

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FILIAL MINERO-METALURGICA
Departamento de Geología

TRABAJO DE GRADO

" Aplicación de métodos geomatemáticos en el estudio geológico- geoquímico del Yacimiento Martí, Nicaro, Oriente. "

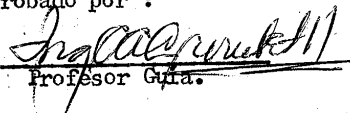
Profesor Guía :

Ing. Carlos A. Crombet H.

Graduando :

Angel Corpas Toledo.

Aprobado por :


Profesor Guía.

Aprobado por :

Jefe de Departamento.

Santiago de Cuba, Junio de 1975
" Año del 1er. Congreso "

I N D I C E

	Pág.
RESUMEN	1
CAPITULO I.- INTRODUCCION	2
CAPITULO II.- SINTESIS HISTORICA DE LAS INVESTIGACIONES - GEOQUIMICAS	6
CAPITULO III.- METODOLOGIA DE LAS INVESTIGACIONES	13
CAPITULO IV.- DESARROLLO DEL TRABAJO Y DISCUSION DE LOS -- RESULTADOS OBTENIDOS.	
4.1.- Cálculo de los principales estadísti- cos de los parámetros geológico-geoquí- micos	18
4.2.- Análisis Correlacional	24
4.3.- Coeficiente de mineralización	29
4.4.- Productividad lineal relativa del ní- quel	30
4.5.- Jerarquización de los bloques del Gru- po V del Yacimiento Martí	34
4.6.- Tipo de distribución de los parámetros geológico-geoquímicos	46
4.7.- Criterio no paramétrico de Wilcoxon...	55
CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6.- RELACION DE TABLAS.....	69
7.- RELACION DE ANEXOS.....	70
8.- RELACION DE FORMULAS.	71
9.- BIBLIOGRAFIA.....	74

I N D I C E

	Pág.
RESUMEN	1
CAPITULO I.- INTRODUCCION	2
CAPITULO II.- SINTESIS HISTORICA DE LAS INVESTIGACIONES - GEOMATEMATICAS	6
CAPITULO III METODOLOGIA DE LAS INVESTIGACIONES	13
CAPITULO IV.- DESARROLLO DEL TRABAJO Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	
4.1.- Cálculo de los principales estadígra- fos de los parámetros geológico-geo- químicos	18
4.2.- Análisis Correlacional	24
4.3.- Coeficiente de mineralización	29
4.4.- Productividad lineal relativa del ní- quel	30
4.5.- Jerarquización de los bloques del Gru- po V del Yacimiento Martí	34
4.6.- Tipo de distribución de los parámetros geológico-geoquímicos	46
4.7.- Criterio no paramétrico de Wilcoxon ..	55
CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6.- RELACION DE TABLAS	69
7.- RELACION DE ANEXOS	70
8.- RELACION DE FORMULAS	71
9.- BIBLIOGRAFIA	74

- RESUMEN -

El presente trabajo : " Aplicación de métodos geomatemáticos en el estudio geológico- geoquímico del Yacimiento Martí, Nicaro, Oriente," tiene, desde el punto de vista práctico-económico el objetivo fundamental de tratar de realizar el estudio de las características geológico-geoquímicas y tecnológicas de la materia prima mineral del Grupo V del Yacimiento Martí, mediante la aplicación de métodos geomatemáticos conjugados con los resultados obtenidos mediante la aplicación de métodos geológicos y geoquímicos, con la finalidad de contribuir a un aprovechamiento racional de las reservas de dicho grupo.

El objeto principal del trabajo lo constituyen los datos de contenidos de elementos o componentes químicos y de espesores de los horizontes de la corteza de intemperismo, obtenidos de las perforaciones de explotación (red de 25 x 25 m) efectuadas en cada uno de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí.

El tiempo total empleado en la realización de este trabajo fue de seis meses.

Como una conclusión, obtenida en nuestro trabajo, y que consideramos de importancia desde el punto de vista económico, podemos señalar que dentro del Grupo V del Yacimiento Martí se ha detectado que existen bloques con buenas perspectivas para su explotación y bloques, que a nuestro juicio, no presentan las mejores características para una explotación eficiente. Además, entre otras recomendaciones, proponemos que los criterios que emitimos al respecto pueden y deben valorarse y perfeccionarse con los resultados de las investigaciones que realiza la Empresa Comandante René Ramos-Latour relacionadas con este aspecto; para de este modo lograr que los trabajos propuestos tengan una máxima efectividad.

CANTICULO I. - INTRODUCCION.

CAPITULO I.- INTRODUCCION

El presente trabajo: "APLICACION DE METODOS GEOMATEMATICOS EN EL ESTUDIO GEOLOGICO-GEOQUIMICO DEL YACIMIENTO MARTI, NE ARC, ORIENTE" tiene, desde el punto de vista docente, el objetivo de servir como proyecto de diploma del graduando, con la finalidad de obtener el título de Ingeniero Geólogo.- Desde el punto de vista práctico-económico, el objetivo fundamental de este trabajo es tratar de realizar el estudio de las características geológico-geoquímicas y tecnológicas de la materia prima mineral del Grupo V del Yacimiento Martí, a través de la aplicación de métodos geomatemáticos conjugados con los resultados obtenidos con la aplicación de métodos geoquímicos y geológicos, con el fin de contribuir a un aprovechamiento racional de las reservas de dicho grupo.- Para esto último se ha realizado una selección de los bloques mas prospectivos, dentro del Grupo V, con respecto a una posible explotación con buena eficiencia.-

El objeto principal del trabajo está representado por los datos (contenidos del elemento o componente químico y espesores de los horizontes de la corteza de intemperismo) obtenidos de las perforaciones de exploración en red 25 x 25 metros realizadas en cada uno de los bloques del Grupo V del yacimiento Martí.- Todo el estudio se hizo tomando cada bloque como una unidad geológico-geoquímica o universo estadístico, con la finalidad de resaltar las particularidades de cada bloque y al mismo tiempo compararlos entre sí.- Además, dichos bloques se compararon con otros bloques del Grupo I del propio yacimiento y con la Plancheta 11 del Yacimiento Pinares de Mayarí.-

Entre los métodos empleados para resolver la tarea planteada podemos mencionar los siguientes: cálculo de los principales estadígrafos de los parámetros geológico-geoquímicos; análisis correlacional entre pares de variables o indicios geológicos; cálculos de los coeficientes de mineralización de cada uno de los horizontes de la corteza de intemperismo; estudio de la productividad lineal relativa del níquel en las capas de escombros, limonita y serpentina; jerarquización de los bloques del Grupo V -- del yacimiento Martí; cálculo del tipo de distribución muestral de los -

principales parámetros geológico-geoquímicos en bloques representativos del Grupo V; aplicación del criterio no paramétrico Wilcoxon para realizar la comparación de dos objetos geológicos determinados.-

Los resultados obtenidos con la aplicación de estos métodos se han conjugado con los resultados de las investigaciones geoquímicas, geológicas y petrográficas realizadas en el área de estudio, con el objetivo de brindar conclusiones más argumentadas, objetivas y confiables, y de este modo, tratar de resolver, de la mejor forma posible, la tarea planteada.-

El período de trabajo de campo comprendió el mes de Enero y parte del mes de Febrero del año en curso.- Durante el mismo se trabajó en el levantamiento geológico del yacimiento Martí en escala 1:10 000.- Posteriormente se hizo la recopilación de los datos primarios (objeto de nuestro trabajo), los mismos fueron tomados de los archivos del Departamento de Desarrollo de la Mina Ocujal, Nicaro.-

Durante el tiempo abarcado por la segunda mitad del mes de Marzo hasta principios del mes de Abril se trabajó en la preparación de los datos primarios con el fin de enviar las tareas concretas que serían resueltas en el Departamento de Investigaciones Operacionales de la Empresa Comandante René Ramos Latour, de Nicaro.- A partir de esta fecha en adelante se realizó el trabajo de gabinete y la confección del presente informe.-

A continuación se presenta el volumen de los trabajos de cálculo necesarios para la realización del trabajo:

TABLA I

Cálculos Realizados en:	Volumen de Datos Primarios	Número de Tareas	Parámetros Obtenidos
D. I. O. P. (x) (E. C. R. R. L.)	28 739	693	2 133
Lab. Geom. (Filial Minero-Metalúrgica)	24 541	1 305	2 575
Totales	53 280	1 998	4 708

El trabajo consta de 75 páginas, una relación de 16 títulos bibliográficos, una relación de 19 fórmulas, 6 Tablas, 5 Anexos.-

(x) D. I. O. P.: Departamento de Investigaciones Operacionales
E. C. R. R. L.: Empresa Comandante René Ramos Latour

Quisiera agradecer la colaboración de: alumnas del Plan Docencia-Producción y técnicos del Laboratorio de Geomatemática (Lab. Geom.): Bolívar Castilla y Danilo del Valle, los cuales brindaron su ayuda en lo relacionado con los cálculos; compañeros de la Vice-Dirección de Minas de la Empresa - Comandante René Ramos Latour, que intervinieron en diversas cuestiones relacionadas con este trabajo; ingenieros Elmer Ruz Peña y Alfredo Hurtado - García, que evacuaron dudas surgidas durante la preparación y procesamiento de los datos; Licenciado Gabriel García, que intervino en la organización del trabajo.-

La supervisión y dirección del trabajo estuvo a cargo del profesor guía: Ingeniero Carlos A. Crombet Hernández, al cual hago patente mi agradecimiento por la valiosa ayuda prestada.-

CAPITULO II. - SINTESIS HISTORICA DE LAS INVESTIGA-
CIONES GEOMETRICAS.

7

CAPITULO II.- SINTESIS HISTORICA DE LAS INVESTIGACIONES GEOMATEMATICAS

Nota: La mayor parte de esta síntesis histórica fue tomada de (10).

En los tiempos actuales se considera indiscutible que la aplicación de los métodos matemáticos en la Geología son útiles para la resolución de las más variadas tareas, las cuales no se resuelven de manera inequívoca mediante los métodos corrientes.- Puede afirmarse que en la actualidad no existe alguna rama de la Geología en la cual no se haya hecho un intento de aplicar la Matemática, sobre todo en lo que se refiere a Teoría de Probabilidades y Estadística Matemática.- Estos intentos no siempre han sido satisfactorios; el que hayan resultado poco afortunados ha sido, como regla general, una de las dos causas siguientes: ausencia de métodos matemáticos consecuentes para la resolución de determinadas tareas geológicas, o bien la propia aplicación mecánica de los tratamientos de cálculos que no han sido adecuados para la resolución del problema planteado.- Al mismo tiempo, a pesar de estos señalamientos, la introducción de la Matemática en la Geología eleva a esta última ciencia a las etapas más altas de desarrollo, acercando la Geología a las ciencias exactas.-

El período relativamente no extenso de la introducción de la Matemática en la Geología, según D. A. Rodionov (10, Pág. 3), puede dividirse en dos etapas.- La primera de éstas comenzó en 1833, momento en que apareció el trabajo de Ch. Lyell, cuyo título es: "Principles of Geology".- En este trabajo se utilizan métodos estadísticos sencillos para la elaboración de datos empíricos.- Este período continúa luego de Revolución Socialista de -- Octubre hasta el año 1946 inclusive.-

A pesar de la duración de esta etapa, más de 100 años, la cantidad de trabajos investigativos relacionados con la aplicación de teoría de probabilidades y estadística matemática no excedían unas cuantas decenas.- Estos -- trabajos estaban heterogéneamente distribuidos en las diferentes ramas de la Geología.- La mayoría de ellos pertenecían a la Paleontología, Litología, Exploración y, en cantidades insignificantes, a la Geoquímica y a la Petrografía de las rocas magmáticas.-

La aplicación de los métodos estadísticos en la Paleontología y en la

Bioestratigrafía recibió un gran estímulo con el trabajo de K. Pearson (1894), cuyo título es: "Contribution to the mathematical theory of evolution".- En el trabajo de Pearson se exponen algunos métodos para el estudio de los objetos biológicos.-

Los trabajos de D.V. Nalivskin (1914, 1925), H. K. Löhn (1920), R. Brincmann (1929), A. M. Hemmings (1934), S. W. Tromp (1940) y J. F. Shenk (1945), estaban dedicados principalmente al estudio de la variación de los distintos indicios y variedades cercanas de organismos fósiles y se fundamentaban con la ayuda de métodos estadísticos sencillos.-

La primera investigación estadística en Litología, en el año 1931, está relacionada con el estudio de los métodos para la extracción de fracciones pesadas de minerales (K. Iving, 1931 y A.L. Dryden, 1931 y 1935).- A esta misma época pertenecen los trabajos de W.C. Krumbein (1932 a 1938), en dichos trabajos se explicaban diferentes problemas relacionados con la distribución del tamaño de las partículas de los sedimentos.- Es necesario señalar el trabajo de C. Eisen Hart (1935), en el cual los métodos estadísticos fueron utilizados para fundamentar la existencia de diferencias litológicas entre rocas.-

El comienzo de la aplicación de métodos estadísticos y probabilísticos en la Litología en la U.R.S.S. se debe a A.B. Vistelius (1944, 1945).-

En las ramas de los métodos para la exploración de los yacimientos minerales estos trabajos están relacionados, en la Unión Soviética, con la década del 40 del presente siglo.- La Estadística Matemática se utilizó para la elaboración de métodos confiables en la investigación de yacimientos (G.C. Chechott, 1932; V.G. Solovev, 1939; B.L. Floroy, 1939; y otros), en el cálculo de los resultados de muestras con contenido elevado (K.L. Pogharitsky, 1936) y para el estudio de los errores en el cálculo de reservas (A.M. Shuravsky, 1935, 1936, 1940; S.N. Ivanov, 1936; L.I. Shamansky, 1938; P.A. Rishov, 1938 y 1940).-

Al mismo tiempo, los métodos estadísticos en la investigación de la Petrografía de las rocas magnéticas prácticamente no se aplicaron.- Una excepción la constituyen los trabajos de F.Yu. Levinson-Lesing.- Estos trabajos,

por su esencia, plantean, por primera vez, el problema de la elección de la delimitación natural entre formaciones geológicas con la ayuda de métodos estadísticos.-

A pesar de que la cantidad de trabajos estadísticos en Geoquímica relacionados con este período no es muy grande, entre los mismos pueden señalarse varios que han tenido una enorme importancia en las subsiguientes investigaciones estadístico-geoquímicas.- Con los mismos se relacionan los trabajos de N.Y. Razumovsky (1940, 1941), donde se estudian las regularidades probabilísticas del contenido de elementos en las rocas y menas.- Como resultado de estas investigaciones fué establecido, por primera vez, que la distribución empírica del contenido de los elementos químicos puede estar cerca de la ley de distribución logarítmica.-

