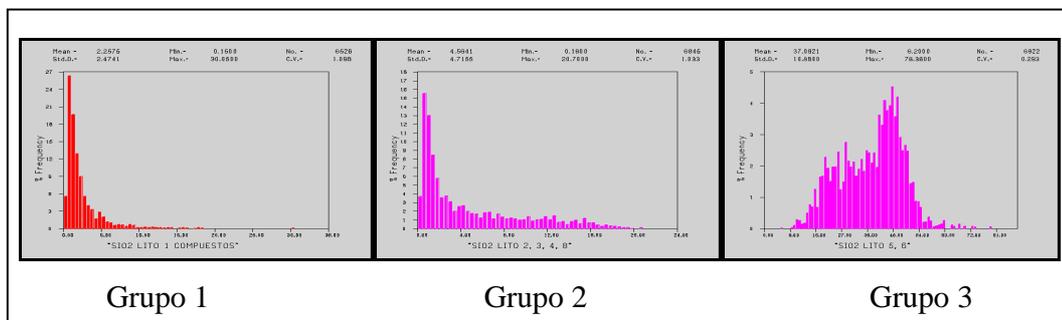
Figuras 5.25 Histogramas P yacimiento Central.

En la figura 5.25 el histograma del P muestra un comportamiento sesgado en los grupos 1, 2 y 3 a pesar de la poca población.



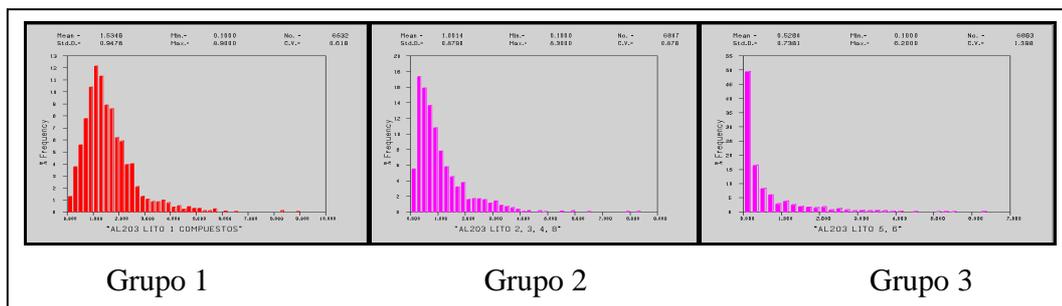
Figuras 5.26 Histogramas Mn yacimiento Central.

En la figura 5.26 los histogramas de los grupos 1, 2, y 3 correspondientes al Mn muestran un comportamiento sesgado.



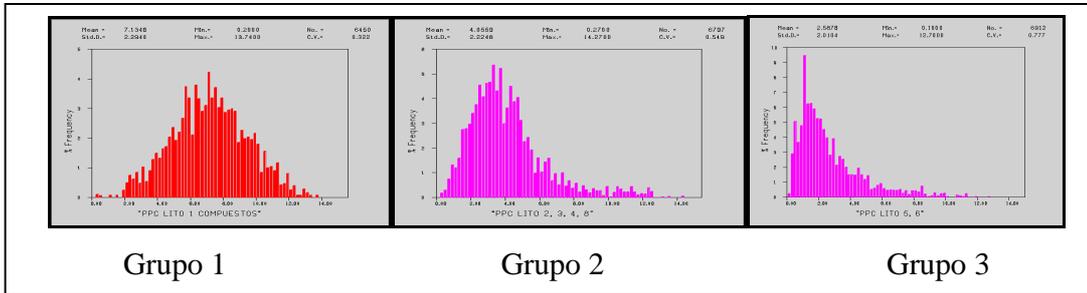
Figuras 5.27 Histogramas SiO₂ yacimiento Oriental.

En la figura 5.27 los histogramas de los grupos 1 y 2 correspondientes a la sílice muestran claramente un comportamiento muy asimétrico y segado a la derecha, mientras que el grupo 3 se aproxima a una distribución normal



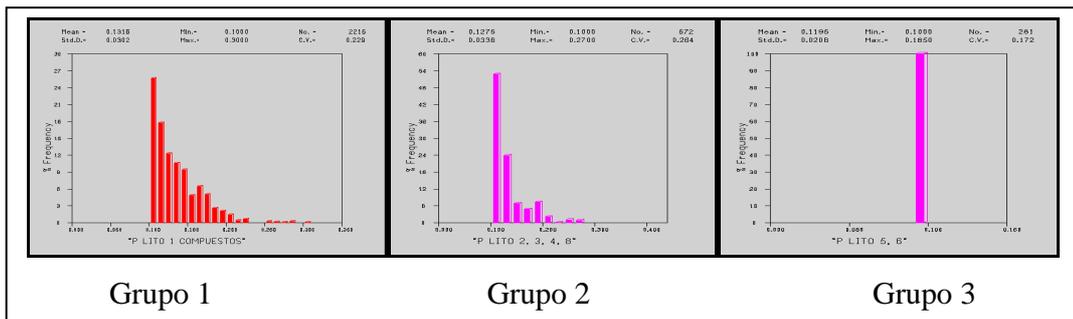
Figuras 5.28 Histogramas yacimiento Oriental parámetro químico Al₂O₃.

En la figura 5.28 los histogramas de los grupos 1, 2, y 3 correspondientes a la alúmina muestran claramente un comportamiento muy asimétrico y segado a la derecha.



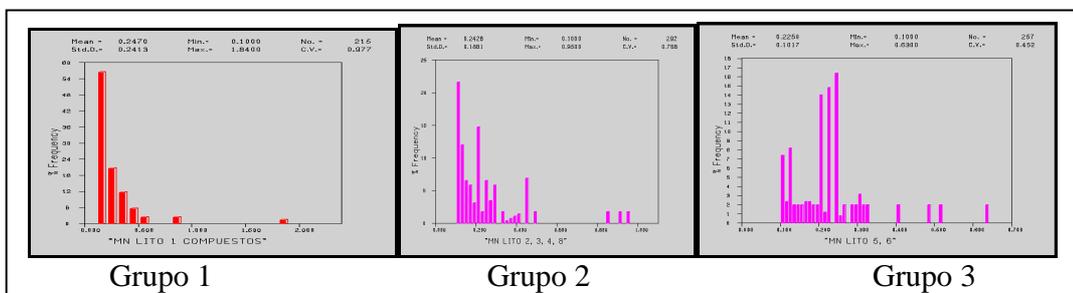
Figuras 5.29 Histogramas PPC yacimiento Oriental.

En la figura 5.29 los histogramas del grupo 1, perteneciente a la PPC se aproxima a una distribución normal, mientras que los grupos 2 y 3 son sesgados.



Figuras 5.30 Histogramas P yacimiento Oriental.

En la figura 5.30 los histogramas de los grupos 1, 2 y 3 pertenecientes al P muestran un comportamiento sesgado a pesar de la poca población.



Figuras 5.31 Histogramas yacimiento Oriental parámetro químico Mn.

En la figura 5.31 los histogramas de los grupos 1, 2 y 3 pertenecientes al Mn muestran un comportamiento sesgado a pesar de la poca población.

5.5 Análisis del resultado de los correlogramas

Los correlogramas de los yacimientos indican que la mayoría de las variables químicas tiene un comportamiento anisotrópico, ya que mostraron formas elípticas muy claras salvo algunas muy exactas que presentaron isotropía ya que mostraron formas esféricas muy claras correspondientes al yacimiento Central específicamente el grupo 3 de la sílice (SiO_2) y el manganeso (Mn). En las tablas 5.4, 5.5, y 5.6, se observan los ángulos de anisotropía que presentan los parámetros químicos en los distintos yacimientos. (Apéndice B).

Tabla 5.4 Ángulos de Anisotropía yacimiento Occidental.

Parámetro	Grupos litológicos	Ángulos
SiO_2	1	30°
SiO_2	2	20°
SiO_2	3	45°
Al_2O_3	1	85°
Al_2O_3	2	85°
Al_2O_3	3	85°
PPC	1	85°
PPC	2	85°
PPC	3	45°
P	1	85°
P	2	85°
P	3	85°
Mn	1	70°
Mn	2	30°
Mn	3	85°

Tabla 5.5 Ángulos de anisotropía yacimiento Central.

Parámetro	Grupos litológicos	Ángulos
SiO ₂	1	85°
SiO ₂	2	85°
SiO ₂	3	45°
Al ₂ O ₃	1	15°
Al ₂ O ₃	2	85°
Al ₂ O ₃	3	0°
PPC	1	50°
PPC	2	85°
PPC	3	85°
P	1	85°
P	2	85°
P	3	85°
Mn	1	5°
Mn	2	85°
Mn	3	85°

Tabla 5.6 Ángulos de anisotropía yacimiento Oriental.

Parámetro	Grupos litológicos	Ángulos
SiO ₂	1	45°
SiO ₂	2	85°
SiO ₂	3	0°
Al ₂ O ₃	1	5°
Al ₂ O ₃	2	60°
Al ₂ O ₃	3	85°
PPC	1	85°
PPC	2	60°
PPC	3	85°
P	1	85°
P	2	85°
P	3	45°
Mn	1	60°
Mn	2	40°
Mn	3	70°

5.6 Análisis del resultado de los variogramas

En los variogramas se establece un radio, promedio de 120 metros, y el variograma teórico que mejor se ajusta a los resultados obtenidos es el modelo esférico. En el caso de la sílice para los yacimientos Central, Occidental y Oriental los resultados alcanzados se ajustan al modelo esférico en los grupos uno (1) y dos (2) hallándose mayor variabilidad en el grupo tres (3), esto debido a que la variedad de valores para la sílice en las cuarcitas es considerable.

El comportamiento de los variogramas para el caso de la alúmina de los diferentes yacimientos en los grupos 1 y 3 esta ajustado al modelo esférico mientras, que en el grupo 2 ocurre cierta anomalía en el resultado respecto al efecto pepita, debido a que se están mezclando valores muy bajos de alúmina como es el de los finos con valores más elevados como los de la limonita, respecto a la pérdida por calcinación estos grupos se ajustan al modelo teórico en cuestión, en el caso del fósforo los resultados mejor ajustados son los del grupo uno (1) y tres (3), para el grupo dos (2) ocurre cierta anomalía en el resultado respecto al efecto pepita, debido a que se están mezclando valores muy bajos de fósforo como es el de los finos, finos silíceos y finos muy silíceos con valores más elevados como los de la limonita; para el caso del manganeso los variogramas resultantes son menos ajustados al modelo teórico, debido a que existen diferencias en los valores, es decir, valores con porcentajes de frecuencia muy altos en conjunto con otros valores de porcentajes de frecuencia muy bajos. Los resultados obtenidos de los variogramas se muestran en las tablas 5.7, 5.8, y 5.9 y las figuras de los variogramas correspondientes a los yacimientos se presentan en el apéndice C.

Tabla 5.7 Parámetros de los variogramas yacimiento Occidental.

Parámetro	Grupos litológicos	Nugget	Sill	Rango
SiO ₂	1	0.08348	1.55218	86
SiO ₂	2	0.43180	0.91685	57
SiO ₂	3	0.05896	0.11144	99
Al ₂ O ₃	1	0.03503	0.41520	61
Al ₂ O ₃	2	1.03048	1.28332	64
Al ₂ O ₃	3	0.52208	1.23736	66
PPC	1	0.00784	0.32686	111
PPC	2	0.13458	0.53993	135
PPC	3	0.06982	0.24177	75
P	1	0.01828	0.29288	77
P	2	0.16406	0.31967	69
P	3	0.23077	0.42465	83
Mn	1	0.01762	0.46039	71
Mn	2	0.12129	0.51687	85
Mn	3	0.11632	0.45862	97

Tabla 5.8 Parámetros de los variogramas yacimiento Central.

Parámetro	Grupos litológicos	Nugget	Sill	Rango
SiO ₂	1	0.38372	1.41056	88
SiO ₂	2	0.17434	1.25467	59
SiO ₂	3	0.03148	0.06591	130
Al ₂ O ₃	1	0.11989	0.40612	127
Al ₂ O ₃	2	0.36580	1.33286	144
Al ₂ O ₃	3	1.04786	2.56438	128
PPC	1	0.00150	0.12739	211
PPC	2	0.00737	0.48341	153
PPC	3	0.11698	0.23817	141
P	1	0.06520	0.13437	145
P	2	0.06689	0.27679	186
P	3	0.08345	0.10543	151
Mn	1	0.14855	0.31429	91
Mn	2	0.23808	0.86443	158
Mn	3	0.01241	0.77237	128

Tabla 5.9 Parámetros de los variogramas yacimiento Oriental.

Parámetro	Grupos litológicos	Nugget	Sill	Rango
SiO ₂	1	0.09658	1.23178	77
SiO ₂	2	0.33169	1.05160	83
SiO ₂	3	0.01340	0.09503	77
Al ₂ O ₃	1	0.04946	0.70676	75
Al ₂ O ₃	2	0.13532	0.69984	100
Al ₂ O ₃	3	0.07237	1.05490	85
PPC	1	0.01510	0.11076	135
PPC	2	0.00311	0.30778	158
PPC	3	0.00494	0.58210	127
P	1	0.00097	0.04396	71
P	2	0.00070	0.08309	73
P	3	0.00000	0.04340	95
Mn	1	0.01796	2.15170	74
Mn	2	0.01759	2.25963	145
Mn	3	0.01285	1.35529	100

5.7 Análisis del punto de validación

En las tablas 5.10, 5.11 y 5.12 se presentan los resultados del punto de validación, obtenidos por el método del inverso de la distancia al cuadrado (IDW) y el kriging, excepto la sílice del grupo 3 en los diferentes yacimientos no arrojaron resultados, al igual que la pérdida por calcinación del grupo 1 en el Occidental y el fósforo del grupo 3 en el Oriental.

Tabla 5.10 Parámetros del punto de validación yacimiento Occidental.

Parámetro	Grupos litológicos	Coeficiente de correlación	
		IDW	Kriggin
SiO ₂	1	0.7601	0.7725
SiO ₂	2	0.8051	0.6972
SiO ₂	3	-	-
Al ₂ O ₃	1	0.6949	0.6824
Al ₂ O ₃	2	0.8354	0.7273
Al ₂ O ₃	3	0.8505	0.8398
PPC	1	-	-
PPC	2	0.6544	0.5735
PPC	3	0.5428	0.5750
P	1	0.7497	0.7882
P	2	0.8961	0.8604
P	3	0.9154	0.8426
Mn	1	0.7861	0.7415
Mn	2	0.8735	0.8382
Mn	3	0.7563	0.7373

Tabla 5.11 Parámetros del punto de validación yacimiento Central.

Parámetro	Grupos litológicos	Coeficiente de correlación	
		IDW	Kriggin
SiO ₂	1	0.7076	0.6841
SiO ₂	2	0.7954	0.7769
SiO ₂	3	-	-
Al ₂ O ₃	1	0.6120	0.5993
Al ₂ O ₃	2	0.7489	0.7311
Al ₂ O ₃	3	0.8695	0.7964
PPC	1	0.8073	0.8118
PPC	2	0.8787	0.8802
PPC	3	0.8333	0.7256
P	1	0.8586	0.7887
P	2	0.8678	0.8252
P	3	0.7429	0.5828
Mn	1	0.4815	0.3384
Mn	2	0.8397	0.8073
Mn	3	0.7794	0.7834

Tabla 5.12 Parámetros del punto de validación yacimiento Oriental.

Parámetro	Grupos litológicos	Coeficiente de correlación	
		IDW	Kriggin
SiO ₂	1	0.7296	0.7521
SiO ₂	2	0.7235	0.6896
SiO ₂	3	-	-
Al ₂ O ₃	1	0.8184	0.8257
Al ₂ O ₃	2	0.7609	0.7546
Al ₂ O ₃	3	0.8368	0.8437
PPC	1	0.8138	0.8075
PPC	2	0.8342	0.8291
PPC	3	0.8551	0.8630
P	1	0.8483	0.8575
P	2	0.8410	0.8439
P	3	-	-
Mn	1	0.3785	0.3936
Mn	2	0.8893	0.8676
Mn	3	0.8559	0.8534

5.8 Determinación de los radios de influencia para los yacimientos del Cerro Altamira.

La compañía Mintec Inc. determinó en el año 1999 los radios de influencia de 568 sondeos geoexploratorios de los diferentes parámetros químicos (SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P y Mn) para cada tipo litológico del Cerro Altamira de forma general, sin embargo desde entonces se ha incrementado la base de datos de los sondeos geoexploratorios a 849, es decir, en un 49,47%. Lo que implica la diferencia a la hora de aplicar la variografía. Cabe destacar que este estudio está realizado a los yacimientos Central, Oriental y Occidental que conforman el Cerro Altamira.

En el presente estudio los radios de influencias obtenidos por grupos litológicos para los parámetros químicos (SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P y Mn) muestran resultados bastantes similares entre los yacimientos Occidental y Oriental del Cerro Altamira mientras que en el yacimiento Central los resultados son mucho más variables en los radios de influencias alcanzados debido a su estructura geológica, excepto en el parámetro químico de la sílice (SiO_2) estos grupos litológicos (grupo 1, 2 y 3) pertenecientes a estos yacimientos presentan muy poca variabilidad.

Es importante destacar que la determinación de los radios de influencia se llevo a cabo para actualizar y verificar los mismos, debido al notable incremento de la base de datos en los distintos yacimientos, logrando así cumplir con los limites exigidos.

En la tabla 5.13, se muestran los resultados de los radios de influencia obtenidos de los diferentes comportamientos que presentan los parámetros químicos en los distintos yacimientos.

Tabla 5.13 Radios de influencias de los yacimientos del cerro Altamira.

Parámetro	Grupos litológicos	Radios de influencia yacimiento Occidental	Radios de influencia yacimiento Central	Radios de influencia yacimiento Oriental
SiO ₂	1	86	88	77
SiO ₂	2	57	59	83
SiO ₂	3	99	130	77
Al ₂ O ₃	1	61	127	75
Al ₂ O ₃	2	64	144	100
Al ₂ O ₃	3	66	128	85
PPC	1	111	211	135
PPC	2	135	153	158
PPC	3	75	141	127
P	1	77	145	71
P	2	69	186	73
P	3	83	151	95
Mn	1	71	91	74
Mn	2	85	158	145
Mn	3	97	128	100

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Con el estudio geoestadístico se logró cumplir con los límites exigidos ya que los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, lo que indica que éste estudio es de gran beneficio para la evaluación de yacimientos minerales.

2. Mediante los análisis estadísticos realizados, el parámetro químico de la sílice, en los grupos 1, y 2 muestran un comportamiento sesgado en los yacimientos, mientras que el grupos 3 se aproximan a una distribución normal, la alúmina, y el fosforo en los diferentes yacimientos muestran claramente un comportamiento muy sesgados y asimétrico, en cuanto a la pérdida por calcinación los grupos 2 y 3 mostraron un comportamiento sesgado, mientras que el grupo 1 se aproximan a una distribución normal, en cuanto al manganeso específicamente los yacimientos Central y Oriental muestran un comportamiento sesgado en los 1, 2 y 3, mientras que en el yacimiento Oriental el grupo 2 del manganeso muestra un comportamiento aproximado a una distribución normal y los grupos 1 y 3 muestran un comportamiento sesgado.

3. El estudio obtenido con los correlogramas arrojó como resultado un comportamiento anisotrópico en la mayoría de las variables químicas, excepto en el yacimiento Central específicamente el grupo 3 de la sílice (SiO_2) y el manganeso (Mn) que presentaron isotropía.

4. El estudio variográfico arrojó como resultado que los parámetros químicos sílice (SiO_2) y pérdida por calcinación (PPC), de los grupos 1, 2, 3 se ajustan al modelo esférico en los distintos yacimientos, respecto a la alúmina (Al_2O_3), y fósforo (P) solo se ajustan al modelo esférico los grupos 1, y 3, ya que en el grupo 2 el modelo esférico no se ajusta bien, observándose cierta anomalía en el origen (efecto pepita), mientras que el manganeso (Mn) los grupo 1, 2, y 3 el modelo esférico no se ajusta bien.

5. Los radios de influencias obtenidos respecto a la sílice (SiO_2), correspondientes a los grupos 1 y 2 presentaron resultados bastante similares en los distintos yacimientos, mientras que en el grupo 3 estos son mucho más variables, en cuanto a la alúmina (Al_2O_3) los radios de influencia son muy variables en los grupos 1, 2, y 3 en los diferentes yacimientos, referente a la pérdida por calcinación (PPC) el grupo 2 presentó radios de influencia muy afines en los yacimientos mientras que los grupos 1 y 3 presentaron más variabilidad, respecto al fósforo (P) los grupo 1, 2, y 3 pertenecientes a los yacimientos Occidental y Oriental la diferencia es muy poca entre los radios habiendo mayor variabilidad en el yacimiento Central, en el manganeso (Mn) el grupo 1, y 3 pertenecientes a los yacimientos Occidental y Oriental son muy parecidos, habiendo mayor variabilidad en los grupos 1, 2, y 3 del yacimiento Central y en el grupo 2 del yacimiento Occidental y Oriental.

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones van dirigidas a Corporación Venezolana de Guayana Ferrominera Orinoco, específicamente al Departamento de Geología.

1. Utilizar los radios de influencia arrojados en este estudio para modelar los yacimientos.

2. Aumentar la base de datos correspondientes a los distintos yacimientos, para optimizar el estudio, en caso de que sea necesario.

3. Realizar este tipo de estudio en los demás yacimientos que conforman el cuadrilátero Ferrífero San Isidro, ya que éste método ofrece de manera más detallada el comportamiento de los distintos parámetros existentes en las menas.

4. Anexar la asignatura de geoestadística en el pensum académico de las carreras geológicas-mineras que se ofertan en la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente.

REFERENCIAS

Albarrán, M. (2008). **ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO Y VARIOGRÁFICO DEL YACIMIENTO CERRO BOLÍVAR, CIUDAD PIAR, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo de grado. Universidad Central de Venezuela, P. 125.

Ascanio, G. (1985) **DEPÓSITOS DE HIERRO EN EL PRECÁMBRICO DE VENEZUELA**. Boletín Geológico, Publicación Especial, Caracas- Venezuela. pp 464-473.

Chica, M. (1998). **ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO EN EL ESTUDIO DE LA EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES**. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España. Pp 3-90.

Cuador, J. y Quintero, A. (1999). **ANÁLISIS ESTRUCTURAL, PUNTO DE PARTIDA DE TODO ESTUDIO GEOESTADÍSTICO**. Revista Minería y Geología, vol. XVI, n.3, pp 16-22.

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G). Ferrominera Orinoco C.A. (1983). **EL MINERAL DE HIERRO EN VENEZUELA**. Ciudad Piar, Venezuela: Separata. pp. 13-20.

Corporación Venezolana de Guayana. Técnica Minera C.A. (C.V.G – Tecmin) (1987). **PROYECTO INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DE LA REGIÓN GUAYANA**. Manual metodológico (versión preliminar). P 330.

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Ferrominera Orinoco C.A. (1991). **ESTUDIOS DE LOS YACIMIENTOS**. Informe Interno.

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Ferrominera Orinoco C.A. (2009). **MENAS BLANDAS Y DURAS DE ALTO TENOR, MENAS DE BAJO TENOR, MATERIAL ESTÉRIL**. Intranet.

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Ferrominera Orinoco C.A. (2009). **UBICACIÓN RELATIVA DE LOS YACIMIENTOS Y SUS ACCESOS**. Publicación interna.

Dávila, D. (2006). **ESTUDIO GEOESTADÍSTICO DE LA BASE DE DATOS DE LOS SONDEOS GEOEXPLORATORIOS Y CONOS PARA VOLADURA DE LA MINA SAN ISIDRO**.

Grijalva, C. y Carrión, P. (2008). **MODELIZACIÓN GEOESTADÍSTICA DE UN YACIMIENTO DE ORO DEL DISTRITO MINERO LA JOYA (ORURO-BOLIVIA)**.

Journel A. y Huijbregts C. (1978). **MINERÍA GEOESTADÍSTICA**. Academic Press, Nueva York, P. 600.

Kallikoski, J. (1965). **GEOLOGÍA DE LA PARTE NORTE-CENTRAL DEL ESCUDO DE GUAYANA**. Boletín Geológico N° 7. Caracas, Venezuela, pp. 28-30.

Matheron, G. (1970). **TEORÍA DE LAS VARIABLES REGIONALIZADAS**. Escuela Superior de Minas de París.

Mintec Inc. (1999). **GEOSTATISTICAL ANALISYS AND RESOURCE ESTIMATION**. Saunders Company. Philadelphia. pp 15-56.

Mendoza, V. (2.000). **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA (Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SURAMERICANO)**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp. 10-21.

Vera, M. (2008). **DETERMINACIÓN DE LOS RADIOS DE INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS LITOLÓGICOS PROVENIENTES DE LOS SONDEOS GEOEXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO LOS BARRANCOS, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Villanueva, A. (2002). **INTRODUCCIÓN A LA GEOESTADÍSTICA MINERA**. Curso. Universidad Central de Venezuela. pp 5-30.

APÉNDICES

APÉNDICES A

Curvas log. probabilísticas correspondientes a los yacimientos del cerro

Altamira

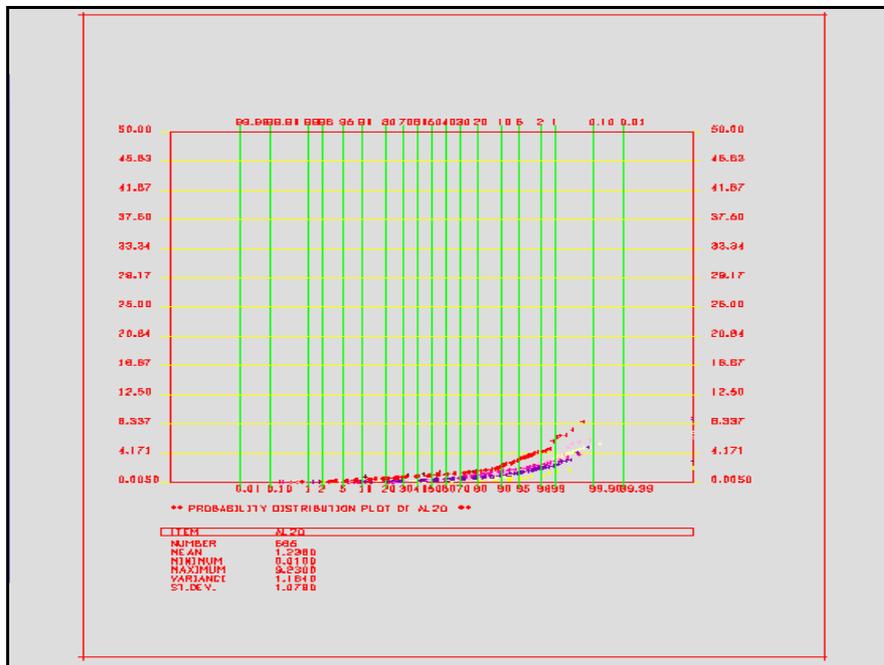


Figura A.1 Curva de probabilidad de la Al₂O₃ yacimiento Occidental.

