

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



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LOS
PARÁMETROS QUÍMICOS SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P Y Mn EN LAS
MENAS DEL CERRO ALTAMIRA. CIUDAD PIAR, ESTADO
BOLÍVAR.**

**TRABAJO DE GRADO
PRESENTADO POR EL
BACHILLER ALEJOS G.
RAMSES A. PARA OPTAR
AL TÍTULO DE GEOLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, JULIO 2010

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado intitulado, “**Análisis del comportamiento espacial de los parámetros químicos SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P y Mn en las menas del cerro Altamira. Ciudad Piar, Estado Bolívar.**” presentado por el bachiller **Ramsés Alexander Alejos Guzmán**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Profesor Luís Araya

(Asesor)

Profesora Rosario Rivadulla

Jefe departamento de Geología

Ciudad Bolívar ____ de _____ 201__

DEDICATORIA

Se la dedico a Dios, mi mejor mentor.

Este trabajo va dedicado a mis padres Aleida Guzmán de Alejos y Víctor Alejos y se lo merecen luego del esfuerzo y sacrificio hecho para yo poder cumplir mi sueño.

Se lo dedico a mis seres queridos que ya partieron de este mundo pero que estoy seguro que su energía me acompaña y han estado siempre conmigo, aunque no los vea ni los escuche se que de estar conmigo la felicidad compartida sería inmensa.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le agradezco a Dios por la bendición de la vida.

A mis padres por el amor, el apoyo incondicional, la educación, por ser mis compañeros, amigos y consejeros.

A la Universidad de Oriente por ser la casa de estudio donde adquirí los conocimientos que empleare a futuro en el campo laboral.

A la empresa Ferrominera Orinoco y especialmente a la Jefatura de Área Geología por la oportunidad de conocer el ambiente laboral.

A mis amigos Pedro Medina, Miguelangel Solís, Miguel Vásquez, Rosneily Sánchez, Adriana Guanchez, Albano Silva muy especialmente a Vanessa Berdayes mi excelente compañera, amiga e incomparable mujer.

Especialmente a María Bravo mi tutora y amiga quien tomó las riendas y me asesoró en el debido momento, siempre con espíritu, superando vicisitudes y al profesor Luís Araya mi tutor académico por su recepción y atención constante, además de las enseñanzas brindadas a mi persona.

Alejos G. Ramses A.

RESUMEN

En el estudio realizado se analiza la influencia espacial de las variables químicas Sílice, Alúmina, Pérdida por Calcinación, Fósforo y Manganeseo en las menas del cerro Altamira a partir de la información de los sondeos geoexploratorios. Este cerro se ubica aproximadamente a 100 km al Sur de Ciudad Bolívar y a 15 km al Noreste de Ciudad Piar, en el estado Bolívar. Para realizar este estudio, primeramente, se revisó la base de datos en Microsoft Excel, para luego ser cargada en el software minero MedSystem. En éste sistema se calcularon los compuestos para ajustar los datos al tipo de explotación por banco de 15 metros aplicada en la mina. Se aplicó la estadística descriptiva a la data por medio del software MedSystem, se realizó un análisis poblacional que consta de gráficas de Media vs. Desviaciones Estándar, curvas log-probabilísticas y análisis cluster concatenado con el análisis geológico y así agrupar las litologías análogas separándolas de aquellas con un comportamiento estadístico diferente. Al determinar los grupos se procedió a calcular los correlogramas para visualizar la dirección preferencial de mineralización. Posteriormente, se calcularon los variogramas para así obtener los radios de influencia por parámetro químico de cada grupo litológico formado a través del análisis poblacional. Finalmente, se validaron los resultados de la estimación (point validation). Los resultados obtenidos de los rangos de influencia fueron comparados con los determinados por la empresa Mintec Inc. en el año 1999, y se pudo observar una disminución en los radios de influencia, producto de la reducción del mallado de perforación en los sondeos geoexploratorios. Los resultados del point validation se consideraron óptimos y son similares a los obtenidos utilizando los datos de la empresa Mintec Inc, por lo que se concluyó que aún se pueden seguir empleando los radios de influencia determinados en el año 1999, ya que tienen un buen grado de confiabilidad.

CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.4 Alcance de la investigación.....	5
1.5 Limitaciones de la investigación.....	5
CAPÍTULO II	6
GENERALIDADES	6
2.1 Generalidades del yacimiento Altamira.....	6
2.2 Aspectos físicos y climáticos de la zona	8
2.2.1 Geomorfología	8
2.2.2 Vegetación.....	9
2.2.3 Drenaje	9
2.2.4 Clima y precipitación	10
2.3 Geología regional	10
2.3.1 Litología	14
2.3.2 Edad y extensión geográfica	15
2.3.3 Suelos	15
2.3.4 Estilo estructural y metamorfismo	15
2.3.5 Recursos minerales.....	16
2.4 Geología local	16
2.4.1 Yacimiento occidental.....	17
2.4.2 Yacimiento central y oriental	17
2.5 Génesis de los yacimientos	19
2.6 Clasificación litológica	20
2.6.1 Menas duras	21
2.6.2 Menas blandas	26

2.6.3 Menas de bajo tenor	30
2.6.4 Estéril	31
2.7 Influencia de la composición de los minerales de hierro en la calidad de los productos que comercializa C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A.	32
2.7.1 Sílice (SiO_2): 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 (Flores, M. 2004).	33
2.7.2 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 PPC 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 (Flores, M. 2004).	33
2.7.3 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. También se requerirían fundentes adicionales en el proceso de aceración debido a que la alúmina es una ganga ácida (Flores, M. 2004).	33
2.7.4 Fósforo (P): 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 (Flores, M. 2004).	33
2.8 Nomenclatura litológica	34
CAPÍTULO III	37
MARCO TEÓRICO	37
3.1 Antecedentes de la investigación	37
3.2 Generalidades de la Estadística	38
3.2.1 Tamaño de la muestra	39
3.2.2 Media aritmética ($\bar{x}$)	39
3.2.3 Mediana (Me)	39
3.2.4 Moda (Mo)	40
3.2.5 Mínimo (Mín)	40
3.2.6 Máximo (Máx)	41
3.2.7 Rango de la distribución	41
3.2.8 Varianza (σ^2)	41
3.2.9 Desviación estándar (σ)	42
3.2.10 Coeficiente de variabilidad (CV)	42
3.2.11 Coeficiente de asimetría (α)	43
3.2.12 Distribución normal	43

3.2.13 Distribución lognormal	45
3.3 Histogramas	45
3.4 Análisis de cluster	47
3.5 Sondeos geoexploratorios	48
3.6 Secciones verticales	48
3.7 Generalidades del software Medsystem.....	49
3.7.1 Inicialización del proyecto	50
3.7.2 Operaciones con datos de sondeos.....	51
3.7.3 Operaciones con compuestos	52
3.8 Geoestadística	53
3.8.1 Variables regionalizadas	54
3.8.2 Características de las variables regionalizadas	54
3.9 Variogramas	54
3.10 Variograma experimental.....	55
3.11 Análisis gráfico del variograma	56
3.11.1. Meseta (Sill).....	56
3.11.2 Rango o alcance	56
3.11.3 El efecto pepita.....	57
3.11.4 Comportamiento en el origen.....	57
3.12 Anisotropías	58
3.12.1 Anisotropía geométrica o elíptica	59
3.12.2 Anisotropía zonal	59
3.13 Modelos teóricos de semivariogramas	60
3.14 Aplicaciones del semivariograma	64
3.15 Problemas más comunes encontrados en el cálculo del semivariograma	65
3.15.1 El valor idóneo del incremento h	65
3.15.2 Distribuciones con valores extremos	65
3.16 Kriging	65
3.17 Método de interpolación por el inverso de la distancia al cuadrado (IDW)	67
CAPÍTULO IV.....	69
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	69
4.1 Nivel de la investigación.....	69
4.2 Diseño de la investigación	69
4.3 Flujograma de trabajo	69
4.3.1 Recopilación de la literatura.....	71
4.3.2 Chequeo de la data de los sondeos.....	71
4.3.3 Carga de la base de datos al software minero MedSystem	74
4.3.4 Generación de las estadísticas básicas e histogramas	76
4.3.5 Análisis de la población	76
4.3.6 Análisis de histogramas.....	81
4.3.6 Construcción de correlogramas.....	82
4.3.7 Construcción de variogramas.....	84
4.3.8 Validación de los resultados de los variogramas	85

4.3.9 Comparación de los resultados obtenidos con los datos de Mintec Inc.....	86
CAPÍTULO V	88
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	88
5.1 Estadísticas básicas	88
5.2 Análisis del comportamiento de las menas	93
5.2.2 Curvas Log probabilísticas.....	100
5.2.3 Análisis de cluster	104
5.3 Histogramas	108
5.4 Análisis del resultado de los correlogramas.....	108
5.5 Análisis del resultado de los variogramas	109
5.6 Validación del modelo	111
5.7 Comparación de los resultados obtenidos con los datos de Mintec Inc.....	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
Conclusiones	117
Recomendaciones.....	118
REFERENCIAS	120
APÉNDICES.....	124
APÉNDICE A	124
Histogramas de los grupos litológicos obtenidos del análisis poblacional	124
APÉNDICE B	137
Correlogramas de los grupos litológicos obtenidos del análisis poblacional.....	137
APÉNDICE C	146
Variogramas de los grupos litológicos obtenidos del análisis poblacional.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación relativa del cerro Altamira (C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A, 2004).	7
Figura 2.2 Provincias litotectónicas del Escudo de Guayana (Mendoza, V. 2005).una cobertura de sedimentos discordantes sobre rocas pertenecientes a la provincia de Pastora o Cuchivero (Mendoza, op. cit.).....	12
Figura 2.3 Plano topográfico, trazas de las secciones y sondeos del cerro Altamira (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).....	18
Figura 2.4 Columna litológica y esquema de enriquecimiento supergénico de los depósitos. (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).....	21
Figura 2.5 Costra Hematítica (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	22
Figura 2.6 Costra Limonítica (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	23
Figura 2.7 Costra Goetítica. (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	24
Figura 2.8 Costra Masiva. (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	25
Figura 2.9 Costra Laminada (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	25
Figura 2.10 Costra Silíceas (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	26
Figura 2.11 Finos Negros (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	27
Figura 2.12 Finos Marrones (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	28
Figura 2.13 Finos Silíceos (textura laminada) (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	28
Figura 2.14 Finos muy Silíceos (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	29
Figura 2.15 Limonita Amarilla C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	29
Figura 2.16 Cuarzita Ferruginosa Friable (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	30
Figura 2.17 Cuarzita Ferruginosa Dura (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	31
Figura 2.18 Laterita (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	32
Figura 2.19 Gneis (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).	32
Figura 3.1 Tipos de distribuciones de poblaciones (Aguaje, G. 2009).	43
Figura 3.2 Campana de Gauss representando la distribución normal y sus desvíos estándares (Cuador, J. 2006).	44
Figura 3.3 Distribución lognormal (Masias, 2004).	45
Figura 3.4 Histograma de frecuencia (Dávila, D. 2006).	46
Figura 3.5 Sección vertical NW-SE del cerro Altamira (Ferrominera Orinoco, 2008). .	49
Figura 3.6 Variograma teórico ajustado a un variograma experimental (Chica, M. 1998).	57
Figura 3.7 Comportamiento del variogramas, Parabólico, lineal, discontinuidad en el origen (efecto pepita) y discontinuo puro. (Cuador y otros, 2000).	58
Figura 3.8 Representación gráfica de la anisotropía geométrica y anisotropía zonal (Chica, M. 1998).	60
Figura 3.9 Modelos de semivariogramas teóricos (Chica, M. 1998).	63
Figura 3.10 Diferentes distancias de búsqueda en las cuales se toman muestras para ser utilizadas en los cálculos (Vera, M. 2008).	68

Figura 4.1 Esquema de metodología del proyecto.....	70
Figura 4.2 Base de datos de los sondeos geoexploratorios en hoja de cálculo para ser cargada en MedSystem.	73
Figura 4.3 Formación de compuestos por longitud fija.	75
Figura 4.4 Gráfica de Media vs. Desviación estándar.	77
Figura 4.5 Gráfica de Media vs. Coeficiente de Variación.....	77
Figura 4.6 Curvas Log-probabilísticas (Calculado en el software minero MedSystem).	79
Figura 4.7 Dendograma con todas las lito por el método simple.....	81
Figura 4.8 Reporte de la estadística básica e histograma.....	82
Figura 4.9 Elementos del correlograma.	83
Figura 4.10 Variograma de la sílice de las litologías 2, 3, 4, 8 (Grupo 2).	84
Figura 4.11 Nube de correlación.....	86
Figura 5.1 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Sílice.....	94
Figura 5.2 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Sílice.....	95
Figura 5.3 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Alúmina.....	96
Figura 5.4 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Alúmina.....	96
Figura 5.5 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Pérdida por Calcinación.....	97
Figura 5.6 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Pérdida por Calcinación.....	97
Figura 5.7 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Fósforo.	98
Figura 5.8 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Fósforo.	99
Figura 5.9 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Manganeseo.	99
Figura 5.10 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Manganeseo.....	100
Figura 5.11 Curvas Log probabilísticas del parámetro Sílice.	101
Figura 5.12 Curvas Log probabilísticas del parámetro Alúmina.	101
Figura 5.13 Curvas Log probabilísticas del parámetro Pérdida por Calcinación.	102
Figura 5.14 Curvas Log probabilísticas del parámetro Fósforo.....	103
Figura 5.15 Curvas Log probabilísticas del parámetro Manganeseo.....	104
Figura 5.16 Dendograma resultante por el método de Ward`s.	105
Figura 5.17 Dendograma resultante por el método Simple.....	105
Figura 5.18 Dendograma resultante por el método Completo.	106
Figura 5.19 Dendograma resultante por el método Centroides.	107
Figura 5.20 Dendograma resultante por el método Average.	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación litológica empleada por la Jefatura de Área Geología	35
Tabla 5.1 Estadística básica de las costras.	89
Tabla 5.2 Estadística básica de los finos.	90
Tabla 5.3 Estadística básica de los finos silíceos.	90
Tabla 5.4 Estadística básica de los finos muy silíceos.	91
Tabla 5.5 Estadística básica de las cuarcitas duras.	92
Tabla 5.6 Estadística básica de las cuarcitas friables.	92
Tabla 5.7 Estadística básica de la limonita.	93
Tabla 5.6 Direcciones de los ejes de los correlogramas.	109
Tabla 5.7 Parámetros resultantes de los modelos teóricos del grupo uno (1).	110
Tabla 5.8 Parámetros resultantes de los modelos teóricos del grupo dos (2).	111
Tabla 5.9 Parámetros resultantes de los modelos teóricos del grupo tres (3).	111
Tabla 5.10 Resultados del point validation.	113
Tabla 5.11 Comparación de los radios de influencias calculados en el presente estudio con los calculados por la empresa Mintec en el año 1999.	115
Tabla 5.12 Comparación del coeficiente de correlación.	116

INTRODUCCIÓN

El Estado Bolívar en Venezuela dispone de la reserva más grande de mineral de hierro del país, siendo éste, apropiado para la fabricación de acero. Ferrominera Orinoco C.A. como empresa del Estado Venezolano, tiene como responsabilidad la extracción, procesamiento y comercialización del mineral de hierro y sus productos, con eficiencia y calidad.

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 y 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 desarrolla la geoestadística como ciencia aplicada.

El presente estudio consiste en un análisis de la distribución espacial a partir de información obtenida de sondeos geoexploratorios realizados en el cerro Altamira, el cual está ubicado aproximadamente a 100 km al Sur de Ciudad Bolívar y a 15 km al Noreste de Ciudad Piar, en el Estado Bolívar.

La estructura del presente estudio consta de cinco (5) capítulos. El Capítulo I comprende el planteamiento del problema, del objetivo general y los objetivos específicos así como también de la justificación y limitaciones del proyecto. En el Capítulo II se encuentran las generalidades del área de estudio. El Capítulo III contiene los antecedentes de la presente investigación y el marco teórico. En el Capítulo IV se explica la metodología utilizada para el análisis espacial. En el

Capitulo V se encuentran los análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el presente proyecto. Por último las conclusiones y recomendaciones. Todas las fuentes utilizadas a lo largo de la investigación se encuentran citadas en las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

La empresa C.V.G FERROMINERA ORINOCO C.A. es una empresa del Estado Venezolano, que inició operaciones en Enero de 1976. Su política es extraer, procesar y suministrar mineral de hierro y sus derivados en el país. Tiene el deber de estudiar de forma integral los yacimientos de este tipo de 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 horizontales, descripción de sondeos geoexploratorios, etc. Sin embargo, para estimar los valores de los parámetros químicos Silice (SiO_2) Alúmina (Al_2O_3) Pérdida por calcinación (PPC), Fósforo (P) y Manganeseo (Mn), según su comportamiento espacial, se debe determinar los radios de influencia, haciendo uso de la Geoestadística.

Los radios de influencia fueron determinados por la empresa Mintec Inc. en el año 1999 para el cerro Altamira a partir de los sondeos geoexploratorios, desde entonces se han incrementados la base de datos de los sondeos geoexploratorios sin ser recalculados los radios de influencia.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar la influencia espacial de las variables químicas SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, y Mn en las menas del cerro Altamira. Ciudad Píar, Estado Bolívar.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Recopilar la base de datos de los sondeos geoexploratorios del cerro Altamira.
- b) Analizar la base de datos de los sondeos geoexploratorios del cerro Altamira haciendo uso de Estadística Clásica.
- c) Construir y analizar variogramas partiendo de la data de los sondeos geoexploratorios realizados en el cerro Altamira.
- d) Determinar los radios de influencia por tipo litológico de los parámetros químicos SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, Mn.
- e) Cotejar los resultados derivados de este estudio geoestadístico con los radios de influencia que se aplican actualmente en el cerro Altamira.

1.3 Justificación de la investigación

La Jefatura de Área Geología de la empresa Ferrominera Orinoco realizó la última actualización de los radios de influencia de los parámetros químicos SiO_2 ,

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.

1.4 Alcance de la investigación

A través de la obtención y actualización de los diferentes radios de influencia de los parámetros químicos SiO₂, Al₂O₃, PPC, P y Mn del cerro Altamira, se generará 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 para el software geológico-minero MedSystem.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Generalidades del yacimiento Altamira

El cerro Altamira está ubicado dentro de la jurisdicción del municipio Bolivariano Angostura, Estado Bolívar a 15 km al Este de Cerro Bolívar, a 15 km al Noreste de Ciudad Piar, aproximadamente a 100 km al Sur de Ciudad Bolívar y 130 km al Sureste de Ciudad Guayana con coordenadas UTM aproximadas de N 826500 – N 828500 y E470000 – E 472500 (figura 2.1).

El cerro Altamira fue descubierto antes de 1947 y el primer mapeo geológico fue realizado en 1954 por la Orinoco Mining Company, la cual también hizo estudios petrológicos y químicos para determinar la cantidad relativa de hierro y ganga. Desde 1975 hasta 1982 el Cerro Altamira estuvo en producción bajo la coordinación de la empresa CVG Ferrominera Orinoco C.A.; con un receso de actividades entre 1977 y 1979, debido a la disminución de la demanda a nivel internacional y a la mayor exigencia de calidad de mineral por el mercado mundial, sin embargo en ese tiempo se realizó el mantenimiento de los taludes.

Para reiniciar operaciones en el cerro Altamira en el año 1980 se requirió de un reacondicionamiento total de la infraestructura abandonada y que podía ser recuperada

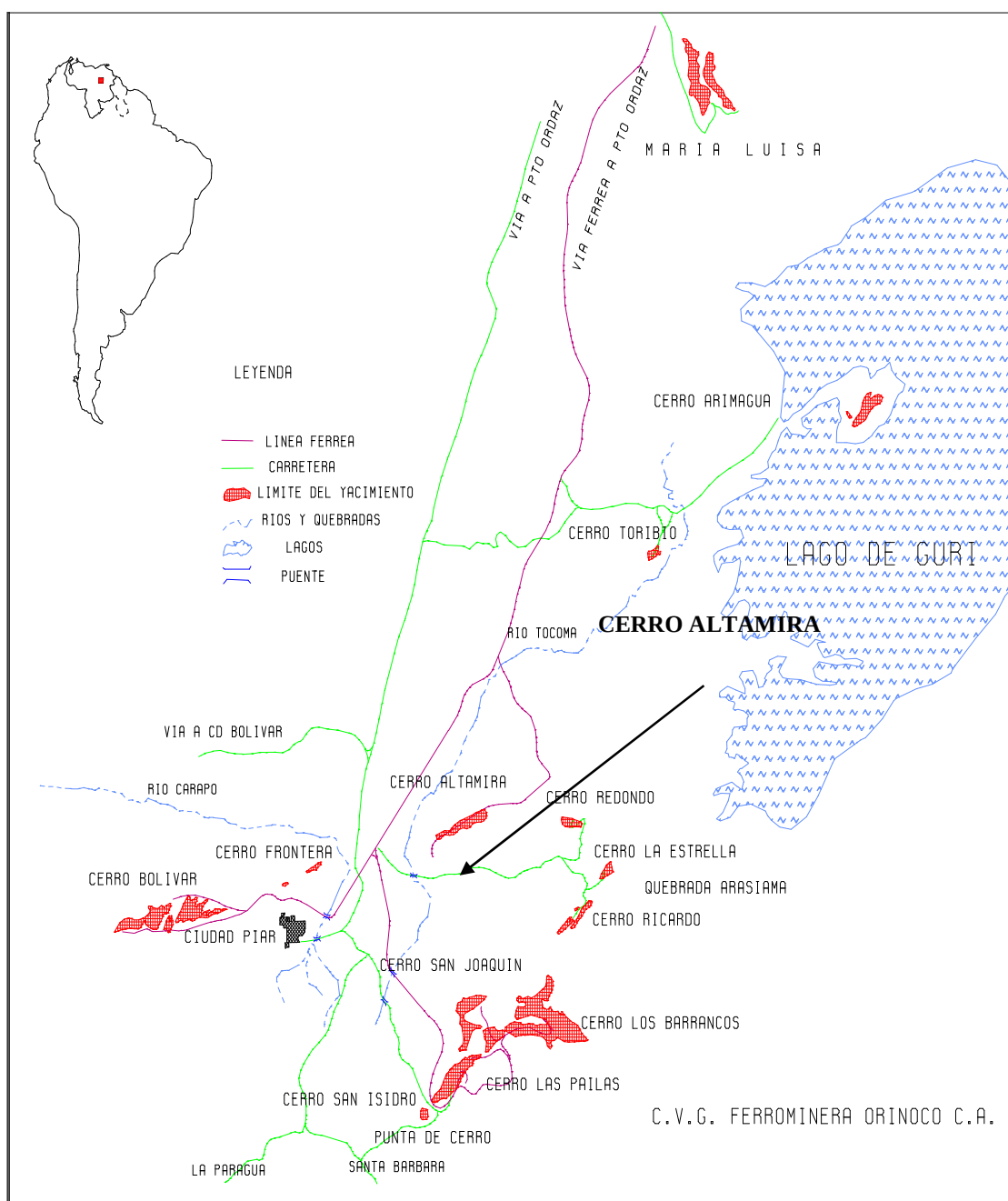


Figura 2.1 Ubicación relativa del cerro Altamira (C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A, 2004).

Actualmente, se cuenta con la siguiente información del yacimiento en estudio: planos topográficos, planos geológicos de superficie, planos de piso de yacimiento, secciones geológicas verticales cada 50 metros, secciones geológicas horizontales cada 15 metros. Se cuenta además con 849 sondeos para un total de 58113.85 metros perforados de los cuales 416 son CDH (perforación de roto-percusión), 115 DDH (perforación de diamante), 9 Mixto y 309 CR (circulación reversa).

2.2 Aspectos físicos y climáticos de la zona

2.2.1 Geomorfología

Se presentan diversas formas topográficas controladas por los diferentes tipos de rocas que constituyen el 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 (Flores, M. 2004).

Acantilados característicos de las formaciones sedimentarias horizontales, destacan sobre la Formación Mesa, sobre los cuales aparecen afloramientos de rocas de la parte Norte del Complejo Imataca.

En la faja 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 cuarzo-feldespático bandeados, con intercalaciones de Gneis diorítico blanco y lentes delgados de formación de hierro (Flores, M. 2004).

2.2.2 Vegetación

La flora se ha clasificado como Tropófito Macrotérmico y Bosque Pluvial. Las regiones montañosas están cubiertas de espesa vegetación, baja en las colinas, densas y altas en los valles. Entre las especies se tienen la *Clusia* de la familia Guttiferae y el Copey, indicando siempre la presencia de menas ferríferas (Flores, M. 2004).

2.2.3 Drenaje

Los ríos drenan según el rumbo de la foliación de los gneises y de las formaciones de hierro. Al Norte de la faja del Cerro Bolívar, el drenaje está controlado por zonas de debilidad creadas por corrimientos que sirven de contactos a las diferentes fajas de rocas; las vertientes tienen dirección Norte-Sur a N20°W (Flores, M. 2004).

El río Carapo al Norte del Cerro Bolívar esta controlado por la foliación Noroeste del gneis hasta llegar un poco al Oeste del puente sobre dicho río, en el antiguo camino de Ciudad Bolívar/La Parida, donde el río corre a lo largo de la falla Gurí/río Carapo. La captura de los ríos es muy común en esta zona, la cabecera del río Carapo originalmente lo fue del río Tocoma, el cual fue capturado primero a la altura de la silla del Cerro Prado-Cerro Altamira. El mismo río tocoma era afluentes del río Caroní en el valle al Sur del Cerro Toribio y fue capturado por un afluente del río Claro en la silla del Cerro Toribio-Cerro Jabillal. El caño Peña Negra, su cabecera y la quebrada de Las Adjuntas fueron capturadas por el río Araciana en la silla La Estrella- El Carapo (Flores, M. 2004).

2.2.4 Clima y precipitación

El clima de la Guayana Septentrional puede clasificarse como clima tropical. La temperatura media de la región es de 26.7°C (tomada en Ciudad Piar), con un máximo de 33.3°C y un mínimo de 18.2°C respectivamente, caracterizado por fuentes y torrenciales lluvias durante el invierno y prolongadas sequías durante el verano. La precipitación media es de 1.905mm por año (Ciudad Piar). Las lluvias caen entre Mayo y Octubre, con mayor fuerza entre Julio y Agosto y muy escasas entre Octubre y Marzo (Flores, M. 2004).

2.3 Geología regional

En el continente sudamericano las rocas de edad Precámbrica se encuentran principalmente divididas por dos secciones: la del Sur (Escudo Brasileiro) y la del Norte (Escudo de Guayana), representando, este último, la quinta parte del total. Están separados por la Cuenca del Río Amazonas, expresión de una gran geofractura profunda que se proyecta a más de 70 kilómetros en la corteza (Mendoza, V. 2005).

La estructura del Escudo está constituida por las rocas más antiguas del planeta, que superan los 800 m.a, llegando algunas a 3600 m.a de antigüedad. Esto significa que estas estructuras se generaron durante el período Precámbrico, caracterizado por intensas y sucesivas actividades orogénicas, epirogénicas y volcánicas, intercaladas con períodos de meteorización, erosión y sedimentación. Los cratones contienen rocas de gran rigidez, sin plasticidad alguna que permitiese plegamientos posteriores al Precámbrico. De ahí su estabilidad relativa frente a los movimientos tectónicos (orogénicos y sísmicos) y el hecho de que solamente hayan sido afectadas por movimientos de ascenso y descenso (epirogénicos), sin flexión alguna. Puede decirse, en fin, que los escudos se fragmentan, pero no se dobla (Mendoza, op. cit.).

La columna estratigráfica del Escudo de Guayana comienza con el granito gnéisico del Arqueano (Precámbrico Inferior) cubierto discordantemente por metasedimentos de la Era Algonkiana (Precámbrico Superior). Las rocas precámbricas más antiguas son metamórficas, de alto grado, parcialmente migmáticas, representadas por paraneises, esquistos, gneises graníticos, esquistos anfibolíticos y anfibolita, intrusionadas por granodioritas y rocas magmáticas básicas completamente deformadas. El Escudo de Guayana en su parte Septentrional se encuentra en Venezuela al sur del río Orinoco, mientras que su parte meridional se adentra en Colombia, Brasil, Guyana, Surinam y la Guayana Francesa. (Mendoza, op. cit.).

En base a caracteres petrológicos y tectónicos, el Escudo de Guayana ha sido dividido en Venezuela en cuatro provincias geológicas de acuerdo con sus cualidades litológicas, entre las que figuran la cronología, asociaciones y minerales que componen las rocas. Estas provincias se denominan: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (Figura 2.2).

Petrológicamente la Provincia de Imataca pertenece al denominado Cinturón Granulítico, Pastora a los Cinturones Verdes y Cuchivero se caracteriza por grandes extensiones de granitos (1800 a 2000 m.a) y granitos post-tectónicos (1500 m.a). La Provincia de Roraima es

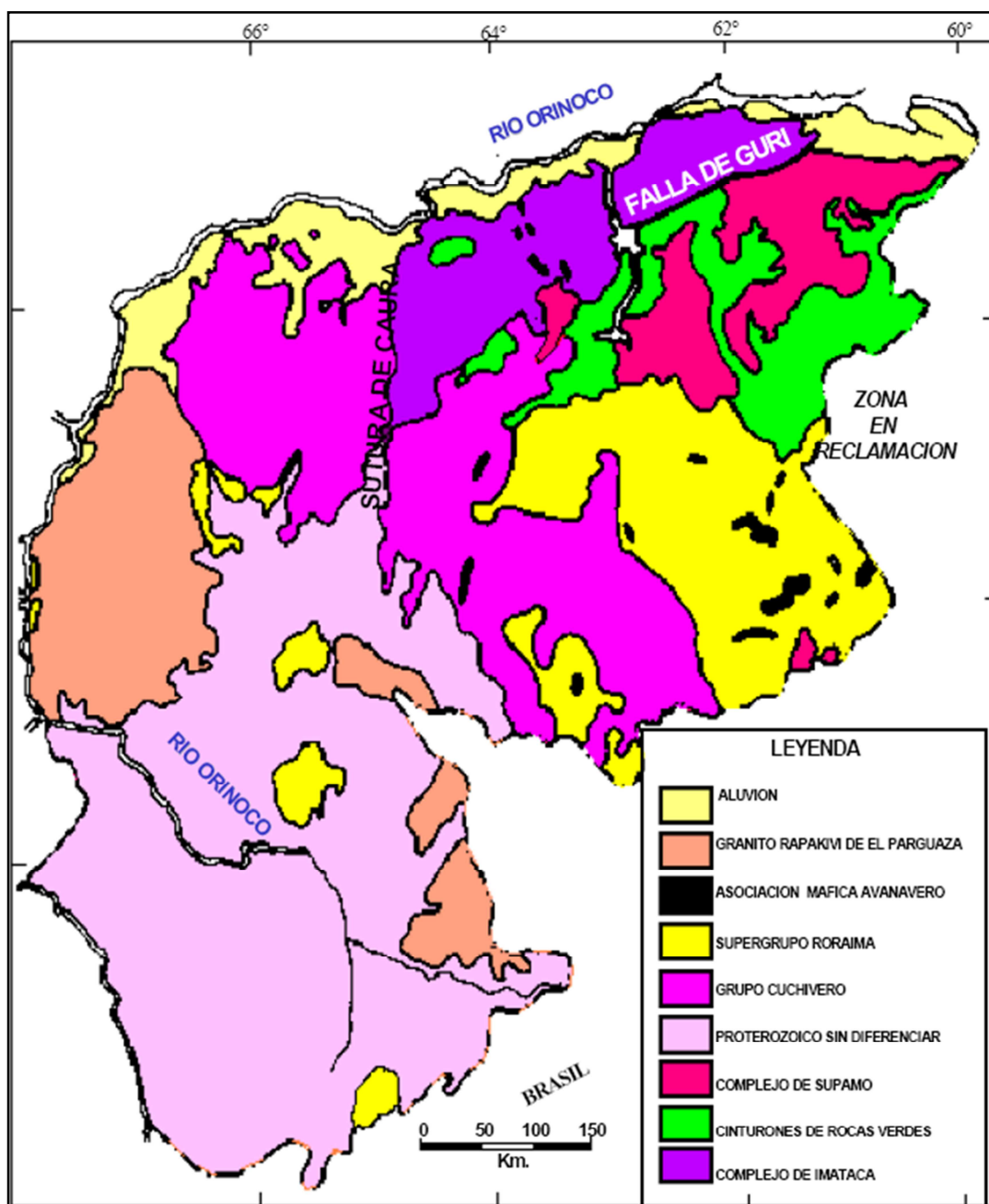


Figura 2.2 Provincias litotectónicas del Escudo de Guayana (Mendoza, V. 2005). una cobertura de sedimentos discordantes sobre rocas pertenecientes a la provincia de Pastora o Cuchivero (Mendoza, op. cit.).

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, G. (1975) en Mendoza, V. (2005)).

El Distrito Ferrífero Piar pertenece a la Provincia Geológica de Imataca, la cual Ascanio (1975) en Mendoza V. (2005), distinguió, según el tamaño del grano, tres grandes tipos de depósitos de hierro, que son los siguientes:

Depósitos de hierro de grano grueso ($> 1\text{mm}$): El Pao, Las Grullas, Piacoa.

Depósitos de hierro de grano medio ($= 1\text{mm}$): Cerro María Luisa.

Depósitos de hierro de grano fino ($< 1\text{mm}$): Cerro Bolívar, San Isidro, Los Barrancos, El Trueno, Altamira, Redondo, Toribio, Arimagua.

Las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de origen continental que conforman el Complejo de Imataca son: migmatitas, charnockitas, anfibolitas, cuarcitas, dolomitas, etc. De éstas, solamente las cuarcitas tienen hierro en cantidades explotables y forman colinas alargadas que configuran amplios arcos desde el Norte del estado Bolívar en dirección Sur, se van curvando hacia el Este, atraviesan el río Caroní y siguen rumbo $N60^{\circ}E$ por el Sur de El Pao y el Norte de Upata.

Las cuarcitas que constituyen estas serranías están flanqueadas por otras rocas menos resistentes a la erosión (migmatitas, anfibolitas, etc.) que son las que forman los valles y las sabanas onduladas. Los granitos bandeados aparecen en las sabanas guayanesas formando como especies de cúpulas de color negro o formando masas alargadas aisladas y de gran tamaño; esta redondez se debe a la meteorización

esferoidal. Las rocas que se encontraban en estado de gran plasticidad, se plegaron hacia arriba dando lugar a anticlinales y en otros casos a sinclinales. Las estructuras anticlinales ejercen un predominio sobre las sinclinales porque cuando las rocas estaban en estado semisólido o plástico, el material que estaba en movimiento se movió con mayor velocidad en los anticlinales que en los sinclinales, por lo cual estos últimos, resultaron más estrechos y en muchos lugares hasta desaparecieron. Luego en algunos sitios, después de solidificado el material, continuaron las presiones y los cambios de dirección, y esto dio por resultado la generación de fracturas con desplazamientos (fallas), las cuales contribuyeron a multiplicar los espesores (El Minero, 1982).

Las tendencias estructurales dominantes regionales son N60°-70°E, más o menos paralelas a la falla de Gurí. En realidad registra seis o más dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas mayores, del tipo corrimiento. El plegamiento es isoclinal, con plegamientos más abiertos. En la parte Norte, los pliegues tienen rumbo Noroeste mientras que en la parte Sur la tendencia dominante de los pliegues es N70°-80°E (Mendoza, V. 2005.).

2.3.1 Litología

Litológicamente la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60%-75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultrmáficas (15%-20%) y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro (BIF), dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales menos metamorfizados y más jóvenes cinturones de rocas verdes (CRV)–tonalíticos, trondjemíticos y granodioríticos (TTG) (Mendoza, V. 2005, op. cit).

2.3.2 Edad y extensión geográfica

La edad del protolito de Imataca ha sido estimada mediante determinaciones radiométricas por los métodos Rb/Sr y U/Pb roca total, como correspondiente a 3.500-3.600 m.a. La provincia Imataca está situada en el extremo Norte de la Guayana Venezolana y se extiende en dirección Noreste desde la cuenca hidrográfica del bajo Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección Noroeste-Sureste aflora desde el curso del río Orinoco hasta la falla de Gurí por unos 550 kilómetros y 80 kilómetros, respectivamente (Mendoza, V. 2005).

2.3.3 Suelos

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 (Flores, M. 2004).

2.3.4 Estilo estructural y metamorfismo

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-tectónica. El metamorfismo registrado en las rocas de la Provincia Imataca decrece desde la mina de hierro de El Pao, con granulitas de dos piroxenos en charnockitas, anortositas y granulitos máficas y hasta ultramáficas (que sugieren temperaturas de hasta 750-800°C y moderadas a elevadas presiones de 8 a 8.5 Kbs, (equivalentes a menos de 30 kilómetros de presión de roca), hacia la zona de Gurí, con anfibolitas y migmatitas, rocas graníticas, con granate cordierita-sillimanita, los que implican temperaturas de 650-750°C y presiones de 4 a 7 Kbs, es decir, profundidades menores de 20 kms de espesor de roca (Mendoza, V. 2005).

2.3.5 Recursos minerales

Los principales recursos minerales de la Provincia de Imataca son: hierro (tipo Lago Superior en Cerro Bolívar y tipo Algoma en El Pao), manganeso, dolomita, oro (en vetas de cuarzo, etc) y potencialidades para Ni, Cr, Pt., además de bauxitas y caolines (Mendoza, 2005).

2.4 Geología local

El cuerpo mineralizado del cerro Altamira puede considerarse como una unidad 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 están interrumpidos. El Cerro Altamira se encuentra dividido en tres (3) secciones:

El yacimiento occidental: comprendido entre las secciones verticales 36, 52 y 86.

El yacimiento central comprendido entre las secciones 87 y 97.

El yacimiento oriental comprendido entre las secciones 98 y 123.

