



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

EXPLICACIÓN GENÉTICA Y EVALUACIÓN
GEOESTADÍSTICA DEL DEPÓSITO DE URANIO
CONETO-BUENAVISTA, MUNICIPIO DE RODEO,
ESTADO DE DURANGO

TESIS DE MAESTRÍA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA (EXPLORACIÓN)

PRESENTA

ÓSCAR MANUEL MUNGUÍA AIZPURÚA

DIRECTOR DE TESIS: DR. RODOLFO CORONA ESQUIVEL



México D. F., Ciudad Universitaria
2005

AGRADECIMIENTOS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A las autoridades de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) por apoyar y facilitar la culminación del presente trabajo.

Agradezco al Dr. Rodolfo Corona Esquivel, por aceptar gentilmente ser el director de la tesis, sus comentarios fueron de gran beneficio al contribuir a renovar el texto.

Mi gratitud al Dr. Ricardo José Padilla y Sánchez, por la revisión del manuscrito, sus observaciones sirvieron para alentar y posibilitar la terminación del presente trabajo.

Al Dr. Juan Manuel Berlanga Gutiérrez mi agradecimiento, por sus explicaciones de la parte geoestadística, pues sus reflexiones enriquecieron la disertación.

Mi reconocimiento al Dr. Raymundo G. Martínez Serrano por sus opiniones que ayudaron a mejorar el contenido.

Agradezco al Dr. Eduardo González Partida por su revisión al original.

Deseo patentizar mi más amplia gratitud a las siguientes personas:

Al Ing. Juan José Obregón Andría quien dirigió el trabajo de investigación en 1987, las observaciones e indicaciones formuladas, en aquella época, fueron de mucha utilidad durante el presente trabajo.

A mi sobrina Claudia Villegas Munguía por su ayuda en la mecanografía de los trabajos de las diferentes materias de la maestría.

Al Ing. Rubén Gutiérrez Tapia del CEDOREM del Consejo de Recursos Minerales, por facilitarme los programas de cómputo el *Est2D*, con el que realicé el estudio estadístico, y el *Krig2D*, en dos dimensiones, con el que se efectuó la evaluación de las reservas de uranio con el *krigeage* normal y lognormal.

Al MC Benito Noguez Alcántara de la empresa Servicios Industriales Peñoles, por facilitarme bibliografía sobre geoestadística y yacimientos minerales.

A los compañeros de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC) de la CFE que se mencionan a continuación:

Al MC Enrique Luis Saldaña Alba por su ayuda y apoyo logístico durante el trabajo de campo, así como sus valiosas sugerencias en el modelo de mineralización del depósito de Coneto-Buenavista, y la bibliografía que me proporcionó sobre los yacimientos minerales de uranio.

Al Ing. Elías Lomas Delgado por facilitarme la bibliografía de los eventos sísmicos del estado de Durango, que sirvió para desarrollar el inciso de sismología de la presente tesis.

Al Ing. Francisco Gama Martínez por auxiliarme en la elaboración de las gráficas elaboradas con la hoja de cálculo *Excel*.

Al Ing. Jorge I. Navarro Candelas por ayudarme en el manejo de los programas de cómputo *Rockworks 2002*, versión 2.12.3, y *Dips*, versión 5.

Al Ing. Miguel Ángel Ruvalcaba Sepúlveda por efectuar la toma y descripción detallada de las fotomicrografías de la muestra de mano del cuerpo subvolcánico y su descripción microscópica.

Al Ing. Ángel Parra Barrera por su colaboración en el manejo del programa de cómputo *Surfer*, versión 7.

Al Ing. Juan Rivera Montes por llevar a cabo la copia digitalizada en imágenes de las cartas topográficas, geológicas, geológicas mineras de Durango y los planos de la geofísica de detalle.

Ing. Vicente Páez Juárez por su ayuda en la toma de las fotografías digitales de las cartas geológicas mineras y planos de la geofísica de detalle.

Ing. Víctor Manuel Mata Villavicencio por facilitarme su computadora personal portátil, y al Fís. Tomás Chávez Ramírez por prestarme su impresora a color, con ambos equipos de cómputo realicé la última versión de la disertación.

Al MA Jesús E. Gómez Sosa, Ing. Julio Caballero Corona y Dr. José María Chávez Aguirre por facilitarme bibliografía de uranio.

A los ingenieros Juan Sánchez Pérez y Teófilo Tavares Velasco por su apoyo para la adquisición del material cartográfico que se empleó en la presente exposición.

Al pasante de Ing. Ernesto Carmona Ricardez por realizar la digitalización del plano geológico de detalle y las figuras que están contenidas en todo el trabajo, así como cooperar en la resolución de los problemas de cómputo e impresión que se presentaron en la elaboración del manuscrito.

Finalmente, a las personas que alentaron a finalizar el presente estudio, a todos mi más amplio reconocimiento.

ÍNDICE

| | Número de Página |
|---|---------------------|
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| RESUMEN | 5 |
| ABSTRACT | 6 |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. ANTECEDENTES | 7 |
| 1.1 Antecedentes del sitio de estudio | 9 |
| 1.2 Justificación | 10 |
| 1.3 Planteamiento del problema | 10 |
| 1.4 Objeto del estudio | 11 |
| 1.5 Marco teórico | 11 |
| 1.5.1 Métodos convencionales | 11 |
| 1.5.2 Método geoestadístico | 12 |
| 1.5.3 Fundamentos del método geoestadístico | 13 |
| 1.6 Método de trabajo | 13 |
| 1.6.1 Recopilación bibliográfica | 13 |
| 1.6.2 Análisis de los datos estructurales | 14 |
| 1.6.3 Realización de la evaluación de reservas <i>in situ</i> | 15 |
| 1.6.4 Comparación de los resultados de los diferentes métodos | 16 |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2. URANIO | 17 |
| 2.1 Antecedentes de la situación del uranio en México | 17 |
| 2.2 Propiedades del uranio | 19 |
| 2.3 El uranio en el mundo y en México | 22 |
| CAPÍTULO 3 | |
| 3. DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO DE URANIO DE CONETO-BUENAVISTA | 26 |
| 3.1 Localización | 26 |
| 3.2 Acceso y vías de comunicación | 26 |
| 3.3 Estudios previos | 27 |
| 3.4 Antecedentes minero-metalúrgicos | 29 |
| 3.5 Fisiografía | 29 |
| 3.5.1 Geomorfología | 30 |
| 3.6 Programa de exploración directa | 33 |
| 3.6.1 Catas | 33 |
| 3.6.2 Programa de perforación | 34 |
| 3.7 Estratigrafía | 35 |
| 3.8 Análisis estructural | 43 |
| 3.9 Interpretación de las estructuras geológicas | 48 |
| 3.10 Geología histórica | 51 |
| CAPÍTULO 4 | |
| 4. GEOFÍSICA | 55 |
| 4.1 Sismología | 55 |
| 4.1.1 Sismicidad histórica | 56 |
| 4.2 Espectroscopia | 67 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1 Interpretación de las configuraciones de cuenta total, bismuto, talio y relación bismuto/talio | 68 |
| CAPÍTULO 5 | |
| 5. DESCRIPCIÓN DE LA MINERALIZACIÓN Y EXPLICACIÓN DE LA GÉNESIS DEL URANIO DEL DEPÓSITO DE CONETO-BUENAVISTA | 74 |
| 5.1 Rasgos estructurales de detalle | 74 |
| 5.2 Mineralización de uranio | 77 |
| 5.3 Explicación genética de la mineralización de uranio | 85 |
| 5.4 Hipótesis genética del depósito de Coneto-Buenavista | 87 |
| 5.5 Clasificación del depósito de Coneto Buenavista | 98 |
| CAPÍTULO 6 | |
| 6 EVALUACIÓN GEOESTADÍSTICA | 103 |
| 6.1 Aspectos teóricos | 103 |
| 6.1.1 Análisis estadístico | 103 |
| 6.1.2 Análisis estructural (semivariogramas) | 105 |
| 6.1.3 Cálculo de reservas (<i>krigeage</i>) | 106 |
| 6.2 Análisis estadístico | 108 |
| 6.3 Análisis estructural (semivariogramas) | 115 |
| 6.4 Variantes del <i>krigeage</i> | 120 |
| 6.4.1 <i>Krigeage</i> normal | 120 |
| 6.4.2 <i>Krigeage</i> lognormal | 121 |
| 6.5 Comentarios sobre los resultados obtenidos al variar el coeficiente de insesgamiento (parámetro de ajuste, PARAM) entre 0 y 1 | 124 |
| 6.6 Comentarios del cálculo del <i>krigeage</i> normal y lognormal del tonelaje y ley promedio sobre ley de corte | 127 |
| 6.7 Descripción de las curvas de interpolación de los espesores y la ley de uranio de los 58 datos originales | 131 |
| 6.8 Descripción de las curvas de interpolación de las leyes de uranio y errores de estimación calculados con el <i>krigeage</i> normal y lognormal | 134 |
| 6.8.1 <i>Krigeage</i> Normal | 141 |
| 6.8.1.1 Evaluación de los espesores y desviaciones con el <i>krigeage</i> normal | 141 |
| 6.8.1.2 Evaluación de las leyes y desviaciones con el <i>krigeage</i> normal | 144 |
| 6.8.2 <i>Krigeage</i> Lognormal | 144 |
| 6.8.2.1 Evaluación de los espesores y desviaciones con el <i>krigeage</i> lognormal | 144 |
| 6.8.2.2 Evaluación de las leyes y desviaciones con el <i>krigeage</i> lognormal | 145 |
| CAPÍTULO 7 | |
| 7. ELABORACIÓN DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS DEL DEPÓSITO DE CONETO-BUENAVISTA CON EL KRIGEAGE NORMAL Y EL KRIGEAGE LOGNORMAL | 148 |
| 7.1 Elaboración de secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este del depósito de Coneto-Buenavista | 150 |

| | | |
|--|---|-------------------|
| 7.2 | Elaboración de secciones estratigráficas longitudinales con dirección Norte a Sur del depósito de Coneto-Buena Vista | 155 |
| 7.3 | Elaboración de secciones estratigráficas y contenido de uranio en tercera dimensión | 159 |
| 7.4 | Elaboración de secciones estratigráficas longitudinales de los valores del kriging normal y lognormal con dirección Norte a Sur | 169 |
| 7.5 | Elaboración de secciones estratigráficas y contenido de uranio en tercera dimensión | 174 |
| CAPÍTULO 8 | | |
| 8. | ANALOGÍAS DEL DCB CON OTROS DEPÓSITOS DE URANIO | 176 |
| 8.1 | Mina El Mezquite, Durango | 176 |
| 8.2 | Sierra de Coneto, Durango | 177 |
| 8.3 | Sierra de Gamón, Durango | 179 |
| 8.4 | Sierra de Peña Blanca, Chihuahua | 181 |
| 8.5 | Marysvale, Utah | 184 |
| CAPÍTULO 9 | | |
| 9. | CONCLUSIONES | 188 |
| CAPÍTULO 10 | | |
| 10. | RECOMENDACIONES | 192 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 195 |
| PLANO 1 | | |
| Depósito de Coneto Buena Vista, Durango, Topografía y Geología, Escala 1:2 000 | | Al final en bolsa |

LISTA DE FIGURAS

| | Número de Página |
|---|---------------------|
| CAPÍTULO 1 | |
| Figura 1.1 Central nucloeléctrica de la Isla de las Tres Millas | 8 |
| Figura 1.2 Planta nuclear de CHERNOBYL en Ucrania, Rusia | 8 |
| CAPÍTULO 2 | |
| Figura 2.1 Reservas de uranio en el mundo (rar) | 22 |
| Figura 2.2 Producción de uranio en el 2001 | 24 |
| Figura 2.3 Principales localidades uraníferas en México | 25 |
| CAPÍTULO 3 | |
| Figura 3.1 Ubicación del depósito (la flecha indica el sitio) de Coneto-Buenavista en la carta geológico-minera de Rodeo, Durango | 26 |
| Figura 3.2 Localización del depósito de uranio Coneto-Buenavista, Durango | 27 |
| Figura 3.3 Detalle de la hidrología alrededor del depósito de Coneto Buenavista (se señala con la flecha) en la carta topográfica de Rodeo, Durango | 32 |
| Figura 3.4 Columna estratigráfica del depósito de Coneto-Buenavista | 39 |
| Figura 3.5 Fracturas y fallas normales del área del depósito de Coneto-Buenavista (la flecha indica el sitio) en la carta geológico-minera de Rodeo, Durango | 51 |
| CAPÍTULO 4 | |
| Figura 4.1 Sismicidad de la República Mexicana registrada del año de 1900 al 2003 | 55 |
| Figura 4.2 Distribución epicentral de los sismos (rectángulos) en los estados de Chihuahua, Coahuila, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas y su relación con los sismos y la geología estructural del estado de Durango | 61 |
| Figura 4.3 Distribución de los focos sísmicos contra la profundidad a lo largo del perfil de la latitud N-S en seis estados de la República Mexicana | 65 |
| Figura 4.4 Distribución de los focos sísmicos contra la profundidad a lo largo del perfil de la longitud W-E en seis estados de la República Mexicana | 66 |
| Figura 4.5 Carta gravimétrica de la República Mexicana, III Carta de anomalía residual isostática con detalle de los bajos gravimétricos en el estado de Durango | 67 |
| Figura 4.6 Configuración radiométrica de cuenta total del depósito de Coneto-Buenavista | 70 |
| Figura 4.7 Configuración radiométrica de ^{214}Bi del depósito de Coneto-Buenavista | 71 |
| Figura 4.8 Configuración radiométrica de ^{208}Tl del depósito de Coneto-Buenavista | 72 |
| Figura 4.9 Configuración radiométrica de la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$ del depósito de Coneto-Buenavista | 73 |
| CAPÍTULO 5 | |
| Figura 5.1 Azimut del rumbo de las capas de las calcarenitas, limolitas y areniscas | 75 |
| Figura 5.2 Proyección estereográfica de los polos del rumbo del echado de las capas de las calcarenitas, limolitas y areniscas | 76 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Figura 5.3 | Provincias metalogenéticas de México. Nótese la sucesión en dirección NNW de la tendencia de las zonas metalogenéticas | 78 |
| Figura 5.4 | Sucesión de los depósitos minerales durante la migración del arco | 79 |
| Figura 5.5 | Cresta de repliegue o vetas en albarda | 80 |
| Figura 5.6 | Esquema idealizado de la evolución de la secuencia de alteración | 83 |
| Figura 5.7 | Sección transversal a través de un yacimiento de pórfido cuprífero, que muestra los dos tipos de fluidos derivados de las aguas subterráneas y de formaciones profundas | 83 |
| Figura 5.8 | Mapa de México con la localización de algunos depósitos epitermales y el depósito de Coneto-Buenavista | 87 |
| Figura 5.9 | Modelo idealizado de probables tipos de depósitos minerales con relación a los complejos de domos de flujo riolítico con alta sílice (Después de Burt y Sheridan, 1981) | 88 |
| Figura 5.10 | Modelo propuesto de la mineralización en el depósito de Coneto Buenavista (con base en el modelo de Burt y Sheridan, 1981) | 90 |
| Figura 5.11 | Principales provincias metalogenéticas en el mundo de edad post-Eoceno con relación a las placas más importantes de la Litosfera (Guild, 1974 in Guilbert y Park, 1986) | 99 |
| CAPÍTULO 6 | | |
| Figura 6.1 | Variable Logaritmo de la Ley | 112 |
| Figura 6.2 | Distribución de frecuencia acumulativa de una variable (espesor por uranio) lognormal de tres parámetros | 114 |
| Figura 6.3 | Bloque a evaluar en el depósito de Coneto Buenavista | 118 |
| Figura 6.4 | Semivariogramas de los valores del uranio y su logaritmo | 119 |
| Figura 6.5 | Curvas lognormales con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0 | 126 |
| Figura 6.6 | Gráfica del Tonelaje (TM) y Ley Promedio (g) sobre Ley de Corte (g) Variable: Uranio con <i>Krigeage</i> Lognormal Coeficiente de Insesgamiento 1.00 Sector A (88 Paneles) | 129 |
| Figura 6.7 | Gráfica del Tonelaje (TM) y Ley Promedio (g) sobre Ley de Corte (g) Variable: Uranio con <i>Krigeage</i> Lognormal Coeficiente de Insesgamiento 1.00 Sector B (48 Paneles) | 130 |
| Figura 6.8 | Datos originales del espesor del superbloque | 132 |
| Figura 6.9 | Datos originales de la ley del superbloque | 133 |
| Figura 6.10 | Espesor total con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0 | 142 |
| Figura 6.11 | Desviación del espesor total con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0 | 143 |
| Figura 6.12 | Ley con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0 | 146 |
| Figura 6.13 | Desviación de la ley con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0 | 147 |
| CAPÍTULO 7 | | |
| Figura 7.1 | Localización de los 58 barrenos del depósito de Coneto-Buenavista | 150 |
| Figura 7.2 | Secciones estratigráficas transversales de los datos originales de la 1-1' a la 5-5' con dirección Oeste a Este | 153 |
| Figura 7.3 | Secciones estratigráficas transversales de los datos originales de la | 154 |

| | |
|--|-----|
| 6 - 6' a la 11–11' con dirección Oeste a Este | |
| Figura 7.4 Secciones estratigráficas longitudinales de la A - A' a la D – D' con dirección Norte a Sur | 157 |
| Figura 7.5 Secciones estratigráficas longitudinales de la E - E' a la G – G' con dirección Norte a Sur | 158 |
| Figura 7.6 Localización de los 136 barrenos (58 originales y 78 estimados) del depósito de Coneto-Buнавista, del superbloque evaluado con el <i>krigeage</i> normal y lognormal | 160 |
| Figura 7.7 Secciones estratigráficas transversales de la 12-12' a la 17–17' de los valores del <i>krigeage</i> normal y lognormal con dirección Oeste a Este | 166 |
| Figura 7.8 Secciones estratigráficas transversales de la 18-18' a la 23–23' de los valores con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con dirección Oeste a Este | 167 |
| Figura 7.9 Secciones estratigráficas transversales de la 24-24' a la 28–28' con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con dirección Oeste a Este | 168 |
| Figura 7.10 Secciones estratigráficas longitudinales de la H-H' a la K–K' de los valores del <i>krigeage</i> normal y lognormal con dirección Norte a Sur | 172 |
| Figura 7.11 Secciones estratigráficas longitudinales de la L-L' a la O–O' con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con dirección Norte a Sur | 173 |
| Figura 7.12 (primera parte) Secciones estratigráficas y contenido de uranio con diversas formas con el <i>krigeage</i> normal y lognormal | 174 |
| Figura 7.12 (segunda parte) Secciones estratigráficas y contenido de uranio con diversas formas, así como bloques diagramáticos en tercera dimensión con el <i>krigeage</i> normal y lognormal | 175 |
| CAPÍTULO 8 | |
| Figura 8.1 CRM, 2000. Detalle del Cerro El Mezquite (la flecha señala el sitio), donde se ubica la mina de uranio homónima del lugar | 176 |
| Figura 8.2 CRM, 2000. Detalle de la Sierra de Coneto (la flecha señala el sitio) donde se ubican 54 anomalías radiométricas | 178 |
| Figura 8.3 CRM, 2000. Detalle de la Sierra de Gamón (la flecha señala el sitio), donde se ubica la anomalía "La Rosilla" | 180 |
| Figura 8.4 Ubicación del yacimiento de uranio de Peña Blanca, Chihuahua (la flecha señálale sitio) | 182 |
| Figura 8.5 Columna estratigráfica de la Sierra de Peña Blanca, Mpio. de Aldama | 183 |
| Figura 8.6 Áreas con las mayores reservas de uranio de los Estados Unidos de América, donde se ubica el yacimiento de Marysvale (subrayado con azul) | 184 |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| | Número de Página |
|---|---------------------|
| CAPÍTULO 3 | |
| Fotografía 3.1 Vista aérea del depósito de Coneto-Buenavista de 1975, en primer plano el poblado de Buenavista , la flecha señala el depósito de uranio y a la izquierda se aprecia el cauce del Río Nazas | 31 |
| Fotografía 3.2 Vista de la porción oriental del cuerpo subvolcánico del depósito de Coneto-Buenavista, desde la brecha que comunica el poblado Buenavista con la población de Nazas, Durango | 31 |
| Fotografía 3.3 Afloramiento de capas delgadas de calizas y lutitas próximo al depósito de Coneto Buenavista | 35 |
| Fotografía 3.4 Afloramiento del cuerpo subvolcánico riolítico donde la roca presenta textura afanítica y estructura compacta | 40 |
| CAPÍTULO 5 | |
| Fotografía 5.1 Pliegue recostado en las calizas y lutitas de la Formación Mezcalera en el camino de terracería del poblado de Buenavista a la población de Nazas | 74 |
| Fotografía 5.2 Pliegue buzante inclinado en las calcarenitas, lutitas y areniscas de la Formación Mezcalera, sobre el camino de terracería del poblado de Buenavista a la población de Nazas | 75 |
| Fotografía 5.3 <i>Sínter</i> silíceo asociado a brechas hidrotermales que están en las márgenes de cuerpo silicificado | 91 |
| Fotografía 5.4 Muestra húmeda del cuerpo subvolcánico o de domo de flujo riolítico, donde se observa la textura microcristalina, que contiene a fragmentos líticos, así como la fuerte hematización y algo de limonita | 92 |
| Fotomicrografía 5.5 Riolita. Al centro se muestra cristales de cuarzo y feldespato, a la izquierda, derecha y arriba material granular fino cuarzo feldespático englobados en una matriz cuarzo feldespática por desvitrificación; ampliación 10X, nicoles cruzados | 93 |
| Fotomicrografía 5.6 Riolita. Al centro un fragmento lítico oxidado a la derecha material cuarzo feldespático, feldespato y arriba un mineral opaco euedral, en una pasta de grano fino donde abajo a la izquierda se observa un relicto de una deformación plástica vítrea en forma de Y; ampliación 10X, luz natural | 93 |
| Fotografía 5.7 Muestra húmeda de la brecha hidrotermal con fragmentos angulosos de origen calcáreo fuertemente silicificados, con presencia de calcita, barita, fluorita, hematita y limonita | 94 |
| Fotografía 5.8 Muestra húmeda del <i>pebble dyke</i> | 95 |
| Fotografía 5.9 Muestra húmeda de la brecha hidrotermal de color rosa con fragmentos angulosos de riolita en una matriz enteramente silicificada y fragmentos molidos con fuerte limonitización | 95 |
| Fotografía 5.10 Muestra húmeda de la brecha fuertemente silicificada, con fragmentos angulosos de riolita en una matriz enteramente silicificada, limonitizada y cloritizada | 96 |
| Fotografía 5.11 Muestra húmeda de la zona de brecha con fragmentos angulosos fuertemente silicificados con presencia de calcita y barita | 96 |

| | |
|---|----|
| Fotografía 5.12 Muestra húmeda de limonita, psilomelano y otros óxidos de Fe y Mn en zonas de fracturas dentro del cuerpo subvolcánico | 97 |
| Fotografía 5.13 Muestra húmeda en la que se muestra el desarrollo de calcedonia que tuvo lugar en las fracturas dentro del cuerpo subvolcánico, cerca de la zona de brecha. Obsérvese la fuerte silicificación de la roca encajonante | 98 |