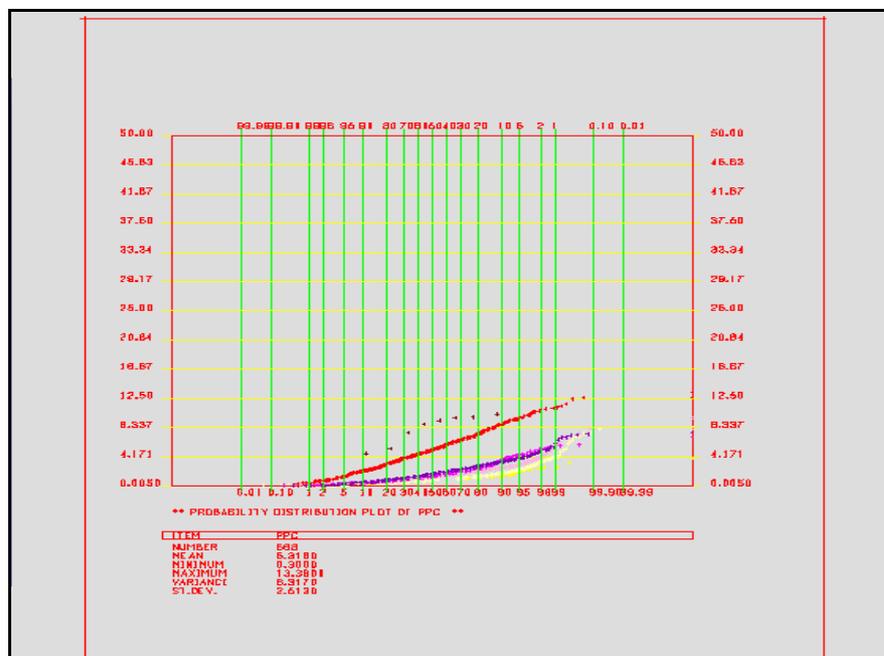


Figura A.2 Curva de probabilidad de la PPC yacimiento Occidental.

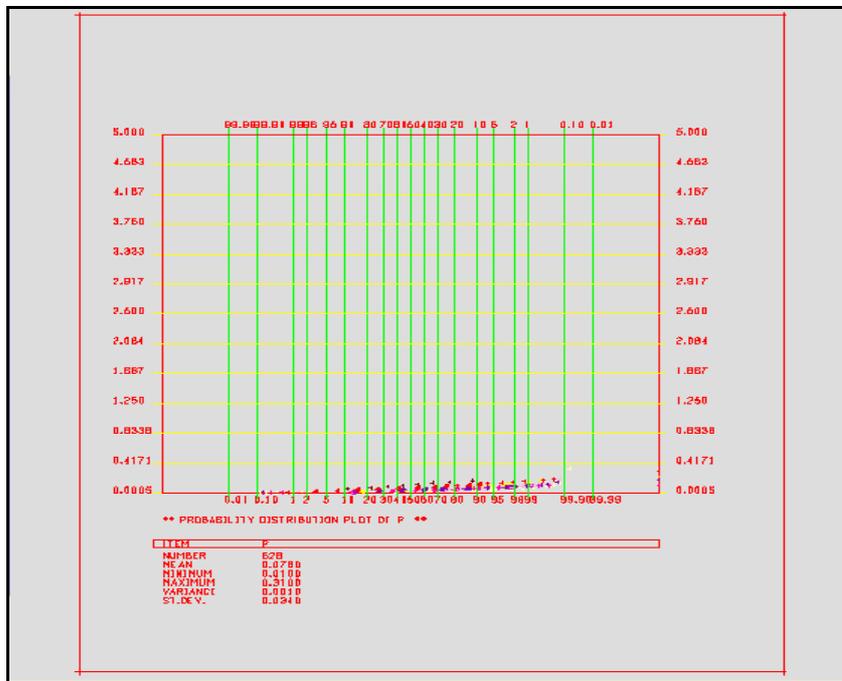


Figura A.3 Curva de probabilidad de la P yacimiento Occidental.

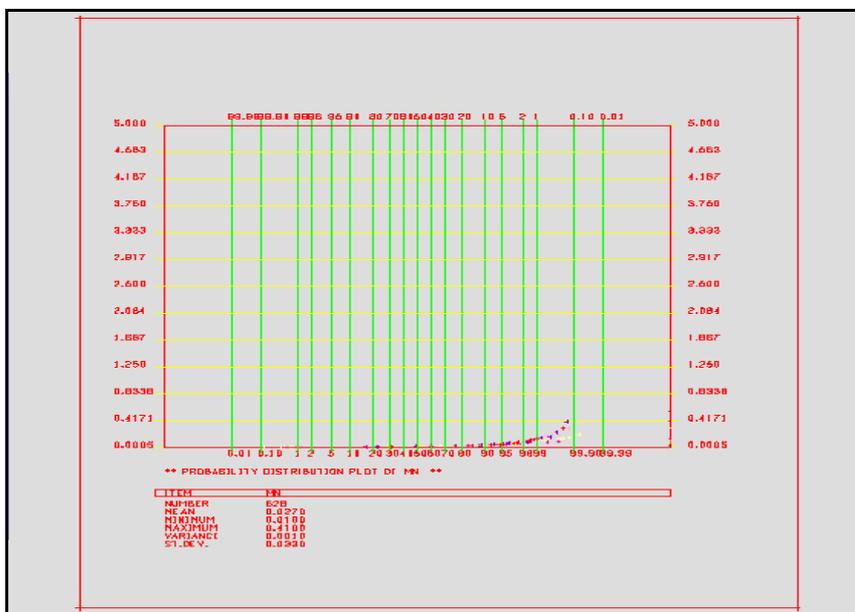


Figura A.4 Curva de probabilidad para Mn yacimiento Occidental.

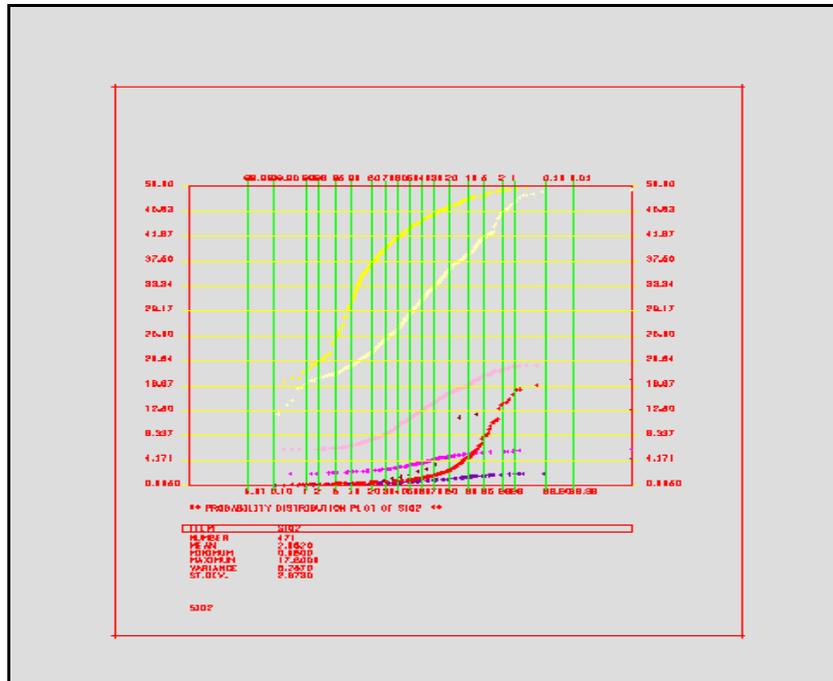


Figura A.5 Curva de probabilidad para SiO_2 yacimiento Central.

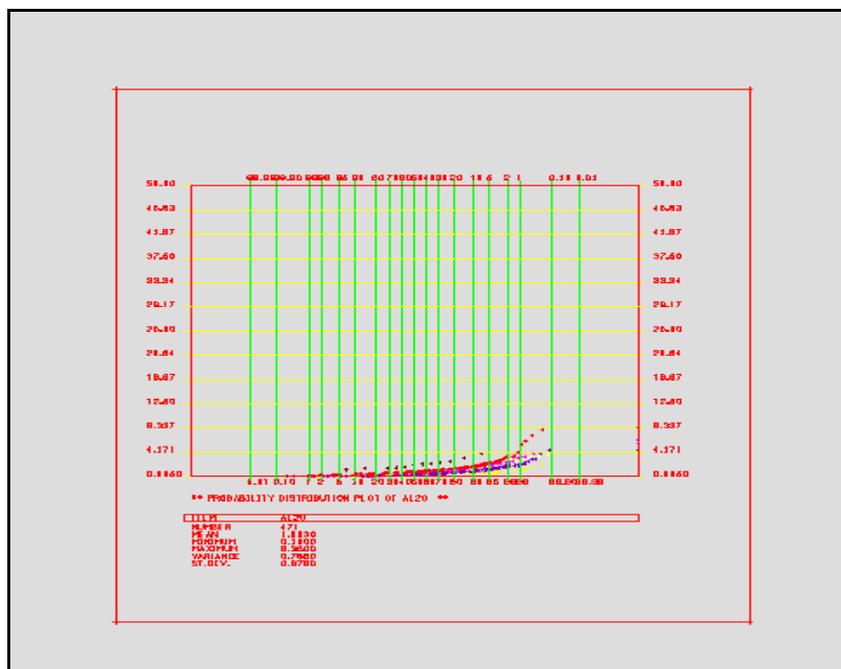


Figura A.6 Curva de probabilidad para Al_2O_3 yacimiento Central.

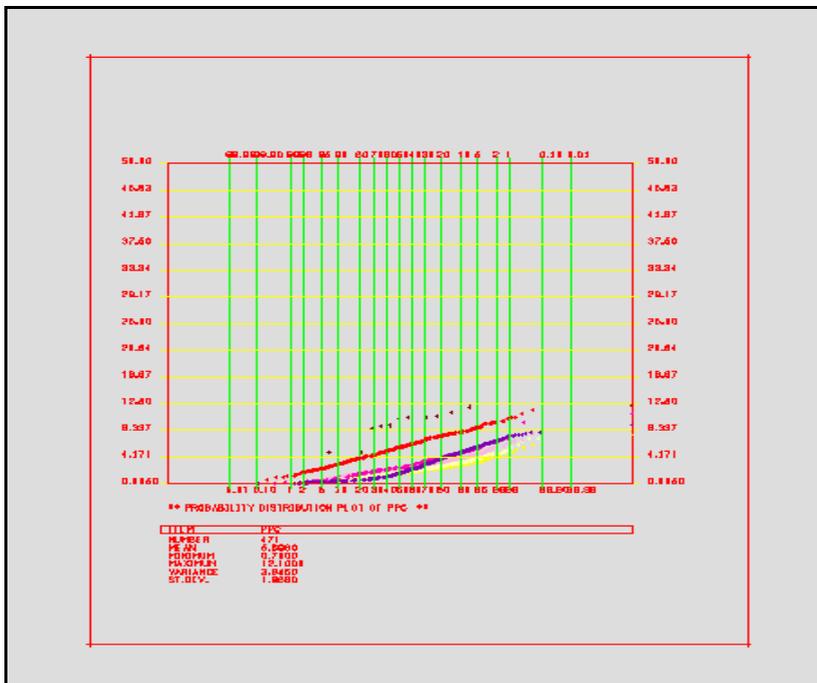


Figura A.7 Curva de probabilidad para PPC yacimiento Central.

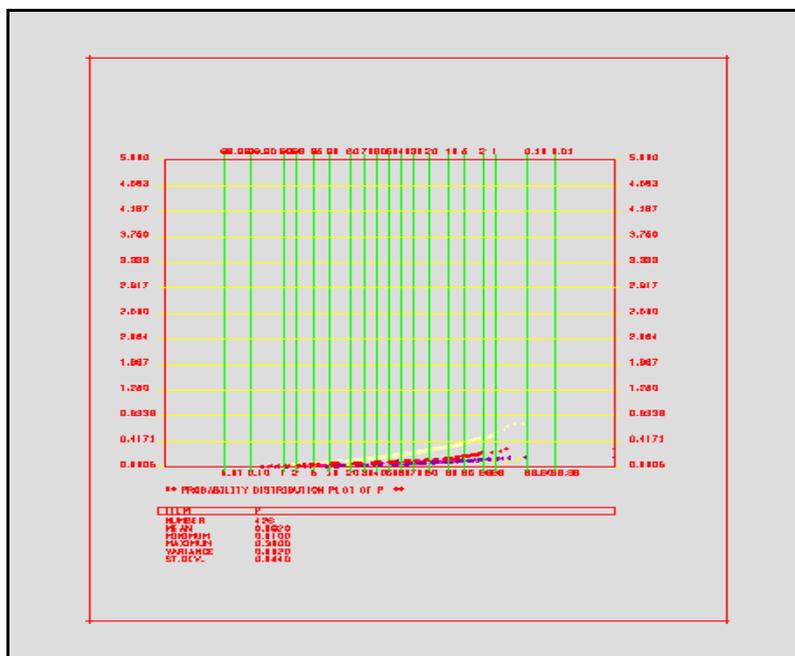


Figura A.8 Curva de probabilidad para P yacimiento Central.

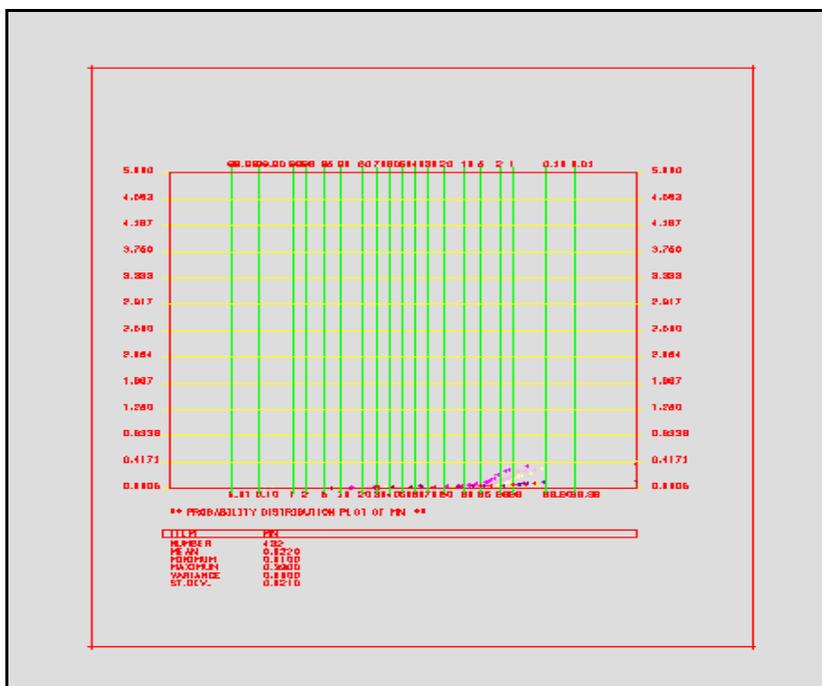


Figura A.9 Curva de probabilidad para Mn yacimiento Central.

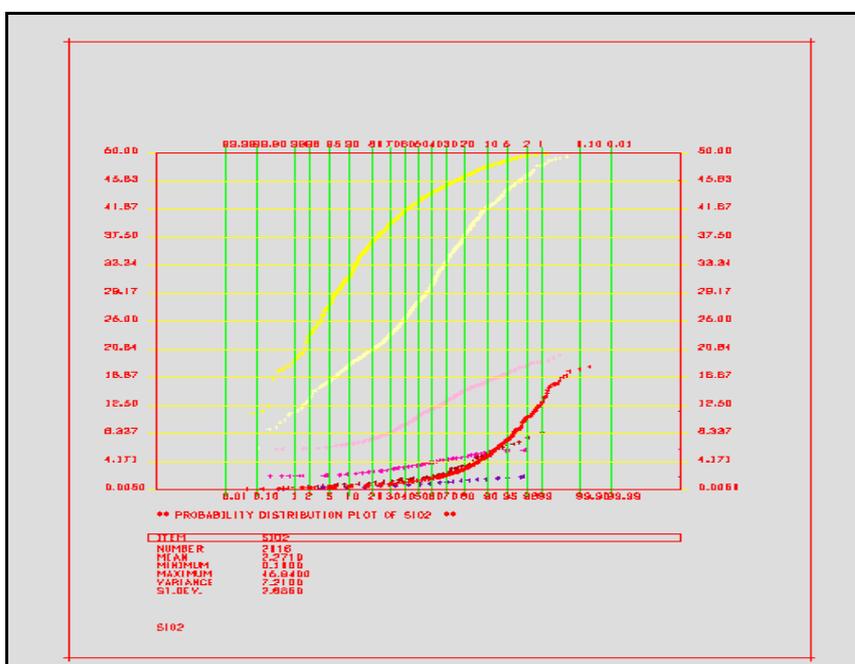


Figura A.10 Curva de probabilidad para SiO₂ yacimiento Oriental.

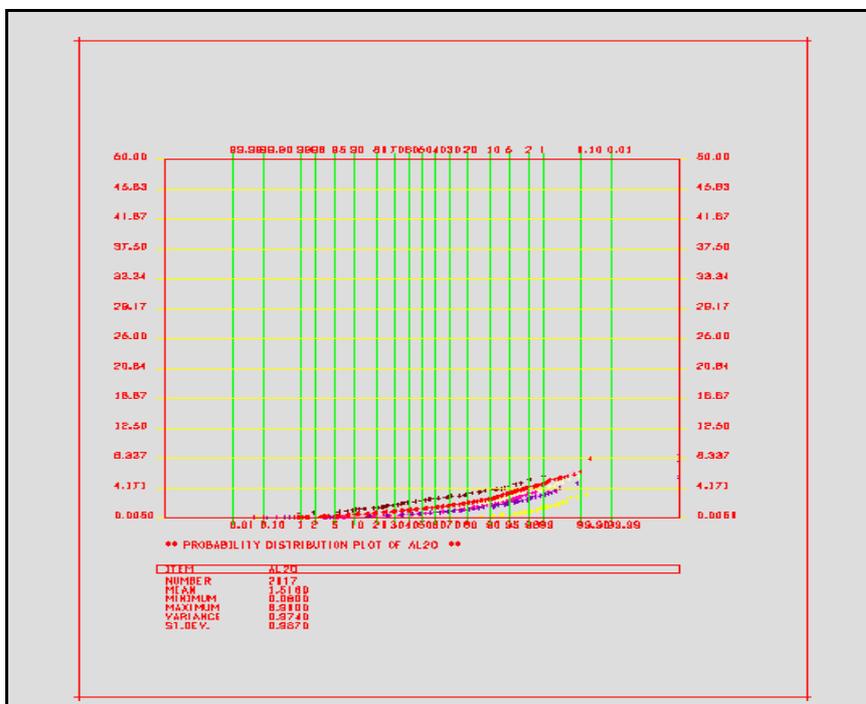


Figura A.11 Curva de probabilidad para Al₂O₃ yacimiento Oriental.

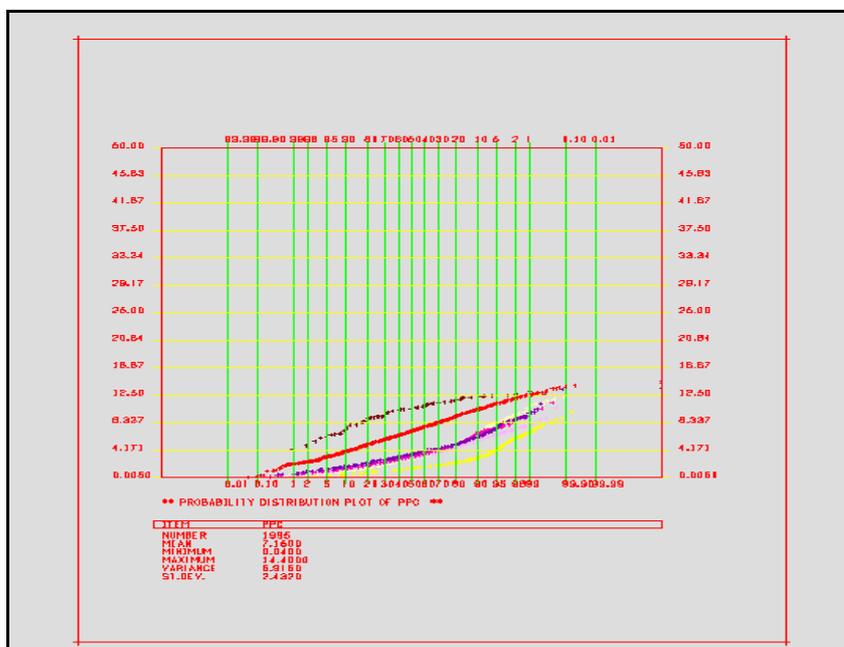


Figura A.12 Curva de probabilidad para PPC yacimiento Oriental.

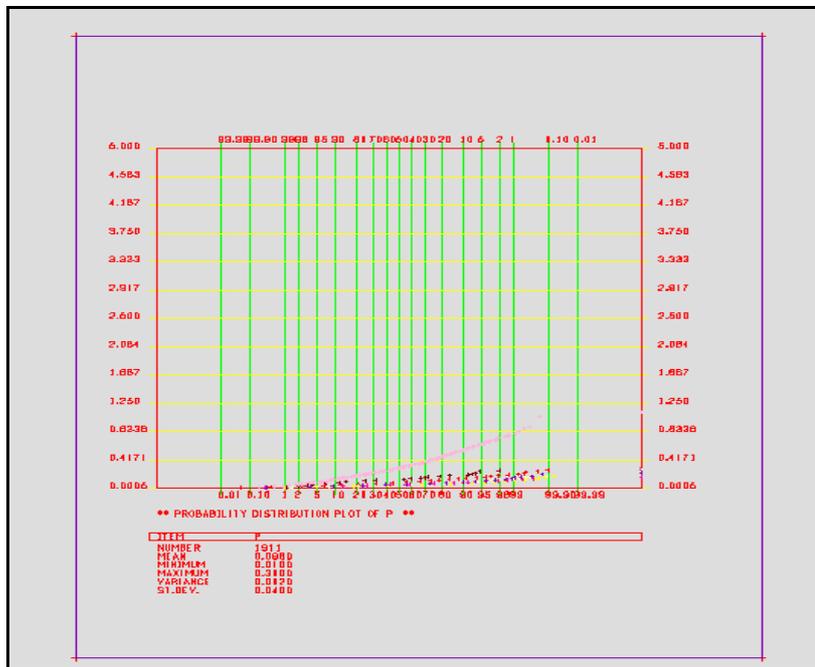


Figura A.13 Curva de probabilidad para P yacimiento Oriental.

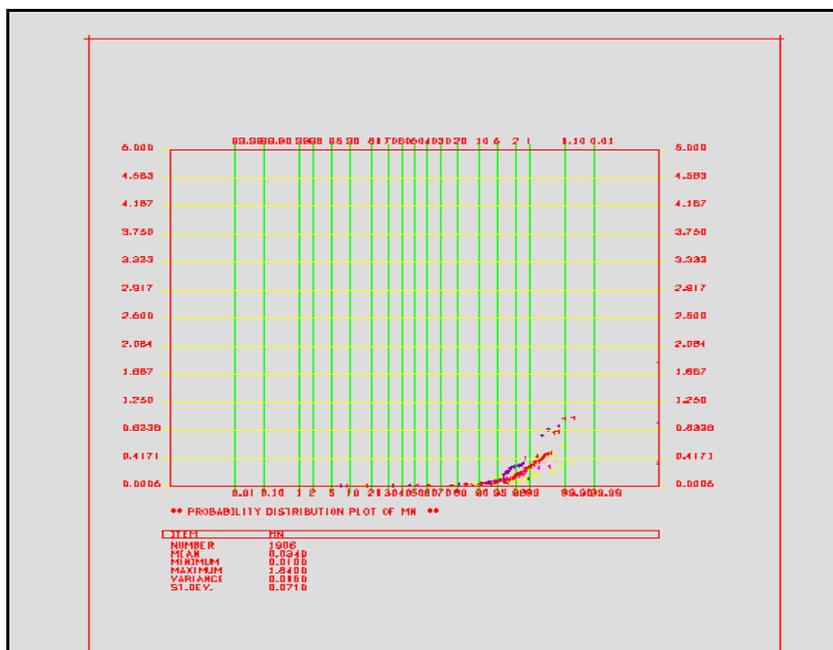


Figura A.14 Curva de probabilidad para Mn yacimiento Oriental.

APÉNDICES B

Correlogramas construidos por litologías agrupadas para cada parámetro químico correspondientes a los yacimientos del cerro Altamira

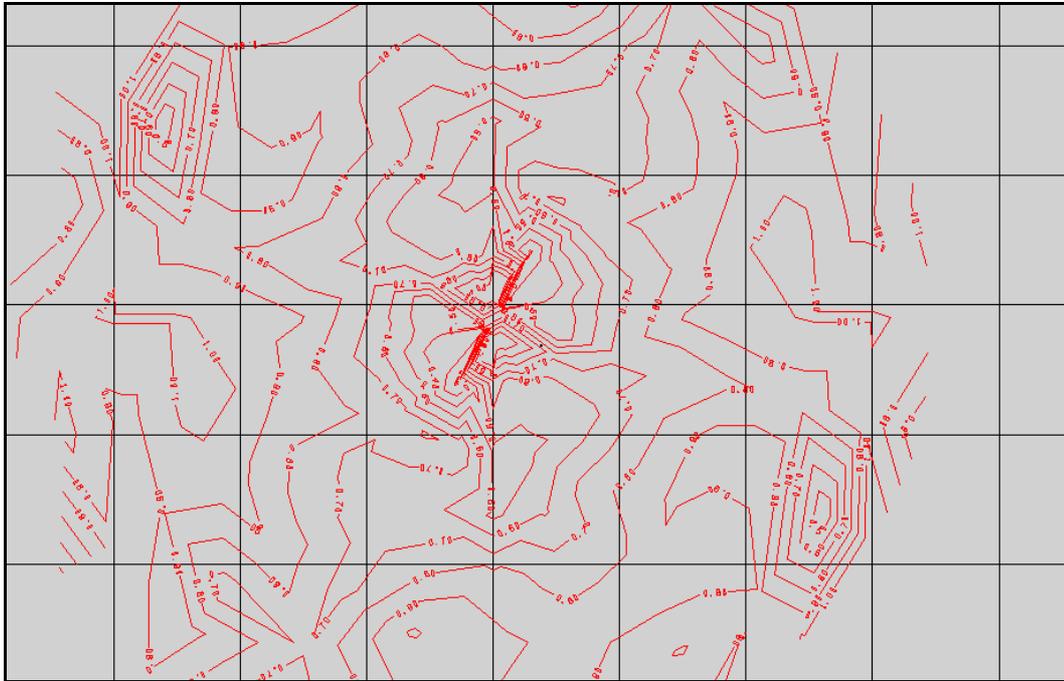


Figura B.1 Yacimiento Occidental grupo 1 SiO₂.