Estos yacimientos se encuentran separados por dos masas de laterita (gneises meteorizados). Todo el yacimiento se encuentra en los flancos de un anticlinorio mayor, el occidental yace en la nariz o cierre, el central y el oriental en el flanco Norte del extremo Oeste de dicho anticlinorio (figura 2.3) (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.4.1 Yacimiento occidental

Este yacimiento tiene 1600 metros de largo y un área de 504.000 m². La mayoría de las menas yacen en superficie por encima de los 550 metros, pero varios lugares, en la ladera oeste afloran al nivel 540 la parte Sur del yacimiento, es la continuación hacia el Norte de la estructura del cerro Purgatorio. La mena, junto con las formaciones de hierro al oeste del portón esta plegada en forma sinclinal con cabeceo bajo hacia el noreste. Los materiales lateríticos (estéril) afloran a lo largo de la carretera principal por debajo del brazo norte con rumbos paralelos a la formación de hierro. Estas lateritas también afloran a lo largo del brazo sur y yace por encima y por debajo de la formación de hierro (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.4.2 Yacimiento central y oriental

Estos dos (2) yacimientos forman el eje principal del Cerro Altamira, entre los dos (2) alcanzan una longitud de 3500m, una anchura entre 300 y 400 metros que encierran un área de

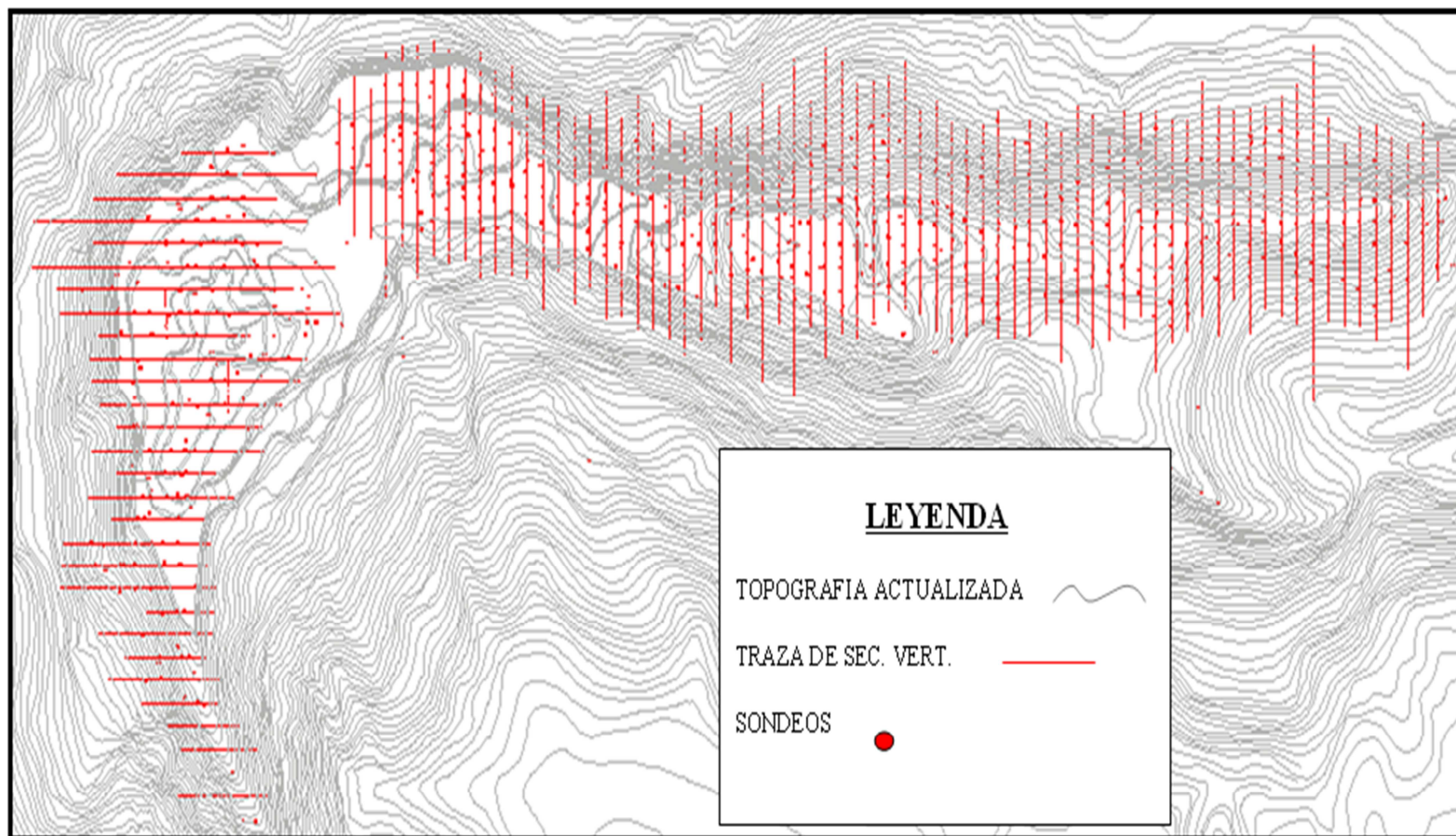


Figura 2.3 Plano topográfico, trazas de las secciones y sondeos del cerro Altamira (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

1.100.000 m² de mena in situ. Los dos yacimientos están divididos entre sí por una depresión cuya litología es laterita. Varios afloramientos de formación bandeada de hierro (BIF de las siglas en ingles) se encuentran a lo largo del depósito con elongación paralela a la elongación del cerro. El sinclinal es la estructura dominante de esta zona, localmente el patrón está modificado por fallas y pliegues auxiliares. Los sinclinales presentan pliegues cerrados y ligeramente tumbados hacia el Sur (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.5 Génesis de los yacimientos

Las menas de hierro se forman por la meteorización tropical de la formación de hierro, que causa la lixiviación de la sílice y la concentración e hidratación parcial de los óxidos de hierro restantes. Las rocas cuarcíticas una vez estabilizadas, miles de años después comenzaron a descomponerse con la humedad y el clima tropical provocando cambios y transformaciones en los distintos minerales férricos. La magnetita se transformó en hematita y otros óxidos de hierro, los cuales, interestratificados entre las bandas de cuarcitas, comenzaron a sufrir cambios físico-químicos. Se inició, también, la descomposición de la sílice, principal aglutinante y cemento original, más vulnerable a las condiciones ambientales, la cual, al disolverse, comenzó a circular por las fisuras y fue a ocupar cavidades inferiores por percolación. El agua que actuó en este proceso no sólo fue agua meteórica (lluvia), sino que también subía por capilaridad. No se descarta la acción de ciertas bacterias ni los cambios del PH (acidez). Por su parte el hierro soluble iba poco a poco ocupando los espacios vacíos dejados por la sílice al ser lixiviada. Como la solubilidad de la sílice y su remoción (lixiviación) era más o menos completa, la porosidad era directamente proporcional a aquélla. El resultado final fue la concentración de enormes masas de finos desmenuzables que no fueron arrastrados a otros sitios, donde se hubieran dispersado, a no ser por la formación de una costra o caparazón muy dura formada

por diversos óxidos hidratados que fueron cementando a los otros óxidos, en la superficie, donde las condiciones atmosféricas eran favorables (El Minero, 1982).

Las menas de hierro del Distrito Ferrífero de Ciudad Piar se originaron a partir de las cuarcitas ferruginosas de Imataca por enriquecimiento supergénico. El proceso que genera las menas es la remoción por meteorización de la sílice y los silicatos de las cuarcitas ferruginosas con la consiguiente concentración residual de óxidos e hidróxidos de hierro (Ferrominera Orinoco, 1992).

El proceso de enriquecimiento supergénico de las cuarcitas ferruginosas han dado origen a distintos tipos de menas según sea la intensidad y naturaleza del proceso, los cambios principales son: la magnetita se oxida a hematita y martita, los minerales de ganga como piroxenos y anfíboles son reemplazados por goetita dando como resultado menas esencialmente hematíticas-goetíticas-martíticas, (figura 2.4).

2.6 Clasificación litológica

La clasificación de los tipos litológicos de mena de hierro se basa en dos grupos principales:

Menas duras denominadas costras y menas blandas o friables denominadas finos; éstas a su vez se subdividen en base a sus características físicas, químicas y texturales en diferentes subtipos. Dentro de esta clasificación se diferencian también las menas de bajo tenor, cuyo porcentaje de hierro es menor a 55%, también se puede encontrar el estéril constituido por materiales no ferrosos. (Ferrominera Orinoco, 1992).

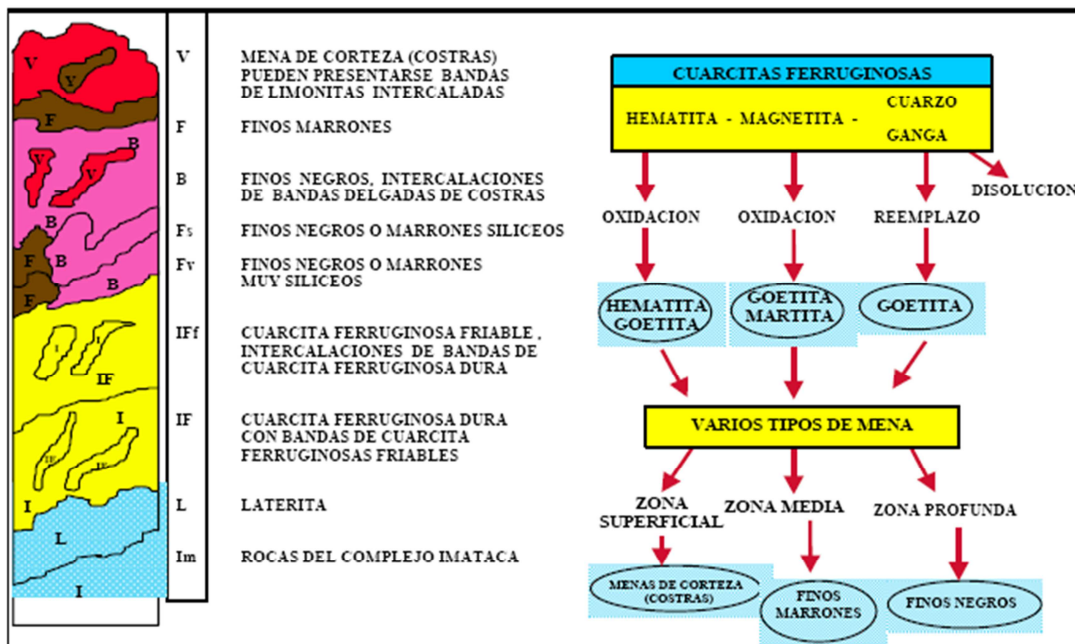


Figura 2.4 Columna litológica y esquema de enriquecimiento supergénico de los depósitos. (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

Los tipos litológicos más frecuentes son los que a continuación se presentan

2.6.1 Menas duras

Se agrupan bajo el término de costras; suelen presentarse en las zonas superficiales del yacimiento a manera de casquete recubriendo las bolsas de finos, aunque ocurren también interestratificadas con los finos a profundidad. Entre los subtipos más frecuentes se encuentran:

2.6.1.1 Costra hematítica (Vh): Compuesta principalmente por hematita especular. Su composición química es semejante a la de los finos negros, diferenciándose de estos por presentar un mayor contenido de alúmina, sílice y pérdida por calcinación. Las costras hematíticas van desde homogéneas y con cristales desarrollados los cuales pudieran ser agregados de hematita primaria, hasta finamente laminadas y bandeadas (figura 2.5).

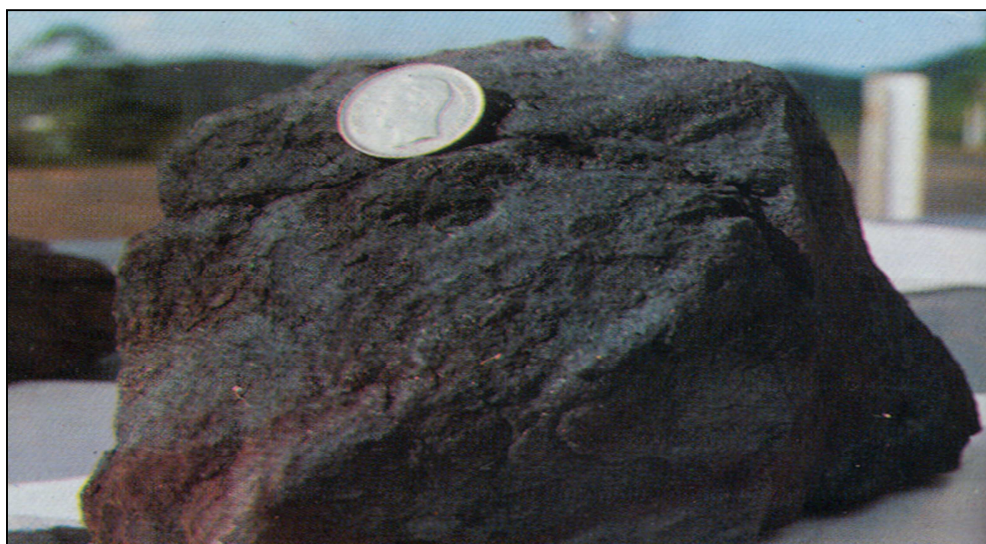


Figura 2.5 Costra Hematítica (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.1.2 Costra limonítica (Vy): Está constituida por proporciones variables de hematita, goetita y limonita como constituyentes mayoritarios. En proporciones muy pequeñas de un orden menor al 5% se encuentran minerales como el cuarzo, caolinita, gibbsita y otros. Químicamente presentan un aumento en el contenido de alúmina, pérdida por calcinación y fósforo. Característicamente se desarrollan encima de los finos marrones muy hidratados (figura 2.6).



Figura 2.6 Costra Limonítica (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.1.3 Costra goetítica (Vg): Goetita microcristalina o amorfa, masiva, dura y frágil, de color pardo o negro y de brillo mate o adamantino. Mineralógicamente estas goetitas son bastantes puras, en pequeñas cantidades se presenta limonita cementando cristales de goetita y cuarzo. Presentan un alto contenido de fósforo y el contenido de alúmina se eleva en éstas, posiblemente por la presencia de hidróxidos de aluminio (gibbsita), (figura 2.7).

Los minerales distintos a los óxidos e hidróxidos de hierro están en un porcentaje inferior al 5% aproximadamente. Se les considera como depósitos de suspensiones coloidales de hidróxidos de hierro, en fracturas abiertas o cavidades de las menas. Tenor aproximado: 60% Fe Seco.



Figura 2.7 Costra Goetítica. (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.1.4 Costra masiva (V): Compuestas 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 e hidróxidos de hierro coloidales y relleno parcial del espacio poroso. Suelen recubrir las bolsadas de finos con alta proporción de bandas de limonita amarilla. El tenor en Fe seco oscila alrededor del 62%, (figura 2.8).

2.6.1.5 Costra laminada (Vp): Compuesta por proporciones variables de hematita, goetita y limonita distribuidas en láminas alternadas de poco espesor a veces frágiles y desmenuzables. De acuerdo a la mineralogía predominante presente en la costra laminada, puede ser definida como: costra hematítica laminada, costra goetítica laminada o costra limonítica laminada. Alcanza tenores de hasta 67% de Fe seco, (figura 2.9).



Figura 2.8 Costra Masiva. (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).



Figura 2.9 Costra Laminada (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.1.6 Costra silícea (Vs) Presenta megascópicamente granos de cuarzo remanente de las cuarcitas ferruginosas. Contienen de 2 a 6% de sílice. Puede presentar tanto textura masiva como laminada. Por lo general, recubren menas silíceas deleznales o cuarcitas ferruginosas frescas o meteorizadas, (figura 2.10).



Figura 2.10 Costra Silíceea (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.1.7 Costra estrengítica (Ve): Este tipo de costra es poco común, se caracteriza por poseer un alto contenido de fósforo, y según algunas investigaciones el fósforo se encuentra asociado mineralógicamente al hierro en la estrengita (mineral de hierro de alto fósforo), que afecta el porcentaje de hierro.

2.6.1.8 Canga (C): Son costras sílico-alumínicas formadas en las pendientes, plataformas y ensenadas adyacentes a menas de costra de alto tenor, por cementación de hidróxidos de fragmentos desprendidos y concentrados por efectos mecánicos. Su tenor alcanza 56% de Fe Seco.

2.6.2 Menas blandas

Se agrupan bajo el término de finos, tienen aspecto de arena suelta, son moderadamente hidratadas, con porosidad alta, frecuentemente se presentan finamente laminadas denominándose finos laminados. Suelen ocurrir en grandes masas debajo de las menas duras o interestratificadas con ellas, formando bolsadas que se estrechan en profundidad. Los subtipos son:

2.6.2.1 Finos negros (B): Mineralógicamente están constituidos por hematita y martita (como producto de alteración de la magnetita); en una proporción muy pequeña en el orden 2-3% se presenta goetita, pequeñas cantidades de cuarzo, así como pequeños gránulos arcillosos. Presenta un color gris acerado o negro (figura 2.11). Alcanza tenores de hasta 69% de Fe Seco.



Figura 2.11 Finos Negros (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.2.2 Finos marrones (F): Presentan una variación química con respecto a los finos negros, traducida en un aumento en el contenido de alúmina y de pérdida por calcinación. Tienen un color marrón oscuro (figura 2.12). Suelen encontrarse en el yacimiento por encima de los finos negros e infra yacentes a las costras superficiales. A su vez tanto los finos negros como los marrones se subdividen de acuerdo al contenido de sílice en finos silíceos. Estos son semejantes a los finos simples, pero con mayor proporción de sílice remanente, que va en los finos silíceos de 2 a 6% y en los finos muy silíceos es mayor a los 6% (figura 2.14), limitados a un contenido de Fe Seco mayor al 55%, (figura 2.13).



Figura 2.12 Finos Marrones (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).



Figura 2.13 Finos Silíceos (textura laminada) (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).



Figura 2.14 Finos muy Silíceos (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.2.3 Limonita amarilla (Y): Constituida mayormente por limonita férrea, blanda, porosa, de color ocre amarillo, y en menor proporción por minerales de arcilla (figura 2.15). Mineralógicamente están formadas por goetita cripto-cristalina y agua capilar o de absorción. Se considera como el producto meteorizado de formaciones ferríferas muy ricas en ferrosilicatos. Se caracteriza por alto contenido de agua de cristalización (+) 8% y tenor de 56% a 60% de Fe Seco.



Figura 2.15 Limonita Amarilla C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.3 Menas de bajo tenor

Menas cuyo porcentaje de hierro es menor del 55%.

2.6.3.1 Cuarcita ferruginosa friable (Iff): Cuarcita ferruginosa parcialmente lixiviada por remoción incipiente de sílice: según el grado de meteorización su tenor oscila entre 45% a 55% de Fe Seco. Mineralógicamente se compone por granos de hematita, martita, algo de goetita y la ganga es principalmente cuarzo (figura 2.16).



Figura 2.16 Cuarcita Ferruginosa Friable (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.3.2 Cuarcita ferruginosa dura (If): Es de color gris oscuro, presenta estructura bandeada bien definida con espesores de bandas que van desde 0.5 mm a varios centímetros, con granos minerales uniformemente diseminados, otras presentan estructuras ojasas con lentejones irregulares de cuarzo y óxido de hierro como resultante de intensa reorganización metamórfica, en otras partes las cuarcitas son macizas, sin esquistosidad ni bandeamiento definido. Las cuarcitas ferruginosas presentan la siguiente minerología: magnetita, hematita, poca goetita y en proporciones menores: mica, anfíbol, calcita y apatito, (figura 2.17).



Figura 2.17 Cuarcita Ferruginosa Dura (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.6.4 Estéril

Está constituido por: Laterita, Gneis y Anfibolita.

2.6.4.1 Laterita: Son productos residuales resultantes de la meteorización profunda de gneises, esquistos y rocas intrusivas adyacentes o intercaladas con las cuarcitas ferruginosas y menas de hierro. Presenta un color blanco, rosado o pardo y estructura bandeada remanente de la foliación de las rocas primarias. Su alto contenido en sílice (30%) y bajo contenido de hierro (10% a 15%) la clasifican como material estéril. Ocurren principalmente en los flancos de los yacimientos, (figura 2.18).

2.6.4.2 Gneis: Roca metamorfica perteneciente al grupo de los granitoides, de composición cuarzo feldespática biotítica con microclino, de grano medio a grueso y bandeamiento bien desarrollado (figura 2.19).

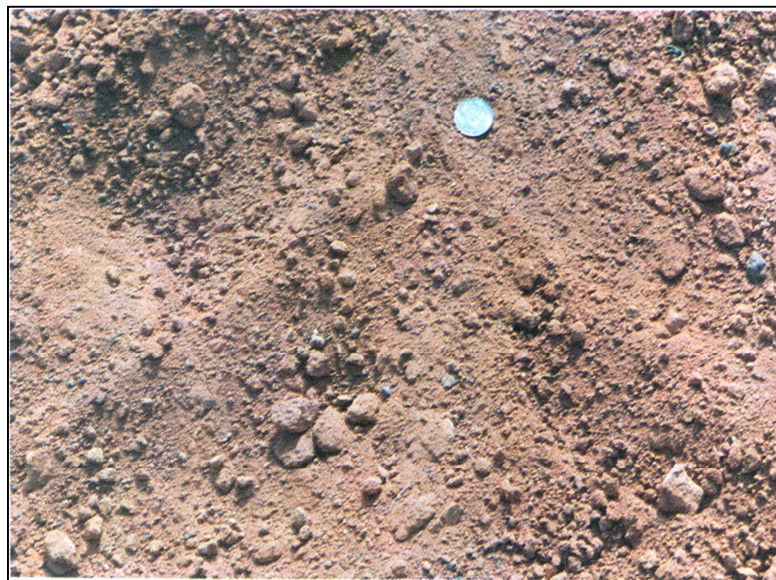


Figura 2.18 Laterita (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).



Figura 2.19 Gneis (C.V.G Ferrominera Orinoco, 2004).

2.7 Influencia de la composición de los minerales de hierro en la calidad de los productos que comercializa C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A.

2.7.1 Sílice (SiO_2): 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 (Flores, M. 2004).

2.7.2 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 PPC 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 (Flores, M. 2004).

2.7.3 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. También se requerirían fundentes adicionales en el proceso de aceración debido a que la alúmina es una ganga ácida (Flores, M. 2004).

2.7.4 Fósforo (P): 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 (Flores, M. 2004).

2.8 Nomenclatura litológica

Es el código o símbolo utilizado para describir las menas y rocas existentes en los yacimientos del Distrito Ferrífero Piar, formado a partir de la combinación de los números, para el caso del código o de la combinación de las letras para los símbolos, que aparecen en las tablas de nomenclatura litológica, igualmente cada litología posee un color particular el cual es de suma importancia para la Jefatura de Área Geología al momento de manejar el modelo geológico de los yacimientos.

En la tabla 2.1 se aprecian los colores dados a las distintas litologías así como la nomenclatura y el nombre respectivo, además, los valores porcentuales de los distintos parámetros químicos incluyendo el porcentaje de hierro seco, el cual es calculado, es decir, no es determinado químicamente, los valores de los parámetros químicos son de suma importancia para definir la litología; la tabla de clasificación litológica es empleada por la Jefatura de Área Geología a manera de organizar y sistematizar la información proveniente de las labores de campo ejecutadas por los geólogos, tales como descripción de conos de voladura y descripción de sondeos geoexploratorios, la cual será posteriormente cargada en el modelo geológico.

Tabla 2.1 Clasificación litológica empleada por la Jefatura de Área Geología

SIMBOLO	NOMBRE DE LA UNIDAD	% FE (SECO)	% SiO₂	% Al₂O₃	% PPC	% P
B	Finos Negros	65 – 69	0 - 2	0 – 2	0 - 2	0,010 - 0,060
Bs	Finos Negros Silíceos	63 – 65	2 - 6	0 – 2	0 - 2	0,010 - 0,060
Bv	Finos Negros muy Silíceos	55 – 62	> 6	0 – 2	0 - 2	0,010 - 0,060
Bpv	Finos Negros muy Silíceos Laminados	55 – 62	> 6	0 – 2	0 - 2	0,010 - 0,060
By	Finos Negros Limoníticos	63 – 67	0 - 2	0 – 2	3 - 7	0,080 - 0,150
F	Finos Marrones	64 – 67	0 - 2	0 – 2	2- 3	0,010 - 0,080
Fpy	Finos Marrones Limoníticos Laminados	63 – 66	0 - 2	0 – 2	3 - 8	0,080 - 0,160
Fs	Finos Marrones Sííceos	62 – 66	2 - 6	0 – 2	2 - 3	0,010 - 0,080
Fv	Finos Marrones muy Silíceos	55 – 66	> 6	0 – 2	2 - 3	0,010 - 0,080
Y	Limonita	56 – 60	1 - 6	1 – 6	7-12	0,120 - 0,300
Vh	Costra Hematítica	64 – 69	0 - 2	0 – 2	0 - 2	0,010 - 0,060
V	Costra Masiva	62 – 67	0 - 2	0 – 2	2 - 6	0,060 -

						0,080
Vb	Costra Bandeada	62 – 67	0 - 2	0 – 2	2 - 6	0,060 - 0,080
Vp	Costra Laminada	62 – 67	0 - 2	0 – 2	2 - 6	0,060 - 0,080
Vy	Costra Limonítica	60 – 62	0 - 2	0 – 2	5 - 9	0,080 - 0,250
Vc	Costra Recementada	64 – 68	1 - 3	0 – 2	4 - 8	0,040 - 0,130
Vg	Costra Goetítica	58 – 63	0 - 3	0 – 2	7 - 12	0,100 - 0,250
Val	Costra Alumínica	58 – 65	1 - 2	2 – 5	9 - 12	0,060 - 0,100
Vps	Costra Laminada Silícea	60 – 66	2 - 6	0 – 2	4 - 8	0,060 - 0,080
Vpv	Costra Laminada muy Silícea	55 – 62	> 6	0 – 2	4 - 8	0,060 - 0,080
C	Canga	55 – 57	3 - 5	2 – 5	5 -11	0,050 - 0,120
Ve	Costra Estringítica	58 – 66	0 - 6	0 – 2	4 -8	0,250 – 8
Iff	Cuarcita Ferruginosa Friable	45 – 55	18 - 35	0 – 2	0 - 2	0,015 - 0,080
IF	Cuarcita Dura	30 – 45	35 - 55	0 – 2	0 - 2	0,010 - 0,050

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Albarrán, M. (2009) realizó un análisis geoestadístico y variográfico del yacimiento Cerro Bolívar, Ciudad Piar, Estado Bolívar. El objetivo de este trabajo fue determinar los radios de influencias de los parámetros químicos sílice y fósforo para cada tipo litológico presente en el yacimiento Cerro Bolívar.

Vera, M. (2008) determinó los radios de influencia de los diferentes tipos litológicos provenientes de los sondeos geoexploratorios del yacimiento Los Barrancos. Este trabajo consiste 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 (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), pérdida por calcinación (PPC), fósforo (P) y manganeso (Mn), en cada tipo litológico existente en el yacimiento; así como también establecer direcciones preferenciales de mineralización.

Dávila, D. (2006) realizó un estudio geoestadístico de la base de datos de los sondeos geoexploratorios y conos para voladura de la mina San Isidro. Este trabajo es un análisis geoestadístico de los variogramas construidos 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 (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), pérdida por calcinación (PPC), fósforo (P) y manganeso (Mn) 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 determinó 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 realizó a partir de la data de los sondeos de exploración de los depósitos de mineral de hierro que contiene información sobre porcentaje de hierro (Fe), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), fósforo (P), pérdida por calcinación (PPC) y manganeso (Mn).

Grijalva y Carrión, (2008), realizaron un estudio para definir la distribución de los valores de mineral útil dentro de la mineralización de oro del distrito minero La Joya (Oruro, Bolivia), haciendo uso de la metodología geoestadística.

3.2 Generalidades de la Estadística

La estadística se ocupa de los métodos científicos que se utilizan para recolectar, organizar, resumir, presentar, analizar datos, así como para obtener conclusiones validas y tomar decisiones razonables con base en este análisis (Spiegel, M. 2009)

La estadística básica determina los parámetros descriptivos, en base a muestras, para realizar inferencias sobre una población. Entre los cálculos realizados por la estadística se encuentran la media aritmética, los valores máximos y mínimos, la desviación estándar, el coeficiente de variación, entre otros.

3.2.1 Tamaño de la muestra

Es la cantidad de datos obtenidos en la muestra del fenómeno en estudio. Se representa con la letra “n”. El conjunto ordenado de datos X_i para $i = 1, 2, 3, \dots, n$, se denominan distribución.

3.2.2 Media aritmética ($\bar{x}$)

Es igual a la suma de todos los valores de un conjunto finito de números, divididos entre la cantidad de sumados. Es una medida de tendencia central muy utilizada y su fórmula matemática es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \quad (3.1)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Media aritmética

X_i = Conjunto finito de números

n= cantidad de sumandos

3.2.3 Mediana (Me)

Es el valor de la variable que deja el mismo número de datos antes y después que él, una vez ordenados estos. De acuerdo con esta definición el conjunto de datos menores o iguales que la mediana representarán el 50% de los datos, y los que sean mayores que la mediana representarán el otro 50% del total de datos de la muestra.

$$Me = x_{(n+1)/2} \quad \text{Si } n \text{ es un número impar} \quad (3.2)$$

$$Me = [x_{[\frac{n}{2}]} + x_{[1+\frac{n}{2}]}] / 2 \quad \text{Si } n \text{ es un número par} \quad (3.3)$$

Donde:

Me = mediana del conjunto de datos.

n = número total de datos.

x = valor del dato en cierta posición indicada en el subíndice.

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

3.2.4 Moda (Mo)

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.

3.2.5 Mínimo (Mín)

Representa 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 establecido serán considerados como valores faltantes. El valor mínimo más usado es el cero (0).

3.2.6 Máximo (Máx)

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.

3.2.7 Rango de la distribución

Es la medida de variabilidad que indica el recorrido de la distribución. Se obtiene de la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de los datos (distribución).

3.2.8 Varianza (σ^2)

La varianza, usualmente describe la tendencia de una variable aleatoria a “descarriarse” del valor de su media. La varianza es muy importante debido a que será utilizada para discutir la magnitud de los posibles errores en cualquier predicción que se haga.

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

Donde:

σ^2 = Varianza.

x_i = Valor de la variable x en la posición i.

$\bar{x}$ = Valor de la media.

3.2.9 Desviación estándar (σ)

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^2 = Varianza.

σ = Desviación estándar.

3.2.10 Coeficiente de variabilidad (CV)

Indica la magnitud relativa de la desviación estándar en comparación con la media de la distribución de las medidas. Así, la fórmula es:

$$CV = \sigma / \bar{X} \quad (3.6)$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

$\bar{X}$ = Media aritmética.

El coeficiente de variabilidad toma en cuenta el valor de la media aritmética, para establecer un número relativo; de esta forma se logra realizar comparaciones del grado de dispersión entre dos o más variables.

3.2.11 Coeficiente de asimetría (α)

Indica el grado de asimetría o sesgo de una distribución de valores. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_n)^3 / s^3 \quad (3.7)$$

En la distribución normal el sesgo tiene valor cero (0), un valor negativo indica una cola a la izquierda y un valor positivo indica una cola a la derecha, (Figura 3.1).

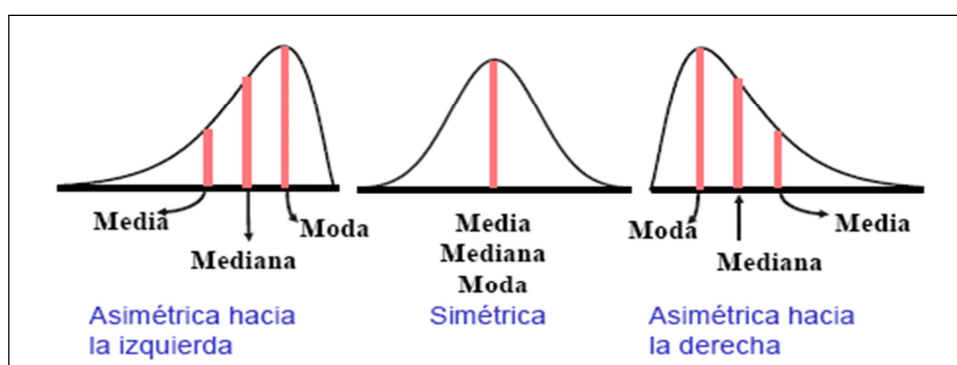


Figura 3.1 Tipos de distribuciones de poblaciones (Aguaje, G. 2009).

3.2.12 Distribución normal

Es la distribución teórica de probabilidad más usada en estadística. Debido a su importancia matemática y a que el comportamiento de muchos fenómenos reales se aproxima a esta distribución. Habitualmente, también se llama distribución de Gauss. Es simétrica en torno a su media, por lo tanto, la media, mediana y moda son iguales. El área total de la curva por encima del eje basal x desde $-\infty$ a $+\infty$, es igual a uno (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 99,7% de la curva. La distribución normal es una distribución continua simétricamente acampanada definida por la siguiente función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.8)$$

Donde:

μ = Media.

σ = Desviación estándar.

En matemáticas, la ecuación de la distribución normal se puede representar visualmente como una curva en forma de campana. La curva normal depende solamente de dos parámetros, la media (μ) y la desviación estándar (σ), y puede utilizarse para determinar el nivel de confianza de los datos en estudio, (figura 3.2).

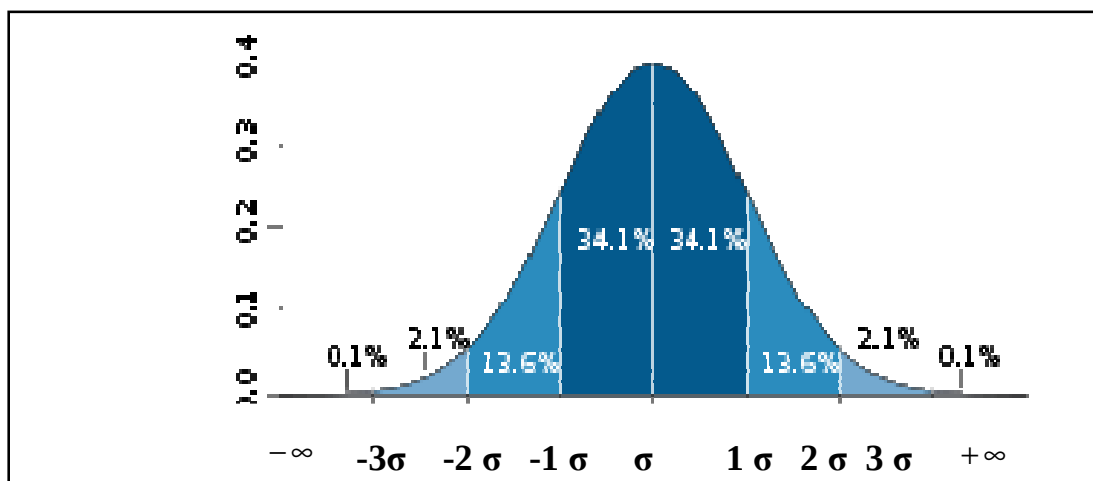


Figura 3.2 Campana de Gauss representando la distribución normal y sus desvíos estándares (Cuador, J. 2006).

3.2.13 Distribución lognormal

Es una distribución sesgada, la cual posee como característica que al aplicar la escala logarítmica se comporta como una distribución normal y esta descrita por la siguiente función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \frac{1}{x\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\alpha)^2}{2\beta^2}} \quad (3.9)$$

Donde:

α = Promedio de los logaritmos de los valores.

β^2 = Varianza de los logaritmos de los valores.

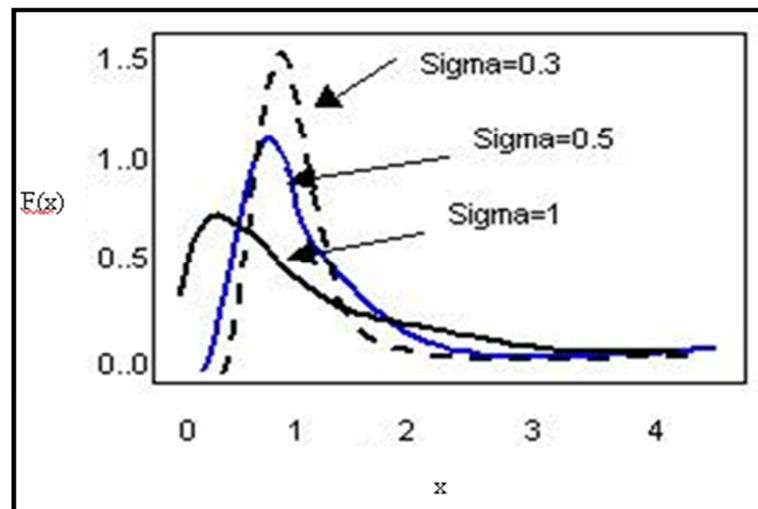


Figura 3.3 Distribución lognormal (Masias, 2004).

3.3 Histogramas

Es una representación gráfica de la tendencia o distribución de frecuencia de un conjunto de datos, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de

los valores representados. En el eje vertical se representa la frecuencia (en porcentaje), y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, el valor central del intervalo en el que están agrupados los datos. Los histogramas son muy usados para entender el comportamiento de los datos en los estudios estadísticos. Los histogramas suministran la siguiente información: (figura 3.4).

- Distribución del conjunto de datos.
- Intervalo de ocurrencia.
- Presencia de una o más poblaciones.
- Simetría o sesgo de la población.
- Visión de datos modales, bimodales o multimodales.
- Presencia de datos anómalos.

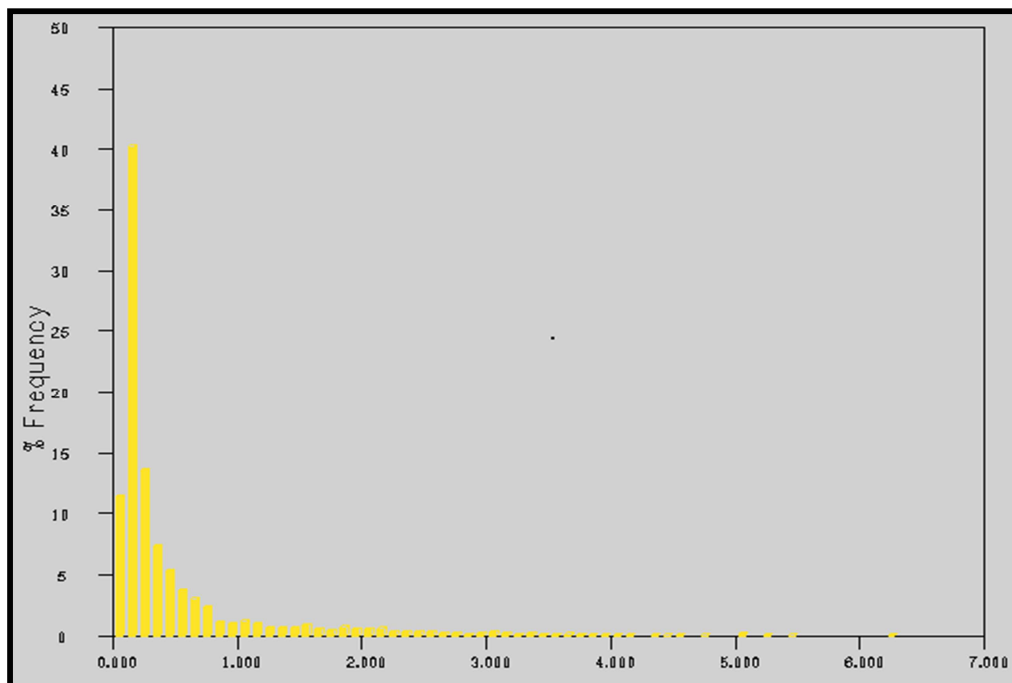


Figura 3.4 Histograma de frecuencia (Dávila, D. 2006).

3.4 Análisis de cluster

Es un conjunto de técnicas empleadas para clasificar los objetos o casos en grupos relativamente homogéneos llamados conglomerados (clusters) con respecto a algún criterio de selección predeterminado. Los objetos dentro de cada grupo (conglomerado), son similares entre sí (alta homogeneidad interna) y diferentes de los objetos de los otros conglomerados o cluster (alta heterogeneidad externa). Es decir, que si la clasificación hecha es óptima, los objetos dentro de cada cluster estarán cercanos unos de los otros y los clusters diferentes estarán muy apartados. Por ello, es también conocido como análisis de clasificación o taxonomía numérica. Los resultados obtenidos son presentados en un dendograma o árbol jerárquico que es una representación grafica del proceso de agrupamiento.

Uno de los objetivos básicos del análisis de cluster es el fin exploratorio o confirmatorio, para ello existen los métodos jerárquicos que realizan el proceso (cluster) con fases de agrupación o desagrupación sucesivas, entre los cuales tenemos:

Distancia mínima: Los grupos se unen considerando la menor distancia existente entre los miembros más cercanos de los distintos grupos.

Distancia máxima: Para generar grupos se unen considerando la menor distancia existente entre los miembros más lejanos de los distintos grupos.

Distancia promedio entre grupos: para formar los grupos se mide la proximidad entre dos (2) grupos calculando la media ponderada de las distancias entre los objetos de ambos grupos o la media de las similitudes entre objetos de ambos grupos.

Método de Ward's: Trata de ir agrupando de forma jerárquica elementos de modo que se minimice una determinada función objetivo, la idea de minimizar se persigue con el objeto de disminuir la variación intragrupal.

3.5 Sondeos geoexploratorios

Es una labor exploratoria que consiste en el análisis del subsuelo mediante el estudio de muestras obtenidas a través de la perforación para determinar ciertas características del yacimiento. Las perforaciones son realizadas a lo largo del yacimiento sobre las secciones verticales, las cuales son previamente programadas cada 100 metros y luego cada 50 metros en algunas zonas. Estas perforaciones geológicas son puntuales y con profundidades estimadas. Con ellas se lleva a cabo el análisis de todas aquellas características macroscópicas de las muestras para identificarlas dentro de algún tipo litológico, y establecer un registro de las mismas.

Los valores porcentuales a ser evaluados en estos sondeos son: hierro (%Fe), sílice (%SiO₂), alúmina (%Al₂O₃), pérdida por calcinación (%PPC), fósforo (%P) y manganeso (%Mn), de cada una de las muestras recuperadas, para así determinar con mayor exactitud el tipo litológico. Los sondeos geoexploratorios se encuentran identificados por un número, tipo de sondeo (circulación reversa (CR) o Perforación con diamante (DDH)) y la información correspondiente a intervalos de profundidad en metros.

3.6 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 3.5).