LISTA DE TABLAS

| | Número de Página |
|---|---------------------|
| CAPÍTULO 2 | |
| Tabla 2.1 Reservas razonablemente aseguradas (RAR) en el mundo | 23 |
| Tabla 2.2 Producción de uranio anual en el 2001 | 24 |
| Tabla 2.3 Principales localidades uraníferas en México | 25 |
| CAPÍTULO 3 | |
| Tabla 3.1 Reservas uraníferas en el estado de Durango | 28 |
| Tabla 3.2 Características de las zanjas de los cuerpos hidrotermalizados No. 1 y No. 2 del depósito de Coneto Buenavista | 34 |
| Tabla 3.3 Edades geocronológicas de rocas de composición andesítica en el estado de Durango | 38 |
| Tabla 3.4 Correlación estratigráfica del depósito de Coneto-Buenavista | 42 |
| Tabla 3.5 (primera parte) Direcciones preferenciales de las estructuras geológicas en cartas geológicas a diferentes escalas | 44 |
| Tabla 3.5 (segunda parte) Direcciones preferenciales de las estructuras geológicas en cartas geológicas a diferentes escalas | 45 |
| Tabla 3.6 Características de los anticlinales recumbentes y sinclinales que arman en la Formación Mezcalera | 46 |
| Tabla 3.7 Rasgos de las fallas inversas que arman en la secuencia sedimentaria mesozóica y la Formación Mezcalera | 48 |
| Tabla 3.8 Características de las fallas transcurrentes que afectan a las rocas cenozoicas | 48 |
| Tabla 3.9 Datos de localización de 6 calderas | |
| CAPÍTULO 4 | |
| Tabla 4.1 Sismicidad histórica del estado de Durango | 57 |
| Tabla 4.2 Microsismicidad en el área de Canatlán, Durango | 59 |
| Tabla 4.3 Sismicidad de fuente natural en la presa Lázaro Cárdenas (El Palmito), Durango | 60 |
| Tabla 4.4 Sismicidad histórica de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas | 60 |
| Tabla 4.5 Rumbo de las alineaciones entre los sismos de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas | 62 |
| Tabla 4.6 Parámetros de la radiactividad de los altos radiométricos en los cuerpos hidrotermalizados No.1 y No. 2 del depósito de Coneto Buenavista | 69 |
| CAPÍTULO 5 | |
| Tabla 5.1 Datos de ocho barrenos | 80 |
| Tabla 5.2 Características mineralógicas, alteraciones hidrotermales y litología de 10 barrenos | 84 |
| Tabla 5.3 Similitudes entre las características teóricas de los depósitos epitermales y la mineralización del depósito de Coneto-Buenavista | 86 |
| Tabla 5.4 Características distintivas de los depósitos epitermales de baja sulfuración (BS) y analogías del depósito de Coneto-Buenavista | 101 |
| CAPÍTULO 6 | |
| Tabla 6.1 (primera parte) Datos estadísticos de los barrenos del depósito de uranio de Coneto-Buenavista, Dgo. | 110 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 6.1 (segunda parte) Datos estadísticos de los barrenos del depósito de uranio de Coneto-Buenavista, Dgo. | 111 |
| Tabla 6.2 Datos Estadísticos del Logaritmo de la Ley | 112 |
| Tabla 6.3 Número de pares formados de muestras de puntos en las cuatro direcciones para los seis semivariogramas | 115 |
| Tabla 6.4 Detalle del número de pares formados de muestras de puntos en las direcciones para los seis semivariogramas | 116 |
| Tabla 6.5 Número de barrenos del bloque por evaluar en el depósito de Coneto Buenavista | 117 |
| Tabla 6.6 Valores de la meseta, efecto pepita y rango de los seis semivariogramas | 117 |
| Tabla 6.7 Comparación de los resultados obtenidos con el krigage normal y lognormal en el depósito Coneto Buenavista | 124 |
| Tabla 6.8 Valores de la ley mínima de corte y tonelaje total de cada sector del superbloque, con el <i>krigeage</i> normal y lognormal con diferentes valores del coeficiente de inesgamiento | 127 |
| Tabla 6.9 Tabla de recuperables del <i>Krigeage</i> Lognormal con coeficiente de inesgamiento de 1.0 del Sector A (88 Paneles) | 128 |
| Tabla 6.10 Tabla de recuperables del <i>Krigeage</i> Lognormal con coeficiente de inesgamiento de 1.0 del Sector B (48 Paneles) | 128 |
| Tabla 6.11 (primera parte) Espesor del uranio con el barreno, valores del espesor y desviaciones con el <i>krigeage</i> normal y <i>krigeage</i> lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0 | 135 |
| Tabla 6.11 (segunda parte) Espesor del uranio con el barreno, valores del espesor y desviaciones con el krigage normal y krigage lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0 | 136 |
| Tabla 6.11 (tercera parte) Espesor del uranio con el barreno, valores del espesor y desviaciones con el krigage normal y krigage lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0 | 137 |
| Tabla 6.12 (primera parte) Ley de uranio con el barreno, valores del uranio y desviaciones con el krigage normal y krigage lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0 | 138 |
| Tabla 6.12 (segunda parte) Ley de uranio con el barreno, valores del uranio y desviaciones con el krigage normal y krigage lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0 | 139 |
| Tabla 6.12 (tercera parte) Ley de uranio con el barreno, valores del uranio y desviaciones con el krigage normal y krigage lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0 | 140 |
| CAPÍTULO 7 | |
| Tabla 7.1 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor que cortan los barrenos con los datos originales en las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este | 152 |
| Tabla 7.2 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor que cortan los barrenos con los datos originales en las secciones estratigráficas longitudinales con dirección Norte a Sur | 156 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 7.3 (primera parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor calculadas con el <i>Krigeage</i> Normal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este | 162 |
| Tabla 7.3 (segunda parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor calculadas con el <i>Krigeage</i> Normal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este | 163 |
| Tabla 7.4 (primera parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor con el <i>Krigeage</i> Lognormal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este | 164 |
| Tabla 7.4 (segunda parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor con el <i>Krigeage</i> Lognormal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este | 165 |
| Tabla 7.5 Valores promedio de las anisotropías de la ley y espesor, así como los parámetros de la variabilidad máxima y mínima | 169 |
| Tabla 7.6 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de las propiedades físicas calculadas con el <i>Krigeage</i> Normal para los barrenos de las secciones estratigráficas longitudinales con dirección Norte a Sur | 170 |
| Tabla 7.7 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de las propiedades físicas calculadas con el <i>Krigeage</i> Lognormal para los barrenos de las secciones estratigráficas longitudinales con dirección Norte a Sur | 171 |
| CAPÍTULO 8 | |
| Tabla 8.1 Comparación de las características geológicas del DCB con cinco depósitos uranio | 186 |

INTRODUCCIÓN

El futuro de las actividades humanas no se vislumbra sin el uso intensivo de equipos electrónicos y eléctricos que requieren de una gran cantidad de energía, que únicamente con la construcción de nuevas plantas eléctricas es posible cubrir la demanda. En 1993, fecha en la que México firmó el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (**TLCAN**), un buen número de industrias maquiladoras se instalaron en la frontera Norte del territorio mexicano, requiriendo de un importante suministro eléctrico para desarrollar sus actividades. El gobierno federal, como parte de sus políticas para atraer inversiones financieras, es tratar de asegurar el suministro de energía eléctrica en el país en condiciones adecuadas de cantidad, calidad y precio. Por ello la Comisión Federal de Electricidad (**CFE**) se esmera en la planeación de nuevas centrales eléctricas a fin de satisfacer las necesidades de los industriales y de los habitantes de la zona fronteriza.

Desde sus orígenes el empleo de la energía nuclear fue estigmatizada por la sociedad y en los últimos tiempos por grupos ambientalistas que la señalan como una energía peligrosa y nociva a la humanidad, por su relación con el empleo bélico y los accidentes nucleares que han ocurrido en las últimas dos décadas. Sin embargo, la industria nuclear en los últimos 30 años, se ha esmerado por seguir escrupulosamente los procedimientos de seguridad nuclear desde el minado del uranio hasta el depósito final de los desechos radiactivos, con el objeto de evitar cualquier tipo de accidente nuclear. Por lo tanto, se debe considerar que la energía nuclear es una alternativa seria en la generación de electricidad para el mundo, pues no se envía emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera y no contribuye al efecto invernadero sobre la Tierra.

El dilema que enfrenta México de emplear el uranio como una fuente de energía de gran importancia para generar electricidad, no es fácil. Sin embargo, si este tipo de uso no se desea, existen otros aprovechamientos como son la medicina nuclear y su utilización en aplicaciones industriales. Lo anterior, permitiría al país diversificar sus fuentes de energía y no solamente depender de los combustibles fósiles. Además, la nación requerirá de preparar, capacitar y especializar a diversos grupos de recursos humanos en las distintas etapas del ciclo del uranio.

En México existen diversos depósitos de uranio con recursos *in situ* por arriba de las 11 000 toneladas, pero se necesitan estudios de exploración de detalle para conocer su factibilidad minero metalúrgica. La presente disertación trata sobre la mineralización de uranio del depósito Coneto-Buenavista (**DCB**), localizado en la porción noreste del estado de Durango. La génesis de la mineralización uranífera posiblemente se relaciona con el emplazamiento de cuerpos subvolcánicos de composición félsica y se efectúa una evaluación geoestadística, con el fin de lograr una mayor precisión en la cuantificación de la recursos de uranio *in situ*.

Con el propósito de facilitar la lectura y comprensión del presente trabajo, así como ser un medio de consulta rápida para el lector, en seguida se detallan las partes de que consta cada capítulo.

En el **capítulo 1, Antecedentes**, se explica las condiciones de la situación del uranio en el mundo y en México. Se hace una pequeña remembranza de las diferentes políticas del gobierno mexicano referente a la exploración, explotación y beneficio del uranio como un recurso energético alternativo a los hidrocarburos para la generación de electricidad. Asimismo, se presenta la justificación del tema de tesis, que es la de contribuir a la difusión de los depósitos de uranio, que existen en Durango, por si algún día se quiere continuar con la exploración uranífera. El planteamiento del problema es describir el origen de la mineralización uranífera y el de emplear técnicas geoestadísticas, para lograr una mayor precisión en la cuantificación de los recursos de uranio *in situ* del DCB. Se presentan los objetivos por alcanzar en el desarrollo de la disertación. En cuanto al marco teórico se explican de forma concisa los métodos convencionales de evaluación, el método geoestadístico y sus fundamentos. En el método de trabajo se especifican los cuatro aspectos que fueron consultados y desarrollados para estructurar el presente trabajo.

En el **capítulo 2, Uranio**, se comentan los primeros hallazgos de las zonas con radiactividad anómala y los primeros depósitos de uranio descubiertos en el país. Se especifican las propiedades físicas y químicas del uranio y su ocurrencia en los principales tipos de rocas. Asimismo, se mencionan los recursos del uranio en el mundo, pues existen ocho países con Recursos Razonablemente Asegurados (RAR) por arriba de las 100 000 t U, mientras México está dentro de la categoría de Recursos Adicionales Estimados I (EAR-I), y cuyo tonelaje se sabe es por arriba de las 11 000 toneladas *in situ* de uranio.

El **capítulo 3, Descripción del depósito de uranio de Coneto-Buenavista**, abarca los aspectos geográficos y geológicos regionales del depósito. Se inicia con la localización, acceso y vías de comunicación. En los antecedentes minero-metalúrgicos se mencionan las génesis de los yacimientos más importantes de Durango. Los aspectos fisiográficos que se describen corresponden a la Sierra Madre Occidental, y los aspectos geomorfológicos e hidrográficos se refieren a la región que circunda a la localidad uranífera. Además, se efectuó la explicación de la estratigrafía del depósito y se presenta una tabla de correlación estratigráfica de las litologías de áreas cercanas al sitio de estudio. De manera resumida se presenta en una tabla el análisis del azimut del rumbo de los rasgos estructurales que están cartografiados a diferentes escalas, con el fin de conocer las direcciones principales y secundarias de las estructuras geológicas y conocer si existe algún patrón de fallas que se asocie desde el nivel regional hasta el nivel local con el DCB. Asimismo, se describe la geología histórica con la interpretación de los diferentes eventos geológicos y tectónicos que han afectado a la región del depósito.

En el **capítulo 4, Sismología**, se relata la sismicidad histórica de Durango, para observar la correlación de las fracturas, fallas, fosas y pilares tectónicos con la distribución de los epicentros. También, se construyeron secciones de los focos sísmicos contra la profundidad, a lo largo de los perfiles de la latitud N-S de los 23° a 27° y longitud W-E de los 103° a 106.5° de longitud Oeste, en cinco estados de la República Mexicana que colindan con Durango, con el fin de efectuar la interpretación de la sismicidad asociada a las estructuras geológicas. Además, se efectuó la

interpretación sobre la profundidad de tres sismos (2 en Coahuila y uno en Zacatecas) que puede estar relacionada con la continuación del *rift* del Río Grande desde Norteamérica hacia México. Asimismo, se describen los trabajos de espectroscopía de las configuraciones de cuenta total, bismuto, talio y la relación bismuto / talio sobre los tres cuerpos hidrotermales del depósito.

En el capítulo 5, Descripción de la mineralización y explicación de la génesis del uranio del depósito, se comienzan a describir los rasgos estructurales de detalle de los pliegues presentes en las rocas mesozoicas del área de estudio. Además, se explica la morfología que adopta la mineralización en el subsuelo y como se presenta el mineral de uranio y sus asociación con otros minerales, así como los tipos de alteraciones hidrotermales que se manifiestan en el depósito. Con relación a la explicación genética de la mineralización de uranio se infiere un origen hidrotermal epigenético con una clasificación del tipo epitermal de baja sulfuración (BS) relacionado con ignimbritas silíceas en márgenes convergentes (**Camprubí et al., 1999 y 2003**), y se mencionan las similitudes entre las características teóricas de los depósitos epitermales y la mineralización del DCB. Las observaciones de campo y los resultados de la petrografía señalan características similares en paragénesis, sucesión, estructuras y texturas a las asociadas al modelo de mineralización de domos de flujo riolítico (**Burt y Sheridan, 1981**).

En el capítulo 6, Evaluación geoestadística, se abordan tres grandes aspectos, que son el análisis estadístico, análisis estructural (semivariogramas) y el cálculo de recursos (*krigeage*). A fin de conocer el comportamiento estadístico de los datos del espesor del horizonte mineralizado, ley y espesor por ley obtenidos en los 58 barrenos del depósito en estudio, se realizó el análisis estadístico para determinar el valor de los parámetros como: la media, varianza y distribución paramétrica que siguen los valores y sus logaritmos, después se obtuvo la curva con el mejor ajuste. Igualmente, se construyeron seis semivariogramas que corresponden al espesor, logaritmo del espesor, la ley (uranio), logaritmo de la ley (uranio), espesor por ley y el logaritmo del espesor por ley en cuatro direcciones preferenciales que son N-S (90°), E-W (0°), NE-SW (45°) y NW-SE (135°). En el *krigeage* normal se considera que en un depósito mineral los valores de las muestras tienen una distribución normal multivariable, el valor de la media de un bloque de mineral en el depósito también es distribuido normalmente. Asimismo, el cálculo con el *krigeage* lognormal condiciona que si los valores de las muestras están distribuidos lognormalmente entonces el valor promedio de un número de muestras, tal como un valor promedio de un bloque, es también una variable distribuida lognormalmente. Además, se realizó la descripción de las curvas de interpolación de los espesores y desviaciones, así como de las leyes de uranio y desviaciones calculadas con el *krigeage* normal y lognormal, para conocer la distribución geográfica de los valores calculados y observar de manera gráfica las áreas con y sin información.

En el capítulo 7, Elaboración de secciones estratigráficas del DCB con los datos originales y con los datos de los valores del *krigeage* normal y lognormal, se efectuó la elaboración con computadora las secciones estratigráficas transversales y longitudinales de los espesores y la leyes del cuerpo hidrotermalizado No.1, con los 58

valores originales del depósito, así como con los 136 valores calculados con el *krigeage* normal y lognormal, a los que se les restó las desviaciones, que resultaron por cada método de evaluación. Las secciones están ubicadas de forma longitudinal y transversal al superbloque del depósito, con el fin de tener una visión del comportamiento de la mineralización de uranio en el subsuelo. Después, se desarrolló con la computadora las secciones estratigráficas y contenido de uranio en tercera dimensión, en forma diagonal, en cruz, en rejilla, longitudinales y transversales al contorno del superbloque.

En el **Capítulo 8, Analogías del DCB con otros depósitos de uranio**, se proporciona en forma sucinta las características geológicas y mineralógicas de los depósitos como: Mina El Mezquite, Sierra de Coneto y Sierra de Gamón en Durango, así como de los yacimientos de la Sierra de Peña Blanca en Chihuahua y el de Marysvale en Utah. Posteriormente, se presenta en una tabla la comparación de las características litológicas, estructuras, mineralogía, mineralización uranífera, alteraciones hidrotermales, leyes, edad de la mineralización y aspectos genéticos del DCB con los cinco depósitos de uranio mencionados.

En el **capítulo 9, Conclusiones**, se expresan las resoluciones a las que se llegaron en el desarrollo de la presente tesis, de acuerdo con el planteamiento del problema.

En el **capítulo, 10 Recomendaciones**, se proporcionan las sugerencias de los aspectos técnicos que deben ser cubiertos si es que se decide en algún momento a retomar la exploración del uranio.

Las **Referencias bibliográficas** corresponden a los artículos técnicos, libros y artículos científicos de secciones de ciencia de periódicos de circulación nacional. Las citas están registradas en orden alfabético para facilitar su búsqueda y entendimiento.

Además, se tiene un apéndice que corresponde al plano 1 de geología de detalle del depósito.

RESUMEN

El presente estudio trata sobre la génesis del uranio del depósito de Coneto-Buenavista (**DCB**), localizado en el noreste de Durango, así como su asociación con cuerpos subvolcánicos félsicos, y su evaluación geoestadística. Con el objeto de cuantificar de manera más precisa los recursos de uranio *in situ*.

El DCB junto con otros depósitos uraníferos de Durango como son: Mina El Mezquite, Sierra de Coneto y Sierra de Gamón tienen importancia, pues estas manifestaciones mineralógicas definen una zona uranífera cuya continuidad se extiende hacia el norte con los yacimientos de la Sierra Peña Blanca en Chihuahua y el de Marysvale en Utah. La evaluación geoestadística de los recursos *in-situ* del DCB, proporcionó un tonelaje con el *krigeage* normal de 2 866 306 t, con ley de 197g/t; y con el *krigeage* lognormal de 2 140 018 t, con ley de 127 g/t. El valor estimado es de 22 y 10.5 millones de dólares, respectivamente. La explotación del DCB actualmente no es económicamente viable; sin embargo, sus recursos *in-situ* son de interés para continuar con la exploración.

La edad de la mineralización de uranio es posiblemente del Terciario medio cuando acontece la fase de extensión de la Sierra Madre Occidental. La región de estudio fue afectada por una primera etapa de fracturas en el Oligoceno Tardío y después por un segundo impulso en el Mioceno Temprano. Ambos generaron la formación de fracturas y fallas normales con dirección NW-SE, dando lugar a la configuración de fosas y pilares tectónicos. Los sistemas de fracturas favorecieron el emplazamiento del cuerpo subvolcánico y el ascenso de las soluciones hidrotermales, ambos transportaron mineralización de uranio que se precipitó en las rocas de la Formación Mezcalera del Cretácico Tardío.

De las características litológicas, alteraciones hidrotermales y mineralógicas del depósito se infiere un origen secundario o de tipo epigenético, ubicándolo como un depósito epitermal de baja sulfuración (BS) relacionado al vulcanismo subaéreo en márgenes convergentes (**Camprubí et al., 1999 y 2003**). Las observaciones de campo y los resultados de la petrografía del DCB señalan características similares en paragénesis, sucesión, estructuras y texturas a las asociadas al modelo de mineralización de domos de flujo riolítico propuesto por Burt y Sheridan (**1981**). Los depósitos epitermales, como el DCB, se asocian con depósitos de plata-oro, mercurio-uranio, antimonio, como pueden ser los depósitos de Coneto Comonfort, El Mezquite y Sierra de Coneto, así como el depósito de Linares, respectivamente (**Guild 1974 in Gilbert et al., 1986**).

ABSTRACT

This study deals with the origin, description, mineralization characteristics and a more precise resources definition of the uranium deposit of Coneto-Buenavista (DCB), northeast Durango, Mexico.

The DCB deposit is located into an uranium occurrences belt that runs North-South from Marysvale, Utah, through Peña Blanca in Chihuahua, to Mina Mezquite and Sierra Coneto, North Durango to end at Sierra de Gamon, Central Durango. The associated alteration and the mineral paragenesis point out to a hydrothermal uranium deposit related to a high silica middle tertiary rhyolite flow dome complex. Also, the uranium mineralization is found associated to two extension phases during the late Oligocene and early Miocene that originated NW-SE fracture and normal fault systems associated to the Basin and Range deformation.

Geostatistical evaluation was done according to the methods normal krigging and log-normal krigging. Normal krigging show up resources of 2 866 306 t with grades of 197 g/t, and with log-normal krigging 2 140 018 t and grades of 127 g/t. At current prices, economic exploitation of DCB is not viable, although *in situ* resources are interesting for furthermore exploration.

1. ANTECEDENTES

En el pasado, la humanidad ha podido comprobar algunos efectos nocivos de la energía nuclear, como fueron las bombas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki y los desastres de Chernobyl y de la Isla de Tres Millas, acontecimientos que, sin duda, propiciaron una imagen negativa que contrasta con los usos pacíficos y limpios de este tipo de energía que importan a varias instituciones, en especial al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esta entidad, autónoma de la ONU, fue establecida en 1957 con el objeto de constituir el principal foro intergubernamental para la cooperación científica y tecnológica en lo referente a la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos (**Carrillo, 2003**). El principal objetivo de este organismo internacional, ha sido el de promover la contribución de la energía atómica en la paz, la salud y el bienestar de la humanidad; y uno de sus mandatos es, precisamente, asegurar que la asistencia proporcionada por el organismo no sea empleada en provecho de propósitos militares.

En el presente hay varias áreas prioritarias de interés estratégico global: salud humana, medicina nuclear, productividad agrícola, seguridad alimentaria, recursos acuáticos, protección al ambiente, aplicaciones físicas y químicas de radioisótopos en la industria, y desarrollo sustentable de la energía. Esta última vista como un paquete de energías, donde la atómica es una alternativa más. La energía nuclear aporta alrededor del 7% de la energía mundial, virtualmente toda ella para la producción de electricidad. Con las restricciones ambientales y las limitaciones de otras fuentes de energía, es posible que la energía nuclear sea llamada para proveer una mayor fracción de la creciente demanda mundial de energía (**CISN, 1996**).

El uranio es el principal elemento utilizado en la generación de energía nuclear. El auge que el mineral uranífero tuvo en el mercado internacional en los años setenta llegó a su máximo cuando el embargo petrolero árabe hizo que aumentara el precio del petróleo y forzó a todos los países consumidores a restringir el consumo energético basado en el petróleo (**Salas, 1988**). Sin embargo, en 1979 debido al accidente de la central nuclear de la Isla de las Tres Millas (Three Mile Island) cerca de Harrisburg, Pensilvania, EUA (**Figura 1.1**) y de la catástrofe del 26 de abril de 1986 de Chernobyl en Ucrania, Rusia (**Figura 1.2**), los grupos ambientalistas de diversas partes del mundo presionaron a sus gobiernos para modificar sus políticas de generación de energía eléctrica utilizando energía nuclear. Esto motivó la cancelación de construcciones de nuevas plantas nucleares y a postergar los programas de exploración uranífera.



Figura 1.1 Central nucleoelectrica de la Isla de las Tres Millas

FUENTE: Cunningham, P. W. y Woodworth S. B., 1999.



Figura 1.2 Planta nuclear de CHERNOBYL en Ucrania, Rusia

La explosión y fuego del reactor número 4 (en el círculo) de la central nuclear esparció lluvia radiactiva por todo el Hemisferio Norte. Millones de personas en Europa y Asia fueron expuestas a peligrosos niveles de radiación.

FUENTE: Cunningham, P. W. y Woodworth S. B., 1999.

Después de la guerra del Golfo Pérsico en 1991, comenzó nuevamente la difusión de la industria nuclear como amigablemente ambientalista, ya que no contribuyen con el bióxido de carbono al efecto invernadero. Sin embargo, aún existen problemas de seguridad en los reactores y en el almacenamiento de los desechos. Si estos se llegan

a solucionar de manera adecuada, es factible que la energía nuclear pueda servir como una fuente de energía intermedia hasta desarrollar fuentes renovables que persistan en el futuro (**Cunningham y Woodworth, 1999**). Afortunadamente, en décadas recientes ha habido mucho progreso en varios países hacia el depósito de los desechos radiactivos, y diversos estudios han mostrado que la disposición segura es tecnológica y económicamente alcanzable. La resolución de este asunto requerirá los esfuerzos cooperativos y determinantes de la industria, de los organismos reguladores y los políticos. La demostración y uso de esta tecnología deberá conducir a la confianza pública sobre seguridad (**CISN, 1996**).

En México el interés en la energía nuclear se inició en 1956, con la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), que duró hasta 1971. El Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) sustituyó a la CNEN y subsistió de 1972 a 1979. En 1979 se reorganizó la institución y se constituyó Uranio Mexicano (URAMEX), organismo que tuvo los mismos objetivos que sus antecesores de explorar, explotar, beneficiar, industrializar y comercializar los minerales radiactivos. Por políticas del gobierno federal de no otorgarle presupuesto se liquidó en 1985. En 16 años (1972 a 1982) sólo se localizaron, en sitios muy dispersos, 8 332 toneladas *in situ* de minerales radiactivos que se consideraron aprovechables, pero sin tener en cuenta costos ni porcentajes de recuperación. Consecuentemente, es razonable pensar que esos recursos se reducirán seriamente al tratarlos para su explotación y concentración (**Salas, 1988**).