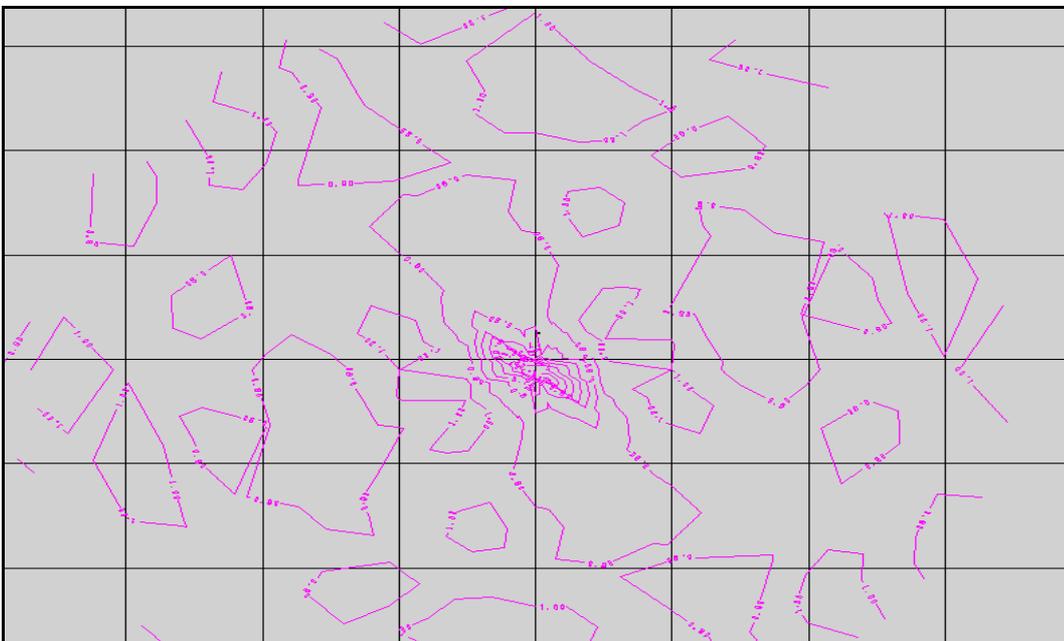


Figura B.2 Yacimiento Occidental grupo 2 SiO₂.

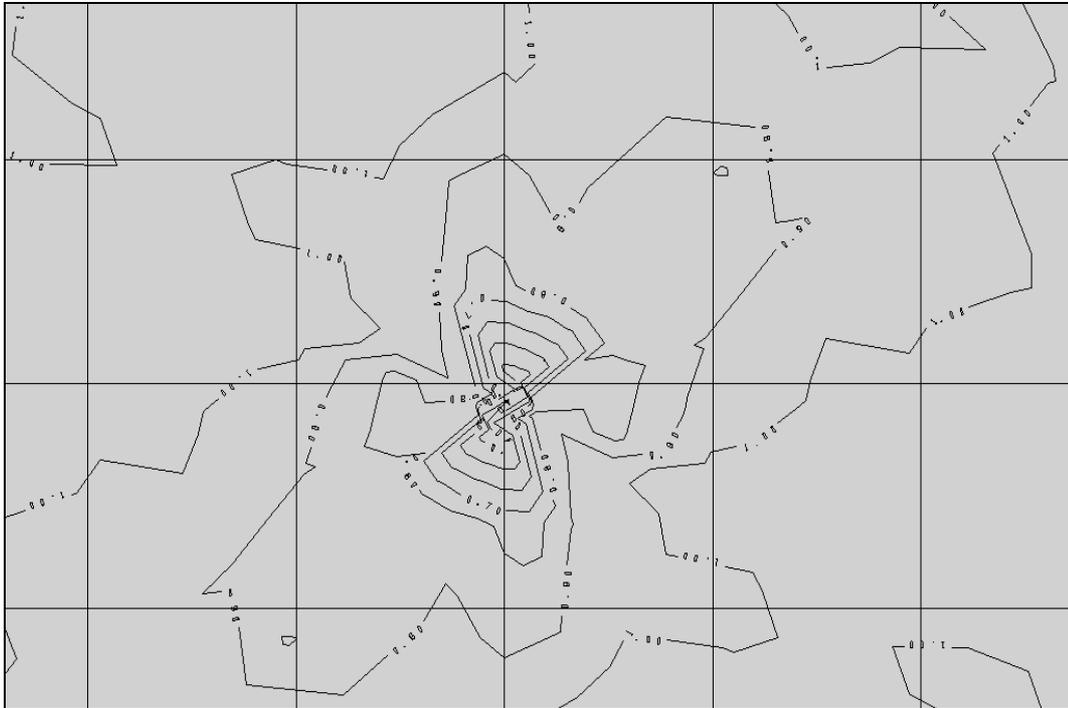


Figura B.3 Yacimiento Occidental grupo 3 SiO₂.

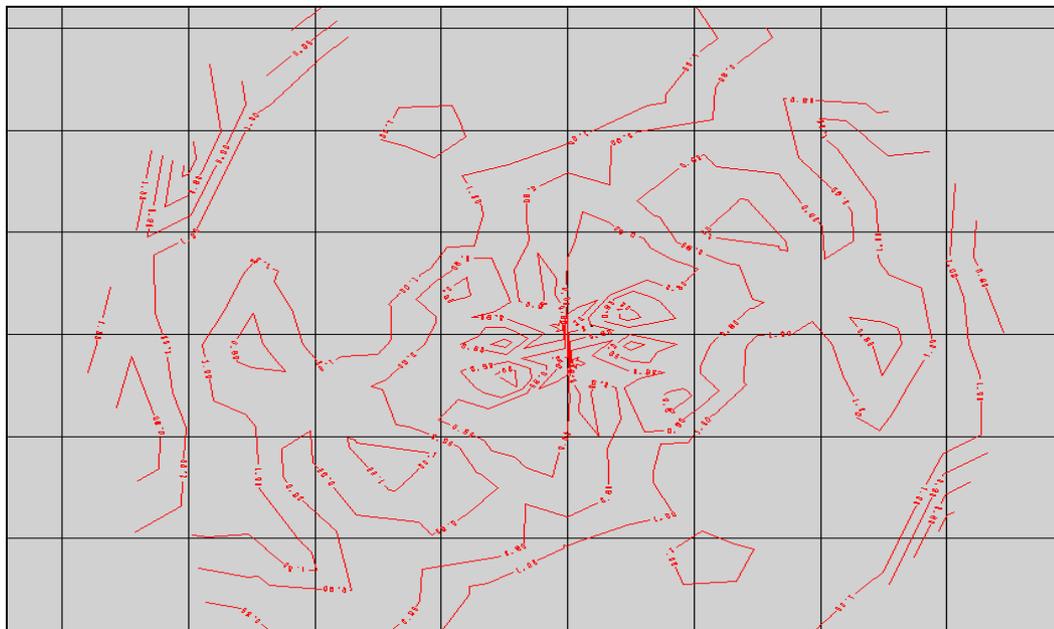


Figura B.4 Yacimiento Occidental grupo 1 Al₂O₃.

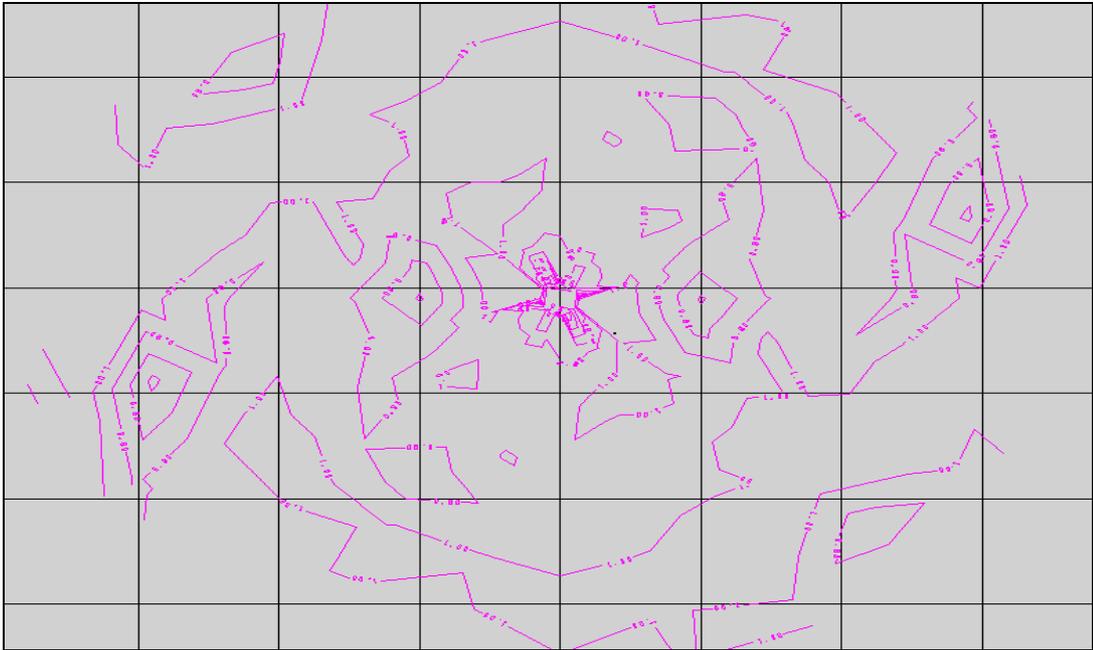


Figura B.5 Yacimiento Occidental grupo 2 Al₂O₃.



Figura B.6 Yacimiento Occidental grupo 3 Al₂O₃.

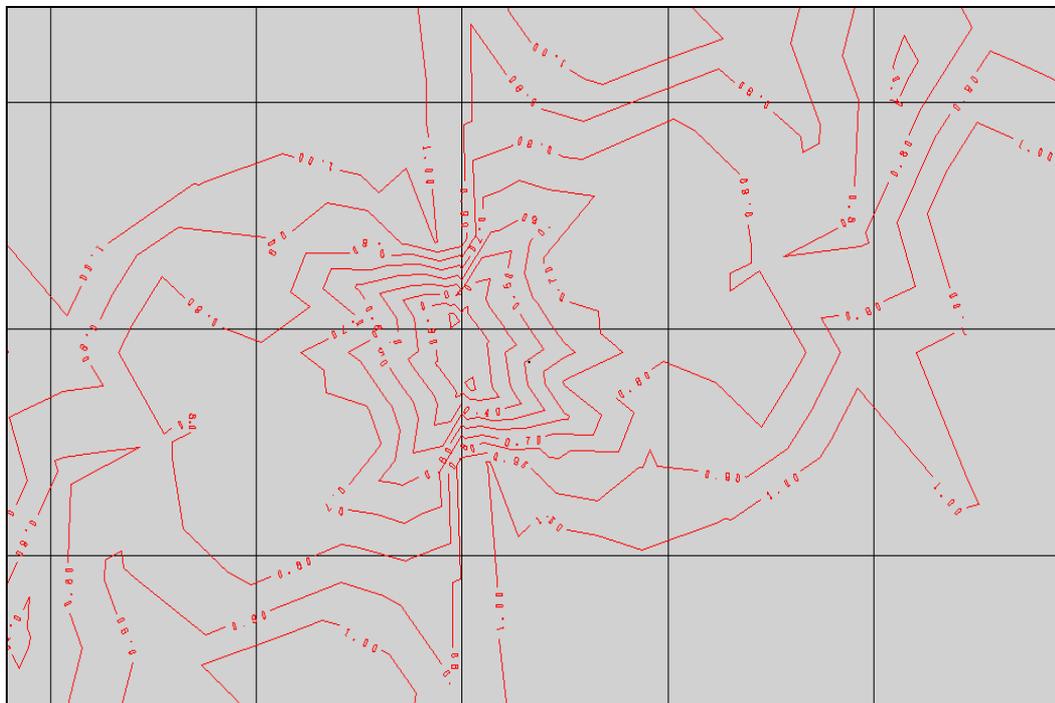


Figura B.7 Yacimiento Occidental grupo 1 PPC.

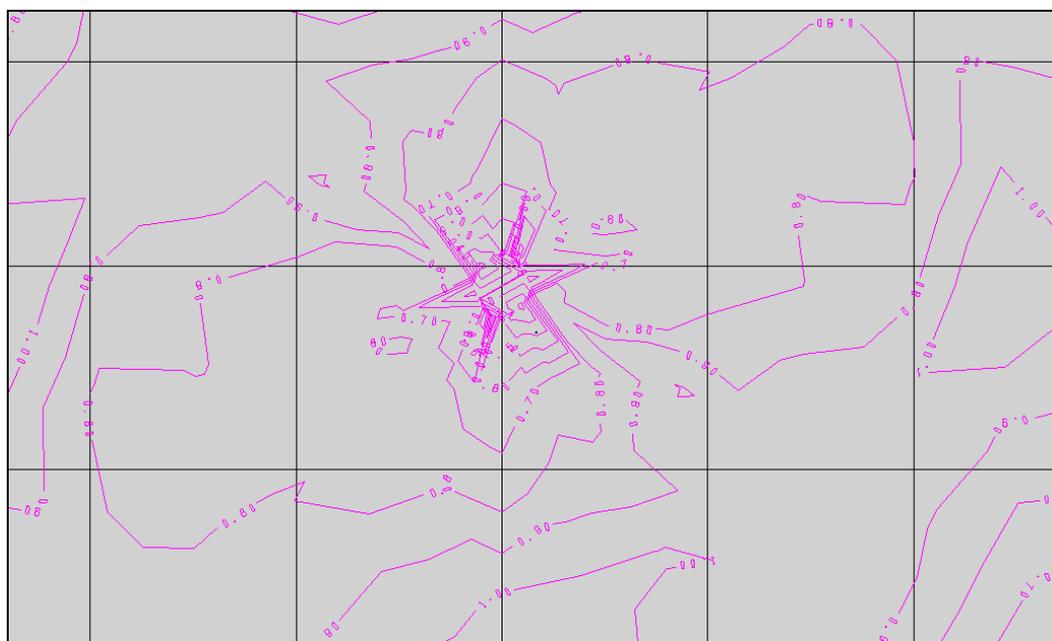


Figura B.8 Yacimiento Occidental grupo 2 PPC.

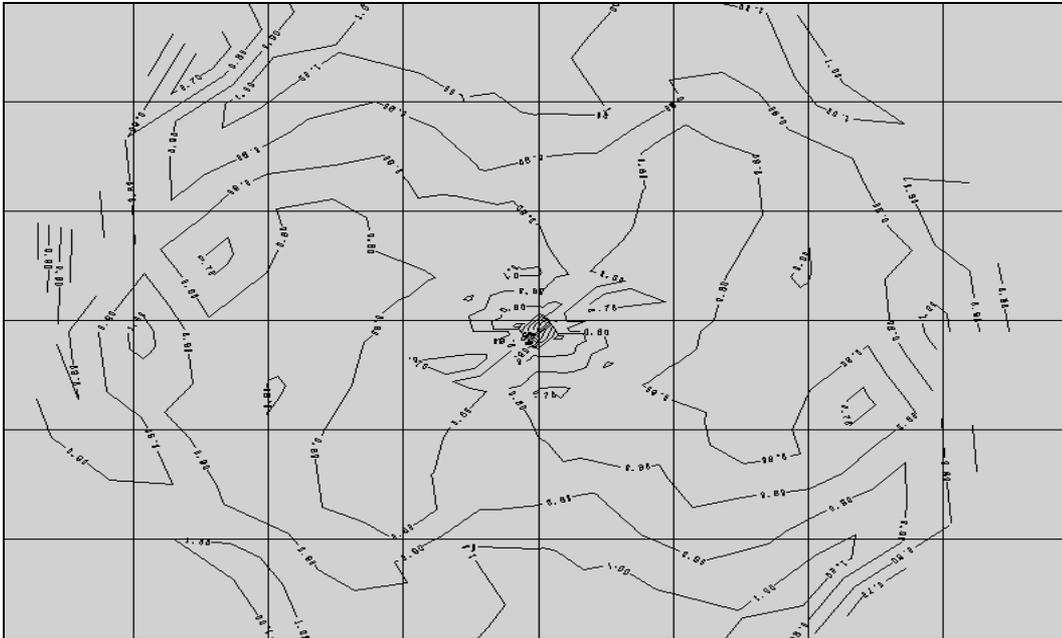


Figura B.9 Yacimiento Occidental grupo 3 PPC.

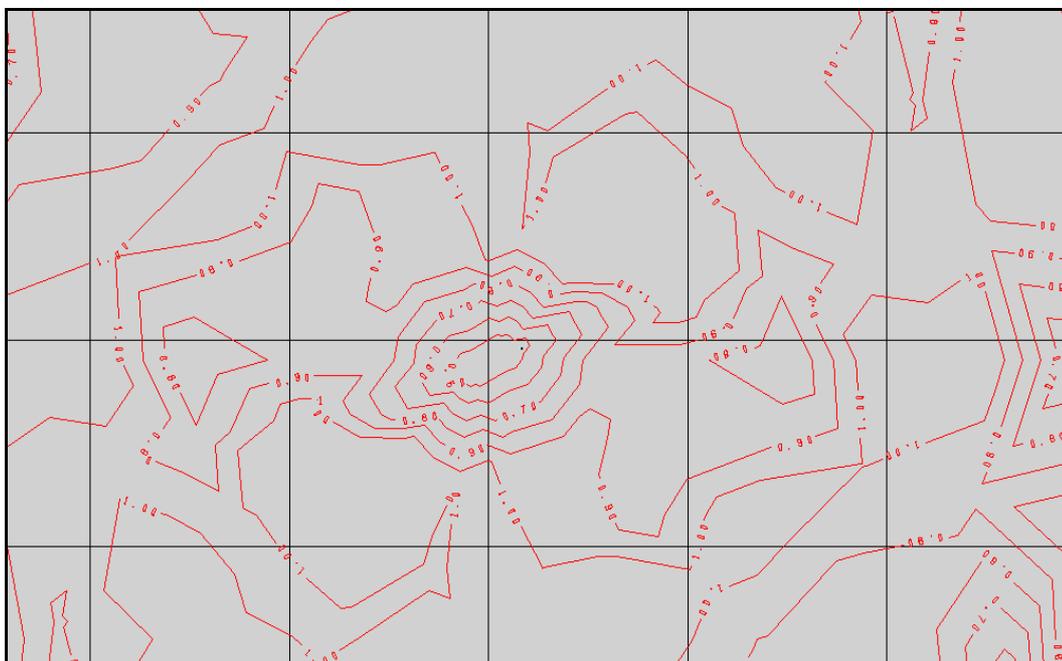


Figura B.10 Yacimiento Occidental grupo 1 P.

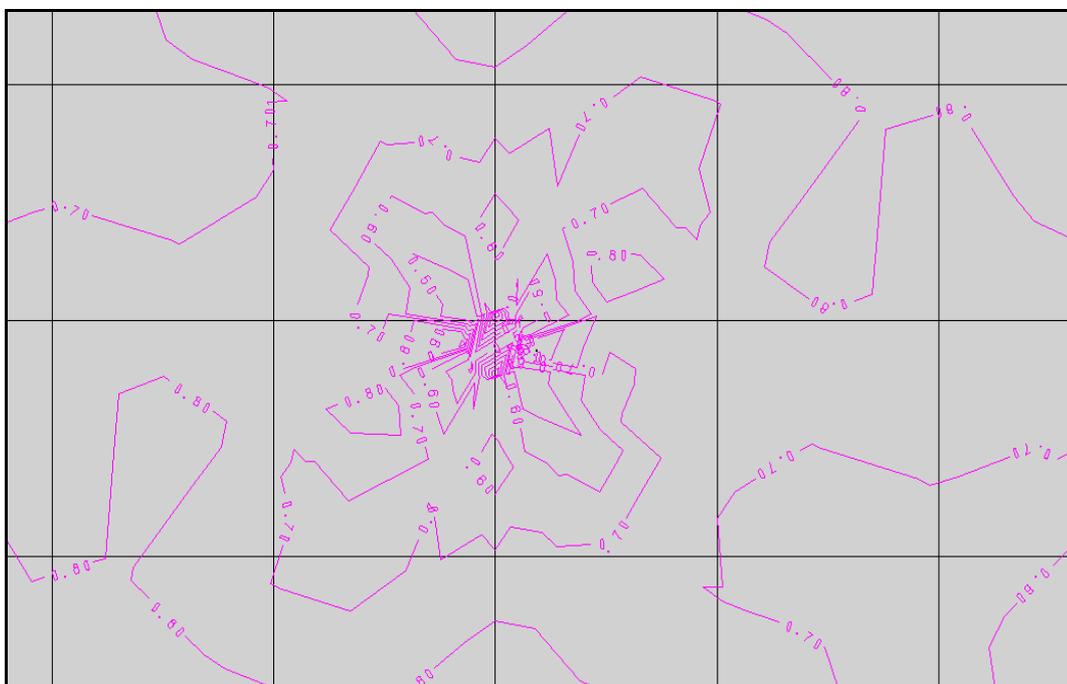


Figura B.11 Yacimiento Occidental grupo 2 P.

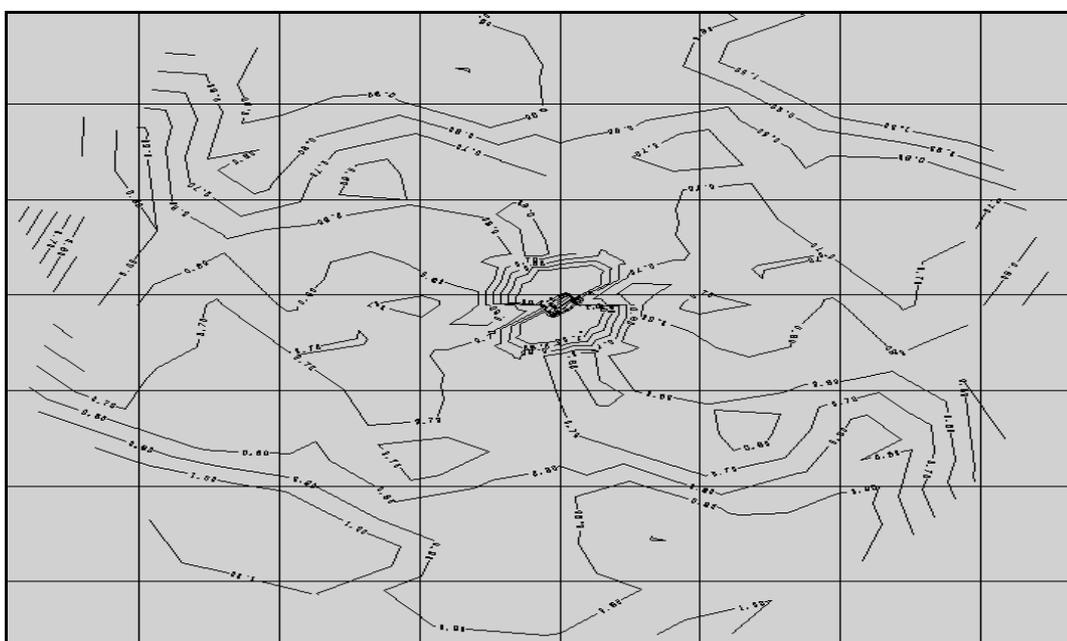


Figura B.12 Yacimiento Occidental grupo 3 P.

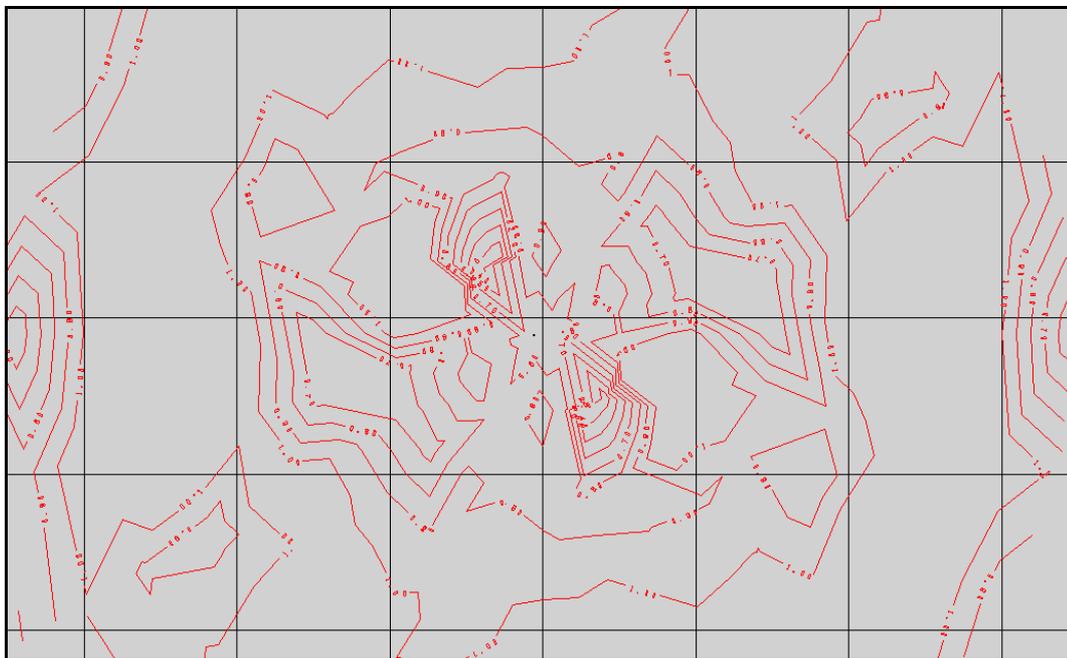


Figura B.13 Yacimiento Occidental grupo 1 Mn.