De esta manera, según la fuente citada (10), el primer período de la introducción de la Matemática en la Geología, en su conjunto se caracteriza por unos intentos esporádicos en la aplicación de métodos estadísticos para la resolución de algunas tareas geológicas concretas.- Las investigaciones sistemáticas relacionadas con métodos probabilísticos y estadísticos están ausentes en este período.-

El segundo período, desde el final de la Gran Guerra Patria hasta nuestros días, según D.A. Rodionov, se caracteriza, ante todo, por la profunda penetración de los métodos estadísticos en todas las ramas de la Geología sin exclusión.-

La introducción de los métodos matemáticos ha sido particularmente intensa en la Litología, la Geoquímica y la Paleontología.- Se han publicado asimismo, una serie de trabajos donde se aplican métodos estadísticos para la resolución de tareas geomorfológicas, tectónicas y petrográficas, así como también tareas relacionadas con problemas de mapeo.-

En este segundo período, tanto en la U.R.S.S. como en otros países, investigadores y colectivos de investigadores comienzan a ocuparse de manera sistemática de los problemas relacionados con la aplicación de métodos matemáticos en la Geología.- Dentro de estos autores debemos citar a A.B. Vistelius. Este autor, en 1957, propuso delimitar estadísticamente perfiles utilizando

Para ello un índice cuantitativo mineralógico, petrográfico o químico.-

Dicho trabajo, por su esencia, es el primero en el cual se plantea el problema acerca de la delimitación de un perfil en forma de tarea matemática. Entre los litólogos americanos continúan las investigaciones sobre la distribución de los tamaños de los granos de los sedimentos.- Entre ellos tenemos a: J.C. Griffiths (1955), Carrey (1955), J.S. Kahn (1956), D.J. Douglas (1956) y otros.- En esta época aparecieron una serie de artículos de W.C. Krumbein (1953, 1958), en los cuales se explican problemas metodológicos generales en la aplicación del método estadístico en la Geología, así como sobre la aplicación de métodos estadísticos concretos para la resolución de tareas geológicas.-

En la rama de la Geoquímica los trabajos relacionados con la aplicación de métodos estadísticos, que comenzaron en 1946, han aumentado significativamente.- Por la temática pueden dividirse en dos grandes direcciones.- La primera, que estudia la relación entre los elementos y los minerales en las rocas con la ayuda de los diferentes métodos de análisis correlacional; y la segunda, las investigaciones sobre el aspecto de la función de distribución que puede ser utilizada en calidad de modelo matemático para la distribución del contenido de elementos y minerales en las rocas.-

La mayor parte de los trabajos relacionados con la primera dirección pertenecen a A.B. Vistelius.-

Con la segunda dirección, relacionada con el estudio de la distribución del contenido de elementos y minerales en las rocas, se relacionan los trabajos de N.K. Razumovsky (1948), L.H. Ahrens (1953, 1954, 1957), F. Chayés (1954), D.M. Shaw y J.D. Bankier (1964), D.A. Rodionov y otros.-

Otros temas relacionados con la aplicación de los métodos matemáticos en la Geología pueden ser, según A. B. Vistelius (1969): el modelaje estocástico; la utilización de la estadística con fines descriptivos; el análisis factorial; el análisis discriminante; el análisis secuencial; la serie cronológica; el trend-análisis (análisis de tendencias); el análisis multidimensional y otros muchos.-

El empleo de la computación electrónica y la programación no sólo ha permi-

tido aligerar enormemente los cálculos matemáticos, sino resolver tareas cuya resolución era totalmente imposible pocos años atrás.-

En la Escuela de Geología de la Universidad de Oriente, (actualmente Unidad Docente de la Filial Minero-metalúrgica), se ha contribuido modestamente al impulso y desarrollo de los métodos estadísticos aplicados a la Geología con la creación y desarrollo del Laboratorio de Geomatemática en 1969, así como con la aplicación de estos métodos en trabajos docentes y de investigación.-

Es de señalar, que la aplicación de los métodos estadístico-matemáticos aplicados a problemas geológicos, exceptuando la aplicación de dichos métodos en lo relacionado con el cálculo de reservas, es algo nuevo en nuestro país e iniciado con una serie de trabajos que se citan a continuación:

"Particularidades geoquímicas del Yacimiento Finares de Mavari", realizado por A.S. Vershinin y C.A. Crombet, 1972.-

"Acerca de la densidad óptima de la red de exploración del Yacimiento Punta Gorda", realizado por A.S. Vershinin, Alfredo Hurtado García, - Elmer Ruz Peña, 1972.-

"Características geoquímicas del Yacimiento Punta Gorda", realizado por A.S. Vershinin, C.A. Crombet, Alfredo Hurtado García y N.F. Ageenzo, 1972".-

Los tres trabajos citados anteriormente forman parte del informe sobre los trabajos de investigación en el departamento durante el año 1971, sobre el tema: "Geología, Geoquímica y Metodología de Exploración de los Yacimientos de níquel (en la provincia de Oriente)", realizados por los autores antes mencionados en el año 1972.

"Particularidades geológicas del Yacimiento Martí, Oriente", realizado como trabajo de grado por Jaime Vinent, 1972.-

"Informe sobre las características y distribución de los principales parámetros geológico-geoquímicos de los bloques S-13 y S-14 del Grupo I del Yacimiento Martí, Nicaro, Oriente", realizado por Ing. Carlos A. Crombet Hernández e Ing. Elmer Ruz Peña, 1974.-

En el presente trabajo de grado, por primera vez, se utilizan totalmente los métodos geomatemáticos, combinados con los resultados obtenidos del estudio de un mismo objeto geológico (Grupo V, Yacimiento Martí) mediante métodos geológicos, geoquímicos y petrográficos.-

CAPITULO III.- METODOLOGIA DE LAS INVESTIGACIONES .

CAPITULO III.- METODOLOGIA DE LAS INVESTIGACIONES

Para resolver la tarea planteada se utilizaron métodos geomatemáticos.-

Los resultados obtenidos con la aplicación de dichos métodos se conjugaron con los obtenidos mediante la utilización de métodos geoquímicos y el estudio geológico del Yacimiento Martí, Nicaro, con el objetivo de brindar unas conclusiones mas argumentadas y objetivas.-

Para la realización del presente trabajo se tomó cada bloque del Grupo V del Yacimiento Martí como una unidad geológico-geoquímica o universo estadístico, con la finalidad de resaltar las particularidades propias de cada bloque y al mismo tiempo compararlos entre sí.- Además, dichos bloques se compararon con los bloques S-13 y S-14 del Grupo I del propio Yacimiento Martí, así como con la plancheta 11 de Pinares de Mayarí.-

Los métodos empleados en el desarrollo del trabajo son:

- a) Cálculo de los principales estadígrafos de los parámetros geológico-geoquímicos.-
- b) Análisis correlacional entre pares de elementos químicos, así como entre algunos pares espesor del horizonte-contenido del elemento químico.-
- c) Cálculo de los coeficientes de mineralización de los horizontes de lateritas ú ocres inestructurales (escombros), ocres estructurales (limonita) y serpentinitas nontronitizadas (serpentina).-
- d) Estudio de la productividad lineal relativa del níquel en las capas de escombros, limonita y serpentina respectivamente.-
- e) Jerarquización de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí.-
- f) Elección del modelo de distribución muestral de los contenidos de elementos meníferos y de los espesores de las capas de limonita y serpentina para algunos bloques del Grupo V.-
- g) Aplicación del criterio no paramétrico de Wilcoxon para los bloques Q-20 y Q-20, en lo que se refiere a los contenidos de níquel y de hierro en limonita y serpentina.-

Los estadígrafos que se calcularon fueron: media aritmética, varianza, desviación standard, desviación standard de la media aritmética y coeficiente

de variación.- Todo ello para los contenidos de elementos útiles y elementos dañinos en las diferentes capas, así como para los espesores de las mismas.-

Para el cálculo de los coeficientes de correlación se emplearon el método gráfico-analítico del Mejor Disparo (para muestras pequeñas) y el Método Analítico (para muestras medianas).-

Para el cálculo de los coeficientes de mineralización se procedió a dividir el número de pozos que cortan una capa u horizonte dado entre el total de pozos perforados en el bloque en cuestión.-

Para hallar la productividad lineal relativa del níquel en un horizonte determinado, se multiplicó el coeficiente de acumulación del níquel por la potencia media del horizonte, por el coeficiente de mineralización del mismo, así como por el peso volumétrico del tipo de mineral en cuestión.-

La jerarquización de los bloques se realizó sobre la base de un estudio minucioso de las características geológico-geoquímicas y tecnológicas del mineral, tanto cuantitativas como cualitativas, de cada uno de los bloques del grupo V del Yacimiento Martí.-

Para la elección del modelo de distribución muestral de los contenidos de elementos meníferos y de los espesores de los horizontes productivos (limonita y serpentina) en los bloques en cuestión, se utilizó el método gráfico con la aplicación del criterio de Kolmogorov, así como el método analítico de la asimetría y el exceso.- El primero se utilizó para datos agrupados y el segundo para datos no agrupados.-

El criterio no paramétrico de Wilcoxon se empleó con la finalidad de detectar si existían o no semejanzas en cuanto a la distribución de los elementos meníferos (níquel, hierro) en los horizontes productivos correspondientes a dos bloques representativos del Grupo V (C-20 y Q-20) del Yacimiento Martí.-

Las conclusiones y recomendaciones correspondientes al presente trabajo se han elaborado conjuntamente con las correspondientes al trabajo: "Algunas características geoquímicas del Yacimiento Martí", realizado por el graduando Hermes Díaz Trujillo, ya que el objeto y el área estudiada han sido

comunes en ambos casos, y además, debido a la estrecha relación entre los temas tratados, se ha hecho necesaria la unificación de los resultados obtenidos, con la finalidad de ofrecer conclusiones y recomendaciones bien argumentadas y que puedan tener utilización práctico-económica.-

En el siguiente capítulo se detallarán las características de cada método empleado, señalándose las condiciones para su empleo, aparato matemático utilizado y en todos los casos posibles se ha tratado de recoger los aspectos operativos e interpretativos de los métodos mediante ejemplos concretos.-

CAPITULO IV.- DESARROLLO DEL TRABAJO Y DISCUSION DE LOS RE
SULTADOS OBTENIDOS.

CAPITULO IV.- DESARROLLO DEL TRABAJO Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Cálculo de los principales estadígrafos de los parámetros geológico-geoquímicos.-

Empleando métodos geomatemáticos se calcularon algunas medidas de tendencia central y otras de variabilidad o dispersión que son necesarias para resolver las tareas propuestas en el presente trabajo.-

Para realizar dichos cálculos se tomaron como base los principales parámetros geológico-geoquímicos, los cuales están representados por los contenidos por pozos (expresados en % de peso), de Ni, Fe, Co, Al_2O_3 , Cr_2O_3 , SiO_2 , MnO y MgO en las capas de escombros, limonita y serpentina; así como por los espesores de dichas capas, (expresados en metros), detectados en cada una de las perforaciones de exploración en red de 25 x 25 metros realizadas en el Grupo V del Yacimiento Martí, Nicaro.-

Los contenidos de los elementos y componentes químicos antes citados fueron obtenidos como resultado de análisis químicos realizados a muestras tomadas en las diferentes perforaciones de exploración del Grupo V del Yacimiento mencionado anteriormente.- Dichos análisis se realizaron en los laboratorios de la Empresa Comandante René Ramos

Latour de Nicaro.- El intervalo de muestreo utilizado fué de 0,5 m. Dentro de las medidas de tendencia central se procedió al cálculo de la media aritmética y la mediana de los principales parámetros geológico-geoquímicos de la capa u horizonte tecnológico (x) en cuestión. Las medidas de variabilidad o dispersión calculadas, para el contenido de cada elemento o componente químico en su respectiva capa, así

(x) la denominación de cada capa (escombros, limonita, serpentina) es una denominación tecnológica.- Para establecer los tipos de mineral la Planta de Nicaro impone las siguientes condiciones:

Según (3, Pág.1)	% Ni	% Fe
Escombros	$< 1,0$	$\geq 35,0$
Limonita	$\geq 1,0$	$\geq 35,0$
Serpentina	$\geq 1,2$	12,0 - 35,0

como para los espesores de las mismas, fueron: varianza, desviación standard, desviación standard de la media aritmética y coeficiente de variación o variabilidad relativa.-

La mayor parte de los cálculos se realizó en datos no agrupados y la parte restante se efectuó en datos agrupados en intervalos de clase con un nivel de significación de $t = 1,96$ (95% de probabilidad).-

Para obtener el valor del intervalo de clase para cada elemento químico en su respectiva capa, así como para los espesores de las capas, se utilizó la fórmula 8.1 de la relación de fórmulas que se muestra al final del trabajo.-

A continuación se hará una breve referencia, por separado, a cada uno de los estadígrafos calculados.-

4.1.1 Media aritmética

La media aritmética representa la mejor aproximación al valor real de una magnitud, a la cual se le han hecho varias mediciones de un mismo tipo.-

Cuando se trabaja con muestras grandes, datos agrupados en intervalos de clase con un nivel de significación determinado, la media aritmética se calcula según la fórmula 8.2.-

Cuando se trabaja con muestras pequeñas, datos no agrupados, la media aritmética se calcula utilizando la fórmula 8.3.-

4.1.2 Mediana

La mediana es aquel valor de la magnitud casual que divide toda la región de los valores observados, colocados en orden creciente, en dos partes iguales por su frecuencia.- La mediana se denota por Md.-

La mediana es una medida de tendencia central y a su vez es una medida de posición relativa, incluye igual número de casos por encima y por debajo de su valor.-

4.1.3 Varianza

La varianza es una medida de variabilidad absoluta.-

La varianza es la media de los cuadrados de las desviaciones de una serie de datos con relación a su media aritmética.-

La varianza se representa por el símbolo S^2 y se calcula, en el caso de datos agrupados en intervalos de clase con un nivel de significación dado, utilizando la fórmula 8.4.- Cuando se trabaja en datos no agrupados es necesario hacer algunas modificaciones a la fórmula anterior para calcular la varianza.- Luego de ello, la fórmula a utilizar es la fórmula 8.5.-

Debido a que la varianza involucra los cuadrados de las desviaciones, es un número que se expresa en unidades cuadráticas.-