Actualmente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene en funcionamiento la central nucleoelectrónica de Laguna Verde (CNLV) Veracruz, con la operación de dos reactores con una capacidad instalada de 1 365 megawatts (MW) y con una potencia eléctrica bruta por unidad de 682.5 MW. Además, existe el reactor de investigación TRIGA MARK III en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y dos ensambles subcríticos, uno en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) y otro en el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Estas son evidencias del uso de fuentes nucleares en México con fines pacíficos (**Secretaría de Energía, 2002**).

1.1 Antecedentes del sitio de estudio

Durante uno de los recorridos programados de la unidad espectrografía gama autotransportada (*carbón*), por la entonces Delegación de Torreón, Coahuila de URAMEX, en el tramo de Nazas a San Antonio se detectó, el 5 de mayo de 1970, una anomalía radiactiva a la que se denominó Coneto-Buenavista. Posteriormente, se envió una brigada de radiometría pedestre con cintilómetros Mount Sopris, modelo SC-131, que registró un conteo de fondo de 40 a 60 cuentas por segundo (cps) en calizas y detectó diversos altos radiométricos de 1 000 hasta 10 000 cps, por lo que se consideró efectuar un estudio geológico-geofísico más detallado para determinar la magnitud e interés de la anomalía. De octubre de 1975 a noviembre de 1976 la zona de interés fue motivo de un intenso programa de barrenación, perforándose 171 pozos, de los cuales 166 sondeos se enfocaron al cuerpo hidrotermalizado No. 1 y sólo 5 perforaciones se programaron en el cuerpo No. 2 (**plano 1** al final en bolsa).

En 1977 se efectuó una evaluación preliminar del prospecto Coneto Buenavista por el método de secciones transversales. Posteriormente, en 1983 se llevó a cabo la perforación de 24 barrenos más con el fin de determinar la morfología del depósito e incrementar recursos. En ese mismo año, se realizó otra campaña de barrenación de 13 pozos verticales con nomenclatura del CB-1 al CB-13, con un desarrollo de 2 073 m, y el registró con sonda de rayos gamma fue de 1 305.40 m.

En marzo de 1987, se realizó una evaluación geoestadística de los recursos del DCB, por motivo del trabajo de investigación de la Maestría de Recursos Energéticos del Subsuelo de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI) de la UNAM.

1.2 Justificación

En el corto y mediano plazo en México no se contempla la construcción de una nueva central nucleoelectrónica, ni la inversión en programas de exploración por uranio, la presente tesis tiene como interés el contribuir a la difusión de las características geológicas del DCB, al explicar su génesis y evaluar los recursos minerales *in situ*, con esto se espera coadyuvar al conocimiento de los recursos de uranio con que cuenta el país, para su posible aprovechamiento a futuro.

1.3 Planteamiento del problema

El grado de conocimiento de los recursos se determina a partir del grado de exactitud con que se estudian (**Kazhdan, 1982**):

- 1) Las condiciones del depósito, las formas y la estructura del cuerpo mineral.
- 2) La ubicación espacial de las leyes.
- 3) La localización de los sectores de las rocas estériles.
- 4) La determinación del tonelaje de las acumulaciones minerales en los contornos del depósito.

El problema a examinar es el siguiente:

Describir el marco general de la geología y mineralización e intentar definir el origen de la mineralización de uranio, posiblemente relacionada con el emplazamiento de cuerpos subvolcánicos de composición félsica. Lograr una mayor precisión en la cuantificación de los recursos de uranio *in situ* del DCB empleando métodos geoestadísticos.

Lo anterior va a contribuir a definir los recursos uraníferos con los que se cuentan en el estado de Durango y en el ámbito nacional, para esperar en el largo plazo cuando existan condiciones económicas en el país, se pueda realizar la factibilidad minera metalúrgica y económica, a fin de aprovechar el DCB.

1.4 Objeto del estudio

El objeto general de la disertación es:

Explicar el origen de la mineralización uranífera y cuantificar los recursos *in situ* con la aplicación de la geoestadística.

Los objetivos específicos son:

- 1) Describir la mineralización uranífera incluyendo su extensión, controles, su carácter micro y macroestructural, tipo de mineralización e interpretar el probable origen de la mineralización.
- 2) Comparar la presencia del uranio en el DCB con otras manifestaciones uraníferas como son: la Mina El Mezquite, Sierra de Coneto, Sierra Gamón estos en el estado de Durango, Sierra de Peña Blanca en Chihuahua, así como con el yacimiento Marysvale en Utah, EUA, con el fin de entender las similitudes de la mineralización de uranio en rocas volcánicas félsicas.
- 3) Evaluar los recursos uraníferos *in situ* del DCB con el método geoestadístico, para obtener una evaluación insesgada y confiable de los recursos del DCB con el *krigeage* normal y lognormal.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Métodos convencionales

De las primeras evaluaciones que se llevaron a cabo en el DCB fueron las de secciones transversales y el método de polígonos que corresponde a los métodos geométricos o convencionales que pueden ser clasificados en tres grandes grupos (**Berlanga y Obregón, 1981**), los cuales son:

1. Método de Bloques Minables
2. Método de Secciones Transversales.
3. Método Analíticos (Triangular, Poligonal).

El método poligonal, llamado también el de "prismas poligonales" se basa en el principio de semidistancia, formando áreas de influencia alrededor de cada dato o punto conocido. Este método es particularmente aplicable a cuerpos tabulares (mantos, vetas anchas), grandes cuerpos lenticulares y depósitos diseminados, aunque puede ser utilizado en otro tipo de cuerpos. Entre mayor sea el número de bloques formados y más regularmente distribuidos estén los datos disponibles, más exactos serán los resultados. Lo que se quiere es calcular los datos relativos al área y tonelaje por polígono y posteriormente sumar los datos de todos los polígonos (que en el depósito evaluado están uniformemente formados y distribuidos) para obtener los totales del cuerpo.

Las fórmulas involucradas para polígonos formados y distribuidos regularmente son las siguientes:

S = Área de cada polígono, determinada de acuerdo a las fórmulas de geometría y según el tipo de polígono formado (en el caso del DCB fueron cuadrados de 20 m por lado).

$$\text{Ancho} \cdot \text{Promedio} \cdot (A_p) = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}{n}$$

$$\text{Volumen} = S \times A_p$$

δ = densidad de la roca

$$\text{Tonelaje (T)} = V \times \delta$$

$$\text{Tonelaje} \cdot \text{Total} \cdot (T_t) = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{n}$$

$T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ = tonelaje de cada uno de los polígonos

n = número de polígonos formados

En el mes de julio de 1982 se efectuó una evaluación del DCB, por el método de polígonos, y resultó un tonelaje de 506 950 toneladas métricas con una ley media de 223 g/t, así como un espesor promedio de 14,50 m y un contenido de 113.73 toneladas de U_3O_8 .

1.5.2 Método geostadístico

La geoestadística es un método estadístico que es particularmente útil en situaciones donde el valor de una muestra está afectado por su localidad y su correlación con el entorno, por ejemplo, la información espacialmente correlacionada. Históricamente, las aplicaciones geoestadísticas se originaron en las industrias de exploración minera y petrolera, a través de los trabajos pioneros de **D. C. Krige** en los años de 1950, y su formalización matemática por **Georges Matheron** a principios de la década de 1960 (**Matheron, 1971; Mohamed and Antia, 1998**).

Es necesario señalar que existen diversas técnicas para la evaluación de los bloques explotables con los métodos siguientes: el del polígono, inverso de la distancia, inverso al cuadrado, etcétera, consideran a los coeficientes de peso una función del bloque y la geometría de las muestras, sin examinar la variabilidad espacial del depósito en estudio. Por su parte el método geostadístico estudia la variabilidad espacial del depósito reflejada en el cálculo del semivariograma, lo que permite calcular el error asociado a la estimación, denominada varianza del error (**Broker, 1979**).

1.5.3 Fundamentos del método geoestadístico

El método geoestadístico explica entre otros aspectos por qué algunos tipos tradicionales de métodos, tal como el método poligonal, producen estimaciones sesgadas. Estos sesgos pueden ser removidos usando otras clases de estimadores más robustos como el del *kriageage*. La naturaleza insesgada de las estimaciones geoestadísticas no crean errores compensatorios que enmascaren otras deficiencias en la evaluación de recursos, en el minado, o en el aspecto metalúrgico. Los programas de muestreo y evaluación pueden ser diseñados económicamente y la geoestadística puede ayudar a optimizar los programas de muestreo (**Royle, 1979**).

Es necesario mencionar en forma breve algunos aspectos teóricos en que está basada la geoestadística, para tener una idea clara sobre las etapas que están involucradas en la evaluación minera, para ello se realiza una transcripción de lo que mencionan **Berlanga y Obregón (1981)**. **Georges Matheron (1962)** fue el primero en darle formalidad a la geoestadística, la cual definió como: "la aplicación de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de los fenómenos naturales". La premisa básica en geoestadística es considerar que las variables de fenómenos naturales son de carácter mixto, es decir, están compuestas por dos aspectos: uno espacial o estructural y otro aleatorio. Las variables aleatorias $Z(x_i), \dots, Z(x_n)$ por estar distribuidas en el espacio, se les conoce con el nombre de variables aleatorias regionalizadas (v.a.r.) y al fenómeno representado por las variables regionalizadas $Z(x_i)$ se le denomina regionalización. Una parte fundamental del análisis estructural lo constituye la formulación del problema y el análisis crítico de la variable aleatoria regionalizada, lo que comprende, entre otros, los aspectos siguientes:

- a) Representatividad y ejecución correcta del muestreo.
- b) Propósito del estudio.
- c) Significado y homogeneidad de los datos o de la variable que se estudia.
- d) Soporte o volumen en el cual la variable está definida. Para un ingeniero minero, el soporte sería el volumen de roca donde el porcentaje medio de un mineral se desea estimar.
- e) Extensión o dominio del campo sobre el cual la distribución espacial de la variable se definirá. Esta extensión puede cubrir una cuenca geológica, un yacimiento petrolero o una zona de mineralización.

1.6 Método de trabajo

1.6.1 Recopilación bibliográfica

Se llevó a cabo el acopio de la información publicada y alguna de carácter inédita sobre el estado de Durango y de la región del DCB. Se recopiló el mapa de interpretación preliminar de la tectónica mexicana y la carta tectónica de México. Asimismo, se reunieron las cartas topográficas y geológicas a escalas de 1:250 000 y 1:50 000, del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que abarcan el área de interés, así como las cartas geológicas mineras a escala 1:250 000 y 1:50 000 editadas por el Consejo de Recursos Minerales (CRM), para hacer el análisis

estadístico de las fracturas y fallas normales en las rocas mesozoicas y cenozoicas, a fin de elaborar los diagramas de rosetas de las fracturas y las redes estereográficas correspondientes a los datos estructurales de los tipos de roca y las estructuras geológicas.

1.6.2 Análisis de los datos estructurales

A partir de las imágenes del satélite "Landsat-1" de Durango escala 1:2 000 000, que editó el Consejo de Recursos Minerales en 1976, se procedió a la toma de los datos del azimut del rumbo de los lineamientos tectónicos principales y secundarios, para la construcción de las rosetas, así como al análisis estadístico de los parámetros obtenidos.

También, se realizó el estudio estadístico de las estructuras geológicas, del estado de Durango y de la región del DCB, para la construcción de las rosetas y proyección estereográfica de los polos de los datos estructurales, que están cartografiados en las cartas geológicas, a diferentes escalas, como son:

- a) Carta tectónica de México, compilada por Padilla y Sánchez *et al.*, 1990, escala 1:2 000 000, que editó el INEGI.
- b) Una cuarta parte de la carta geológica minera Santiago Papasquiario, clave G13-8 de Durango, a escala 1:250 000, editada por el Consejo de Recursos Minerales en el año 2000.
- c) Cartas topográfica y geológica Rodeo, clave G13D42, escala 1:50 000 del INEGI que editó en 1976 y 1978, respectivamente. Además, para complementar el análisis estadístico de las fracturas, se colocó un pliego de papel albanene, sobre la carta topográfica, en el que se trazaron las fracturas con base en la topografía y drenaje.
- d) Carta geológica minera Rodeo, clave G13D42, escala 1:50 000 del Consejo de Recursos Minerales que editó en noviembre de 2003.

El trabajo de campo se efectuó, en abril del 2003, para obtener los datos estructurales, muestras de roca, a fin de conocer el tipo de texturas y fotografías de los afloramientos.

1.6.3 Realización de la evaluación de recursos *in situ*

Primeramente, se hizo el análisis estadístico de los valores del espesor, contenido de uranio y espesor por ley del depósito. Después, se empleó el programa de cómputo **Excel** para mejorar las figuras y obtener la curva con el mejor ajuste. Además, se elaboraron los histogramas de los valores y sus logaritmos, y a los histogramas de los valores se les ajustó, por el método de mínimos cuadrados, la función de tendencia central correspondiente.

Posteriormente, se trazaron en papel de probabilidad logarítmica los valores de la frecuencia acumulativa del espesor por uranio, para examinar la distribución lognormal que muestran.

En seguida se construyeron los semivariogramas de ley, espesor y espesor por ley en cuatro direcciones principales: N-S (0°), E-W (90°), NE-SW (45°) y NW-SE (135°). Finalmente, se efectuó el cálculo de recursos con el método geoestadístico con *krigeage* normal y lognormal.

Las etapas efectuadas con el método geoestadístico fueron las siguientes:

- a) Estudio cualitativo de la información geológica y estructural existente del depósito.
- b) Se efectuó el estudio estadístico de los valores del espesor, uranio y ley por espesor de los 58 barrenos, así como los logaritmos de los valores mencionados, para elaborar los histogramas respectivos. Construcción de la gráfica de la distribución de frecuencia acumulativa de una variable lognormal de tres parámetros.
- c) Construcción de los semivariogramas de ley, espesor y espesor por ley, así como sus logaritmos correspondientes en cuatro direcciones principales: N-S (0°), E-W (90°), NE-SW (45°) y NW-SE (135°), donde se obtuvieron los parámetros geoestadísticos.

Es importante señalar que en el texto se habla de recursos y no reservas, pues se sigue la clasificación de la **Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 1991**, que define a cada término de la siguiente forma:

Recurso: Una concentración de material sólido, líquido o gaseoso que ocurre de forma natural dentro o sobre la corteza terrestre, en cantidad y forma que la extracción económica de la porción aprovechable sea potencial o comúnmente factible.

Para reflejar el grado del incremento de la certidumbre geológica, los recursos se subdividen en **medidos, indicados e inferidos (SME, 1991)**.

Reserva: Una reserva es parte del recurso que reúne criterios físicos y químicos mínimos que se relacionan a la práctica específica de minería y producción, e incluye aquellas de ley, calidad, espesor y profundidad; y se puede asumir razonablemente que es económica y legalmente extraíble o de producir en un tiempo determinado. La factibilidad de trabajos específicos de minería y producción pueden ser demostrables o pueden ser razonablemente asumidos sobre la base de pruebas y mediciones.

Las reservas pueden ser subdivididas con el incremento de la certeza económica en categorías de **probadas y probables (SME, 1991)**.

En nuestro estudio del DCB la mineralización del uranio por evaluar entra en la categoría de recursos.

1.6.4 Comparación de los resultados de los diferentes métodos

Se realizó la comparación de resultados obtenidos con los diferentes métodos de evaluación.

Al conocer los resultados del *krigeage* normal y lognormal se procedió a efectuar la interpolación de las curvas de leyes de uranio y las desviaciones de la estimación, con el fin de conocer la distribución geográfica de los valores calculados con el *krigeage* normal y lognormal con seis diferentes valores del coeficiente de incesgamiento, así como observar de manera gráfica las áreas con información de las zonas sin información. Para la interpolación se empleó el paquete de cómputo **Surfer versión 7**. Asimismo, al obtener el valor de la ley y su desviación con el *krigeage* normal y lognormal, se construyeron las gráficas de las líneas de ley de corte vs. tonelaje, así como las líneas de ley de corte vs. ley promedio, del DCB.

2. URANIO

2.1 Antecedentes de la situación del uranio en México

En México la exploración por uranio se inició más por razones estratégicas de diversificación energética que por la necesidad ingente de desarrollar otra fuente de energía, así en 1956 después de haber incorporado todo mineral radiactivo a las Reservas Nacionales se creó la Comisión Nacional de Energía Nuclear que pasó por diferentes cambios institucionales durante su historia de 1956 a 1985, y finalmente sus funciones de exploración, explotación y beneficio pasaron al Consejo de Recursos Minerales (CRM) (**Salas, 1988**). Sin embargo, dicho organismo no continuó con la exploración.

En 1956 con motivo del Congreso Geológico Internacional en México, en la memoria de la XX Sesión, **Jenaro González Reyna**, escribió que el descubrimiento de minerales de uranio en México fue en el año de 1909, y fue hecho en Placer de Guadalupe por el señor Carlos Pérez. Además, redactó que los trabajos de campo se enfocaron en los estados de Chihuahua, Michoacán y Oaxaca donde se lograron descubrir algunos criaderos.

Los yacimientos de minerales de uranio, de acuerdo con los conocimientos disponibles de ese tiempo (1956), se describieron de la forma siguiente:

a) Minerales de origen primario, en forma de manchones donde el mineral es uraninita, en conexión con vetas uraníferas y donde las rocas del área son ígneas intrusivas y sedimentarias, como es el caso de los yacimientos localizados en Placer de Guadalupe y Puerto del Aire, Chih. Los minerales primarios de los criaderos, además del oro y la uraninita, contienen algo de pirita y magnetita (**González Reyna, 1956**). Con lo anterior, se determinó las primeras localidades en la República Mexicana de dicho material radiactivo (**Iparrea y Chávez, 1969**).

b) Minerales de origen primario, que se localizan en rocas metamórficas: gneisses graníticos. Estos descubrimientos se hicieron en el estado de Oaxaca. Dentro del municipio de Tlaxiahuaca, en una superficie de unos 9 km², se reconocieron 17 pegmatitas, en su mayoría diques pegmatíticos. Los cuerpos examinados se encuentran en la parte occidental de la cañada del Maguay. Los minerales accesorios con contenido de óxido de torio (ThO₂) presentes en las pegmatitas son la allanita con un contenido del 0.86% y la fergusonita con el 2.68%. En diversas pegmatitas se efectuaron obras de exploración directa sin que llegara a quedar de manifiesto su valor económico (**González Reyna, 1956**).

c) Vidrios volcánicos que muestran una insignificante proporción de uranio, totalmente inaprovechable, pues carece de valor económico. Tal es el caso de una zona cubierta por vidrio volcánico en la región de La Piedad, Mich.

d) Yacimientos minerales de origen secundario, integrados por carnotita, principalmente contenida en rocas sedimentarias, donde aparece como impregnaciones o bien

ocupando pequeños huecos y planos de estratificación. Este tipo de criadero se ha encontrado en el Sotolar, Municipio de Manuel Benavides, Chih., donde la carnotita se asocia con algo de mercurio en la forma de cinabrio. El mineral no es abundante y generalmente, en lo descubierto, es de bajo contenido de uranio (**González Reyna, 1956**).

A partir de 1959 se descubrieron localidades uraníferas en calizas; emprendiéndose en 1968 la exploración de tipo aero-radiométrico, siendo encontradas con este método 55 zonas con radiactividad anómala; de éstas el 75% fueron manifestaciones de uranio y 4 se definieron como depósitos (**Díaz Velarde y Morales, 1969**). Entre 1959 y 1964 se abrieron dos minas de importancia: Sierra de Gómez y El Calvario en el estado de Chihuahua. Estos depósitos consisten en minerales secundarios de uranio en cuerpos irregulares de reemplazamiento a lo largo de fracturas, mantos y bolsas alojadas en calizas del Cretácico Temprano (**Iparrea y Chávez, 1969**). De 1965 a 1984 la exploración uranífera en el país se enfocó a la geología de los depósitos uraníferos conocidos en ese entonces que eran de dos tipos esenciales; el primero en rocas ígneas extrusivas ácidas como las ignimbritas de composición riolítica o riodacítica, o en intrusivos de rocas félsicas en contacto con rocas sedimentarias como las calizas. El otro tipo es el que ocurre en rocas sedimentarias, especialmente en areniscas del Terciario medio o Tardío (**Salas, 1988**). Así, la prospección se orientó a los depósitos de veta en ignimbritas en los estados de Chihuahua, Sonora, Durango, y otros; así como cuerpos estratiformes en areniscas en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, y cuerpos vetiformes en tobas y conglomerados en el estado de Oaxaca (**Salas, 1988**).

En Chihuahua, la mayor parte de las localidades que se detectaron fue en la Sierra Peña Blanca, denominadas mina El Nopal, y los yacimientos Las Margaritas y Puerto III. En general, la mineralización de uranio es secundaria y se aloja en ignimbritas cristalinas de composición riolítica del Terciario.

En Nuevo León, los yacimientos de El Chapote, La Coma, Buenavista, Peñoles y Trancas el uranio se encuentra en la base de una formación arenosa denominada Formación Frío No Marino del Oligoceno. En Sonora, el yacimiento de Los Amoles está emplazado en un sistema de fracturas de una secuencia de traquiandesitas y andesitas, fuertemente alteradas por soluciones hidrotermales, de probable edad Cretácico Tardío al Eoceno.

En el estado de Durango, en la Sierra de Coneto, se tienen varias localidades uraníferas con mineralización secundaria en fracturas o en forma diseminada en capas tobáceas de rocas volcánicas félsicas del Cenozoico. La mina La Preciosa fue una obra subterránea de exploración en la que la mineralización de uranio se presenta en brechas silicificadas y caolinizadas provocadas por un intrusivo que afectó a sedimentos calcáreos y arcillosos del Cretácico, causando brechas locales. La mina El Mezquite fue otra obra subterránea de exploración realizada en una secuencia de ignimbritas y tobas de composición riolítica del Terciario, con minerales secundarios de uranio contenidos en fracturas y en forma diseminada, de disposición burdamente tabular en una capa tobácea.

En el estado de Oaxaca se descubrieron en su porción occidental las manifestaciones uraníferas de Santa Catarina Tayata, en que la mineralización se asocia a tobas y conglomerados posiblemente del Cenozoico, próximos al contacto con areniscas silicificadas del Jurásico, las que se encuentran debajo de las calizas del Cretácico. En San Juan Mixtepec, los primeros barrenos cortaron mineral de uranio en una zona de contacto entre esquistos del Jurásico y gneises más antiguos.

Además, se prospectó el mineral de uranio contenido en la roca fosfórica de los yacimientos de San Juan de la Costa y Santo Domingo en Baja California Sur, que se utiliza en la elaboración de ácido fosfórico, básico en la fabricación de fertilizantes, el proyecto para su explotación se suspendió por reducción presupuestal (**Salas, 1988**).

2.2 Propiedades del uranio

Es un elemento metálico, principal combustible de los reactores nucleares. El uranio fue descubierto en 1789, en la pechblenda, por el químico alemán **Martín Heinrich Klaproth**, quien le puso ese nombre por el planeta Urano. Fue aislado en estado metálico en 1841. Las propiedades radiactivas del uranio fueron demostradas en 1896 cuando el físico francés **Antoine Henri Becquerel** produjo (por la acción de una sal fluorescente denominada uranilsulfato de potasio), una imagen en una placa fotográfica cubierta con una sustancia que absorbía la luz. Las investigaciones sobre la radiactividad que siguieron al experimento de **Becquerel** condujeron al descubrimiento del radio y a nuevos conceptos de la energía nuclear (**Química, 2002**).