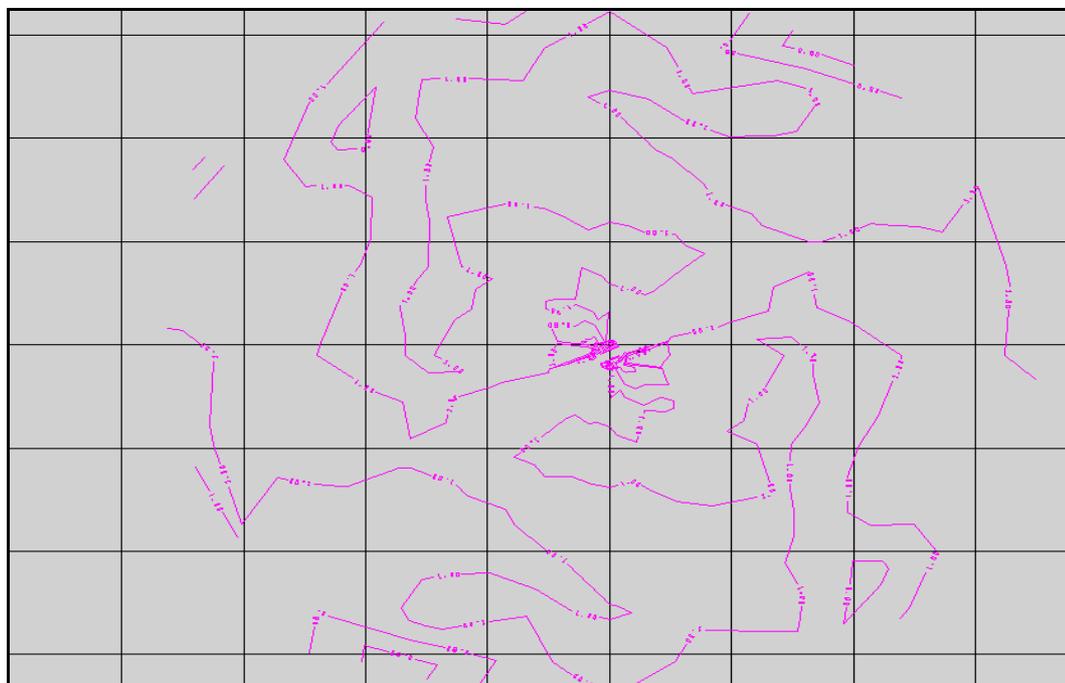


Figura B.14 Yacimiento Occidental grupo 2 Mn.

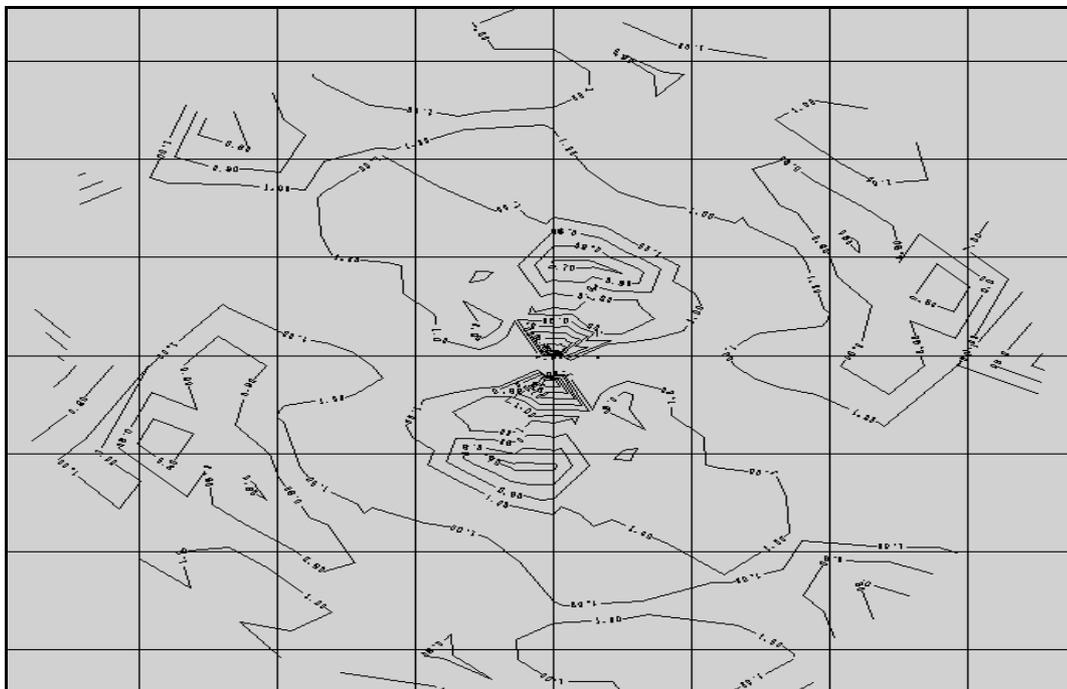


Figura B.15 Yacimiento Occidental grupo 3 Mn.

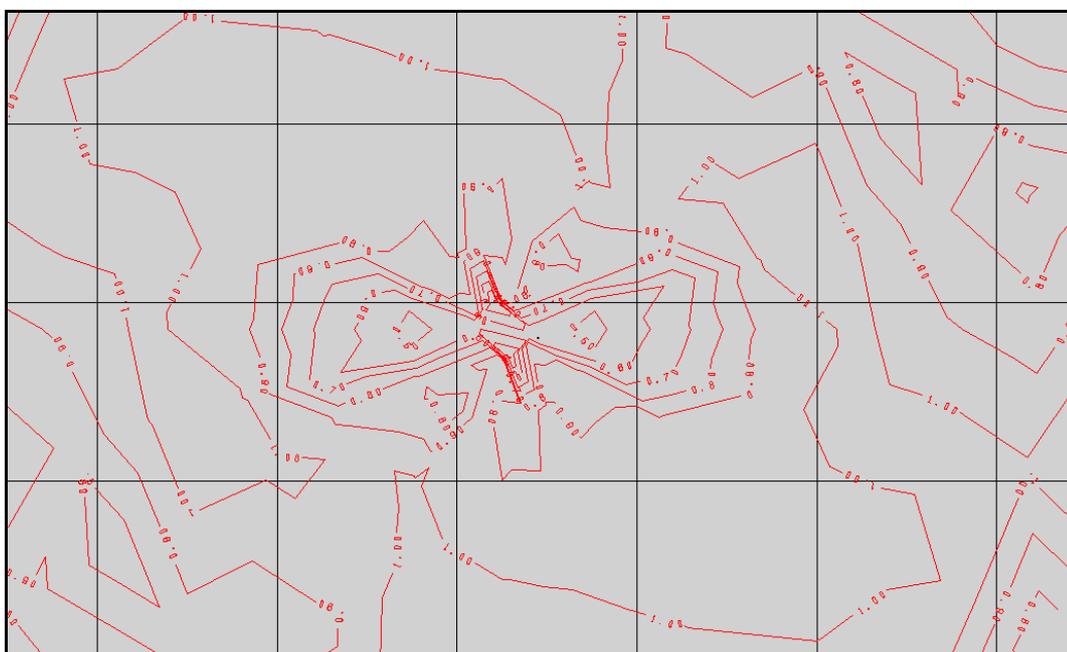


Figura B.16 Yacimiento Central grupo 1 SiO2.

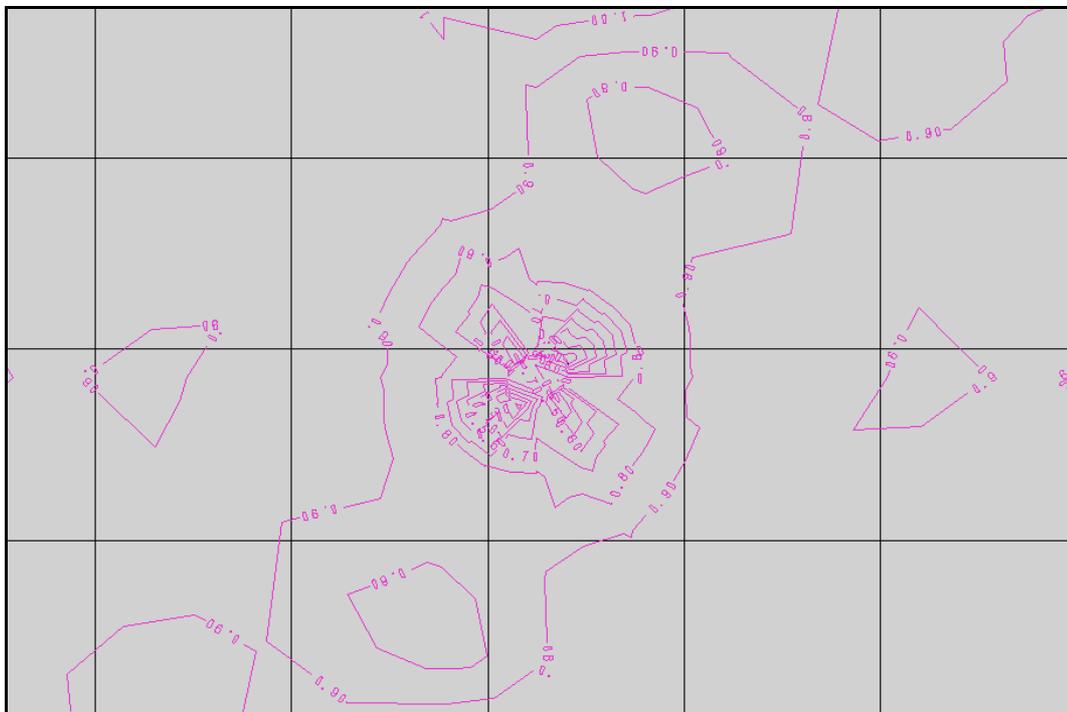


Figura B.17 Yacimiento Central grupo 2 SiO₂.



Figura B.18 Yacimiento Central grupo 3 SiO₂.

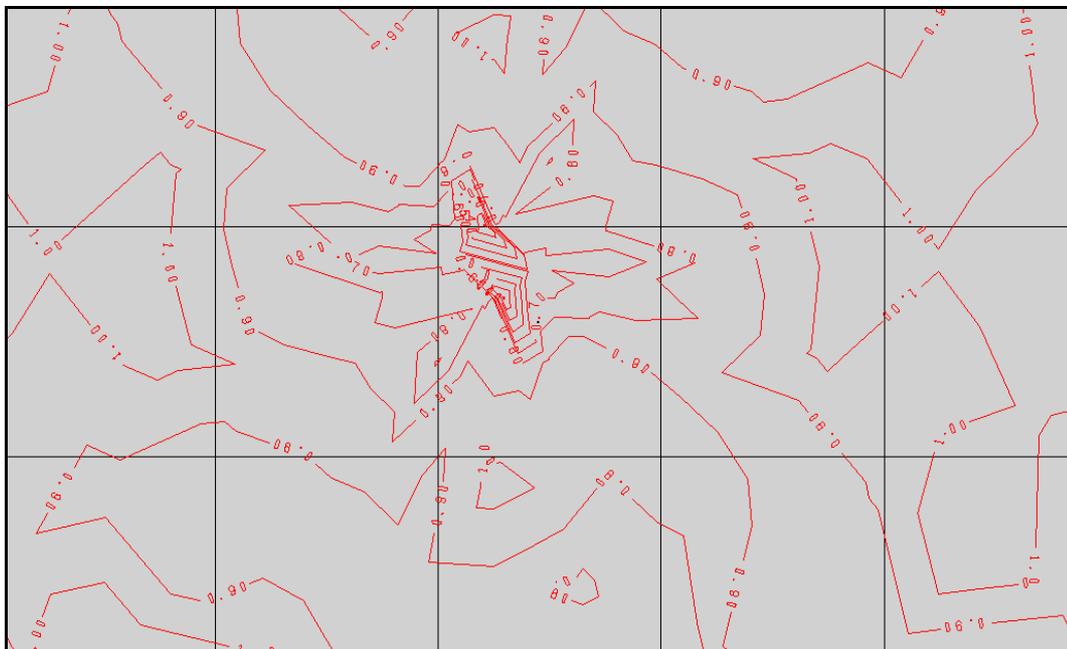


Figura B.19 Yacimiento Central grupo 1 Al₂O₃.

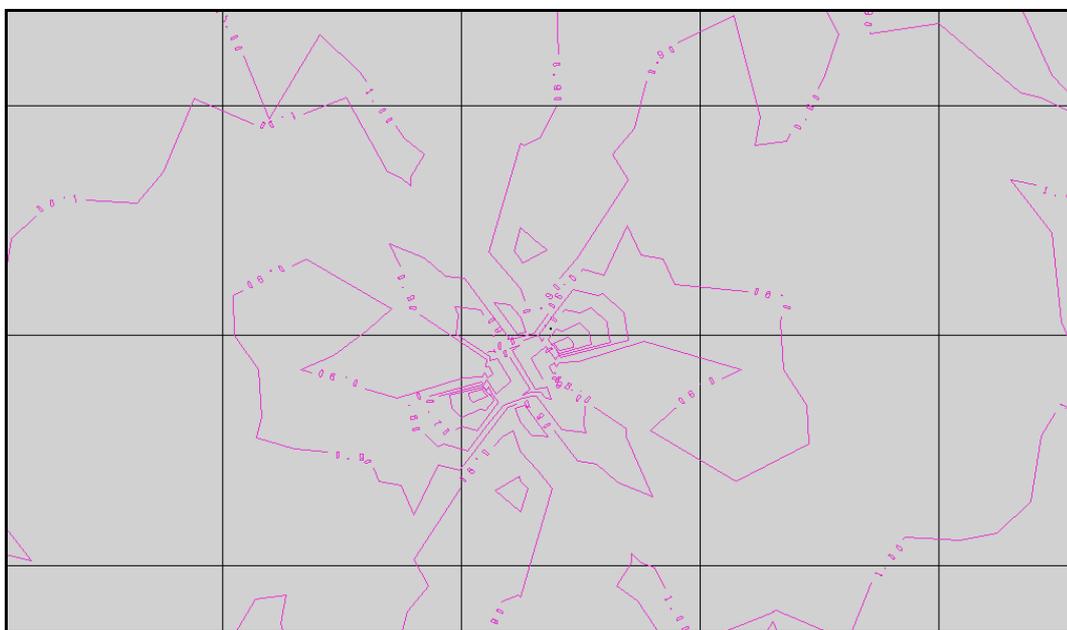


Figura B.20 Yacimiento Central grupo 2 Al₂O₃.

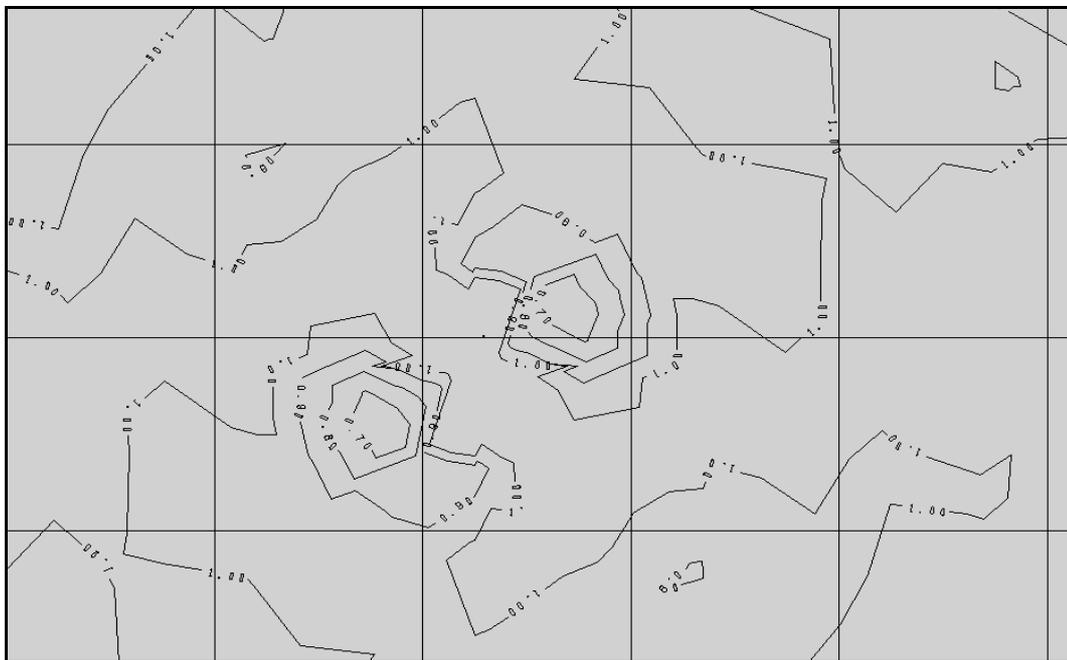


Figura B.21 Yacimiento Central grupo 3 Al₂O₃.

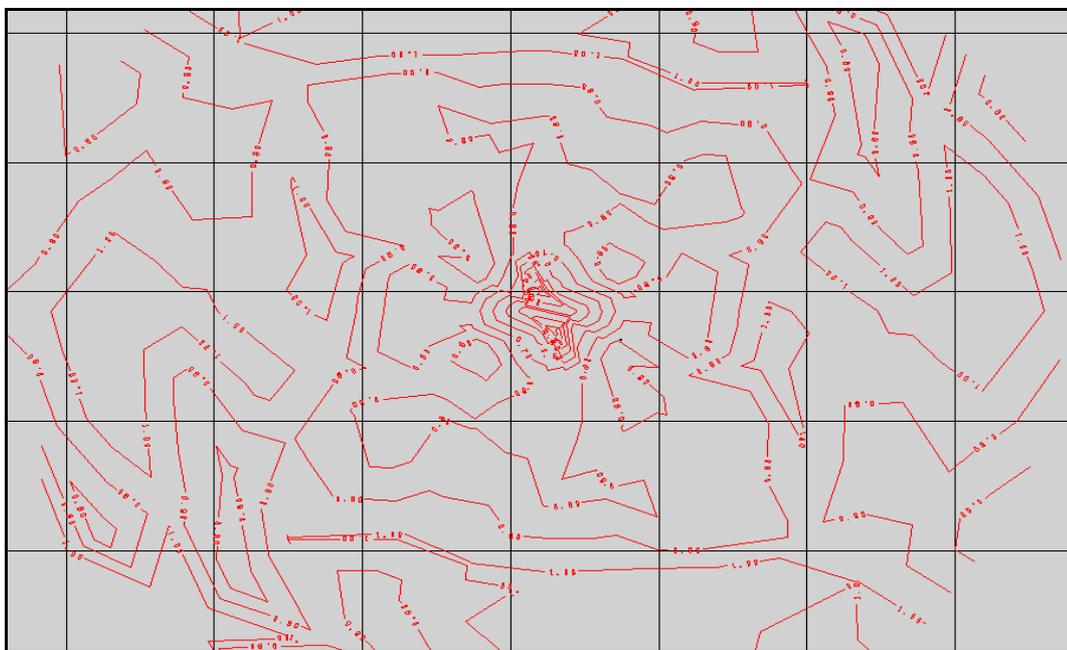


Figura B.22 Yacimiento Central grupo 1 PPC.

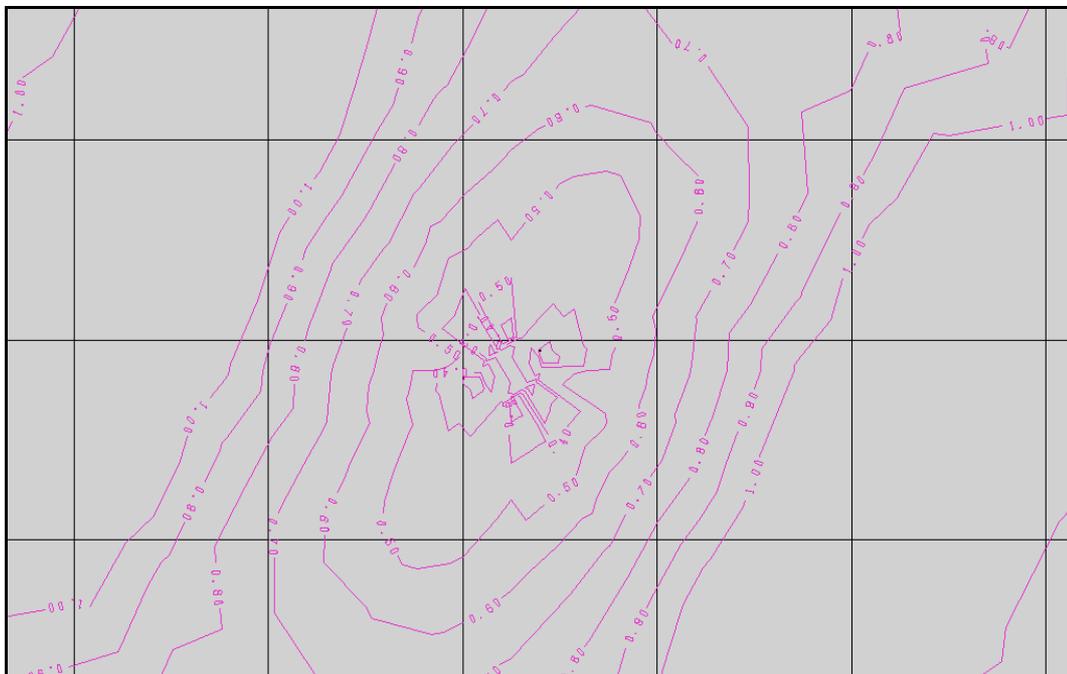


Figura B.23 Yacimiento Central grupo 2 PPC.

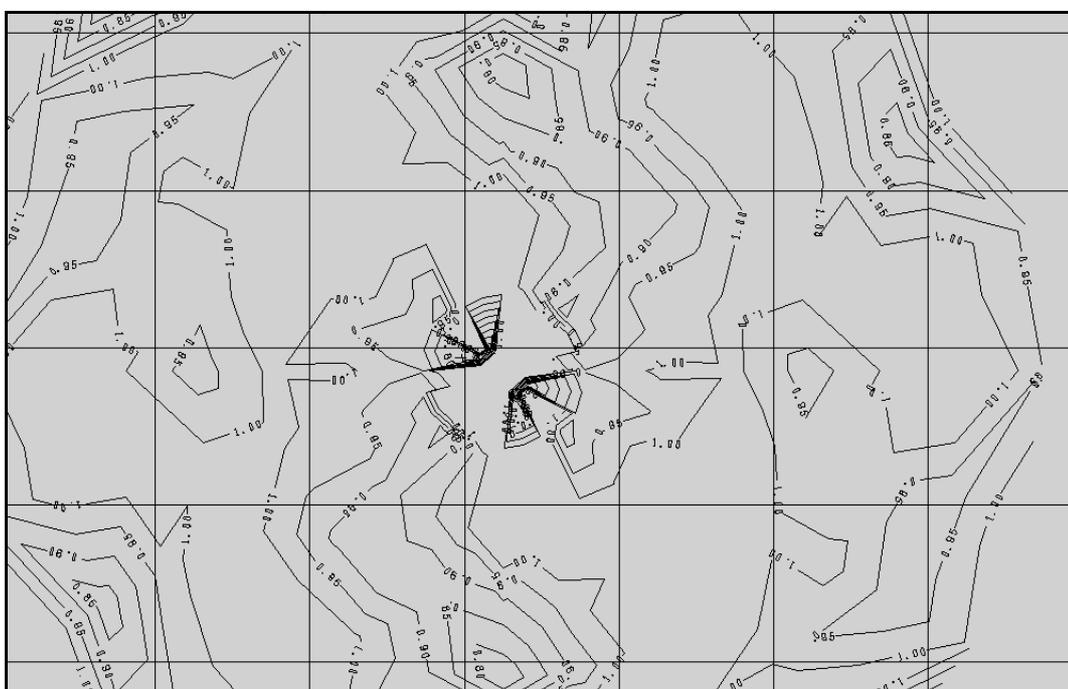


Figura B.24 Yacimiento Central grupo 3 PPC.



Figura B.25 Yacimiento Central grupo 1 P.

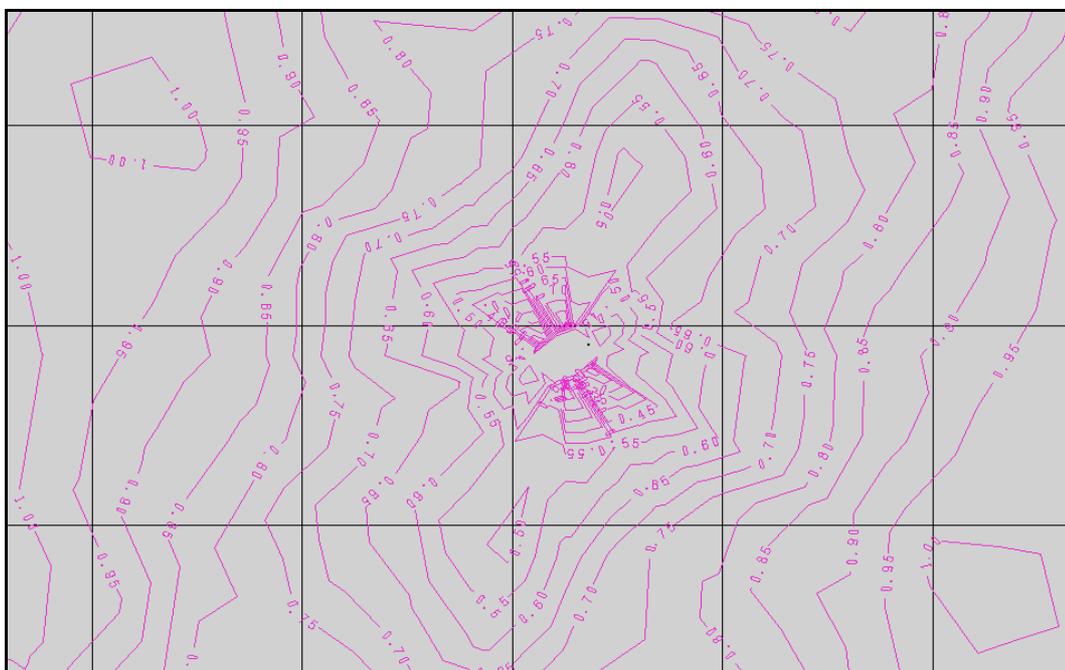


Figura B.26 Yacimiento Central grupo 2 P.

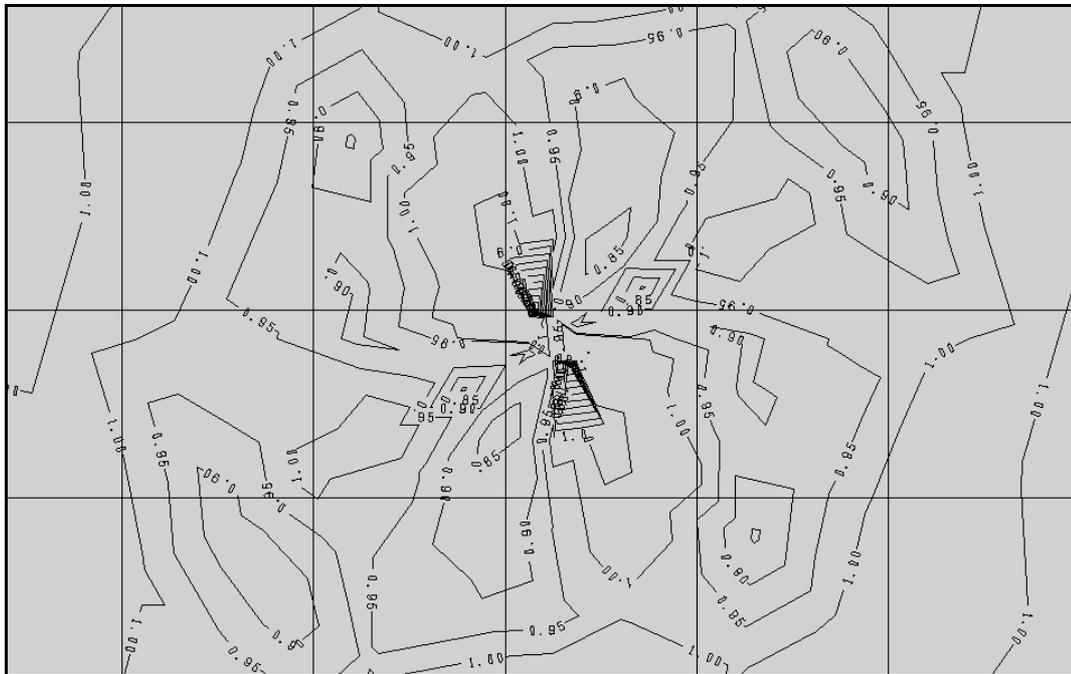


Figura B.27 Yacimiento Central grupo 3 P.