4.1.4 Desviación estándar

La desviación estándar es una medida de variabilidad o dispersión absoluta.- Es la más importante de todas las medidas de variabilidad o dispersión e incluye el 68,26% de los casos alrededor de la media en las distribuciones normales.-

La desviación estándar se denota por S y se define como la raíz cuadrada de la varianza (fórmula 8.6).-

La desviación estándar caracteriza los límites de las posibles variaciones de las magnitudes casuales y se determina como la mitad del ancho de la curva de variación al nivel de 0,6 de su valor máximo.- Tiene aplicaciones de interés en diversas cuestiones estadísticas como en la curva normal, en la asimetría de las distribuciones, en la correlación, etc.-

La desviación estándar se expresa en las mismas unidades que el conjunto de mediciones originales.-

4.1.5 Desviación estándar de la media aritmética

La desviación estándar de la media aritmética es una medida de variabilidad o dispersión absoluta que se denota por el

símbolo S_x y se define según su fórmula de cálculo, fórmula 8.7.-

Representa los límites de las posibles variaciones de la media aritmética y se expresa en las mismas unidades que el conjunto de mediciones originales.-

4.1.6 Coefficiente de variación

El coeficiente de variación o variabilidad relativa representa una medida de la dispersión relativa.-

La variabilidad relativa de una distribución es la relación entre una medida de variabilidad absoluta y una medida de tendencia central, tomándose con preferencia la desviación estándar y la media aritmética respectivamente.-

El coeficiente de variación se denota por K_v y se define según la fórmula 8.8.- Es muy útil en los casos en que se desee medir la variabilidad entre rasgos de diferente naturaleza o entre pruebas de diferentes medidas (cuyas medias sean muy diferentes).-

Una desventaja del coeficiente de variación es que pierde su utilidad cuando la media aritmética está cerca de cero.-

Análisis, discusión e interpretación de los resultados obtenidos

Es importante señalar que el cálculo de los principales estadígrafos de los parámetros geológico-geoquímicos es prácticamente la base de todo el trabajo que se desarrollará, tanto en lo que respecta a Geomatemática, como a Geoquímica, ya que, del análisis e interpretación de los resultados correspondientes puede obtenerse una información muy necesaria para realizar el estudio de las características geológico-geoquímicas del mineral del área de estudio; además, los estadígrafos calculados intervienen en las fórmulas de cálculo utilizadas en la aplicación de los diferentes métodos empleados en este trabajo.-

Observando los valores medios de los contenidos de elementos útiles en el horizonte de limonita, ver anexo 2, vemos que, para el

Grupo V en general, el contenido de níquel oscila entre 1,10 y 1,20%, aunque hay que destacar que en determinados bloques, como el O-20, O-21, N-20, se presenta un mayor enriquecimiento de níquel en la capa de limonita.- En cuanto al contenido de hierro en la limonita, en el área correspondiente al Grupo V del Yacimiento Martí, podemos decir, que tiende a mantenerse, generalmente, en un rango de 42 a 48%. - El contenido de cobalto se encuentra fluctuando de 0,08 a 0,12%.-

En el horizonte de serpentina el contenido de níquel varía, por lo general, entre 1,20 y 1,40%, se notan algunos bloques con mayor enriquecimiento de níquel como los bloques O-20 y O-21 (Ver anexo 2); por otra parte, aparecen bloques cuyo contenido medio de níquel es menor que 1,20% como los bloques R-25, S-21, S-22.- El contenido medio de hierro en la serpentina oscila entre 20 a 30% y el de cobalto entre 0,04 a 0,08%, ésto, en sentido general para el Grupo V.-

Al observar los valores medios de los espesores de los distintos horizontes de la corteza de intemperismo, ver anexo 2, notamos que el mayor espesor, dentro de los horizontes productivos del Grupo V, corresponde el horizonte de limonita, dicho espesor tiene un valor promedio de 2,10 metros.- El espesor medio de la capa de serpentina en el Grupo V se encuentra alrededor de 1,50 metros; mientras que el espesor de escombros es por lo general de 2,20 metros.- Comparando los espesores medios de los diferentes horizontes de la corteza de intemperismo en el Grupo V, con los espesores correspondientes al Grupo I del propio Yacimiento Martí encontramos notables diferencias.- En el Grupo V el horizonte de limonita presenta el mayor espesor, dentro de los horizontes productivos; mientras que en el Grupo I el horizonte de serpentina es el más potente.- A su vez, en el Grupo I el espesor de escombros es mayor que en el Grupo V del Yacimiento Martí.- Respecto a los coeficientes de variación diremos lo siguiente:

Comparando la variabilidad relativa del níquel en la limonita con respecto a la variabilidad del níquel en la serpentina, ver anexo 2, observamos que la variabilidad del contenido de níquel en la serpentina es ligeramente mayor que en la limonita, es decir, la distribución del níquel es más homogénea en la limonita que en la serpentina; pero la diferencia no es muy significativa. Sin embargo, respecto al hierro, la situación es diferente, pues se nota una diferencia más marcada, tenemos que el rango de oscilación de la variabilidad relativa del hierro en la limonita es aproximadamente de 5 a 10%, y en la serpentina es de 20 a 30%, por lo que puede considerarse con más criterio que, en general, la distribución del hierro en la limonita es más homogénea que en la serpentina.- Respecto a la variabilidad del cobalto en la limonita y en la serpentina puede decirse que no se detectan diferencias considerables, esto también puede generalizarse en lo que corresponde a la variabilidad relativa del espesor de limonita con relación a la variabilidad relativa del espesor de serpentina.- Al observar el coeficiente de variación del espesor de escombros vemos que su rango de oscilación está entre 40 y 70% aproximadamente, es decir, se presenta de un modo general, la misma variabilidad de los espesores de los tres horizontes (escombros, limonita, serpentina) de la corteza de intemperismo en el área que abarca el Grupo V del Yacimiento Martí; en los tres casos dicha variabilidad puede considerarse alta.-

Es notable, que dentro de la capa de limonita, se aprecian diferencias considerables en cuanto a la variabilidad relativa del cobalto de un bloque con respecto a otro, es decir, el rango de oscilación del coeficiente de variación del cobalto en la limonita es grande (10 a 70%), lo cual nos indica la irregularidad de la distribución de dicho elemento en el horizonte en cuestión.- Respecto a la variabilidad del níquel y el hierro dentro del horizonte de limonita, se observa que la misma es baja y presenta

un rango de variación pequeño, ver anexo 2, lo que nos lleva a suponer una distribución más o menos homogénea de dichos elementos en la capa de limonita.-

Al igual que en la limonita, en la serpentina se observa que el cobalto es el elemento que presenta mayor variabilidad, ver anexo 2, y por tanto es el elemento que se encuentra más irregularmente distribuido en dicho horizonte en el área que abarca el Grupo V.- Respecto a la variabilidad relativa del níquel y del hierro en la serpentina podemos decir que el hierro presenta mayor variabilidad que el níquel, por lo que, el níquel es el elemento distribuido con menos heterogeneidad (irregularidad) en el horizonte de serpentina en lo que corresponde al Grupo V.-

Generalizando, podemos decir que en el horizonte de limonita del Grupo V del Yacimiento Martí la distribución de los elementos meníferos es más homogénea que en el horizonte de serpentina.-

4.2 Elección de modelos para la caracterización de la dependencia real entre indicios geológicos (análisis correlacional).

En el presente trabajo se empleó el análisis correlacional entre pares de elementos químicos y entre los pares espesor de la capa-contenido del elemento químico, con la finalidad de medir el grado de relación entre las dos variables o indicios geológicos en cuestión, para de este modo determinar hasta qué punto un modelo lineal puede o no expresar la relación entre dichas variables.-

Para investigar la relación entre las dos variables generalmente se comienza con un intento de encontrar la fórmula aproximada de la relación, para lo cual es necesario trazar un diagrama de dispersión.- Este se consigue trazando los datos (variables a correlacionar) como puntos en el plano X,Y; el mismo nos muestra la ubicación de los puntos (X,Y) en un sistema de coordenadas rectangulares.- Si todos los puntos en este diagrama de dispersión se agrupan junto a una recta, la correlación se llama lineal.- Si todos los puntos parecen caer cerca de alguna curva, la correlación se llama no lineal.- La corre-

lación, tanto lineal como no lineal, puede ser directa (positiva) o inversa (negativa).-

Analizando el diagrama de dispersión puede decirse si existe o no una relación acentuada entre las variables correlacionadas y, de existir, si puede tratarse como aproximadamente lineal.- Por observación directa del propio diagrama de dispersión, podemos determinar, de forma cualitativa, en qué grado una línea o curva da das describe la relación entre las variables.-

La correlación se expresa a través del coeficiente de correlación, el cual se denota por la letra r y se calcula según la fórmula 8.9.-

Los cálculos correspondientes a los coeficientes de correlación fueron realizados, en su mayoría, en el Departamento de Investigaciones Operacionales de la Empresa Comandante René Ramos Latour, y la parte restante fué calculada en el Laboratorio de Geomatemática de la Unidad Docente Minero-Metalúrgica de Santiago de Cuba.-

Para el cálculo del coeficiente de correlación se emplearon el método gráfico-analítico del Mejor Disparo y el Método Analítico, en ambos casos se utilizó la fórmula 8.9.-

El método del Mejor Disparo se empleó en los casos de muestras pequeñas (menor de 50 casos).-

El Método Analítico se empleó para muestras medianas (50 a 100 casos).-

Tanto para uno como para el otro método se verificó si el coeficiente de correlación calculado en cuestión era casual o significativo, rechazándose en el primer caso y aceptándose en el segundo.- Para ello se procedió a verificar la Hipótesis de Nulidad utilizando la fórmula 8.10.-

En todos los casos donde el coeficiente de correlación calculado resultó ser mayor que el coeficiente de correlación permisible - (calculado según la fórmula 8.10) para un nivel de significación de $q = 0,05$ (5%), se aceptó dicho coeficiente como significativo, lo cual nos indica que puede ser utilizado el modelo lineal para

describir la relación entre las dos variables o indicios geológicos correlacionados.-

En los casos donde ocurrió lo contrario, es decir, el coeficiente de correlación calculado resultó ser menor que el permisible para un nivel de significación de 0,05, se consideró dicho coeficiente como casual y se rechazó.-

La interpretación del coeficiente de correlación como medida del grado de dependencia lineal entre dos variables está totalmente desprovista de implicaciones de causa y efecto.- Dos variables cualesquiera pueden tender a aumentar o disminuir al mismo tiempo y ésto no quiere decir que una tenga algún efecto directo o indirecto sobre la otra, ya que ambas pueden estar sujetas a la influencia de otras variables, de forma tal que resulten con una estrecha relación matemática.-

El coeficiente de correlación, esencialmente, lo que nos indica es cómo varía una de las dos variables cuando la otra variable correlacionada sufre alguna variación.-

En el caso en que no haya relación entre las variables, decimos - que las mismas no están correlacionadas, es decir, las variables son independientes.-

Con el objetivo de realizar una comprobación acerca del carácter de los coeficientes de correlación (significativo o casual) determinado aplicando la fórmula 3.10; para el caso de los coeficientes de correlación calculados por el Método Analítico, se procedió a aplicar otro criterio para verificar si en realidad los coeficientes de correlación catalogados como significativos o como casuales cumplían estas condiciones.- Dicho criterio se explica a continuación, (tomado de 7, pág. 82-83):

La comprobación acerca de la posibilidad de la utilización del modelo lineal para describir la dependencia real entre dos variables o indicios geológicos comparados se efectúa mediante la determinación de la magnitud t .

$$t = \frac{r/\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

donde:

r: valor del coeficiente de correlación calculado por el Método Analítico.-

N: Tamaño de la muestra.-

Dicha magnitud, para las condiciones en que la suposición de que el coeficiente de correlación lineal sea igual a cero, se distribuirá conforme a la ley de Student con $f = (N - 2)$ grados de libertad.- Esto significa que si el valor calculado de t excede al permisible, $t_{f,q}$, para $(N-2)$ grados de libertad y un nivel de significación de $q = 5\%$, entonces el coeficiente de correlación lineal puede catalogarse como significativo, por lo que puede ser utilizado el modelo lineal para la descripción de la dependencia real entre las variables o indicios geológicos correlacionados.- En caso contrario, esta suposición debe ser rechazada.-

El valor permisible de la magnitud t , es decir, $t_{f,q}$, se halla haciendo uso de (7, anexo 5).-

Análisis, discusión e interpretación de los resultados obtenidos.