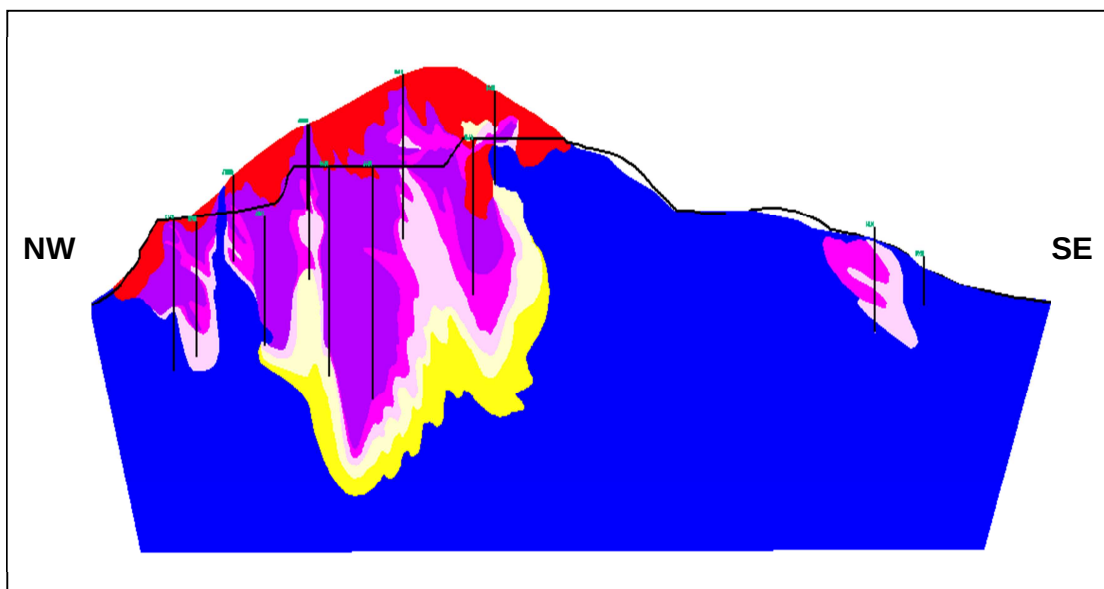


Figura 3.5 Sección vertical NW-SE del cerro Altamira (Ferrominera Orinoco, 2008).

3.7 Generalidades del software Medsystem

El software MedSystem (Mineral Evaluation and Desing System), es un sistema de programas de computadora, creado en lenguaje Fortran, desarrollado por la Empresa MINTEC, INC (Mineral Technology), ubicada en Tucson-Arizona, U.S.A., con la finalidad de evaluar depósitos minerales y propiedades operativas para asistir a los profesionales de la minería, en la preparación de estimaciones de reservas y planes mineros. Este paquete ofrece un enfoque ingenieril bastante completo que puede ser aplicado a un amplio rango de actividades mineras de exploración, evaluación minera, diseño de mina, proyectos de producción, etc. (Mintec, INC. 1997).

Según Mintec, Inc. (1997), el software minero Medsystem se ha diseñado para tomar datos no elaborados de origen estándar (sondeos, muestreos subterráneos, conos para voladuras, etc.) y extender esta información hasta el punto de derivarse un programa de producción. Los datos y las operaciones sobre los mismos pueden ser clasificados en grupos litológicos.

3.7.1 Inicialización del proyecto

Para la inicialización de un proyecto de mina, el usuario debe seguir una serie de procedimientos que involucran la utilización de una estructura de archivos de programas, en que cada uno almacena una porción específica de datos necesarios para el desarrollo del proyecto. Cada archivo de datos tiene un número de referencia, el cual es usado en el programa de corrida de los archivos, por ejemplo, Archivo 8, Archivo 9, Archivo 10 y Archivo 11. No necesariamente son usados todos los archivos, el uso o no de estos depende de las necesidades del proyecto emprendido.

3.7.1.1 Archivo 8: Compuestos ordenados, contiene el conjunto de datos ordenados por coordenadas.

3.7.1.2 Archivo 9: Compuestos desordenados, contiene el conjunto de datos sin ningún orden específico.

3.7.1.3 Archivo 10: Control del proyecto, mejor conocido como PCF (Project Control File) que contiene los límites mínimos y máximos de ubicación del área de estudio, así como también el tamaño de los bloques a utilizar en el modelo de mina.

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

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

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

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

3.7.1.8 Archivo 15: Modelo Tridimensional, guarda el modelo de mina en un formato tridimensional.

3.7.1.9 Archivo 25: Geometría del modelo de bloque, almacena toda la información digitalizada como las secciones verticales y slices (secciones horizontales) que se encuentren previamente contruidos en físico.

3.7.2 Operaciones con datos de sondeos

La información de sondeos puede almacenarse en el software minero MedSystem, incluyendo ensayos (assays), litología y códigos litológicos, información de collar (coordenadas y orientación de la perforación) y datos del fondo del sondeo. Previo a cargar la información ésta puede ser revisada en el software MedSystem para verificar posibles errores, posteriormente, en el sistema los datos se pueden listar, actualizar, analizar estadística y geoestadísticamente y ser ploteados en planos o secciones litológicas de Medsystem.

3.7.3 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: Banco (con modelo 3-D), Manto, 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 plotados en planos o secciones (Mintec, INC. 1997).

3.7.4 Modelo Geológico

Al compilar toda la información obtenida de las distintas operaciones para inicializar el proyecto se procede a ejecutar la corrida en una herramienta del software MedSystem llamada MineSight donde se maneja en 3d el modelo geológico. Una vez que el modelo es construido, este se puede actualizar, resumir estadísticamente, plotear y contornear en planos o secciones.

3.8 Geoestadística

La Geoestadística se define como la aplicación de la Teoría de Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales mediante el estudio de variables regionalizadas (Journel y Huijbregts, 1978), o simplemente, el estudio de las variables aleatorias numéricas distribuidas en el espacio (Chauvet, 1994).

Los procedimientos estadísticos y geoestadísticos de estimación y/o simulación parten de un conjunto de muestras aleatorias tomadas en localizaciones del dominio en que se manifiesta un fenómeno a estudiar. Estos procedimientos permiten la descripción o caracterización de las variables aleatorias 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 (Cuador, J. 2006).

Cuando los estudios son realizados mediante la estadística clásica se asume que las variables aleatorias son independientes; en cambio en la geoestadística no se asume que estas variables sean totalmente independientes, sino, que presentan un cierto nivel de correlación espacial, decreciente hasta cierta distancia de separación y dirección hasta que los valores ya son independientes.

La Geoestadística presenta varias herramientas útiles para el estudio de los yacimientos, entre ellas están:

El variograma, que expresa la correlación espacial entre los datos; y el kriging, el cual es un método de estimación que toma en cuenta los parámetros que se obtienen del variograma.

3.8.1 Variables regionalizadas

Una variable aleatoria que presenta una estructura espacial de correlación se dice que esta regionalizada. En una variable regionalizada se observan dos aspectos complementarios y aparentemente contradictorios: un aspecto aleatorio asociado a las variables erráticas e impredecibles de la variable y un aspecto general estructurado (Villanueva, A. 2002).

3.8.2 Características de las variables regionalizadas

Los aspectos a tomar en cuenta en las variables regionalizadas son referentes al espacio donde se presenta la aleatoriedad del fenómeno, estos son:

La Región: se refiere al espacio en el cual existe y se estudia el fenómeno natural

La localización: es el punto en una región en la cual se define una variable aleatoria regionalizada.

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

El soporte: Es el volumen o soporte geométrico sobre el cual el valor de la variable regionalizada es medido o calculado.

3.9 Variogramas

El variograma es una función que permite cuantificar la información estructural del fenómeno estudiado, así como, analizar el comportamiento espacial de una

variable regionalizada sobre una zona dada, como por ejemplo, correlación espacial, direcciones de anisotropía, entre otras.

La ecuación 3.10, expresa la función del variograma, la cual depende de la correlación de las muestras en función de la distancia, donde $Z(x)$ es el valor de la variable en un sitio x , $Z(x+h)$ es el valor en otra localización separada de la anterior por una distancia h .

$$2\gamma(h) = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (3.10)$$

Donde:

$Z(x)$ = Valor de la variable en un punto

$Z(x+h)$ = valor de la variable a una distancia h separada de la anterior

3.10 Variograma experimental

El valor del semivariograma $\gamma(h)$ para una distancia “ h ” entre muestras, es igual a un medio del avance al cuadrado de las diferencias entre los valores de las muestras.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n (x_i - x_i')^2 \quad (3.11)$$

Donde:

N = El número de pares de muestras a una distancia h .

x_i = Valor de la primera muestra en i .

x_i' = Valor de la segunda muestra del par en i .

3.11 Análisis gráfico del variograma

El estudio del comportamiento del variograma es de gran interés, ya que da una descripción sintetizada de la estructura de variación del fenómeno. Y además, permite conocer la relación que existe entre dicha estructura y la precisión de la estimación de la variable. En la figura 3.6 se puede observar un ejemplo de las zonas de influencia y el comportamiento en el origen en un variograma teórico ajustado a un variograma experimental.

3.11.1. Meseta (Sill)

Es el valor de $\gamma(h)$ para el cual el aumento de h no influye proporcionalmente en el valor de la función. La meseta también es conocida como la varianza máxima del semivariograma y teóricamente debe coincidir con la varianza σ^2 de la muestra de la función aleatoria $\gamma(h)$. Puede obtenerse trazando una línea paralela a la abscisa y que se ajuste a los puntos de mayor valor del semivariograma y su valor se lee en la intersección de esta línea con la ordenada. (Figura 3.6)

3.11.2 Rango o alcance

El rango representa la distancia de máxima influencia de las muestras en una dirección dada. En las distancias más allá del rango, las muestras son independientes las unas de las otras (figura 3.6) (Figuerola, C. 2002).

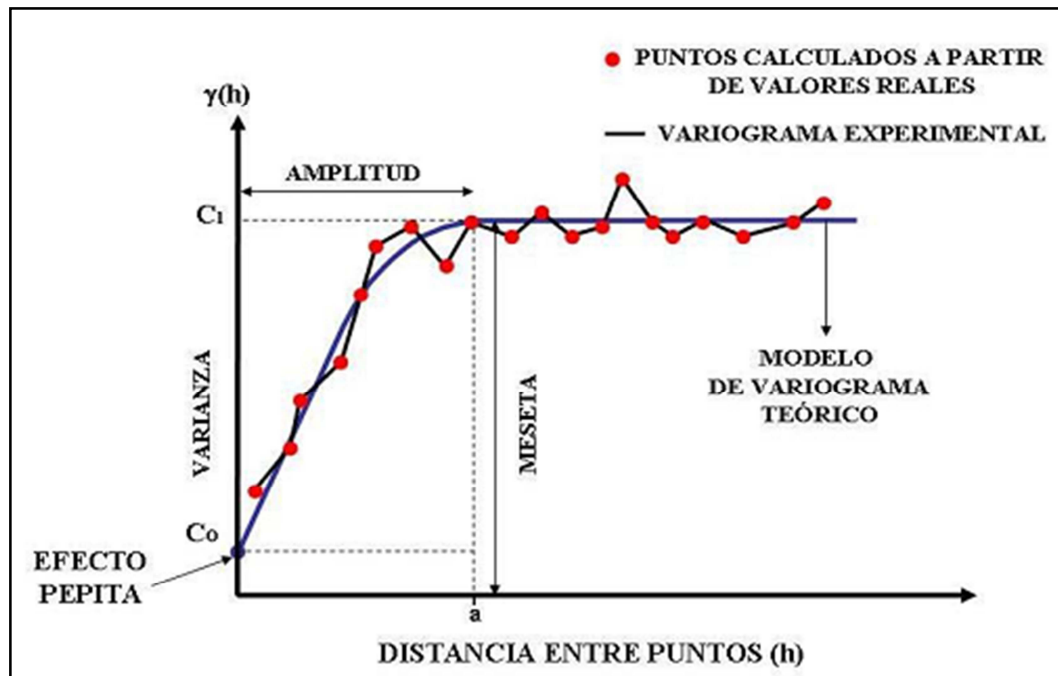


Figura 3.6 Variograma teórico ajustado a un variograma experimental (Chica, M. 1998).

3.11.3 El efecto pepita

Es el valor del semivariograma a distancia cero. Representa la variabilidad de las muestras a distancias pequeñas causado por controles a pequeña escala geológica. También es un importante indicador de la presencia de muestras con valores anómalos así como errores de análisis químicos (figura 3.6) (Figuerola, 2002).

3.11.4 Comportamiento en el origen

Refleja gráficamente el grado de continuidad y regularidad del fenómeno. Un yacimiento puede presentarse como una superposición de estructuras geológicas de diferentes escalas que controlan la mineralización, de modo que el variograma será

una sucesión de alcances y mesetas. Según su grado de continuidad decreciente existen cuatro tipos de variogramas referidos a su comportamiento al origen:

3.11.3.1 Variograma muy continuo: El variograma presenta una función parabólica que caracteriza a una variable extremadamente regular.

3.11.3.2 Variograma continuo: La representación gráfica de este variograma es lineal y parte del origen, por lo que para un valor de h igual a cero el variograma también tiene un valor de cero.

3.11.3.3 Variograma discontinuo: En este caso la función del variograma presenta una discontinuidad en el origen conocida con el nombre de “efecto pepita” (figura 3.7).

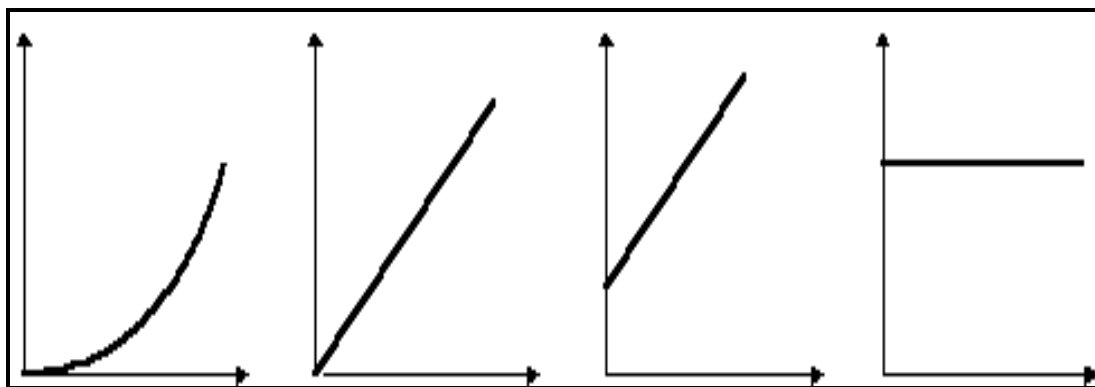


Figura 3.7 Comportamiento del variogramas, Parabólico, lineal, discontinuidad en el origen (efecto pepita) y discontinuo puro. (Cuador y otros, 2000).

3.12 Anisotropías

La anisotropía: Se dice que una variable regionalizada tiene un comportamiento anisotrópico cuando presenta direcciones particulares de variabilidad. Tales

direcciones privilegiadas corresponden generalmente a direcciones genéticas o estructurales del fenómeno geológico.

El comportamiento anisotrópico de una variable regionalizada se puede detectar fácilmente calculando variogramas en diferentes direcciones del espacio y representándolos conjuntamente en el mismo gráfico. En la práctica, se distinguen dos (2) tipos de comportamientos anisotrópicos del variograma, ellos son:

3.12.1 Anisotropía geométrica o elíptica

Se produce cuando los diversos variogramas presentan un mismo valor de meseta pero con valores distintos de alcance en diferentes direcciones. Los distintos alcances del variograma se pueden representar gráficamente en forma de una elipse de anisotropía, y con sólo una corrección de coordenadas es posible transformar la elipse en un círculo y establecer la isotropía. (figura 3.8) (Figueroa, C. 2002).

3.12.2 Anisotropía zonal

Este caso de anisotropía se presentan diferentes valores de meseta que afectan al conjunto de los variogramas obtenidos en diferentes direcciones (figura 3.8) (Figueroa, C. 2002).

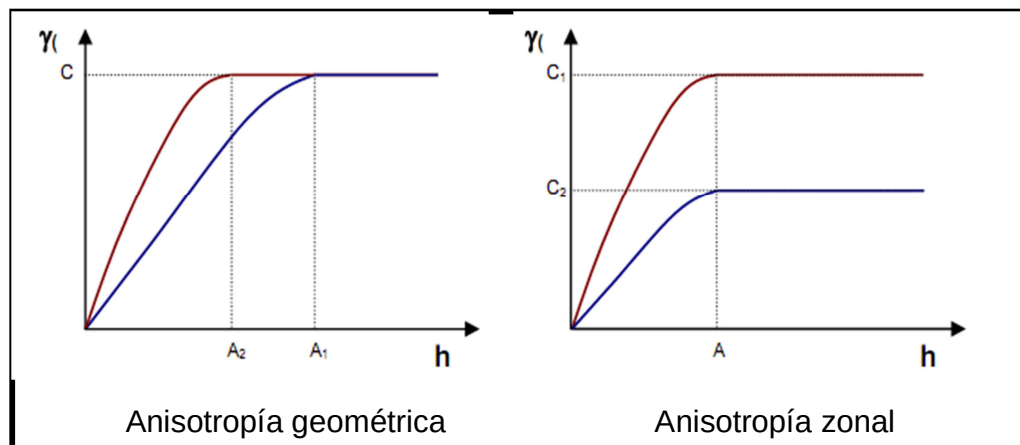


Figura 3.8 Representación gráfica de la anisotropía geométrica y anisotropía zonal (Chica, M. 1998).

3.13 Modelos teóricos de semivariogramas

Para los propósitos de estimación o simulación de variables no es posible usar directamente el variograma experimental por lo que previamente se deberá ajustar a éste a un variograma teórico. Los semivariogramas teóricos son funciones con una expresión analítica sencilla y que, por ello, se emplean frecuentemente para representar semivariogramas reales.

Estas funciones son las utilizadas en la práctica para ajustar los semivariogramas experimentales que pueden no satisfacer las ecuaciones.

Cuando se habla de modelos de semivariogramas, se refiere a una serie de funciones de las que se sabe satisfacen 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.

El modelo lineal: es un modelo no acotado y se caracteriza por una tendencia al infinito, por lo que no presente meseta, este variograma nos indica que el fenómeno no es estacionario y está definido para la siguiente función.

$$\gamma(h) = kh^\theta \quad (3.12)$$

Donde:

k= Constante

h= Distancia

θ = Varía de 0 a 2

Cuando en la función el valor de $\theta = 1$, el variograma es de tipo lineal. El exponente θ puede variar entre 0 (variograma pepítico) y 2 (variograma parabólico).

El 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 (figura 3.9).

$$\gamma(h) = \begin{cases} \frac{S}{2} \left[3 \left(\frac{h}{a} \right) - \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & \text{para } 0 \leq h \leq a \\ S & \text{para } h > a \end{cases} \quad (3.13)$$

Donde:

S = Meseta

a = Rango

h = Distancia

El modelo exponencial: Es representativo de fenómenos continuos salvo en un conjunto de puntos (en una dimensión), líneas (en dos dimensiones), o planos (en tres dimensiones) (figura 3.9).

$$\gamma(h) = S \left(1 - e^{-\frac{h}{r}} \right) \text{ para } h \geq 0 \quad (3.14)$$

El modelo cúbico: Su comportamiento en el origen es cuadrático por lo que es típico de fenómenos muy suaves (figura 3.9).

$$\gamma(h) = \begin{cases} s \left[7 \frac{|h|^2}{a^2} - 8.75 \frac{|h|^3}{a^3} + 3.5 \frac{|h|^5}{a^5} - 0.75 \frac{|h|^7}{a^7} \right] & \text{Si } |h| \leq a \\ s & \text{Si } |h| > a \end{cases} \quad (3.15)$$

Donde:

S = Meseta

a = Rango

h = Distancia

El modelo gaussiano: Se emplea para representar fenómenos suaves, es decir, continuos en todos los puntos y derivables en la mayoría. El semivariograma gaussiano suele conducir a problemas numéricos, salvo cuando se usa con efecto pepita (figura 3.9).

$$\gamma(h) = S \left(1 - e^{-\left(\frac{h}{r}\right)^2} \right) \text{ para } h \geq 0 \quad (3.16)$$

Donde:

S = Meseta

r = Rango

h = Distancia

El modelo aleatorio o efecto pepita puro: este modelo es indicativo de un fenómeno sin ninguna autocorrelación espacial (figura 3.9).

$$\gamma(h) = S(1 - \delta(h)) \quad (3.17)$$

Donde:

S= Meseta

$\delta(h)$ = Varianza del nugget

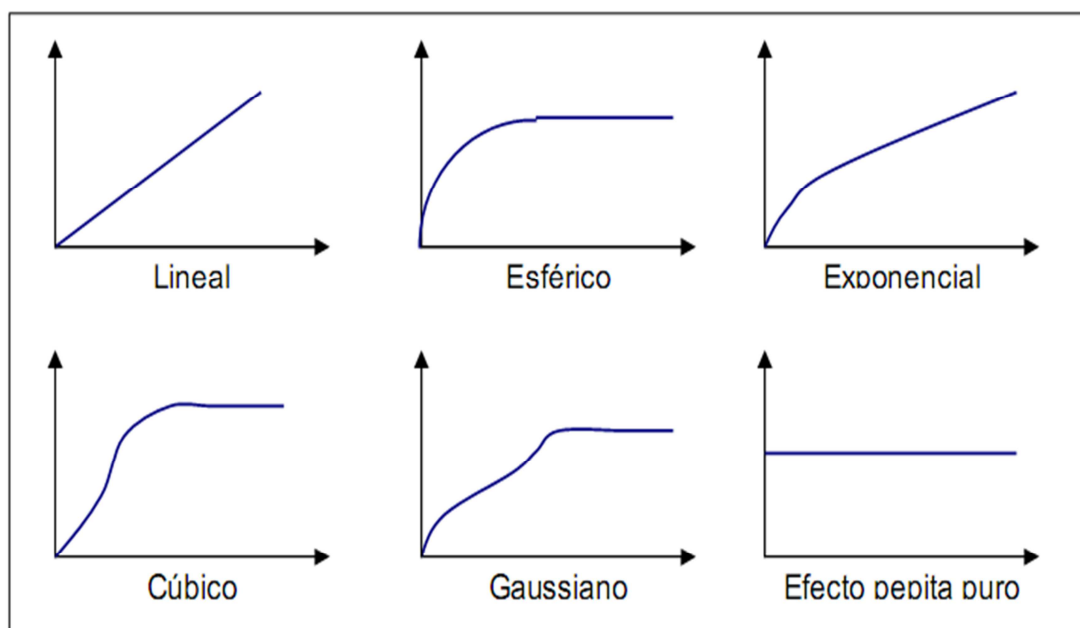


Figura 3.9 Modelos de semivariogramas teóricos (Chica, M. 1998).

3.14 Aplicaciones del semivariograma

El estudio del semivariograma es una de las partes más importantes en geoestadística y es un prerequisite para el uso del Kriging en la evaluación de reservas. El semivariograma puede proporcionar información relacionada a:

El sentido de mejor dirección en la mineralización.

La orientación y tamaño de los mayores grados de mineralización.

La media espacial entre zonas de menas y periodicidad en la mineralización.

El rumbo y buzamiento de zonas de fracturas así como la orientación de la mineralización dentro de estas zonas.

La distancia de influencia de una muestra o la distancia más allá en la cual la similitud entre los valores es despreciable.

La precisión con la cual la mineralización es conocida en el punto donde es muestreada.

Usando esta información se puede 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 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?

3.15 Problemas más comunes encontrados en el cálculo del semivariograma

La fuente de problemas que se pueden presentar en el cálculo de los variogramas es muy variada y está en correspondencia con la variedad de casos que se presentan en la naturaleza.

3.15.1 El valor idóneo del incremento h

Una inadecuada selección de h puede proporcionar un semivariograma errático, aunque no se puede dar un criterio exacto o aproximado para el cual el valor de h es ideal, es recomendable recalcular $\gamma(h)$ para distintos valores de h . se debe tomar en cuenta que h está muy relacionada con la separación espacial de los sondeos y está limitada a estos.

3.15.2 Distribuciones con valores extremos

La existencia de valores extremos, altos o bajos, en una distribución puede conducir a la obtención de un semivariograma fuertemente errático. En caso de ser un comportamiento propio de la población se procede a realizar un corte que permita trabajar con el 95% de la data, para los casos de poblaciones pequeñas se transforma a valores logarítmicos para disminuir tales valores extremos.

3.16 Kriging

El método de interpolación geoestadístico se conoce como Kriging, en reconocimiento al aporte inicial de D.G. Krige. El Kriging es un estimador lineal

insesgado. Dentro de su formulación matemática se incluyen dos restricciones básicas, en las que se limita la suma de los errores de estimación a ser cero, y el cuadrado de las desviaciones a ser mínimo. La restricción establecida sobre la varianza de estimación, hace que el Kriging sea el mejor estimador lineal (Cuador, J. 2006).

Sea $Z(x_i)$ el valor de una variable Z cualquier medida en el punto x_i , tal que x_i , con $i = 1, \dots, n$, son n puntos pertenecientes a un plano referenciado con respecto a un sistema de coordenadas cualquiera (terrestres, polares, etc.). En términos generales, $Z(x_i)$ representa el valor obtenido en la parcela realizada en el punto x_i , para alguna variable medida en el intervalo realizado. El objetivo del Kriging es estimar el valor de la variable Z en un punto x_0 no medido con anterioridad. Para esto, realiza una suma ponderada para todas las parcelas que componen el inventario, de manera tal que el valor estimado para el punto x_0 es:

$$Z(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \dots + \lambda_n Z(x_n)$$

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(x_i) \quad (3.18)$$

Donde:

$Z(x_i)$ = Varianza de la media en el punto x_i .

La estimación realizada puede ser puntual o de bloques. Se entiende por bloque a un sector definido en el espacio para el cual se estima el valor promedio de la variable.

Para resolver el sistema de ecuaciones de Kriging, se requiere de información sobre las dependencias espaciales que caracterizan a cada unidad analizada. Estas son

proporcionadas por los variogramas. Una vez que el modelo variográfico es establecido, el bloque de Kriging que sigue es simplemente un ejercicio de matemáticas. Para cada bloque, las muestras más cercanas al centroide del bloque son seleccionadas, tomando en cuenta la anisotropía. Los pesos de Kriging están entonces determinados para cada muestra de información usando las distancias de anisotropía para calcular la varianza de extensión. Un bloque estimado por Kriging es entonces hecho por la suma del producto de cada valor de muestra por su peso de Kriging. Los puntos discrecionales son también usados para calcular la varianza de dispersión necesaria para obtener la varianza de Kriging del bloque.

3.17 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 de la relación del inverso de la distancia entre cada muestra (Ecuación 3.19) 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).

$$\lambda_i = \frac{[d(s_i, s_o)]^{-p}}{\sum_{i=1}^n [d(s_i, s_o)]^{-p}} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.19)$$

So = punto interpolado

Si = punto cercano

P = parámetro del exponente

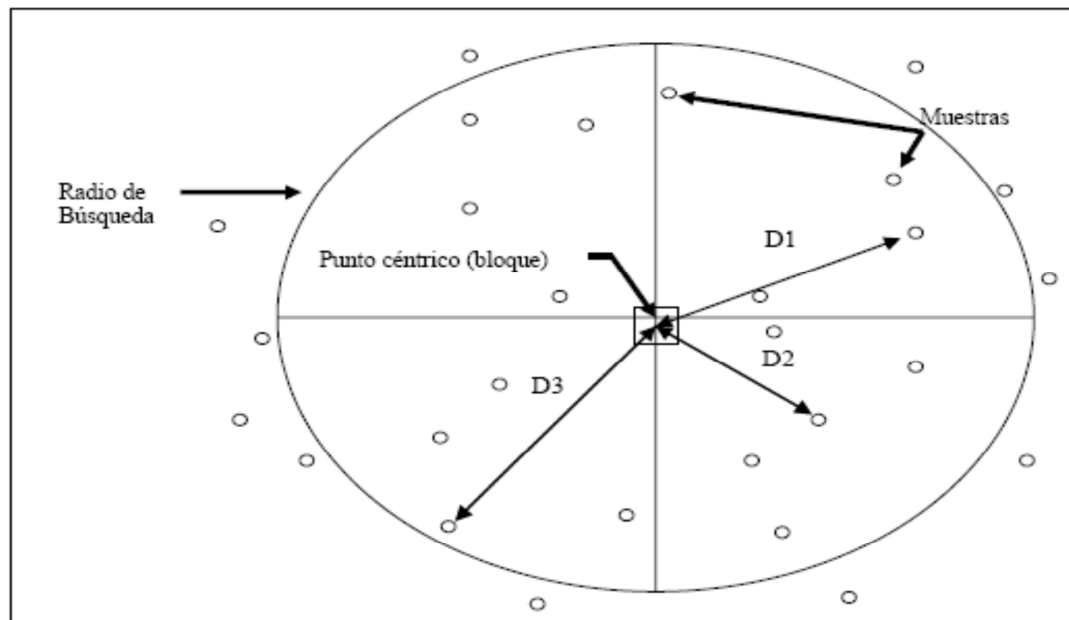


Figura 3.10 Diferentes distancias de búsqueda en las cuales se toman muestras para ser utilizadas en los cálculos (Vera, M. 2008).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Nivel de la investigación

La investigación es descriptiva y comparativa; descriptiva porque consiste en determinar el comportamiento de los radios de influencia de los distintos parámetros químicos (SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, Mn) y comparativa ya que se estudia la variación de los radios de influencia aplicados actualmente con los que se determinan en la investigación.

4.2 Diseño de la investigación

De acuerdo al diseño y estrategia empleada, la investigación fue documental, ya que se recopiló información relacionada con el yacimiento de estudio, tales como tesis de grado e investigaciones anteriores en el área, así como también de la Geoestadística. La investigación también fue de campo, ya que los datos en estudios fueron extraídos directamente de la realidad sin ser alterados, para este caso los sondeos geoexploratorios del Cerro Altamira.

4.3 Flujograma de trabajo

La metodología llevada a cabo para realizar este trabajo se presenta a continuación de forma gráfica a través del siguiente flujograma (figura 4.1):

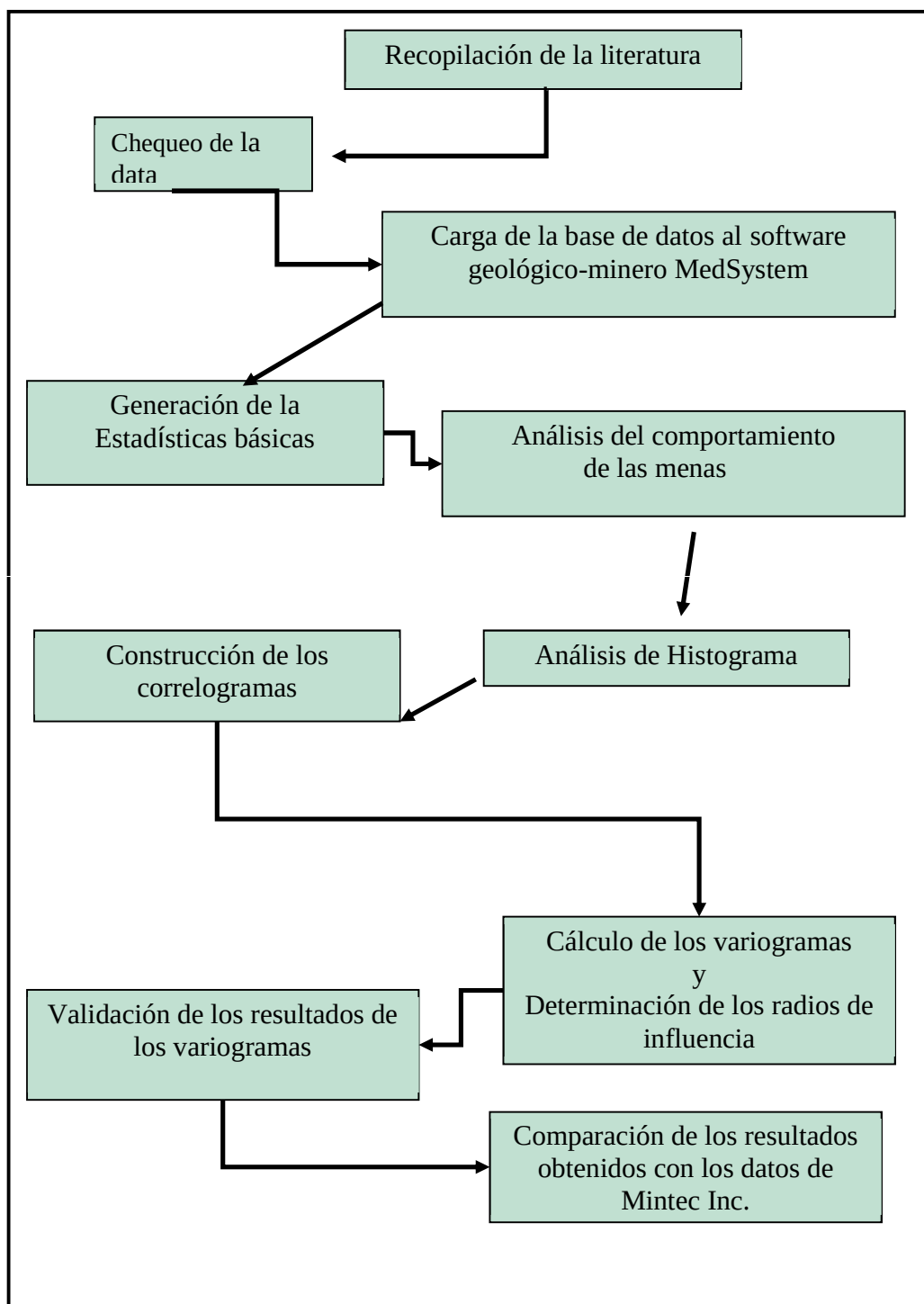


Figura 4.1 Esquema de metodología del proyecto.

4.3.1 Recopilación de la literatura

Esta etapa involucró la investigación de varios trabajos anteriores, textos y todo tipo de documento (físico o digital) de información sobre el Cerro Altamira y sobre estudios de geoestadística en otras zonas.

4.3.2 Chequeo de la data de los sondeos

Actualmente, la base de datos del cerro Altamira cuenta con 849 sondeos geoexploratorios con una profundidad total de aproximadamente 58114 metros. La base de datos de los sondeos geoexploratorios del cerro Altamira se encuentra en una hoja de cálculo electrónico. A continuación se indica los campos que contiene: (figura 4.2).

Fila 1

Columna

A: Número del sondeo.

B: Coordenada Este del sondeo.

C: Coordenada Norte del sondeo.

D: Cota del tope de la perforación.

E: Azimut de la perforación.

F: Profundidad de la perforación.

Fila 2

Columna

A: Número del sondeo de perforación (el resto de la fila esta vacía).

Fila 3: hasta la última fila del sondeo

Columna

A: Número del sondeo.

B: Profundidad inicial de la muestra.

C: Profundidad final de la muestra.

D: Intervalo de la muestra.

E: Contenido de hierro en porcentaje en la muestra.

F: Contenido de sílice en porcentaje en la muestra.

G: Contenido de alúmina en porcentaje en la muestra.

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

I: Contenido de fósforo en porcentaje en la muestra.

J: Contenido de manganeso en porcentaje en la muestra.

K: Simbología de la litología de la muestra.

L: Código de mena de la muestra.

M: Código litológico de la muestra.

N: Código de cuarcita de la muestra.

O: El número correspondiente al yacimiento.

P: El número correspondiente al tipo de perforación.

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

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

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

Microsoft Excel - ALT.xls

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

Esciba una pregunta

Times New Roman

18

K S

Fila 2

Fila 1

Fila 3
Hasta la última
fila del sondeo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	0001	34523,31	1693,70	638,00	0,00	-30,00	34,00													
2	0001																			
3	0001	0,00	5,00	5,00	64,00	2,20	1,10	5,60	-1,000	-1,000	-1,000	VS	160	1	-0001	2	1	100	19540529	19540603
4	0001	5,00	9,00	4,00	65,40	1,70	1,00	4,40	-1,000	-1,000	-1,000	F	300	2	-0001	2	1	100	19540529	19540603
5	0001	3,00	14,00	5,00	65,70	1,20	1,10	4,10	-1,000	-1,000	-1,000	F	300	2	-0001	2	1	100	19540529	19540603
6	0001	14,00	18,00	4,00	62,30	6,10	0,70	3,50	-1,000	-1,000	-1,000	FV	370	4	-0001	2	1	100	19540529	19540603
7	0001	18,00	23,00	5,00	54,60	17,60	0,50	3,60	-1,000	-1,000	-1,000	IF	700	6	-0001	2	1	100	19540529	19540603
8	0001	23,00	27,00	4,00	50,40	24,50	0,30	3,00	-1,000	-1,000	-1,000	IF	700	6	-0001	2	1	100	19540529	19540603
9	0001	27,00	34,00	7,00	47,60	30,50	0,30	2,00	-1,000	-1,000	-1,000	IF	700	6	-0001	2	1	100	19540529	19540603
10																				
11	0001A	35842,32	1923,56	484,25	0,00	-30,00	36,00													
12	0001A																			
13	0001A	0,00	10,00	10,00	59,00	2,10	3,10	10,40	-1,000	0,030	-1,000	VSAL	160	1	-0001	3	1	113	19570321	19570329
14	0001A	10,00	14,00	4,00	61,10	1,10	3,60	7,60	-1,000	0,030	-1,000	VBAL	193	1	-0001	3	1	113	19570321	19570329
15	0001A	14,00	20,00	6,00	58,80	1,60	4,70	3,10	-1,000	0,030	-1,000	Y	400	8	-0001	3	1	113	19570321	19570329
16	0001A	20,00	24,00	4,00	44,20	20,80	6,20	10,60	-1,000	0,030	-1,000	IFF	704	5	-0001	3	1	113	19570321	19570329
17	0001A	24,00	28,00	4,00	24,30	50,50	5,20	10,20	-1,000	0,030	-1,000	LAT	800	7	-0001	3	1	113	19570321	19570329
18	0001A	28,00	36,00	8,00	18,30	63,50	4,10	7,30	-1,000	0,030	-1,000	LAT	800	7	-0001	3	1	113	19570321	19570329
19																				
20	0002	34365,35	1691,12	602,00	0,00	-30,00	35,00													
21	0002																			
22	0002	0,00	6,00	6,00	53,30	2,60	5,10	8,30	-1,000	-1,000	-1,000	VSAL	160	1	-0001	2	1	38i	19540604	19540608
23	0002	6,00	12,00	6,00	53,20	1,30	3,30	10,40	-1,000	-1,000	-1,000	YYAL	120	1	-0001	2	1	38i	19540604	19540608
24	0002	12,00	17,00	5,00	53,40	1,60	2,10	11,50	-1,000	-1,000	-1,000	YYAL	120	1	-0001	2	1	38i	19540604	19540608
25	0002	17,00	23,00	6,00	43,10	28,00	3,70	7,30	-1,000	-1,000	-1,000	IFF	704	5	-0001	2	1	38i	19540604	19540608
26	0002	23,00	29,00	6,00	30,40	46,90	1,80	6,10	-1,000	-1,000	-1,000	IFF	704	5	-0001	2	1	38i	19540604	19540608
27	0002	29,00	35,00	6,00	14,30	73,10	0,60	2,30	-1,000	-1,000	-1,000	IFF	704	5	-0001	2	1	38i	19540604	19540608
28																				
29	0002A	35423,70	1893,00	503,00	0,00	-30,00	64,00													
30	0002A																			
31	0002A	0,00	6,00	6,00	56,40	5,42	2,66	12,12	-1,000	-1,000	-1,000	Y	400	8	-0001	3	1	109	19570329	19570508
32	0002A	6,00	12,00	6,00	51,50	3,30	4,22	12,32	-1,000	-1,000	-1,000	LAT	800	7	-0001	3	1	109	19570329	19570508
33	0002A	12,00	16,00	4,00	40,00	28,07	3,76	11,68	-1,000	-1,000	-1,000	IFF	704	5	-0001	3	1	109	19570329	19570508
34	0002A	16,00	24,00	8,00	43,30	27,97	2,34	8,00	-1,000	-1,000	-1,000	IFF	704	5	-0001	3	1	109	19570329	19570508
35	0002A	24,00	26,00	2,00	11,80	75,40	2,55	6,14	-1,000	-1,000	-1,000	IFF	704	5	-0001	3	1	109	19570329	19570508
36	0002A	26,00	30,00	4,00	17,40	65,40	2,13	6,87	-1,000	-1,000	-1,000	IFF	704	5	-0001	3	1	109	19570329	19570508
37	0002A	30,00	38,00	8,00	2,40	87,20	2,41	6,65	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	109	19570329	19570508
38	0002A	36,00	46,00	8,00	2,80	87,10	2,17	6,18	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	109	19570329	19570508
39	0002A	46,00	54,00	8,00	2,10	83,20	2,17	6,42	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	109	19570329	19570508
40	0002A	54,00	64,00	10,00	5,70	86,40	3,08	6,10	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	109	19570329	19570508
41																				
42	0003	34000,74	1760,20	534,00	0,00	-30,00	26,00													
43	0003																			
44	0003	0,00	5,00	5,00	62,15	1,46	2,81	6,06	-1,000	-1,000	-1,000	VH	110	1	-0001	2	1	34i	19540609	19540614
45	0003	5,00	11,00	6,00	65,40	0,08	3,02	4,84	-1,000	-1,000	-1,000	VAL	190	1	-0001	2	1	34i	19540609	19540614
46	0003	11,00	17,00	6,00	64,70	0,36	4,45	4,45	-1,000	-1,000	-1,000	FAL	330	2	-0001	2	1	34i	19540609	19540614
47	0003	17,00	21,00	4,00	53,75	8,82	2,37	2,71	-1,000	-1,000	-1,000	BPV	272	4	-0001	2	1	34i	19540609	19540614
48	0003	21,00	23,00	2,00	53,25	21,10	0,67	2,54	-1,000	-1,000	-1,000	IF	700	6	-0001	2	1	34i	19540609	19540614
49	0003	23,00	26,00	3,00	57,20	15,40	0,88	2,66	-1,000	-1,000	-1,000	BY	270	4	-0001	2	1	34i	19540609	19540614
50																				
51	0003A	35336,44	1942,38	433,00	0,00	-30,00	62,00													
52	0003A																			
53	0003A	0,00	10,00	10,00	56,40	12,40	4,35	2,60	-1,000	-1,000	-1,000	VPVA	172	1	-0001	3	1	108	19570403	19570423
54	0003A	10,00	16,00	6,00	25,30	43,70	2,36	3,35	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	108	19570403	19570423
55	0003A	16,00	24,00	8,00	1,30	73,00	1,87	8,18	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	108	19570403	19570423
56	0003A	24,00	32,00	8,00	5,60	84,20	1,30	7,05	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	108	19570403	19570423
57	0003A	32,00	34,00	2,00	4,50	82,80	3,56	7,65	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	108	19570403	19570423
58	0003A	34,00	40,00	6,00	4,70	83,20	2,28	5,60	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	108	19570403	19570423
59	0003A	40,00	52,00	12,00	2,80	86,40	3,21	4,47	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	108	19570403	19570423
60	0003A	52,00	62,00	10,00	5,00	81,00	3,08	3,18	-1,000	-1,000	-1,000	G	300	3	-0001	3	1	108	19570403	19570423

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

En esta etapa se revisó la base de datos de los sondeos geoexploratorios organizados en hojas de cálculos (figura 4.2), se revisó si existía correspondencia entre la descripción litológica y los grados químicos obtenidos por los análisis de laboratorio, corrigiéndose los errores. También se verificó si la profundidad y ubicación de los sondeos correspondieran a los límites del yacimiento.