Figura B.28 Yacimiento Central grupo 1 Mn.

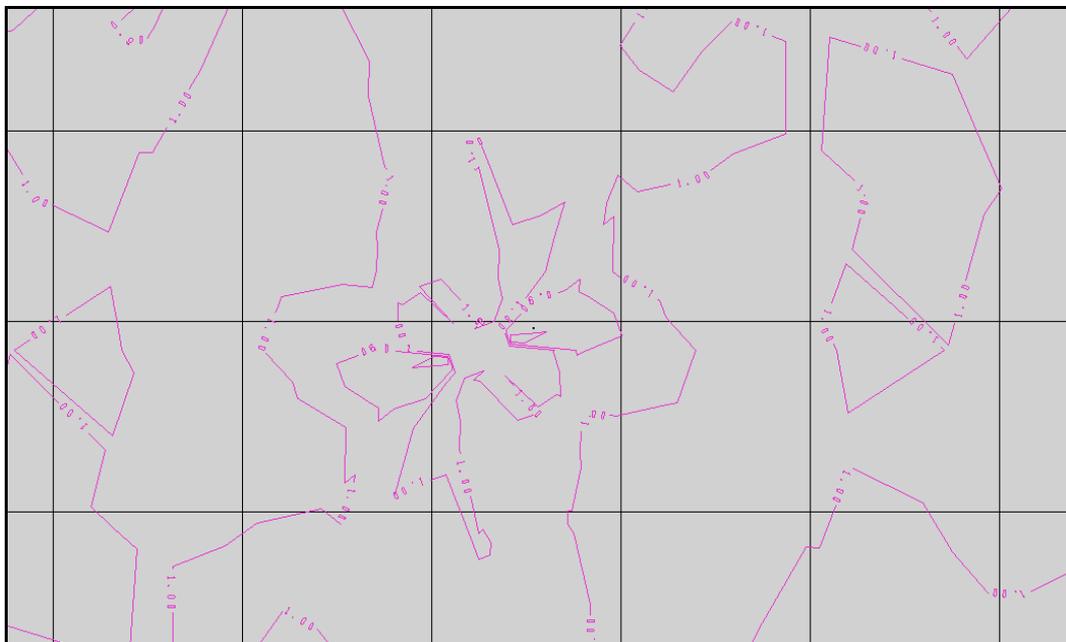


Figura B.29 Yacimiento Central grupo 2 Mn.

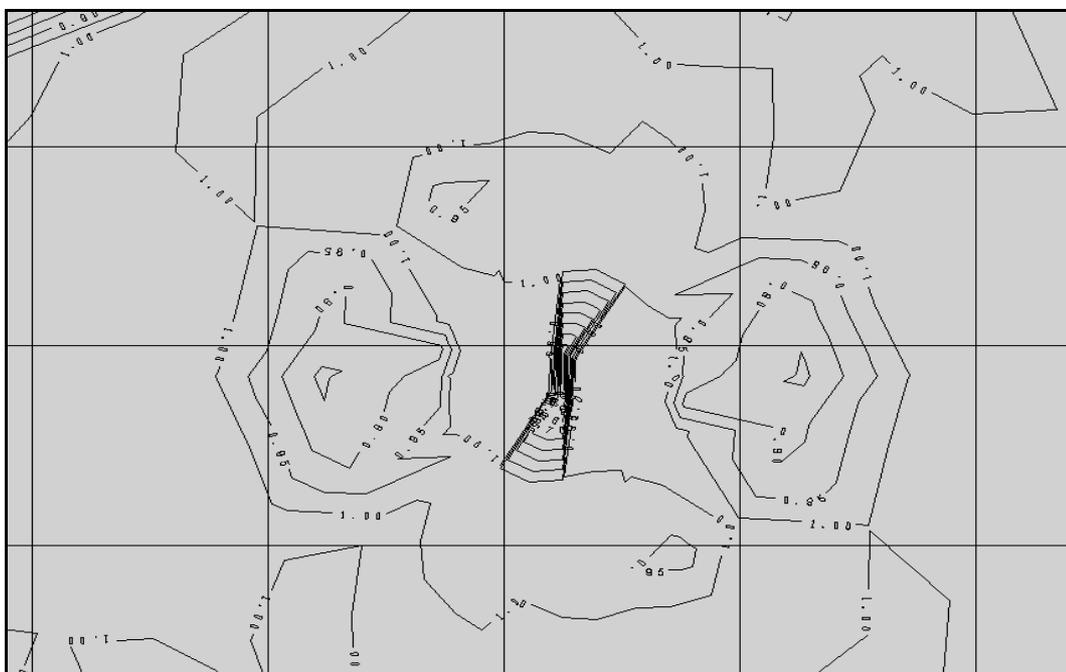
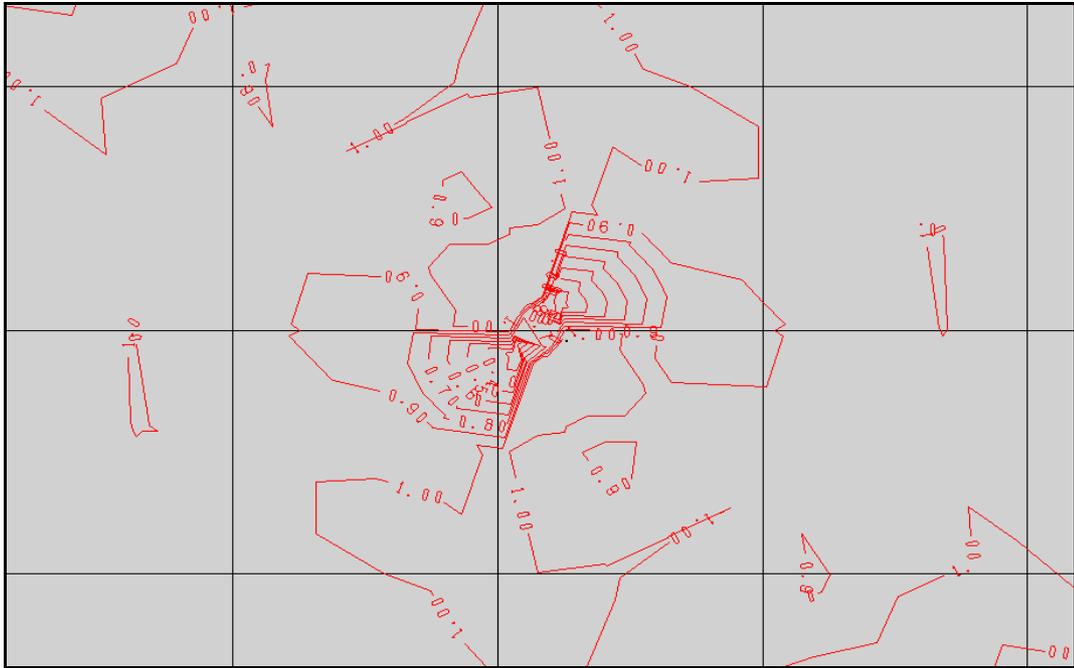
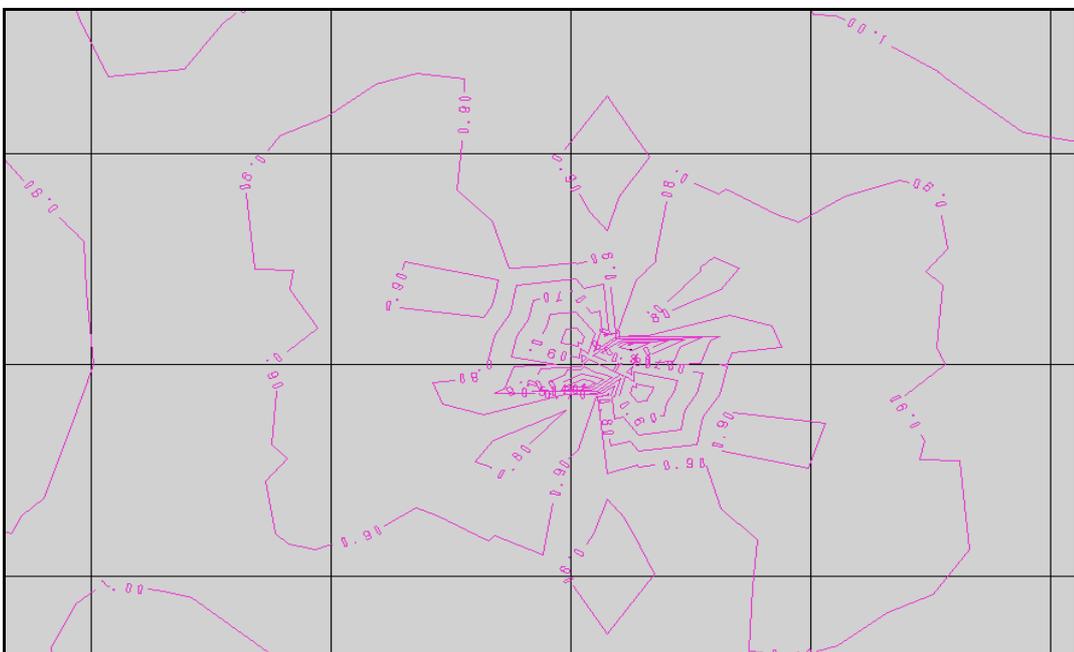


Figura B.30 Yacimiento Central grupo 3 Mn.

Figura B.31 Yacimiento Oriental grupo 1 SiO₂.Figura B.32 Yacimiento Oriental grupo 2 SiO₂.

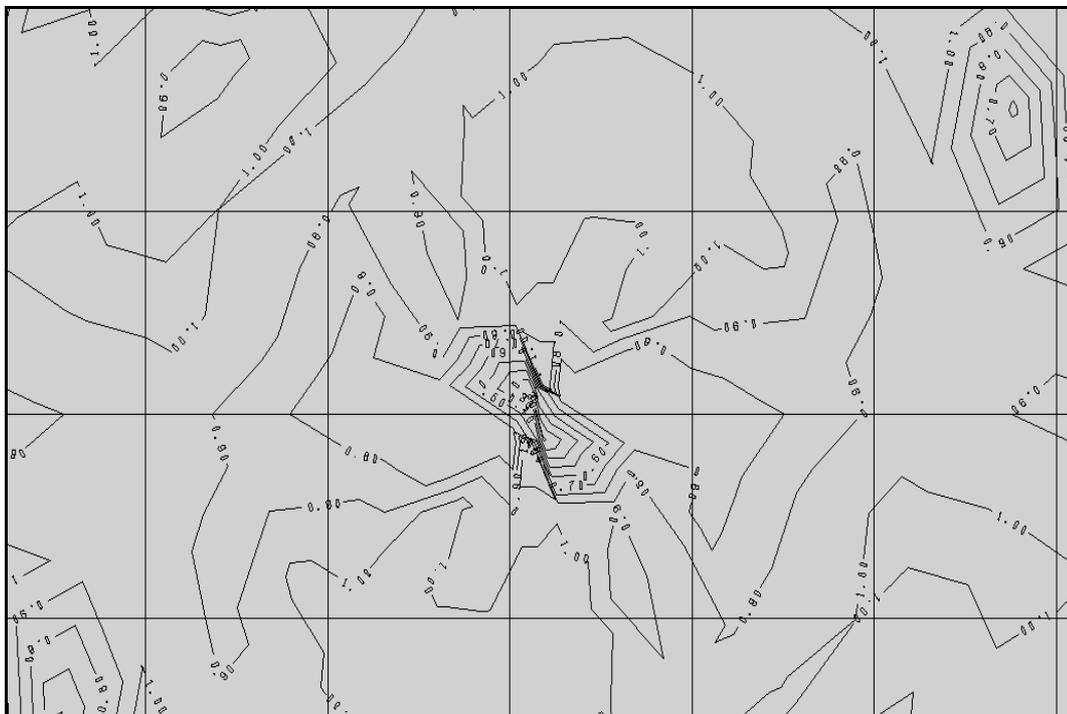


Figura B.33 Yacimiento Oriental grupo 3 SiO_2 .

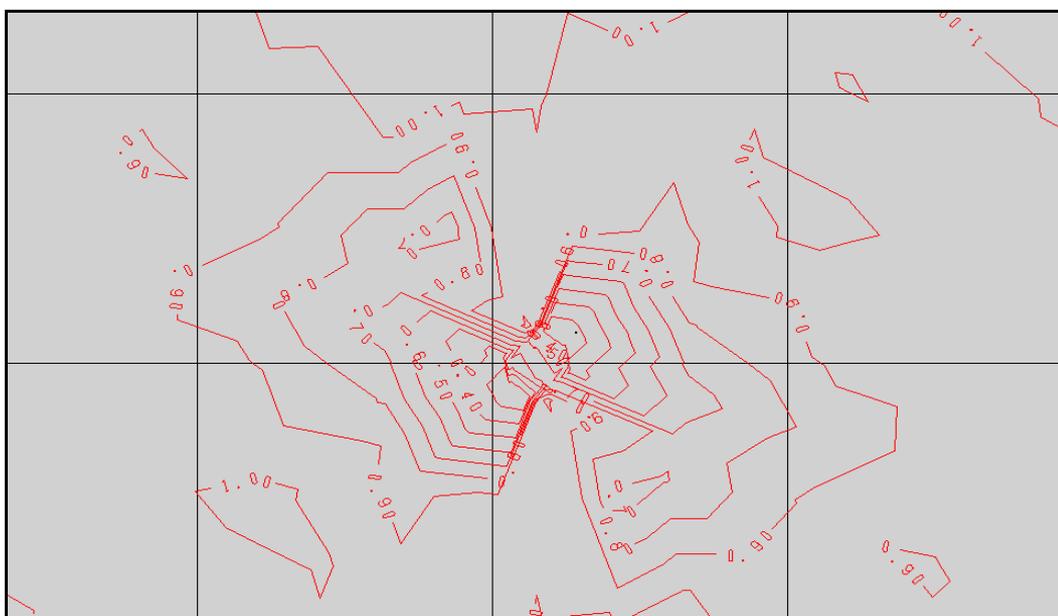


Figura B.34 Yacimiento Oriental grupo 1 Al_2O_3 .

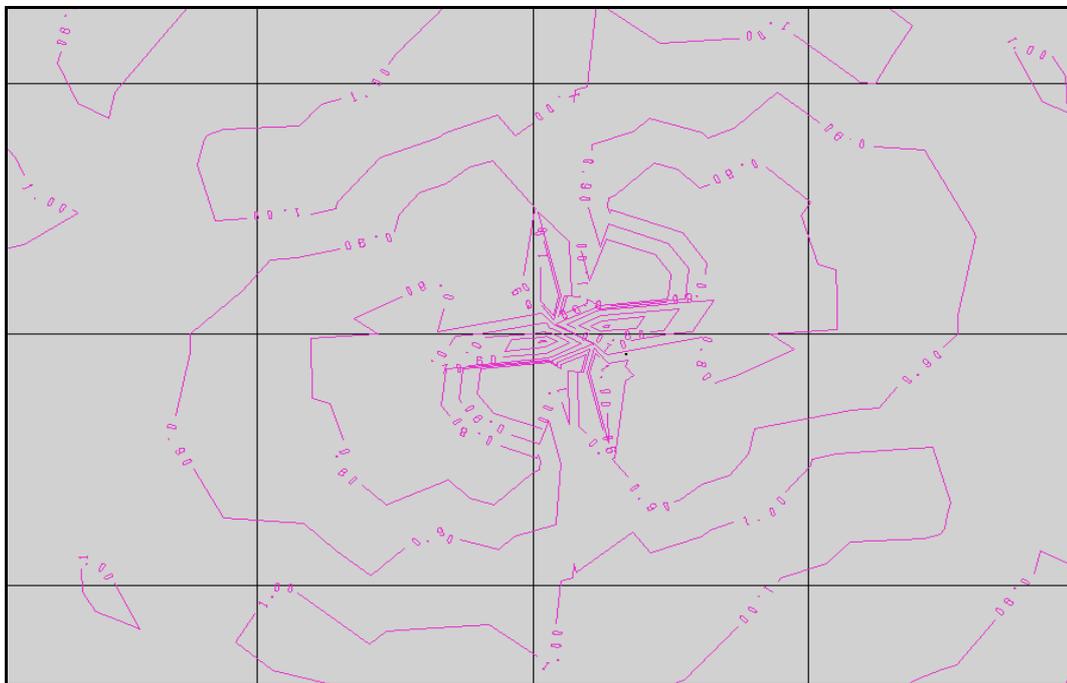


Figura B.35 Yacimiento Oriental grupo 2 Al₂O₃.



Figura B.36 Yacimiento Oriental grupo 3 Al₂O₃.

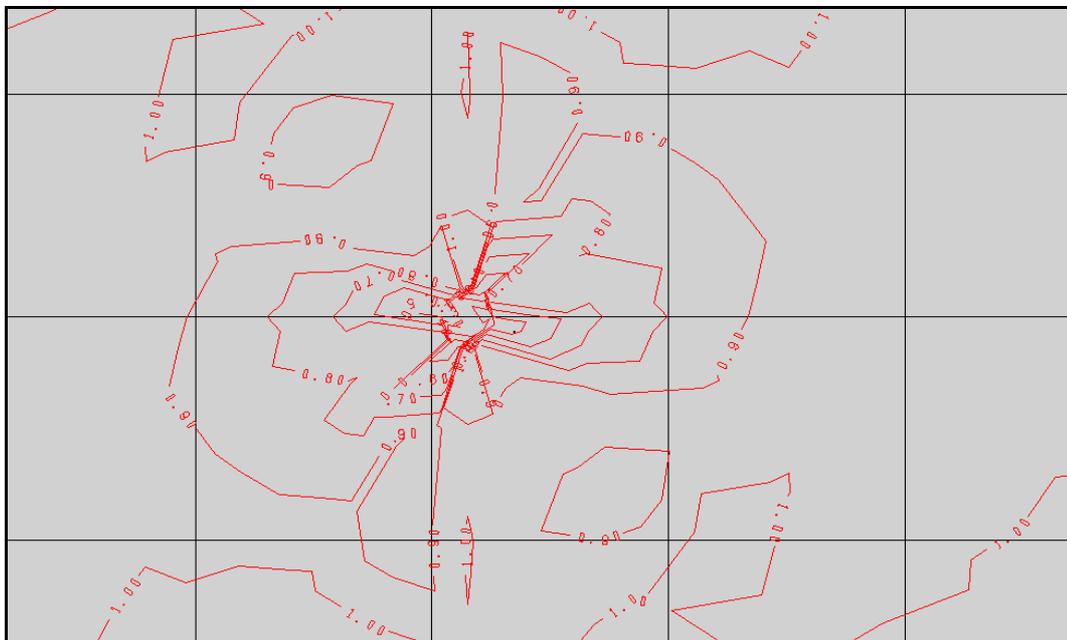


Figura B.37 Yacimiento Oriental grupo 1 PPC.

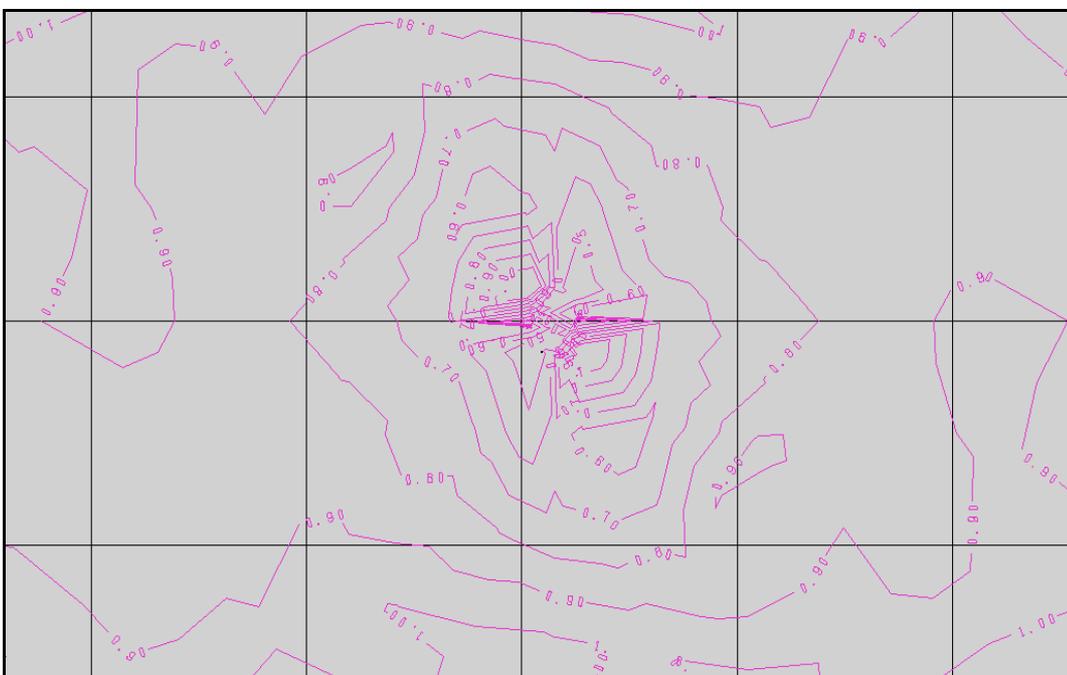


Figura B.38 Yacimiento Oriental grupo 2 PPC.



Figura B.39 Yacimiento Oriental grupo 3 PPC.

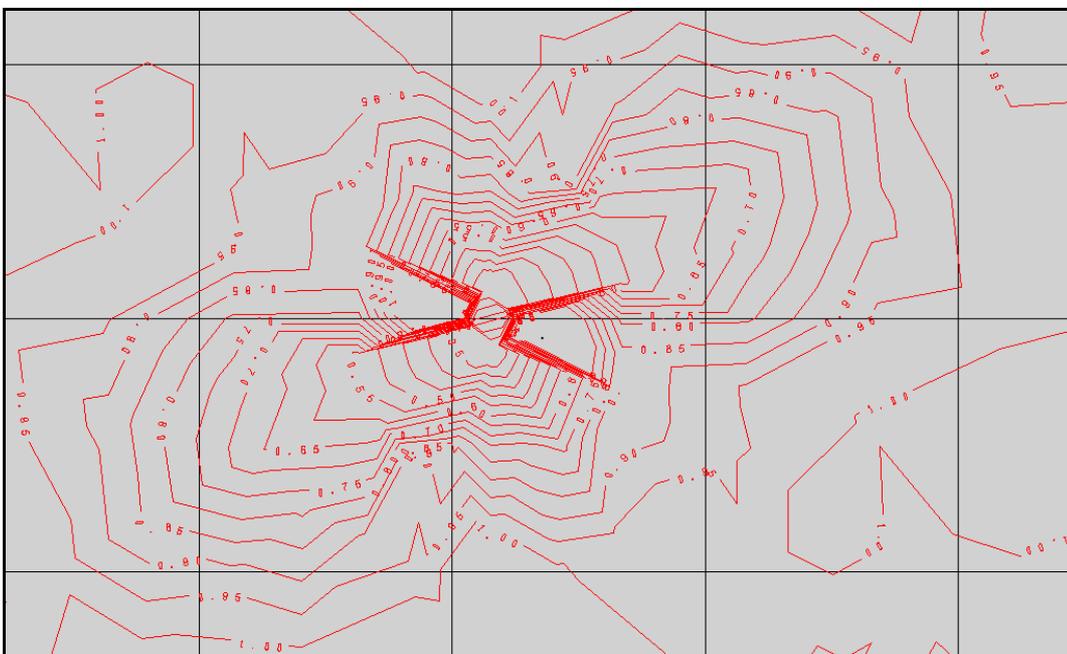


Figura B.40 Yacimiento Oriental grupo 1 P.

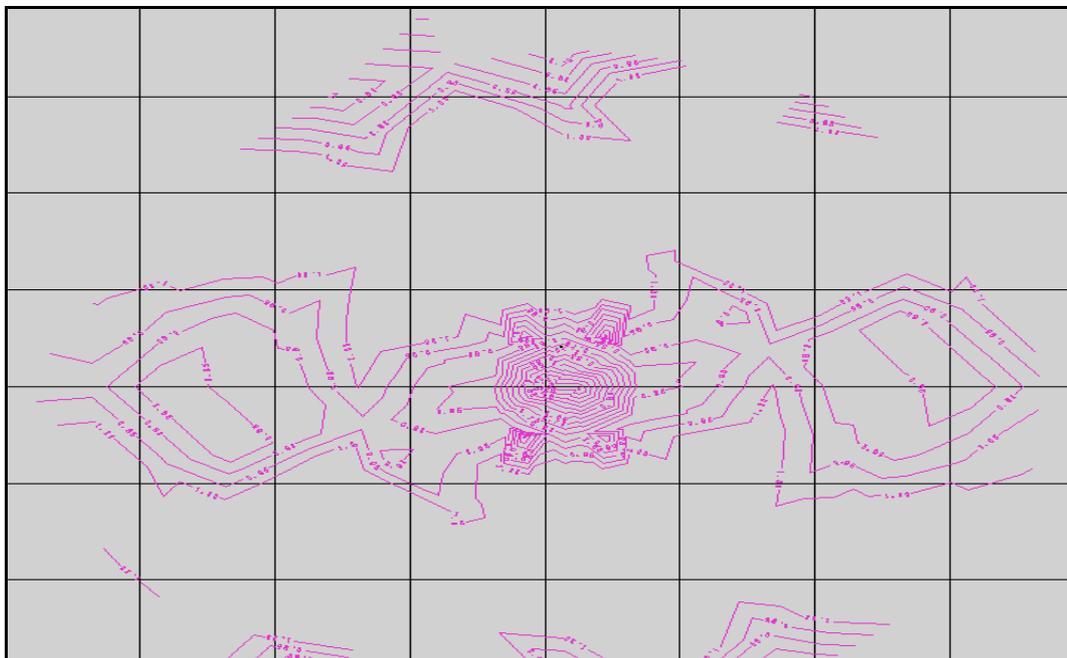


Figura B.41 Yacimiento Oriental grupo 2 P.