Comparando los resultados obtenidos con la utilización de la fórmula 8.10, para conocer el carácter (casual o significativo) de los coeficientes de correlación calculados por el Método Analítico, con los resultados obtenidos, acerca del carácter de los coeficientes de correlación correspondientes, utilizando el criterio anteriormente expuesto, vemos que no existe diferencia significativa alguna entre ambos resultados, es decir, los coeficientes de correlación calculados por el Método Analítico que resultaron ser significativos aplicando la fórmula 8.10, son exactamente los mismos que los que resultaron significativos aplicando el criterio antes mencionado.-

Analizando los resultados que se presentan en el anexo 2, en lo que corresponde al análisis correlacional realizado en el presente trabajo, podemos inferir lo siguiente: en sentido general, se cumple, para

los horizontes de limonita y serpentina, que el mayor de coeficientes de correlación significativos corresponden a las correlaciones Fe - Co.- Esta tendencia se acentúa más en el horizonte de serpentina.-

Los coeficientes de correlación que resultaron ser significativos nos indican que existe dependencia o relación entre las variables o índices geológicos correlacionados en cuestión y que puede ser utilizado el modelo lineal para describir la relación entre dichas variables.- Es de notar, que los coeficientes de correlación más altos y además, todos positivos, son los que representan la correlación Fe - Co en la capa de serpentina.-

En la capa de limonita se presentan coeficientes de correlación Fe - Ni significativos y negativos; pero éstos tienen un carácter aislado, es decir, su número es bastante limitado.- En cuanto a los coeficientes de correlación Ni - Co, la inmensa mayoría resultaron ser casuales y se rechazaron, al igual que en la capa de serpentina.-

En la capa de escombros existe semejanza en cuanto al número de coeficientes de correlación que resultaron ser significativos, tanto para las correlaciones Fe - Ni; Ni - Co como Fe - Co.- Las correlaciones más altas y positivas corresponden a las correlaciones Fe - Ni; - mientras que los coeficientes de correlación Fe - Co significativos son bajos y negativos generalmente.-

Las correlaciones espesor-contenido del elemento químico, se limitaron a los bloques C-20, C-21 y Q-20 (bloques representativos del Grupo V del Yacimiento Martí), en los horizontes de limonita y serpentina.- Las correlaciones calculadas correspondieron a los siguientes pares de variables o índices geológicos: espesor de limonita-contenido de níquel, espesor de limonita-contenido de hierro, espesor de serpentina-contenido de níquel y espesor de serpentina-contenido de hierro.- Analizando los resultados obtenidos observamos que en todos los casos dichos coeficientes de correlación resultaron ser casuales, es decir, su valor no excedió el valor del coeficiente de correlación permisible, por lo cual se rechazaron, esto nos indica que no puede utilizarse el modelo lineal

para describir la dependencia entre los espesores de los horizontes productivos y los contenidos de los elementos meníferos (níquel, hierro) en los bloques C-20, C-21 y Q-21.-

4.3 Coeficientes de mineralización

Para calcular el coeficiente de mineralización en cuestión se procedió a dividir el número de pozos perforados que corta una determinada capa u horizonte entre el total de pozos perforados.-

En este trabajo se calculó el coeficiente de mineralización en cada uno de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí para las capas de escombros, limonita y serpentina.-

A la hora de realizar una evaluación de la calidad del mineral de los distintos bloques es necesario tener en cuenta, entre otras cosas, el análisis comparativo de los coeficientes de mineralización de las capas de escombros, limonita y serpentina respectivamente, ya que, debe cumplirse que el coeficiente de mineralización de la capa de escombros sea pequeño en relación con el coeficiente de mineralización de la capa de limonita y de la capa de serpentina, pues, como se sabe, la limonita y la serpentina representan los horizontes de la corteza de intemperismo que son explotados con fines económicos.-

Análisis, discusión e interpretación de los resultados

Analizando los resultados correspondientes a los coeficientes de mineralización que se ilustran en el anexo 2, podemos decir que los valores máximos de coeficientes de mineralización corresponden a la capa de limonita, llegando dicho valor, en muchos casos, a la unidad, lo cual es beneficioso desde el punto de vista económico.-

Los coeficientes de mineralización de la capa de escombros son tanto altos como bajos, los valores altos oscilan aproximadamente de 0,85 a 1,00 y los valores bajos están en un rango de 0,30 a 0,60, ver anexo 2.-

Los coeficientes de mineralización de la capa de serpentina son por lo general bajos, oscilando entre 0,30 y 0,70; aunque se presentan algunos valores aislados altos como por ejemplo en los --

bloques 0-20 y 0-21, ver anexo 2.

4.4 Productividad lineal relativa

La importancia de calcular las productividades lineales relativas radica en que mediante su representación gráfica se visualizan fácilmente las zonas de acumulación óptima de cada elemento en un corte vertical de la corteza de intemperismo. Además, sirven para el estudio de la movilidad relativa de los principales elementos que componen la corteza de intemperismo.

La productividad lineal relativa se calcula mediante la multiplicación del coeficiente de acumulación de cualquier elemento químico, por el espesor medio del horizonte aislado, por el coeficiente de mineralización y por el peso volumétrico del tipo del mineral en cuestión (escombros, limonita o serpentina).

Es necesario aclarar que el término " mineral " aquí empleado es puramente tecnológico y no corresponde al concepto de mineral que da la Mineralogía.

La productividad lineal relativa se expresa en unidad de peso por unidad de área monífera (Ton/m^2).

Para calcular los coeficientes de acumulación necesarios para la determinación de las productividades lineales relativas se procedió a dividir el contenido medio de un elemento dado en un horizonte determinado entre el contenido de dicho elemento en la roca madre no alterada, en este caso la peridotita. Dicho coeficiente se expresa en unidades de fondo geoquímico. En nuestro trabajo se calcularon los coeficientes de acumulación del níquel en las capas de escombros, limonita y serpentina respectivamente. Este trabajo se realizó en cada uno de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí.

Los valores obtenidos en el cálculo de la productividad lineal relativa no pueden ni deben considerarse, aun, dentro de la categoría C_2 , no obstante, por la información que brindan, tienen gran importancia práctica y objetiva en los trabajos de búsqueda y exploración.

En el presente trabajo se calculó la productividad lineal relativa -

del níquel en el escombros, en la limonita y en la serpentina respectivamente, para todos los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí. Los pesos volumétricos de los tipos de minerales en cuestión fueron tomados de (16), los mismos son:

Lateritas u ocres inestructurales (escombros) _____ 1,59Ton/m³
 Ocres estructurales (limonita) _____ 1,16 "
 Serpentinatas nontronitizadas (serpentina) _____ 0,89 "

Se hace necesario aclarar que para la confección del anexo 3, sólo se utilizaron nueve bloques del Grupo V del Yacimiento Martí, el por qué de ello se explicará durante el desarrollo del siguiente epígrafe.

Se especifica que en el eje vertical de los gráficos correspondientes al anexo 3 se ha representado, en escala 1:100, cada uno de los espesores de los diferentes horizontes de la corteza de intemperismo que se desarrolla en los bloques en cuestión.

Análisis, discusión e interpretación de los resultados

Analizando los resultados expresados en el anexo 3, observamos, que para el Grupo V en general, se cumple que los mayores valores de productividad lineal relativa del níquel corresponden al horizonte de limonita, es decir, la limonita es el horizonte o la zona de acumulación óptima del níquel en el corte vertical de la corteza de intemperismo. Dichos valores se encuentran comprendidos aproximadamente en un rango de 6 a 20 Ton/m².

Respecto a los valores de productividad lineal relativa del níquel en la capa de escombros, podemos decir que se encuentran en un rango aproximado de 2 a 15 Ton/m², para el Grupo V en general. Los valores de productividad lineal relativa del níquel correspondientes al horizonte de serpentina pueden considerarse enmarcados en el rango de 1 a 12 Ton/m² de un modo aproximado, ver anexo 2. Es notable destacar que en algunos bloques del Grupo V en general, se observa que el valor de la productividad lineal relativa del níquel en el horizonte de serpentina supera al valor corres-

pendiente en la capa de escombros; sin embargo, la tendencia general en el grupo es contraria, es decir, en la mayoría de los bloques se puede observar que la productividad lineal relativa del níquel en el escombros excede a su valor correspondiente en la serpentina. Esto puede observarse claramente en el anexo 3, y también al analizar los valores de productividad lineal relativa del níquel que se presentan en el anexo 2.

Es significativo que la relación L:S (X) para el Grupo V en general tiende siempre a mantenerse mayor que 2:1, ver anexo 2. La relación óptima en el proceso tecnológico de la Planta de Nicaro es aproximadamente 2:1.

Al hacer una comparación simultánea entre los gráficos de -- productividad lineal relativa del níquel en los bloques S-13 y S-14 del Grupo I del Yacimiento Martí, Grupo I en general, Plancheta 11 de Pinares de Mayarí, todos en el anexo 4, y -- los gráficos de productividad lineal relativa del níquel en los bloques: O-20, O-21, O-22, P-20, P-21, P-22, Q-20, Q-21 y Q-22, todos del Grupo V del Yacimiento Martí, anexo 3, podemos inferir lo siguiente:

Se aprecian diferencias sustanciales entre los objetos comparados. En el caso de los bloques S-13 y S-14 del Grupo I y el Grupo I en general, se observa que la zona de acumulación óptima del níquel es el horizonte de serpentina, y además, la relación L:S es siempre mucho menor que 1.

Respecto al gráfico correspondiente a la Plancheta 11 de Pinares de Mayarí, observamos que la zona de acumulación óptima del níquel, dentro de los horizontes productivos es la capa de serpentina, y que la relación L:S es también menor

del Grupo I y que en el grupo antes mencionado en general.

Sin embargo, el comportamiento de los bloques que se comparan del Grupo V (anexo 3) es diferente. En dicho grupo, tanto en los bloques que se presentan en el anexo 3 como en el resto de los mismos, la zona de acumulación óptima del níquel es la capa de limonita y la relación L:S siempre es mayor que 1, incluso, en el caso del bloque Q-20 llega a ser 11,65 (ver anexo 3). Es decir, se observan marcadas diferencias entre el comportamiento de la acumulación del níquel en el Grupo V con relación al Grupo I y la Plancheta 11 de Pinares de Mayarí.

Por otra parte, analizando otros resultados que aparecen en -- (2), podemos conocer que en los bloques S-13 y S-14 del Grupo I del Yacimiento Martí se observa poco desarrollo y bajo coeficiente de mineralización en la capa de limonita, todo lo contrario de lo que ocurre en el Grupo V del Yacimiento antes mencionado, donde las menas limoníticas son las de mayor valor por ser las poseedoras de mejores propiedades geólogo-tecnológicas. Dentro de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí se hizo un análisis comparativo entre las productividades lineales relativas del níquel en el escombros, en la limonita y en la serpiente en los bloques minados respecto a los no minados, así como también se analizó la relación L:S. Todo esto se realizó con el objetivo de encontrar alguna tendencia predominante en el comportamiento de las productividades lineales relativas del níquel en uno y otro caso. Los resultados de este análisis fueron poco informativos, ya que no se observó ninguna tendencia que indicara una diferenciación entre los bloques minados y los no minados respecto a este aspecto.

Además, se analizó comparativamente la productividad lineal relativa del níquel en los bloques que estaban sobre conglomerados con respecto a la de los bloques que no lo estaban. En este caso tampoco se encontró una tendencia que marcara una diferencia significativa entre ambos.

Con el objetivo fundamental de seleccionar los mejores bloques del Grupo V, con vista a su posible explotación, se procedió a realizar la llamada jerarquización de bloques, teniendo en cuenta una serie de parámetros influentes y determinantes en el proceso de dicha selección. Además, esta selección de bloques, nos facilitó poder hacer un estudio más específico y detallado con los bloques que quedaron, luego de haber obtenido los resultados de la jerarquización. De este modo, se hizo más objetiva e ilustrativa la comparación de dichos bloques (como representantes del Grupo V en general) con los bloques S-13 y S-14 del Grupo I del propio Yacimiento Martí, así como con la Plancheta 11 de Finares de Mayarí.

Para realizar este trabajo se tomaron los valores medios, relaciones, coeficientes de correlación y otros estadígrafos y parámetros en cuestión. Dichas magnitudes fueron consideradas, y además se analizaron las condiciones geomorfológicas de los distintos bloques al igual que se tuvieron en cuenta las características geológicas, tanto cualitativas como cuantitativas, arrojadas por el mapeo en escala 1:10 000 que se realizó en el Yacimiento Martí por el graduando Lázaro Fernández durante la misma fecha que corresponde al presente trabajo de grado.

Es necesario aclarar que la selección de los mejores bloques se realizó combinando, de un modo general, cuantitativa y cualitativamente, un gran número de factores geológico-geoquímicos y tecnológicos que intervienen, directa o indirectamente, en la calidad del mineral que corresponde a cada uno de los bloques que constituyen el Grupo V del Yacimiento Martí.

Este ordenamiento o jerarquización fue ideado por el guía de este trabajo, Ing. Carlos A. Crombet H., con el fin de estudiar lo más objetivamente posible los problemas específicos planteados por las necesidades de la producción.

Entre los parámetros que se tomaron como determinantes o de una influencia marcada para seleccionar los mejores bloques, desde el punto de vista de una posible explotación con eficiencia considerable,

tenemos:

- a) Número de pozos de exploración perforados en cada bloque, condiciones geomorfológicas y geológicas del mismo.
- b) Relación entre la cantidad de pozos de exploración catalogados como no de balance, es decir, fuera de balance y no mineral, y la cantidad de pozos de exploración de balance dentro de un bloque de terminado,
- c) Contenidos industriales de los elementos útiles en la mena (esencialmente hierro y níquel).
- d) Relación entre el espesor de escombros y el espesor de limonita para cada bloque en particular.
- e) Contenidos de los componentes dañinos en la mena (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO).
- f) Relación entre las productividades lineales relativas del níquel - en el horizonte de limonita y en el horizonte de serpentina respectivamente.
- g) Relación entre los coeficientes de mineralización de los diferentes horizontes de la corteza de intemperismo (escombros, limonita, serpentina).

Entre otros parámetros que se tuvieron en cuenta para realizar la jerarquización, y que se consideraron de una influencia relativamente menor, podemos mencionar:

- a) Variabilidad relativa de los contenidos de elementos meníferos en los horizontes de limonita y serpentina, así como la variabilidad relativa del espesor de cada uno de los mismos.
- b) Coeficientes de correlación calculados para los distintos pares de elementos útiles (Fe-Ni, Fe-Co, Ni-Co) en las capas de escombros, limonita y serpentina respectivamente.

Es necesario aclarar que la clasificación que se hace en el presente trabajo, de parámetros determinantes o de mayor influencia y parámetros de influencia menor en la jerarquización de los bloques, es una clasificación basada fundamentalmente en las condiciones particulares de nuestro trabajo, y que no debe hacerse extensiva a la hora de

realizar este tipo de trabajo en otra área, la cual, de acuerdo a sus condiciones propias, requerirá un estudio adecuado.

Además, el orden en que aparecen enumerados los parámetros y condiciones considerados, no es un orden estricto en cuanto a su importancia, pues hay casos donde, de acuerdo a las condiciones particulares, no puede seguirse el orden planteado al citar los parámetros, relaciones y condiciones en cuestión.

Se aclara que para realizar la jerarquización se conjugaron los valores y las condiciones óptimas que debía reunir cada uno de los parámetros geológico-geoquímicos y tecnológicos considerados, y se escogieron como mejores aquellos bloques que presentaron las mejores combinaciones de dichos parámetros.

A continuación se detallarán las condiciones que se consideraron óptimas para cada uno de los parámetros por separado:

El número de pozos perforados en cada bloque nos puede dar cierto criterio acerca de las condiciones geomorfológicas del bloque en cuestión. Además, nos puede dar información respecto al grado de afloramiento de la roca madre y la presencia o no de la corteza de intemperismo, es decir, un pequeño número de pozos, generalmente, nos puede servir como índice para pensar en condiciones geomorfológicas complejas, o en un mayor grado de afloramiento de la roca madre y por tanto, pocas probabilidades de perforar corteza de intemperismo. Correlacionando estas características con la información que nos brinda la Geología del yacimiento podemos llegar a tener un buen criterio a la hora de efectuar la jerarquización de los bloques.

Analizando el mapa topográfico del Grupo V del Yacimiento Martí (anexo 1), observamos que los bloques con condiciones geomorfológicas más complejas, entre otros, son: S-22, S-21, U-21, R-25, W-19. Esto coincide con el pequeño número de pozos perforados en dichos bloques, y además, al consultar la Geología del yacimiento, comprobamos que en esos bloques el desarrollo de la corteza de intemperismo es muy limitado, es considerable el grado de afloramiento de la roca madre (ser-

pentinita) y la presencia de depósitos aluviales como en los casos -- de los bloques S-21, parte del W-18, W-20, etc.