4.3.3 Carga de la base de datos al software minero MedSystem

Primeramente se inicializó el proyecto en el software minero MedSystem, lo cual consistió en crear y definir un archivo de control del proyecto (PCF de las siglas en inglés) donde queda especificado las características del yacimiento, por ejemplo, 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.

La base de datos almacenada en archivo de Excel se depuró de valores anómalos y se guardó como un archivo de extensión “prn” (delimitado por espacios). MedSystem, lee este archivo y lo revisa, si no arroja errores, se carga la base de datos.

4.3.3.1 Cálculo de Compuestos: para realizar los compuestos se creó un archivo en el software minero MedSystem de extensión “cmp” para exportar la base de datos a este nuevo archivo; posteriormente se modificó la data original al generar los compuestos. En los sondeos geoexploratorios las muestras son tomadas y analizadas químicamente cada tres (3) metros, formar los compuestos consistió en uniformar el espesor de cada intervalo en 5 metros para el presente estudio (figura 4.3), con el objeto de adaptar los resultados a la explotación por bancos usada por la empresa Ferrominera Orinoco C.A., pero con el problema de la disminución de la variabilidad de los valores químicos de las menas.

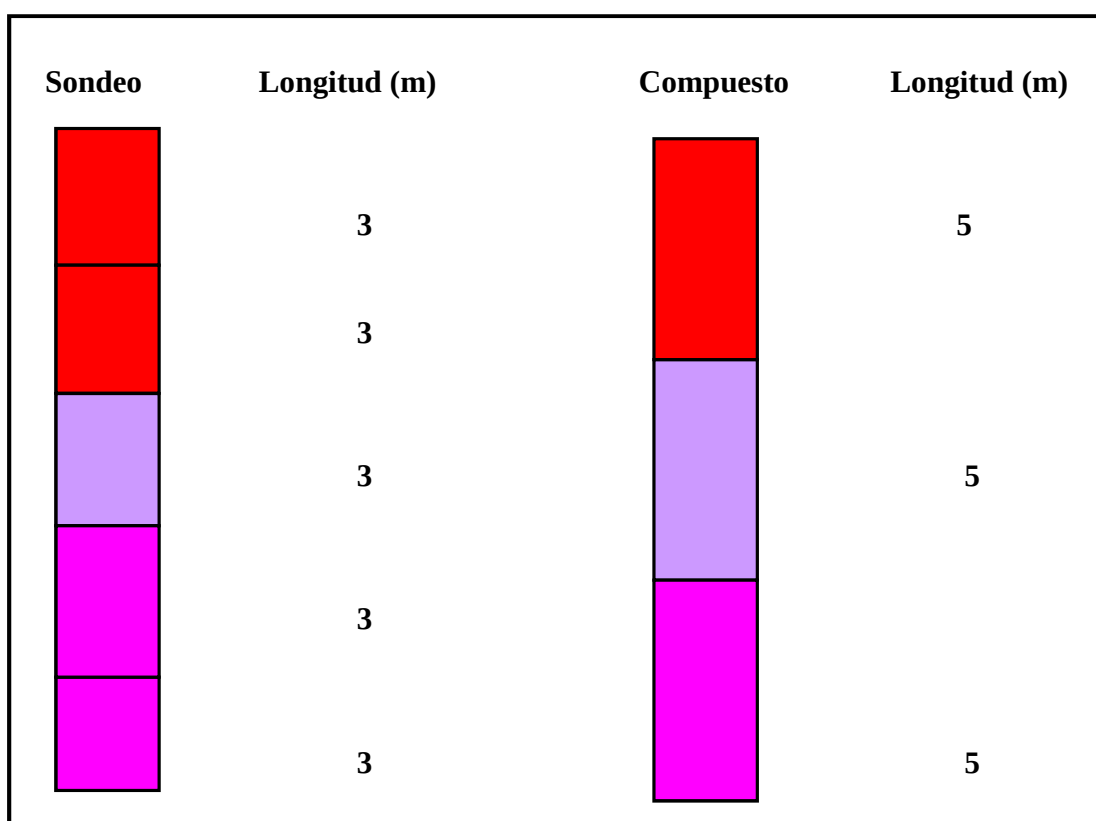


Figura 4.3 Formación de compuestos por longitud fija.

4.3.4 Generación de las estadísticas básicas e histogramas

Una vez cargada la base de datos de los sondeos geoexploratorios al software MedSystem se procedió a calcular la estadística básica por litología para cada parámetro químico y determinar el número de muestra, la media, la desviación estándar, límites de confianza, valores mínimos y máximos para poder posteriormente realizar algunos cálculos y análisis en el comportamiento de las menas.

4.3.5 Análisis de la población

Se estudió y comparó el comportamiento estadístico de cada variable química para las distintas litologías y así poder agrupar las litologías de comportamientos, similares con el objetivo de obtener mayor cantidad de datos y por ende resultados satisfactorios.

4.3.5.1 Gráfica de Media vs. Desviación estándar: Se analizó la similitud de cada uno de los distintos parámetros químicos en las diferentes litologías. Cabe destacar que dicho análisis está hilvanado con una base geológica. Se empleó también la gráfica de Media vs. Coeficiente de Variación para observar las agrupaciones de las litologías análogas, para lo cual se comparó la separación vertical representada por la diferencia en los valores de la media y similitud en el diámetro de la esfera representado por el valor del coeficiente de variación (figura 4.4) (figura 4.5).

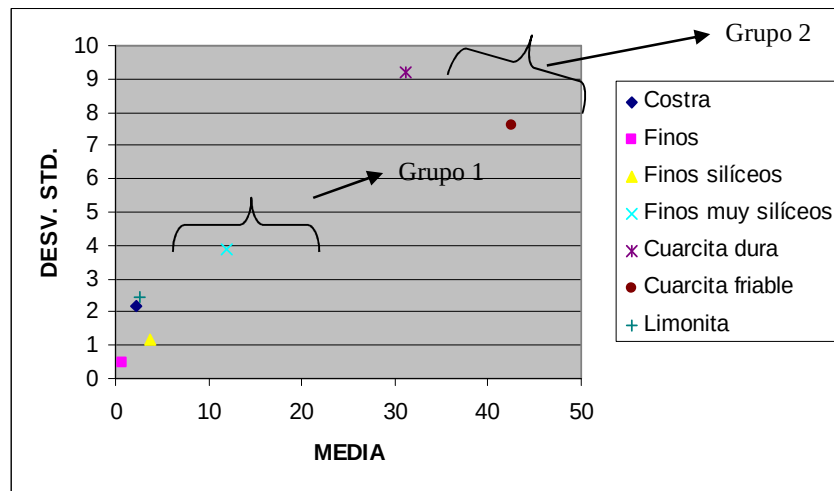


Figura 4.4 Gráfica de Media vs. Desviación estándar.

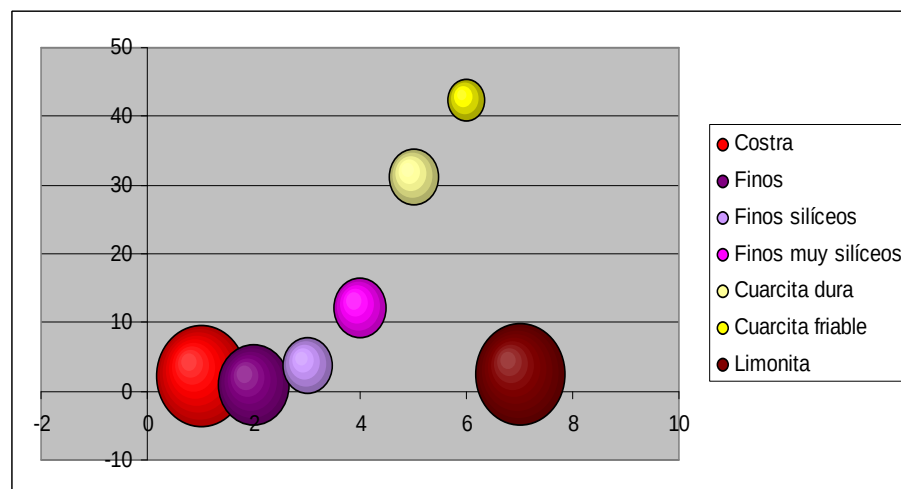


Figura 4.5 Gráfica de Media vs. Coeficiente de Variación.

4.3.5.2 Curvas Log-probabilísticas: El gráfico de curvas de probabilidad se ejecutó en el software minero MedSystem, para cada parámetro químico de todas las litologías y así observar las tendencias similares de las curvas, de esa forma se pudieron agrupar los que presentaban comportamiento análogo para incrementar los datos para la construcción del variograma (figura 4.6).

Las curvas log-probabilísticas se generan con la herramienta MineSight del software minero MedSystem, primero se creó un archivo “dxf” con la herramienta Compass en el mismo software y posteriormente se exportó a una carpeta que se creó previamente en MineSight, donde la gráfica se puede observar y manipular, es decir, las curvas se pueden ver una por una o en grupo, se puede cambiar el color de cada curva pero no se puede modificar el comportamiento de éstas.

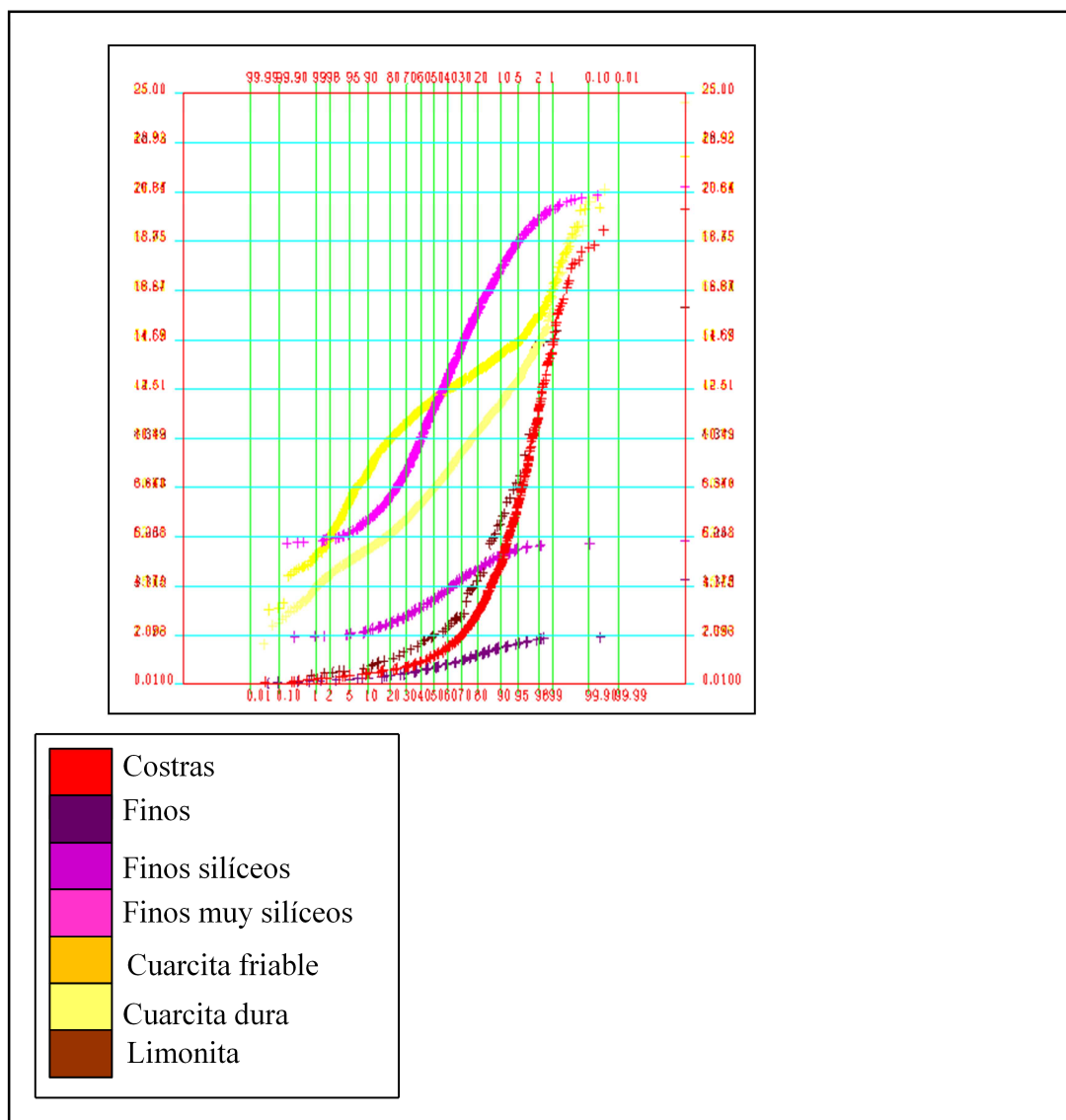


Figura 4.6 Curvas Log-probabilísticas (Calculado en el software minero MedSystem).

4.3.5.3 Análisis de Cluster: Se aplicó como un instrumento para confirmar las agrupaciones interpretadas de los análisis anteriores, se utilizó la herramienta WinSTAT de Excel y se ingresó el valor de los principales estadísticos como la media, la desviación estándar, valores máximos y mínimos, entre otros, de todos los parámetros químicos de todas las litologías en estudio, de lo que se obtuvo y analizó en términos geológicos el dendograma resultante del cluster. Cabe destacar que esta herramienta no tomó el código de la litología sino que mantuvo un orden sistemático, por lo que el número siete (7) representa la limonita cuyo código litológico es el ocho (8) en efecto.

El resultado del cluster es un dendograma que muestra una agrupación de las litologías con similitud de comportamiento y están separadas de aquellas que no tienen analogía, para llegar al gráfico se aplica una fórmula, la cual varía dependiendo del método cluster que se está usando (figura 4.7).

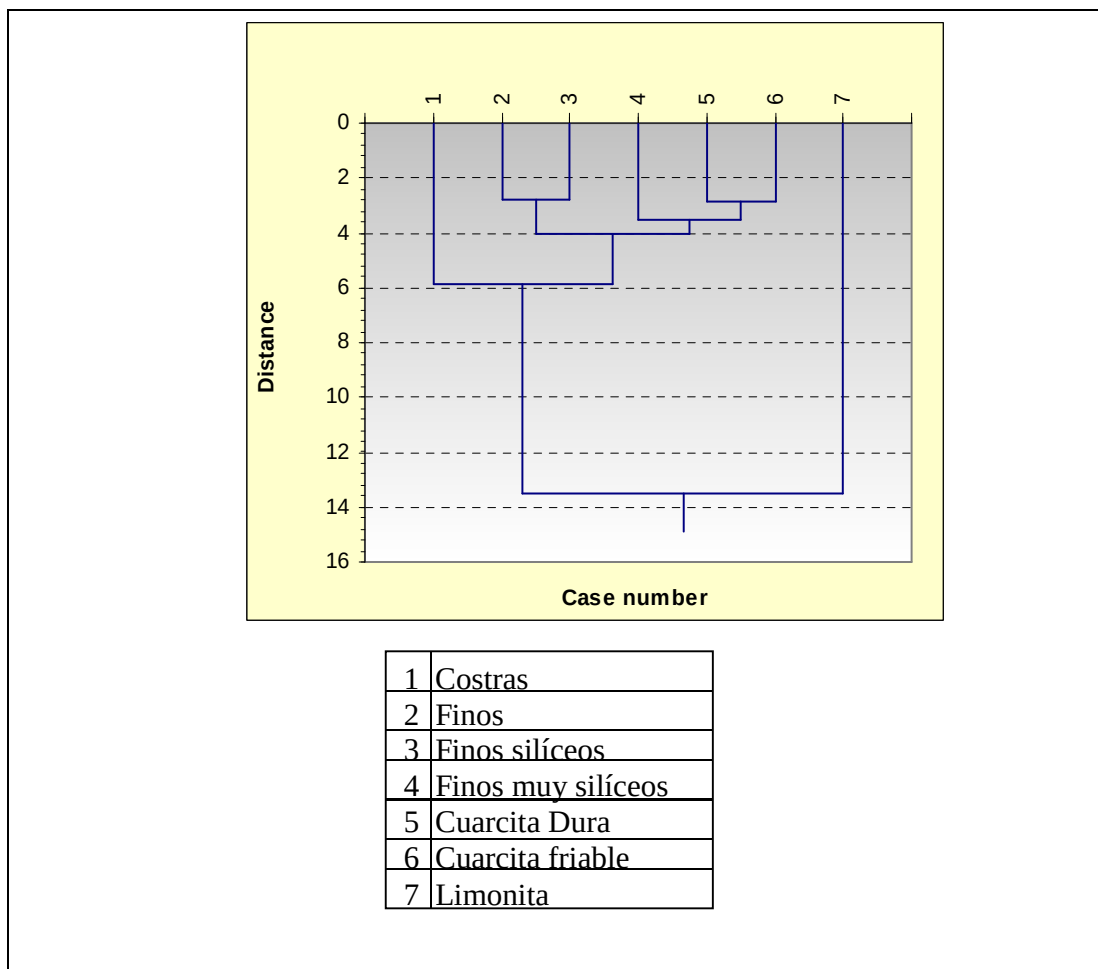


Figura 4.7 Dendrograma con todas las lito por el método simple.

4.3.6 Análisis de histogramas

La gráfica de los histogramas permitió analizar el comportamiento de la data y establecer el valor de corte (cutoff) para cada caso analizado. El criterio usado para el cutoff corresponde al valor que contiene el 95% de la población lo cual permitió eliminar los valores extremos sin alterar excesivamente la data. Los histogramas fueron realizados para cada parámetro químico en cada uno de los grupos resultantes del análisis del comportamiento de las menas (figura 4.8).

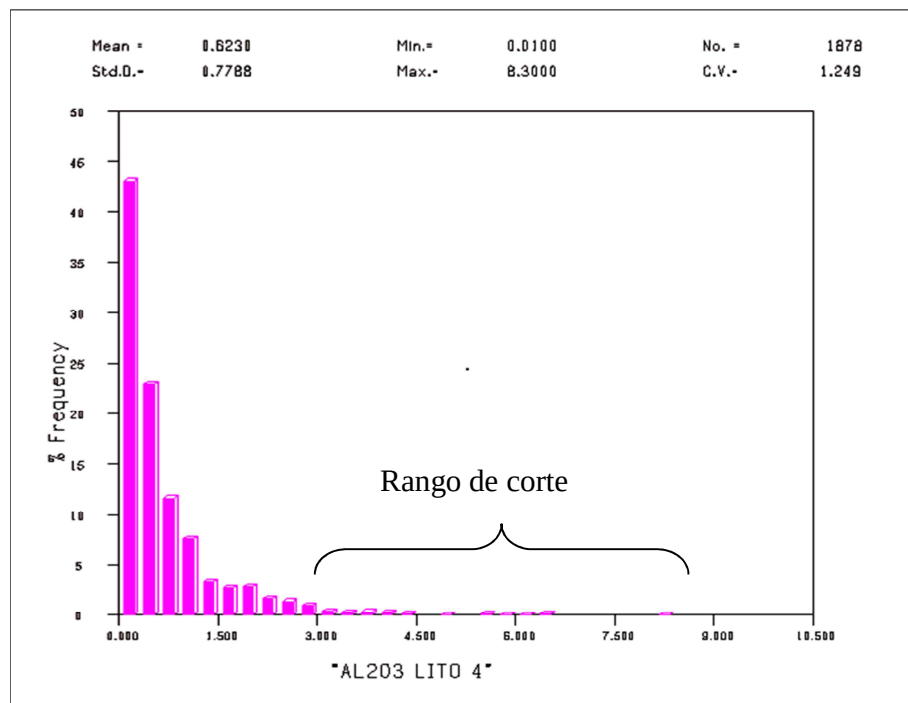


Figura 4.8 Reporte de la estadística básica e histograma.

4.3.6 Construcción de correlogramas

Anterior a la construcción de los variogramas se aplicó otra herramienta del software minero MedSystem, llamada correlogramas; entendiendo que son una representación gráfica de las curvas de probabilidad de ocurrencia para un parámetro químico en particular tomando en cuenta el límite de corte (cutoff) determinado en los anteriores cálculos de histogramas. El correlograma se aplicó en las litologías agrupadas resultantes de los análisis de las gráficas de Media vs. Desviación Estándar, curvas Log-probabilísticas y clúster, obteniéndose la posible área de influencia y lo más importante la orientación o dirección de mayor y menor correlación espacial.

Los correlogramas constan de un eje mayor y de un eje menor (para el caso de una elipse), ángulo de inclinación del eje mayor para el plano horizontal, además para el plano vertical existe otro eje, el eje vertical que para esta investigación quedó fijo en treinta (30) metros para determinar la variabilidad en las otras direcciones (Figura 4.9).

Siendo el correlograma una variedad del variograma, permite observar con claridad si existe una dirección preferencial de ocurrencia (anisotropia) para el parámetro químico en estudio, de tal manera que, posteriormente en el cálculo del variograma se reduce la incertidumbre de la búsqueda tomando en cuenta la dirección aproximada obtenida del correlograma.

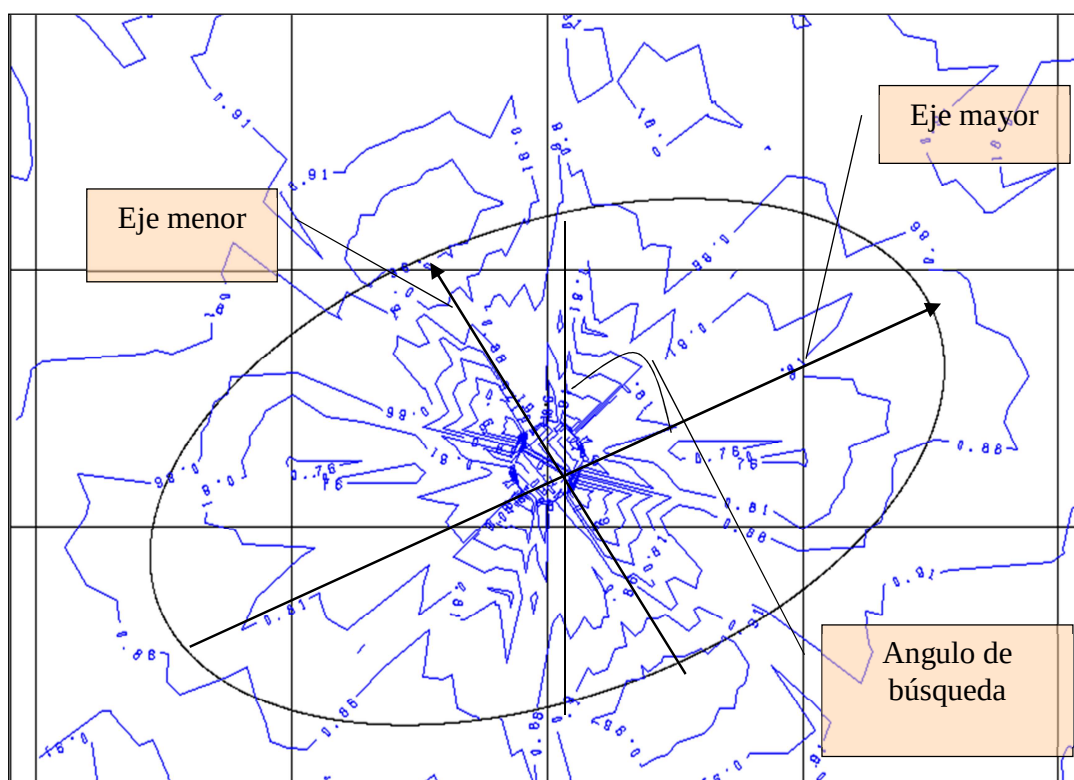


Figura 4.9 Elementos del correlograma.

4.3.7 Construcción de variogramas

La herramienta utilizada para determinar el radio de influencia fue el variograma, ya que permite una representación gráfica para cuantificar la distancia dentro de la cual las muestras son correlacionables. El variograma se construyó para cada parámetro químico; sin embargo, se agruparon las litologías de acuerdo a los resultados del análisis poblacional. Los variogramas se analizaron en parejas con las direcciones perpendiculares de máxima y mínima correlación, observándose si existía una tendencia preferencial de mineralización para el parámetro químico en estudio del respectivo grupo litológico (Figura 4.10).

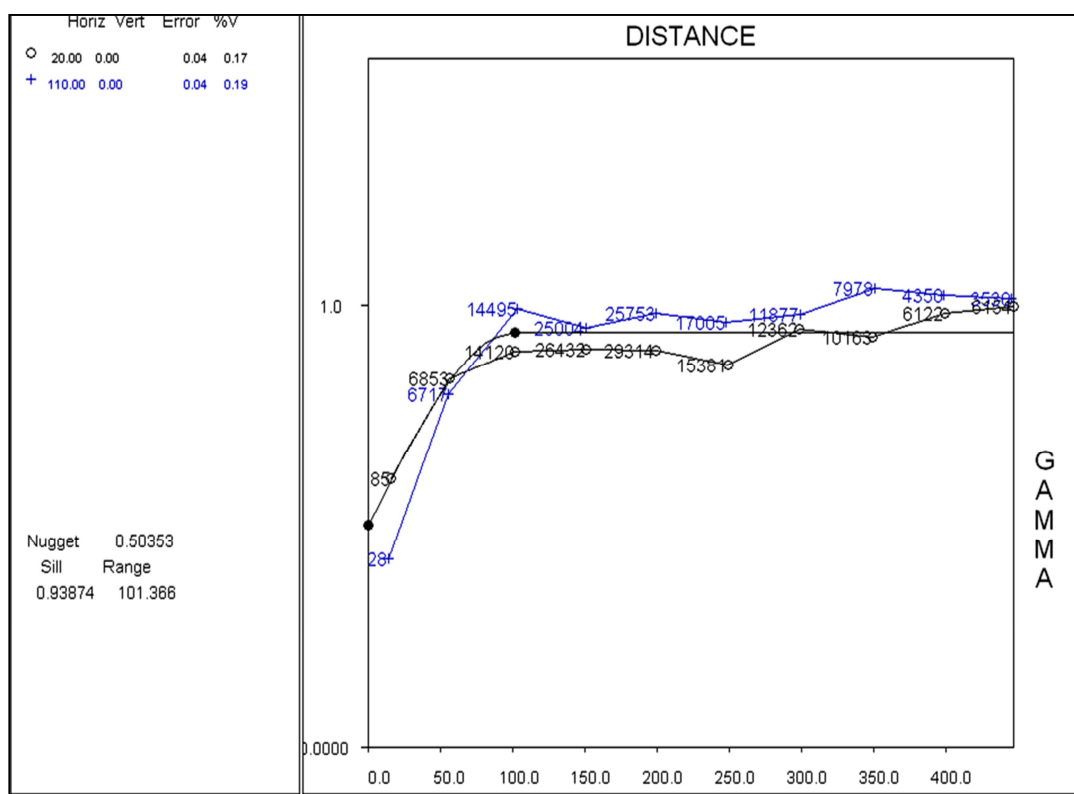


Figura 4.10 Variograma de la sílice de las litologías 2, 3, 4, 8 (Grupo 2).

4.3.8 Validación de los resultados de los variogramas

Una vez obtenido el modelo del variograma del ajuste experimental, se valida con la herramienta point validation (punto de validación) que posee el software minero MedSystem. El point validation utiliza los interpoladores kriging e inverso de la distancia basándose 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, que se expresa en forma porcentual y por último en forma grafica expresa la correlación entre las muestras por medio de una nube de correlación (Figura 4.11)

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 siguen la misma tendencia de los valores reales, siendo más confiable la estimación si el coeficiente de correlación se acerca a uno (1) (Figura4.11).

El point validation se utilizó para evaluar los variogramas, ya que por medio del coeficiente de correlación se puede elegir los mejores variogramas modelados, y sobre todo determinar el error obtenido de la diferencia entre los valores reales y los calculados, ya que de esta forma se puede conocer cuál variograma se ajusta mejor a la realidad.

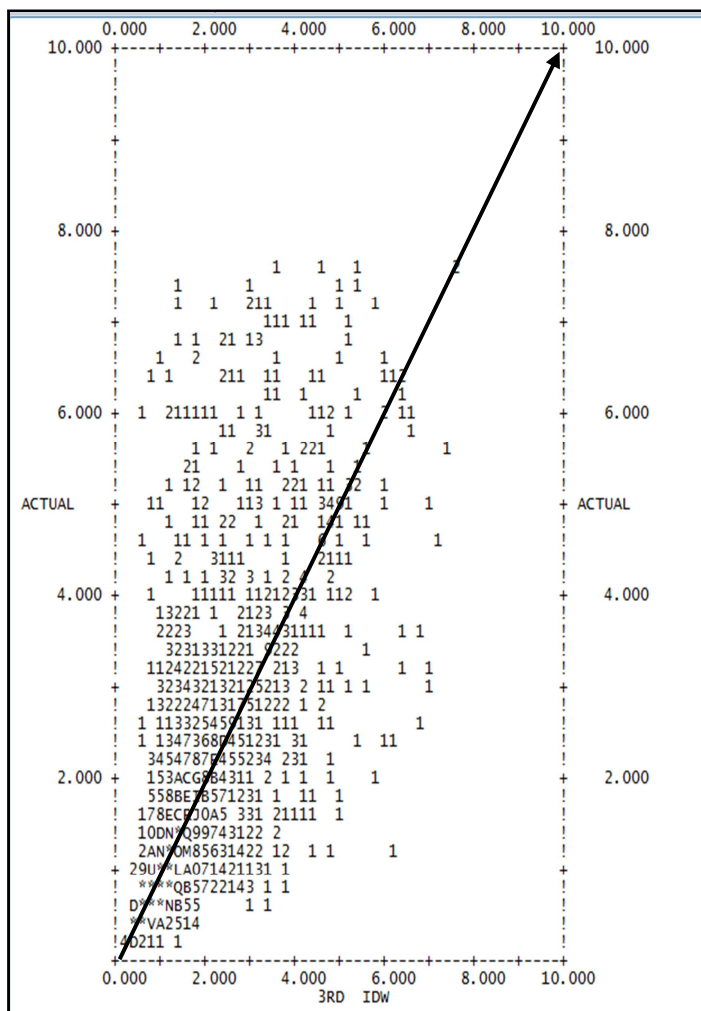


Figura 4.11 Nube de correlación.

4.3.9 Comparación de los resultados obtenidos con los datos de Mintec Inc.

Una vez obtenidos todos los resultados se procedió a comparar la cantidad de datos empleados por Mintec Inc. y los actuales, así como también la aplicación de la variografía en cada estudio y los radios de influencia en ambos casos, de igual manera se evaluaron los parámetros de los variogramas realizados por Mintec Inc. pero con la

base de datos actual, y así poder verificar si se podían seguir empleando esos datos o si era necesario cambiar los radios de influencia.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Estadísticas básicas

La tabla 5.1 muestra estadística básica de los parámetros químicos de las costras, en el que se puede observar que los valores de media de todos los parámetros químicos concuerdan con los valores promedios establecidos en la tabla de clasificación litológica de la Jefatura de Área Geología para ésta mena (tabla 2.1). Por su parte los valores máximos del Sílice, la Alúmina y la Perdida por calcinación sobrepasan el límite establecido en la tabla de clasificación litológica, debido a que la muestra recuperada no fue solamente costra sino que en menor cantidad estaba presente otra litología que alteró los resultados químicos. Se puede observar además, que la mayor variabilidad respecto al valor de la Media la presenta en parámetro Sílice, seguido del parámetro Pérdida por Calcinación, luego la Alúmina y el Manganeso respectivamente, mientras que la menor variabilidad se aprecia en el parámetro Fósforo.

Las tablas 5.2, 5.3 y 5.4 muestran los resultados de la estadística básica de los finos, finos silíceos y finos muy silíceos respectivamente, se puede observar que los valores máximos de Sílice, Alúmina y Perdida por calcinación para el caso de los finos y finos silíceos, mientras

Tabla 5.1 Estadística básica de las costras.

LITO 1						
PARAMETROS	METROS PERF.	MIN	MAX	MEDIA	COEF. VAR.	DESV. STD.
FE	11043	41.68	69.16	62.92	0.042	2.658
SiO ₂	11033	0.08	30.05	2.17	1.220	2.652
Al ₂ O ₃	11043	0.04	9.23	1.37	0.688	0.944
PPC	10957	0.04	13.74	6.49	0.369	2.393
P	9731	0.01	0.31	0.08	0.427	0.037
Mn	9756	0.01	1.64	0.02	1.78	0.052

que para los finos muy silíceos solo la Pérdida por Calcinación y la Alúmina sobrepasan los valores establecidos por la tabla litológica que maneja la Jefatura de Área Geología, esto, debido a que la muestra recuperada de ciertos finos presentaba en menor cantidad otra litología, como pudo ser Laterita, la cual altera los resultados del análisis químico. Los valores de la Media de todos los parámetros se encuentran dentro de los rangos establecidos en la tabla de clasificación litológica; por su parte el elemento de mayor Desviación Estándar es la Pérdida por Calcinación seguido por la Alúmina, el Sílice, el Manganeso y el Fósforo respectivamente para los finos y finos silíceos mientras que para los finos muy silíceos el parámetro químico de mayor desviación estándar es el Sílice, seguido en orden decreciente de la Pérdida por Calcinación, Alúmina, Manganeso y Fósforo.

Tabla 5.2 Estadística básica de los finos.

LITO 2						
PARAMETROS	METROS PERF.	MIN	MAX	MEDIA	COEF. VAR.	DESV. STD.
FE	10069	55.67	69.80	67.09	0.025	1.657
SiO ₂	10066	0.10	4.46	0.83	0.568	0.475
Al ₂ O ₃	9510	0.10	9.00	0.64	0.982	0.637
PPC	10004	0.10	14.27	2.65	0.688	1.825
P	355	0.10	0.23	0.11	0.187	0.021
Mn	8087	0.01	0.95	0.03	1.69	0.052

Tabla 5.3 Estadística básica de los finos silíceos.

LITO 3						
PARAMETROS	METROS PERF.	MIN	MAX	MEDIA	COEF. VAR.	DESV. STD.
Fe	4466	56.70	68.80	64.81	0.027	1.777
SiO ₂	4466	2.02	6.00	3.79	0.293	1.113
Al ₂ O ₃	4466	0.01	9.00	0.79	1.030	0.819
PPC	4462	0.08	12.5	2.77	0.67	1.857
P	3682	0.01	0.17	0.05	0.494	0.025
Mn	3690	0.01	0.36	0.03	1.163	0.036

Tabla 5.4 Estadística básica de los finos muy síliceos.

LITO 4						
PARAMETROS	METROS PERF.	MIN	MAX	MEDIA	COEF. VAR.	DESV. STD.
Fe	7366	55.00	65.30	59.58	0.042	2.504
SiO ₂	7364	6.01	21.03	11.98	0.313	3.755
Al ₂ O ₃	7364	0.01	8.30	0.63	1.203	0.760
PPC	7330	0.10	11.20	2.23	0.653	1.459
P	6192	0.01	0.18	0.04	0.487	0.022
Mn	6220	0.01	0.40	0.02	1.098	0.031

En las tablas 5.5 y 5.6 se muestran los resultados de la estadística básica para la cuarcita friable y la cuarcita dura respectivamente, donde se puede observar la repetición del comportamiento del valor máximo (sobrepasar el valor establecido) en los parámetros Sílice, Alúmina y Pérdida por Calcinación, sin embargo, para el caso del Sílice ya no se trata de una contaminación en la muestra recuperada sino a concentraciones puntuales, debido al proceso de lixiviación; el incremento de la Alúmina producto de la descomposición de ciertos minerales presentes en las cuarcitas y la pérdida por calcinación aumenta con las impurezas tales como la Alúmina. Los valores promedio se mantienen dentro de los rangos establecidos en la tabla de clasificación litológica; la mayor variabilidad respecto a la media la tiene el parámetro Sílice, seguido de la Pérdida por Calcinación, Alúmina, Manganeseo y Fósforo, respectivamente.

Tabla 5.5 Estadística básica de las cuarcitas duras.

LITO 5						
PARAMETROS	METROS PERF.	MIN	MAX	MEDIA	COEF. VAR.	DESV. STD.
Fe	12307	6.65	54.99	46.76	0.127	5.964
SiO ₂	12307	6.20	88.6	30.65	0.282	8.660
Al ₂ O ₃	12307	0.01	6.20	0.52	1.429	0.751
PPC	12297	0.02	12.70	1.89	0.905	1.716
P	11275	0.01	0.35	0.039	0.632	0.025
Mn	11341	0.01	0.63	0.027	1.298	0.035

Tabla 5.6 Estadística básica de las cuarcitas friables.