El uranio es un elemento litófilo que se enriquece en la corteza superior. El promedio de abundancia del uranio en la corteza terrestre es de casi 2 partes por millón (ppm). En la naturaleza el uranio ocurre en estado tetravalente (U^{+4}) y hexavalente (U^{+6}); en muchos ambientes del subsuelo el uranio está presente como U^{+4} , debido a que el estado U^{+6} es estable bajo condiciones de oxidación. El U^{+4} por su tamaño relativamente grande y su valencia alta le impide combinarse y entrar en la estructura cristalina de los principales minerales formadores de las rocas excepto en cantidades traza; sin embargo, cantidades importantes de uranio se encuentran frecuentemente en minerales accesorios como la thorianita, thorita, thorumgummita, allanita, xenomita, circón, fluorita, apatito y barita. Mucho del uranio en las rocas únicamente es retenido libremente; esta fracción del uranio probablemente ocurre en forma de finas películas contenidas en los granos de los minerales formadores de las rocas, y puede fácilmente lixiviarse por la disolución con ácidos. El U^{+4} es fácilmente convertido a U^{+6} bajo condiciones de oxidación. La lixiviación del uranio de afloramientos intemperizados es rápida y se acrecienta por la formación de iones de uranio complejo con iones de carbonato y sulfato. El uranio puede ser removido eficientemente de soluciones oxidantes por reducción. La reducción en la naturaleza es más frecuente debido a la presencia del sulfuro, ion ferroso, materia carbonosa, o hidrocarburos. El uranio puede también ser removido de soluciones acuosas por adsorción de las arcillas, materia orgánica e hidróxidos de hierro (**Rich et al., 1977**).

Se piensa que el uranio hexavalente se transporta en solución oxidante y se vuelve tetravalente al encontrar un agente reductor como puede ser carbón, arcilla o arena

carbonosa y/o arena con hidrocarburos, lo cual causa su depósito. Además, el uranio tiende a enriquecerse en los últimos miembros de la diferenciación magmática y que su enriquecimiento generalmente se correlaciona bien con la existencia de potasio y cuarzo depositados simultáneamente. Las rocas alcalinas y graníticas contienen un promedio de 2-4 ppm de uranio; pero las rocas felsíticas y especialmente las pegmatitas contienen más de 10 ppm de uranio y, en algunos casos, en diques de bostonita, el uranio llega a 100 ppm. Sin embargo, las rocas ultrabásicas son siempre pobres en uranio (**Rich et al., 1977**).

El uranio se concentra en depósitos de segregación magmática tardía, y ocurre en vetas asociado con rocas ígneas intrusivas. Como las vetas se oxidan, el uranio que es disuelto por el agua se lixivia y transporta por aguas superficiales y subterráneas. Después se deposita en rocas sedimentarias permeables que es fijado por minerales arcillosos y materia orgánica (**Hamblin, 1992**).

Las rocas ígneas representan la fuente original del uranio, pero son conocidas que las concentraciones ricas en uranio ocurran como depósitos hidrotermales y supergénicos. Mucho del uranio que permanece en las tobas después del depósito se observa en el vidrio, aunque texturalmente el vidrio es inestable por su tendencia a cristalizar (**Zielinski, 1981**). La cantidad de uranio liberado depende principalmente sobre los procesos como la alteración deutérica durante la desgasificación inicial, alteración geotermal-hidrotermal, la posterior diagénesis de las rocas, o la devitrificación misma de las tobas que liberan el uranio del vidrio (**Trentham, 1981**).

La formación potencial de minerales de uranio en las rocas félsicas se relaciona directamente con la fuente de uranio junto con ciertos elementos. La asociación del uranio con los halógenos sugiere la formación de complejos urano-halógenos durante el proceso de la diferenciación en las soluciones residuales. El alto contenido de F causa el equilibrio del uranio a bajas temperaturas y puede extender la duración de la evolución magmática inicial (**Christiansen, 1979**). Esto puede proporcionar un mecanismo para el escape del uranio de la cámara magmática (**Levinson, 1980**). La formación del fluoruro de silicio y uranio $[U^{4+}(SiF)_2]$ puede explicar el depósito simultáneo del uranio, fluorita y cuarzo (**Christiansen, 1979**). En los ambientes potenciales de formación de minerales el flujo del fluido es conducido por las fuerzas mecánicas como la diferencia de la presión hidráulica, y el efecto del gradiente geotérmico pueden producir celdas de convección, de diversos kilómetros de diámetro, y puede producir soluciones circulantes (**Norton, 1978 y 1979; Norton y Taylor, 1979**). Estas soluciones circulantes pueden producir importante lixiviación, transporte, y depósito del uranio. Igualmente, la dirección de flujo del fluido puede ser ascendente, descendente, o lateral. El depósito puede ser directamente adyacente, dentro de la roca fuente, o a grandes distancias de la fuente. Los agentes reductores para el depósito del uranio puede ser por sólidos que contengan Fe^{2+} , S^2 , o C^0 , por los solutos y/o gases que contengan Fe^{2+} , S^{2-} , H_2^0 , hidrocarburos (**Rich et al., 1977**).

Los tres minerales primarios de uranio que tienen carácter económico-industrial (**Antunez, 1958**), son los siguientes:

| MINERAL Y FÓRMULA QUÍMICA | NOMBRE DEL COMPUESTO QUÍMICO |
|---|---|
| Uraninita (UO ₂) | Óxido cristalino de uranio |
| Pechblenda (UO ₂) | Óxido microcristalino de uranio |
| Davidita AB ₃ (O, OH) ₇ A= Fe, Tierras Raras, U, Ca, Zr, Th B= Ti, Fe, U, V, Cr | Óxido de titanio, de los metales de las Tierras Raras y de uranio |

Los seis minerales secundarios de uranio más comunes son:

| MINERAL Y FÓRMULA QUÍMICA | NOMBRE DEL COMPUESTO QUÍMICO |
|---|--|
| Carnotita K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·1-3 H ₂ O | Vanadato de potasio y uranio |
| Tyuyumanita Ca(UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·7-10 H ₂ O | Vanadato de calcio y uranio |
| Torbernita y Metatorbernita Cu(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ·8-12H ₂ O | Fosfatos hidratados de cobre y uranio |
| Autunita y Meta-autunita Ca(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ·10-12 H ₂ O | Fosfatos hidratados de calcio y uranio |
| Uranofano Ca(UO ₂) ₂ Si ₂ O ₇ ·6H ₂ O | Silicato hidratado de calcio y uranio |
| Schroëckingerita NaCa ₃ (UO ₂)(CO ₃) ₃ (SO ₄)F·10H ₂ O | Sulfato complejo, hidratado carbonato y fluoruro de calcio, sodio y uranio |

2.3 El uranio en el mundo y en México

La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) define los recursos de uranio en las categorías siguientes:

Recursos Convencionales Conocidos

Recursos Razonablemente Asegurados (RAR)

Recursos Adicionales Estimados I (EAR-I)

Recursos Sin Descubrir

Recursos Adicionales Estimados II (EAR-II)

Recursos Especulativos (SR)

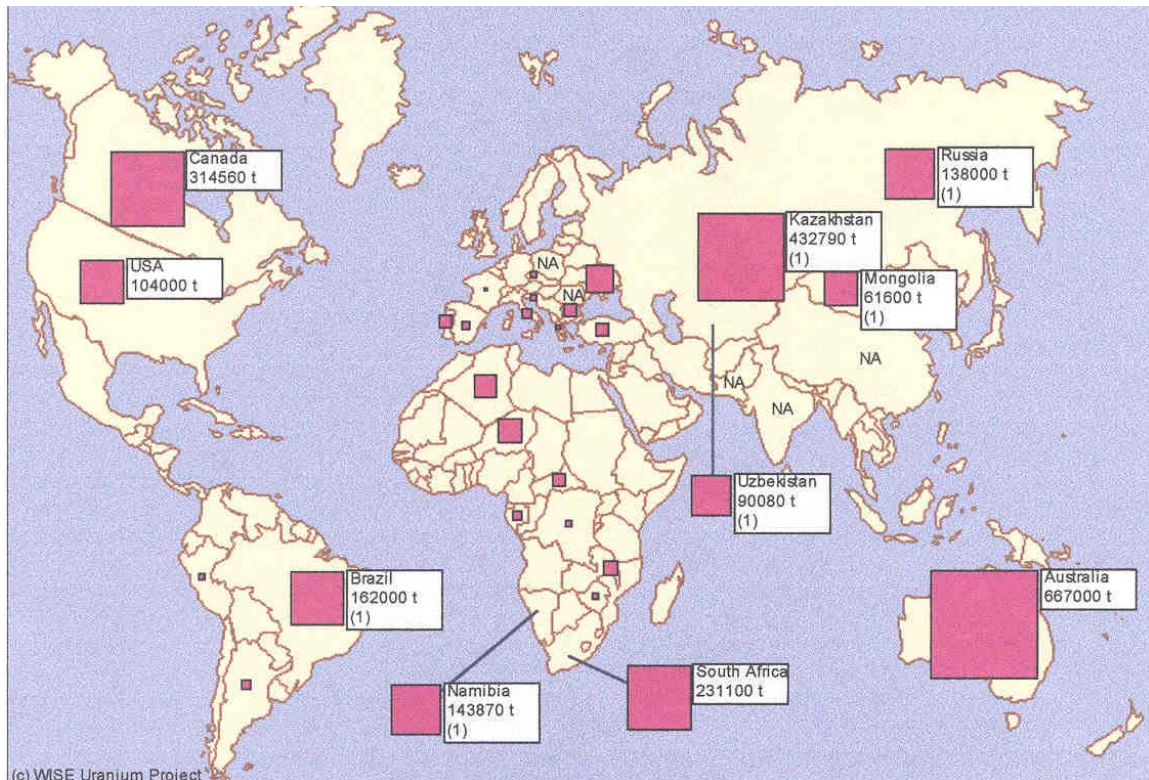


Figura 2.1 Recursos de uranio en el mundo (rar)

(1) Recursos *in situ*

Recursos razonablemente asegurados (RAR) al 2001, con un rango de costo de 80 dólares US / kg de U.

FUENTE: IAEA, 2002

Las recursos razonablemente asegurados (RAR) con que cuenta el mundo al 2001 son de 2 515 650 t U en 29 países (**Figura 2.1**) y en otros 5 (China, India, Pakistán, Polonia y Rumania) no está disponible la información (**Tabla 2.1**).

Tabla 2.1 Recursos razonablemente asegurados (RAR) en el mundo

| PAIS | PRODUCCIÓN TOTAL [t U] |
|---------------------------------|------------------------|
| Argentina | 5 080 |
| Argelia | 26 000 |
| Australia | 667 000 |
| Brasil | 162 000 |
| Bulgaria | 7 830 |
| Canadá | 314 560 |
| China | No disponible |
| República Democrática del Congo | 1 800 |
| República Checa | 2 370 |
| España | 2 460 |
| Eslovenia | 2 200 |
| Estados Unidos | 104 000 |
| Francia | 190 |
| Gabón | 4 830 |
| Grecia | 1 000 |
| India | No disponible |
| Italia | 4 800 |
| Kazajstán | 432 790 |
| Malawi | 11 700 |
| Mongolia | 61 600 |
| Namibia | 143 870 |
| Nigeria | 29 600 |
| Pakistán | No disponible |
| Perú | 1 790 |
| Polonia | No disponible |
| Portugal | 7 470 |
| República de África Central | 8 000 |
| Rumania | No disponible |
| Rusia | 138 000 |
| Sur África | 231 100 |
| Turquía | 9 130 |
| Ucrania | 42 600 |
| Uzbekistán | 90 080 |
| Zinbabwe | 1 800 |

FUENTE: IAEA, 2002.

En 8 países existen recursos por arriba de las 100 000 t U y son los siguientes: Australia, Kazajstán, Canadá, Sur África, Brasil, Namibia, Rusia y Estados Unidos de América. Asimismo, la producción de uranio del 2001 en 20 países fue de 35 767 t U (**Figura 2.2**), y de ellos 7 son los principales productores con una producción anual de 2 000 t U en adelante y son: Canadá, Australia Nigeria, Uzbekistán, Namibia, Kazajstán y Rusia (**Tabla 2.2**).

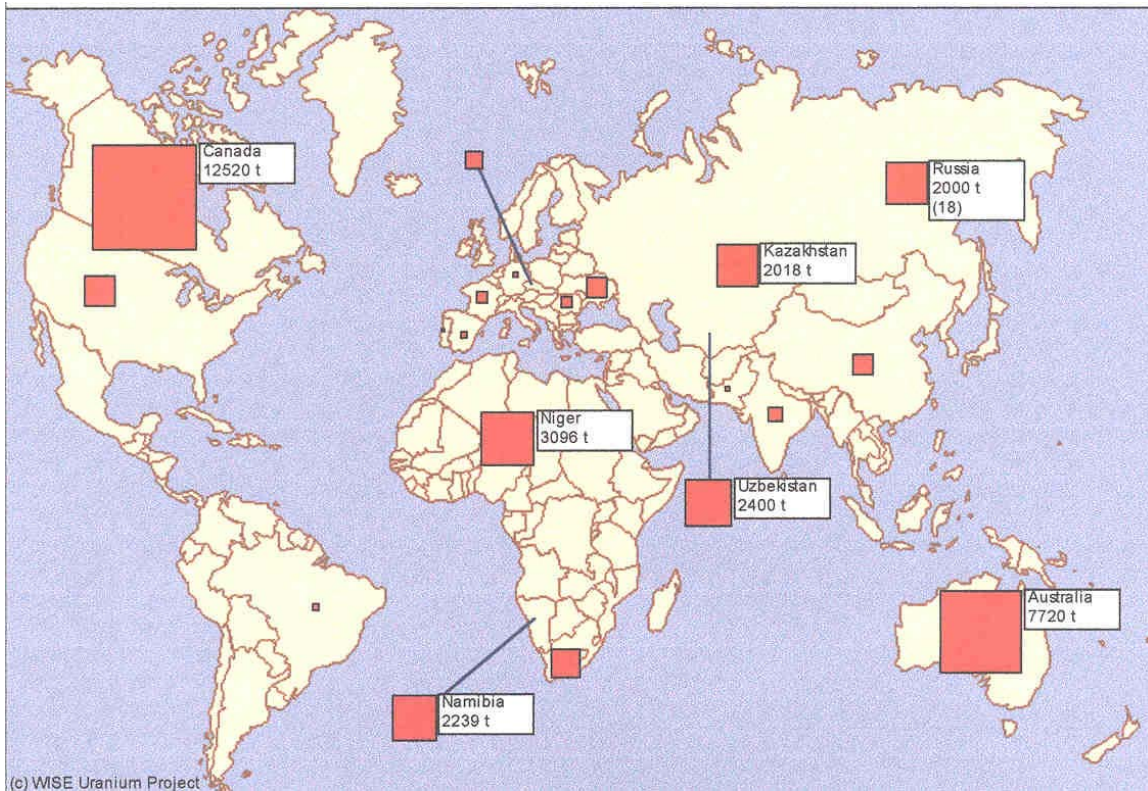


Figura 2.2 Producción de uranio en el 2001

FUENTE: IAEA, 2002. Uranium ore deposits; USA, IAEA, Internet, www.antenna.nl/wise/uranium/uod.html

Tabla 2.2 Producción de uranio anual en el 2001

| PAÍS | PRODUCCIÓN TOAL[t u] |
|-----------------|----------------------|
| Alemania | 20 (7) |
| Australia | 7 720 |
| Brasil | 30 |
| Canadá | 12 520 |
| China | 500 (18) |
| Estados Unidos | 1 000 |
| España | 30 |
| Francia | 124 |
| India | 200 (18) |
| Kazajstán | 2 018 |
| Namibia | 2 239 |
| Nigeria | 3 096 |
| Pakistán | 23 (18) |
| Portugal | 4 |
| Rumania | 115 (18) |
| República Checa | 330 |
| Ucrania | 500 |
| Uzbekistán | 2 400 |
| Sur África | 898 (3) |
| Rusia | 2 000 (18) |

(3) El uranio es subproducto de la explotación del oro; (7) Producción del decomiso; (18) Estimado por la WNA (World Nuclear Association).

La mayoría de los depósitos de uranio en México siguen una orientación general NNW y otros están al oriente hacia la costa del golfo de México (**Figura 2.3**). De acuerdo con la clasificación de la IAEA, los recursos de uranio que se conocen en México están dentro de la categoría de Recursos Adicionales Estimados I (EAR-I), y cuyo tonelaje se

sabe dan un total de 11 491 toneladas *in situ* de uranio (TABLA 2.3), con datos de URAMEX a Mayo de 1983 (Salas, 1988).



Figura 2.3 Principales localidades uraníferas en México

FUENTE: Salas, 1988.

Tabla 2.3 Principales localidades uraníferas en México

| TONELADAS <i>in situ</i> de U ₃ O ₈ | | | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|
| BAJA CALIFORNIA SUR | CHIHUAHUA | DURANGO | NUEVO LEÓN | OAXACA | SAN LUIS POTOSÍ | SONORA | TAMAULIPAS | ZACATECAS |
| 151 000** | 2 789 | 1 267 | 5 075 | 696 | S/C* | 1 664 | S/C* | S/C* |
| 1 San Juan de la Costa | 1 Sierra Peña Blanca | 1 El Mezquite | 1 El Chapote-Diana | 1 Los Cantiles | 1 Peñón Blanco-Salinas | 1 Los Amoles-Martín | 1 Díaz Ordaz | 1 Villa de Cos |
| 2 Santo Domingo | 2 Laguna del Cuervo | 2 Buenavista | 2 Santa Fe-Dos Estados | 2 San Juan Mixtepec | 2 Wadley-Sierra de Catorce | 2 Granaditas | 2 Burgos-Méndez | 2 Tetillas |
| | 3 La Gloria-La Mesa | 3 Sierra de Coneto | 3 La Coma | 3 Tezoatlán-El Pipi | 3 Río Verde | 3 Moctezuma | 3 Cruillas | |
| | 4 Majalca | 4 Sierra de San Francisco | 4 Buenavista | 4 Boca de Perro | 4 El Realito | 4 Huasabas | | |
| | 5 Cerros Colorados | 5 Santiago Papasquiari | 5 Presita-Trancas-Peñoles | 5 Magdalena-Peñasco | | 5 Santa Rosalía-Picacho | | |
| | 6 Pastorias | 6 Chupaderos-Gamón | | 6 Santa Catarina Tayata | | 6 San Javier | | |
| | 7 Adargas | 7 La Merced | | | | | | |
| | 8 Ojinaga | 8 La Preciosa | | | | | | |
| | 9 Sotolar | 9 Coneto Buenavista | | | | | | |
| | 10 Los Arados | | | | | | | |
| | 11 Sierra de Gómez | | | | | | | |

S/C* Sin cifras; 151 000**tonelaje de uranio que es subproducto de la roca fosfórica.

FUENTE: Salas, 1988.

3. DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO DE URANIO DE CONETO-BUENAVISTA

3.1 Localización

El depósito de uranio en estudio se ubica en la porción norcentral del estado de Durango, a 125 km al noreste de la capital del estado y a 115 km al oeste-suroeste de la ciudad de Torreón, en la margen derecha del Río Nazas. Sus coordenadas son: 104° 37' longitud oeste y 25° 34' latitud norte. La región que se analizó pertenece a la jurisdicción del Municipio de Rodeo, Durango y abarca una superficie aproximada de 0.23 km² de terrenos ejidales (**Figura 3.1**).

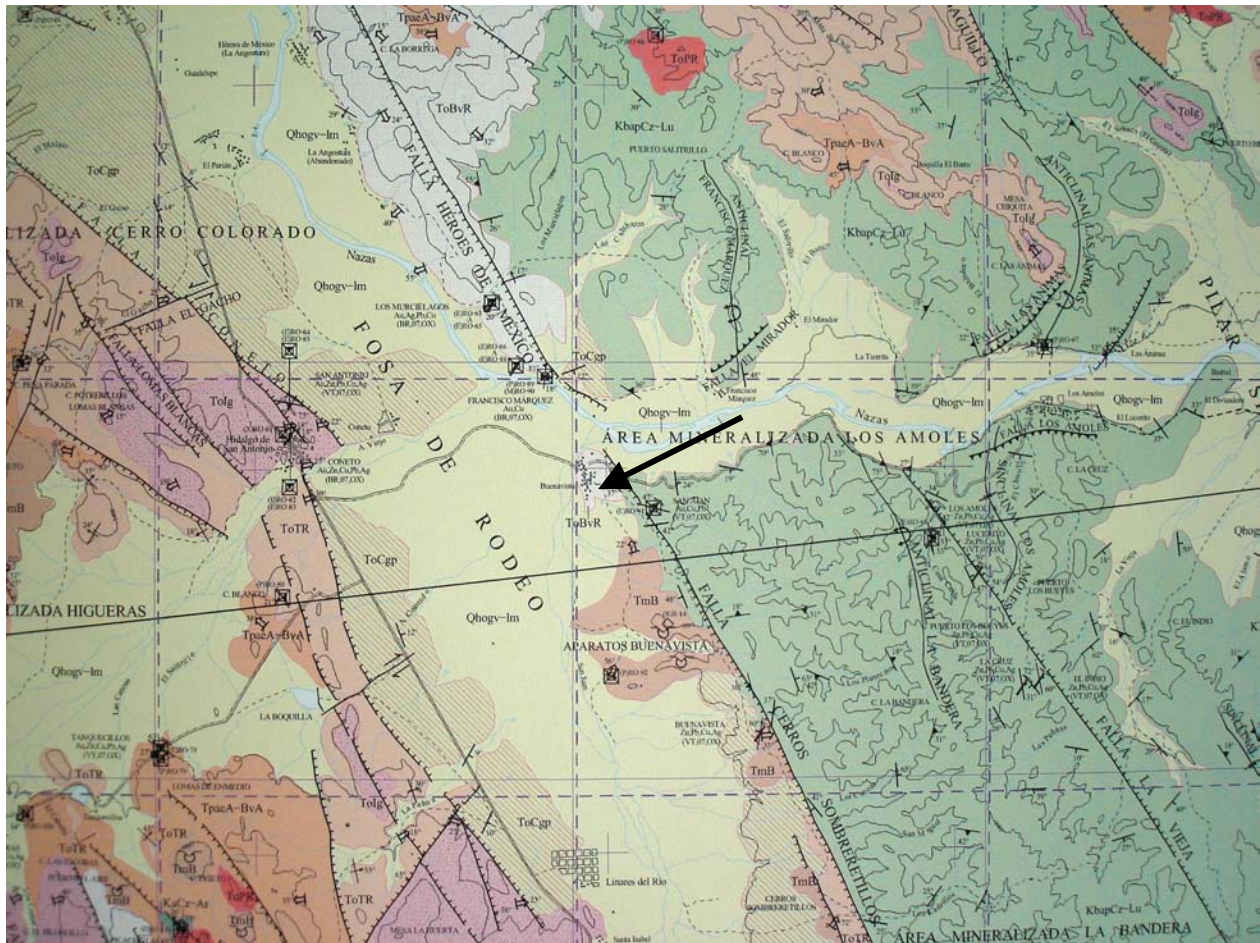


Figura 3.1 Ubicación del depósito de Coneto-Buenavista (la flecha indica el sitio) en la carta geológico-minera de Rodeo, Durango.

FUENTE: Consejo de Recursos Minerales, 2003.

3.2 Acceso y vías de comunicación

El acceso al área de estudio es por la carretera Panamericana (No. 45) México-Ciudad Juárez, en su tramo Durango-Parral, con una distancia de 154 km a partir de la ciudad de Durango hasta el camino de entronque (km54+100). Otra vía de comunicación es la

carretera Torreón-Bermejillo-La Zarca-Rodeo, con una distancia de 256 km desde la ciudad de Torreón hasta el entronque con el camino de acceso.

El desarrollo total del camino de acceso desde el entronque con la carretera Panamericana hasta la zona es de 8 km, permite el tránsito de vehículos todo el año (Figura 3.2).