Por otra parte, estudiando la Geología del vaciamento podemos conocer que hay bloques dentro del Grupo V que presentan una serie de características negativas en cuanto a su posible explotación con efectividad máxima. Así tenemos, por ejemplo, los bloques X-18, X-19, W-18, V-18, en los cuales se reporta un gran número de afloramientos de conglomerados. También de la Geología del vaciamento, puede conocerse la existencia, dentro del Grupo V, de una zona donde se presenta un desarrollo considerable de la corteza de intemperismo, dicha zona comprende, entre otros, a los bloques Q-20, Q-21, Q-22, P-20, P-21, Q-20.

Un parámetro de suma importancia utilizado para la jerarquización de los bloques fue la relación entre la cantidad de pozos de exploración catalogados como no de balance y la cantidad de pozos de explotación de balance dentro de un bloque determinado. Se deduce claramente que el valor de esta relación es un buen índice para conocer la calidad de las menas desde el punto de vista industrial.

Según (3, Pág. 3):

"Condiciones para el pozo":

"El espesor mínimo del mineral debe ser igual o mayor de 1,0m (lo mínimo dos muestras vecinas deben cumplir las condiciones dichas, por ejemplo 0,5 m de limonita y 0,5 m de serpentina). Los pozos -- que no lo cumplen son no mineral. Si el grado promedio del mineral (limonita más serpentina) de un pozo es igual o mayor que 1,1 % de níquel y 20,0 % de hierro, el pozo se evalúa como pozo de mineral-de balance. Si el grado promedio del níquel no llega a 1,1 % o si el grado de hierro es más bajo de 20,0 %, el pozo se evalúa como fuera de balance!"

Como valores óptimos de la relación pozos no de balance: pozos de balance en un determinado bloque, se tomaron los valores más pequeños que son los que indican una mayor cantidad de pozos de mineral-de balance dentro del bloque. Analizando los resultados correspon--

dientes que se brindan en el anexo 2, observamos que hay bloques donde la relación en cuestión es considerablemente elevada como por ejemplo en los bloques P-24, R-25, W-18, S-21, S-22, lo cual nos señala que, - posiblemente, en dependencia del comportamiento de estos bloques en lo que respecta a los demás parámetros considerados, aparezcan entre los recomendados en nuestro trabajo como bloques menos perspectivas en --- cuanto a una posible explotación con eficiencia elevada. Sin embargo, - es notable , que dentro del Grupo V en general, dicha relación no tien de a ser elevada, y se presentan bloques como: O-20, O-21, P-20, Q-19, - donde esta relación es mínima, incluso en el caso del bloque O-20, todos los pozos de exploración perforados resultaron ser de balance, ver anexo 2.

El análisis de los contenidos de elementos útiles en la mena reviste - mucha importancia en la evaluación de la calidad de un determinado blo que.

De acuerdo al proceso tecnológico de la Planta de Nicaro, los conteni dos industriales de los elementos útiles en la mena, según (3, Pág.1), deben ser, de acuerdo al horizonte tecnológico de que se trate:

Limonita: $\geq 1,0$ % Ni ; $\geq 85,0$ % Fe

Serpentina: $\geq 1,2$ % Ni ; $\geq 12,0$ < 35,0 % Fe

Luego de analizar estas condiciones, ver anexo 2, se detectaron blo--- ques cuyos contenidos medios no cumplían los requisitos necesarios para ser considerados industriales, entre los mismos podemos citar a los bloques P-24, R-21, R-25, S-21, S-22.

La relación espesor de la capa de escombros : espesor de la capa de limonita en cada bloque sirvió de buen índice de selección. De más está decir que un valor mínimo de esta relación representa una disminución notable de los gastos de recursos humanos y materiales y de tiempo durante la explotación de un determinado bloque o área en comparación -- con el caso contrario, es decir , un elevado valor de dicha relación. En el anexo 2 se puede observar que los valores más altos de la rela--- ción en cuestión correspondieron, entre otros, a los bloques Q-25, ---

W-18, W-19, P-24, S-22 . Los valores mínimos de esta relación aparecen en los bloques O-20, N-21, O-21, etc.

A continuación se hará referencia a lo relacionado con los contenidos de los componentes dañinos en la mena (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO).

De (2, Pag. 27) se tomaron los contenidos permisibles de Al_2O_3 y MgO : entre 4 y 6 % en el primero y alrededor del 2 % en el segundo. Respecto al contenido de SiO_2 , se procedió a ordenar los bloques en sentido creciente de su contenido de sílice; en general dichos valores oscilan alrededor del 2 al 12 %, ver anexo 2; en nuestro trabajo se tuvo en cuenta que los bloques seleccionados como más perspectivas para la explotación, no presentaran valores altos de SiO_2 . Es conocido que la sílice influye negativamente tanto en los procesos mecánicos como tecnológicos. Químicamente el elevado contenido de sílice -- influye en la basicidad-acidez del medio en el cual se procesan los minerales. La sílice en forma combinada o en forma libre, por sus características, especialmente su dureza, afecta a los equipos de molienda de la Fábrica.

Analizando los resultados al respecto, anexo 2, vemos que los contenidos de Al_2O_3 que se alejan, de un modo significativo, del valor permisible, se presentan en los bloques T-21 y V-19; mientras que los contenidos de MgO más elevados corresponden a los bloques U-21 y P-22.

Respecto a la sílice podemos señalar que los mayores valores aparecen en los bloques S-19 y P-22. Además, durante los itinerarios geológicos se observó la presencia de una considerable cantidad de cantos y fragmentos de sílice libre, los cuales se concentran fundamentalmente hacia la parte noroeste del Grupo V, esencialmente en lo que comprende a los bloques X-18, X-19, W-19 y parte del V-19.

*Si se hace un previo análisis del total de los parámetros hasta ahora vistos, se podrá observar, que ya se ven una serie de bloques donde se conjugan los valores óptimos de la mayoría de los parámetros analizados, y a su vez, otro grupo de bloques que presentan valores menos deseados de esos mismos parámetros, con vista a una posible explotación.

tación racional de dichos bloques .

Respecto a la productividad lineal relativa del níquel, diremos lo siguiente . La relación óptima productividad lineal relativa del níquel en la limonita : productividad lineal relativa del níquel en la serpiente , de acuerdo al proceso tecnológico de la Planta de Nicaro, debe ser aproximadamente 2 : 1 . Analizando los resultados correspondientes que se presentan en el anexo 2 , observamos , como una tendencia general para el Grupo V , que esta relación (L : S) siempre es mayor que 2 : 1 , incluso en muchos casos se aleja de la relación óptima ; pero siempre excediéndola , como por ejemplo en los bloques Q-20 , S-19 , S -22 , P-22 , Q-21 , etc. En estos casos lo que se hace es ligar el mineral de estos bloques con el de otros cuya relación L : S sea menor , para de este modo conseguir la relación L : S óptima que satisfaga el proceso tecnológico de la Planta de Nicaro .

El coeficiente de mineralización es un parámetro de importancia para la resolución de problemas geológicos , geoquímicos, de búsqueda , exploración , cálculo y evaluación de reservas , etc.

Los mayores valores del coeficiente de mineralización en los horizontes productivos (limonita y serpentina) son un buen índice para la valoración de las menas .

Se trató de conjugar valores altos de coeficientes de mineralización de la limonita con respecto a la serpentina , pues el coeficiente de mineralización interviene proporcionalmente en la productividad lineal relativa , y de este modo se puede obtener una relación L : S que no esté en contradicción con el proceso tecnológico de la Planta . Con respecto al coeficiente de mineralización de la capa de escombros podemos decir que no se hizo un estudio profundo , ya que el escombros , por lo general , no se utiliza como un horizonte productivo de la corteza de intemperismo .

Entre los parámetros considerados de una influencia menor, para realizar la jerarquización , tenemos la variabilidad relativa (coeficiente de variación) de los contenidos de los elementos meníferos en los dife

rentes horizontes, así como la variabilidad relativa de los espesores de los mismos. Un coeficiente de variación bajo indica homogeneidad en cuanto a la distribución del elemento en cuestión en un horizonte determinado; en el caso de los espesores, indica homogeneidad en la distribución de su valor en un área dada. Por lo cual, se utilizan los valores bajos de la variabilidad relativa como buenos indicadores de la calidad de un bloque determinado.

Respecto a los coeficientes de correlación calculados para los distintos pares de elementos útiles (Fe-Ni, Fe-Co, Ni-Co) en los diferentes horizontes, podemos decir que se manejaron de un modo complementario a la hora de decidir sobre la calidad de bloques con comportamiento similar en lo referente a los demás parámetros y condiciones analizadas.

Como vemos, la jerarquización no es nada fácil, ya que son más de 50 parámetros a combinar, aparte de las consideraciones cualitativas. Por estas razones, aunque los pasos dados han sido útiles y necesarios, -- consideramos que estos criterios pueden y deben perfeccionarse para elevar la efectividad de los trabajos propuestos.

Luego de hacer un análisis minucioso de todos los parámetros y condiciones consideradas para realizar la jerarquización de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí y además, luego de realizar todas las combinaciones posibles de los mismos, buscando las mejores en un sentido general, completo, llegamos a establecer un orden dentro de los bloques del Grupo V en cuanto a su calidad desde el punto de vista de poder ser explotados con la máxima eficiencia. Este trabajo arrojó como posibles mejores bloques, (en orden decreciente de calidad), los siguientes: C-20, C-21, Q-19, Q-20, P-20, R-20, Q-22, Q-21, P-21, N-21. De acuerdo al análisis realizado, entre los bloques que han resultado con menos perspectivas, desde el punto de vista de una posible explotación eficiente, se encuentran los bloques: P-24, S-22, S-21, R-25, R-21, W-18.

En la tabla II se presenta la serie de jerarquización de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí, los mismos se encuentran dispuestos en orden decreciente de su calidad, de acuerdo al análisis llevado a

TABLA II

Serie de jerarquización de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí -
(en orden decreciente de su calidad).-

Número de Orden	Bloque	Número de Orden	Bloque
1	Q-20	21	T-18
2	Q-21	22	P-19
3	Q-19	23	S-20
4	N-20	24	T-20
5	Q-20	25	U-20
6	P-20	26	T-19
7	R-20	27	S-19
8	Q-22	28	U-21
9	Q-21	29	R-22
10	P-21	30	P-23
11	N-21	31	Q-22
12	V-18	32	Q-25
13	U-19	33	W-20
14	U-18	34	W-18
15	V-19	35	R-21
16	R-18	36	R-25
17	R-19	37	S-21
18	P-22	38	S-22
19	W-19	39	P-24
20	T-21		

efecto con los mismos.

Se hace necesario aclarar, que esta es una conclusión a la que se ha -
llegado durante el desarrollo del presente trabajo, y a fin de cumplir
compromisos contraídos con la Empresa Comandante René Ramos Latour; pe-
ro, a fin de garantizar una correcta valoración de estos resultados se
propone verificar las proposiciones hechas con las investigaciones que
realiza la Empresa Comandante René Ramos Latour relacionadas con este
aspecto en particular. Además, consideramos que sería de utilidad el -
recálculo y la reevaluación de las reservas correspondientes, al igual
que realizar un muestreo tecnológico con vista a tener una idea mas --
precisa y confiable acerca de la calidad de las menas en el área com--
prendida por los bloques en cuestión, para determinar si en definitiva
o no la explotación resulta eficiente.

Con la finalidad de presentar, de un modo más ilustrativo, las caracte-
rísticas peculiares de cada uno de los bloques que resultaron con mejo-
res posibilidades para su posible explotación, luego de haberse reali-
zado la jerarquización de todos los bloques del Grupo V del Yacimiento
Martí, se ha confeccionado la tabla III, donde se brindan los valores
correspondientes de los principales parámetros considerados durante el
proceso de dicha selección. Se aclara, que además de los parámetros --
que aparecen tabulados, se tuvieron en cuenta las condiciones geomorfo-
lógicas y características geológicas en general, de cada uno de los --
bloques, así como algunos otros parámetros complementarios.

Se especifica que dentro de los bloques seleccionados aparecen algunos
que ya han sido minados, como es el caso de los bloques R-20, parte --
del bloque G-20 y el bloque N-21.

Con el objetivo de ilustrar de un modo más representativo los trabajos,
tanto geomatemáticos como geoquímicos, así como con la intención de --
obtener un área regular donde se detalle en mayor grado los restantes
métodos aplicados en nuestro trabajo, se procedió a escoger un área den-
tro del Grupo que reuniera las mejores condiciones en un sentido gene--
ral. Para ello, ante todo se dió prioridad a los bloques que resultaron

Tabla III

Principales parámetros geológicos - geoquímicos y tecnológicos de los bloques parquíseos.

B L O C O S	POZOS PERFO- RADOS.	B/B	Elementos						h (E)/ h (L)	Componentes de Sílica.						L:S	Cen (Coeficiente de micarización)		
			Limonita			Serpentina				Limonita			Serpentina				B	L	S
			Al	Fe	Co	Al	Fe	Co		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO				
			%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%				
0-20	70	0,60	1,31	46,41	0,09	1,50	22,93	0,35	0,41	3,45	3,79	2,54	-	-	-	1,34:1	0,46	1,00	0,93
0-21	83	0,61	1,27	46,15	0,09	1,56	20,81	0,04	0,54	6,35	6,32	3,45	-	-	-	1,34:1	0,51	0,95	0,83
0-19	68	0,13	1,30	47,99	0,12	1,30	24,55	0,08	0,67	3,69	4,50	1,53	23,45	2,27	18,67	7,74:1	0,81	1,00	0,43
0-20	85	0,25	1,17	49,82	0,10	1,31	24,23	0,09	0,92	3,16	5,55	0,93	26,58	2,15	20,73	11,65:1	0,76	1,00	0,26
P-20	79	0,22	1,17	47,28	0,09	1,54	21,63	0,06	1,21	5,40	5,88	2,69	26,41	2,18	15,30	3,67:1	0,53	0,90	0,51
R-20	83	0,24	1,20	48,35	0,12	1,33	24,68	0,06	0,83	5,33	4,41	1,24	21,65	1,95	17,50	5,30:1	0,38	0,96	0,54
0-22	65	0,35	1,16	48,43	0,10	1,30	23,66	0,76	0,72	2,46	4,43	1,40	-	-	-	4,32:1	0,71	0,95	0,49
0-21	45	0,41	1,18	47,15	0,09	1,35	24,44	0,06	0,39	4,25	3,33	1,65	29,77	2,82	25,20	0,53:1	0,33	0,23	0,24
P-21	54	0,46	1,17	49,64	0,11	1,36	23,55	0,07	0,78	2,46	4,37	2,35	-	-	-	5,15:1	0,78	0,96	0,55
N-21	15	0,15	1,24	44,22	0,08	1,24	25,70	0,04	0,45	3,36	3,87	1,40	23,45	0,50	12,50	7,08:1	0,13	0,93	0,27

B/B : Relación pozos no de balance: pozos de balance

h(E)/
h(L)

: Relación en espesor de escudo: espesor de limonita.

mas perspectivas mediante la jerarquización y que no habían sido totalmente minados, además se incluyeron en dicha área bloques como el Q-22, el cual no dió buenos resultados durante la jerarquización, al igual que el bloque P-22; que, aunque resultó ser mejor que el Q-22, no quedó entre los mejores bloques del Grupo V.