LITO 6						
PARAMETROS	METROS PERF.	MIN	MAX	MEDIA	COEF. VAR.	DESV. STD.
Fe	5912	12.75	54.96	39.20	0.126	4.943
SiO ₂	5912	11.70	76.38	42.01	0.178	7.495
Al ₂ O ₃	5912	0.01	3.30	0.209	1.324	0.277
PPC	5912	0.10	10.0	1.66	0.713	1.186
P	5626	0.01	0.16	0.04	0.391	0.019
Mn	5617	0.01	0.40	0.02	0.909	0.024

La tabla 5.7 muestra los resultados de la estadística básica de la limonita; se puede observar que los valores de los parámetros Sílice, Alúmina y Pérdida por Calcinación sobrepasan el promedio establecido en la tabla de clasificación litológica, sin embargo, tales valores no alteran el promedio ya que se puede observar que la Media se mantiene dentro de los rangos establecidos en la tabla antes mencionada; se repite además el comportamiento de la Desviación estándar siendo el de mayor

variabilidad el parámetro Sílice, y seguido respectivamente por la Pérdida por Calcinación, Alúmina, Manganeso y Fósforo.

Tabla 5.7 Estadística básica de la limonita.

LITO 8						
PARAMETROS	METROS PERF.	MIN	MAX	MEDIA	COEF. VAR.	DESV. STD.
Fe	399	55.10	65.83	59.44	0.036	2.170
SiO ₂	399	0.30	12.76	2.43	0.982	2.394
Al ₂ O ₃	399	0.75	7.90	2.45	0.454	1.112
PPC	399	4.30	13.10	9.97	0.192	1.914
P	362	0.01	0.27	0.13	0.341	0.044
Mn	368	0.01	0.16	0.02	0.849	0.021

5.2 Análisis del comportamiento de las menas

Los resultados obtenidos muestran generalmente cuatro (4) grupos, excepto en casos puntuales, sin embargo, posterior al análisis se redujo a tres (3) grupos, los cuales son: El grupo uno (1) está constituido únicamente por las costras dado que para efectos de la clasificación litológica que maneja la jefatura de Área Geología de Ferrominera, 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 distintos tipos de finos y la limonita, esta última presenta un comportamiento estadístico particular y en algunos casos con semejanza a las costras, sin embargo, basado en el análisis geológico, la limonita al ser una mena blanda, tiene mayor semejanza con los finos que con las costras; las cuarcitas (dura y friable) quedan en el grupo tres (3), ya que están definidas como

menas de bajo tenor y su comportamiento estadístico es análogo, lo que refleja una similitud en los valores químicos de ambas litologías.

5.2.1 Gráfica de Media vs Desviación Estándar y gráfica de Media vs Coeficiente de Variación

Las figuras 5.1 y 5.2 muestran la relación entre los estadísticos Media - Desviación Estándar y Media – Coeficiente de Variación respectivamente; en ambas gráficas, en base a los comportamientos similares se pueden agrupar costras con limonita, finos y finos síliceos, los finos muy síliceos tienen un comportamiento único para el parámetro sílice por lo que no tiene similitud con otra litología, las cuarcitas duras y friables tienen similitud entre sí, sin embargo, su comportamiento es diferente del resto de las litologías.

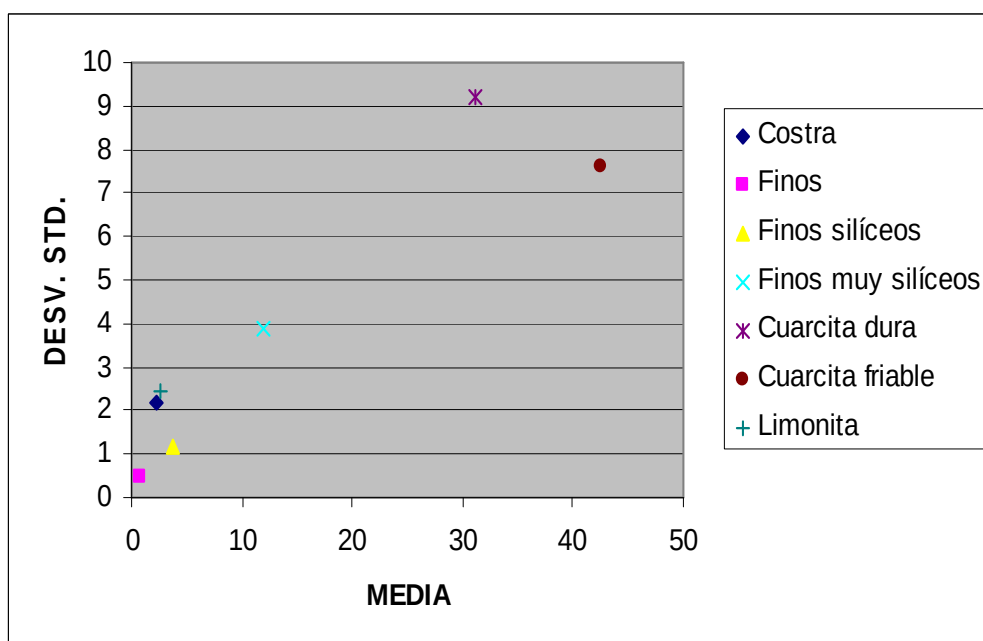


Figura 5.1 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Sílice.

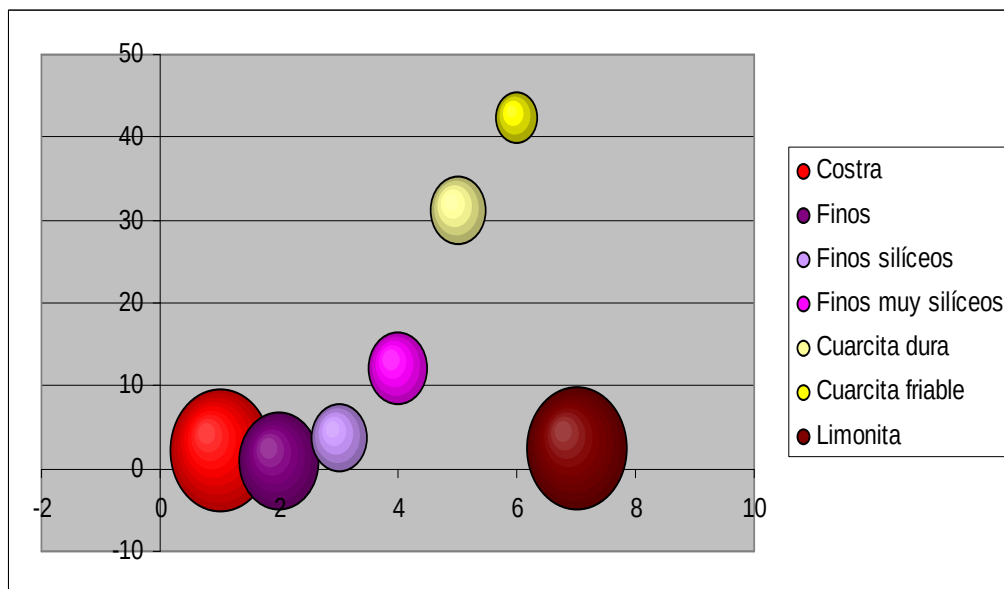


Figura 5.2 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Sílice.

Las figuras 5.3 y 5.4 muestran un comportamiento particular para las costras y la limonita, las cuales se observan separadas del resto de las litologías y también entre sí. Los finos se encuentran todo agrupados y la cuarcita dura y friable se notan separadas en la gráfica de Media contra Desviación estándar mientras que se notan más cercanas en base a la gráfica Media y Coeficiente de variación. La Alúmina es un parámetro químico poco variable y por el contrario de comportamiento estable dentro de cada grupo litológico.

Se puede observar en las gráficas 5.5 y 5.6 cuatro grupos litológicos bien definidos; las costras y la limonita forman cada una por separado un grupo ya que no tienen comportamientos análogos con otras litologías; los finos, finos síliceos y muy síliceos forman otro grupo puesto que el comportamiento de la pérdida por calcinación entre estas litologías es similar; la cuarcita friable y la cuarcita dura forman otro grupo.

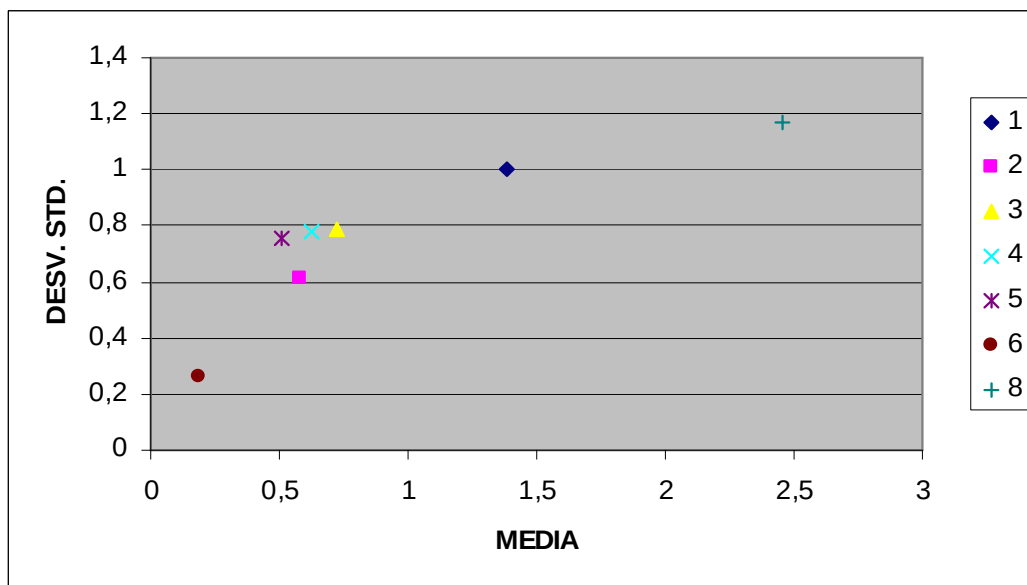


Figura 5.3 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Alúmina.

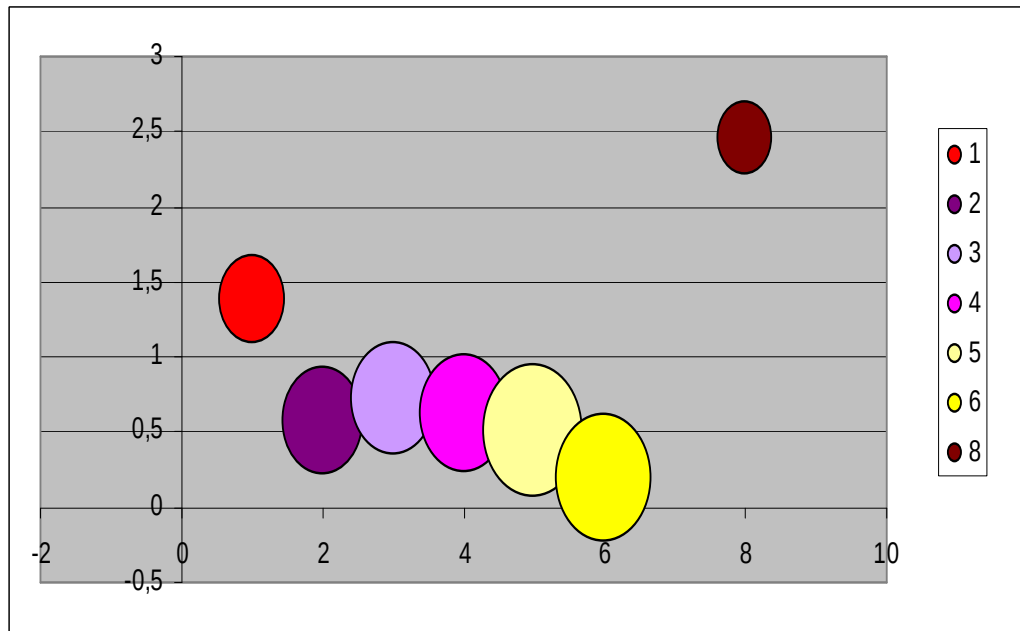


Figura 5.4 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Alúmina.

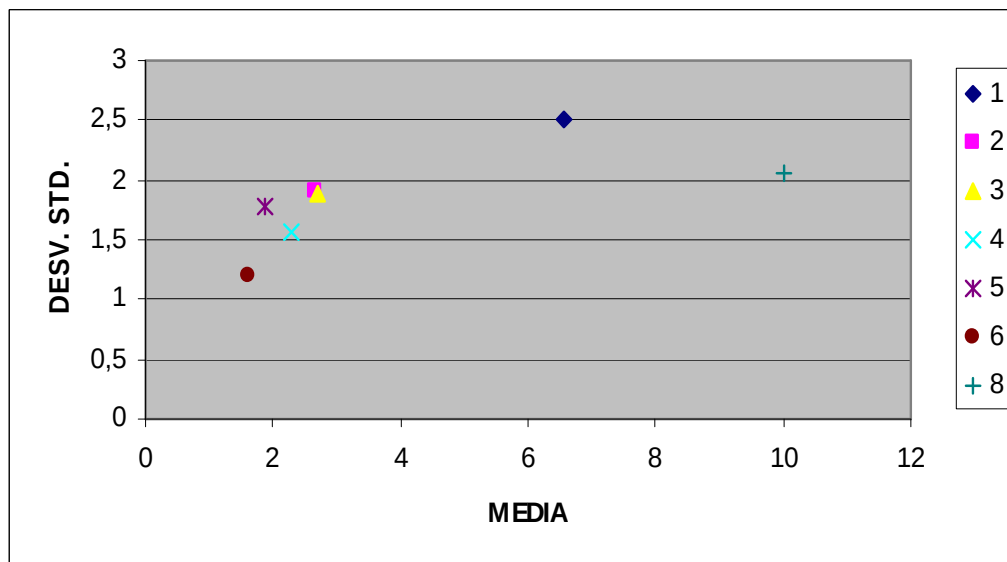


Figura 5.5 Gráfica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Pérdida por Calcinación.

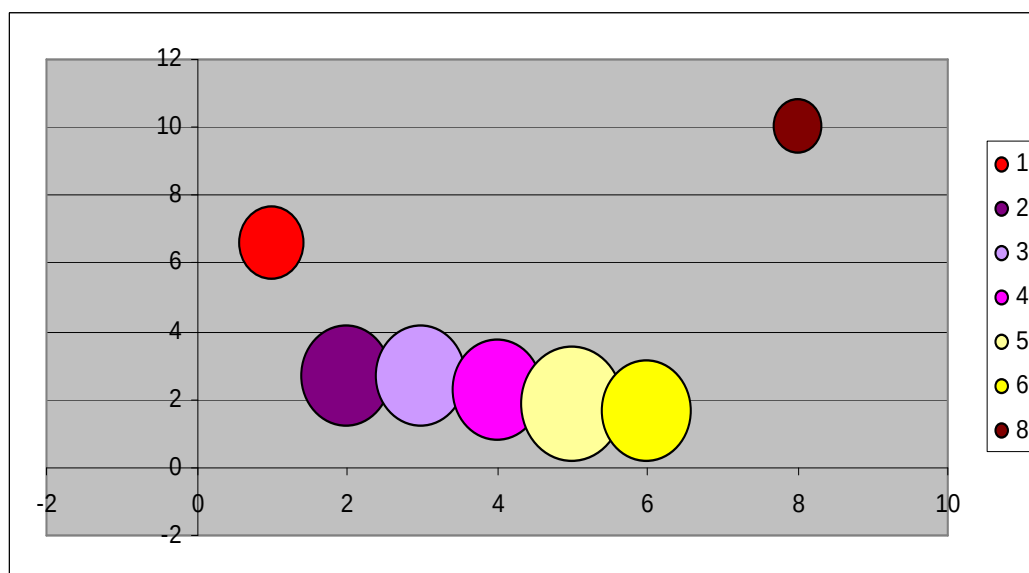


Figura 5.6 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Pérdida por Calcinación.

El fósforo es un parámetro químico de suma importancia y en las figuras 5.7 y 5.8 se puede apreciar el comportamiento estadístico de dicho parámetro para cada litología, pudiéndose distinguir nuevamente que tanto las costras como la limonita se ubican separadas entre sí y también del resto de las litologías, mientras que todos los finos se pueden agrupar debido al parecido del comportamiento. Las cuarcitas presentan un comportamiento análogo entre sí por lo que pueden unirse en un solo grupo.

En las figuras 5.9 y 5.10 se puede observar una similitud en el comportamiento del parámetro manganeso en las costras y los finos, estando separados del resto de las litologías. Por su parte los finos silíceos y muy silíceos se ubican muy cerca de la limonita y por otro lado se puede observar un mayor distanciamiento entre las cuarcitas, estando la cuarcita dura más separada de las demás litologías.

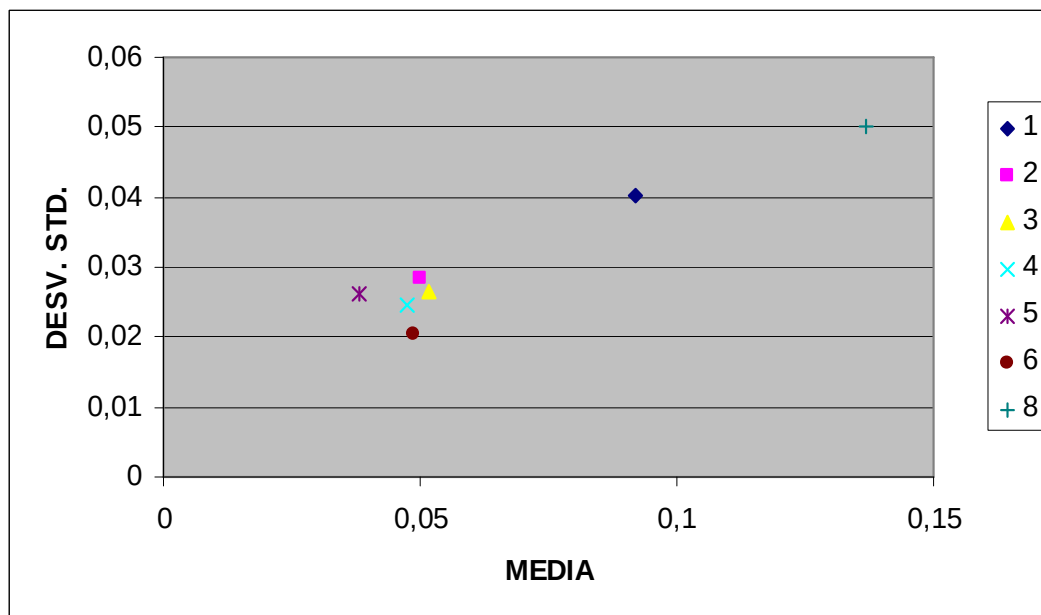


Figura 5.7 Grafica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Fósforo.

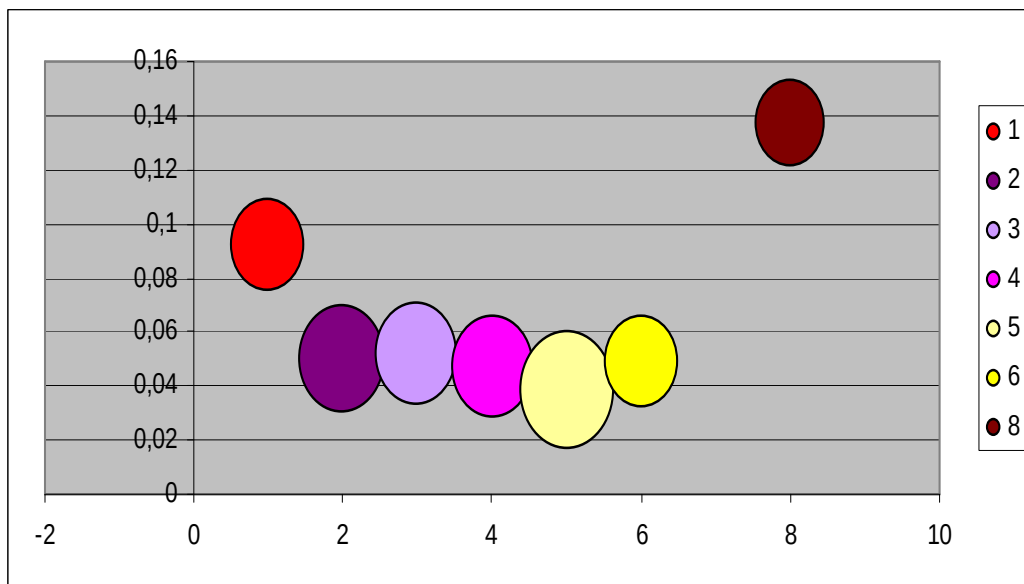


Figura 5.8 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Fósforo.

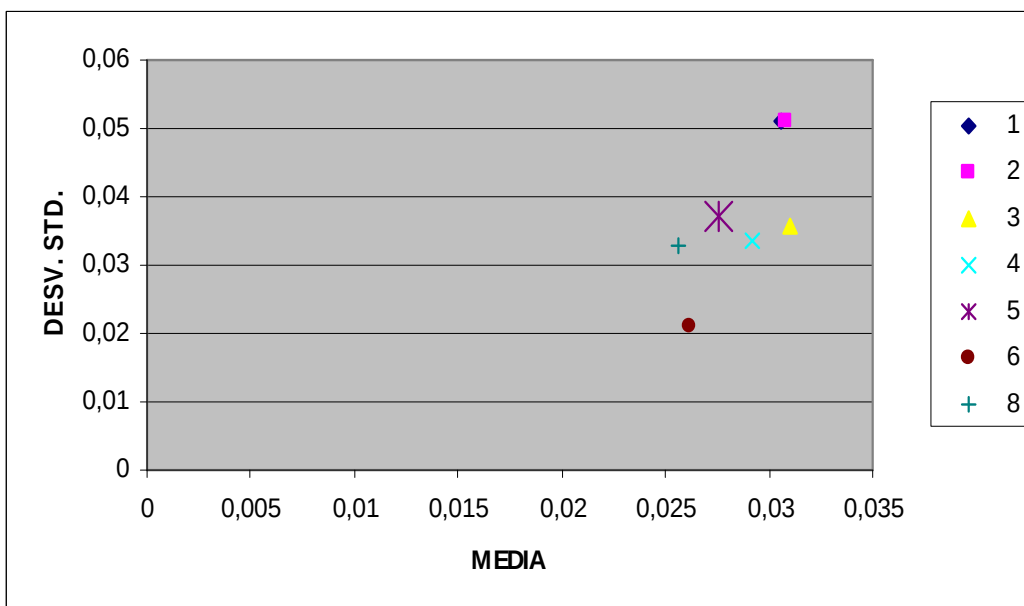


Figura 5.9 Grafica de Media Vs. Desviación Estándar del parámetro Manganeso.

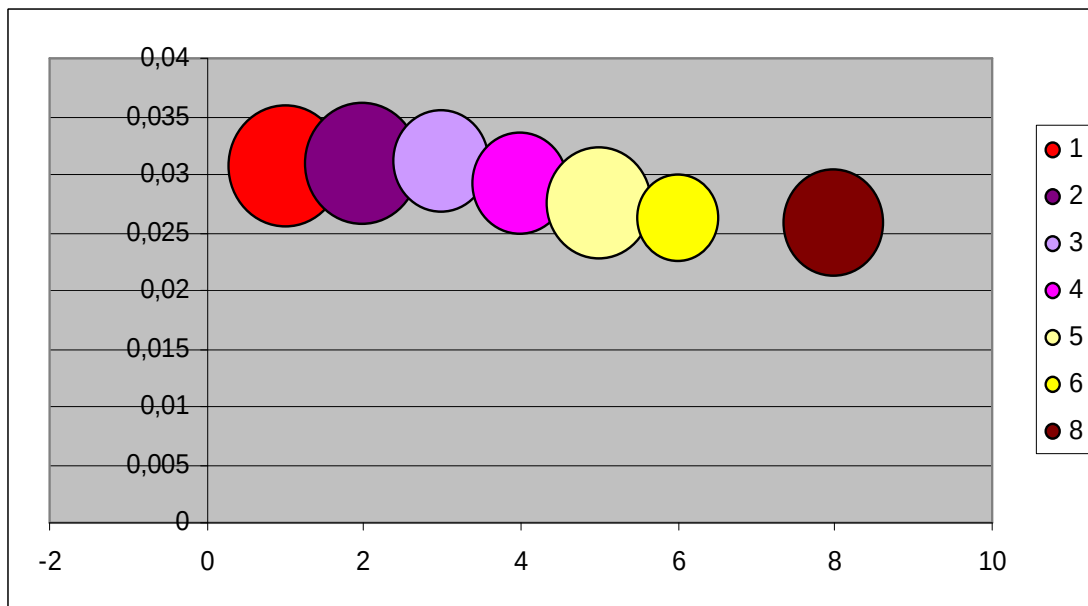


Figura 5.10 Gráfica de Media vs. Coeficiente de variación de parámetro Manganeseo.

5.2.2 Curvas Log probabilísticas

La figura 5.11 muestra los resultados obtenidos para el parámetro químico sílice y claramente una similitud de comportamiento entre las costras y la limonita así como también una aproximación entre las cuarcitas; cada uno de los finos posee un comportamiento único por lo cual están separados entre sí, esto ocurre marcadamente entre los finos porque el sílice es el parámetro químico clasificatorio.

En la figura 5.12 se observa nuevamente una aproximación entre la limonita y las costras, mientras que los finos se encuentran muy bien agrupados entre sí; por su parte las cuarcitas presentan un comportamiento análogo entre sí y también presentan similitud con los finos.

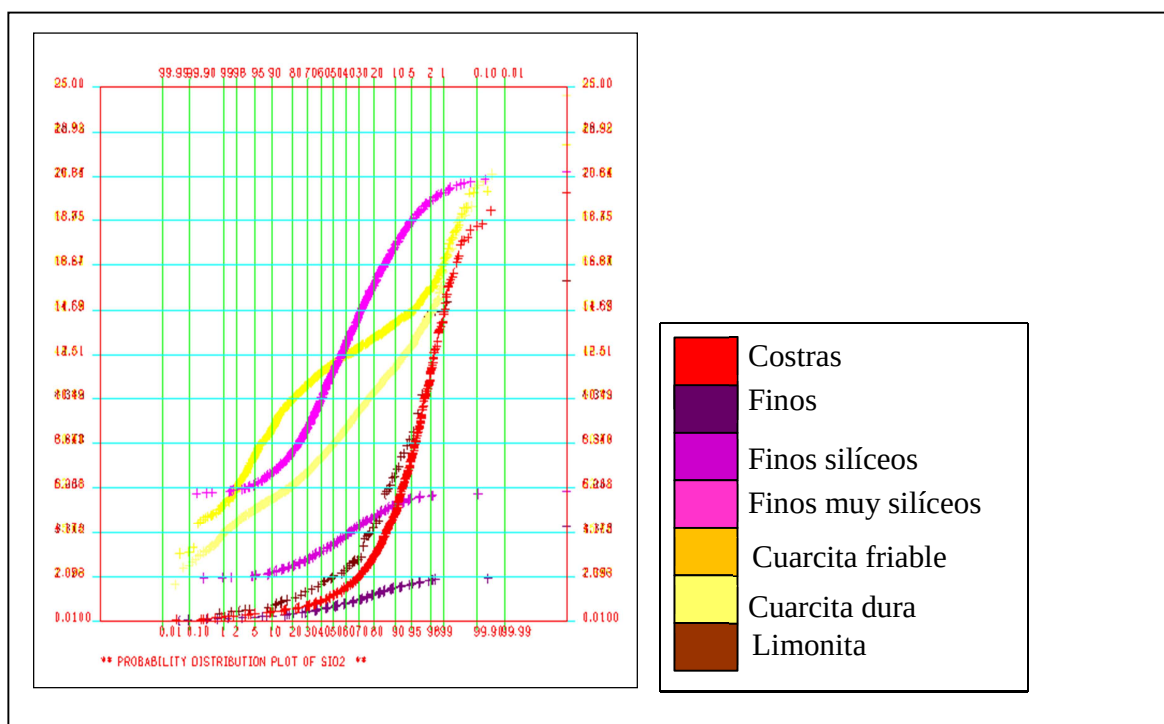


Figura 5.11 Curvas Log probabilísticas del parámetro Sílice.

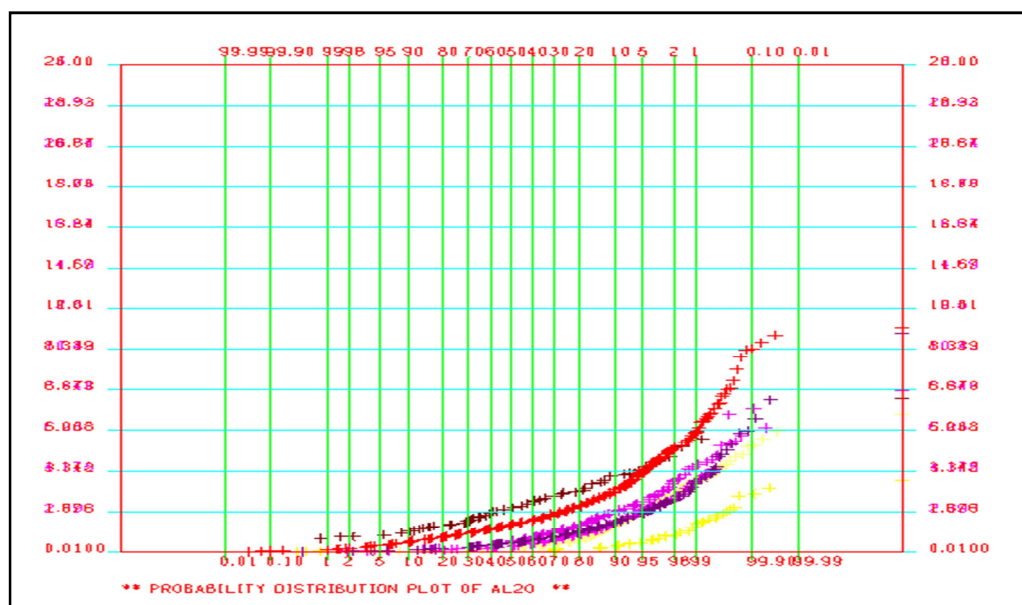


Figura 5.12 Curvas Log probabilísticas del parámetro Alúmina.

Para el parámetro Pérdida por Calcinación en la figura 5.13, se aprecia que la limonita presenta un comportamiento marcadamente diferente estando separadas de todas las otras litologías así como también las costras no presentan similitud con alguna otra litología, mientras que los finos, finos silíceos y finos muy silíceos forman un grupo entre sí; las cuarcitas se asemejan a los finos y también quedan formando un grupo entre sí.

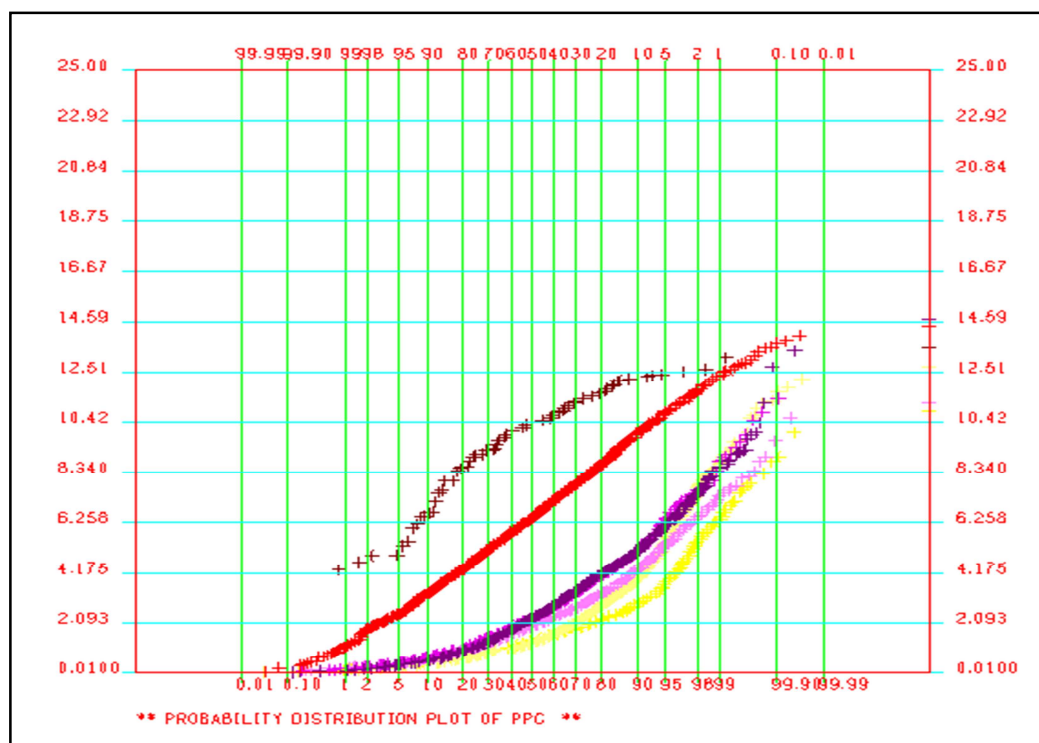


Figura 5.13 Curvas Log probabilísticas del parámetro Pérdida por Calcinación.

En la figura 5.14 se puede apreciar que el comportamiento de las costras y la limonita, no es cercano con las otras litologías y también entre ellas se nota la separación de las curvas, por su parte los finos y cuarcitas poseen un comportamiento muy análogo entre ellos y se observan todos agrupados hacia la parte inferior del área de la gráfica.

Para el parámetro manganeso en la figura 5.15, se aprecia que las curvas probabilísticas son menos espesas en comparación con las curvas de figuras anteriores, esto ocurre, porque la cantidad de datos para el Manganeso es menor con respecto a otros parámetros. Sin embargo, se destaca la estabilidad del comportamiento de dicho parámetro y en la figura se observa como todas las curvas poseen la misma tendencia formando un solo grupo de curvas.

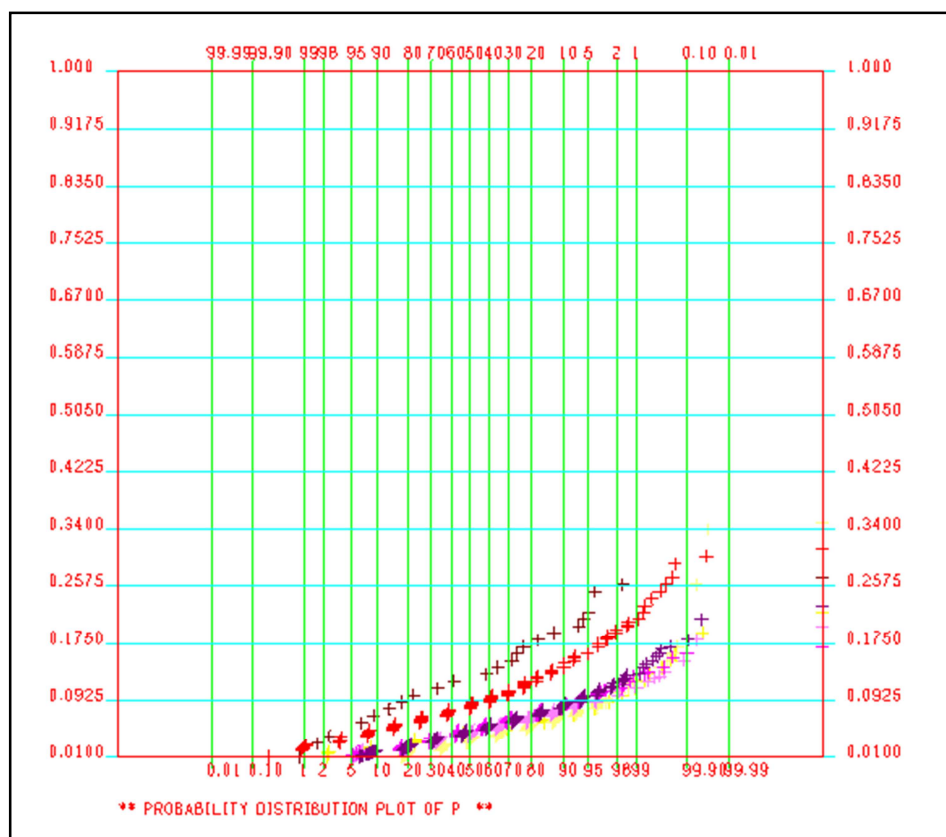


Figura 5.14 Curvas Log probabilísticas del parámetro Fósforo.

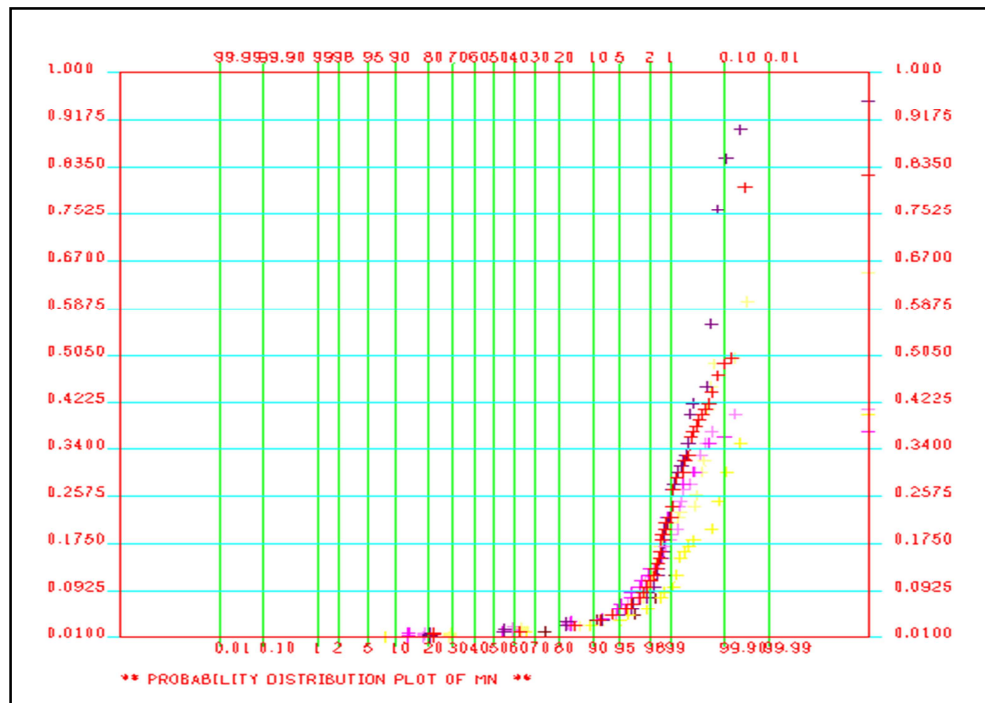


Figura 5.15 Curvas Log probabilísticas del parámetro Manganese.

5.2.3 Análisis de cluster

La figura 5.16 muestra el dendograma resultante utilizando el método Ward's y se puede observar en la figura que los comportamientos más próximos entre sí los tienen las cuarcitas y los finos y finos silíceos, mientras que las costras no muestran similitud con los finos pero mantiene al final un comportamiento particular, los finos muy silíceos presentan una tendencia hacia las cuarcitas, quizás por el parámetro sílice, sin embargo, también terminan presentando un comportamiento único; la limonita por su parte desde un principio muestra una marcada diferencia con el resto de las litologías.

En el dendograma resultante por el método Simple, el cual se observa en la figura 5.17, se puede observar la misma clasificación en las litologías obtenidas por el

método Ward's, con la diferencia en los niveles de similitud entre los comportamientos análogos, representada en el dendograma, por las distancia.