Figura B.42 Yacimiento Oriental grupo 3 P.



Figura B.43 Yacimiento Oriental grupo 1 Mn.

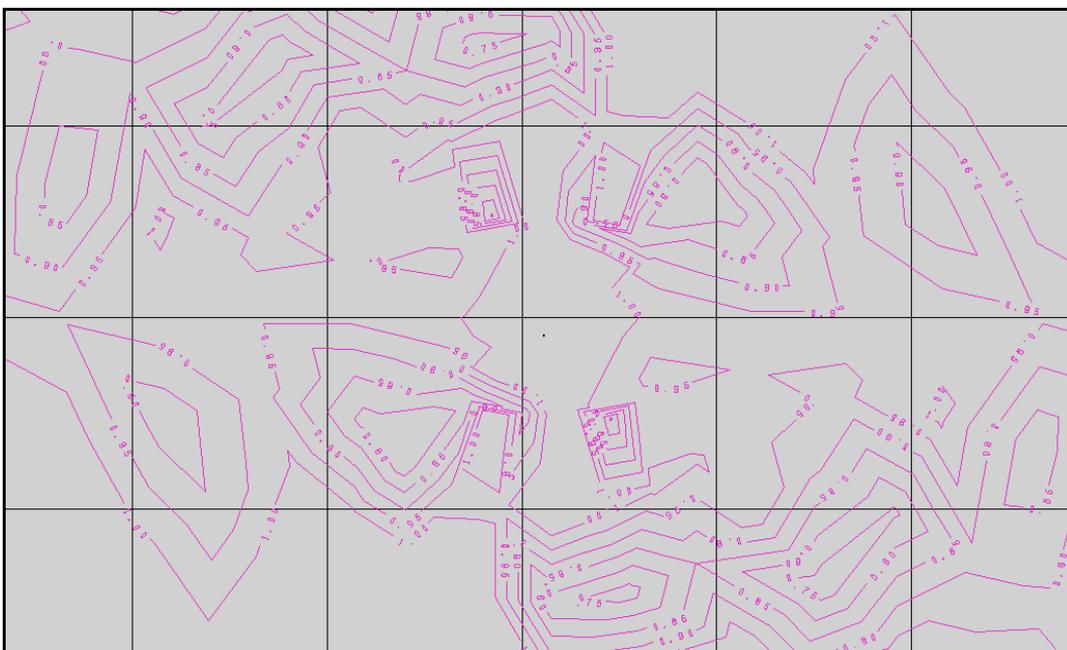


Figura B.44 Yacimiento Oriental grupo 2 Mn.



Figura B.45 Yacimiento Oriental grupo 3 Mn.

APÉNDICE C

**Variogramas construidos por litologías agrupadas par cada parámetro químico
correspondientes a los yacimientos del cerro Altamira**

C.1 Yacimiento Occidental parámetro químico SiO₂

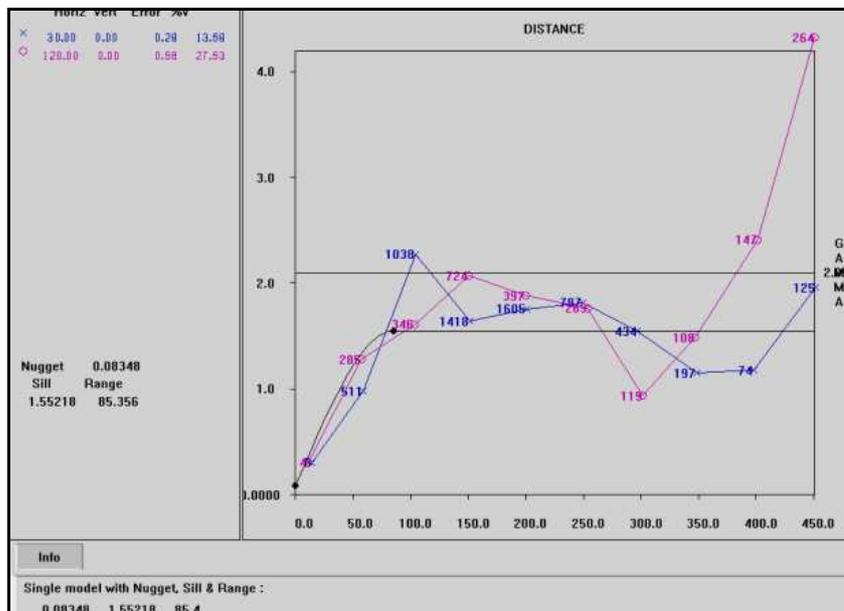


Figura C.1 Grupo 1 (lito 1).

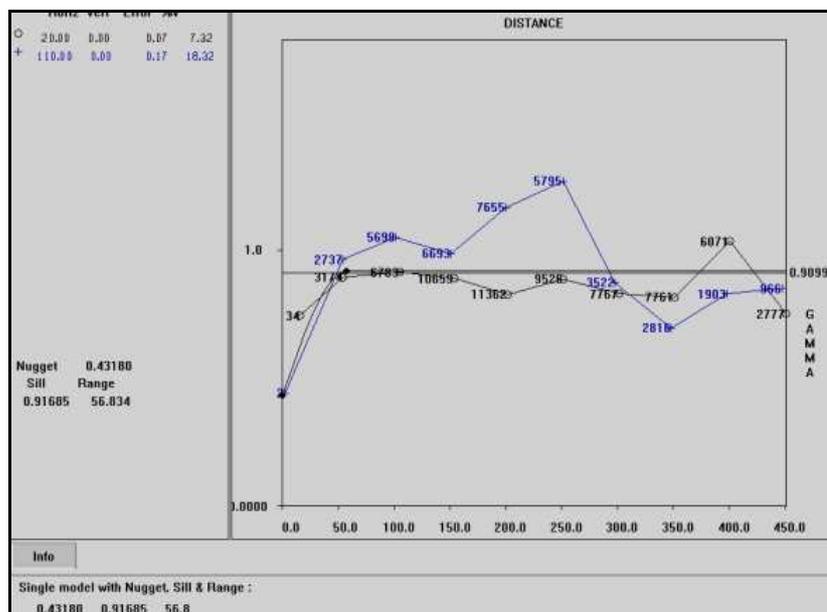


Figura C.2 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

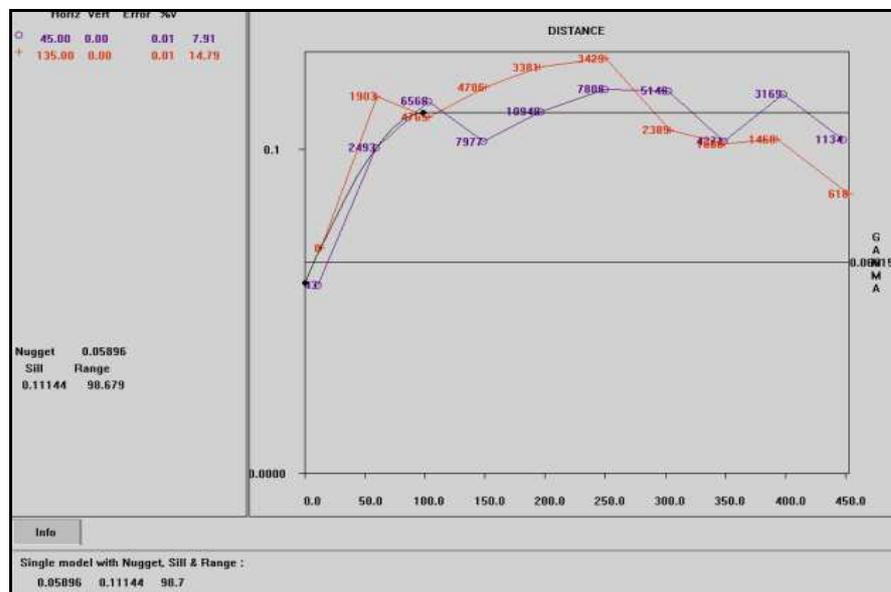


Figura C.3 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.2 Yacimiento Occidental parámetro químico Al_2O_3

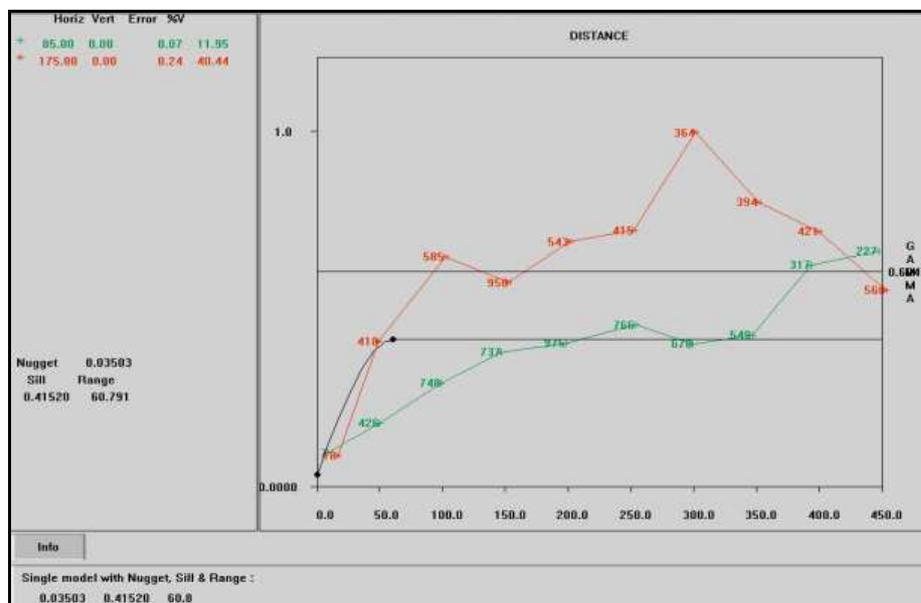


Figura C.4 Grupo 1 (lito 1).

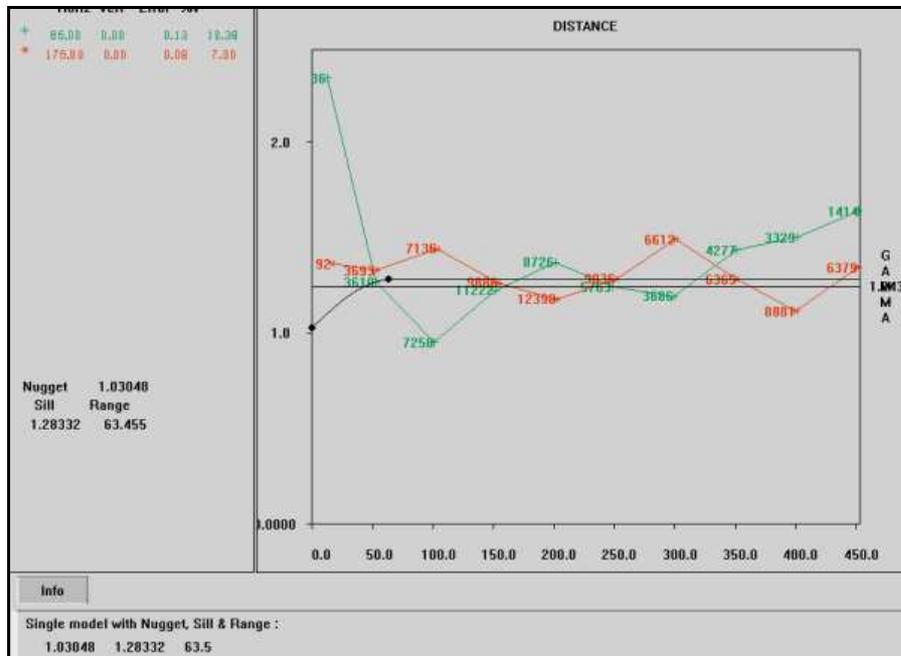


Figura C.5 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

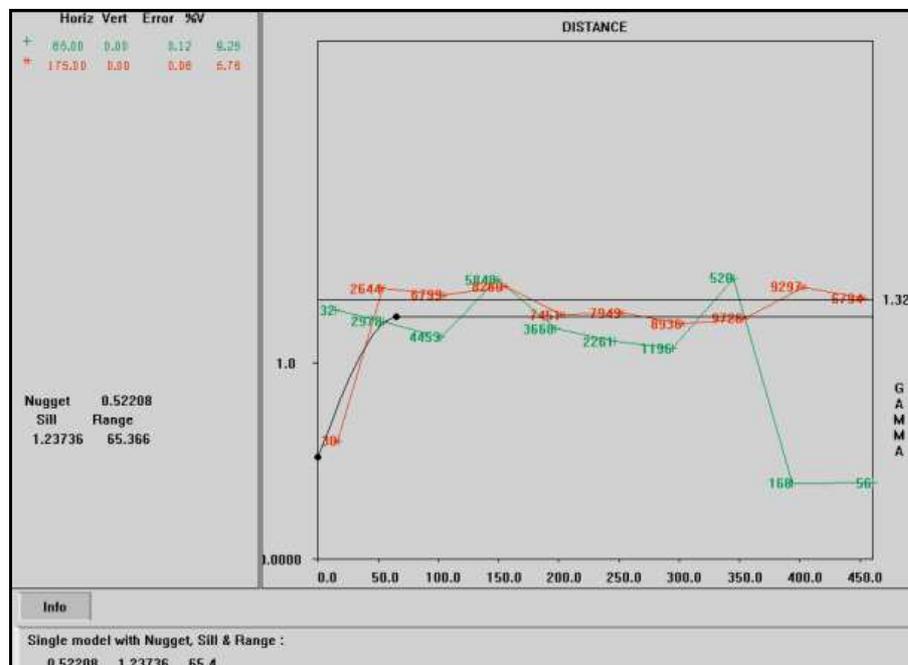


Figura C.6 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.3 Yacimiento Occidental parámetro químico PPC

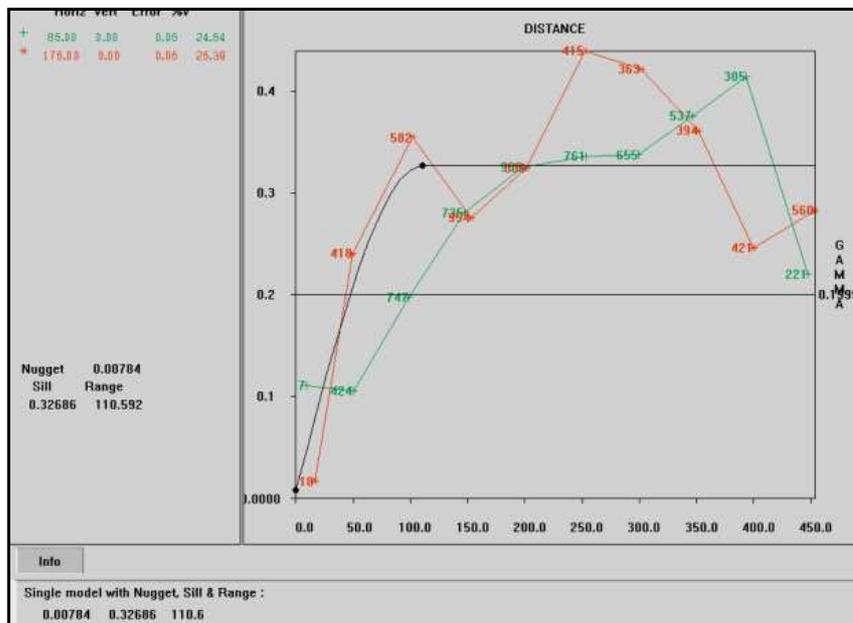


Figura C.7 Grupo 1 (lito 1).

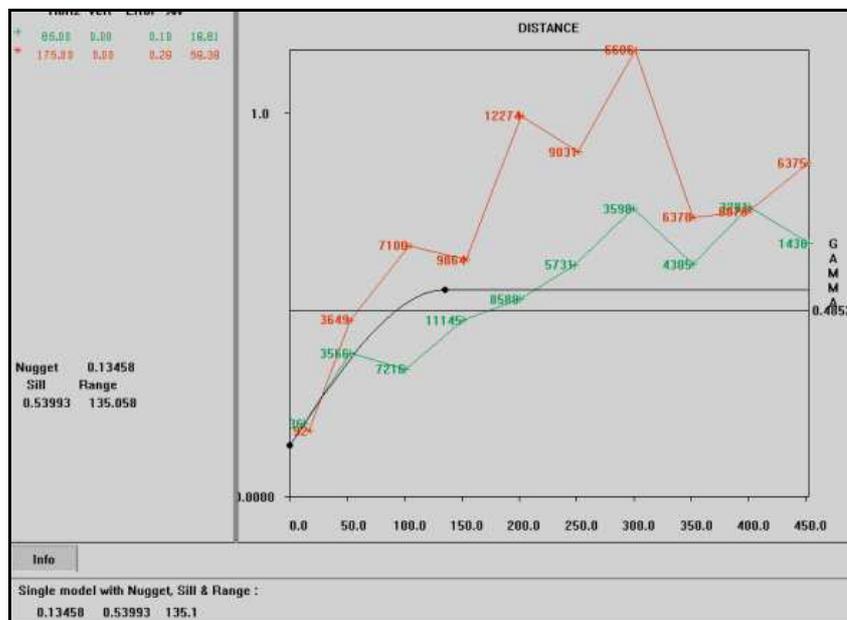


Figura C.8 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

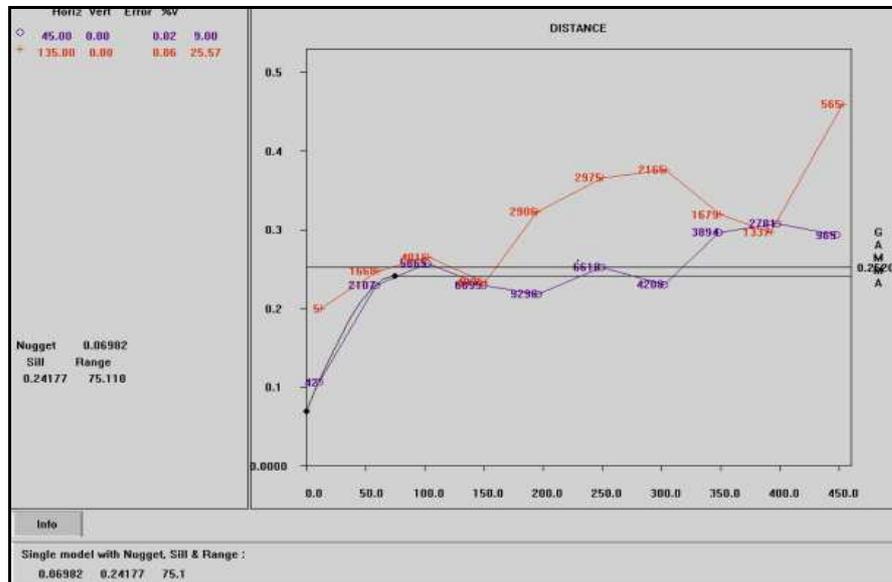


Figura C.9 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.4 Yacimiento Occidental parámetro químico P

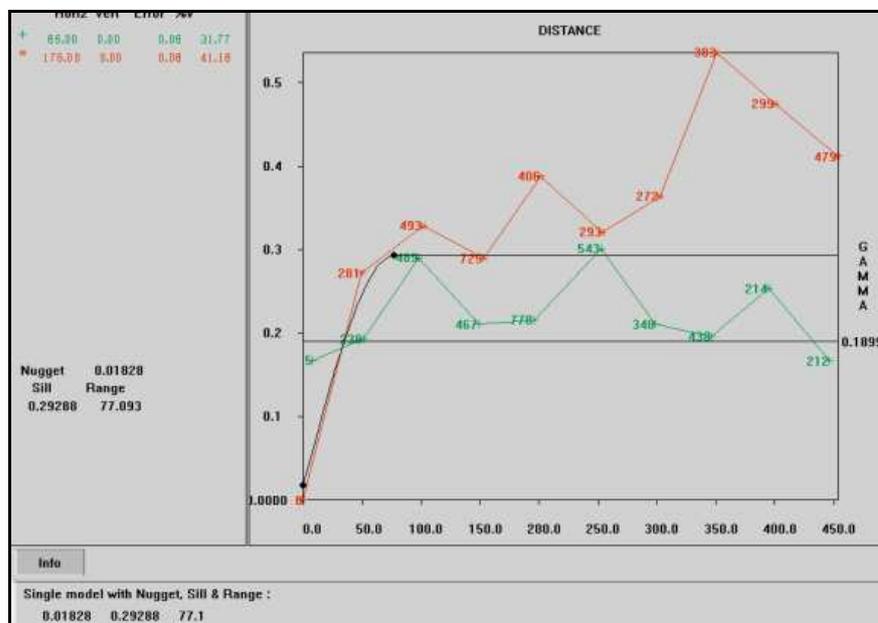


Figura C.10 Grupo 1 (lito 1).

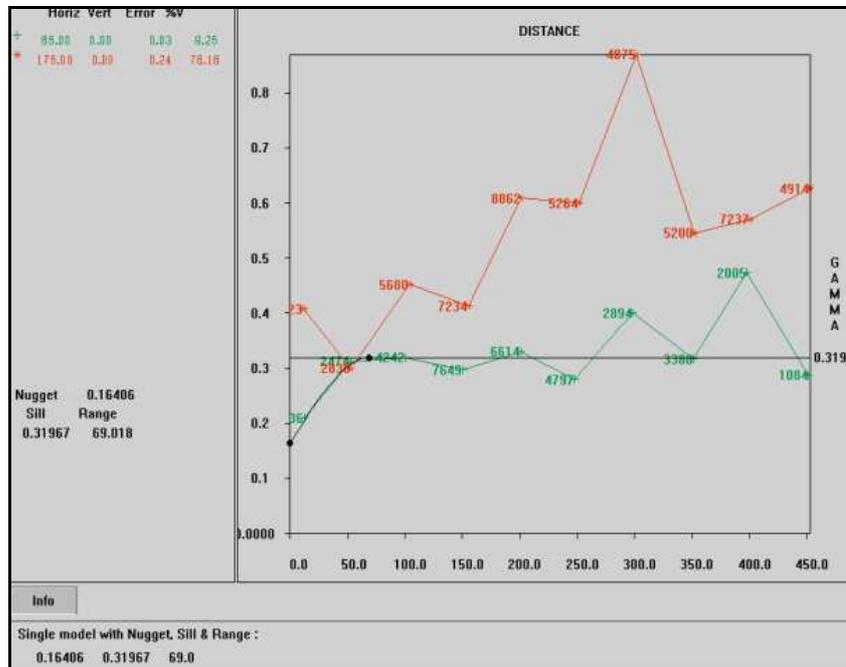


Figura C.11 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

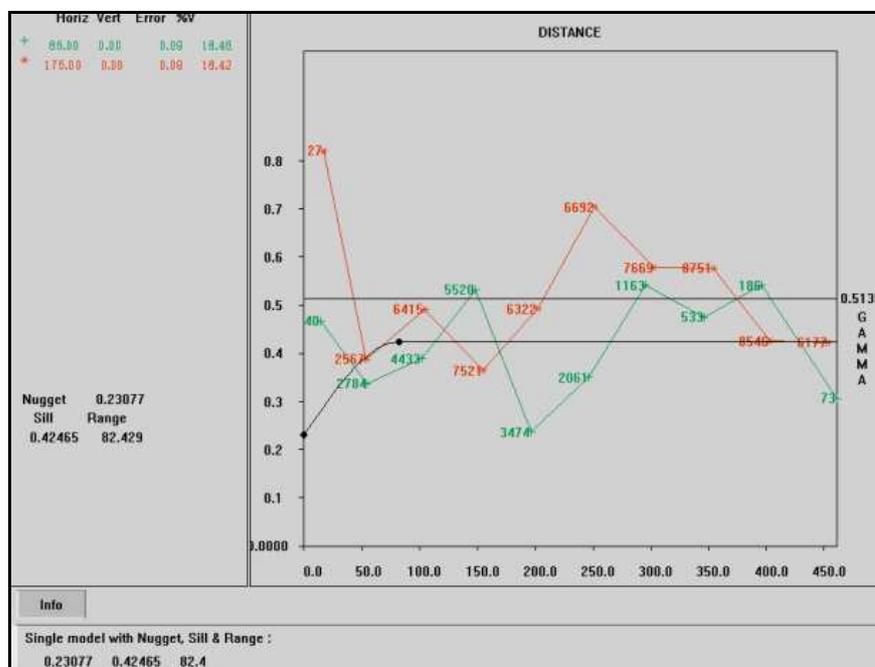


Figura C.12 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.5 Yacimiento Occidental parámetro químico Mn

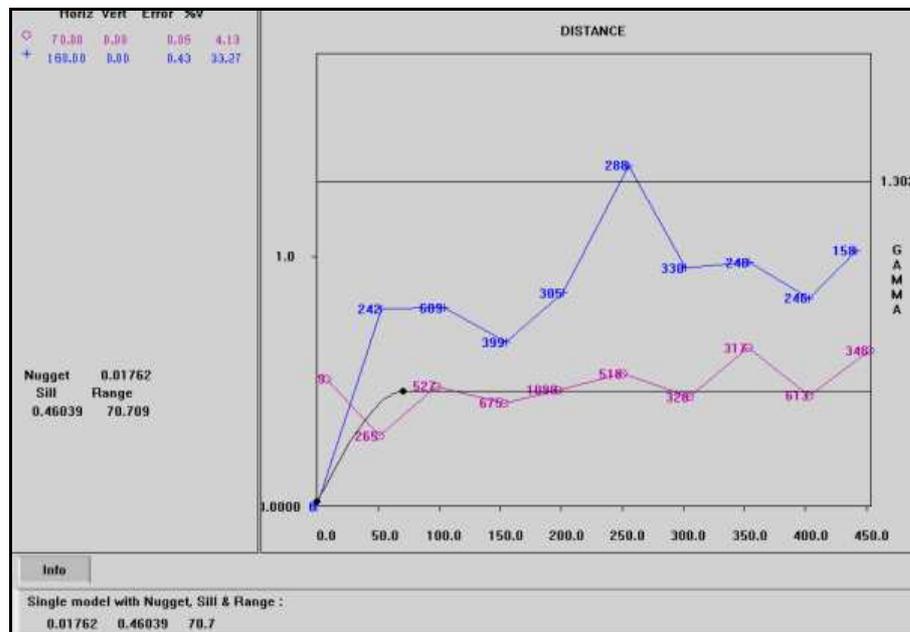


Figura C.13 Grupo 1 (lito 1).