De este modo se escogió el área abarcada por los bloques: C-20, C-21, C-22, P-20, P-21, P-22, Q-20, Q-21 y Q-22, que en lo adelante constituirá nuestro objeto fundamental de trabajo, y servirá como un área patrón para ser comparada con otros grupos del propio Yacimiento Martí, así como, si es posible, con otros yacimientos.

Dentro de esta área, de acuerdo a sus características peculiares, se seleccionaron los bloques C-20, C-21 y Q-20 como bloques modelos dentro del Grupo V para continuar el desarrollo del presente trabajo.

4.6 Cálculo del tipo de distribución de los datos muestrales.-

La elección del modelo de distribución de los datos muestrales es de gran utilidad, ya que, para la aplicación de cualquier criterio o emplear cualquier modelo geomatemático es necesario, entre otras condiciones, conocer el tipo de distribución de los parámetros en cuestión. El cálculo del tipo o modelo de distribución de los datos muestrales se realizó para los contenidos de níquel y de hierro en los horizontes de limonita y serpentina respectivamente, así como para los espesores de dichos horizontes. Este trabajo se limitó a los bloques C-20, C-21 y Q-20, como bloques representativos del Grupo V del Yacimiento Martí. Se aclara, que con el objetivo fundamental de encontrar una tendencia general para el Grupo V, en lo referente al tipo de distribución de los elementos meniferos (Ni, Fe), así como al tipo de distribución del espesor del horizonte, se calcularon dichas distribuciones para varios bloques en el horizonte de limonita, el cual es el de mayor importancia como horizonte productivo en el Grupo V. Los bloques a los cuales se les hizo este trabajo fueron: P-20, R-20, T-19, T-20, U-18, U-19, V-19.

Para hallar el tipo de distribución muestral se utilizaron dos métodos:

- a) Método gráfico con la aplicación del Criterio de Kolmogorov.-
- b) Método analítico de la Asimetría y el Exceso.-

A continuación se hará referencia a cada uno de los métodos por separado:

- a) Método gráfico con la aplicación del Criterio de Kolmogorov.-

Este método es aplicable sólo en el caso de que los datos muestrales se encuentren agrupados en intervalos de clase, es decir, se utiliza para calcular el tipo de distribución de muestras de medianas a grandes.

El método gráfico tiene ventajas sobre el método analítico empleado para hallar el tipo de distribución en el caso de datos agrupados (Método χ^2) en lo que se refiere a la rapidez y sencillez de

su utilización; no obstante, el método analítico, a pesar de ser algo laborioso, brinda resultados más confiables.

La esencia del método gráfico para conocer el tipo de distribución de los datos muestrales radica en el análisis comparativo de los gráficos de frecuencia acumulada porcentual que se obtienen en el papel probabilístico normal (P P N) (X) y en el papel probabilístico lognormal (P P L) (X) respectivamente. Ambos gráficos pueden representarse conjuntamente en el patrón de probabilidades de N.K. Razumovsky (modelo GEU-71) (X), ver anexo 5.

Con el objetivo de brindar las características operativas e interpretativas del método gráfico (con la aplicación del Criterio de Kolmogorov) para hallar el tipo de distribución de los datos muestrales, se desarrollará un ejemplo representativo, el cual corresponde a la distribución del níquel en el horizonte de serpentina, en el bloque C-21. Para ilustrar dicho ejemplo se ha confeccionado el anexo 5. En dicho anexo se presentan los gráficos para determinar el tipo de distribución del níquel en la serpentina. Para el trazado de los mismos se ploteó el punto medio del intervalo en cuestión contra el % de frecuencia acumulada correspondiente. Esto se hizo tanto en la escala logarítmica (línea de la izquierda) como en la escala normal (línea de la derecha).

La confección del anexo 5 está basada en los datos que aparecen a continuación, los cuales se refieren al contenido de níquel en la serpentina en el bloque C-21:

(X) Según modelos del Laboratorio de Geomatemática de la Filial - Minero-Metalúrgica de la Universidad de Oriente.

No. de Orden	Intervalo		Xi	fi	fa	fa (%)
	Desde	Hasta				
1	1,00	1,20	1,10	3	3	4,35
2	1,20	1,40	1,30	13	16	23,19
3	1,40	1,60	1,50	26	42	60,37
4	1,60	1,80	1,70	15	57	82,61
5	1,80	2,00	1,90	10	67	97,10
6	2,00	2,20	2,10	2	69	100,00

Donde: Xi: Punto medio o marca de clase del i-ésimo intervalo.

fi: i-ésima frecuencia en el i-ésimo intervalo.

fa: frecuencia acumulada simple.

fa(%): frecuencia acumulada porcentual.

Del simple análisis de los gráficos del anexo 5 podemos observar -- que, en la línea de la derecha los valores están más agrupados alrededor de la recta que en la línea de la izquierda, no obstante, - en el gráfico de la derecha se nota que el punto Q se aleja algo de la línea recta.

La estadística-matemática nos brinda un criterio que nos permite de finir esta situación. Es decir, necesitamos comprobar si el contenido de níquel en la serpentina (en el bloque 0-21) se distribuye de acuerdo a la ley normal o a la ley normal logarítmica (lognormal) - teniendo como base los gráficos que se presentan en el anexo 5. Dicho criterio es el Criterio de Kolmogorov, el cual se aplica, precisamente, en los casos donde al utilizar el método gráfico para determinar el tipo de distribución muestral, se presentan dudas a la hora de elegir uno u otro tipo de distribución de los datos muestrales (normal o lognormal).

A continuación se explican las peculiaridades, características operativas e interpretativas del Criterio de Kolmogorov, y su aplicación en el ejemplo que se desarrolla.

Para la aplicación del Criterio de Kolmogorov se utiliza la siguiente

te fórmula:

$$\lambda = \frac{\Delta y \sqrt{N}}{100}$$

Donde: λ : valor del Criterio de Kolmogorov.

Δy : diferencia máxima entre valores teóricos y empíricos.

N : tamaño de la muestra.

Las propiedades del Criterio de Kolmogorov son tales, que si al valor λ obtenido le corresponde una probabilidad $P(\lambda)$, menor que 0,05, lo cual sucede para un valor de λ mayor que 1,35, esto indica que existen discrepancias entre la distribución empírica y la distribución teórica de los datos muestrales, por lo tanto no se acepta el tipo de distribución que se está probando (ya sea la normal o la normal-logarítmica). Si λ es menor que 1,35, esto implica que $P(\lambda)$ es mayor que 0,05 y por lo tanto no hay diferencias significativas entre la distribución teórica y la empírica, por lo cual, se acepta el tipo de distribución de los datos muestrales que se consideró.

Si en ambos casos, es decir, si al probar el modelo o tipo de distribución normal y el tipo de distribución lognormal con los datos en cuestión, encontramos valores de λ menores que 1,35, tomaremos como tipo de distribución aquel que corresponda al valor de λ mínimo, que sería el que más se aleja del valor crítico (1,35), o se aplica el método analítico para hallar el tipo de distribución muestral en el caso de datos agrupados en intervalos de clase (método χ^2).

El Criterio de Kolmogorov se aplica al punto que presente mayor diferencia entre los valores teórico y empírico, es decir, dicho criterio se aplica al punto o los puntos que no caigan en la línea recta y que presenten mayor diferencia de ordenadas.

En el ejemplo que se desarrolla, ver anexo 5, se le aplicó el Criterio de Kolmogorov a los puntos F y Q, el primero corresponde al caso de una distribución lognormal y el segundo corresponde al ca

so de una distribución normal. Con respecto al punto P tenemos lo siguiente:

$$\Delta y = 92,50 - 82,61 = 9,89$$

$$\sqrt{N} = \sqrt{69} = 8,31$$

$$\lambda = 0,82$$

Aplicando el Criterio de Kolmogorov al punto Q:

$$\Delta y = 60,87 - 52,00 = 8,87$$

$$\sqrt{N} = \sqrt{69} = 8,31$$

$$\lambda = 0,74$$

Como vemos, ambos valores son menores de 1,35; pero λ del punto Q se aleja más del valor crítico, por lo que tomamos como tipo de distribución muestral para el contenido de níquel en la serpentina en el bloque C-21, la distribución normal.

b) Método de la Asimetría y el Exceso.-

El método analítico de la Asimetría y el Exceso para conocer el tipo de distribución de los datos muestrales se utiliza en los casos de muestras pequeñas a medianas (menores de 100 casos), para datos no agrupados. Este método se utiliza lo mismo para la elección del modelo normal que para la elección del modelo lognormal de distribución; en ambos casos las características operativas e interpretativas del método son semejantes, sólo existe diferencia en cuanto a las fórmulas empleadas para uno y el otro caso.

La metodología que se ha seguido en nuestro trabajo, es comprobar -- primero si los datos muestrales en cuestión se distribuyen de acuerdo a la ley normal, de no ser así, se ha pasado a probar si cumplen con la ley lognormal de distribución.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la media aritmética, la varianza y la desviación standard, en el caso de aplicar el método de la Asimetría y el Exceso para la elección del modelo normal de distribución, son las fórmulas 3.3, 3.5 y 3.6 respectivamente, que

aparecen en la relación de fórmulas que se presenta al final del trabajo. Además en este caso, necesitamos calcular la evaluación del primer momento (fórmula 8.11), la evaluación del coeficiente de asimetría (fórmula 8.12), la medida de la asimetría (fórmula 8.13) -- y la medida del exceso (fórmula 8.14). Es necesario aclarar que para calcular la medida de la asimetría y la medida del exceso hay -- que hacer uso de (7, anexo 3), para, de acuerdo al tamaño de la muestra n , hallar los valores de la esperanza matemática de la evaluación del primer momento (M_d), desviación standard de la evaluación del primer momento ($\sqrt{D_d}$) y desviación standard de la evaluación del coeficiente de asimetría ($\sqrt{D_{\delta_1}}$).

Luego de calculadas la medida de la asimetría y la medida del exceso para los datos muestrales en cuestión, se procede a la comprobación de hipótesis.

Si tanto el módulo de la medida de la asimetría como el módulo de la medida del exceso, resultan igual o menores que 1,96 ~~niveles de significación~~, para un nivel de significación de 0,05, entonces, se cumple la hipótesis de nulidad, lo cual nos indica que la distribución de los datos muestrales no está en contradicción con la distribución teórica y por lo tanto se acepta el modelo normal de distribución muestral.

Si el módulo de la medida de la asimetría, o el módulo de la medida del exceso, o ambos a la vez, resulta mayor que 1,96, se cumple la hipótesis alternativa. Esto debe interpretarse como que existe contradicción entre los datos empíricos y teóricos, por lo que no se acepta el modelo de distribución normal de los datos muestrales. En este caso se procede a aplicar el método de la Asimetría y el Exceso para la elección del modelo lognormal de distribución muestral. Durante el desarrollo de este método, para el cálculo de la media aritmética logarítmica de los datos muestrales en cuestión se utilizó la fórmula 8.15, para el cálculo de la varianza logarítmica se hizo uso

de la fórmula 8.16, para calcular la desviación standard logarítmica se empleó la fórmula 8.17. Además, fue necesaria la evaluación logarítmica del primer momento (fórmula 8.18) y del coeficiente de asimetría (fórmula 8.19), con el objetivo de calcular la medida de la asimetría (fórmula 8.13) y la medida del exceso (fórmula 8.14). Se aclara, que al igual que en la aplicación del método de la asimetría y el exceso para la elección del modelo normal de distribución muestral, en este caso, también fue necesario el uso de (7, anexo 3), para, de acuerdo al tamaño de la muestra, encontrar los valores de: esperanza matemática de la evaluación del primer momento, desviación standard de la evaluación del primer momento y desviación standard de la evaluación del coeficiente de asimetría.

Una vez calculadas la medida de la asimetría y la medida del exceso se hizo la comprobación de hipótesis de forma análoga a la ya explicada durante la aplicación del método de la Asimetría y el Exceso para la elección del modelo normal de distribución de los datos muestrales en cuestión. De cumplirse la hipótesis de nulidad, se acepta el modelo lognormal de distribución muestral. De lo contrario, es decir, si se cumple la hipótesis alternativa, se rechaza el modelo lognormal de distribución de los datos muestrales. En este caso, es decir, si no se acepta ni el modelo normal ni el modelo lognormal de distribución de los datos muestrales, sería necesaria la aplicación de un método nuevo que nos permitiese elegir otro tipo de distribución que no fuese ni la normal ni la lognormal. Se especifica que esta situación no se presentó durante el desarrollo del presente trabajo, pues en nuestro caso, las distribuciones de los datos muestrales analizadas resultaron siempre ser normales o lognormales.

En la tabla IV se muestran los resultados obtenidos, luego de aplicar tanto el método gráfico (con la utilización del Criterio de Kolmogorov) como el método analítico de la Asimetría y el Exceso, con vista a encontrar el tipo de distribución de los elementos meníferos (Mn, Fe) en los horizontes de limonita y serpentina, así como el tipo de distribu-

Tabla IV

Tipos de distribución de los contenidos de níquel y de hierro en los horizontes de limonita y serpentina, así como de los espesores de dichos horizontes, en los bloques, 0-20, 0-21 y 0-22

BLOQUE	-L I M O N I T A-			-S E R P E N T I N A-		
	Ni	Fe	Espesor	Ni	Fe	Espesor
0-20	Logn	Logn	Logn	Logn	Logn	Normal
0-21	Logn	Normal	Logn	Normal	Logn	Normal
0-22	Logn	Logn	Normal	Normal	Normal	Logn

ción de los espesores de dichos horizontes para los bloques G-20, G-21, R-20.