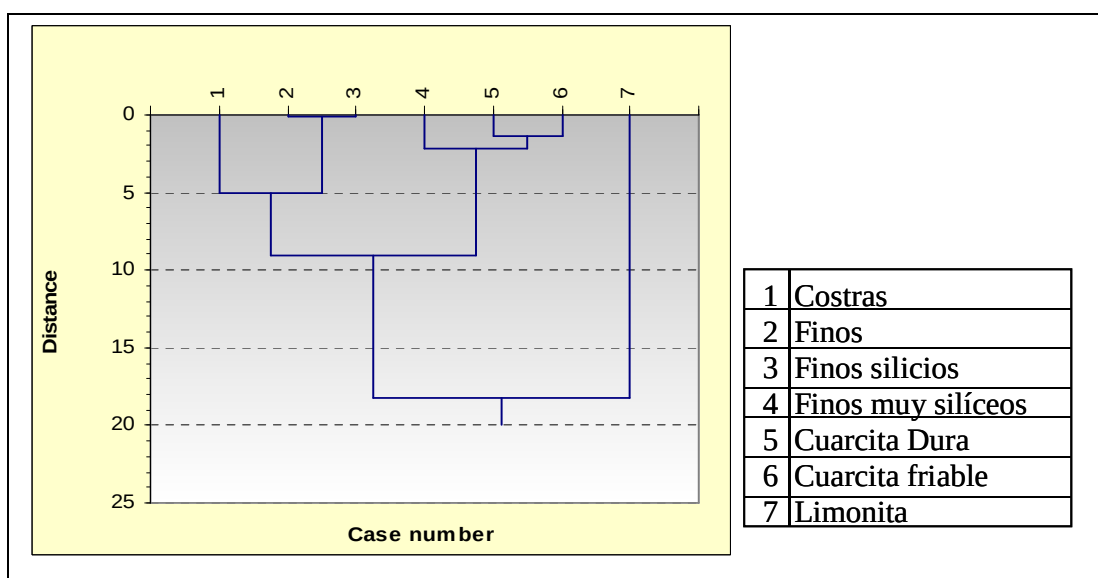


Figura 5.16 Dendograma resultante por el método de Ward's.

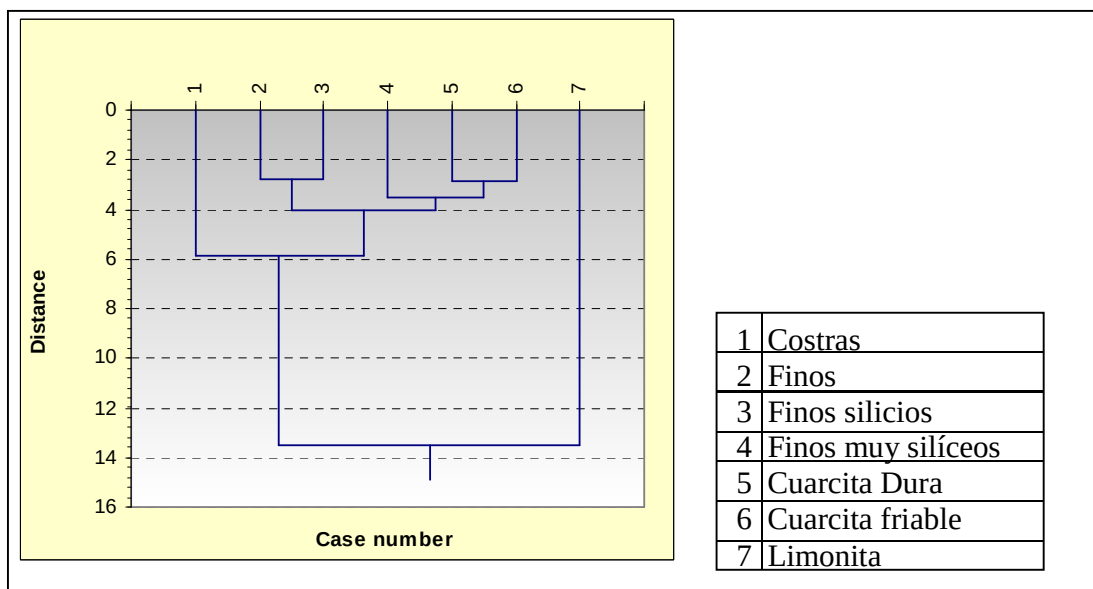


Figura 5.17 Dendograma resultante por el método Simple.

En la figura 5.18 se aprecia el dendograma usando el método Completo, el cual arroja un resultado diferente; las costras y los finos se muestran más parecidos entre sí, se conserva el comportamiento único de los finos muy silíceos así como también la limonita mantiene su separación del resto de las litologías, por su parte los finos silíceos quedan más unidos a la cuarcita friable mientras que la cuarcita dura no queda agrupada con alguna otra litología.

Los dendogramas resultantes por el método Centroide y método Average representados en las figuras 5.19 y 5.20 respectivamente, muestran una discriminación idéntica en las litologías con la diferencia en las distancias pero se puede apreciar nuevamente que las costras poseen un comportamiento particular, mientras que las litologías análogas entre sí son los finos y finos silíceos, mientras que los finos muy silíceos no se encuentran agrupados con otras litologías; las cuarcitas mantienen una similitud entre sí; por último, el comportamiento de la limonita que en todos los métodos se ha observado con un comportamiento singular que es el de no agruparse con ninguna otra litología.

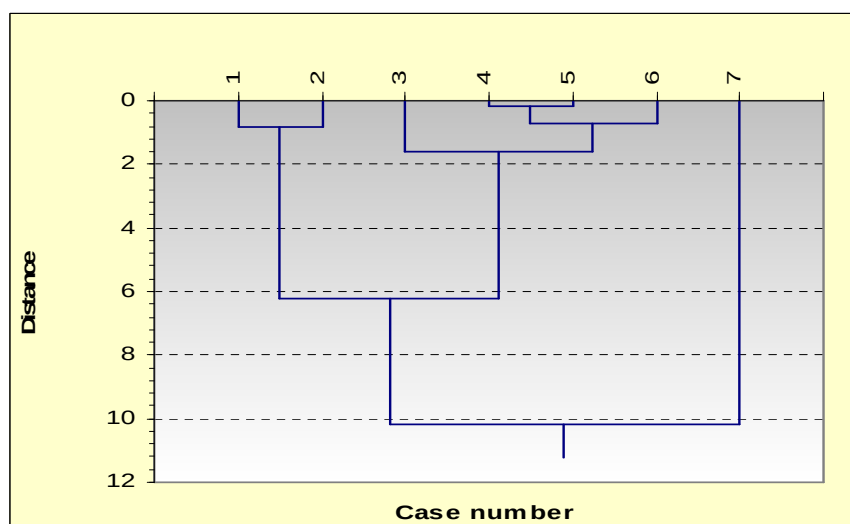


Figura 5.18 Dendograma resultante por el método Completo.

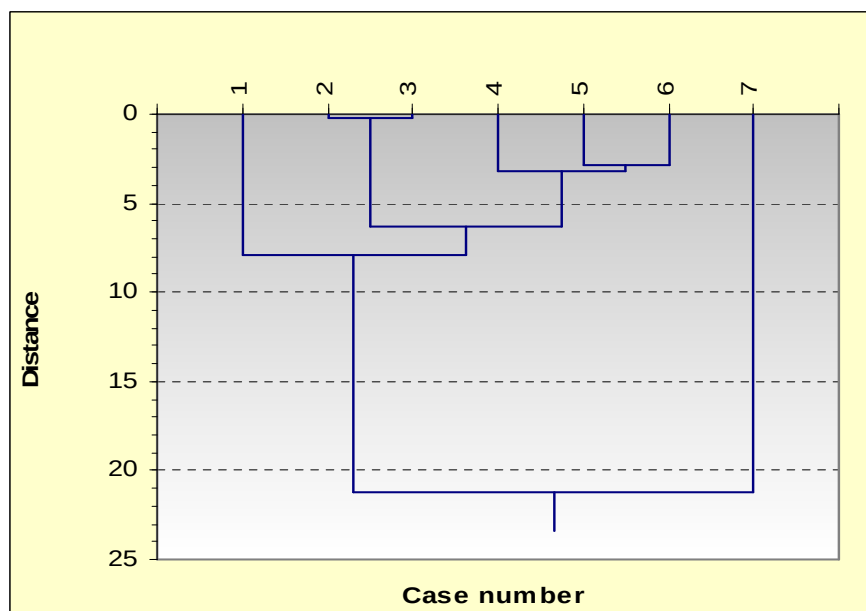


Figura 5.19 Dendograma resultante por el método Centroide.

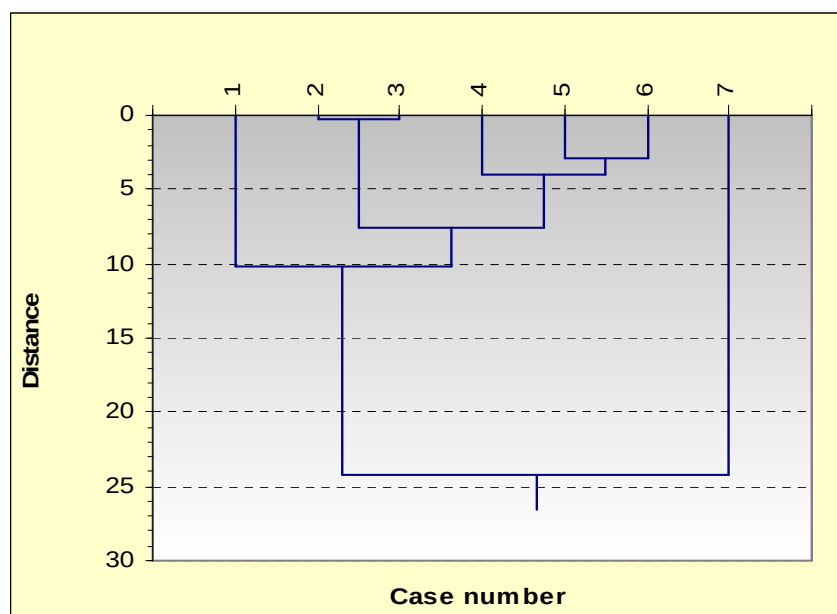


Figura 5.20 Dendograma resultante por el método Average.

5.3 Histogramas

Los histogramas obtenidos presentan en su mayoría una tendencia sesgada (Apéndice A) lo que permite inferir la heterogeneidad del yacimiento (dado el origen del mismo). Las variables químicas Manganeso y Fósforo a pesar de tener menor cantidad de muestras mostraron las poblaciones más sesgadas. A consecuencia de estos resultados, fue necesario realizar un corte en todos los componentes químicos en un valor el cual permita desechar el 5% de la data, considerado como valores extremos altos, disminuyendo el efecto que producen en los variogramas

5.4 Análisis del resultado de los correlogramas

Los correlogramas de los grupos definidos en el análisis poblacional indicaron que la mayoría de las variables químicas tiene un comportamiento anisotrópico, salvo algunas muy exactas que presentaron isotropía (Apéndice B). En otro caso, los correlogramas de las variables fósforo en las costras (grupo 1) así como el correlograma del Manganeso en los grupos dos (2) y tres (3) presentan menos correlación espacial (apéndice B 10 y B15).

En la tabla 5.6 se distingue el parámetro químico, el grupo litológico y la dirección del eje mayor y el eje menor para cada correlograma calculado. En vista de la variedad de las direcciones se puede notar la presencia de anisotropía. Las direcciones del eje mayor fueron tomadas en cuenta para los cálculos posteriores de los variogramas, para disminuir la incertidumbre del ángulo de búsqueda a emplear para cada variograma.

Tabla 5.6 Direcciones de los ejes de los correlogramas

Parámetro químico	Grupo litológico	Eje mayor	Eje menor
Sílice	1	30	120
Alúmina		0	90
Pérdida por calcinación		45	135
Fósforo		65	155
Manganeso		100	10
Sílice	2	20	110
Alúmina		70	160
Pérdida por calcinación		30	120
Fósforo		0	90
Manganeso		120	230
Sílice	3	70	160
Alúmina		100	10
Pérdida por calcinación		100	10
Fósforo		0	90
Manganeso		65	155

5.5 Análisis del resultado de los variogramas

De los variogramas se determinó un radio de influencia que oscila alrededor de cien (100) metros y el variograma teórico que mejor se ajusta a los resultados obtenidos es el modelo esférico (Apéndice C).

En el caso del sílice, en los grupos uno (1) y dos (2) los resultados obtenidos se ajustan muy bien al modelo esférico, encontrándose mayor variabilidad en el grupo tres (3), esto debido a que la diversidad de valores para el sílice en las cuarcitas es considerable, con valores que oscilan desde 6.08% hasta 88.6%; el comportamiento del variograma para el caso de la alúmina en todos los grupos es bastante ajustado al modelo, al igual que la pérdida por calcinación, 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 (Apéndice C 14) debido a que se están mezclando valores muy bajos de fósforo como es el de los finos con valores más elevados como los de la limonita; para el caso del manganeso los variogramas resultantes son menos ajustados al modelo teórico lo que se explica debido a la variabilidad de la población.

Las tablas 5.7, 5.8, y 5.9 muestran los resultados de los parámetros de los variogramas (meseta, efecto pepita y rango) realizados para cada uno de los grupos litológicos obtenidos del análisis poblacional.

Tabla 5.7 Parámetros resultantes de los modelos teóricos del grupo uno (1).

Grupo 1			
Parámetro	Meseta	Efecto pepita	Rango
Sílice	0.814	0.213	102.757
Alúmina	0.378	0.069	102.88
Pérdida por calcinación	0.205	0.106	126,07
Fósforo	0.237	0.097	99.328
Manganeso	0.151	0.032	88.438

Tabla 5.8 Parámetros resultantes de los modelos teóricos del grupo dos (2).

Grupo 2			
Parámetro	Meseta	Efecto pepita	Rango
Sílice	0.938	0.503	101.366
Alúmina	0.911	0.421	69.368
Pérdida por calcinación	0.429	0.151	122.73
Fósforo	0.278	0.168	100.438
Manganeso	0.361	0.201	95.162

Tabla 5.9 Parámetros resultantes de los modelos teóricos del grupo tres (3).

Grupo 3			
Parámetro	Meseta	Efecto pepita	Rango
Sílice	0.140	0.096	136.56
Alúmina	1.303	0.320	102.32
Pérdida por calcinación	0.377	0.099	101.882
Fósforo	0.206	0.118	100.91
Manganeso	0.312	0.133	80.416

5.6 Validación del modelo

Los resultados obtenidos son valores de correlación por encima de 0.70 (70%) con una tangente de la recta por encima de 0.8 entendiéndose que el máximo valor a tomar es uno (1) cuando el ángulo es 45° lo cual es un valor ideal. Un caso especial es el manganeso de las costras donde la correlación y la tangente de la recta es muy baja, esto es debido a que existen valores con un alto porcentaje de frecuencia

acompañados de valores con muy bajo porcentaje de frecuencia y esta característica se puede apreciar gráficamente en el respectivo histograma.

Comparando los interpoladores IDW y Kriging en base a los resultados con la herramienta point validation, se puede observar que para este caso el interpolador que arroja los mejores resultados es el IDW, mientras que el Kriging para este caso presenta valores menores de correlación y generalmente una sobreestimación que se aprecia en los valores de la tangente de la recta que secciona la nube de correlación (Tabla 5.9).

Tabla 5.10 Resultados del point validation.

Grupo Litológico	Parámetro Químico	Coeficiente de correlación		Tangente de la recta	
		IDW	Kriging	IDW	Kriging
Grupo 1 (Lito 1)	SiO ₂	0.7474	0.7229	0.9114	1.0345
	Al ₂ O ₃	0.7771	0.7139	0.9104	1.0848
	PPC	0.8331	0.8226	0.9385	1.0497
	P	0.8372	0.8002	0.9183	1.0620
	Mn	0.4199	0.4027	0.5423	0.6514
Grupo 2 (lito 2,3,4,8)	SiO ₂	0.8521	0.7746	1.0241	1.1343
	Al ₂ O ₃	0.8014	0.7678	0.9352	1.0607
	PPC	0.9072	0.8701	0.9831	1.0281
	P	0.8841	0.8122	0.9669	1.0345
	Mn	0.8759	0.7913	1.0278	1.1292
Grupo 3 (Lito 5,6)	SiO ₂	0.8457	0.7610	0.9926	1.1061
	Al ₂ O ₃	0.8441	0.8024	0.9954	1.0904
	PPC	0.88	0.8577	0.9929	1.0463
	P	0.8506	0.8268	0.9724	1.0266
	Mn	0.8432	0.7072	0.9622	1.0827

5.7 Comparación de los resultados obtenidos con los datos de Mintec Inc.

La empresa Mintec Inc. determinó los radios de influencia de los distintos parámetros químicos para cada tipo litológico para el cerro Altamira en el año 1999, sin embargo, desde entonces se ha incrementado las base de datos de los sondeos geoexploratorios debido a perforaciones posteriores al año de estudio, comparando

los resultados de Mintec con los obtenidos actualmente se pueden apreciar ciertos cambios:

La cantidad de sondeos realizados hasta el momento del estudio por la empresa Mintec Inc. era 568 lo que para la actualidad ha ascendido a 849 sondeos lo que radica en una diferencia a la hora de aplicar la variografía. Para el trabajo de la empresa Mintec Inc. los variogramas fueron construidos con toda la población, sin embargo, para esta investigación se hizo un corte desechando el 5% de la data.

Las direcciones preferenciales de búsqueda empleadas por la empresa Mintec para su estudio son de 0, 45, 90 y 135 grados, mientras que para el presente trabajo las direcciones de búsquedas son mas variadas, encontrándose en algunos casos las mismas direcciones antes empleadas y para otras direcciones de 10, 15 y 20 grados además algunos con 65 y 75 grados, en busca de resultados óptimos.

En la tabla 5.10 se observan los resultados obtenidos en el presente trabajo en comparación con los resultados de la empresa Mintec Inc. en el año 1999 y se aprecia una disminución del radios de influencia, esto se explica debido al cierre del mallado de perforación, al momento de Mintec realizar su respectivo estudio la distancia entre los sondeos era de 100 metros, en la actualidad la distancia entre los sondeos es de 50 metros.

Las direcciones de anisotropía determinadas por la empresa Mintec Inc. fueron cero (0) y noventa (90) grados mientras que en el presente estudio se encontraron distintas direcciones de anisotropía que van desde cero (0) hasta los ciento treinta y seis (136) grados (tabla 5.10)

En comparación con los resultados obtenidos por la empresa Mintec en el año 1999 y haciendo uso de la herramienta punto de validación, los resultados fueron similares y óptimos.

En la tabla 5.11 se muestran algunos ejemplos de la comparación.

Tabla 5.11 Comparación de los radios de influencias calculados en el presente estudio con los calculados por la empresa Mintec en el año 1999.

Grupos	Variable química	Rangos actuales	Dirección de anisotropía	Rangos de Mintec	Dirección de anisotropía
Grupo 1 (lito 1)	SiO ₂	103	30	130	90
	Al ₂ O ₃	103	0	160	90
	PPC	126	45	175	0
	P	99	65	130	0
	Mn	85	100	125	0
Grupo 2 (lito 2,3,4,8)	SiO ₂	101	20	180	0
	Al ₂ O ₃	69	70	160	0
	PPC	123	27	190	0
	P	100	0	180	0
	Mn	95	120	115	0
Grupo 3 (lito 5,6)	SiO ₂	136	70	115	0
	Al ₂ O ₃	102	100	130	0
	PPC	102	100	140	0
	P	100	0	115	0
	Mn	80	65	100	0

Tabla 5.12 Comparación del coeficiente de correlación.

		COEF. DE CORRELACION	
PARAMETRO QUIMICO	LITO	MINTEC	OBTENIDO
SiO ₂	1	0.75	0.74
Al ₂ O ₃	1	0.74	0.77
PPC	1	0.81	0.83
P	1	0.83	0.83
Mn	1	0.42	0.41
SiO ₂	2	0.84	0.85
Al ₂ O ₃	2	0.80	0.80
PPC	2	0.89	0.90
P	2	0.88	0.88
Mn	2	0.88	0.87
SiO ₂	3	0.85	0.84
Al ₂ O ₃	3	0.84	0.84
PPC	3	0.87	0.88
P	3	0.85	0.85
Mn	3	0.85	0.84

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La revisión de la base de datos de los sondeos geoexploratorios fue de suma importancia, ya que se incluyeron algunos sondeos que no estaban cargados, sin embargo, los valores erráticos son muy escasos (posiblemente errores de transcripción), por lo tanto constantemente al actualizar la base de datos se procede a hacerse una revisión.

La estadística descriptiva aplicada a la base de datos de los sondeos geoexploratorios del cerro Altamira junto con la gráfica de los histogramas, fueron las herramientas que permitieron visualizar el comportamiento poblacional de cada una de las litologías, dichos resultados constituyeron la base de las decisiones para la aplicación de la variografía.

La estadística descriptiva fue la base para el análisis de las menas, lo cual permitió realizar el agrupamiento de las litologías para optimizar los resultados de los variogramas, los cuales representan la mejor herramienta para determinar los radios de influencia.

Los variogramas fueron analizados en direcciones perpendiculares con la finalidad de determinar la presencia de anisotropías, encontrándose una anisotropía geométrica, por lo que el modelo teórico se ajustó lo más posible a los variogramas de ambas direcciones, las cuales son variadas para los distintos parámetros químicos (SiO_2 , Al_2O_3 , PPC, P, Mn).

El valor promedio de los radios de influencia fue de 67.2 metros los cuales disminuyeron en comparación con el valor promedio de obtenido por la empresa Mintec en el año 1999 que fue de 143 metros. Esto debido a un mejoramiento en la estimación producto de que al incrementar la base de datos la información que se posee es más detallada y refleja una disminución en la covarianza espacial, que es cercana a la realidad del yacimiento.

Los radios de influencia empleados actualmente siguen en vigencia y fueron demostrados a través de los resultados obtenidos del punto de validación a partir de los parámetros de los variogramas calculados por la empresa Mintec Inc. en el año 1999.

Recomendaciones

Para trabajos de grado posteriores se puede realizar los análisis variograficos separando la base de datos del cerro Altamira por yacimientos (Occidental, Central y Oriental), para determinar el comportamiento individual en cada uno de ellos y comparar resultados con estudios previos.

La Jefatura de Área Geología requiere determinar los radios de influencia empleando la base de datos de los conos para voladura, dado que la información obtenida es más detallada debido al patrón de mallado utilizado en este tipo de perforación.

La Jefatura de Área Geología puede continuar con el uso de los radios de influencia manejados actualmente, ya que su aplicación seguirá arrojando resultados favorables

En la Jefatura de Área Geología se debe cumplir periódicamente con este tipo estudio tomando en cuenta el incremento de la base de datos de los sondeos geoexploratorios con la finalidad de mantener actualizados los radios de influencia, lo que permite la elaboración de nuevas tesis de grado.

REFERENCIAS

Aguaje, Guillermo. (2009) **INTRODUCCIÓN A LA ESTADISTICA DESCRIPTIVA.** [<http://www.Dargothar.com/aceleren/7/tl.htm>] consultado (06/05/20010)

Albarran, María. (2009). **ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO Y VARIOGRAFICO DEL YACIMIENTO CERRO BOLÍVAR, CIUDAD PIAR, ESTADO BOLÍVAR.** Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad de Los Andes. Núcleo Merida. pp. 1-124.

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

Chauvet, P. (1994) **AIDE-MEMOIRE DE GÉOSTATISTIQUE MINIERE, ÉCOLE DES MINES DE PARIS, FRANCE.** pp 210.

Corporación Venezolana de Guayana Ferrominera Orinoco, C.A. (2004) **ESTUDIO DE LOS YACIMIENTOS.** Informe interno de la Jefatura de Área Geología. Ciudad Piar. Estado Bolívar pp. 21-28.

C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A. (1992) **PRESENTACIÓN TÉCNICA SOBRE LA MINERÍA DE HIERRO EN VENEZUELA.** Gerencia de Minería. Ciudad Piar. Estado Bolívar.

Cuador, Quintero, A, y Estévez, E. (2000). **LA SIMULACIÓN CONDICIONAL EN GEOESTADISTICA**. Revista Minería y Geología, Vol. XVII, No.1, pp. 48.

Cuador, José (2006) **ELEMENTOS DE GEOESTADÍSTICA** 08 de Agosto 2009 [<http://www.monografias.com/trabajos14/geoestadistica/geoestadistica.shtml>].

Dávila, Diago (2006). **ESTUDIO GEOESTADÍSTICO DE LA BASE DE DATOS DE LOS SONDEOS GEOEXPLORATORIOS Y CONOS PARA VOLADURA DE LA MINA SAN ISIDRO**. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Geologica. Universidad de Los Andes. Núcleo Merida. pp. 1-119

El Minero (1982). **MINERAL DE HIERRO EN VENEZUELA**. C.V.G Ferrominera Orinoco C.A, Separata. Pp. 13-20

Figueroa, Carmen (2002). **CÁLCULO DE RESERVAS GEOLÓGICAS DEL YACIMIENTO CERRO REDONDO DEL DISTRITO FERRÍFERO PIAR, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE ESPECIALIZADO MESYSTEM**. Tesis de grado. Escuela de Ciencias de la Tierra. Universidad de Oriente. Núcleo Bolívar. pp 58-60.

Flores, Margeore. (2004). **ESTIMACIÓN DE RESERVAS GEOLOGICAS PARA OPTIMIZAR LA MEZCLA EN LA CONFORMACIÓN DE LA MATERIA PRIMA “FINOS” DE LA PLANTA LOS BARRANCOS (FPLB) CIUDAD PIAR-ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 19-21.

Grijalva, C. y Carrión P. (2009) **MODELIZACIÓN GEOESTADÍSTICA DE UN YACIMIENTO DE ORO DEL DISTRITO MINERO LA JOYA (ORURO-BOLIVIA)**

Jefatura de Área Geología (2007) **GENERALIDADES DEL YACIMIENTO ALTAMIRA**. Estado Bolívar. pp. 2-6.

Masias, C. (2004) **FIABILIDAD: LA DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL** [http://www.jmcprl.net/ntps/@datos/ntp_418.htm consultado (06/05/2010)]

Mendoza, Vicente. (2005). **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA (Y SU RELACION CON EL ESCUDO SURAMERICANO)**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 10-21.

Mintec, Inc. (1997). **MEDSYSTEM MANUAL DE ENTRENAMIENTO GENERAL (PROYECTO METRICO DE MUESTRAS)**. pp. 4-20.

Mintec Inc. (1999). **GEOESTADISTICAL ANALISIS AND ESTIMATION RESOURCE**. Ciudad Piar. Estado Bolivar.

Sidder y Mendoza (1995) en Mendoza (2005). **EVOLUCION GEOTECTONICA DEL ESCUDO DE GUAYANA (Y SU RELACION CON EL ESCUDO SURAMERICANO)**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela.

Spiegel, Murray (2009). **ESTADÍSTICA**. Mc Graw Hill, Mexico. pp 1.

Vera, Maryoris. (2008). **DETERMINACION DE LOS RADIOS DE INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS LITOLOGICOS PROVENIENTES DE LOS SONDEOS GEOEXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO LOS BARRANCOS**. Tesis de grado. Escuela de Ciencias de la Tierra. Universidad de Oriente. Núcleo Bolívar. pp. 1-142.

Villanueva, Alex. (2002). **INTRODUCCION A LA GEOESTADISTICA MINERA**. Curso. Universidad Central de Venezuela.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Histogramas de los grupos litológicos obtenidos del análisis poblacional

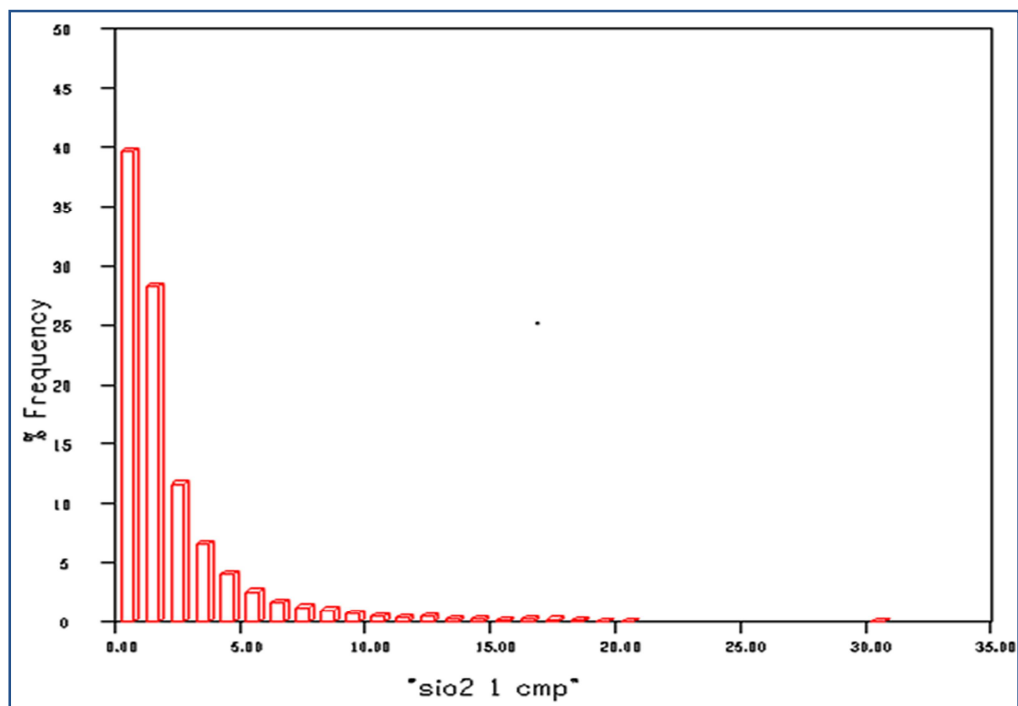


Figura A.1 Histograma del parámetro Sílice del grupo 1.

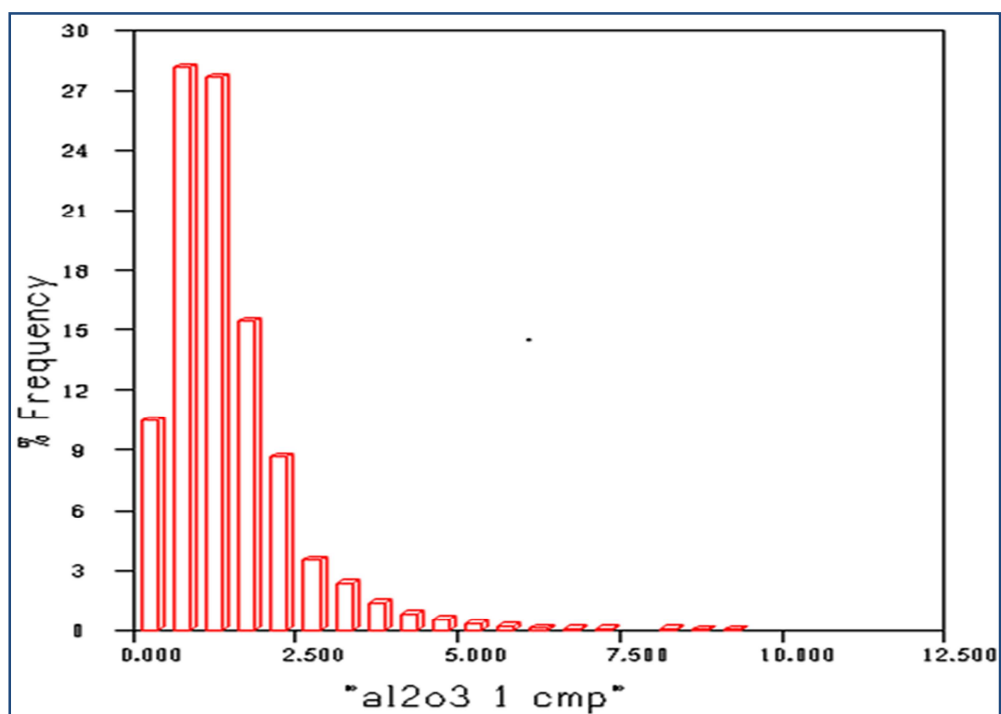


Figura A.2 Histograma del parámetro Alúmina del grupo 1.

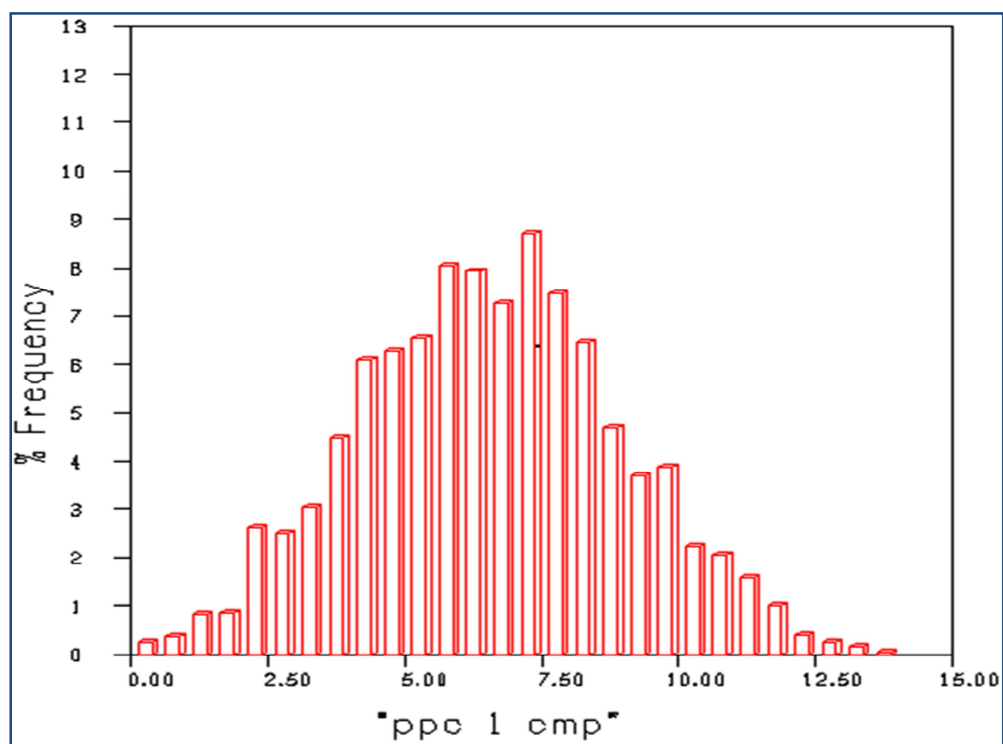


Figura A.3 Histograma del parámetro Pérdida por calcinación del grupo 1.

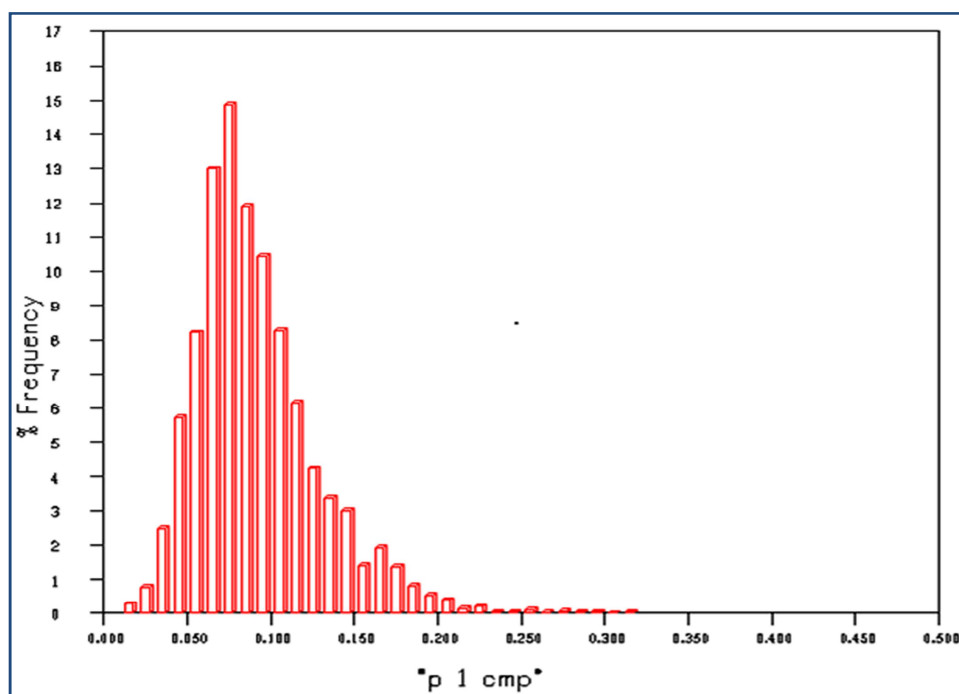


Figura A.4 Histograma del parámetro Fósforo del grupo 1.

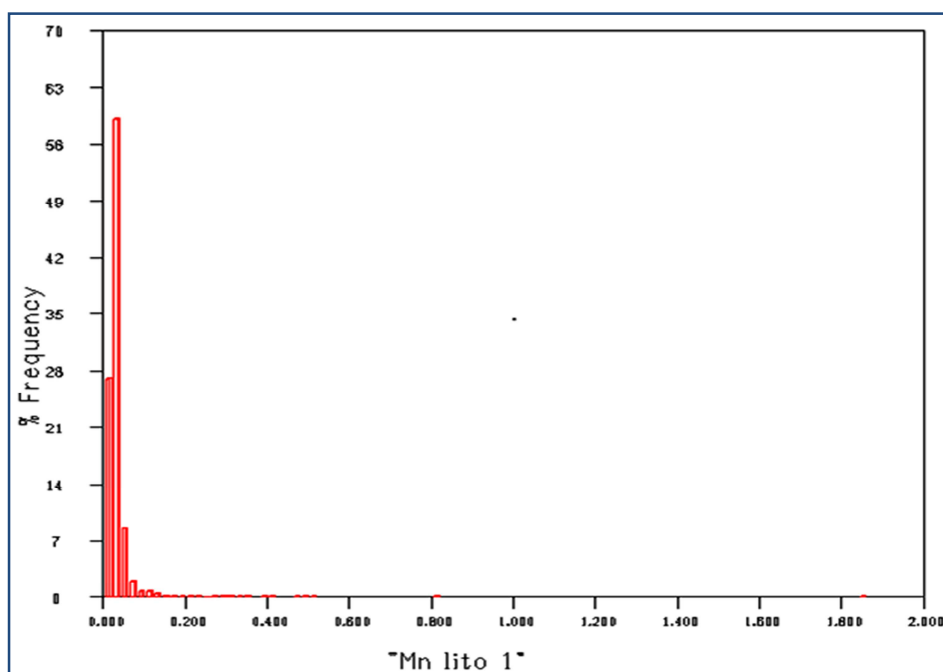


Figura A.5 Histograma del parámetro Manganeso del grupo 1.

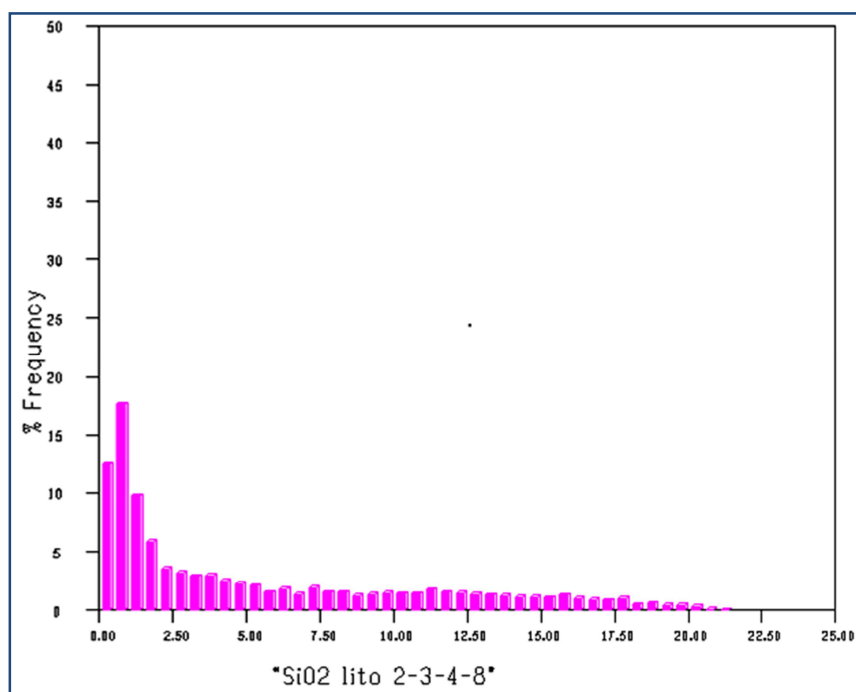


Figura A.6 Histograma del parámetro Sílice del grupo 2.