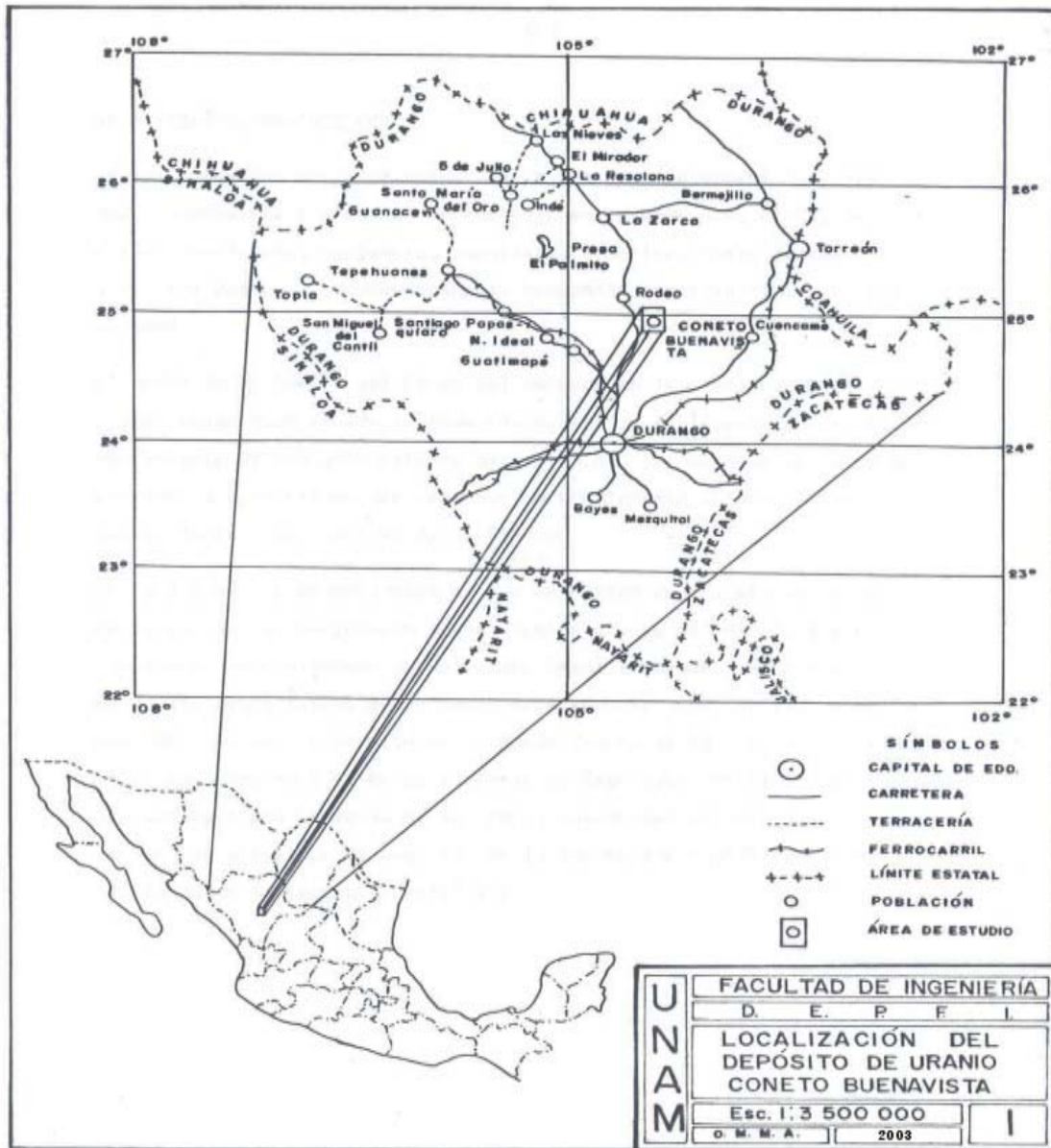


Figura 3.2 Localización del depósito de uranio Coneto-Buenavista, Durango

3.3 Estudios previos

En 1962 Geoca, S.A., empezó a realizar los estudios geológicos en zonas próximas al DCB, como La Preciosa y El Mezquite a 44 km al noreste y 13 km al noroeste,

respectivamente. En ambos sitios se detectó mineral de uranio y fueron objeto de un amplio programa de barrenación y obras mineras.

En la mina La Preciosa, la mineralización se encuentra en calizas de edad Cretácico Temprano y Tardío, afectadas por un cuerpo intrusivo de composición andesítica del Terciario. En la mina El Mezquite el uranio se localiza en tobas líticas de composición riolítica del Terciario. El INEGI (1976 y 1978) publicó las cartas topográfica y geológica de Rodeo, respectivamente, clave G13D42, escala 1:50 000, donde quedó consignado el DCB. En 1986 se informó que las recursos uraníferos en el estado de Durango eran del orden de las 615 toneladas de U_3O_8 , distribuidas en diversos depósitos como se muestra en la siguiente tabla (Castañeda, 1986).

Tabla 3.1 Recursos uraníferos en el estado de Durango

| YACIMIENTOS | LEY MINERAL % U_3O_8 | CONTENIDOS U_3O_8 TONELADAS |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|
| La Preciosa | 0.062 | 434 |
| El Mezquite | 0.052 | 90 |
| Buenavista | 0.050 | 24 |
| La Merced | 0.150 | 23 |
| Salinas | 0.034 | 20 |
| Santa María del Oro | 0.015 | 7 |
| San Luis del Cordero | 0.060 | 6 |
| San Martín | 0.015 | 5 |
| Sombreretillo | 0.040 | 4 |
| Santiago Papasquiario | 0.100 | 2 |
| TOTAL | | 615 |

FUENTE: Castañeda, P. M., 1986.

Desde el punto de vista de recursos, se dijo que sólo los yacimientos de La Preciosa y El Mezquite revisten alguna importancia. El resto de los yacimientos, por sí solos no presentan atractivo y no justifican la explotación minera metalúrgica y su contenido de 91 toneladas deben ser clasificadas como recursos (Castañeda, 1986).

En 1993 se publicó la monografía geológico-minera del estado de Durango, por el Consejo de Recursos Minerales, en la que se publica datos de los aspectos geográficos, geológicos y mineros, de estos últimos detalla las estructuras mineralizadas y leyes de los yacimientos minerales explotados en los distritos mineros más importantes del estado. En febrero del 2000 se editó, por el Consejo de Recursos Minerales, la carta geológico-minera Santiago Papasquiario, Durango, clave G13-8, escala 1: 250 000, en ella no está localizado el depósito de uranio de Coneto-Buenavista; sin embargo, es una buena recopilación geológico minera de lo que se divulgó, por diferentes fuentes. En noviembre de 2003 el Consejo de Recursos Minerales publicó la carta geológico-minera de Rodeo, Durango, clave G13-D42, escala 1:50 000, pero no se indica la existencia del DCB, como se registró en las cartas de topografía y geología de Rodeo, clave G13D42, escala 1:50 000, por INEGI (1976 y 1978), respectivamente. Empero, es una buena recopilación geológico minera de lo promulgado hasta el presente.

3.4 Antecedentes minero-metalúrgicos

En las cercanías del área de estudio la explotación minera tuvo una gran importancia a nivel gambusinaje extrayendo oro, plata, mercurio, estaño, antimonio, manganeso, tungsteno, fluorita, ópalo de baja calidad y calcita óptica. Algunas pequeñas compañías explotaron fluorita, plata y plomo.

El depósito de hierro de Cerro del Mercado en la ciudad de Durango, es interpretado como derrames de lava con magnetita emplazados en la zona de hundimiento de una gran caldera hace 30 Ma. Yacimientos de hematita próximos a este último, pero más pequeños, probablemente se originaron en tobas que contenían casi puro óxido de hierro (**Lyons, 1988**).

En Tayoltita, la primera mina de oro en México en los últimos años, las rocas volcánicas pertenecen a una sección gruesa de andesitas y riolitas que fueron intrusionadas por plutones batolíticos hace 45 Ma; sin embargo, las vetas fueron depositadas hace 40 Ma, como se indica en la edad de K-Ar del feldespatos en la ganga (**Henry, 1975**). En el distrito Libertad Ventanas a 40 km al suroeste de Tayoltita, en el pasado fue explotada la plata en vetas de las rocas volcánicas más antiguas, pero la producción actual es de una veta en la ignimbrita de composición riolítica de la porción más joven de la secuencia volcánica.

3.5 Fisiografía

La zona de interés se encuentra en la porción oriental de la Sierra Madre Occidental, al aproximarse desde el noreste, parece ser un homoclinal de rocas volcánicas del Terciario medio con buzamiento muy suave. Las rocas se elevan gradualmente hacia el suroeste desde las cuencas interiores rellenas con depósitos de sedimentos más jóvenes sin consolidar, localmente interestratificados con flujos basálticos del Cuaternario. La cima con una cota de 3 000 m corresponde a una meseta que está cortada profundamente por ríos que fluyen al occidente y que descienden rápidamente al nivel del mar, y los remanentes permanecen aislados como cerros altos y picos escarpados, por los cañones profundos. En la porción suroeste de la meseta las inclinaciones generalmente son pronunciadas, y la continuidad de las rocas volcánicas que están coronando, son perturbadas por fallas normales mayores y por una erosión fuerte, hacia la cabecera, de los ríos que drenan hacia el Océano Pacífico. El flanco oriental de la sierra es de superficie ondulante que se encuentra integrada por un sistema de mesetas escarpadas, formadas por derrames ígneos terciarios, que cubre a las rocas metamórficas y sedimentarias mesozoicas.

3.5.1 Geomorfología

La región donde se encuentra enclavado el DCB se caracteriza por mostrar un relieve constituido por pequeños lomeríos de coloración amarillo-pardo, cortados por arroyos intermitentes que desembocan en la planicie aluvial, del Río Nazas. Los lomeríos están conformados por calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera, que arman en un anticlinal recumbente con inclinación hacia el noreste.

Contrastando con los lomeríos de rocas sedimentarias, se encuentran cerros prominentes de rocas volcánicas que presentan una coloración pardo oscuro y con mayor resistencia a la erosión. Los rasgos particulares que muestran las mesetas, están controlados por el carácter litológico y la sucesión estratigráfica de las rocas que las constituyen y en las cuales la erosión actuó en forma diferencial. Esta condición explica las formas acantiladas hacia la parte superior de las mesetas que coinciden con la mayor resistencia a la erosión, que oponen las ignimbritas, en tanto que las suaves pendientes hacia las partes inferiores de las mesetas en la zona de barrancas corresponden a los sedimentos continentales, en los que se han formado interfluvios que separan las mesetas.

Las mesetas se encuentran en la etapa de madurez temprana del ciclo geomorfológico en clima árido (**Lugo, 1989**), caracterizadas por terrazas y juntas prismáticas que dan lugar a los abruptos cantiles. Las rocas sedimentarias continentales están confinadas a las partes bajas con formas suaves y redondeadas.

La localidad uranífera se puede asociar a un cuerpo subvolcánico de composición riolítica afectado por un sistema fracturas persistente y presenta formas redondeadas. Además, en el depósito existen cuerpos tabulares de coloración blanquecina con intemperismo a veces rojizo, que se expresan en el terreno como crestones y a veces como zonas muy planas que destacan en las rocas circunvecinas (**fotografías 3.1 y 3.2**). Estos cuerpos son los que contienen alta radiometría y contienen mineral de uranio a simple vista, hecho que se constató con obras de exploración directa (catas).



Fotografía 3.1 Vista aérea del depósito de Coneto-Buenavista de 1975, en primer plano el poblado de Buenavista, la flecha señala el depósito de uranio y a la izquierda se aprecia el cauce del Río Nazas.



Fotografía 3.2 Vista de la porción oriental del cuerpo subvolcánico del depósito de Coneto-Buenavista, desde la brecha que comunica el poblado Buenavista con la población de Nazas, Durango.

En los planos topográficos de la zona se puede observar corrientes cuyos cursos tienen dirección noreste a suroeste, que se pueden clasificar como del tipo subsecuente, por seguir su cauce el rumbo de las rocas sedimentarias, y al cambiar de dirección

modifican su rumbo y adaptan su curso a lo largo de las fracturas. De manera general, las corrientes subsecuentes presentes en el área, forman un drenaje de tipo dendrítico debido a la homogeneidad de las ignimbritas, las cuales afloran en las partes altas donde se originan las corrientes. Los cauces de las corrientes no son desviados al cruzar las tobas líticas que se encuentran hacia la base de las mesetas debido al pronunciado gradiente que les propicia considerable persistencia, pero una vez que llegan a la parte baja, pierden su energía y entran al dominio de las formaciones sedimentarias, quedando las aguas controladas por la estructura de las mismas.

Asimismo, existen zonas donde el drenaje es un modelo de tipo rectangular, pues las corrientes tienen cursos fuertemente angulares debido al sistema rectangular de las fracturas que afectan a las rocas sedimentarias y extrusivas de la región. Además, se tienen otras zonas donde el tipo de drenaje es enrejado, que es característico de las rocas plegadas o que buzan fuertemente como son los anticlinales y sinclinales recostados, que arman en las rocas mesozoicas del área (**Figura 3.3**).

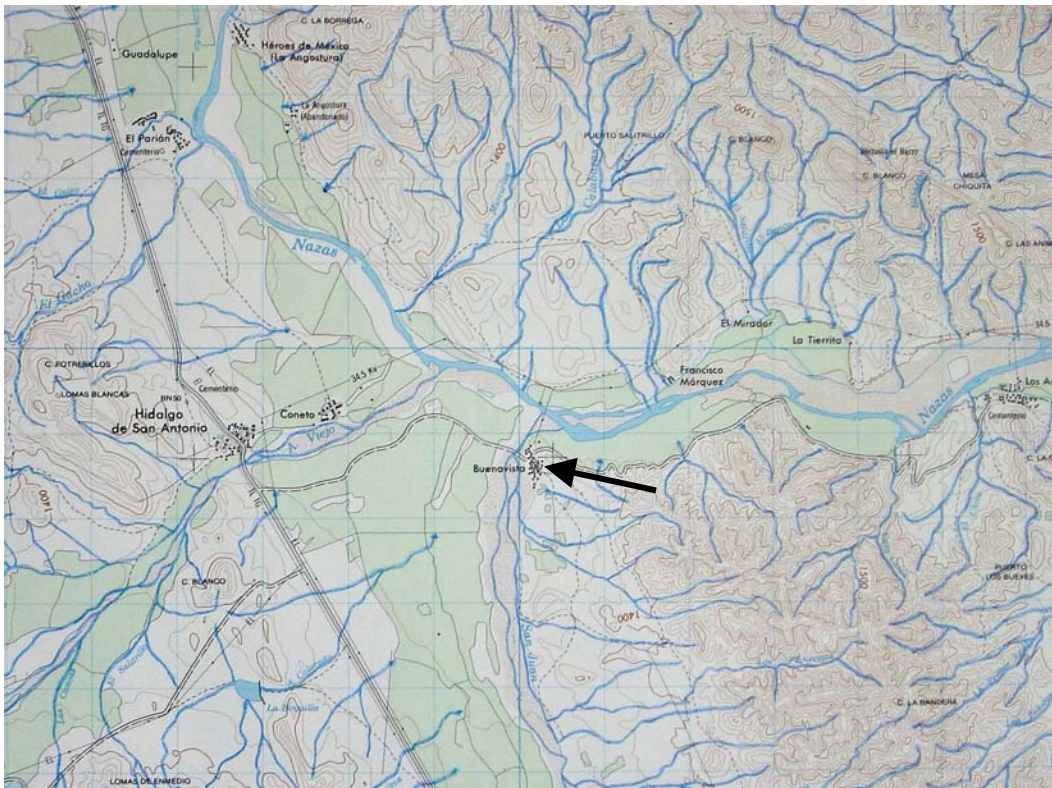


Figura 3.3 Detalle de la hidrología alrededor del depósito de Coneto Buenavista (se señala con la flecha) en la carta topográfica de Rodeo, Durango

FUENTE: INEGI, 1976.

3.6 Programa de exploración directa

3.6.1 Catas

Estas obras directas tuvieron como finalidad cortar en sección los cuerpos hidrotermalizados para observar el comportamiento de la mineralización. Se efectuaron ocho catas, siete zanjas en el cuerpo hidrotermalizado No.1 y una trinchera en el cuerpo hidrotermalizado No.2 (**plano 1** al final en bolsa). En las siete zanjas del cuerpo hidrotermalizado No.1 se efectuó el muestreo de canal a cada metro en las tablas derecha e izquierda de cada zanja, para determinar el contenido y distribución del mineral. El número de muestras que se tomaron fue de 152, pero únicamente a 85 muestras se les practicó los análisis cuantitativos de U_3O_8 por fluorescencia de rayos X y radiométrico β - γ sus resultados indicaron que las leyes fluctúan de los 40 g/t a 6 700 g/t.

A continuación se resumen las características de las catas (**Tabla 3.2**), que se encuentran en los cuerpos hidrotermalizados No.1 y No.2 del DCB (**plano 1** al final en bolsa).

Tabla 3.2 Características de las zanjas de los cuerpos hidrotermalizados No. 1 y No. 2 del DCB

| Número de Zanja | Ubicación | Rumbo | Longitud m | Anchura m | Observaciones |
|--------------------------------------|---|-----------------------|-------------|-----------|---|
| 1 | Porción norte a 5 m de barreno 17 | W-E | 27.5 | 2 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.1 |
| 2 | A 18 m del barreno 6 | NE 70° SW | 18 | 2 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.1 |
| 3 (en planta tiene una forma de "Y") | A 8.5 m al oeste del barreno 3 y a un lado del barreno 21 | NE 40° SW y NW 25° SE | 29.5 y 13.5 | 1 y 2 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.1 y y sigue de forma paralela al cuerpo. |
| 4 | A un lado del barreno 26 | NE 80° SW | 10 | 1.5 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.1. |
| 5 | A 3 m al sur del barreno 41 | NE 65° SW | 27 | 1 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.1. |
| 6 | A un lado del barreno 52 | NE 65° SW | 15 | 1 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.1. |
| 7 | A un lado del barreno 68 | NE77°SW | 40 | 1 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.1. |
| 8 | A 10 m del barreno 147 barreno | NW17°SE | 20 | 1 | Corta transversalmente al cuerpo hidrotermalizado No.2. |

3.6.2 Programa de perforación

El DCB, en su mayor parte, se exploró en la porción más superficial, pues las primeras campañas de perforación fueron con una perforadora neumática, y al encontrar el nivel freático de las aguas subterráneas, se tenían numerosos problemas operativos aumentando considerablemente los costos de perforación. Posteriormente, en 1983 se volvieron hacer otros barrenos pero se empleó una perforadora rotaria para explorar a mayor profundidad, y obtener recortes de roca y en algunos barrenos se recuperó el núcleo de roca continuo (**plano 1** al final en bolsa).

Al inicio se estableció un programa que abarcó únicamente el cuerpo hidrotermalizado No.1, por ser este el que mejores perspectivas superficiales presenta. El programa comprendió originalmente un total de 85 barrenos y se les identificó con numeración progresiva del 0 al 84, distribuidos uniformemente sobre el cuerpo. Las líneas de barrenación se establecieron perpendicularmente al eje mayor del mismo y equidistantes 20 m entre sí. La separación entre barrenos fue de 10 m.

De octubre de 1975 a noviembre de 1976 se perforó un total de 171 pozos con un desarrollo de 6 846.00 m y los barrenos registrados (con registro de rayos gamma) fue de 6 202.41 m. Además, quedaron 8 pozos sin registro que se incluyeron en la cantidad de 643.59 m sin registrar.

En 1983 se efectuó otra campaña de perforación de 13 barrenos con nomenclatura del CB-1 al CB-13 y se perforaron de forma vertical. En esta campaña el total de metros

perforados fue de 1 703 m, mientras que la cantidad de metros registrada fue de 1 644.50 m, por lo que hubo una cantidad de 58.50 m que no se registró.

3.7 Estratigrafía

La secuencia estratigráfica en la región de interés que comprende del Cretácico Inferior al Cuaternario, se describe de la roca más antigua a las más reciente de la siguiente forma:

Mesozoico

Cretácico Inferior-Cretácico Superior

Existe una secuencia compuesta por una alternancia de calcarenitas gris oscuro, de estratos delgados e interperismo pardo amarillento (**Fotografía 3.3**), presentando ocasionalmente nódulos de pedernal y capas delgadas de lutitas y limolitas color pardo claro a rosado y eventuales estratos delgados a medianos de grauvacas de coloración verde-amarillento con interperismo amarillo-pardo.



Fotografía 3.3 Afloramiento de capas delgadas de calizas y lutitas de la Formación Mezcalera, próximo al depósito de Coneto Buenavista

Esta secuencia sedimentaria que aflora en el área de estudio es parte de la Formación Mezcalera, la que fue denominada informalmente por primera vez como Grupo Mezcalera por compañías particulares, que realizaron trabajos para Petróleos Mexicanos. Sin embargo, **Araujo y Arenas (1986)** mencionan que con base en los estudios realizados por ellos y en concordancia con el Código de Nomenclatura

Estratigráfica propusieron el término de Formación Mezcalera a las unidades consideradas como Grupo Mezcalera.

La Formación Mezcalera en su localidad tipo está formada por rocas terrígenas (lutitas, limolitas y margas) con escasas calizas intercaladas y su edad se estableció, de acuerdo con estudios de microfauna y macrofauna, del Neocomiano al Cenomaniano-Turoniano. En el estado de Durango el espesor aproximado es de 156 a 342 m. Las rocas de esta formación fueron afectadas por esfuerzos provenientes del oeste-suroeste al este-noreste, plegándolas y fallándolas normal e inversamente (**Araujo y Arenas, 1986**). Al Cretácico Superior el **INEGI (1988)** lo define como una secuencia alternante de caliza y lutita ks (cz-lu) con escasos horizontes de arenisca intercalados, depositada en facies marinas neríticas. La caliza es de textura biomicrita, con trazas de terrígenos de cuarzo, plagioclasa y hematita. La lutita se clasificó petrográficamente como lutita calcárea y marga, los estratos son delgados a medios. Denota fracturas rellenas de calcita y un plegamiento anisopaco. Descansa sobre rocas del Cretácico Inferior y subyace a rocas clásticas del Cretácico Superior. Aflora en el área de estudio y se extiende hacia el oriente con una morfología de sierras y lomeríos de pendiente suave al oriente.

El **CRM (2003)** designa al Grupo Mezcalera, como una serie de depósitos tipo flysch, representado por una alternancia rítmica de arenisca, lutita, limolita, y caliza arcillosa, así como niveles de areniscas conglomeráticas. En la carta el Grupo Mezcalera se dividió en dos unidades, la primera unidad corresponde a caliza y lutita (KbapCz-Lu), y la segunda unidad constituida por caliza y arenisca Ka(Cz-Ar) ambas depositadas en el intervalo Barremiano – Albiano del Cretácico Temprano.

Cenozoico

Terciario

Está representado por una serie volcánica de composición intermedia a ácida en la que pueden distinguirse distintas unidades.

Paleoceno-Eoceno

Se tiene un cuerpo de toba de composición andesítica deleznable de color rojo, muy intemperizada, al que le sigue una unidad de brecha andesítica y encima de ésta derrames andesíticos de color gris verdoso cubiertos por un cuerpo de tobas líticas muy silicificadas, de coloración blanquecina con intemperismo pardo negruzco a verdoso. La potencia total aproximada es de 45 m. Estas unidades tentativamente se pueden correlacionar con las rocas del Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental, el cual posee una forma dominante de derrames y unidades piroclásticas de composición andesítica, pero también cuenta con intercalaciones de ignimbritas silíceas. Este complejo inferior se distingue en gran medida por su carácter ligeramente deformado e intensamente afallado y alterado (**Morán, 1984**). Asimismo, son correlacionables con las formaciones del área de Coneto de Comonfort (**Guzmán y Alba, 1981**), que de la base a la cima son (**Tabla 3.3**):

Formación Santa Rosa: Es la formación más antigua del distrito minero, constituida por rocas volcánicas piroclásticas y sus derivados sedimentarios. Se presentan capas delgadas (10 a 50 cm) de tobas, tobas arenosas y areniscas tobáceas, así como cuerpos ignimbríticos de color rosa de moderado a claro, el espesor es de 60 m. El contacto con la Formación Azul es discordante con una superficie de contacto irregular. La edad es del Eoceno Temprano.

Formación Azul constituida por derrames de lava de composición andesítica, presenta un color azul oscuro, textura afanítica, con espesor de 8 m. Se encuentra debajo de la Formación Santa Clara de manera concordante, y su edad es del Eoceno Tardío.

Formación Santa Clara formada por rocas andesíticas con fuerte caolinización de color crema con ligeros tintes grisáceos, con textura afanítica y estructura compacta. Su contacto superior es discordante con la Formación La Soledad. La edad corresponde al Eoceno Tardío.

Formación La Soledad consiste en una brecha de derrame de composición andesítica, de color gris claro, con fragmentos de 0.5 a 15 cm, textura afanítica y espesor de 20 m. El contacto superior es concordante con la Formación Las Moritas. La edad es del Eoceno Tardío.