Además, como anteriormente se mencionó, se calcularon los tipos de distribución del contenido de níquel y del contenido de hierro en el horizonte de limonita, al igual que el tipo de distribución del espesor de limonita en los bloques: F-20, R-20, T-19, T-20, U-18, U-19 y V-19. En todos estos casos se utilizó el método gráfico con la aplicación del Criterio de Kolmogorov. Analizando los resultados obtenidos respecto a los tipos de distribución para estos bloques observamos que la tendencia general de la distribución de los contenidos de níquel y de hierro en la limonita es hacia el tipo de distribución lognormal. Respecto al tipo de distribución del espesor de limonita, se nota que se presentan distribuciones normales y lognormales; pero en este caso predominan -- las normales.

Al observar los resultados que aparecen en la tabla IV notamos que en los bloques G-20, G-21 y R-20, los parámetros investigados se distribuyen de acuerdo a la ley normal y otros según la ley lognormal; pero la tendencia general que se presenta es la distribución de los parámetros en cuestión de acuerdo a la ley normal - logarítmica.

Generalizando todos los resultados obtenidos, en lo que respecta al tipo de distribución de los parámetros que se investigan, podemos decir que, dentro del Grupo V, hay parámetros (contenidos de elementos meníferos y espesores de horizontes productivos) que se distribuyen de acuerdo a la ley normal y otros cuyo tipo de distribución es la lognormal; pero se observa que existe el predominio del tipo de distribución normal logarítmica (lognormal) de los parámetros en cuestión, con relación al tipo de distribución normal de los mismos.

4.7 Aplicación del Criterio no paramétrico de Wilcoxon.

El Criterio no paramétrico de Wilcoxon se utilizó, en nuestro caso, para conocer si dos objetos geológicos determinados son o no homogéneos en cuanto a sus contenidos medios de un elemento químico dado.

En el presente trabajo se empleó este criterio para comparar los bloques C-20 y Q-20 del Grupo V del Yacimiento Martí en lo que se refiere a los contenidos de níquel y de hierro en los horizontes de ocreas estructurales (limonita) y serpentinitas nontronitizadas (serpentina) respectivamente.

Para realizar la elección de estos bloques (C-20 y Q-20) el argumento tomado fue el siguiente: dichos bloques resultaron перспекivos con vista a una posible explotación eficiente; además, ambos bloques presentan una buena cantidad de análisis químicos realizados, tanto en lo referente a elementos útiles como a componentes dañinos; por lo cual constituyeron el principal objeto de estudio tanto en lo correspondiente a Geomatemática como a Geoquímica.

El criterio W de Wilcoxon reúne una serie de características y condiciones para su empleo que se exponen a continuación:

- a) Se aplica para comparar dos objetos geológicos, y además, las muestras comparadas deben ser de medianas a pequeñas.
- b) La potencia del criterio poco depende de la ausencia de concurrencia de la distribución de los datos muestrales con la ley normal.
- c) Es un criterio no paramétrico y su aplicación es relativamente sencilla.
- d) Puede emplearse aún para resultados de análisis poco exactos.

Para la aplicación del Criterio no paramétrico de Wilcoxon es necesario construir una serie variacional (miembros ordenados de menor a mayor) de dos miembros. Estos miembros corresponden a los valores de las magnitudes casuales de cada una de las dos muestras comparadas. Luego de tener jerarquizados los miembros de la serie variacional, se

les da el rango y se procede a calcular los rangos corregidos para aquellos valores de la magnitud casual en cuestión que se repiten, ya que, cuando existen valores de la magnitud casual que se repiten, todos ellos deben tener el mismo valor de rango corregido.

Las fórmulas de trabajo y el desarrollo del método se presentan a continuación.

A.- Cálculo de la magnitud W .

$$W = \sum \tilde{r}$$

Donde: W : valor calculado del Criterio de Wilcoxon.

$\sum \tilde{r}$: Sumatoria de los rangos corregidos correspondientes a la muestra más pequeña de las dos que se comparan.

B.- Cálculo de los valores críticos del Criterio de Wilcoxon (W_1 y W_2)

Sea m el número de casos o tamaño de la muestra más pequeña de las dos que se comparan; y n el número de casos o tamaño de la muestra más grande.

Es necesario aclarar que para el cálculo de los valores críticos (W_1 y W_2) pueden darse dos situaciones:

B.1.- $m + n \leq 50$

B.2.- m y/o $n > 25$

En el primer caso ($m + n \leq 50$), el cálculo de los valores críticos del Criterio de Wilcoxon (W_1 y W_2) se efectúa haciendo uso de (7, anexo 6).

En el segundo caso (m y/o $n > 25$), para el cálculo de los valores críticos del Criterio de Wilcoxon (W_1 y W_2) se utilizan las fórmulas siguientes:

$$W_1 = \frac{1}{2} [m(m+n-1)] - \psi(1-\alpha/2) \sqrt{\frac{m \cdot n(m+n-1)}{12}}$$

$$W_2 = m(m+n-1) - W_1$$

Donde: W_1 : Valor crítico inferior del Criterio de Wilcoxon.

W_2 : Valor crítico superior del Criterio de Wilcoxon.

m : Tamaño de la muestra más pequeña

n : Tamaño de la muestra más grande.

$\psi(1-q/2)$: valor de la función de distribución normal-inversa, distribuida con parámetros 0 y 1; para un nivel de significación $q = 0,05$.

$$\psi(1-q/2) = 1,96$$

q : nivel de significación.

El valor calculado del Criterio de Wilcoxon, en todos los casos, se halla sumando los rangos corregidos de la muestra más pequeña.

Luego de conocer el valor calculado del Criterio de Wilcoxon, así como los valores críticos (W_1 y W_2) se procede a la comprobación de hipótesis.

Si $W_1 \leq W \leq W_2$, se cumple la hipótesis de Nulidad.

Si $W < W_1$ ó $W > W_2$, se cumple la hipótesis Alternativa.

En caso de cumplirse la hipótesis de Nulidad puede decirse que los objetos comparados son semejantes en cuanto al parámetro que se compara.

De cumplirse la hipótesis Alternativa, quiere decir esto, que los objetos comparados no son homogéneos en cuanto al parámetro de que se trate, es decir, hay diferencias entre uno y otro objeto geológico en cuanto al parámetro en cuestión.

Para la mayor comprensión de las características operativas e interpretativas de la aplicación del Criterio no paramétrico de Wilcoxon, a continuación se brinda un ejemplo donde se hace uso de éste.

EJEMPLO: Necesitamos conocer si los bloques C-20 y Q-20, ambos del Grupo V del Yacimiento Martí, pueden considerarse homogéneos con relación al contenido de hierro en el horizonte de serpentina. El tamaño de la muestra para el caso del contenido de hierro en el horizonte de serpentina en el bloque Q-20 es 22 y en el bloque C-20 es 65; es decir, $m = 22$, $n = 65$.

Para resolver la tarea planteada en el ejemplo, se aplicará el Criterio no paramétrico de Wilcoxon.

Ante todo, es necesario comprobar si las condiciones particulares del ejemplo se ajustan a las condiciones requeridas para la aplicación de dicho criterio; como se ve, en el caso de nuestro ejemplo esto se cumple.

Luego, se procede a confeccionar la serie variacional de los contenidos de hierro en la serpentina en los bloques C-20 y Q-20, tabla V, para lo cual, en primer término, se necesita ordenar dichos contenidos en sentido creciente de magnitud. Una vez jerarquizados los miembros de la serie variacional, se les da su rango respectivo, y se calcula el rango-correctado para los valores que se repiten en dicha serie. Es necesario darle el mismo valor de rango correctado a los valores que se repiten dentro de la serie variacional.

Contando ya con la serie variacional y miembros jerarquizados de la misma, se busca el valor calculado del Criterio de Wilcoxon, que no es más que la suma de los rangos correctados que corresponden a los contenidos de hierro en el horizonte de serpentina en el bloque Q-20.

$$W = \sum \tilde{r}$$

$$W = 6+7+11+17+22,5+23,5+23,5+\dots+32+33+35+36$$

$$W = 1112,5$$

En el ejemplo presentado n es mayor que 25, por lo que para calcular los valores críticos del Criterio de Wilcoxon se utilizarán las fórmulas siguientes :

$$W_1 = 1/2 [n(n+1)] - \psi(1-\alpha/2) \sqrt{\frac{n \cdot n(n+1)}{12}}$$

$$W_2 = n(n+1) - W_1$$

Sustituyendo los valores en las fórmulas :

$$W_1 = 747,53$$

$$W_2 = 1144,42$$

$$\therefore W_1 \leq W \leq W_2$$

De acuerdo al resultado anterior, vemos que se cumple la hipótesis de H_0 (igualdad), por lo que puede decirse que hay semejanzas entre los bloques C-20 y Q-20 con relación a su contenido de hierro en el horizonte de serpentina.

Los resultados obtenidos con la aplicación del Criterio de Wilcoxon en nuestro trabajo se presentan en la tabla VI. Analizando los mismos vemos que, en la mayoría de los casos, se cumple la hipótesis alternativa (H_1), por lo que no existen semejanzas entre los bloques C-20 y Q-20 en lo re-

TABLA V

Serie variacional de los contenidos de Fe en la serpentina en los bloques
0-20 y Q-20 y miembros jerarquizados de esta serie.-

Q-20 m = 22	0-20 n=65	Rangos	Rangos Corregidos
-	10,94	1	1
-	12,00	2	2
-	12,87	3	3
-	12,90	4	4
-	13,28	5	5
14,10	-	6	6
14,17	-	7	7
-	14,35	8	8,5
-	14,35	9	8,5
-	15,10	10	10
15,20	-	11	11
-	15,43	12	12
-	15,77	13	13
-	16,51	14	14
-	16,60	15	15
-	17,06	16	16
17,50	-	17	17
-	17,82	18	18
-	17,84	19	19
-	17,93	20	20
-	18,19	21	21
-	18,40	22	22,5
18,40	-	23	22,5
-	18,55	24	24
-	18,81	25	25,5
-	18,81	26	25,5
-	18,90	27	27
19,00	-	28	28,5
19,00	-	29	28,5
-	19,70	30	30
-	19,72	31	31
-	19,84	32	32
-	20,23	33	33
20,50	-	34	34
-	20,60	35	35

TABLA V (CONTINUACION)

Q-20 m = 22	Q-20 n = 65	Rangos	Rangos Corregidos
-	21,07	36	36
-	21,18	37	37
-	21,19	38	38
-	21,33	39	39
-	21,60	40	40
-	21,66	41	41
-	21,68	42	42
-	21,76	43	43
22,04	-	44	44
-	22,45	45	45
22,48	-	46	46
-	22,76	47	47
-	23,07	48	48
-	23,10	49	49
-	23,15	50	50
-	23,25	51	51
-	23,37	52	52
-	24,00	53	53
-	24,10	54	54
-	24,40	55	55
-	24,52	56	56
24,62	-	57	57
-	24,90	58	58
24,95	-	59	59
-	24,97	60	60
-	25,03	61	61
25,20	-	62	62
-	26,27	63	63
-	26,42	64	64
-	26,55	65	65
26,60	-	66	66
26,70	-	67	67
-	26,90	68	68
27,22	-	69	69
-	27,27	70	70
-	27,40	71	71
27,97	-	72	72
-	28,08	73	73

TABLA V (CONTINUACION)

Q-20 n=22	Q-20 n=65	Rangos	Rangos Corregidos
+	28,12	74	74
-	28,26	75	75
-	29,70	76	76,5
-	29,70	77	76,5
-	29,80	78	78
-	31,50	79	79
32,60	-	80	80
-	32,62	81	81
33,30	-	82	82
33,40	-	83	83
-	33,50	84	84
33,90	-	85	85
34,30	-	86	86
-	34,32	87	87

Tabla VI

Resultados obtenidos con la aplicación del Critério de Wilcoxon, para comparar los bloques 0-20 y 2-20, en lo que se refiere a los contenidos de Ni. y Fe. en los horizontes de limonita y serpentina respectivamente.

CAPAS	ELEMENTOS.	BLOQUE, n. s.	W	W1 ; W2	HIPOTESIS
L E M O	Ni	0-20 n = 70	W = 7182	W1 = 4848,39	H1
		2-20 n = 65		W2 = 5951,61	
N I M A	Fe	0-20 n = 70	W = 3664,50	W1 = 4848,39	H1
		2-20 n = 65		W2 = 5951,61	
S E R P E N T I N A.	Ni	0-20 n = 22	W = 590,50	W1 = 747,56	H1
		2-20 n = 65		W2 = 1144,42	
	Fe	0-20 n = 22	W = 1112,50	W1 = 747,56	H0
		2-20 n = 65		W2 = 1144,42	

ferente a la distribución de los contenidos de níquel en los horizontes de limonita y serpentina respectivamente, así como en lo relacionado con el contenido de hierro en el horizonte de limonita. Sin embargo, al comparar los bloques C-20 y Q-20 con respecto al contenido de hierro en la serpentina, observamos, que se cumple la hipótesis de nulidad (H_0), de donde se deduce que los bloques C-20 y Q-20 son homogéneos en cuanto a la distribución del hierro en el horizonte de serpentina.

CAUTIVOS V.A. CIRCUNSTANCIAS Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones correspondientes a los trabajos : " Aplicación de métodos geomatemáticos en el estudio geológico-geoquímico del Yacimiento Martí " y " Algunas características geoquímicas del Yacimiento Martí, Nicare, Oriente ", se han elaborado conjuntamente, ya que el objeto y el área estudiada han sido comunes en ambos casos, además, debido a la estrecha vinculación entre los temas tratados, se ha hecho necesaria la unificación de los resultados obtenidos, con la finalidad de brindar conclusiones y recomendaciones bien argumentadas y que puedan tener utilidad práctica-económica.

5.1.- CONCLUSIONES.-

A continuación se exponen las conclusiones que han sido consideradas como las de mayor importancia y significación en nuestros trabajos :

1.- Las menas limoníticas; dentro del Grupo V del Yacimiento Martí, son las de mayor importancia económica, predominando éstas sobre las menas serpentínicas.

1.1.- La limonita es el horizonte más potente dentro de los horizontes productivos en el citado grupo, alcanzando un espesor medio de 2,10m, mientras que el horizonte de serpentina posee un espesor o potencia media de 1,50m .