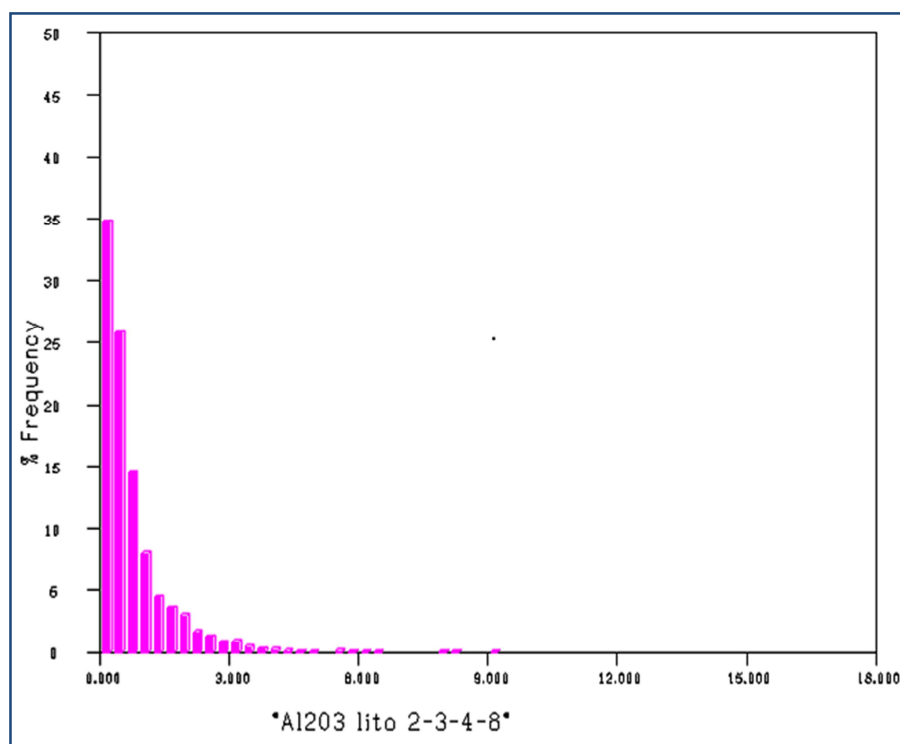


Figura A.7 Histograma del parámetro Alúmina del grupo 2.

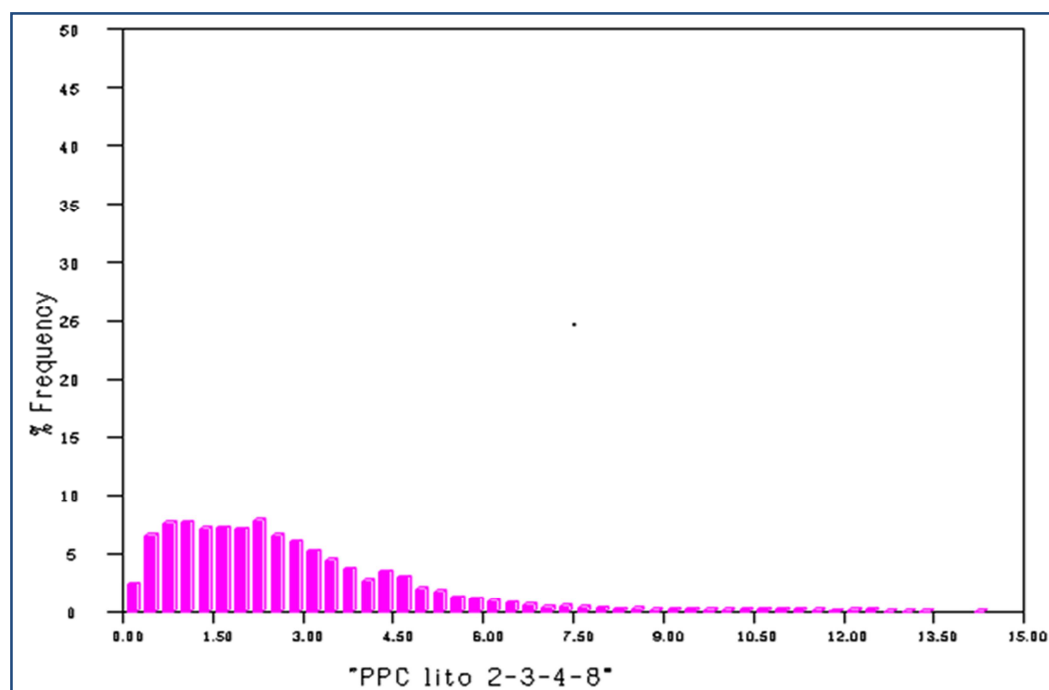


Figura A.8 Histograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 2.

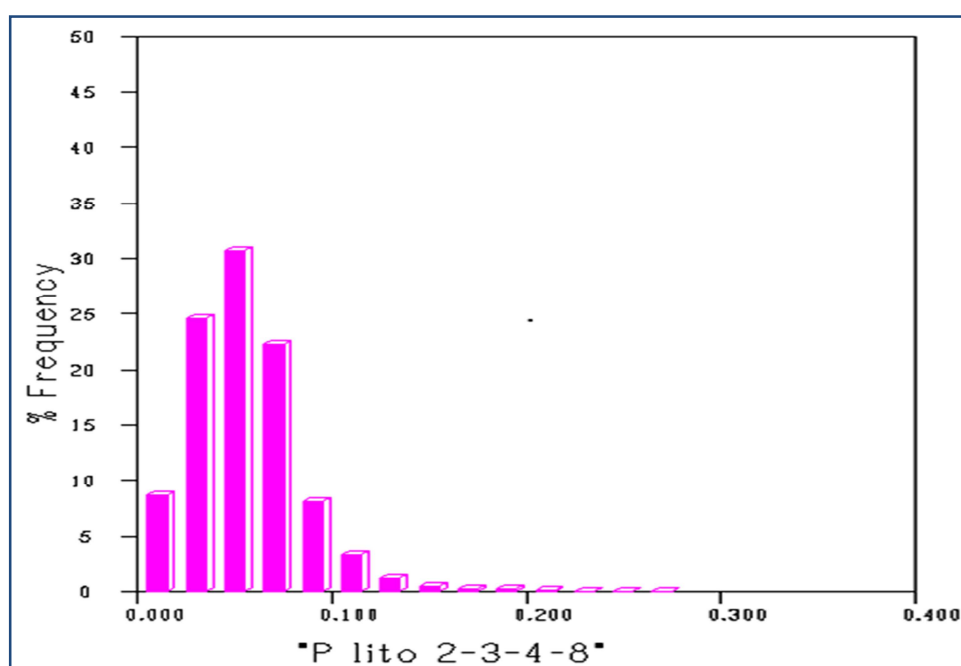


Figura A.9 Histograma del parámetro Fósforo del grupo 2.

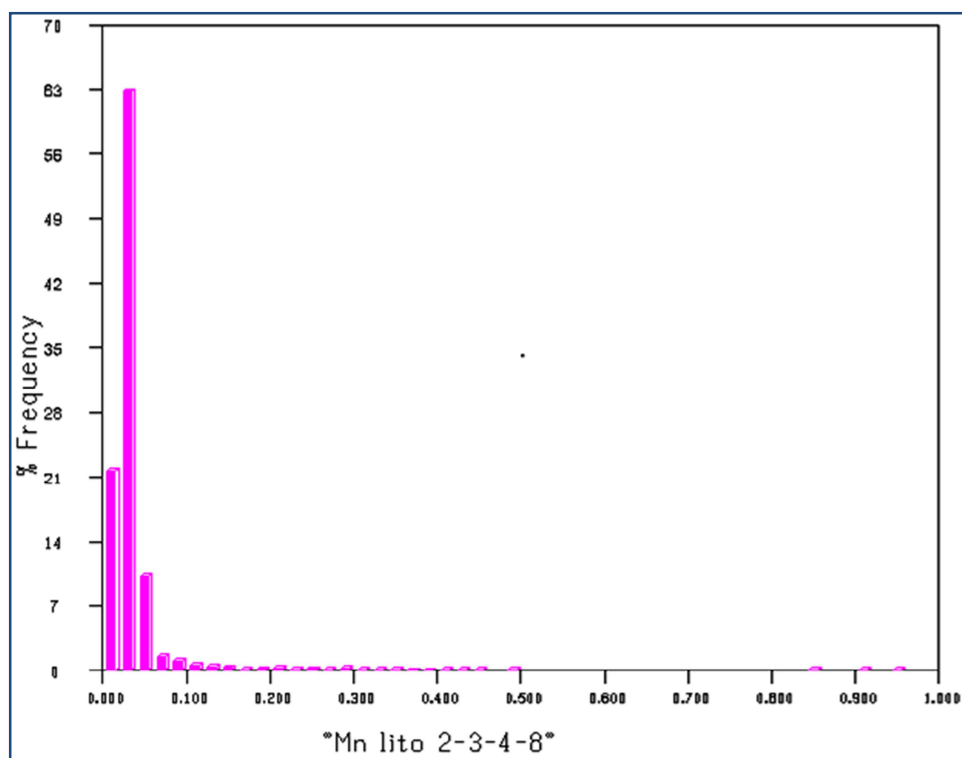


Figura A.10 Histograma del parámetro Manganeso del grupo 2.

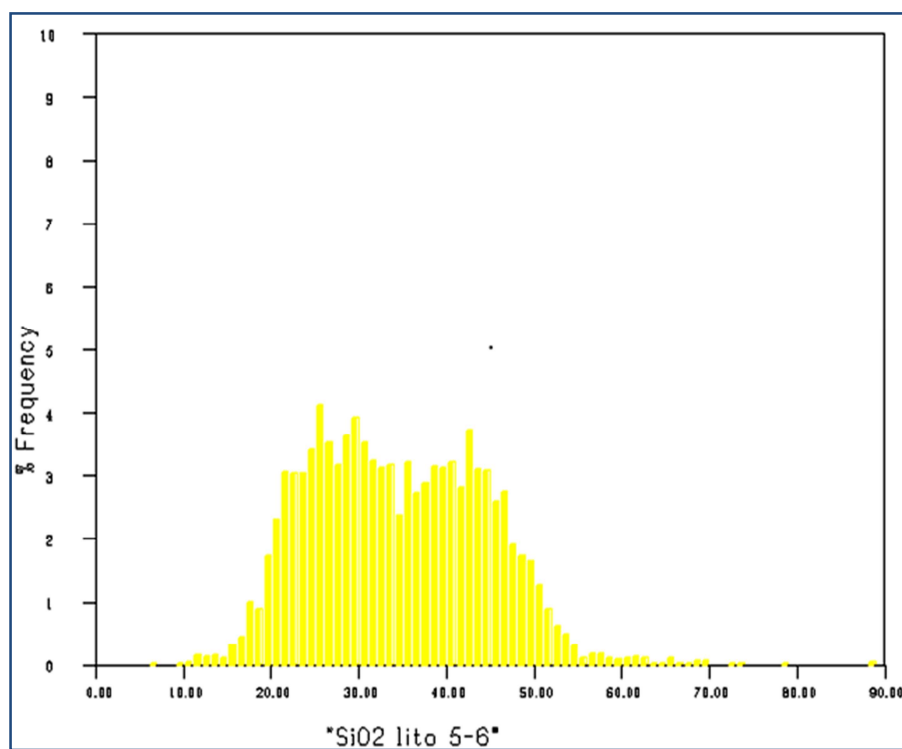


Figura A.11 Histograma del parámetro Sílice del grupo 3.

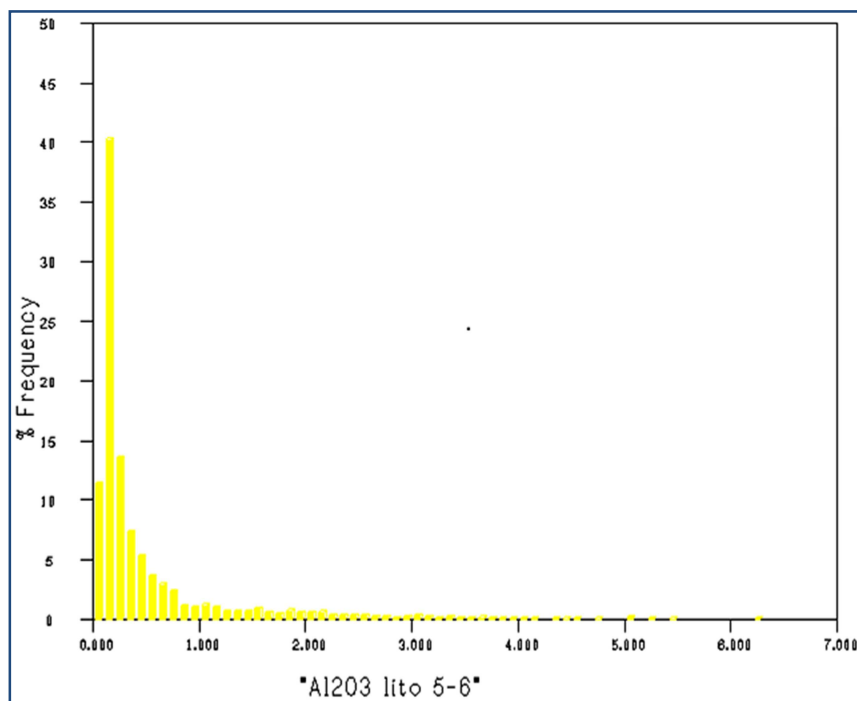


Figura A.12 Histograma del parámetro Alúmina del grupo 3.

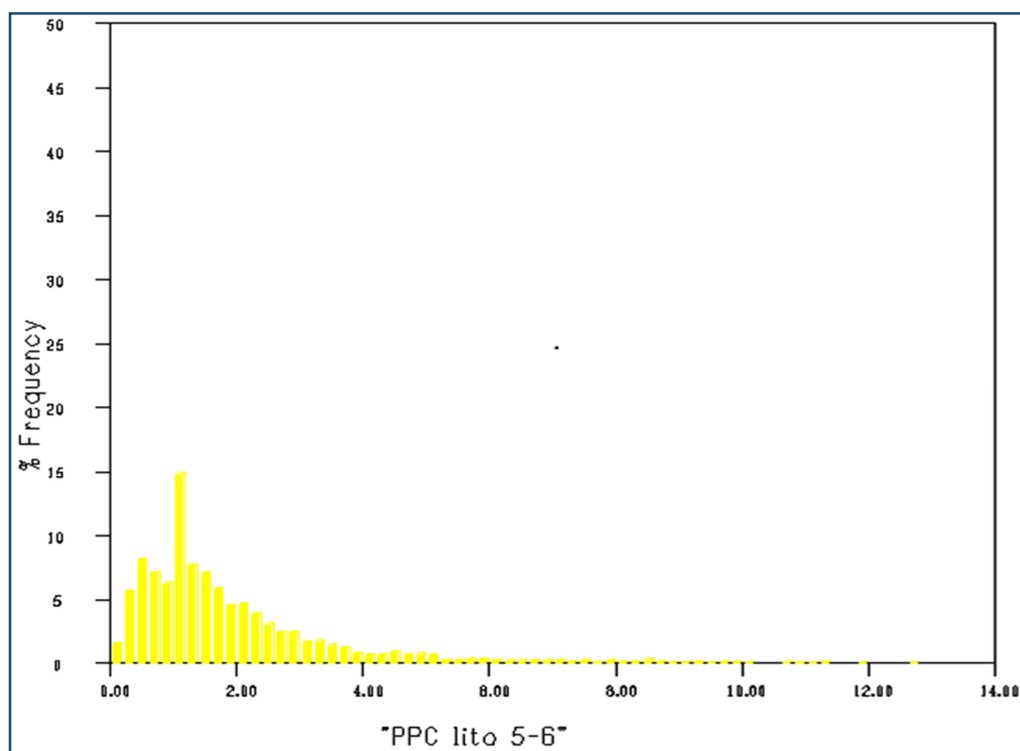


Figura A.13 Histograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 3.

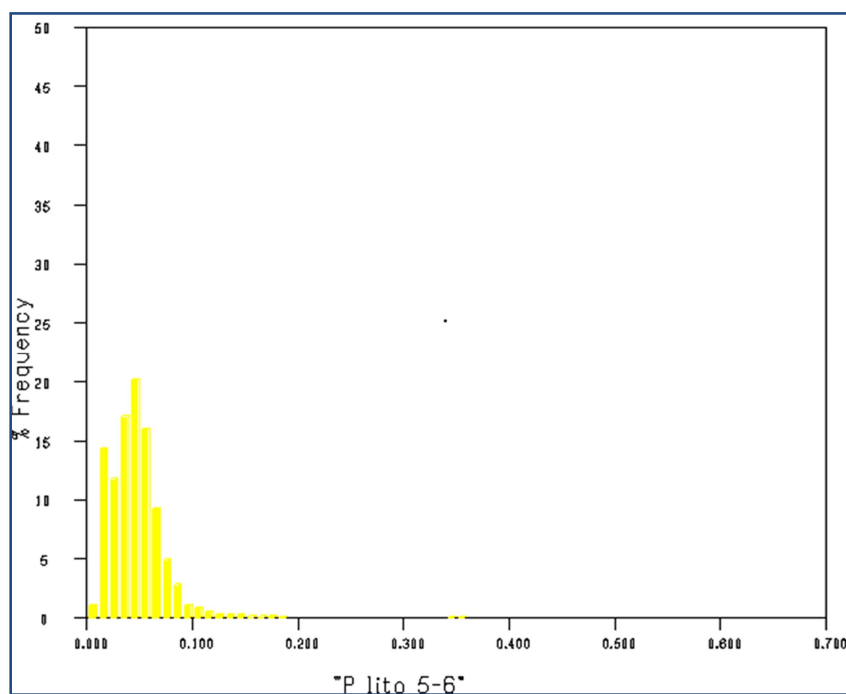


Figura A.14 Histograma del parámetro Fósforo del grupo 3.

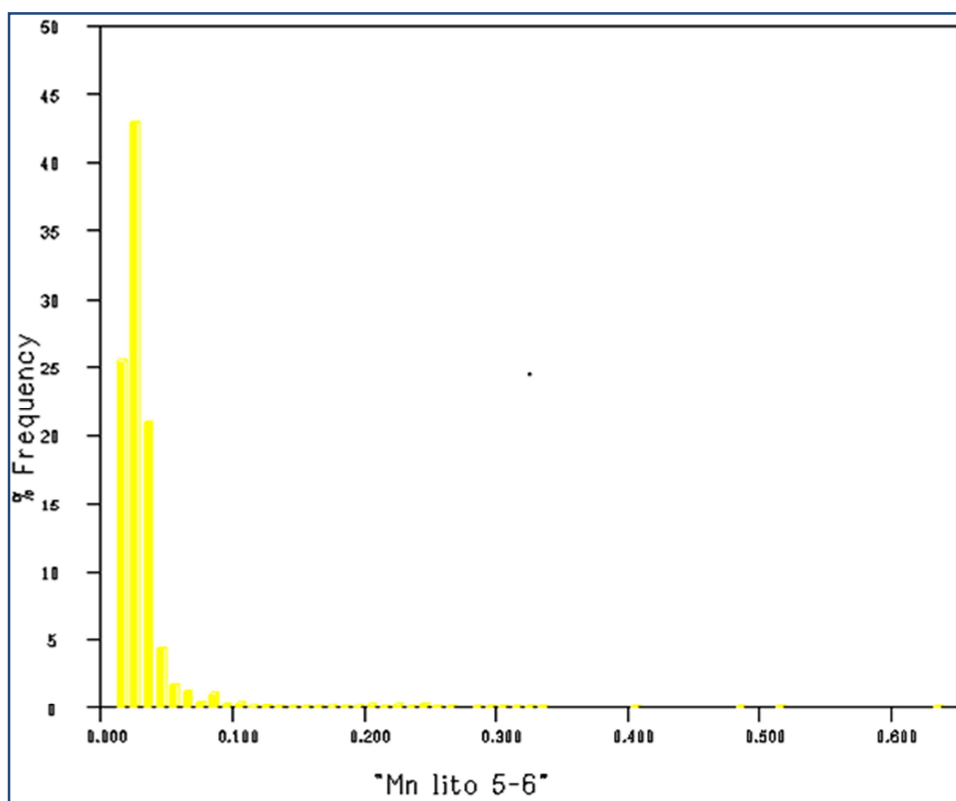
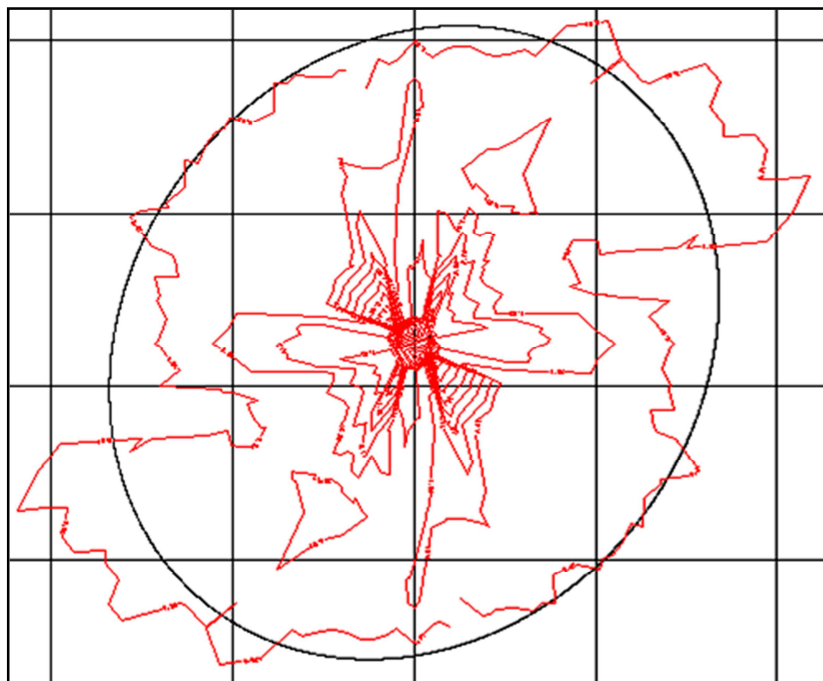


Figura A.15 Histograma del parámetro Manganeseo del grupo 3.

APÉNDICE B

Correlogramas de los grupos litológicos obtenidos del análisis poblacional



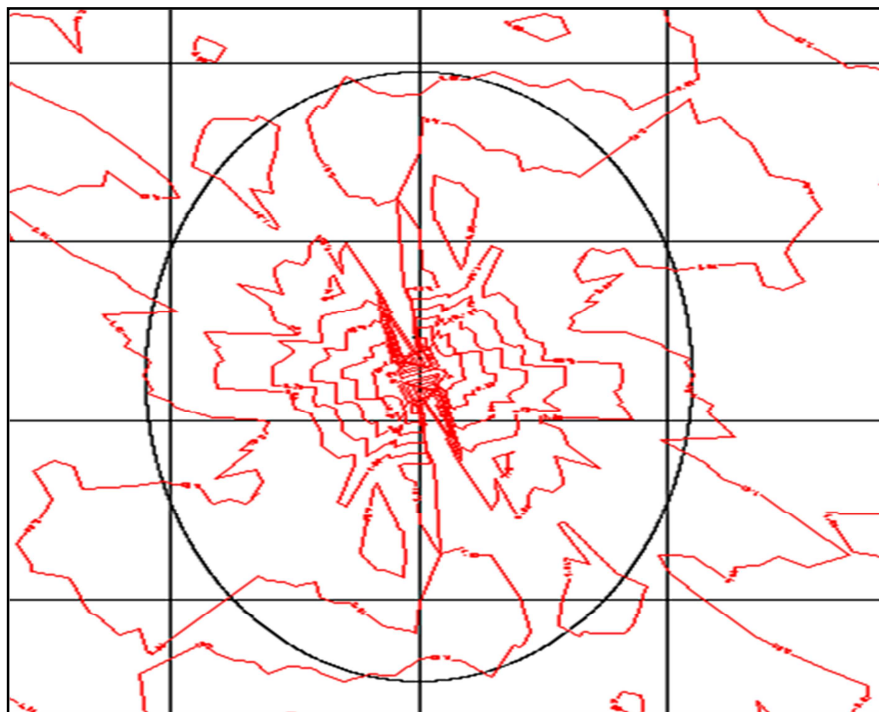


Figura B.2 Correlograma del parámetro Alúmina del grupo 1.

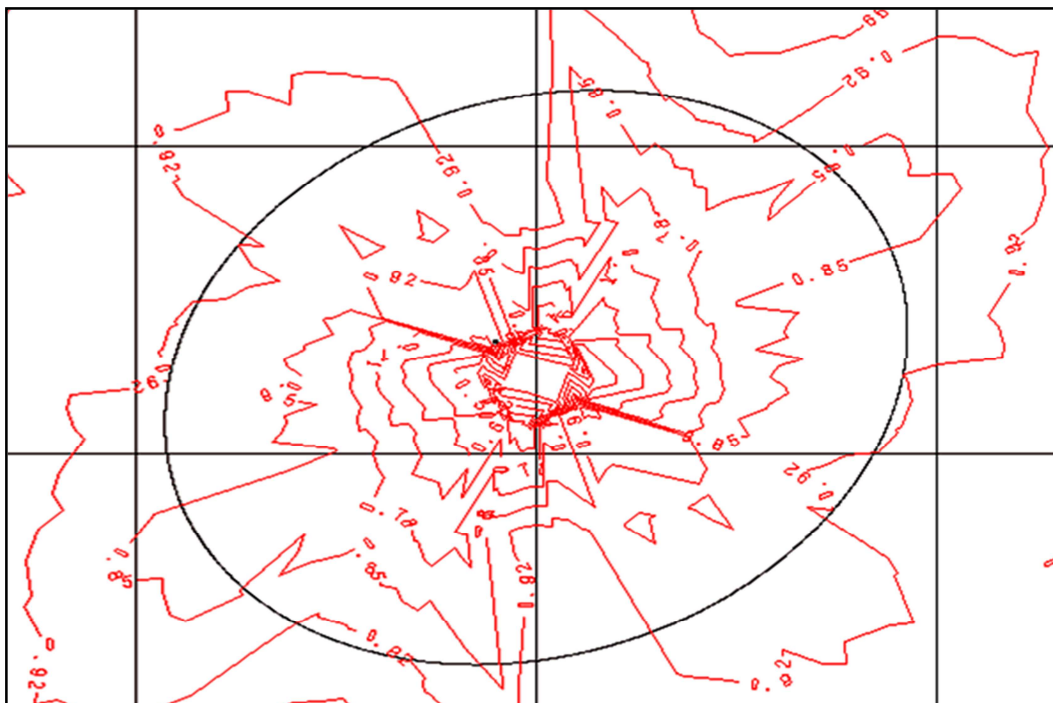


Figura B.3 Correlograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 1.

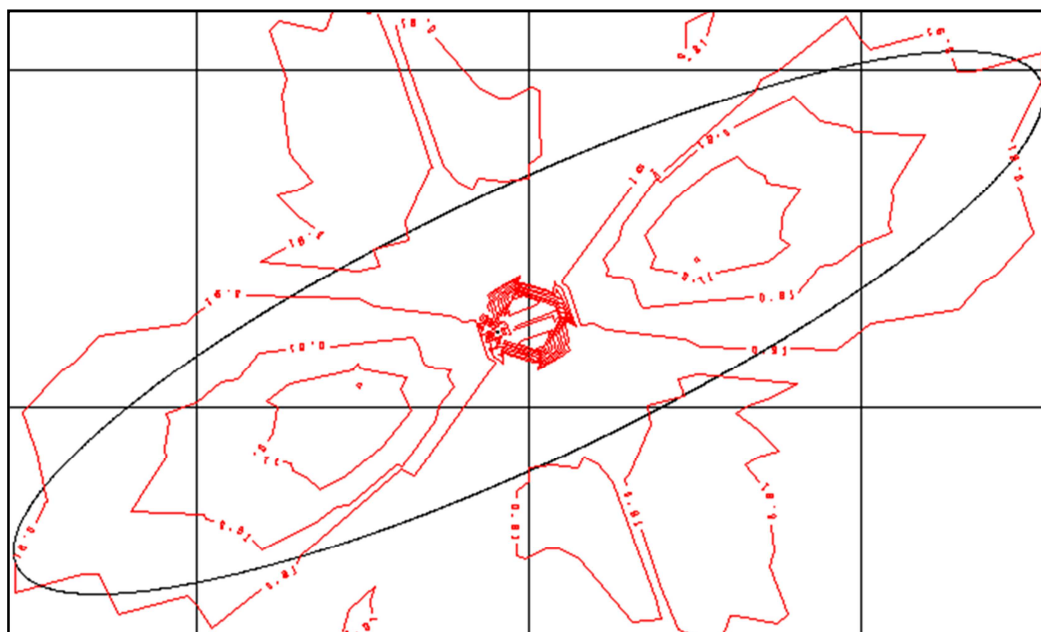


Figura B.4 Correlograma del parámetro Fósforo del grupo 1.



Figura B.5 Correlograma del parámetro Manganeso del grupo 1.

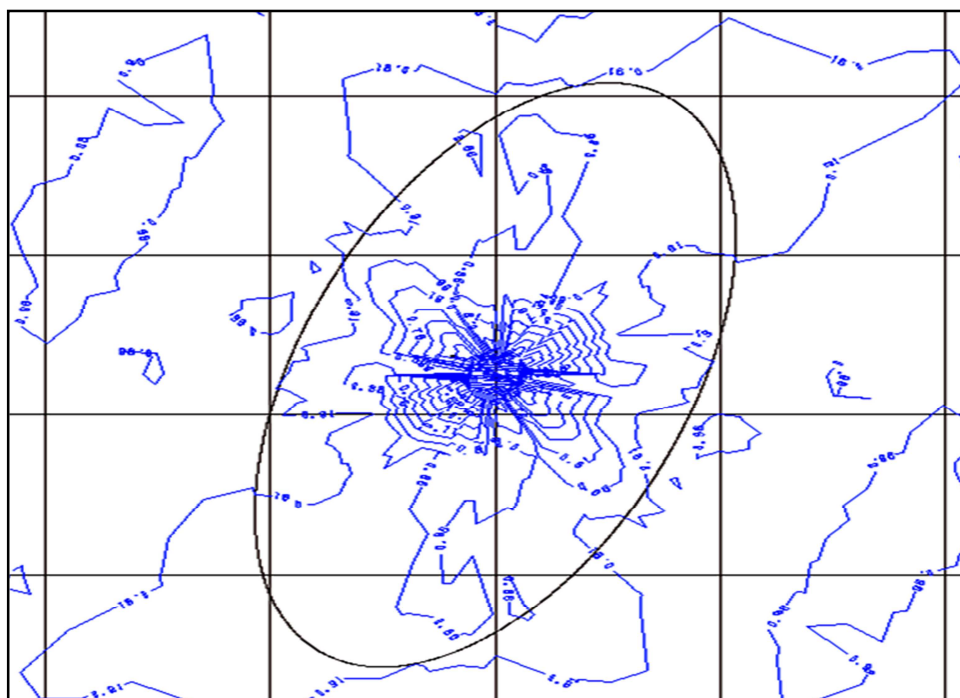


Figura B.6 Correlograma del parámetro Sílice del grupo 2.

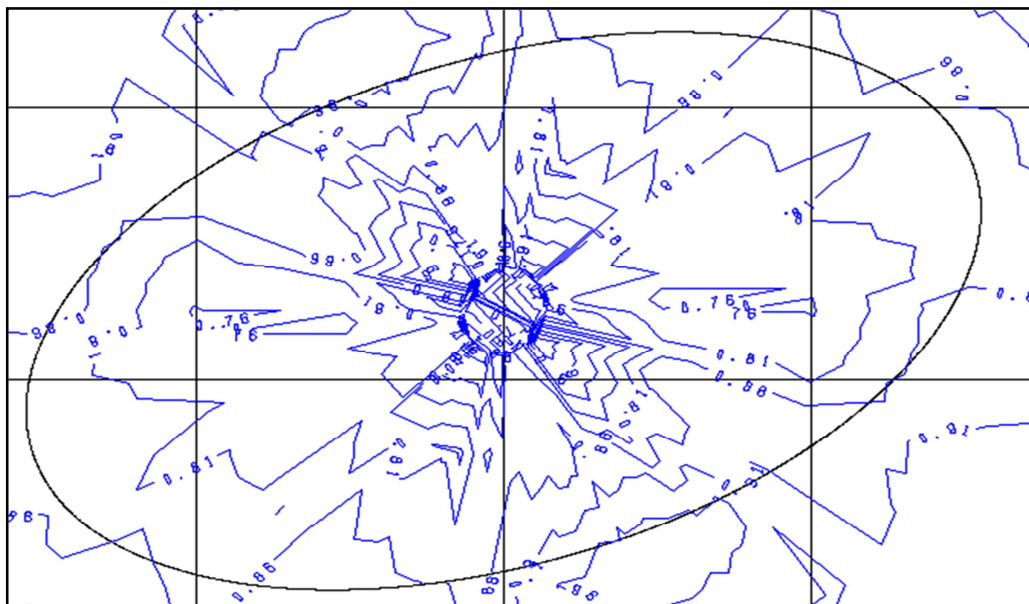


Figura B.7 Correlograma del parámetro Alúmina del grupo 2.

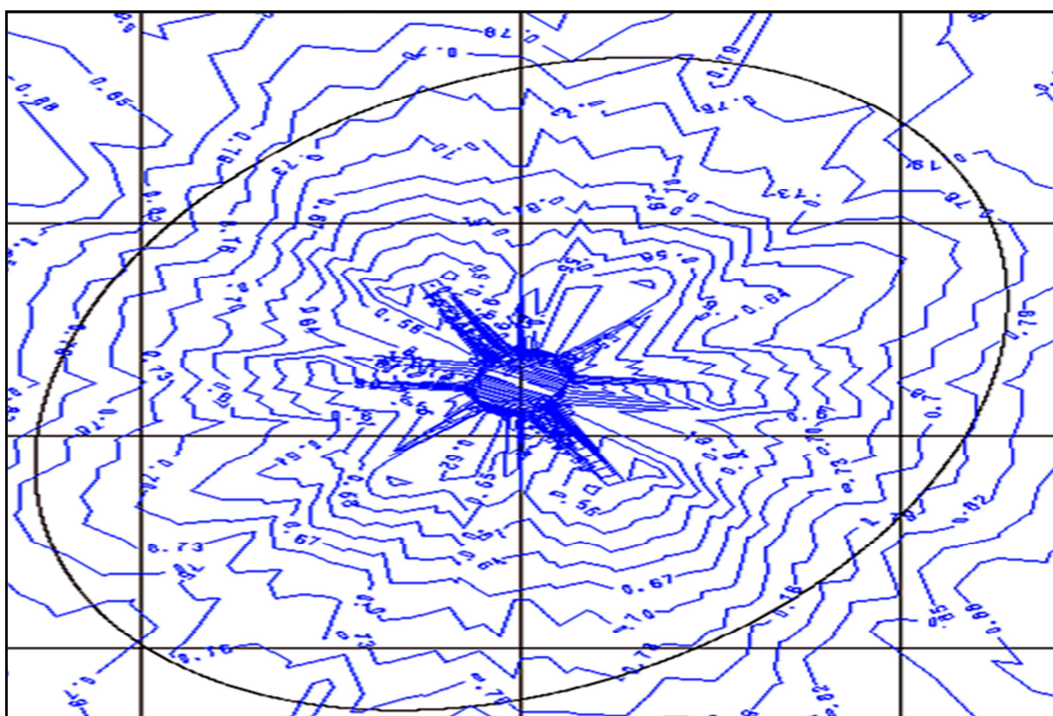


Figura B.8 Correlograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 2.

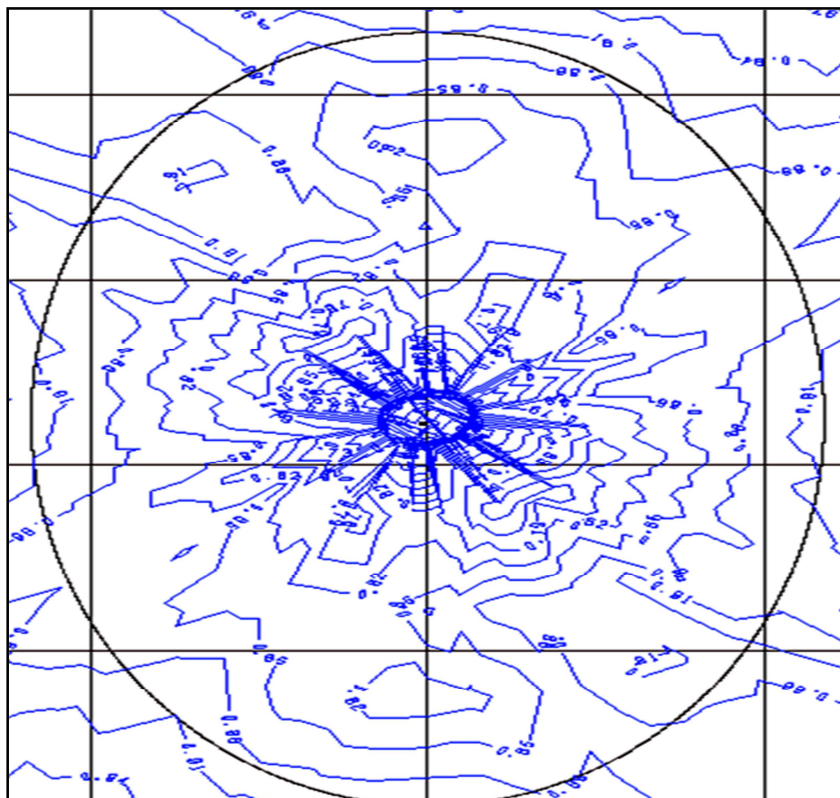


Figura B.9 Correlograma del parámetro Fósforo del grupo 2.

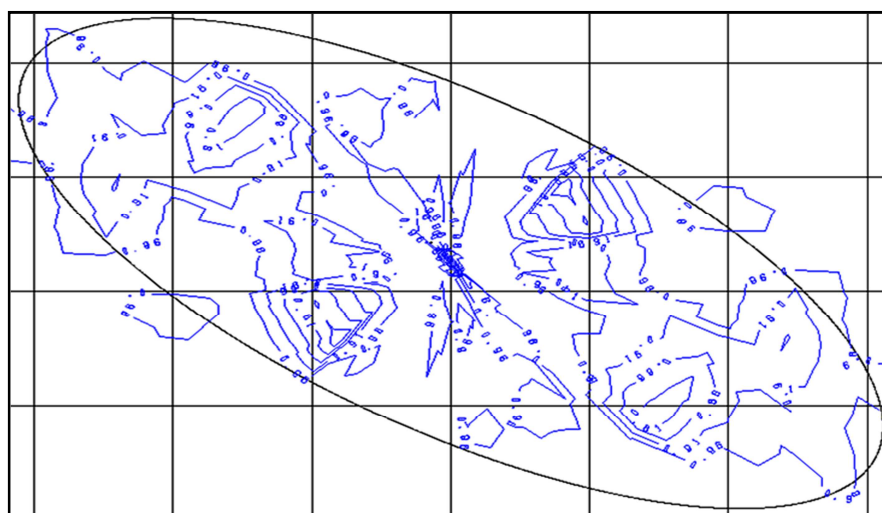


Figura B.10 Correlograma del parámetro Manganeso del grupo 2.