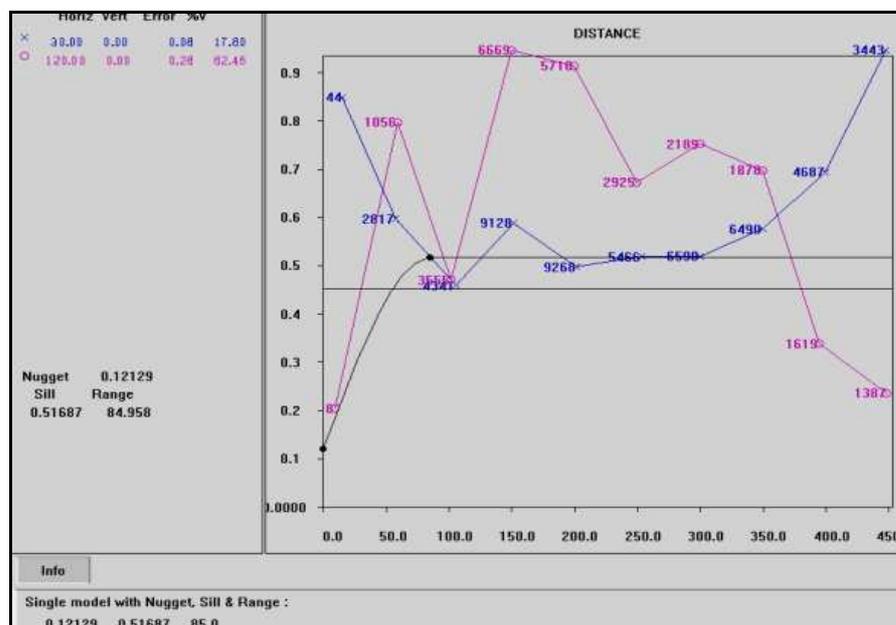


Figura C.14 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8.).

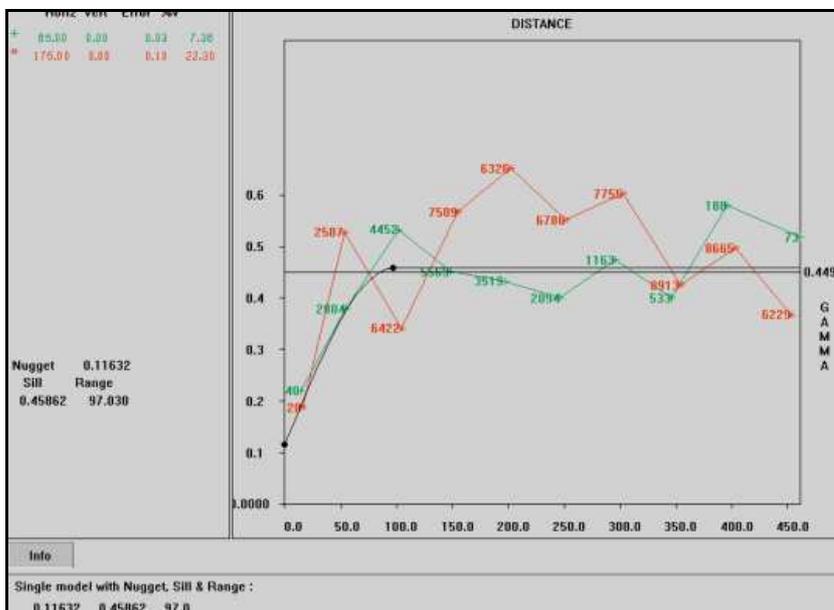


Figura C.15 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.6 Yacimiento Central parámetro químico SiO₂

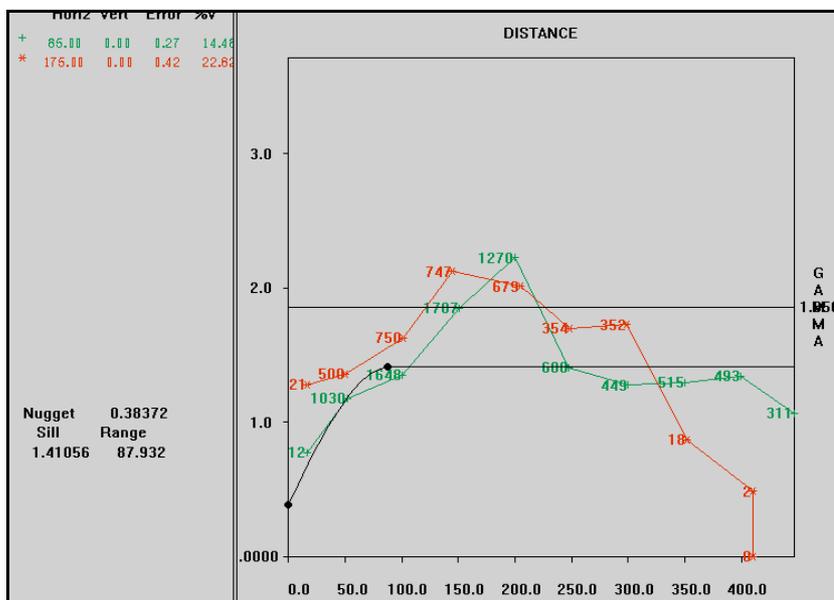


Figura C.16 Grupo 1 (lito 1).

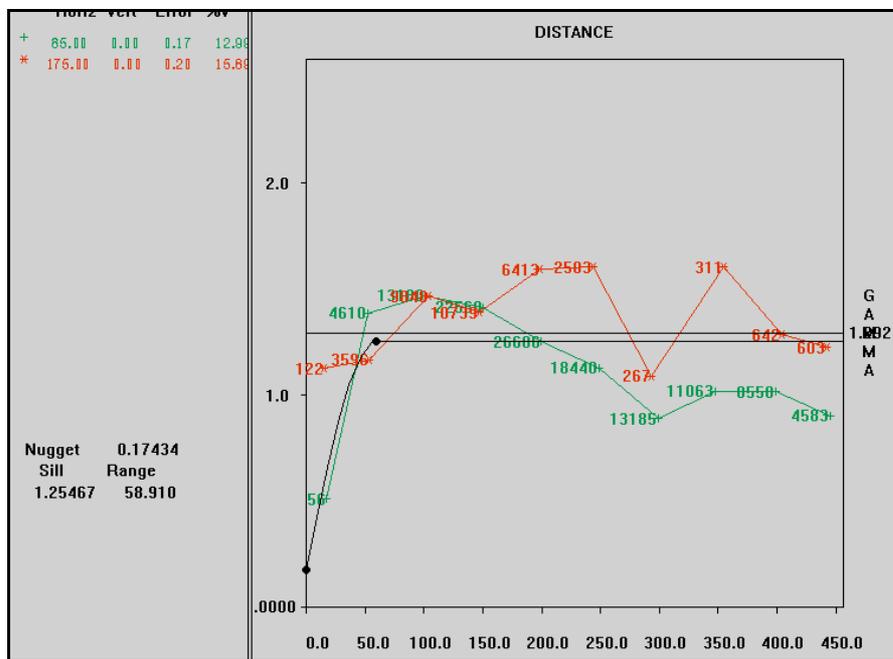


Figura C.17 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

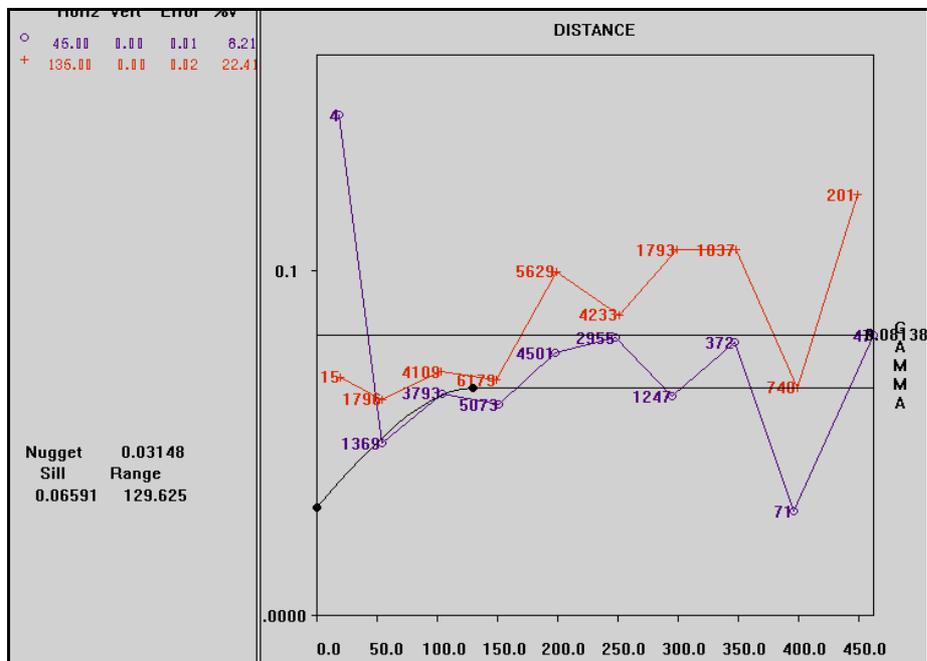


Figura C.18 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.7 Yacimiento Central parámetro químico Al₂O₃

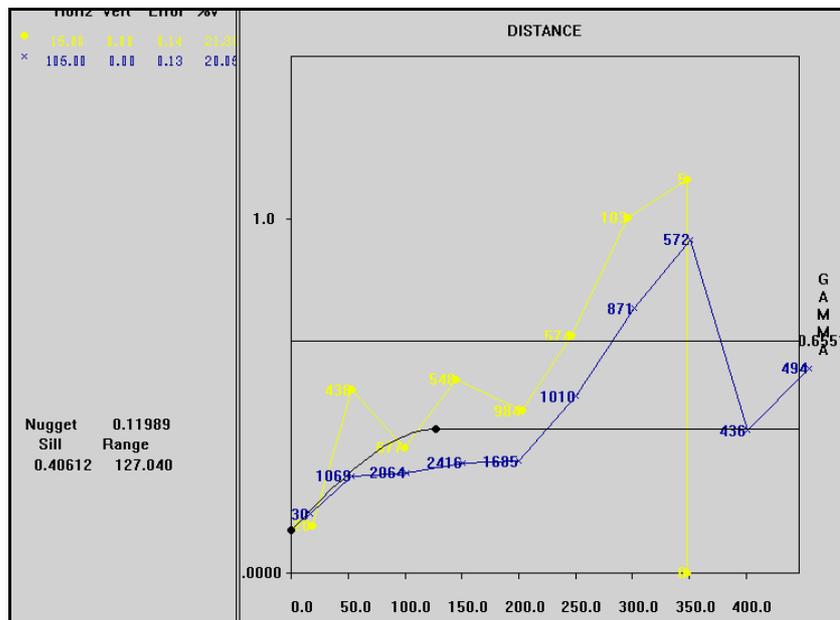


Figura C.19 Grupo 1 (lito 1).

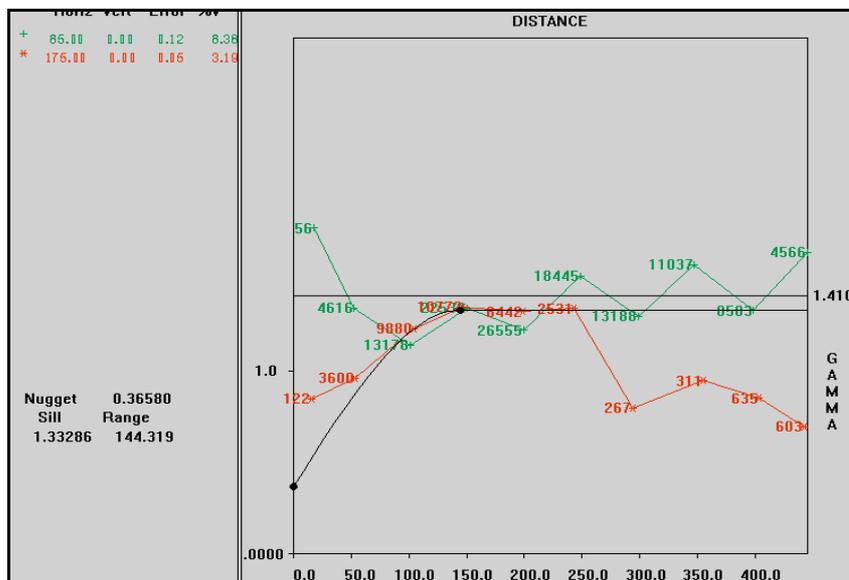


Figura C.20 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

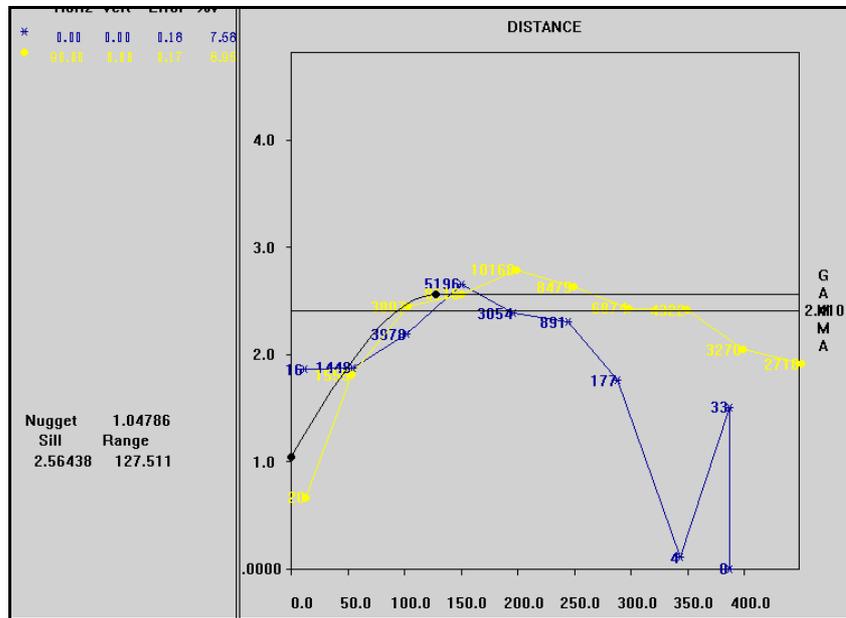


Figura C.21 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.8 Yacimiento Central parámetro químico PPC

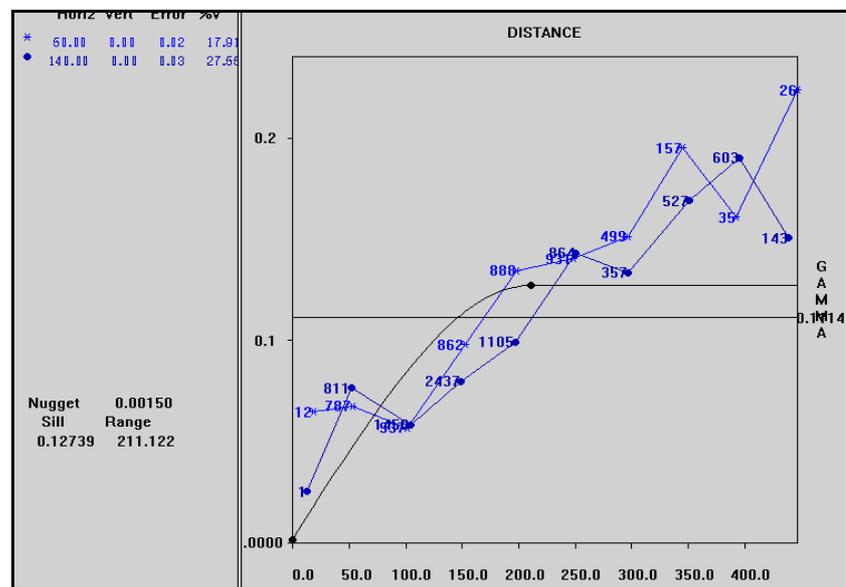


Figura C.22 Grupo 1 (lito 1).

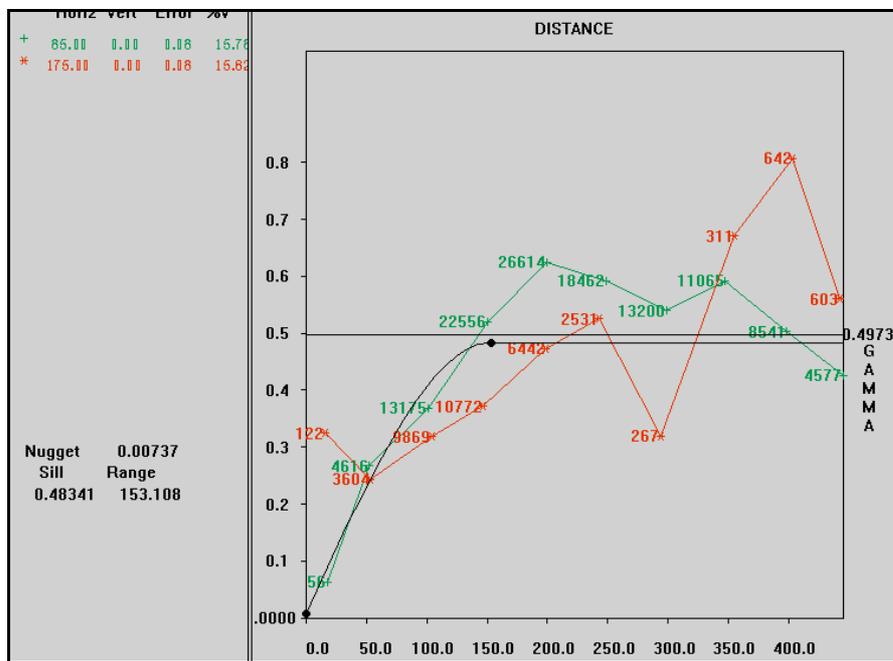


Figura C.23 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8.).

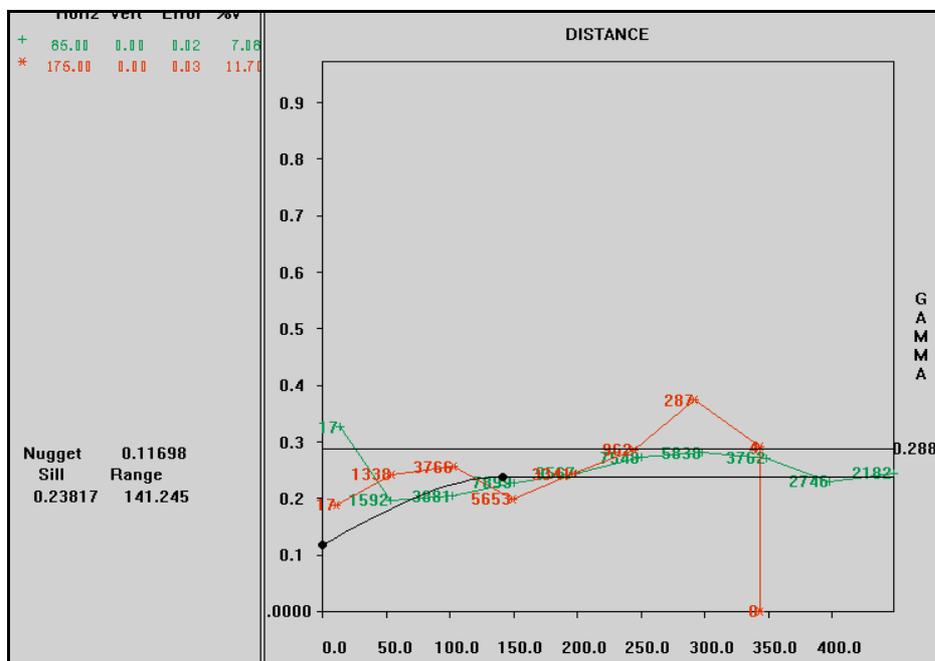


Figura C.24 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.9 Yacimiento Central parámetro químico P

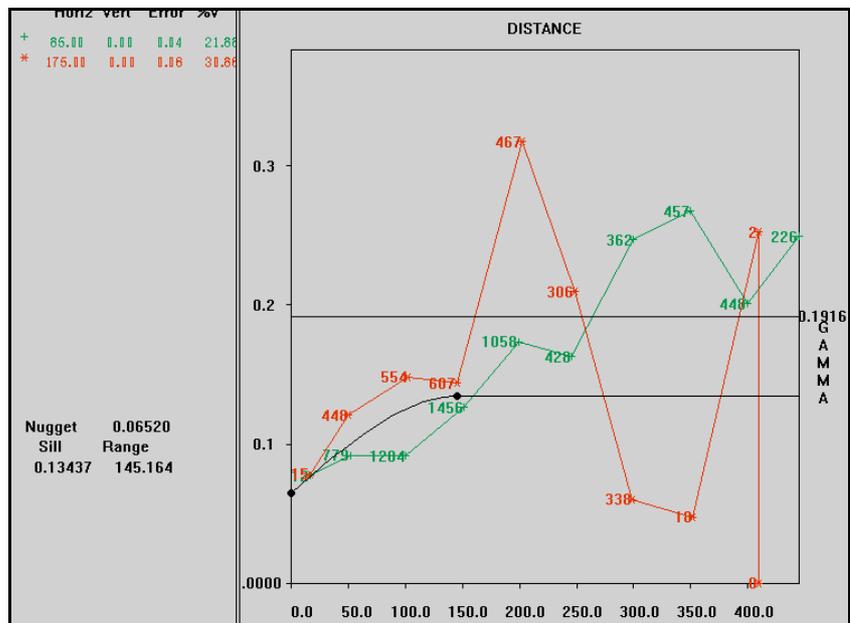


Figura C.25 Grupo 1 (lito 1).

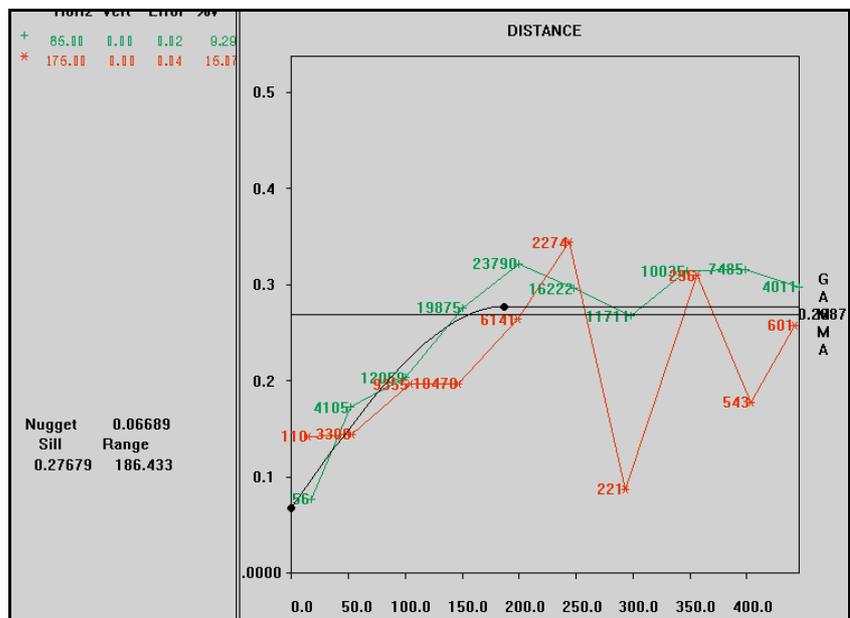


Figura C.26 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

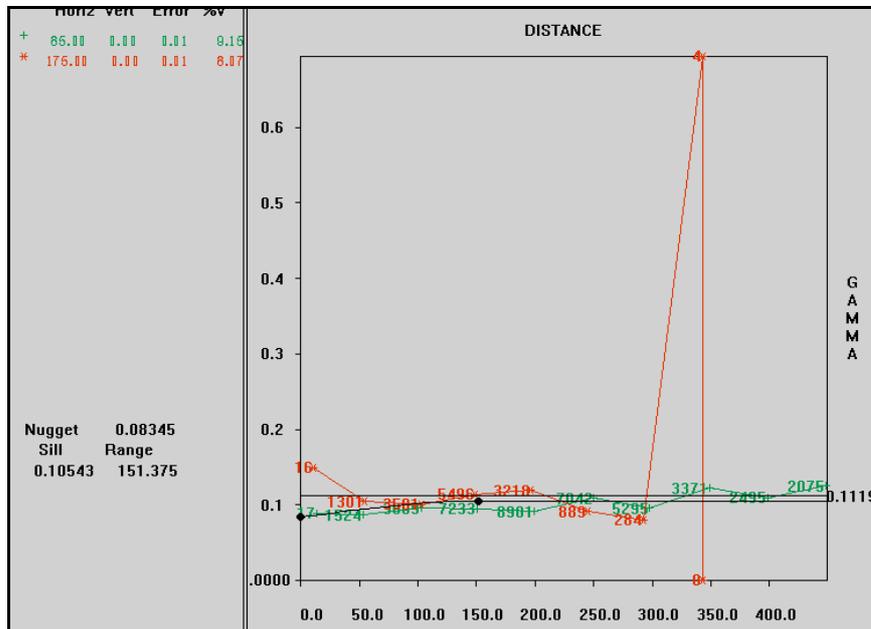


Figura C.27 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.10 Yacimiento Central parámetro químico Mn

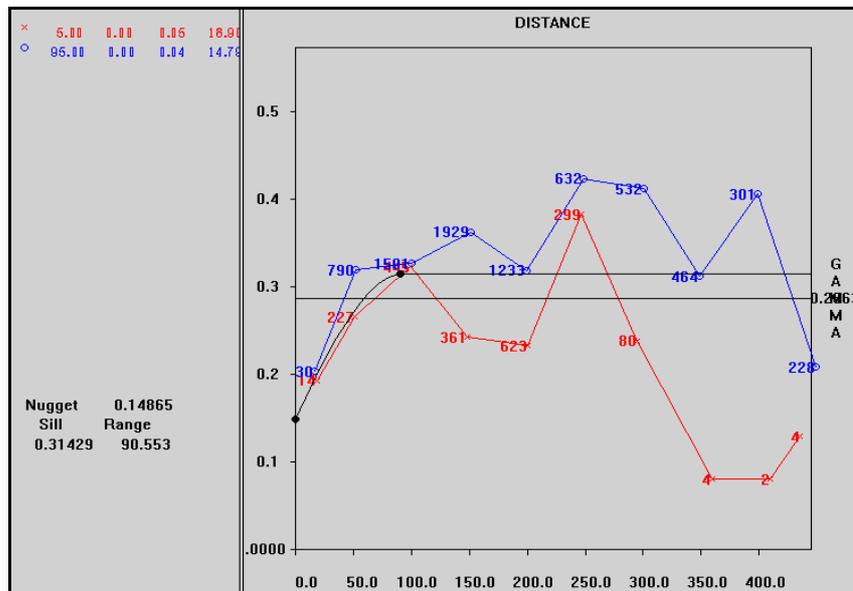


Figura C.28 Grupo 1 (lito 1).