1.2.- Los mayores valores de coeficientes de mineralización que se presentan en el Grupo V corresponden al horizonte de limonita, mientras que los coeficientes de mineralización de la capa de serpentina son, por lo general, bajos; exceptuando algunos valores altos, entre los cuales pueden citarse, a modo de ejemplo, los correspondientes a los bloques C-20 y C-21, entre otros.

1.3.- Analizando los valores de la productividad lineal relativa del níquel en los diferentes horizontes de la corteza de intemperismo, dentro del Grupo V, observamos que los mayores valores corresponden al horizonte de limonita, es decir, que la limonita es la zona de acumulación óptima del níquel en dicho grupo. Este resultado se corrobora con la conclusión obtenida del análisis -

de los coeficientes de meniferación del níquel, de donde se desprende la existencia de una tendencia general de enriquecimiento de ese elemento en la capa de limonita y no en la capa de serpentina.

2.- Analizando comparativamente algunas características geológico-geoquímicas de los Grupos V y I del Yacimiento Martí podemos señalar :

2.1.- En las capas productivas (limonita y serpentina) del Grupo V, - existe una menor concentración de níquel que en las mismas capas del Grupo I . Este resultado se refleja claramente en los espectros geoquímicos y en los coeficientes de meniferación del níquel para dichas áreas.

2.2.- Respecto al contenido de sílice puede decirse, que se ha detectado una menor concentración de ese componente perjudicial en las capas productivas del Grupo V, con relación a las del Grupo I.

2.3.- El manganeso se encuentra más concentrado en los tres horizontes (escombros, limonita y serpentina) del Grupo I, que en los del Grupo V.

2.4.- Los mayores valores de los coeficientes de mineralización y de productividad lineal relativa del níquel dentro de los horizontes productivos en el Grupo I, corresponden al horizonte de serpentina, mientras que en el Grupo V corresponden al horizonte de limonita. Es decir, en el Grupo I predominan las menas serpentínicas sobre las limoníticas, ocurriendo lo contrario en el Grupo V.

2.5.- En el Grupo V del Yacimiento Martí, el espesor medio de escombros es menor que en el Grupo I.

3.- En sentido general, en el horizonte de limonita del Grupo V se observa que la distribución de los contenidos de elementos meníferos es más homogénea que en el horizonte de serpentina . Además, es notable que la variabilidad relativa de los espesores de cada uno de los horizontes de la corteza de intemperismo en dicho grupo, puede considerarse alta, no observándose diferencias muy significativas entre la variabilidad relativa de un horizonte con respecto a otro.

4.- La jerarquización realizada con los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí arrojó, como bloques con mejores perspectivas para la explotación, los siguientes : C-20, C-21, Q-20, Q-19, R-20; y como bloques de menores perspectivas económicas, en comparación con los anteriores: R-24, S-22, S-21, R-25, W-19, Q-25.

Se aclara, que cabe la posibilidad de que bloques que posean buenas cualidades geológico-geoquímicas y tecnológicas no aparezcan en dicha selección, al igual que puede ocurrir que dentro de los bloques seleccionados, exista alguna con unas cualidades no sean las óptimas. Esto se debe a lo difícil que resulta realizar una perfecta selección de bloques sobre la base del análisis y estudio profundo de una gran cantidad de parámetros e índices geológico-geoquímicos y tecnológicos indispensables para ello.

Los resultados planteados en esta conclusión, deben valorarse de acuerdo a lo señalado en la recomendación hecha al respecto.

5.2.- RECOMENDACIONES.-

Durante el desarrollo de nuestros trabajos, han surgido toda una serie de inquietudes e inconvenientes que nos han llevado a formular algunas recomendaciones, que consideramos puedan reportar algún beneficio, tanto desde el punto de vista docente-investigativo, como para la producción. Entre ellas tenemos :

- 1.- Trabajos semejantes al presente, deben ser realizados en la etapa de exploración del yacimiento, con vista a obtener un conocimiento amplio del área a explotar, lo cual contribuirá, sin lugar a dudas, a la realización de una explotación más efectiva.
- 2.- Insistimos en la necesidad de aprovechar las ventajas que proporciona la utilización de un complejo de métodos geológicos, geofísicos, geoquímicos, técnicos (perforaciones, pozos criollos, laboreos mineros, etc.), con el fin de lograr resultados más exactos, objetivos y confiables, elevando al máximo el nivel científico-técnico de los trabajos.
- 3.- Debe realizarse, en la medida de lo posible, un mayor volumen de análisis químicos de muestras compósitas en los diferentes grupos del Yaci-

Yacimiento Martí, es decir, muestrear una mayor cantidad de pezas por bloque, con vista a obtener una información más exacta sobre las características geoquímicas del área que se estudie, sobre todo en lo referente a los contenidos de componentes dañinos (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO).

- 4.- Debido a la influencia que poseen los contenidos no permisibles de componentes perjudiciales en el proceso tecnológico de la Planta de Nicaro, consideramos importante confeccionar, en trabajos futuros, cartas de isocontenidos de dichos componentes. En nuestros trabajos éstas no pudieron realizarse, ya que no contábamos con suficiente cantidad de datos para ello.
- 5.- A fin de garantizar una correcta valoración de los resultados obtenidos con la jerarquización de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí, se propone que los criterios emitidos al respecto pueden y deben verificarse con las investigaciones que realiza la Empresa Comandante René Ramos Latour relacionadas con este aspecto, para de este modo elevar la efectividad de los trabajos propuestos. Para esto, consideramos que sería de utilidad el recálculo y la reevaluación de las reservas correspondientes a los bloques considerados con mejores y peores perspectivas para la explotación respectivamente, al igual que realizar un muestreo tecnológico, con la finalidad de tener una idea más precisa y confiable acerca de la calidad y características tecnológicas de las menas en el área comprendida por los bloques en cuestión.

- I. Volumen de los trabajos de cálculos realizados.
- II. Serie de jerarquización de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí.
- III. Principales parámetros geológico-geoquímicos y tecnológicos de los bloques jerarquizados.
- IV. Tipos de distribución de los contenidos de níquel y de hierro en los horizontes de limonita y serpentina, así como de los espesores de dichos horizontes, para los bloques C-20, C-21 y Q-20 del Grupo V del Yacimiento Martí.
- V. Serie variacional de los contenidos de hierro en el horizonte de serpentina, en los bloques C-20 y Q-20, y miembros jerarquizados de esta serie.
- VI. Resultados obtenidos con la aplicación del Criterio no paramétrico de Wilcoxon, para los bloques C-20 y Q-20, en lo que se refiere a los contenidos de níquel y de hierro en los horizontes de limonita y serpentina respectivamente.

7. RELACION DE ANEXOS

1. Mapa topográfico del Grupo V del Yacimiento Martí en escala 1:5000
2. Principales parámetros geológico-geoquímicos y tecnológicos de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí.
3. Productividad lineal relativa del níquel. Grupo V, Yacimiento Martí.
4. Productividad lineal relativa del níquel en los bloques S-13, ---- S-14, Grupos I y V del Yacimiento Martí y en la Plancheta 11 de Pinares de Mayarí.
5. Gráfico para la determinación del tipo de distribución del contenido de Ni en la capa de serpentina en el bloque O-21

8. RELACION DE FORMULAS UTILIZADAS.

Amplitud del intervalo de clase:

$$m = \frac{X \text{ máx.} - X \text{ mín.}}{1 - 3,332 \log N} \quad 8.1$$

Media aritmética en datos agrupados en intervalos de clase:

$$\bar{X} = 1/N \sum_{i=1}^h f_i X_i \quad 8.2$$

Media aritmética en datos no agrupados:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad 8.3$$

Varianza en datos agrupados en intervalos de clase:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^h (X_i - \bar{X})^2 f_i \quad 8.4$$

Varianza en datos no agrupados:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \quad 8.5$$

Desviación Standard:

$$S = \sqrt{S^2} \quad 8.6$$

Desviación Standard de la media aritmética:

$$S_{\bar{X}} = \frac{1,96 S}{\sqrt{N}} \quad 8.7$$

Coeficiente de variación o variabilidad relativa:

$$K_v = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \% \quad 8.8$$

Coeficiente de correlación calculado:

$$r_c = \frac{n_I - n_{II}}{n_I + n_{II}} \quad 8.9$$

Coeficiente de correlación permisible:

$$r_p = \frac{\phi (1 - q)}{\sqrt{N}} \quad 8.10$$

Evaluación del primer momento:

$$d = \frac{1}{N \cdot S} \sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}| \quad 8.11$$

Evaluación del coeficiente de asimetría:

$$\hat{\delta}_1 = \frac{1}{N S^3} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^3 \quad 8.12$$

Medida de la asimetría:

$$t_1 = \frac{d - Md}{\sqrt{Dd}} \quad 8.13$$

Medida del exceso:

$$t_2 = \frac{\hat{\delta}_2}{\sqrt{D\hat{\delta}_1}} \quad 8.14$$

Media aritmética logarítmica:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^N \log X_i}{N} \quad 8.15$$

Varianza logarítmica:

$$S_{\log}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left[(\log X_i - \overline{\log X}) 10 \right]^2 \quad 8.16$$

Desviación standard logarítmica:

$$S_{\log} = \sqrt{S_{\log}^2} \log \quad 8.17$$

Evaluación logarítmica del primer momento:

$$d_{\log} = \frac{1}{N S_{\log}} \sum_{i=1}^N \left| (\log X_i - \overline{\log X}) 10 \right| \quad 8.18$$

Evaluación logarítmica del coeficiente de asimetría:

$$\hat{\delta}_{\log} = \frac{1}{N S_{\log}^3} \sum_{i=1}^N \left[(\log X_i - \overline{\log X}) 1000 \right]^3 \quad 8.19$$

Donde:

- m : amplitud del intervalo de clase
- $X_{\text{máx}}$: valor máximo de la magnitud casual en cuestión
- $X_{\text{mín}}$: valor mínimo de la magnitud casual en cuestión
- N : número de casos (tamaño de la muestra)
- \bar{X} : media aritmética
- f_i : i-ésima frecuencia en el i-ésimo intervalo
- X_i : punto medio o marca de clase del i-ésimo intervalo
- h : cantidad de intervalos
- X_i : valor i-ésimo de la magnitud casual
- S^2 : varianza
- S : desviación standard

$S_{\bar{X}}$: desviación standard de la media aritmética
K_v	: coeficiente de variación o variabilidad relativa
r_c	: coeficiente de correlación calculado
n_I	: suma de los valores de la variable que caen dentro del primer y tercer cuadrantes formados por la intersección de las dos medianas de las variables
n_{II}	: idem para el segundo y cuarto cuadrantes
r_p	: coeficiente de correlación permisible
$\Phi(1-q)$: función inversa de la distribución de Gauss. Para un nivel de significación de $q = 0,05$; $\Phi(1-q) = 1,96$
d	: evaluación del primer momento
$\hat{\gamma}_1$: evaluación del coeficiente de asimetría
t_1	: medida de la asimetría
M_d	: esperanza matemática de la evaluación del primer momento
$\sqrt{D_d}$: desviación standard de la evaluación del primer momento
t_2	: medida del exceso
$\sqrt{D_{\hat{\gamma}_1}}$: desviación standard de la evaluación del coeficiente de asimetría
$\overline{\log X}$: media aritmética logarítmica
S_{\log}^2	: varianza logarítmica
S_{\log}	: desviación standard logarítmica
d_{\log}	: evaluación logarítmica del primer momento
$\hat{\gamma}_{1\log}$: evaluación logarítmica del coeficiente de asimetría

9. BIBLIOGRAFIA

- (1) GANSADO E., CURSO DE ESTADISTICA GENERAL, Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1970.
- (2) CROMBET H. C. A., RUZ P., INFORME SOBRE LAS CARACTERISTICAS Y DISTRIBUCION DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS GEOLOGICO-GEOQUIMICOS DE LOS BLOQUES S-13 Y S-14 DEL GRUPO I DE LA MINA MARTI, NICARO, ORIENTE, Empresa Comandante René Ramos Latour, Nicaro, Oriente, 1974
- (3) DUDA J. DR., METODICA DE LOS CALCULOS EN LA EXTRACCION DEL MINERAL, Empresa Comandante René Ramos Latour, Departamento de Mina, Sección Desarrollo, Nicaro, 1970.
- (4) FERNANDEZ G. J., ESTADISTICA ELEMENTAL, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 1964.
- (5) HERNANDEZ E., CASTELLANOS S., Y OTROS, METALURGIA EXTRACTIVA DE LOS MINERALES OXIDADOS DE NIQUEL, Editorial Organismos, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1972.
- (6) HOEL PAUL G., ESTADISTICA ELEMENTAL, Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1971.
- (7) METODOS ESTADISTICOS DURANTE LAS BUSQUEDAS GEOQUIMICAS DE YACIMIENTOS - Academia de Ciencias de la URSS, Ministerio de Geología de la URSS, Instituto de Mineralogía, Geoquímica y Cristalografía de los Elementos Raros, Moscú, 1973, (Ed. en idioma ruso).
- (8) NOTAS DE CLASE, correspondientes a las asignaturas: Geoquímica y Métodos Geoquímicos de Búsqueda de los Yacimientos Minerales, impartidos por el Ing. Carlos A. Crombet H., Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1974.
- (9) PEREZ A., OPTIMIZACION DE LA RED DE EXPLORACION DEL AREA MARTI EN EL YACIMIENTO NICARO (tesis de grado), Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1972.

- (11) SEMINARIOS SOBRE GEOQUIMICA Y GEOMATEMATICA, Impartidos por el Ing. - Carlos A. Crambet H., Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 1975.
- (12) SPIEGEL R., TEORIA Y PROBLEMAS DE ESTADISTICA, Editorial Ciencia y - Técnica, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1971.
- (13) VERSHININ A. S., METODOS GEOQUIMICOS PARA LA BUSQUEDA DE YACIMIENTOS - MINERALES, Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad - de Oriente, Santiago de Cuba, 1971.
- (14) VERSHININ A. S., CROMBET H. C. A., PARTICULARIDADES GEOQUIMICAS DEL - YACIMIENTO MINARES DE MAYARI, Departamento de Yacimientos Mine - rales de la Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad - de Oriente, Santiago de Cuba, 1972.
- (15) VERSHININ A. S., CROMBET H. C. A., MURTADOS G. ALFREDO, AGEENZO. - N. F., CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA - Departamento de Yacimientos Minerales de la Escuela de Ingenie - ría Geológica de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1972.
- (16) VINENT F. J., PARTICULARIDADES GEOLOGICAS DEL YACIMIENTO MARTI, ORIEN - TE (tesis de grado), Escuela de Ingeniería Geológica de la U - niversidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1972.