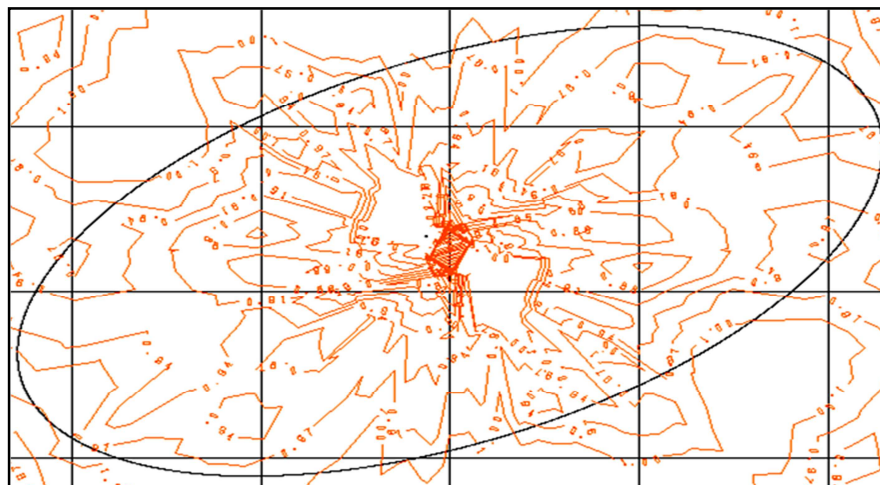


Figura B.11 Correlograma del parámetro Sílice del grupo 3

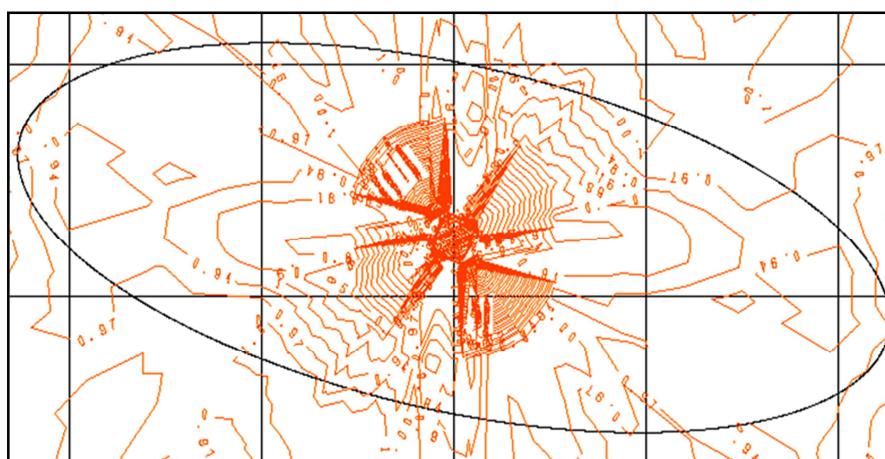


Figura B.12 Correlograma del parámetro Alúmina del grupo 3.

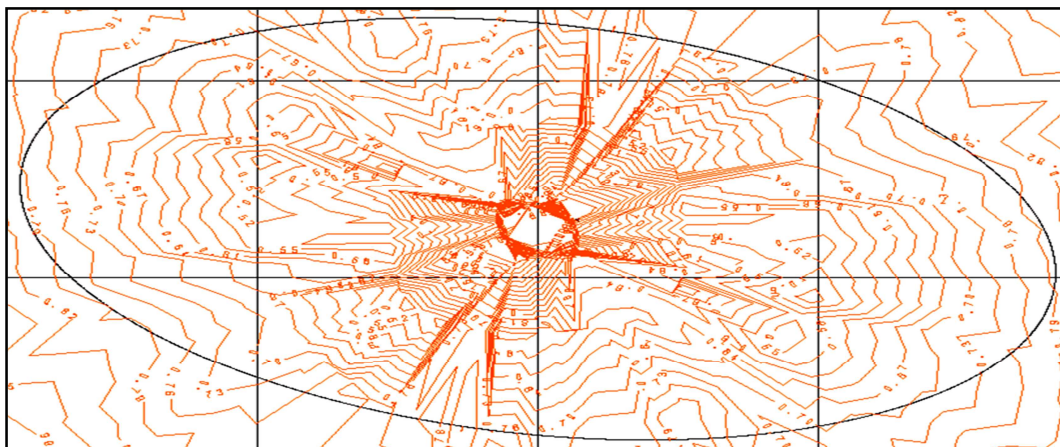


Figura B.13 Correlograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 3.

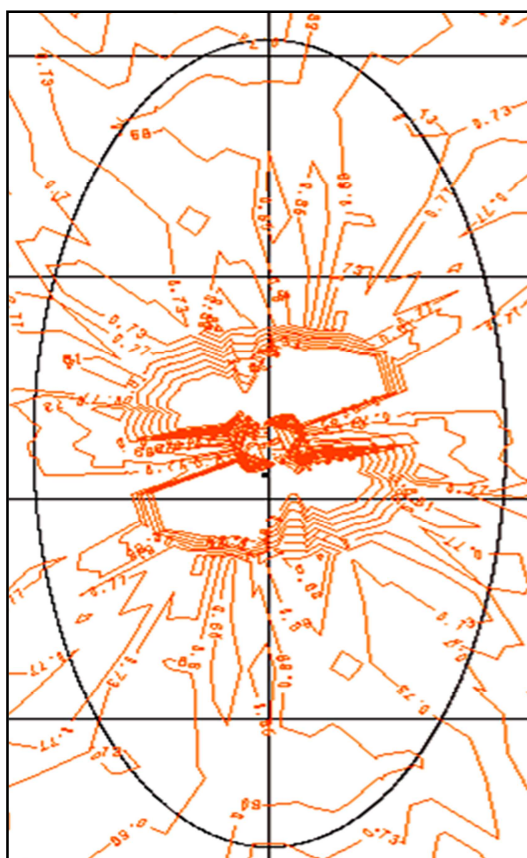
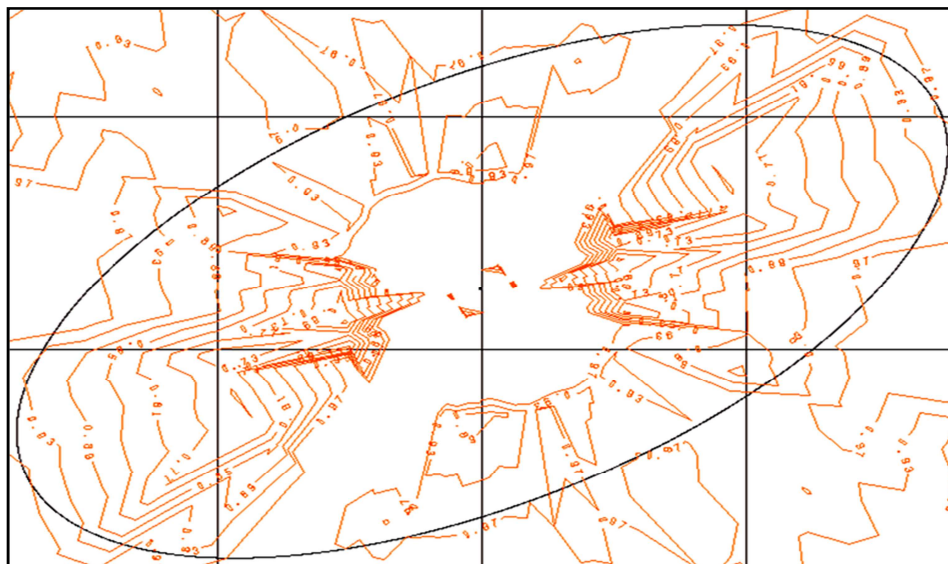


Figura B.14 Correlograma del parámetro Fósforo del grupo 3



APÉNDICE C

Variogramas de los grupos litológicos obtenidos del análisis poblacional

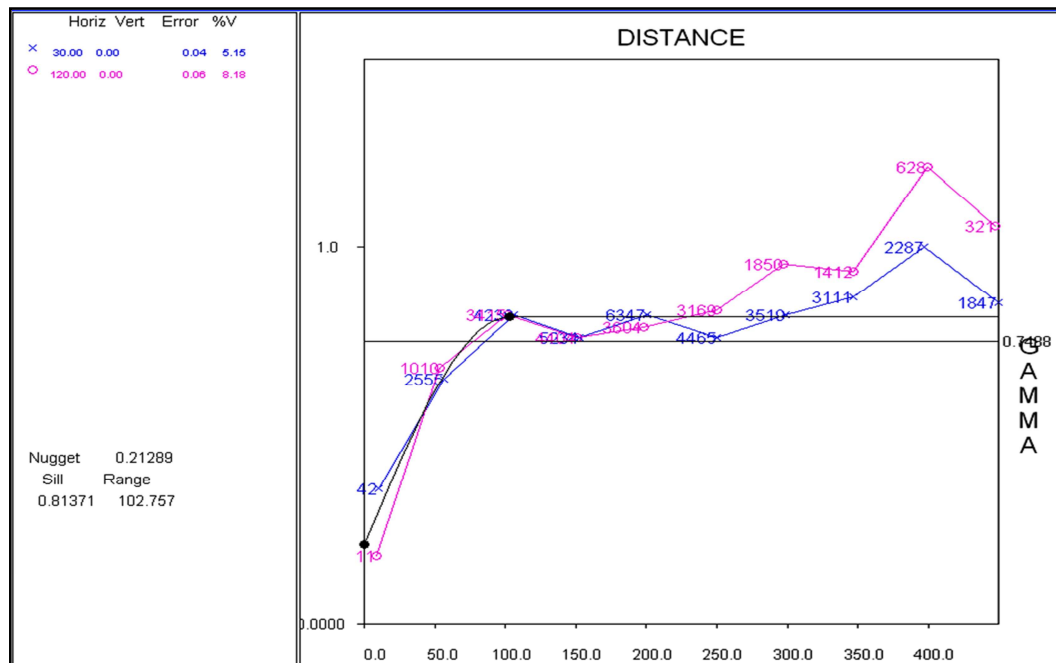


Figura C.1 Variograma del parámetro Sílice del grupo 1

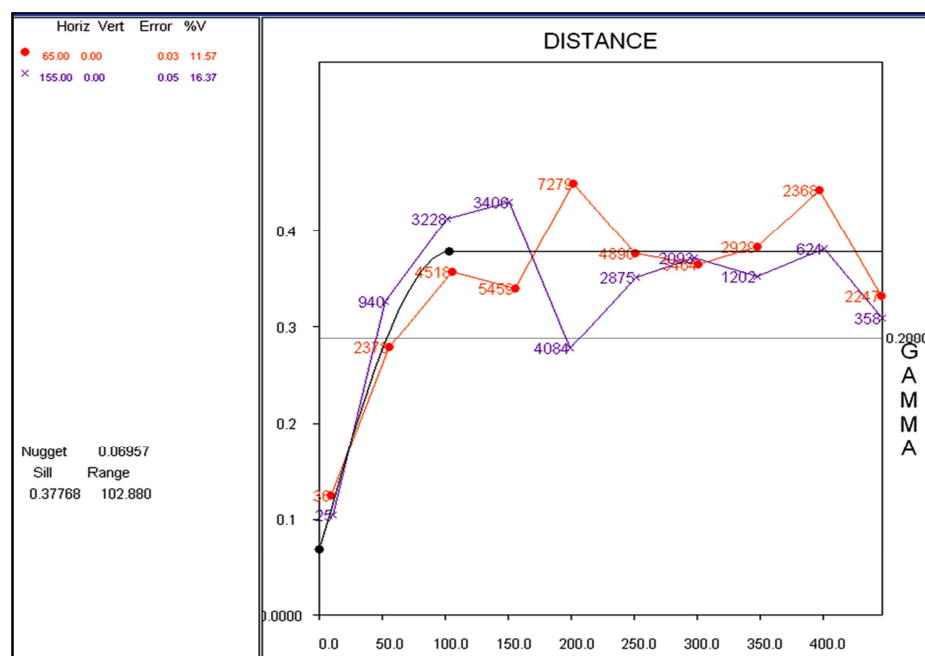


Figura C.2 Variograma del parámetro Alúmina del grupo 1.

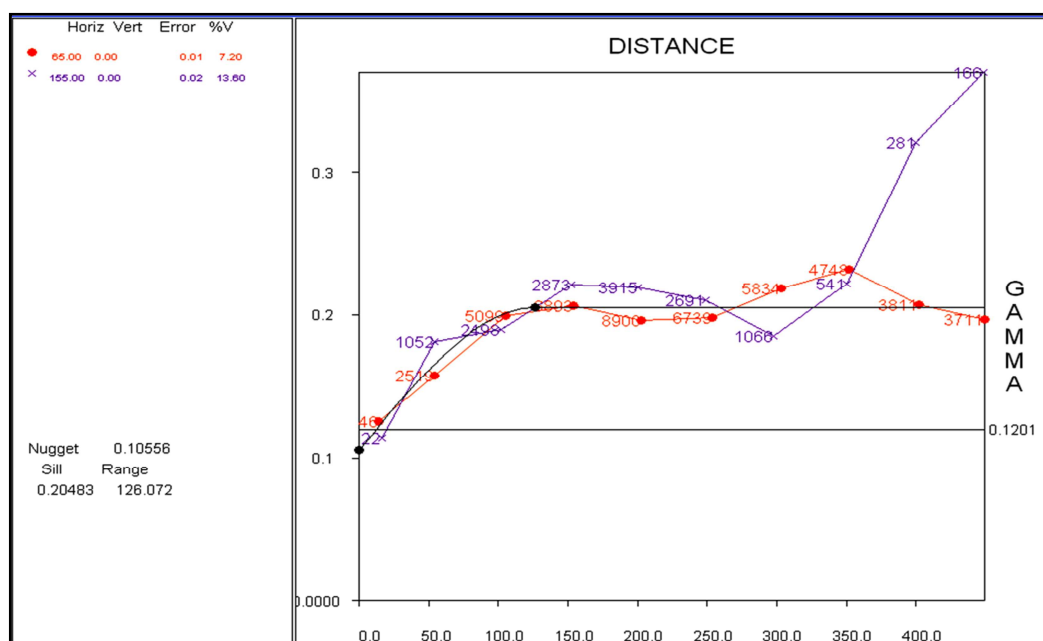


Figura C.3 Variograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 1.

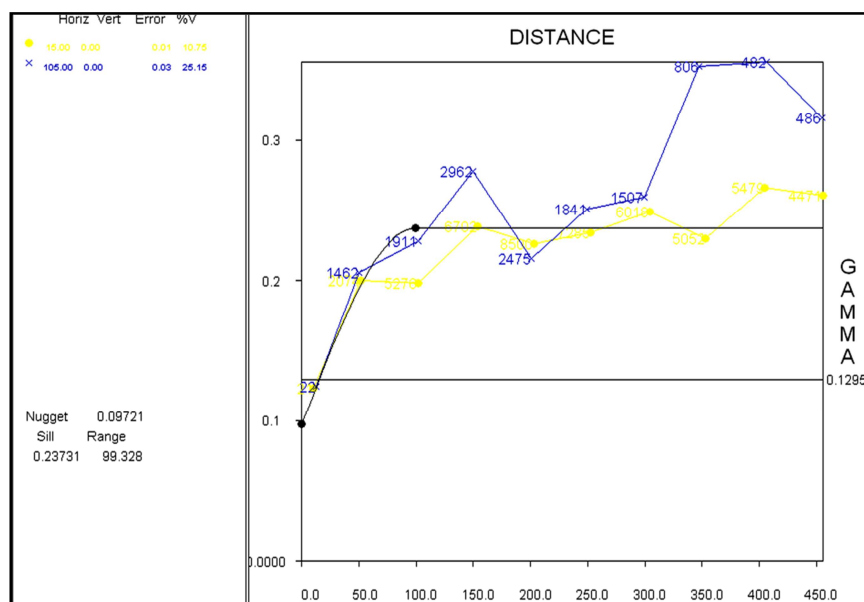


Figura C.4 Variograma del parámetro Fósforo del grupo 1.

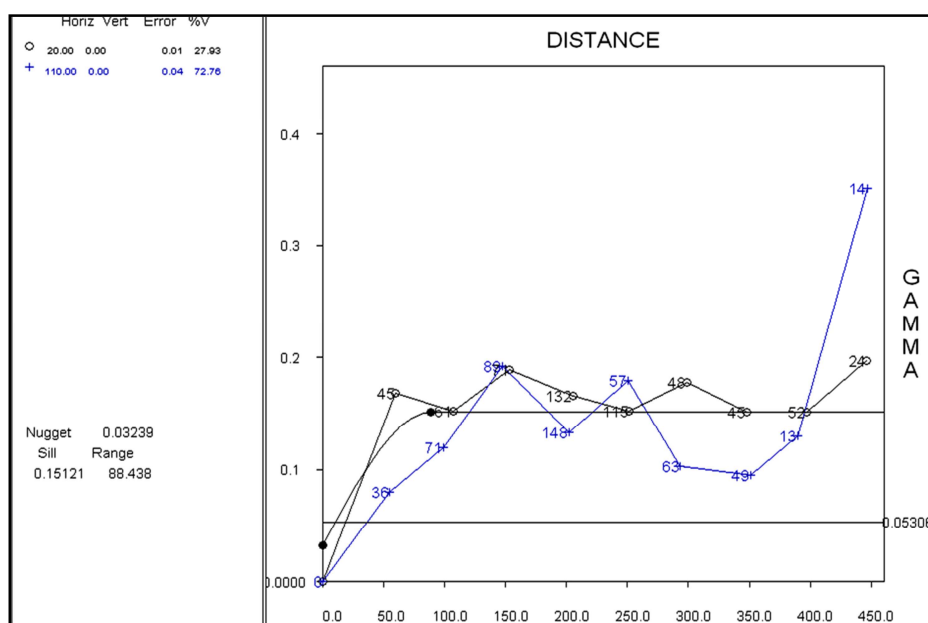


Figura C.5 Variograma del parámetro Manganeso del grupo 1.

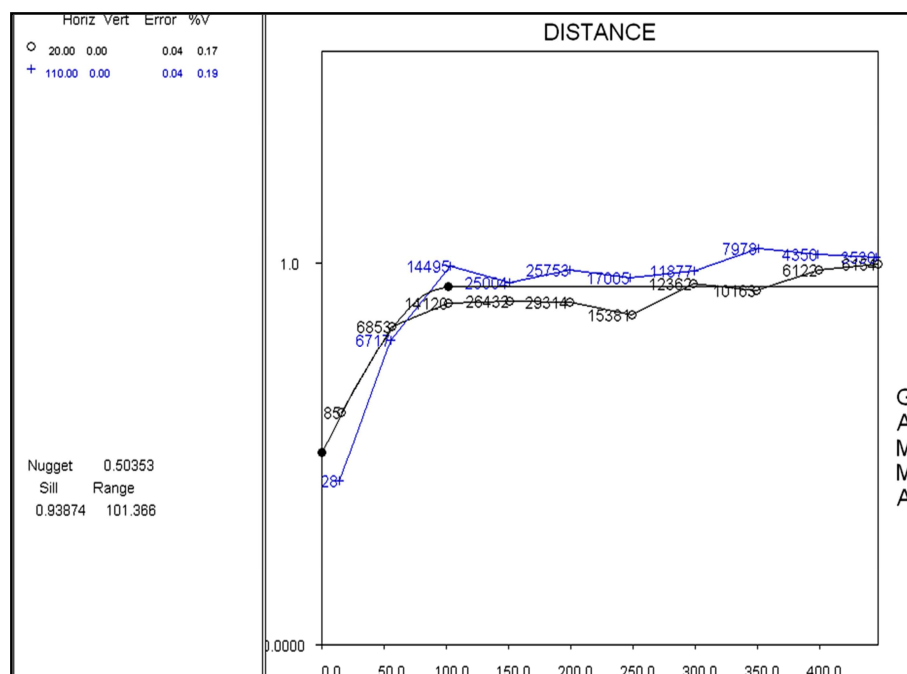


Figura C.6 Variograma del parámetro Sílice del grupo 2.

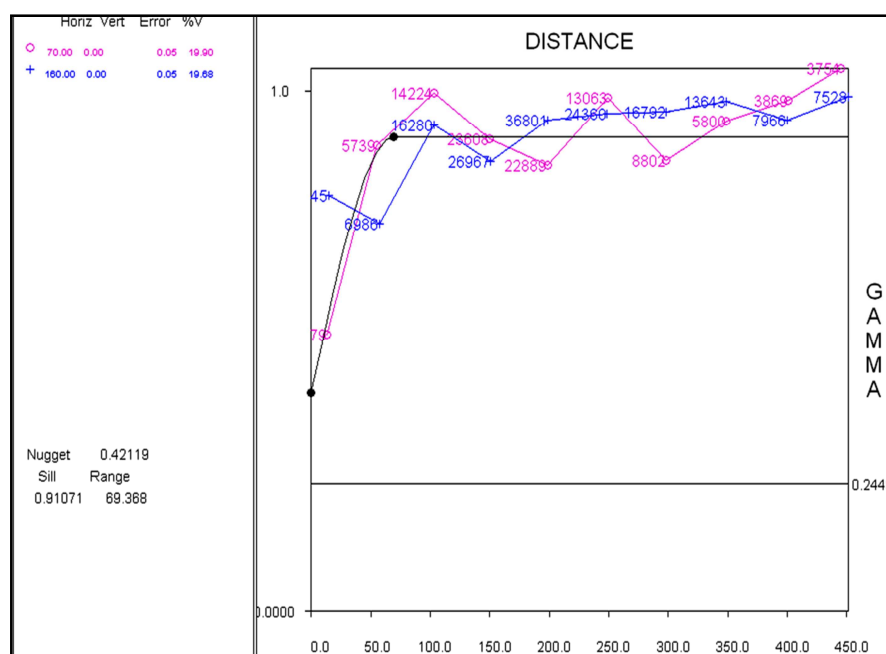


Figura C.7 Variograma del parámetro Alúmina del grupo 2.

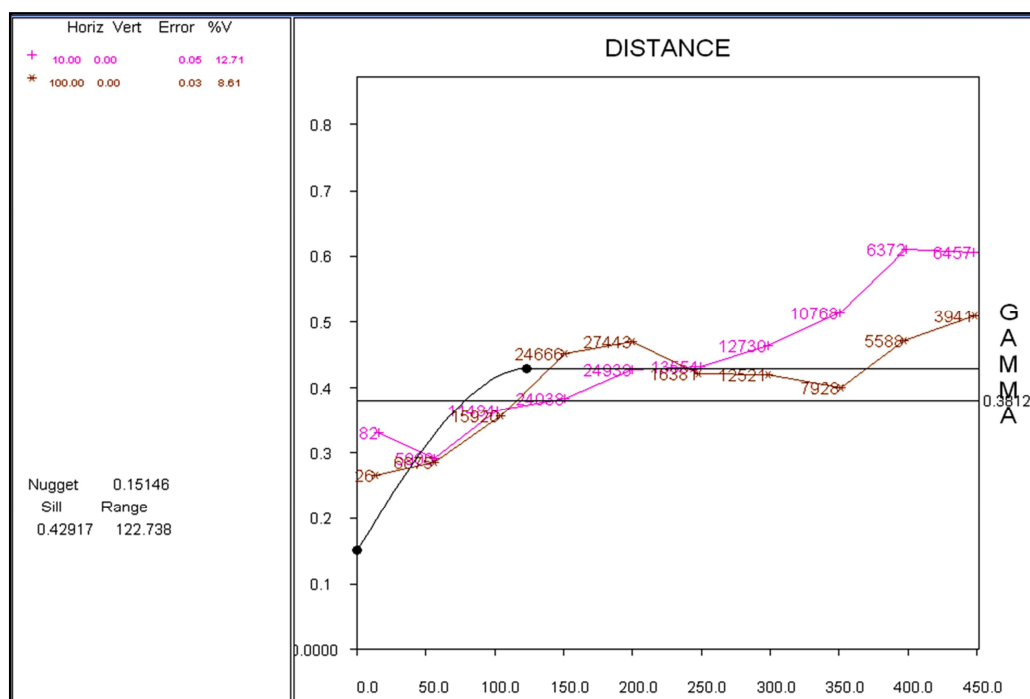


Figura C.8 Variograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 2.

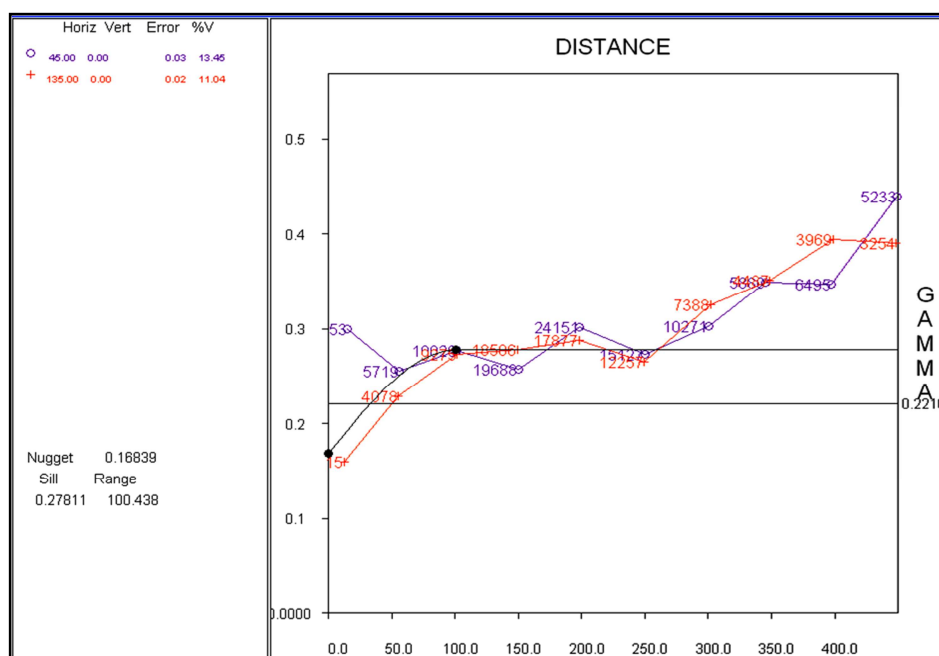


Figura C.9 Variograma del parámetro Fósforo del grupo 2.

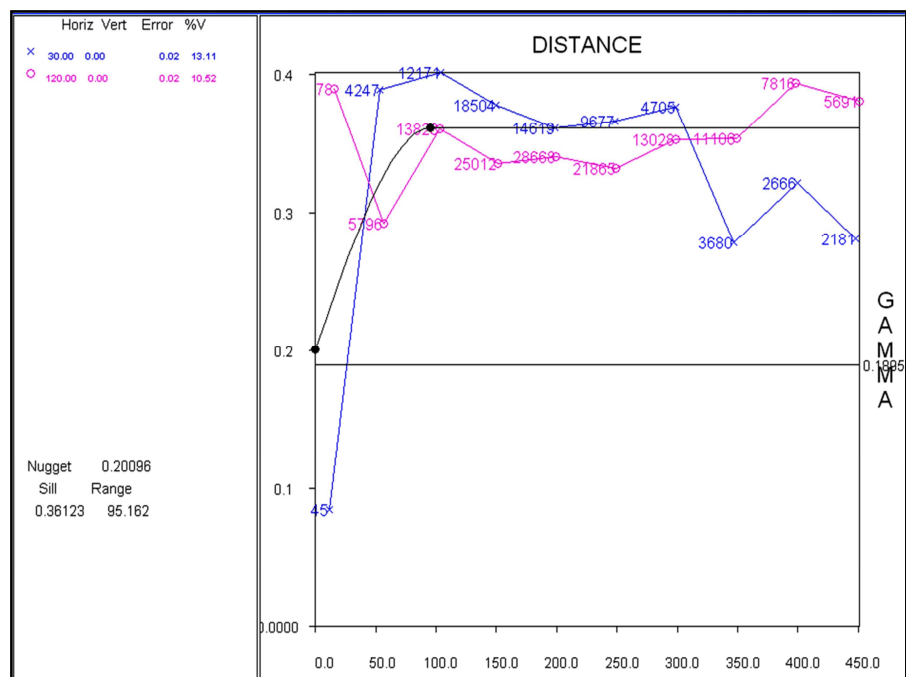


Figura C.10 Variograma del parámetro Manganeso del grupo 2.

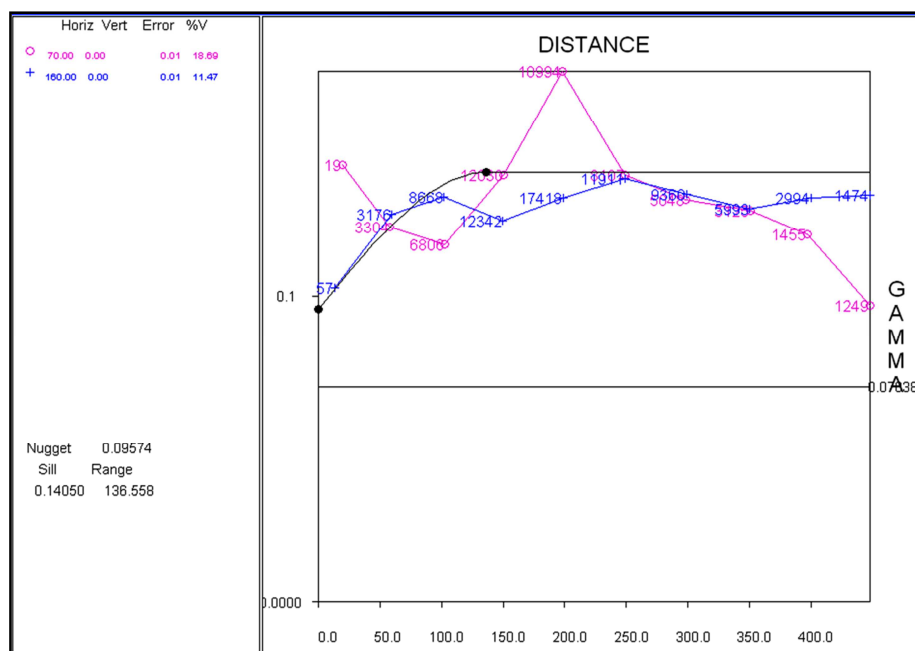


Figura C.11 Variograma del parámetro Sílice del grupo 3.

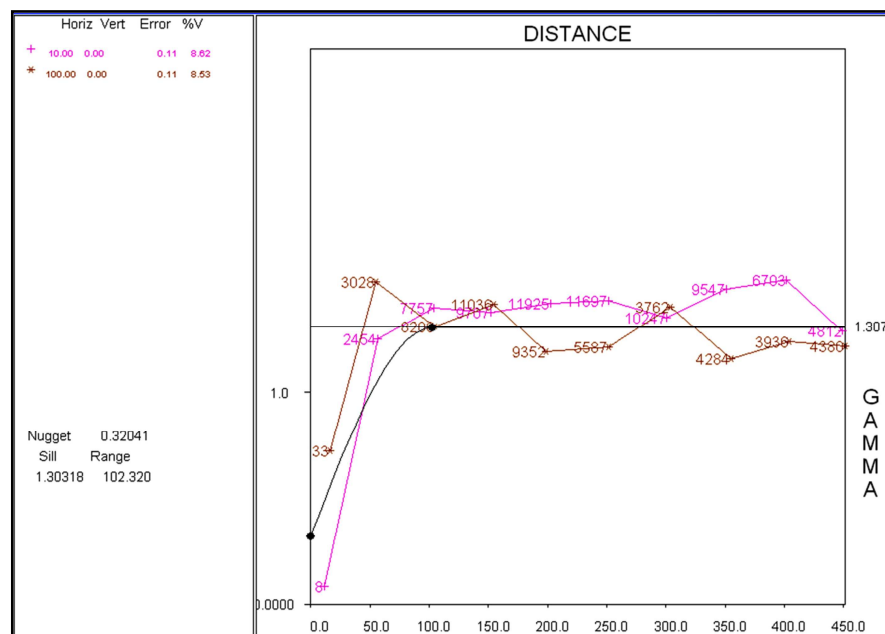


Figura C.12 Variograma del parámetro Alúmina del grupo 3.

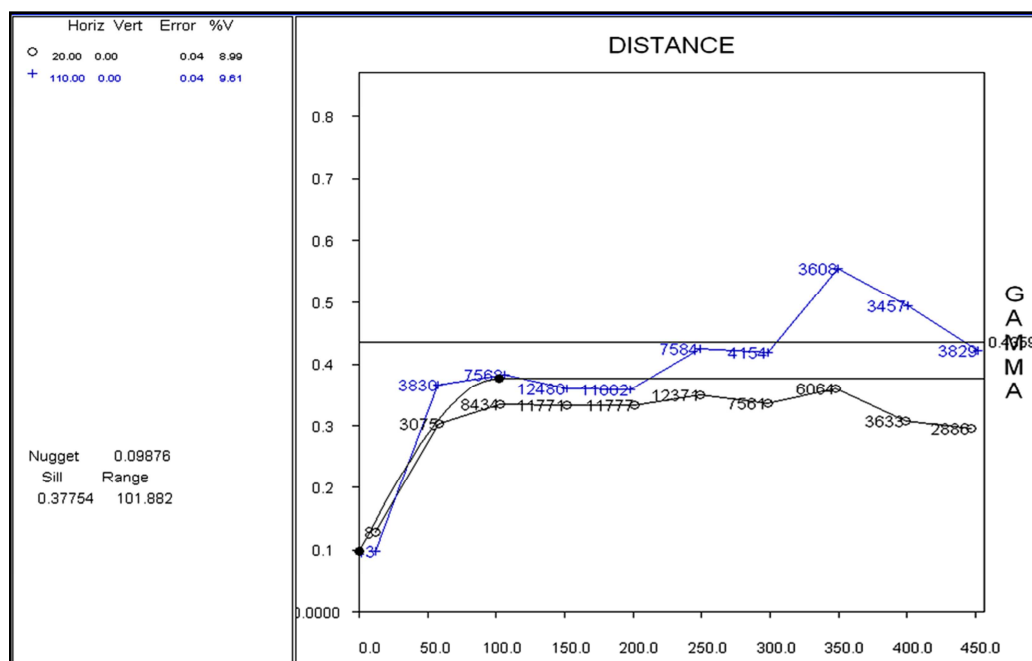


Figura C.13 Variograma del parámetro Pérdida por Calcinación del grupo 3.

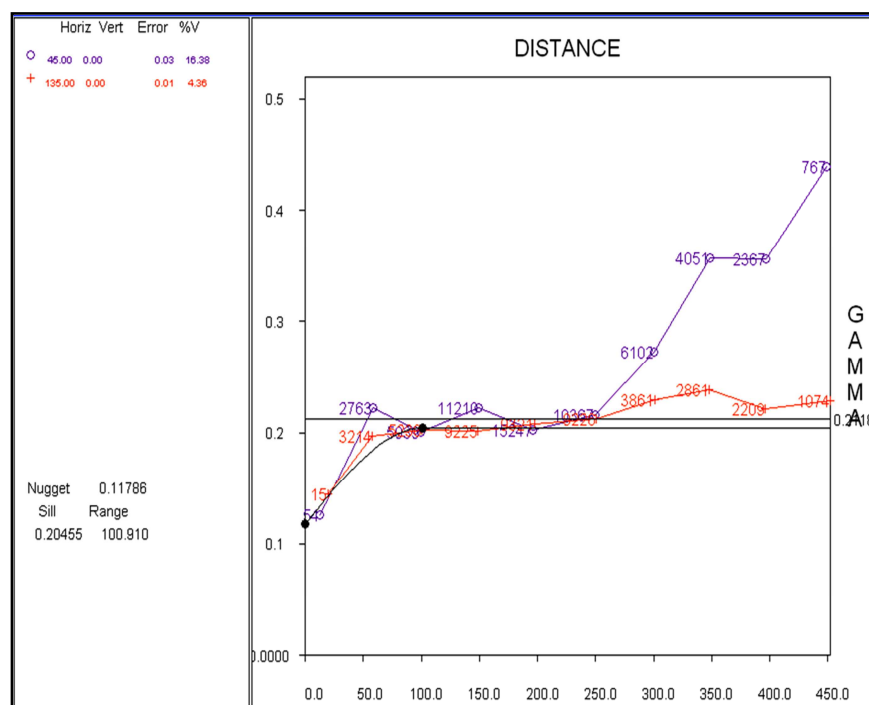


Figura C.14 Variograma del parámetro Fósforo del grupo 3.

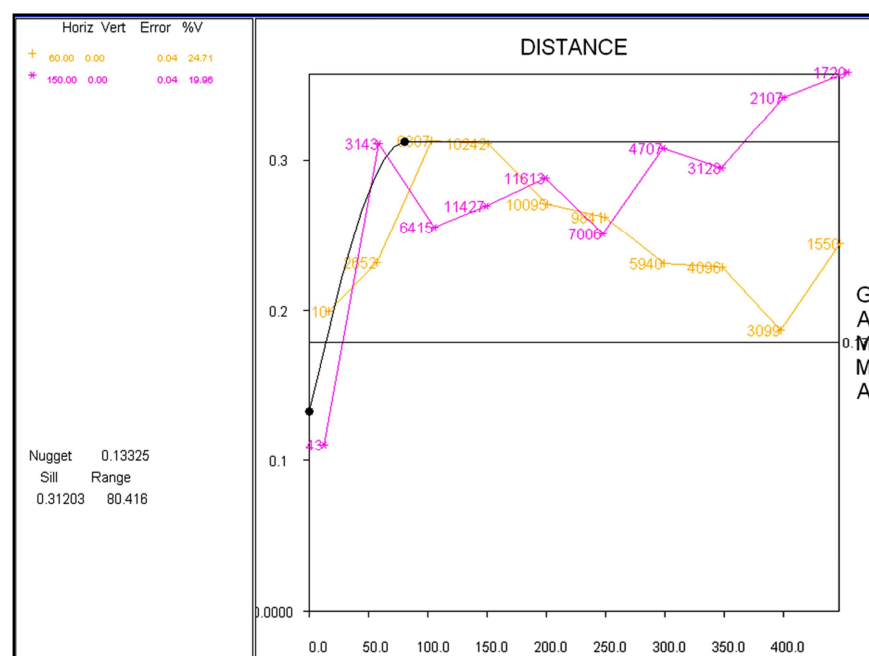


Figura C.15 Variograma del parámetro Manganese del grupo 3.

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

Título	Análisis del comportamiento espacial de los parámetros químicos SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , PPC, P y Mn en las menas del cerro Altamira. Ciudad Piar, Estado Bolívar.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Alejos G., Ramses A.	CVLAC	V-18252952
	e-mail	Ramsesalejos@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

geoestadística
Influencia espacial
Sondeo geoexploratorio
Radio de influencia
Variograma

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Escuela de Ciencias de la Tierra	Departamento de Geología

Resumen (abstract):

En el estudio realizado se analiza la influencia espacial de las variables químicas Sílice, Alúmina, Pérdida por Calcinación, Fósforo y Manganeseo en las menas del cerro Altamira a partir de la información de los sondeos geoexploratorios. Este cerro se ubica aproximadamente a 100 km al Sur de Ciudad Bolívar y a 15 km al Noreste de Ciudad Piar, en el estado Bolívar. Para realizar este estudio, primeramente, se revisó la base de datos en Microsoft Excel, para luego ser cargada en el software minero MedSystem. En éste sistema se calcularon los compuestos para ajustar los datos al tipo de explotación por banco de 15 metros aplicada en la mina. Se aplicó la estadística descriptiva a la data por medio del software MedSystem, se realizó un análisis poblacional que consta de gráficas de Media vs. Desviaciones Estándar, curvas log-probabilísticas y análisis cluster concatenado con el análisis geológico y así agrupar las litologías análogas separándolas de aquellas con un comportamiento estadístico diferente. Al determinar los grupos se procedió a calcular los correlogramas para visualizar la dirección preferencial de mineralización. Posteriormente, se calcularon los variogramas para así obtener los radios de influencia por parámetro químico de cada grupo litológico formado a través del análisis poblacional. Finalmente, se validaron los resultados de la estimación (point validation). Los resultados obtenidos de los rangos de influencia fueron comparados con los determinados por la empresa Mintec Inc. en el año 1999, y se pudo observar una disminución en los radios de influencia, producto de la reducción del mallado de perforación en los sondeos geoexploratorios. Los resultados del point validation se consideraron óptimos y son similares a los obtenidos utilizando los datos de la empresa Mintec Inc, por lo que se concluyó que aún se pueden seguir empleando los radios de influencia determinados en el año 1999, ya que tienen un buen grado de confiabilidad.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Araya, Luís	ROL	C☐A☐T☒J☐ A☐S☐U☒U☐
	CVLAC	
	e-mail	Lear_ve@yahoo.com
	e-mail	
Castillo, Lino	ROL	C☐A☐T☐J☒ A☐S☐U☐U☒
	CVLAC	
	e-mail	Castillolino@hotmail.com
	e-mail	
Silva, Gisela	ROL	C☐A☐T☐J☒ A☐S☐U☐U☒
	CVLAC	
	e-mail	Giselasilva77@hotmail.com
	e-mail	
	ROL	C☐A☐T☐J☐ A☐S☐U☐U☐
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2010	10	13

Lenguaje: spa

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

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-(Ferrominera Orinoco).doc	Aplication/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: 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.

Ramón Alegos.

AUTOR 1

AUTOR 2

AUTOR 3

AUTOR 4

L. Araya

TUTOR

[Firma]

JURADO 1

[Firma]

JURADO 2

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:

L. Araya