Carrasco (1980) menciona que una andesita de San Lucas de Ocampo, con coordenadas geográficas de latitud norte: 26° 14' y longitud oeste: 105° 28' del Municipio de San Juan del Río, datada con el método de K-Ar dio una edad de 38 ± 0.8 Ma, correspondiente al Eoceno Tardío. El Instituto Mexicano del Petróleo (**1983**) efectuó estudios geocronológicos por el método de K-Ar, a cuatro muestras de composición andesítica que dieron edades del Cretácico al Eoceno (**Tabla 3.3**):

Tabla 3.3 Edades geocronológicas de rocas de composición andesítica en el estado de Durango

| Roca | Edad en millones de años (Ma) | Eón, Periodo Época | Mineral Analizado | Coordenadas Geográficas | | Estado | Poblado | Fecha de Análisis |
|----------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| | | | | Latitud Norte | Longitud Oeste | | | |
| Andesita de piroxeno | 24.2 | Eoceno | Roca total | 24°28'21" | 102°47'06" | Durango | La Escalera | 03-10-83 |
| Toba andesítica | 112.6 | Cretácico | Roca total | 25°32'28" | 103°36'25" | Durango | León Guzmán | 19-03-86 |
| Toba andesítica | 110.6 | Cretácico | Roca total | 25°32'28" | 103°38'25" | Durango | León Guzmán | 13-02-88 |
| Toba andesítica | 80.4 | Cretácico | Roca total | 25°31'36" | 103°35'20" | Durango | León Guzmán | 11-03-88 |

Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 1983.

Los derrames andesíticos se pueden correlacionar con la unidad de andesitas y brechas andesíticas (TpaA-BvA) del Paleoceno al Eoceno, que se depositaron discordantemente sobre la Formación Mezcalera, que fue cartografiada por el **CRM (2003)**.

Oligoceno-Mioceno

Aflora un cuerpo intrusivo somero de composición riolítica con estructura de un pequeño tronco (*stock*) que afecta a las calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera (**Figura 3.4**). El contacto con la secuencia sedimentaria mesozoica es irregular pero nítido por intrusión. El cuerpo intrusivo somero puede corresponder a rocas subvolcánicas, por lo general, se trata de conductos alimentadores de las rocas volcánicas y su estructura es en diques o pequeñas intrusiones. Las rocas de estos cuerpos subvolcánicos suelen presentar texturas similares a las de las rocas volcánicas que originaron, y muchas veces el único criterio para distinguirlos es estructural (**Cepeda, 1973**).

Supergupo Volcánico Superior

Oligoceno-Mioceno

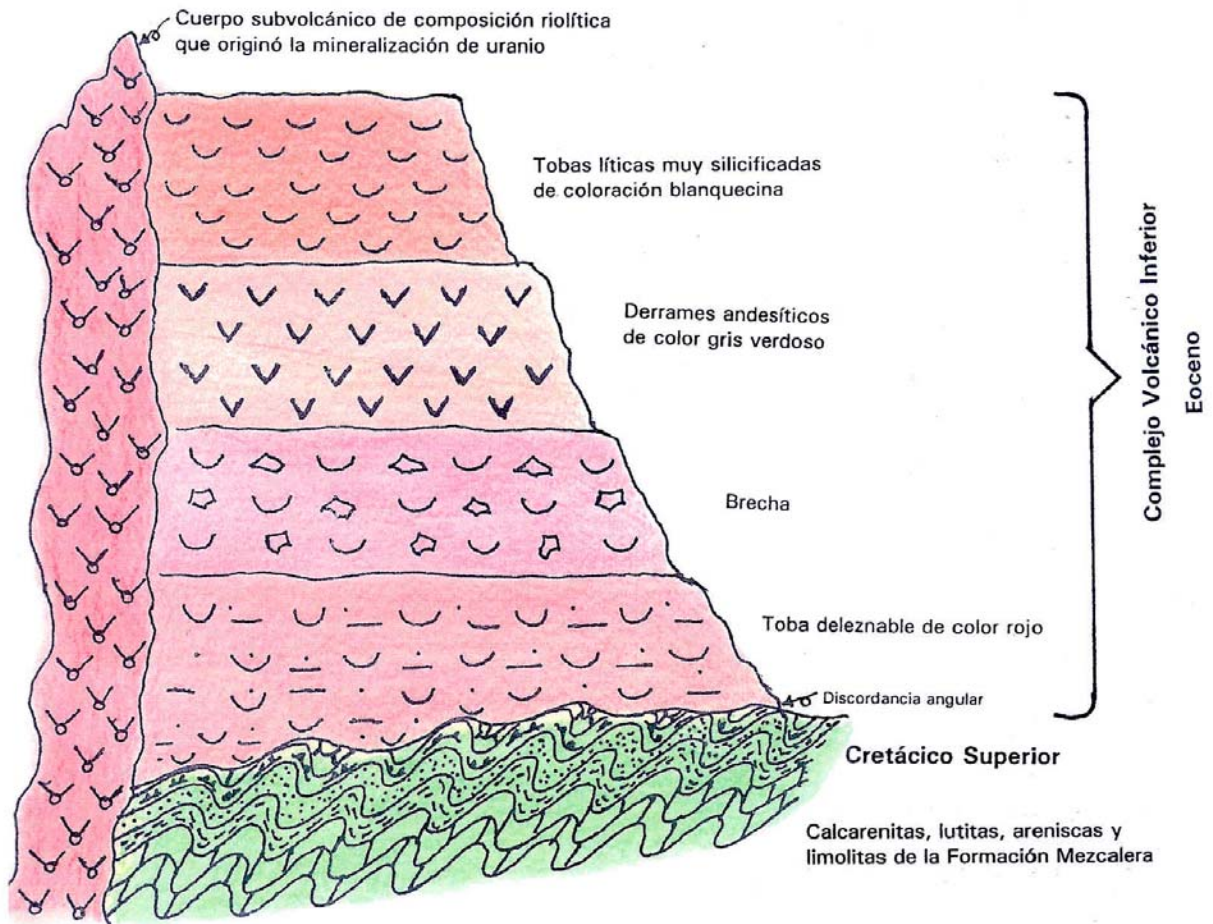


Figura 3.4 Columna estratigráfica del depósito de Coneto Buenavista

NOTA: Los símbolos de la columna están en concordancia con la ISO International Standard 710/II and 710/III, 1974.

La roca es de color crema a pardo de textura afanítica a microcristalina, con cuarzo, plagioclasas, ferromagnesianos, posiblemente clorita y dendritas de pirolusita (Fotografía 3.4). En general, el cuerpo subvolcánico presenta alteraciones hidrotermales que se manifiestan como manchas de color rojo y amarillo, posiblemente hematita y limonita, respectivamente (Tabla 3.4). Asimismo, se observan muchas estrías, pues el cuerpo subvolcánico está muy fracturado. y afectado por una falla normal con dirección NW-SE.



Fotografía 3.4 Afloramiento del cuerpo subvolcánico riolítico donde la roca presenta textura afanítica y estructura compacta

El estudio petrográfico de la roca del cuerpo subvolcánico revela que presenta una textura microcristalina, donde los minerales esenciales son cuarzo, feldespato potásico, fragmentos de roca y posiblemente plagioclasas. Los minerales secundarios son óxidos de hierro, sericita y minerales arcillosos. Los minerales accesorios son biotita y trazas de minerales opacos. Los caracteres especiales son los cristales de cuarzo de forma equidimensional subedral algunos con golfos de corrosión, el feldespato potásico es de forma subedral, en general, fracturado y alterado a sericita y a minerales arcillosos. Los líticos (fragmentos de roca) son de rocas ígneas de composición intermedia (andesita) de forma tabular subredondeada a subangulosa y reemplazados por óxidos de hierro y de esquirlas vítreas de composición ácida ($n < B$). Los constituyentes tienen tamaños que varían entre 1 y 4 mm, angulosos a subredondeados, englobados en una matriz constituida por un mosaico criptocristalino cuarzofeldespático. El origen de la roca es volcánico y se clasificó como una riolita (**Chávez, 2003; Ruvalcaba, 2004**).

El cuerpo subvolcánico resalta por sus características félsicas con relación a las rocas del Complejo Volcánico Inferior de composición intermedia, se correlaciona con una secuencia de ignimbritas riolíticas y riodacíticas en posición generalmente horizontal, o ligeramente inclinada y con edades que varían entre 34 y 27 Ma, por el método de K-Ar. Esta gran acumulación de rocas volcánicas del Terciario medio han sido denominadas informalmente como Supergrupo Volcánico Superior (**Mc Dowell y Keizer 1977**). De manera más específica se correlaciona con la Formación Perla (consiste de una serie de intrusivos hipabisales de forma irregular y de composición latítica a riolítica) del área de la Sierra de Coneto (**Reyes, 1985**). Asimismo, se puede correlacionar con los cuerpos subvolcánicos de composición cuarzolátíticos (ToqLa) y los domos riolíticos (ToR) del Oligoceno, que fueron cartografiados por el **CRM (2003)**.


La edad de la mineralización de uranio del cuerpo subvolcánico es posible que se pueda correlacionar con la edad de la mineralización de la fluorita, Hg y Sb (que se asocian con el uranio) que se encuentra emplazada en rocas volcánicas e intrusivas, Terciario medio, de las áreas de Rodeo y Coneto de Comonfort, pues de acuerdo con **Carrasco (1980)** menciona que una cuarzodiorita de La Gotera, del Municipio de Rodeo, con coordenadas geográficas de latitud norte 25°12' y longitud oeste 109°12' datada con el método de U-Pb dio una edad de 26.0 Ma, que pertenece al Oligoceno Tardío.


Cuaternario

Pleistoceno-Reciente

Aluvión: a esta unidad pertenecen las unidades de conglomerados y suelos aluviales de la región. Los primeros están caracterizados por mostrar fragmentos redondeados de diámetros variables de rocas sedimentarias y volcánicas, cementados por material calichoso en una matriz de arena fina. Los suelos están mal graduados y poseen cierto contenido de arcilla y carbonato de calcio.

| ERA | PERIODO | ÉPOCA | EDAD | ÁREA DE CONETO DE COMONFORT (1) | ÁREA SIERRA DE CONETO (2) | ÁREA DE RODEO (3) | ÁREA DEL DEPÓSITO DE URANIO DE CONETO BUENAVISTA | ÁREA DE SIERRA DE GAMÓN (4) | | | | |
|------------------|------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|--|-----------------------------|--|--|-------------------------|---------------------------------------|
| | | | | CUATERNARIO | PLEISTOCENO RECIENTE | 1 | ALUVIÓN | ALUVIÓN | Aluvión: Grava, arena y arcilla formando abanicos aluviales. | Aluvión: unidades de conglomerados y suelos aluviales | ALUVIÓN | |
| CENOZOICO | TERCIARIO | PLIOCENO | 13 | FORMACIÓN SANTA INÉS | SUPERGRUPO VOLCÁNICO SUPERIOR | FORMACIÓN SANTA INÉS | X | X | X | | | |
| | | | | | | | | | | BASALTOS | FORMACIÓN LLANOS (TpII) | |
| | | | | | | | | | | FORMACIÓN GRULLAS | | |
| | | | | | | | | | | FORMACIÓN LAJAS | | |
| | | FORMACIÓN PERLA | FORMACIÓN LLANOS (TpII) | | | | | | | | | |
| | | FORMACIÓN YERBABUENA | | | | | | | | | | |
| | | FORMACIÓN EL SALTO | | | | | | | | | | |
| | | FORMACIÓN ALUMBRE | | | | | | | | | | |
| | | MIOCENO | 25 | SUPERGRUPO VOLCÁNICO SUPERIOR | FORMACIÓN YERBABUENA | GRUPO EL REALITO | FORMACIÓN YERBABUENA | ? | CUERPO SUBVOLCÁNICO DE COMPOSICIÓN RIOLÍTICA | Partido riolítico (Trp) | Fujos de riolita (Trr) | Brechas volcánicas riolíticas (Trbrv) |
| | | | | | FORMACIÓN EL ORO | | FORMACIÓN EL ORO | | | Ignimbritas riolíticas (TamI) | Tobas riolíticas (Trm) | |
| | | | | | FORMACIÓN EL SALTO | | FORMACIÓN EL SALTO | | | Fujos de riolita (Tor) | Tobas riolíticas (Trt) | Brechas volcánicas riolíticas (Trbrv) |
| | | | | | FORMACIÓN ALUMBRE | | FORMACIÓN ALUMBRE | | | Andesitas (Taa): | | |
| | | OLIGOCENO | 36 | COMPLEJO VOLCÁNICO INFERIOR | FORMACIÓN LAS MORITAS | COMPLEJO VOLCÁNICO INFERIOR GRUPO GOTERA | FORMACIÓN LAS MORITAS | X | X | X | X | |
| | | | | | FORMACIÓN LA SOLEDAD | | FORMACIÓN LA SOLEDAD | | | | | |
| | | | | | FORMACIÓN SANTA CLARA | | FORMACIÓN SANTA CLARA | | | | | |
| | | | | | FORMACIÓN AZUL | | FORMACIÓN AZUL | | | | | |
| | | EÓCENO | 58 | COMPLEJO VOLCÁNICO INFERIOR | FORMACIÓN SANTA ROSA | FORMACIÓN SANTA ROSA | FORMACIÓN GOTERA | X | X | X | X | |
| | | | | | FORMACIÓN TRINCHERAS | FORMACIÓN TRINCHERAS | | | | | | |
| FORMACIÓN BANCOS | FORMACIÓN BANCOS | | | | | | | | | | | |
| FORMACIÓN AZUL | FORMACIÓN AZUL | | | | | | | | | | | |
| PALOCENO | 63 | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| | | | | | | | | | | FORMACIÓN SANTA ROSA | FORMACIÓN SANTA ROSA | |
| | | | | | | | | | | FORMACIÓN TRINCHERAS | FORMACIÓN TRINCHERAS | |
| | | | | | | | | | | FORMACIÓN BANCOS | FORMACIÓN BANCOS | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | SUPERIOR | 110 | X | X | X | X | X | X | | | |
| | | | | | | | | | | Calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas que se correlacionan con la Formación Mezcalera | | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | INFERIOR | 135 | X | X | X | X | X | X | | | |
| | | | | | | | | | | Calizas y areniscas de color negro con intercalaciones de lutitas fósiles carbonosas de color pardo. A estas rocas se les correlaciona con las formaciones Aurora, Cuesta del Cura e Indidura del Cretácico Inferior a la base del Cretácico Superior. | | |

 La diagonal indica falta de afloramientos.

 La cruz indica ausencia de formaciones.

(1) Guzmán, S. Enrique y Alba, S. Luis, 1981. Informe final de los trabajos de exploración, evaluación en el distrito minero de Coneto de Comonfort, Dgo.; México, Consejo de Recursos Minerales (CRM), 59 pp.

(2) Reyes, Cortés Ignacio Alfonso, 1985. Geology and uranium in the Sierra de Coneto, Durango, México; USA, University of Texas at El Paso, thesis of Master of Geological Sciences, unpublished, May, 282 pp.

(3) Reyes, Guzmán José, 1977. Control de la mineralización uranífera en El Mezquite, Mpio. de Rodeo, Edo. de Durango; México, UASLP Escuela de Ingeniería, tesis profesional, inédita, 59 pp.

(4) Williams, Rojas Carlos T., 1983. Estudio geológico y prospección por minerales radioactivos en Sierra de Gamón, Edo. de Durango; México, UNAM Facultad de Ingeniería, tesis profesional, inédita, 72 pp.

Tabla 3.4 Correlación estratigráfica del depósito de Coneto-Buenavista

3.8 Análisis estructural

Se efectuó el análisis estadístico del azimut del rumbo de los rasgos estructurales que están cartografiados a diferentes escalas, con el fin de determinar las direcciones principales y secundarias de las estructuras que afectaron DCB (**Tabla 3.5**).

Las cartas geológicas que se analizaron fueron:

- 1) El mapa de interpretación preliminar de la tectónica mexicana en imágenes del satélite artificial "Landsat-1", por **Guerra (1976)**, escala 1:2 000 000, CRM, únicamente rasgos principales y secundarios del estado de Durango.
- 2) La carta tectónica de México de **Padilla y Sánchez et al. (1990)**, escala 1:2 000 000, INEGI, solamente los rasgos estructurales del estado de Durango.
- 3) La carta geológica minera Santiago Papasquiari, clave G13-8, escala 1:250 000, **CRM (2000)**, pero sólo la porción sureste que corresponde a una cuarta parte.
- 4) Las cartas topográfica y geológica Rodeo, clave G13D42, escala 1:50 000, **INEGI (1976 y 1978)**. Además, se complementó el análisis con la interpretación de fracturas, con base en la topografía y drenaje, pues las corrientes tienen cursos casi lineales, debido a que siguen el rumbo de las fracturas.
- 5) La carta geológica minera Rodeo, clave G13D42, escala 1:50 000, **CRM (2003)**.

De manera sucinta se presentan las características principales de la estructuras geológicas que se identificaron en las cartas geológicas mencionadas (**tablas 3.5 a 3.8**) con esta información se elaboraron las rosetas de fracturas y se obtuvo el porcentaje de frecuencia empleando el paquete de cómputo *rockworks*, versión 2.12.3. Asimismo, se llevó a cabo la proyección estereográfica del azimut del rumbo de las estructuras, para la proyección de los polos en el hemisferio inferior de la esfera con la red de Schmidt (de igual área) y conocer su concentración utilizando el paquete de cómputo *Dips* versión 5.0.

Tabla 3.5 (primera parte) Direcciones preferenciales de las estructuras geológicas en cartas geológicas a diferentes escalas

| Mapa o Carta y escala | Coordenadas geográficas y área cubierta | Número de datos | Direcciones principales | Direcciones secundarias |
|--|---|---|--|--|
| a) Mapa de interpretación preliminar de la tectónica mexicana en imágenes del satélite artificial "Landsat-1", por Guerra, P. F., 1976, CRM, 1:2 000 000 | Estado de Durango con: 22°-28° latitud norte; 103°30' a 107° 00' longitud oeste; 244 994 km ² | 609 de rasgos maestros o dominantes | N-S a NE05°SW; NW20° a 30°SE, con frecuencias del 8.7% y mayor del 4%, respectivamente. | NE45° a 50°SW; NE60° a 65°SW, ambas con frecuencia del 5%. |
| | | 844 rasgos secundarios | N-S a NE05°SW, NW30° a 35° SE; con frecuencias del 12.1% y mayor del 5%, respectivamente | NE70° a 75° SW con frecuencia casi del 5%. |
| b) Carta tectónica de México, Padilla y Sánchez et al., 1990, INEGI, 1:2 000 000 | Estado de Durango con: 22°-28° latitud norte; 103°30' a 107° 00' longitud oeste; 244 994 km ² | 109 fracturas en rocas cenozoicas | NW30° a 35°SE, NW20° a 25°SE, con frecuencias del 12.8% y mayor del 8%, respectivamente. | NE05°SW, NE30° a 35°SW, con frecuencias casi del 4% y 3%, respectivamente. |
| | | 48 ejes de anticlinales (32 <i>sensu stricto</i> y 16 recumbentes) | NW30° a 35°SE; NW10° a 15°SE; con frecuencias mayor del 18% y del 14%, respectivamente. | |
| c) Carta geológica-minera Santiago Papasquiaro (G13-8), CRM, 2000, 1:250 000 | Se analizó el extremo sureste, que corresponde a una cuarta parte: 25°00' a 25°30' latitud norte y 104°00' a 105°00' longitud oeste; 11 644 km ² | 20 fallas normales en rocas sedimentarias | NW14°SE con echado de 20° al SW, N-S con echado al SE; ambas direcciones con concentraciones de polos del 16.47% | |
| | | 75 fallas normales en rocas volcánicas terciarias | NW50°SE con echado de 20° al SE, con concentración de polos del 19.18% | |
| | | 175 azimut del echado de la estratificación de las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior | NW30°SE con echado de 57° al SW, con concentración de polos del 8.74%. | |
| | | 21 azimut del echado de las capas de las rocas sedimentarias del Cretácico Superior | NE04°SE y un echado de 75° al SE con concentración de polos del 18.71% | |
| | | 256 azimut del echado de la pseudostratificación de las tobas del Terciario | NW44°SE y un echado de 86° al SW con concentración de polos del 27.29%. | |
| | | 39 azimut del flujo de las ignimbritas de las rocas volcánicas terciarias | NW25°SE y un echado de 35° al NE con concentración de polos del 6.8% | NE64°SE con un echado de 62° al NW con concentración de polos del 5%. |

Tabla 3.5 (segunda parte) Direcciones preferenciales de las estructuras geológicas en cartas geológicas a diferentes escalas

| Carta y Escala | Coordenadas geográficas y área cubierta | Número de datos | Direcciones principales | Direcciones secundarias |
|---|---|--|---|---|
| d) Cartas topográfica y geológica Rodeo (G13-D42), INEGI, 1976 y 1978, 1:50 000 | Se analizó toda la carta: 25° a 25°15' latitud norte; 104°20' a 104°40' longitud oeste; 972 km ² | 69 fracturas en rocas mesozoicas | NE60° a 75°SW con frecuencia del 10% a más del 14%. | NW25°SE con frecuencia mayor del 5%. |
| | | 238 fallas normales en rocas mesozoicas | NW15° a 20°SE, NW25° a 30°SE, con frecuencias mayores del 9% | NE05°SW, NE60° a 65°SW, con frecuencia mayor del 5% y del 3%, respectivamente |
| | | 66 fracturas en rocas cenozoicas | NE60° a 65°SW con frecuencia mayor del 12% | NW20° a 25°SW con frecuencia del 9%. |
| | | 208 fallas normales en rocas cenozoicas | NE05°SE, NW25° a 30°SE, ambas direcciones con frecuencia mayor del 14%. | |
| e) Carta geológica-minera Rodeo (G13D42), CRM, 2003, 1:50 000 | Se analizó toda la carta: 25° a 25°15' latitud norte; 104°20' a 104°40' de longitud oeste; 972 km ² | 150 fallas normales en las rocas cenozoicas | NW30° a 35°SE, NW25° a 30°SE, con frecuencias del 15% y 10%, respectivamente. | NE15° a 20°SW, NE30° a 35°SW, con frecuencias del 3%. |
| | | 121 del azimut del echado de calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera | NW40°SE y un echado de 59° al SW con concentración de polos del 7.3%. | NW64°SE y un echado de 57° al NE, con concentración de polos del 6%. |
| | | 25 del azimut del echado del conglomerado polomíctico de la Formación Ahuichila | NE25°SW y echado de 80° al SE, con concentración de polos del 17.52%. | NW30°SE y un echado de 68° al SW con una concentración del 16%. |
| | | 19 azimut del echado del flujo de las lavas andesíticas y brechas volcánicas andesíticas correlacionables con el Complejo Volcánico Inferior | NE46°SW con echado de 72° al NW con concentración de polos del 20.66%. | |
| | | 37 azimut del echado de la pseudostratificación de la emisión de piroclásticos correlacionables con el Supergrupo Volcánico Superior (SVS) | NW34°SE y echado de 71° al SW, con concentración de polos del 24.21%. | |
| | | 90 azimut del echado del flujo de lava de las ignimbritas correlacionables con el SVS | NW20°SE con echado de 70° al NE con concentración de polos del 15.28%. | |
| | | 23 azimut del flujo de lavas riolíticas correlacionables con el SVS | NE06°SE con echado de 64° al NE con concentración de polos del 15.76% | |
| | | 19 azimut del echado del flujo de la lava de basaltos del Mioceno | NE68°SW con echado de 68° al NE con concentración de polos del 13%. | |
| | | 30 azimut del conglomerado polimíctico de la Formación Santa Inés del Oligoceno. | NW27°SE con echado de 78° al NE con concentración de polos del 32%. | |

A continuación se dan las características de estructuras geológicas, próximas al DCB, cartografiadas en la carta geológica minera, **CRM (2003)**, escala 1: 50 000, la que se describen a continuación:

Se tienen cuatro anticlinales recumbentes y cuatro sinclinales (*sensu stricto*) que arman en la Formación Mezcalera (**Tabla 3.6**).

Tabla 3.6 Características de los anticlinales recumbentes y sinclinales que arman en la Formación Mezcalera

| Nombre de la Estructura | Ubicación a partir del DCB | Longitud del eje de la estructura | Traza del eje de la estructura | Rumbo del eje de la estructura |
|---|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| anticlinal La Bandera | A 3.4 km al oriente | 3.3 km | Irregular del tipo sigmoidal | NW20°SE con recumbencia al noreste. |
| anticlinal El Toruno | A 13 km al sureste | 4.15 km | Irregular con forma un poco concava | NW30°SE con recumbencia al noreste |
| anticlinal Francisco Márquez | A 3 km al noreste | 2.90 km | Irregular del tipo sigmoidal | NW12°SE con recumbencia al noreste |
| anticlinal Las Animas | A 6.5 km al noreste | 3.1 km | Irregular del tipo concava | NW23°SE con recumbencia al noreste |
| sinclinal La Higuera | A 14.5 km al noreste | 3.4 km | Irregular del tipo sigmoidal | NW11°SE |
| sinclinal sin Nombre (a 1.5 km al oeste del sinclinal La Higuera) | A 15 km al noreste | 1.7 | Irregular con forma concava | NE20°SE |
| sinclinal Los Amoles | A 4.6 km al oriente | 2 km | Irregular del tipo sigmoidal | NW26°SE |
| Sinclinal La Vieja | A 8.5 km al sureste | 1.7 km | Regular del tipo recto | NW34°SE |

Además, se proporcionan los rasgos de once fallas inversas (las primeras seis cartografiadas en la carta tectónica de México, **Padilla y Sánchez et al., (1990)** escala 1:2 000 000) que afectan a la secuencia sedimentaria mesozoica y a la Formación Mezcalera (**Tabla 3.7**).