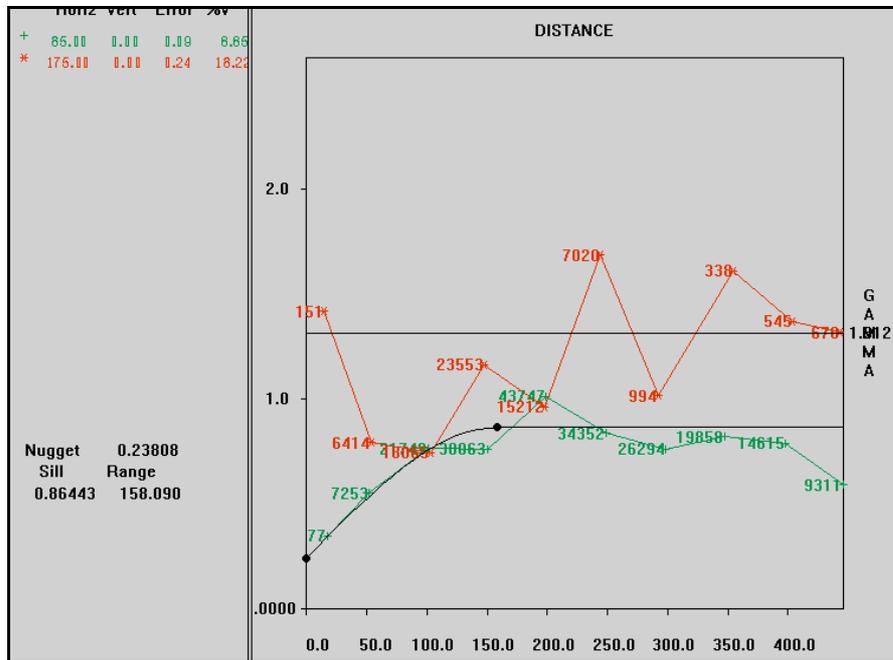


Figura C.29 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

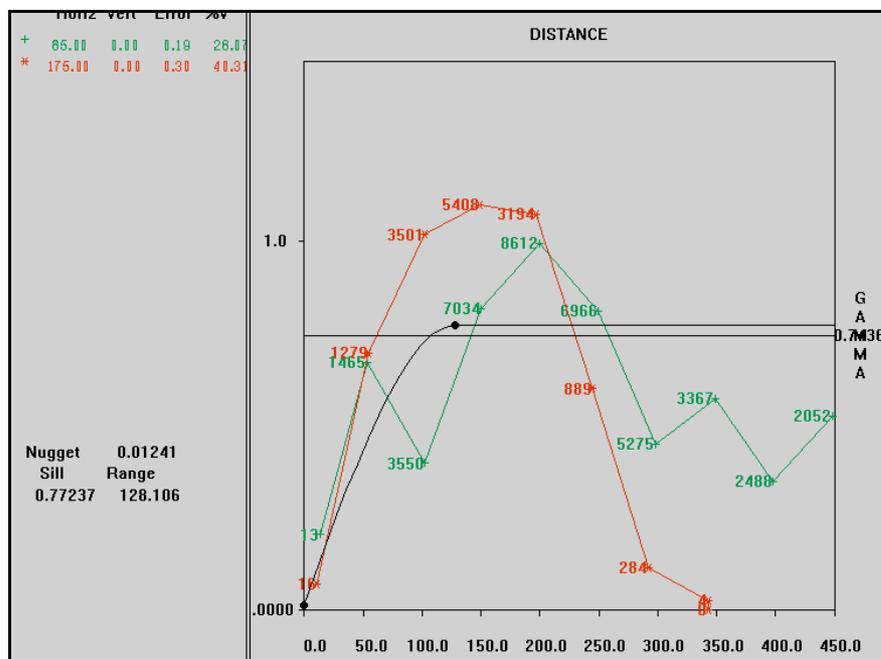


Figura C.30 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.11 Yacimiento Oriental parámetro químico SiO₂

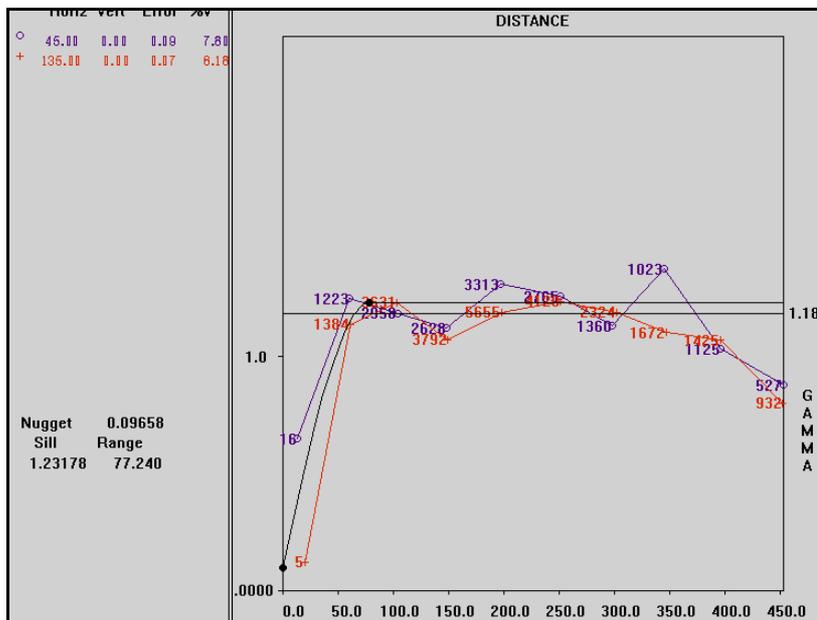


Figura C.31 Grupo 1 (lito 1).

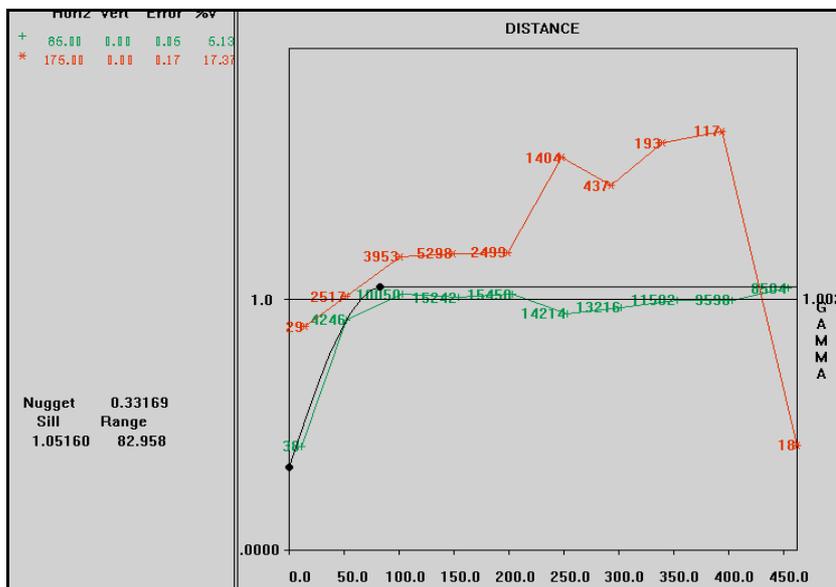


Figura C.32 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

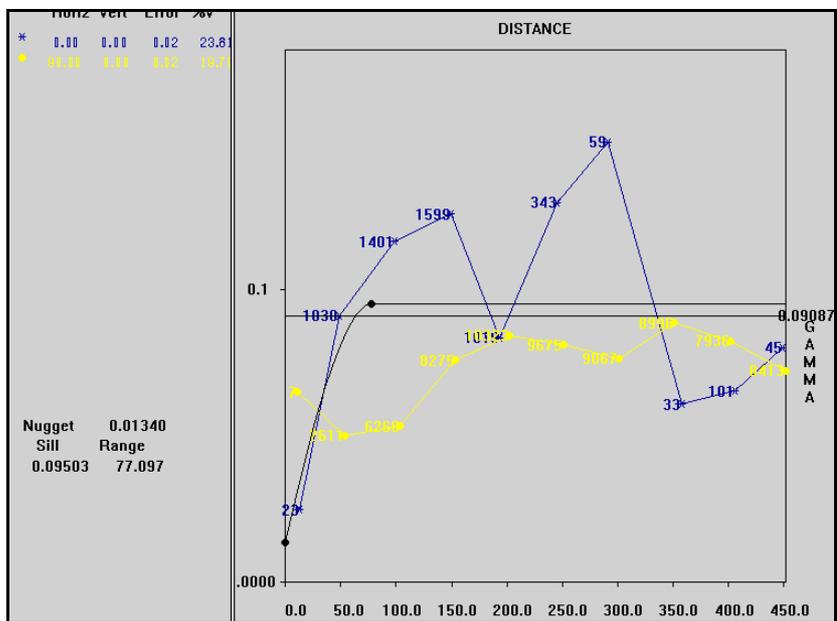


Figura C.33 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.12 Yacimiento Oriental parámetro químico Al_2O_3

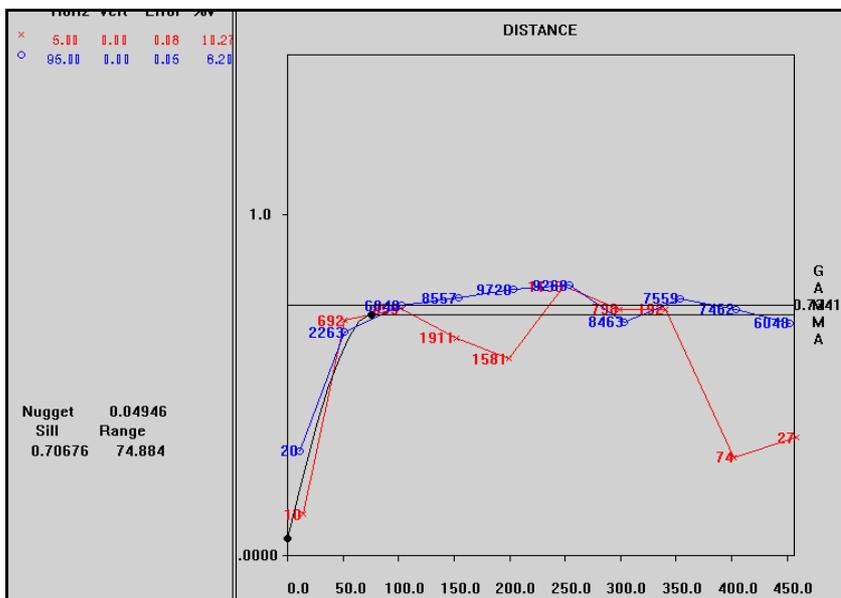


Figura C.34 Grupo 1 (lito 1).

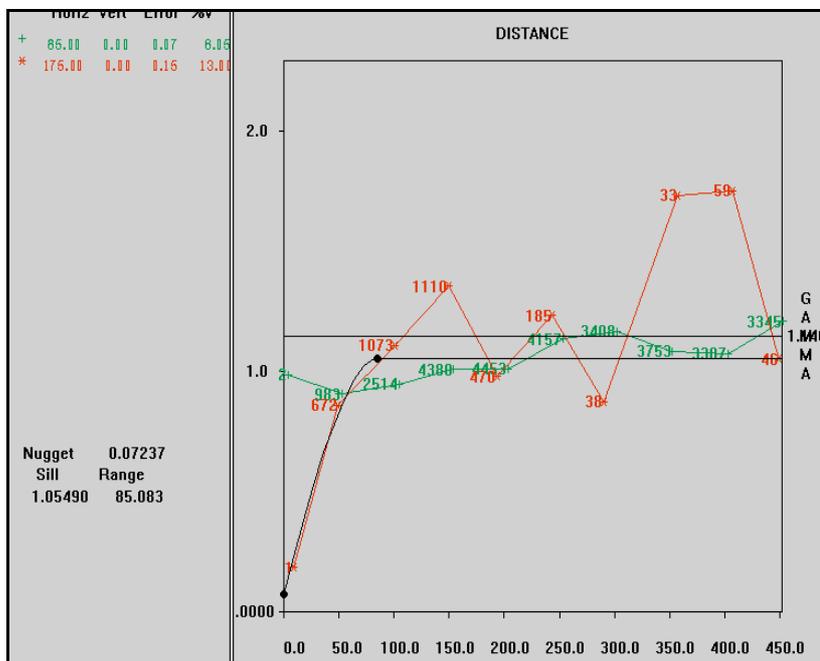


Figura C.35 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

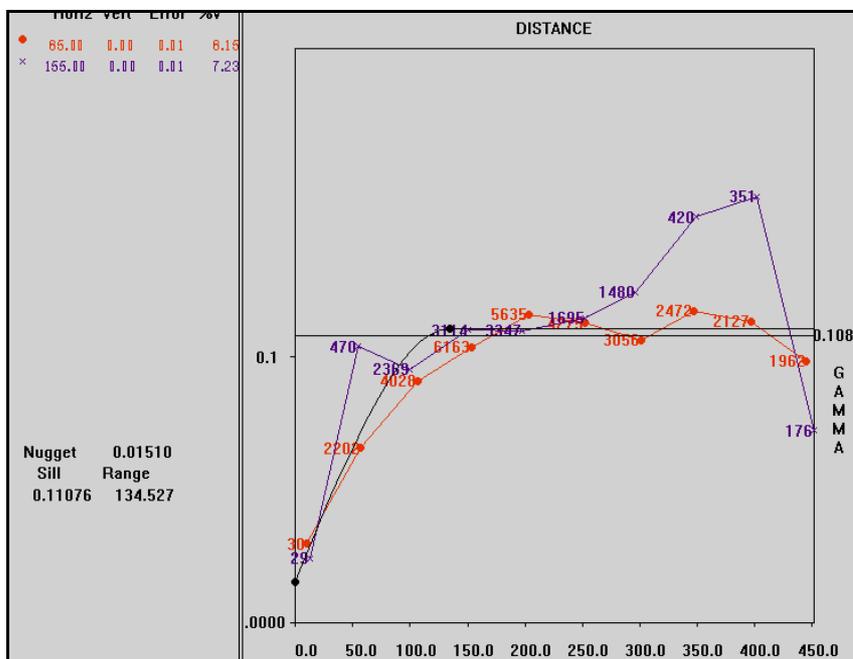


Figura C.36 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.13 Yacimiento Oriental parámetro químico P

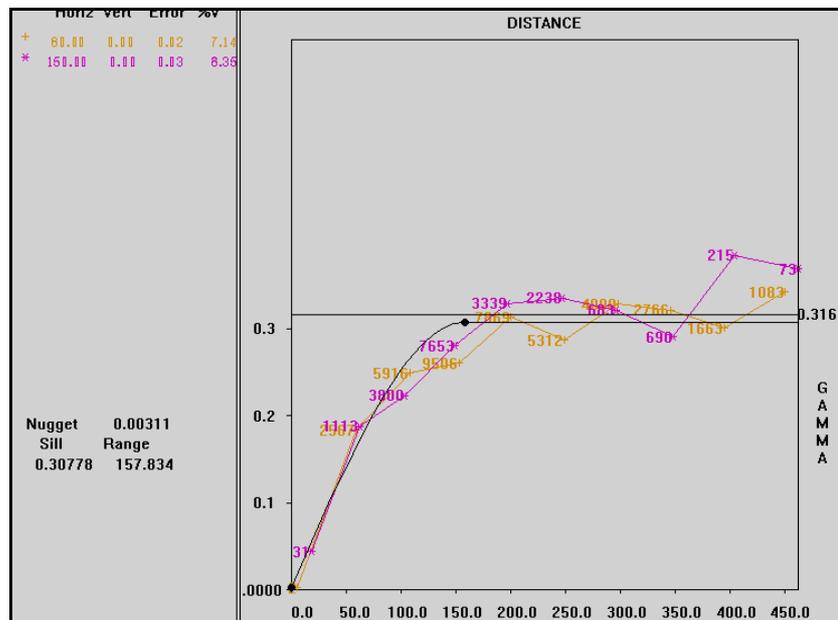


Figura C.37 Grupo 1 (lito 1).

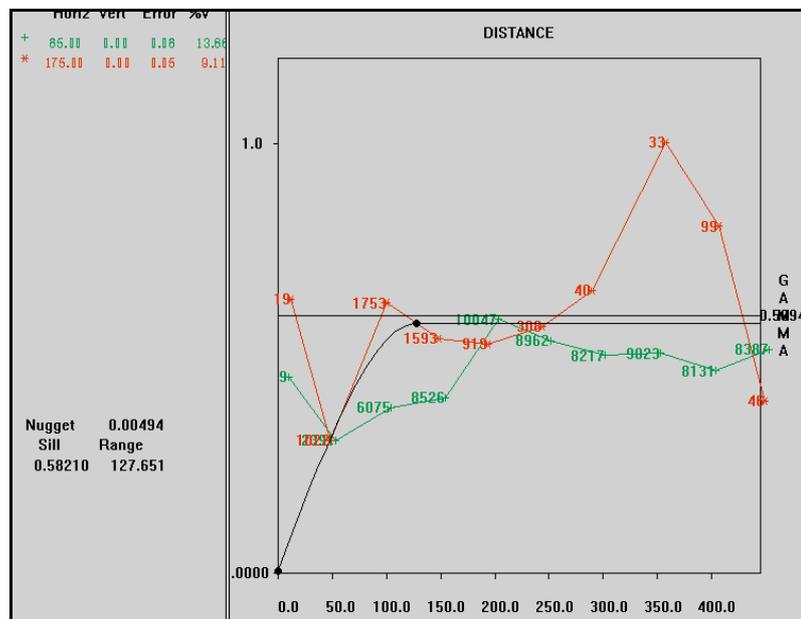


Figura C.38 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

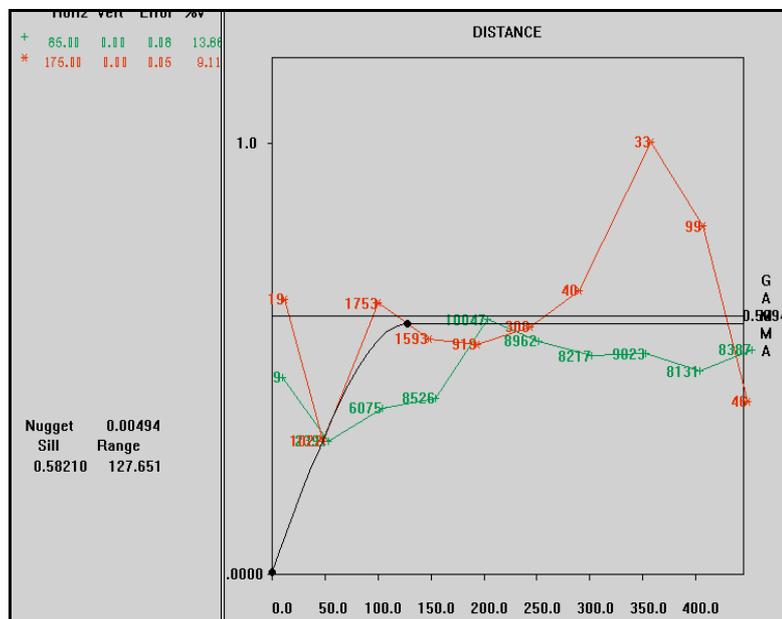


Figura C.39 Grupo 3 (lito 5, 6).

C.14 Yacimiento Oriental parámetro químico Mn

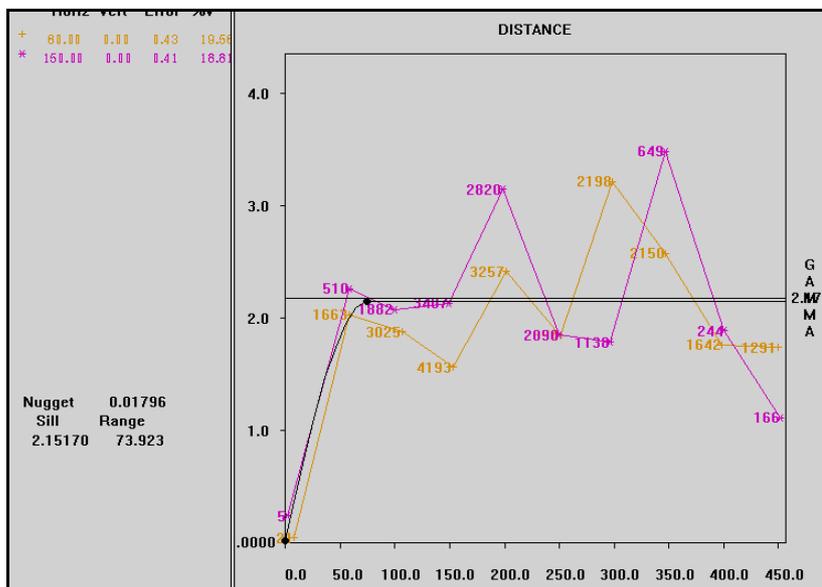


Figura C.40 Grupo 1 (lito 1).

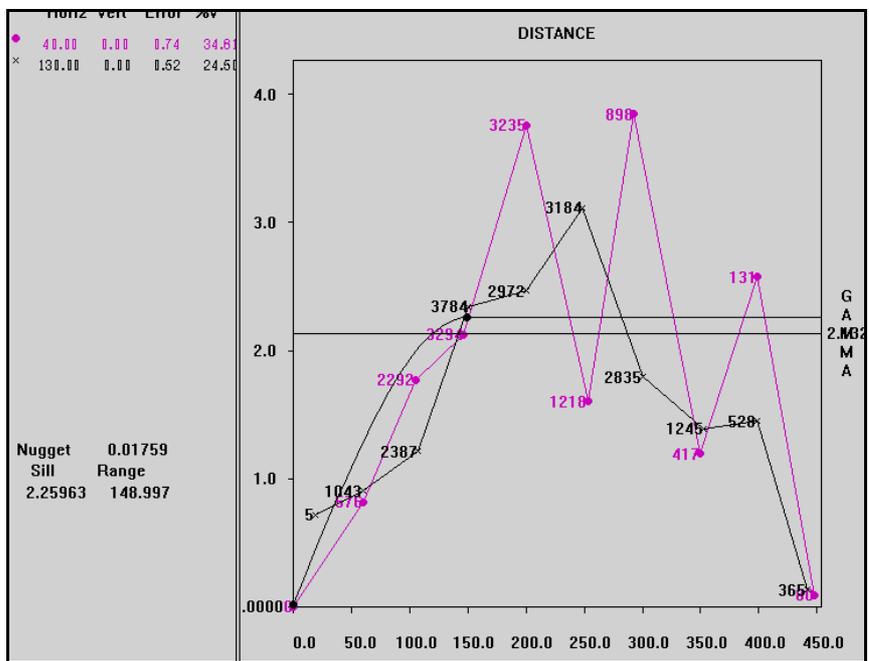


Figura C.41 Grupo 2 (lito 2, 3, 4, 8,).

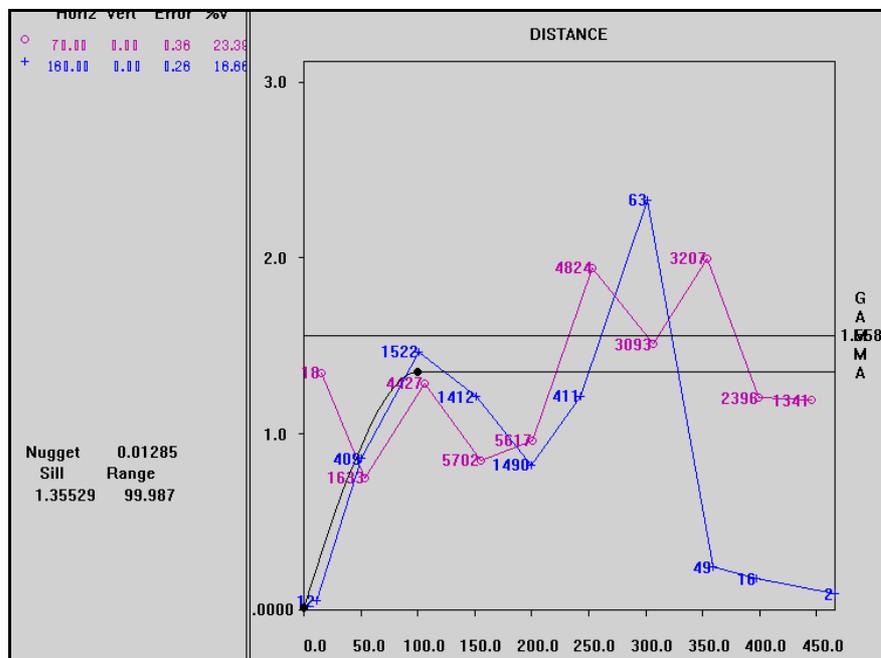


Figura C.42 Grupo 3 (lito 5, 6).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

Título	Comparación del comportamiento espacial de las variables químicas SiO_2 , Al_2O_3 , ppc, p y mn en las menas de los yacimientos Occidental, Central y Oriental del Cerro Altamira de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. Cuidad Piar, Estado Bolívar
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Torres L. Lisbeth M.	CVLAC	12.602.950
	e-mail	mariadsj@hotmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Comparación
Comportamiento espacial
Variables químicas SiO_2 , Al_2O_3 . PPC, P Y MN
yacimientos Occidental, Central y Oriental
Cerro Altamira
C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.
Cuidad Piar, Estado Bolívar

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de geología	Geología

Resumen (abstract):

El presente trabajo de grado se basó en un análisis geoestadístico efectuado con el software minero MineSight-Compass a la base de datos de los sondeos geoexploratorios pertenecientes a los yacimientos Occidental Central y Oriental del Cerro Altamira. Esto con la finalidad de determinar los radios de influencia de los parámetros sílice, alúmina, pérdida por calcinación, fósforo y manganeso, en cada tipo litológico existente en los yacimientos. Para ello se recopiló la base de datos de los sondeos geoexploratorios de cada yacimiento, luego se analizó la base de datos de los sondeos geoexploratorios de cada yacimiento, se construyeron y analizaron variogramas partiendo de la data de los sondeos geoexploratorios de cada yacimiento, se determinaron los radios de influencia por grupos litológico de los parámetros químicos de cada yacimiento y finalmente se compararon los resultados derivados del estudio geoestadístico.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Luis E., Araya R.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	13.156.123
	e-mail	Le.araya@udo.edu.ve
	e-mail	
Nelson A., Medori M.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12.194.992
	e-mail	nelsonmedori@hotmail.com
	e-mail	
Enrique L., A.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	5.082874
	e-mail	enriquelacosta@yahoo.com
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2011	03	04
------	----	----

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-Comparación del comportamiento.doc	Application/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .

Alcance:

Espacial: C.V.G FERROMINERA ORINOCO C.A. (Opcional)

Temporal: 10 años (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Departamento de Geología

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”**

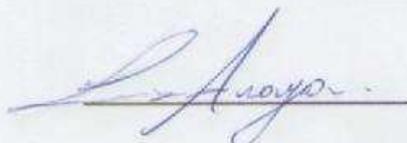
Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.



AUTOR 1

AUTOR 2

AUTOR 3



TUTOR

AUTOR 4

JURADO 1

JURADO 2

POR LA SUBCOMISION DE TESIS:



[Handwritten signature]