Tabla 3.7 Rasgos de las fallas inversas que arman en la secuencia sedimentaria mesozóica y la Formación Mezcalera

| Nombre de la Estructura | Ubicación a partir del DCB | Longitud de la traza de la falla inversa | Traza de la falla inversa | Rumbo de la traza de la falla inversa |
|--|----------------------------|--|---|---|
| Sin nombre | A 26 km al N32°W | 26 km | irregular de forma alabeada (afecta a las calizas y lutitas del Cretácico Tardío) | NW27°SE con vergencia al noreste |
| Sin nombre | A 80 km al N24°W | 30 km | regular de forma recta (afecta a las calizas y lutitas del Cretácico Tardío) | NW32°SE con vergencia al noreste |
| Sin nombre | A 124 km al N10°W | 124 km | irregular de forma alabeada sigmoidal (afecta a las calizas y lutitas del Cretácico Tardío) | NW40°SE con vergencia al noreste |
| Sin nombre | A 126 km al N08°W | 38 km | regular de forma recta (afecta a las lutitas y areniscas del Cretácico Temprano) | NW27°SE con vergencia al noroeste y oeste |
| Sin nombre | A 160 km al N78°E | 22 km | regular de forma recta (afecta a las lutitas y calizas del Cretácico Tardío) | NW79°SE con vergencia al noreste |
| Sin nombre | A 62 km al N15°E | 26 km | irregular alabeada de forma sigmoidal (afecta a las lutitas y areniscas del Jurásico) | NW10°SE con vergencia al noreste |
| El Mirador | A 2.3 km al noreste | 0.9 km | Regular de forma recta (afecta a la Formación Mezcalera) | NE48°SW con vergencia al sureste |
| Las Animas | A 5.5 km al noreste | 1.3 km | Irregular de forma cóncava (afecta a la Formación Mezcalera) | NE47°SW con vergencia al sureste |
| Los Amoles | A 5.5 km al oriente | 1.6 km | Irregular de forma cóncava (afecta a la Formación Mezcalera) | NE84°SW con vergencia al norte franco |
| Sin nombre (a 2.5 km al oriente de la falla normal La Vieja) | A 11.9 km al sureste | 1.5 km | Irregular de forma sigmoidal (afecta a a Formación Mezcalera) | NE18°SW con vergencia al oriente |
| Sin nombre (próxima al Cerro Picacho la Mora) | A 14.7 km al noreste | 0.7 km | Irregular de forma sigmoidal (afecta a la Formación Mezcalera) | NW30°SE con vergencia al noreste |

A continuación se dan las características de once fallas transcurrentes o laterales (cuatro con movimiento dextral y siete con movimiento sinistral) que afectan a las rocas cenozoicas (**Tabla 3.8**).

Tabla 3.8 Características de las fallas transcurrentes que afectan a las rocas cenozoicas

| Nombre de la Estructura | Ubicación a partir del DCB | Longitud de la traza de la falla transcurrente | Traza de la falla transcurrente | Rumbo de la traza de la falla transcurrente |
|---|----------------------------|--|---------------------------------|---|
| La Parra | A 14.2 km al sueste | 1.1 km | Regular casi recta | NE55°SW con movimiento dextral |
| El Gacho | A 5.8 km al noroeste | 1.5 km | Regular casi recta | NE70°SW con movimiento sinistral |
| Sin nombre (a 2.5 km al sur de la falla normal Los Tepetates) | A 8.5 km al suroeste | 1.35 km | Irregular un poco alabeada | NW66°SE con movimiento sinistral |
| Sin nombre (a 2.2 km al suroeste de la falla normal La Mesa La Cueva) | A 11 km al suroeste | 2.85 km | Irregular un poco alabeada | NW75°SE con movimiento sinistral |
| Sin nombre (a 10 km al oriente de la falla normal El Mexicano) | A 13.7 km al suroeste | 2.5 km | Irregular un poco alabeada | NW40°SE con movimiento sinistral |
| Sin nombre (a 4.3 km al noreste de la falla normal Santiaguillo) | A 11.7 km al noreste | 0.85 km | Regular casi recta | NW84°SE con movimiento sinistral |
| Sin nombre (a 5.5 km al noroeste de la falla normal Santiaguillo) | A 11.5 km al noreste | 1.15 km | Regular casi recta | NW67°SE con movimiento sinistral |
| Sin nombre (a 5.5 km al noreste de la falla normal El Mexicano) | A 12.5 km al suroeste | 2 km. | Irregular algo alabeada | NW68°SE con movimiento dextral |
| Sin nombre (a 1.1 km al oeste de la falla normal Lomas Blancas) | A 6.8 km al noroeste | 2.25 km | Irregular alabeada | NE12°SE con movimiento sinistral |
| Fernández | A 16.8 km al sureste | 2 km | Regular casi recta | NW81°SE con movimiento dextral |
| Nazas | A 11.5 km al noreste | 2.2 km | Regular casi recta | NW68°SE con movimiento dextral |

Fueron interpretadas por **Padilla y Sánchez et al., (1990)** 3 estructuras circulares en las rocas cenozoicas que se asocian a calderas, las cuales produjeron extensos flujos ignimbríticos de gran espesor (**Córdoba, 1988**). A continuación se presenta los datos de localización de las calderas, tomándose como punto de partida la capital del estado de Durango (**Tabla 3.9**).

Tabla 3.9 Datos de localización de 3 calderas

| Número de caldera | Dirección de ubicación | Distancia de la capital de Durango, en km | Diámetro de la caldera en km |
|-------------------|---|---|------------------------------|
| 1 | Norte-Sur (Chupaderos) | 0 | 40 |
| 2 | Noroeste (cerca del poblado Guajolotes) | 88 | 22 |
| 3 | Sur | 80 | 38 |

3.9 Interpretación de las estructuras geológicas

Las fracturas y fallas normales sobre las rocas mesozoicas con rumbo NE60° a 75°SW (**Tabla 3.5 inciso d**), coinciden *grosso modo* con la dirección de los esfuerzos compresionales principales (σ_1), que actuaron del oeste-suroeste al este-noreste en el Cretácico Tardío durante la Orogenia Laramide. Al continuar los esfuerzos compresionales principales (σ_1) se formaron los anticlinales (*sensu stricto* y

recumbentes) cuyos ejes están orientados ortogonalmente a σ_1 , es decir, en la dirección NW-15° a 35°SE. En la carta tectónica de México (**Tabla 3.5 inciso b**), los 48 ejes de anticlinales (32 *sensu stricto* y 16 recumbentes) arman en las rocas de edad Cretácico Temprano y Tardío, así como cuatro anticlinales recumbentes y cuatro sinclinales que arman en la Formación Mezcalera (**Tabla 3.5**). De los 16 pliegues recumbentes 15 presentan inclinación o vergencia de su plano axial al noreste. Sin embargo, se encuentra un anticlinal recumbente cuyo plano axial tiene una vergencia al NW, la inclinación contraria se puede interpretar debido a las irregularidades del basamento somero, lo cual impidió parcialmente el movimiento hacia el noreste de la secuencia sedimentaria mesozoica, que propició el recostamiento hacia el noroeste del anticlinal (**Padilla y Sánchez, 1985**). En el sur de Chihuahua y norte de Durango la secuencia sedimentaria mesozoica abarca desde Jurásico Tardío al Cretácico Tardío (Formación Mezcalera) se presenta intensamente deformada con recostamientos y cabalgaduras de clara vergencia hacia el noreste (**Morán, 1986**).

En la etapa en que se incrementó la compresión, las lutitas y limolitas, de la Formación Mezcalera, constituyeron el material dúctil que propició la formación de fallas inversas (**Tabla 3.6**). De las once fallas inversas, siete tienen un rumbo de NW20° a 79°SE con vergencia al noreste y una falla con inclinación al noroeste-oeste. Además, cuatro tienen dirección NE18° a 84°SW con vergencia al norte y sureste.

Después del evento tectónico laramídico siguió una etapa distensiva como consecuencia del reacomodo del basamento dando lugar al desarrollo de una serie de fosas y pilares limitados por bloques afallados, dichas fosas fueron rellenadas por molasas de conglomerados y brechas polimícticas, que dan origen a la Formación Ahuichila del Paleoceno al Eoceno, con rumbo del echado del conglomerado al NE25°SW y echado de 80° al SE (**Tabla 3.5, inciso e**). El análisis de la cinemática de las fallas muestra que la Sierra Madre Occidental fue sometida a una tensión con dirección N70° (NE70°SW) entre 20 y 10 Ma, posteriormente con una dirección N120° (NW60°SE) después de 10 Ma (**Zoback et al., 1981**). En el curso de este último periodo la región adquirió su estructura particular de cuencas (*basin*) y sierras (*range*) (**Mercier y Vergely, 1999**).

En la Provincia de Cuencas y Sierras (*Basin and Range*), que se extiende en gran parte del noroeste de México y suroeste de Estados Unidos de América, durante el Neógeno se desarrollaron los sistemas de fallas normales. El origen de esta provincia ha sido atribuido principalmente al fenómeno de expansión de retroarco seguido posteriormente por el desarrollo del movimiento lateral derecho del Sistema de Falla de San Andrés. Estos episodios tectónicos son acompañados en el noroeste de México por numerosas manifestaciones de volcanismo basáltico alcalino (**Morán, 1986**). Durante el Oligoceno los esfuerzos compresionales principales (σ_1) cambian de dirección, dando lugar a la formación de fallas transcurrentes en las rocas cenozoicas (**Tabla 3.7**), con rumbos de NE12° a 70°SW (tres fallas) y NW40° a 81°SE (ocho fallas). Las direcciones de las fallas transcurrentes coinciden con lo que menciona, para la Sierra Madre Occidental con los periodos de tensión por **Zoback et al., (1981)**.

Las fracturas y fallas normales que afectan a las rocas cenozoicas los rumbos que prevalecen son el N-S y NE05°SW (**Tabla 3.5 incisos a, d y e**), estas direcciones cortan a las otras dos tendencias, NE60° a 65°SW (dirección paralela a los esfuerzos compresionales principales (σ_1)) y NW20° a 35°SE (tendencia perpendicular a los esfuerzos compresionales principales (σ_1)). El origen de las fracturas y fallas normales se puede asociar a la etapa distensiva o tafrogénica plio-cuaternaria que sufrió la Sierra Madre Occidental y formó las cuencas y sierras (**Urrutia-Fucugauchi, 1986**).

La **Figura 3.5** corresponde a la carta geológica minera Rodeo del **CRM (2003)**, con las estructuras geológicas, se señalan con flechas de diferente color, las que se describen a continuación: la Fosa Rodeo (flecha de color oro), donde se encuentra el DCB (flecha de color rojo), delimitada por dos pilares tectónicos uno en la porción oeste denominado Pilar Sierra de San Francisco (flecha de color turquesa) y otro en la parte oriental nombrado Pilar Sierra de Nazas (flecha de color amarillo). La fosa está limitada al oriente por dos fallas normales que tienen trazas regulares y un poco alabeadas conocidas como: la Falla Héroes de México con una longitud de 8.2 km y un rumbo de NW26°SE (flecha de color ciruela), y la Falla Cerros Sombrerillos con una longitud de 16.25 km y una dirección promedio de NW20°SE (flecha de color azul). En la parte occidental, la Fosa de Rodeo está acotada por tres fallas normales con trazas regulares y casi rectas designadas como: Falla El Jagüey con una longitud de 5.1 km y rumbo NW54°SE (flecha de color amarillo claro), Falla Coneto con longitud de 5.3 km y dirección de NW50°SE (flecha de color negro) y la Falla Leandro Valle con longitud de 6.7 km y orientación de NW38°SE (flecha de color verde). Al noroeste y este de la Fosa de Rodeo se presentan estructuras dómicas (flechas de color rosa), diques y aparatos volcánicos asociados al evento distensivo que produjo las fallas normales. También, se tiene la presencia de dos fallas normales que afectan a la Formación Mezcalera, una de ellas denominada La Vieja que se localiza a una distancia de 4 km al oriente del DCB, la longitud de la traza de la falla es de 8.5 km y su traza es regular de forma casi recta con un rumbo de NW35°SE (flecha de color fucsia). Otra falla normal se ubica a 6.5 km al noreste del DCB, la longitud de la traza de la falla es de 1.3 km y su traza es irregular de forma cóncava hacia arriba, con dirección NW29°SE (flecha de color verde vivo).

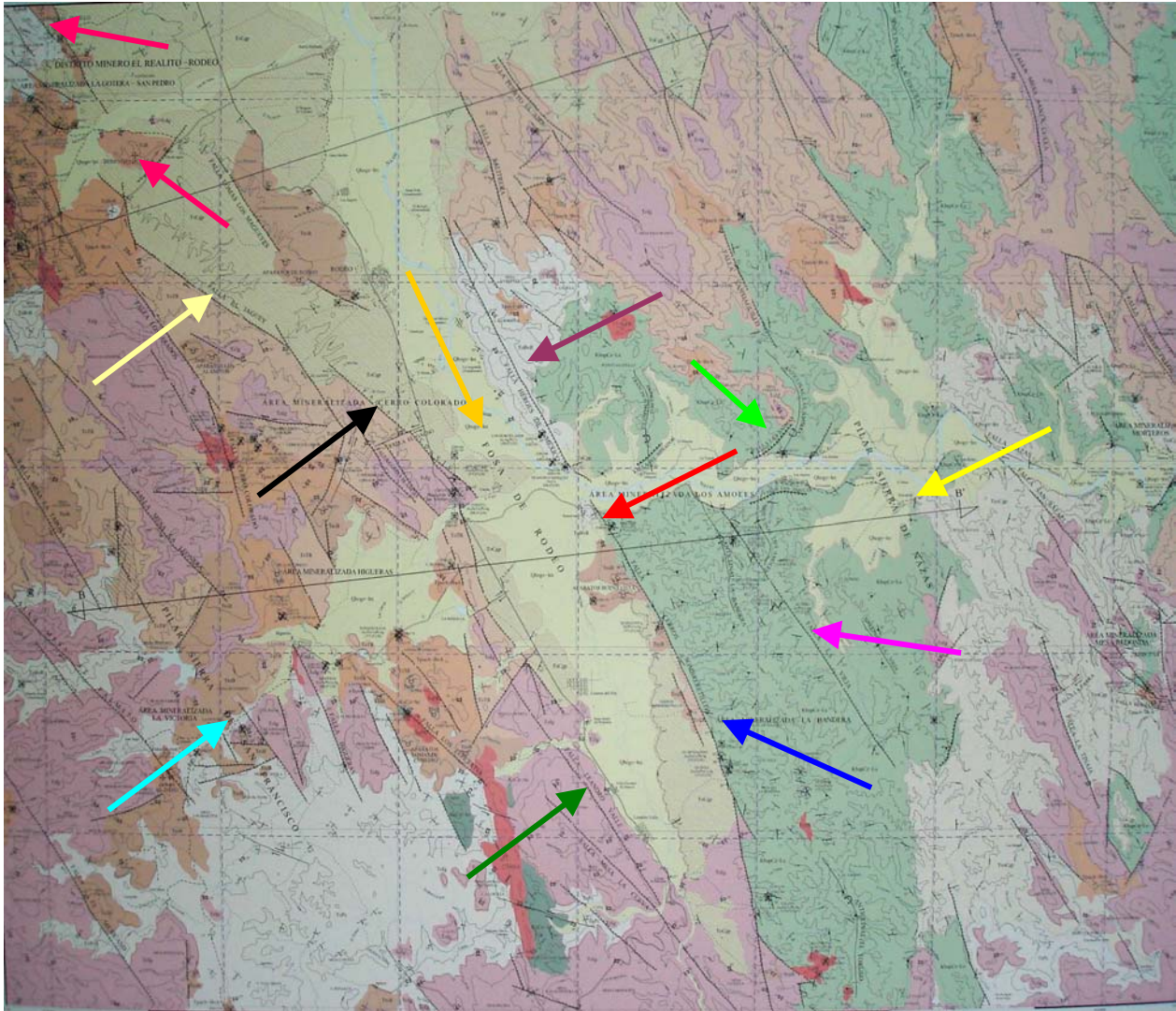


Figura 3.5 Fallas normales y estructuras geológicas del área del depósito de Coneto-Buenavista en la carta geológica-minera de Rodeo, Durango

FUENTE: Consejo de Recursos Minerales, 2003.

Existe una falla normal en la porción occidental del DCB (**plano 1** al final en bolsa), tiene traza irregular de forma alabeada, con longitud de 825 m, dirección NW 30° a 47° SE y es la prolongación de la falla normal regional, con traza irregular de forma alabeada, con longitud de 12.5 km, con orientación NW22° a 27°SE. Esta estructura geológica propició el emplazamiento del cuerpo subvolcánico quien transportó el uranio y fue acompañado por soluciones hidrotermales con uranio que se emplazaron en la Formación Mezcalera. Asimismo, es posible que haya sido el conducto para la emisión de los basaltos que afloran a 2 km al sur-sureste del DCB.

3.10 Geología histórica

En la porción occidental del país la sedimentación ocurrió desde el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Tardío, al actuar un arco volcánico en el occidente que se le denominó arco volcánico Tarahumara (**Araujo y Arenas, 1986**). Este arco fue

consecuencia de la subducción de la placa del Pacífico Oriental, y que se manifestó en la margen occidental de México y hacia el oriente; después se inició la formación de fosas y pilares causados por esfuerzos de tensión. Los ambientes sedimentarios que predominaron fueron de mar abierto de relativa profundidad y con un aporte de sedimentos en proporción igual al hundimiento de la cuenca, que dio origen a que la secuencia sea monótona y sin presentar cambios litológicos verticales u horizontales significativos.

La fuente de aporte principal de los sedimentos estuvo posiblemente en una tierra positiva que existía para esta época, en la parte occidental del país (Arco Volcánico Tarahumara) y que aportó gran cantidad de terrígenos, originando el depósito de sedimentos de la Formación Mezcalera. Ocasionalmente también se depositaban carbonatos con influencia de terrígenos (correlacionables con las calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas que afloran en el área de estudio). Como rasgos de deformación existe un plegamiento muy intenso en los sedimentos con numerosos pliegues tipo chevrón, así como fracturas, fallas, estructuras imbricadas y pliegues en abanico debido a esfuerzos de compresión que afectaron a las rocas durante la orogenia Laramide (**Araujo y Arenas, 1986**).

Para el Cenomaniano-Turoniano, la cuenca, en general, comienza a sufrir basculamiento hacia el oriente, causado tal vez por el cambio en la inclinación de la placa en subducción que ocasiona que el arco volcánico migre hacia el este, ocasionando con ello un intenso levantamiento y erosión de las rocas sedimentarias e ígneas del arco volcánico Tarahumara (**Araujo y Arenas, 1986**).

La emersión continua del arco volcánico Tarahumara, generó esfuerzos compresionales de oeste-suroeste a este-noreste, iniciándose con ello el periodo de deformación denominado Orogenia Laramide, que actuó desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Tardío. Sin embargo, este fenómeno compresivo, se debió al acortamiento continuo de la corteza continental, por la subducción de la placa oceánica del Pacífico Oriental debajo de la Placa de Norteamérica, y localmente actuó de contrafuerte la Paleo-Península de Aldama y la Paleo-Isla o Península de Coahuila (**Tovar, 1981**). Lo que ocasionó que algunos anticlinales recumbentes con su plano axial al noroeste y algunas fallas inversas tengan vergencia al noroeste, en vez de que ambas estructuras tuvieran la misma inclinación al noreste. Asimismo, existe otra interpretación que la deformación laramídica en México se inició con la acreción de los arcos submarinos contra los márgenes continentales. Esta acreción fue seguida por un cambio de polaridad en la subducción, creando una fosa sobre el lado suroeste del arco, durante la Orogenia Laramide (**Coney, 1983**). En este periodo de emersión y deformación tectónica la secuencia sedimentaria de la Formación Mezcalera fue deformada y fallada más intensamente que las rocas carbonatadas depositadas sobre las plataformas por diferencia de competencia entre ellas, ya que los sedimentos de la Formación Mezcalera son más plásticos que los que se encuentran sobre las plataformas. Debido a la dirección de los esfuerzos, del oeste-suroeste al este-noreste, la Formación Mezcalera cabalgó sobre rocas del Cretácico que se encuentran sobre las plataformas (**Araujo y Arenas, 1986**). El rumbo del echado de la estratificación de las rocas sedimentarias, que afloran en áreas cercanas al DCB; del Cretácico Inferior es al

NW30°SE con 57° al SW y las rocas del Cretácico Superior tienen un rumbo de echado de la estratificación de NE04°SW con 75° al SE (**Tabla 3.5 inciso c**).

En el Eoceno Tardío culmina la Orogenia Laramide. Se atribuye el final de este periodo deformativo a un cambio brusco en el movimiento absoluto de la Placa del Pacífico, de norte a noreste, por una disminución del movimiento relativo entre la placa de Farallón y la placa de América del Norte, lo cual sucedió hace más o menos 44 millones de años (**Coney, 1983**).

Según **Mc Dowell y Clabaugh (1979)** la Sierra Madre Occidental está compuesta por dos importantes secuencias ígneas, cuyo contacto marca un periodo intermedio de calma volcánica. La secuencia más antigua la forman rocas volcánicas, principalmente intermedias, y cuerpos ígneos cuyas edades varían entre 100 y 45 millones de años (**Morán, 1984**). Los cuerpos ígneos corresponden a batolitos que afloran en la planicie costera de México adyacente al Golfo de California y en los cañones profundos que se extienden al oriente de la Sierra Madre Occidental. Estas rocas batolíticas y rocas extrusivas asociadas han sido denominadas como el Complejo Volcánico Inferior (**Mc Dowell y Keizer, 1977**).

La secuencia volcánica de composición intermedia a ácida que aflora en el DCB, la que está constituida por diferentes unidades, se le ubica dentro del Complejo Volcánico Inferior (**Figura 3.4**). El rumbo del echado del flujo de las lavas andesíticas es al NE46°SW con 72° al NW (**Tabla 3.5 inciso e**). El Complejo Volcánico Inferior constituye un típico arco magmático de carácter calcoalcalino relacionado con una margen continental convergente en donde la Placa Farallón se hundió debajo de la corteza continental de México. Este fenómeno de convergencia duró hasta hace 29 millones de años cuando el sistema de expansión del Pacífico Oriental chocó contra la margen occidental de México (**Atwater, 1970**). Sin embargo, la interrupción del magmatismo en el intervalo 45-34 millones de años manifiesta una irregularidad en la continuidad de estos procesos. **Mc Dowell y Clabaugh (1979)** consideran que este periodo de calma se debió a dos posibles causas: una de ellas es la disminución en el porcentaje de convergencia o en el cambio de inclinación de la placa en subducción; la otra es la subducción de una dorsal oceánica activa.

La secuencia más reciente corresponde a las ignimbritas del Supergrupo Volcánico Superior con un espesor que llega a superar en algunas localidades los 1 000 metros. Empero, **Mc Dowell y Clabaugh (1979)**, consideran que el número de calderas originadas durante la emisión de estos grandes volúmenes de roca debe haber sido entre 200 y 400, muchas de ellas rebasan en diámetro los 40 kilómetros, aunque su configuración semicircular queda actualmente oculta por la presencia de fallas normales y depósitos aluviales recientes (**Morán, 1984**). Estos mismos autores no encuentran una explicación tectónica satisfactoria a lo súbito de la actividad volcánica del Super Grupo Volcánico Superior y el carácter bimodal de esta secuencia volcánica en lo que a sílice y anortita normativa se refiere (**Morán, 1984**). El rumbo del echado de la seudoestratificación de los flujos piroclásticos es al NW31°SE y echado de 71° al SW, el rumbo del echado de flujo de las ignimbritas es NW20°SE y 70° al NE y el rumbo del

echado del flujo de lavas riolíticas es NE06°SE con echado de 64° al NE (**Tabla 3.5 inciso e**).

Demant y Robin (1975) explican la cubierta de la Sierra Madre Occidental como el volcanismo típico de un *rift*, atrás de un arco andesítico, por reacción de la corteza a los movimientos de subducción, y señalan la coexistencia de un volcanismo de tipo compresivo y un volcanismo de tipo distensivo (**Morán, 1984**). Asimismo, **Eaton (1979 in Urrutia-Fucugauchi, 1986)** revisó la deformación extensional del Cenozoico en el occidente de Norteamérica, y reconoció tres episodios principales de extensión: (1) 30 a 20, Ma que tuvo lugar en el *rift* de Rio Grande y el desierto de Sonora al sur de la provincia de Cuencas y Sierras; (2) de 20 a 10 Ma, ocurrió a través de las provincias de Cuencas y Cordilleras y la meseta de Columbia y (3) de 10 Ma hasta el Presente, aconteció principalmente en el *rift* de Rio Grande, Golfo de California y la Gran Cuenca de la provincia de Cuencas y Sierras. La extensión entre los 30 y 20 Ma sucedió dentro del arco magmático y coincidió particularmente con el emplazamiento de la secuencia ignimbrítica del Super Grupo Volcánico Superior.

Después del evento volcánico del Super Grupo Volcánico Superior siguió otro distensivo, formándose una serie de fosas y pilares como consecuencia del reacomodo del basamento. Es en este tiempo donde los sistemas de fallas normales y fracturas permiten la formación de la fosa tectónica de Rodeo y el emplazamiento del cuerpo subvolcánico de composición riolítica, que aflora en el DCB, que trajo consigo la mineralización de uranio, la que se emplazó en la Formación Mezcalera. Esta etapa tafrogénica fue acompañada por la erosión de las rocas deformadas, que dan origen a los depósitos continentales de la Formación Santa Inés del Plioceno (**Araujo y Arenas, 1986**). En el Plioceno y Cuaternario, emisiones de basaltos alcalinos, con rumbo del echado al NE68°SW con echado de 68° al SE (**Tabla 3.5 inciso e**), cubren a las ignimbritas y se forman bolsones, los dos eventos son originados por una fase distensiva plio-cuaternaria. Los bolsones se encuentran rellenos por fuertes espesores de sedimentos flangomeráticos, como producto de la erosión de rocas preexistentes que los circundan (**Demant y Robin, 1975**). El rumbo del echado de la lava del basalto es al NE68°SW con echado de 68° al NE (**Tabla 3.5 inciso e**).

4. GEOFÍSICA

4.1 Sismología

El presente capítulo se desarrolla con el propósito de conocer si en el estado de Durango a existido sismicidad histórica que se pueda asociar con las características geológico estructurales y procesos tectónicos de la región, pues el Norte de la República Mexicana se considera como una región asísmica en donde la mayor actividad se concentra en el golfo de California y en la costa del Pacífico (**Figura 4.1**).

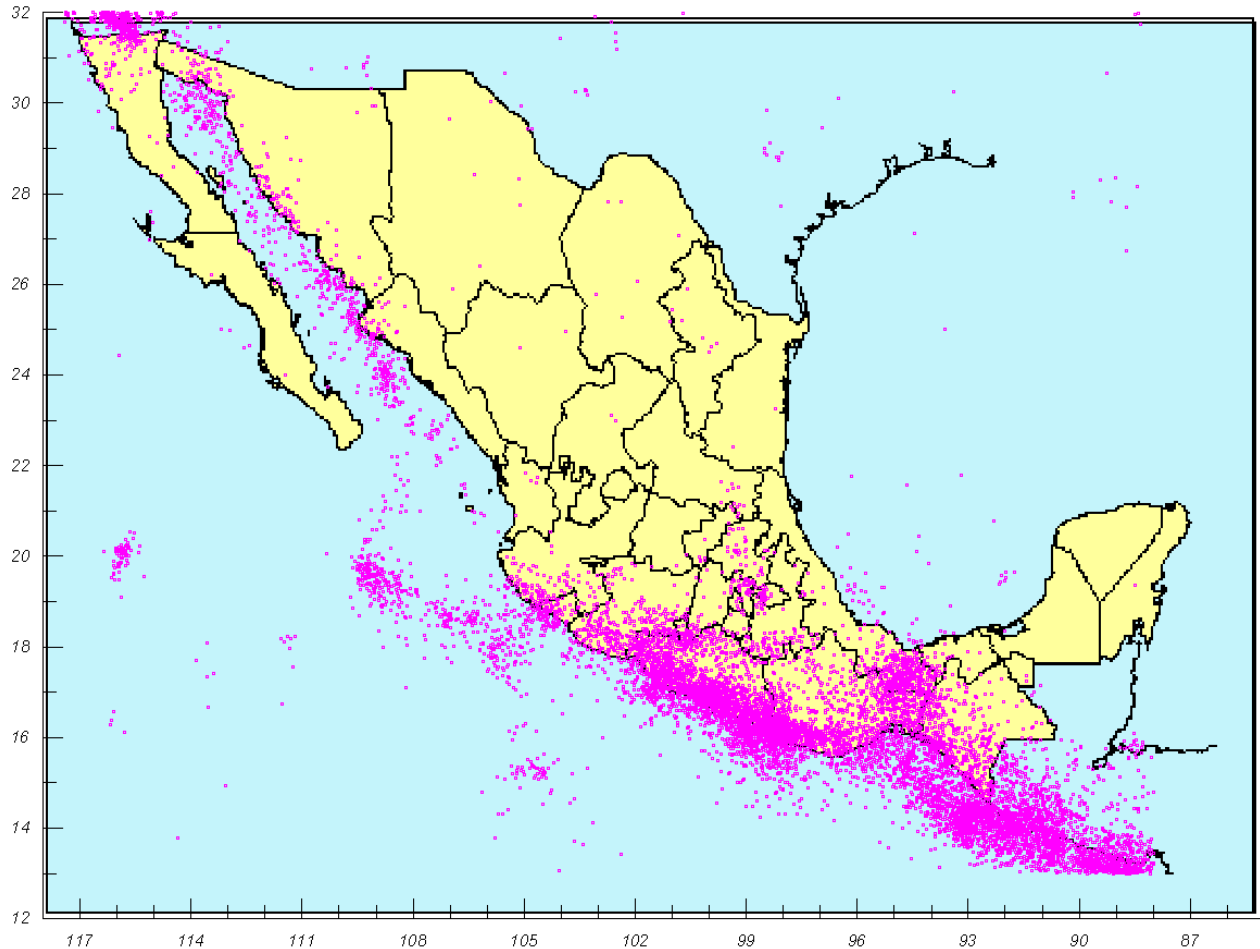


Figura 4.1 Sismicidad de la República Mexicana registrada del año de 1900 al 2003

FUENTE: Catálogo tomado del Servicio Sismológico Nacional.

La región donde se ubica el DCB es afectada principalmente por el movimiento de transcurrencia derecha entre la placa del Pacífico y Norteamérica, donde la velocidad de desplazamiento entre las placas es en promedio de 5 centímetros por año (**Suárez, 1990**).

4.1.1 Sismicidad histórica

Para hacer un análisis de la historia sísmica se compiló información de diferentes fuentes con el fin de obtener un catálogo lo más completo posible. Las fuentes nacionales consultadas fueron principalmente del Departamento de Sismotectónica de la Comisión Federal de Electricidad y la del servicio Sismológico Nacional, y las fuentes internacionales fueron los catálogos del NOAA y del PDE del U.S. Geological Survey (**Lomas, 1999**). Durante los dos últimos siglos fueron localizados un total de 42 sismos en el estado de Durango (**Tabla 4.1**), tenemos los siguientes datos (**García y Suárez, 1996**):

1787, 26 de marzo

Durango, Dgo.

"Tembló en Durango con ruidos subterráneos".

Orozco, 1887:341 (B)

Real del Oro, Dgo.

El terremoto fue fuerte y se sintió"[...] con tanto estrépito en las cavidades de las minas, que al parecer se desplomaban todos los techos de las casas".

GM, 22 may. 1787:349 (H); Orozco, 1787:341 (B).

1787, 27 de marzo

Real del Oro, Dgo.

repitió el temblor del día anterior, no tan fuerte, pero "con el mismo estrépito subterráneo[...]" y se afectaron varias casas.

GM, 22 may. 1787:349 (H)

1853, 2 de diciembre

Durango, Dgo.

"[...] a las nueve y media de la mañana, se sintió un fuerte terremoto [...] que dejó un poco resentidas las bóvedas de la catedral y de la parroquia. El Sr. Laurenzana estaba diciendo misa en la catedral; sintió que temblaba en el momento de consagrar, y suspendió la ceremonia hasta que pasó el peligro. No ocurrió ninguna desgracia".

EU, 16 dic. 1852:3 (H); SDN, 15 dic. 1853:4(H); Belderrain:396 (B); Figueroa, 1963:116 (B)

1896, 23 de junio

Cuencamé, Durango, Avino, Dgo.

"El Observatorio Meteorológico Central [...] en Durango, a 10 h p.m., ligero temblor. En Avino, a 10 h p.m., fuerte temblor. Cuencamé, temblor de trepidación y oscilación de S a N, duración 2 segundos".

MR, 26 jul. 1896:3(H)

1896, 24 de junio

Cuencamé, Dgo.

"El Observatorio Meteorológico Central [...] a 6 h 20 m a.m., otro igual al anterior [trepidación y oscilación de S a N]".
MR, 26 jul. 1896: 3 (H)

1911, 7 de abril

Durango, Dgo., Pánuco, Sin.

"Durango: Cancani: II; oscilatorio; 5 segundos. Pánuco: Cancani:II; oscilatorio; 4 segundos".
Instituto, 1913:66 (B)

Elota, Dgo.
















"Cancani: II, oscilatorio, 6 segundos".
Instituto, 1913: 66 (B)

Acaponeta, Jal.; Cerritos, Sin; Cavaría, Nombre de Dios, Dgo,; San Ignacio, Sin.

"Acaponeta: Cancani: II; oscilatorio; 7 segundos, Cerritos: Cancani: II; oscilatorio; 20 segundos. Cancani: II; oscilatorio; 15 segundos. Cancani:II; oscilatorio; corto. Cavaría: Cancani: II; oscilatorio; 5 segundos. Nombre de Dios: Cancani: III; oscilatorio, 3 segundos, NE a SO. San Ignacio: Cancani: II; oscilatorio; 10 segundos".
Instituto, 1913: 66 (B).


Asimismo, se recopiló información de la sismicidad histórica del estado de Durango con 42 sismos, la microsismicidad en Canatlán (**Tabla 4.2**) de 22 sismos (**Yamamoto, 1993**). La sismicidad en la presa Lázaro Cárdenas (El Palmito) con un registro de 13 sismos (**Tabla 4.3**) y 18 sismos que están cercanos al estado de Durango que pertenecen a los estados de Chihuahua, Coahuila, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas (**Tabla 4.4**).

Tabla 4.1 Sismicidad histórica del estado de Durango

| Número | Símbolo | Año | Fecha | | Latitud Norte (grados) | Longitud Oeste (grados) | Profundidad km | Magnitud (grados) | Fuente |
|--------|---|------|-------|-----|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|--------|
| | | | mes | día | | | | | |
| 1 |  | 1787 | 03 | 26 | 24.00 | 104.66 | | | UNAM |
| 2 |  | 1787 | 03 | 27 | 25.57 | 105.13 | | | UNAM |
| 3 |  | 1853 | 12 | 02 | 24.00 | 104.66 | | | UNAM |
| 4 |  | 1854 | 01 | 02 | 24.00 | 104.40 | | | NOAA |
| 5 |  | 1896 | 06 | 23 | 24.45 | 103.50 | | | UNAM |
| 6 |  | 1896 | 06 | 23 | 24.42 | 104.34 | | | UNAM |
| 7 |  | 1896 | 06 | 24 | 24.45 | 103.50 | | | UNAM |
| 8 |  | 1911 | 04 | 07 | 24.00 | 104.66 | | | UNAM |
| 9 |  | 1911 | 04 | 07 | 23.85 | 104.25 | | | UNAM |
| 10 |  | 1911 | 04 | 07 | 23.48 | 104.15 | | | UNAM |
| 11 |  | 1984 | 11 | 22 | 26.40 | 106.18 | 5 | 4.10 | PDE |
| 12 |  | 1995 | 05 | 31 | 24.95 | 103.87 | 10 | 3.80 | PDE |
| 13 |  | 1996 | 06 | 21 | 25.60 | 104.98 | 1 | 2.48 | CFE |
| 14 | | 1996 | 06 | 23 | 25.65 | 105.06 | 6 | 1.22 | CFE |
| 15 | | 1996 | 06 | 24 | 25.79 | 105.03 | 8 | 1.12 | CFE |
| 16 | | 1996 | 06 | 26 | 25.64 | 105.68 | 4 | 1.55 | CFE |
| 17 | | 1996 | 06 | 26 | 25.65 | 105.07 | 3 | 1.17 | CFE |
| 18 | | 1996 | 06 | 27 | 25.65 | 104.97 | 4 | 0.72 | CFE |
| 19 | | 1996 | 06 | 29 | 25.58 | 105.08 | | 0.96 | CFE |
| 20 | | 1996 | 06 | 30 | 25.64 | 105.07 | 4 | 0.62 | CFE |
| 21 | | 1996 | 07 | 31 | 25.63 | 105.68 | 4 | 1.32 | CFE |
| 22 | | 1996 | 07 | 03 | 25.65 | 105.06 | 3 | 1.00 | CFE |
| 23 | | 1996 | 07 | 05 | 25.62 | 104.92 | 4 | 0.80 | CFE |
| 24 | | 1996 | 07 | 17 | 25.61 | 104.98 | 1 | 0.90 | CFE |
| 25 | | 1996 | 07 | 22 | 25.60 | 105.00 | 3 | 0.83 | CFE |
| 26 | | 1996 | 08 | 08 | 25.60 | 105.07 | 6 | 0.36 | CFE |
| 27 |  | 1996 | 08 | 10 | 25.36 | 104.68 | 2 | 2.20 | CFE |
| 28 |  | 1996 | 08 | 24 | 25.47 | 105.05 | 4 | 2.12 | CFE |
| 29 | | 1996 | 09 | 02 | 25.59 | 105.07 | 4 | 0.98 | CFE |
| 30 | | 1996 | 09 | 03 | 25.67 | 105.03 | 5 | 1.92 | CFE |
| 31 | | 1996 | 09 | 04 | 25.73 | 105.06 | 24 | 2.00 | CFE |
| 32 | | 1996 | 09 | 14 | 25.63 | 105.07 | 10 | 1.92 | CFE |
| 33 | | 1996 | 09 | 14 | 25.63 | 105.08 | 7 | 1.99 | CFE |
| 34 | | 1996 | 09 | 16 | 25.61 | 105.08 | 8 | 1.64 | CFE |
| 35 | | 1996 | 09 | 16 | 25.62 | 105.08 | 3 | 2.63 | CFE |
| 36 | | 1996 | 09 | 16 | 25.62 | 105.09 | 5 | 0.92 | CFE |
| 37 | | 1996 | 09 | 16 | 25.63 | 105.10 | 10 | 2.89 | CFE |
| 38 | | 1996 | 09 | 17 | 25.61 | 105.09 | 5 | 0.82 | CFE |
| 39 | | 1996 | 09 | 17 | 25.62 | 105.08 | 5 | 1.30 | CFE |
| 40 | | 1996 | 09 | 17 | 25.63 | 105.10 | 9 | 1.00 | CFE |
| 41 | | 1996 | 09 | 17 | 25.65 | 105.09 | 14 | 0.86 | CFE |
| 42 | | 1996 | 09 | 17 | 25.65 | 105.10 | 12 | 2.28 | CFE |

FUENTE: UNAM-UIESAS-FCE; NOAA-Catálogo del U.S. Geological Survey; PDE-Preliminary determination epicenter, U.S. Geological Survey; CFE-Departamento de Sismotectónica, Comisión Federal de Electricidad.

Tabla 4.2 Microsismicidad en el área de Canatlán, Durango

| Número | Símbolo | Fecha 1972 | Hora Origen H-M-S | Epicentro | | Profundidad de Foco km | Mag Mc | RMS | Calidad | Número de Arribos |
|--------|---|------------|-------------------|-------------|---------------|------------------------|--------|------|---------|-------------------|
| | | | | Latitud 24° | Longitud 104° | | | | | |
| 1 |  | 30 ABR 72 | 05-10-38.68 | 43.38'N | 54.00'W | 1.0 R | -0.09 | 0.25 | C | 3 |
| 2 | | 30 ABR 72 | 06-26-04.55 | 42.88'N | 53.27'W | 3.66 | 0.18 | 0.10 | B | 7 |
| 3 | | 30 ABR 72 | 23-06-24.64 | 42.69'N | 52.92'W | 5.55 | 0.26 | 0.37 | C | 8 |
| 4 | | 01 MAY 72 | 01-25-17.44 | 42.07'N | 53.36'W | 0.90 | 0.18 | 0.09 | D | 5 |
| 5 | | 01 MAY 72 | 02-36-52.1 | 42.98'N | 53.04'W | 1.51 | 0.89 | 0.12 | C | 5 |
| 6 | | 01 MAY 72 | 02-51-30.25 | 42.74'N | 53.31'W | 1.10 | 1.08 | 0.12 | B | 6 |
| 7 | | 01 MAY 72 | 02-52-16.0 | 40.17'N | 51.65'W | 0.8 | 0.29 | 0.11 | D | 5 |
| 8 | | 01 MAY 72 | 10-13-08.78 | 42.51'N | 54.00'W | 0.89 | -0.09 | 0.13 | C | 6 |
| 9 | | 01 MAY 72 | 15-26-34.26 | 43.12'N | 53.07'W | 2.26 | 0.89 | 0.22 | C | 6 |
| 10 | | 01 MAY 72 | 22-03-08.79 | 43.48'N | 53.18'W | 1.0 R | | 0.17 | C | 3 |
| 11 | | 01 MAY 72 | 22-11-29.09 | 42.29'N | 54.34'W | 3.08 | 0.26 | 0.08 | B | 7 |
| 12 | | 02 MAY 72 | 00-13-06.95 | 41.57'N | 53.71'W | 0.78 | 0.78 | 0.10 | C | 6 |
| 13 | | 02 MAY 72 | 00-17-36.93 | 42.36'N | 53.18'W | 1.0 R | -0.5 | 0.08 | C | 4 |
| 14 | | 02 MAY 72 | 00-31-49.94 | 42.00'N | 53.24'W | 2.59 | -0.09 | 0.05 | C | 5 |
| 15 | | 02 MAY 72 | 05-48-07.25 | 41.16'N | 53.69'W | 4.19 | -0.5 | 0.03 | C | 5 |
| 16 | | 02 MAY 72 | 06-38-13.48 | 42.34'N | 55.03'W | 2.37 | -0.21 | 0.06 | C | 5 |
| 17 | | 02 MAY 72 | 08-19-20.89 | 42.12'N | 55.79'W | 0.8 | -0.34 | 0.14 | D | 5 |
| 18 | | 02 MAY 72 | 09-31-09.68 | 41.17'N | 52.61'W | 0.7 | 0.01 | 0.23 | C | 5 |
| 19 | | 02 MAY 72 | 12-30-05.98 | 41.13'N | 52.57'W | 1.36 | -0.69 | 0.15 | C | 6 |
| 20 | | 02 MAY 72 | 12-37-38.52 | 41.34'N | 52.53'W | 0.8 | -0.34 | 0.06 | C | 6 |
| 21 | | 02 MAY 72 | 12-51-23.04 | 41.44'N | 53.15'W | 2.86 | -0.69 | 0.07 | C | 4 |
| 22 | | 02 MAY 72 | 12-52-30.26 | 41.77'N | 52.75'W | 1.29 | -0.34 | 0.21 | C | 4 |

- Fecha y hora origen en Tiempo Medio de Greenwich (GMT)


- R en la columna Profundidad del Foco significa que la profundidad focal permaneció fija (1 km) durante el cálculo.

- Calidad de localización: B, C, o D de acuerdo a convención de HYP071Pc (Lee *et al.*, 1985).

- Magnitudes (Mc) estimadas con la estación Los Lirios.



















FUENTE: Yamamoto, J., 1993. Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango y su relación con la geología regional; México, UNAM- Instituto de Geofísica, Revista Geofísica Internacional, Vol. 32, Núm. 3, p. 501-510.

Tabla 4.3 Sismicidad de fuente natural en la presa Lázaro Cárdenas (El Palmito), Durango

| Número | SÍMBOLO | FECHA | Origen HRMN | (TMG) SEG | LATITUD N | LONGITUD W | PROF. km | MAG CODA | FASES | GAP ° | DMIN km | RMS SEG | ERH km | ERZ km |
|--------|---|--------|-------------|-----------|-----------|------------|----------|----------|-------|-------|---------|---------|--------|--------|
| 1 |  | 960621 | 17:42 | 11.89 | 25-38.18 | 105-5.12 | 7.33 | 2.32 | 7 | 51 | 7.1 | 0.15 | 1.5 | 1.2 |
| 2 | | 960623 | 02:06 | 10.13 | 25-39.21 | 105-4.91 | 6.02 | 1.20 | 6 | 24 | 7.9 | 0.04 | 0.4 | 0.4 |
| 3 | | 960624 | 21:09 | 43.96 | 25-39.72 | 105-3.87 | 4.46 | 1.00 | 4 | 26 | 7.5 | 0.00 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | | 960626 | 22:08 | 7.58 | 25-39.28 | 105-3.35 | 4.18 | 1.41 | 6 | 29 | 6.3 | 0.07 | 0.6 | 0.2 |
| 5 | | 960626 | 22:39 | 53.60 | 25-40.00 | 105-2.37 | 3.19 | 1.14 | 6 | 31 | 6.9 | 0.05 | 0.6 | 0.9 |
| 6 | | 960627 | 02:24 | 15.89 | 25-39.21 | 105-3.94 | 4.90 | 0.63 | 6 | 27 | 6.8 | 0.04 | 0.4 | 0.1 |
| 7 | | 960629 | 17:21 | 13.00 | 25-38.71 | 105-4.29 | 4.59 | 0.86 | 6 | 26 | 6.5 | 0.05 | 0.6 | 0.2 |
| 8 | | 960630 | 01:05 | 4.18 | 25-38.46 | 105-3.69 | 6.67 | 0.59 | 6 | 28 | 5.4 | 0.08 | 1.0 | 0.6 |
| 9 | | 960701 | 234:41 | 49.49 | 25-37.54 | 105-5.94 | 4.68 | 1.29 | 6 | 58 | 7.8 | 0.13 | 0.7 | 0.3 |
| 10 | | 960703 | 06:18 | 39.37 | 25-39.92 | 105-1.33 | 4.04 | 1.09 | 6 | 42 | 6.6 | 0.06 | 1.6 | 0.8 |
| 11 | | 960705 | 05:01 | 42.05 | 25-37.91 | 105-2.83 | 6.99 | 0.80 | 8 | 166 | 3.7 | 0.16 | 0.9 | 0.9 |
| 12 | | 960717 | 23:29 | 55.42 | 25-37.45 | 105-5.83 | 3.87 | 0.89 | 6 | 121 | 7.5 | 0.06 | 0.3 | 0.2 |
| 13 | | 960722 | 03:06 | 07.64 | 25-36.72 | 105-5.91 | 3.95 | 0.80 | 6 | 124 | 7.4 | 0.10 | 0.6 | 1.2 |

Fecha: Fecha de ocurrencia del sismo, TMG, Tiempo de origen del sismo en el meridiano de Greenwich (la hora local del evento se obtiene restándole 6 horas); PROF., profundidad en km; MAG CODA, Magnitud de coda Mc, FASES, Número de fases usadas para determinar el epicentro; GAP, Separación azimutal; DMIN, Distancia del epicentro a la estación de registro; RMS, Error medio cuadrático de los tiempos residuales de recorrido de las ondas sísmicas primarias y secundarias; ERH, Error horizontal estimado; ERZ, Error estimado en profundidad.
FUENTE: Ramírez y Garza, 1996.

Tabla 4.4 Sismicidad histórica de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas











































| Número | Símbolo | Estado | Año | Fecha | | Latitud Norte (grados) | Longitud Oeste (grados) | Profundidad Km | Magnitud (grados) | Fuente |
|--------|---|-----------|------|-------|-----|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|--------|
| | | | | Mes | Día | | | | | |
| 1 |  | Nayarit | 1930 | 12 | 09 | 22.25 | 105.75 | 0 | 5.50 | SSN |
| 2 |  | Sinaloa | 1969 | 11 | 01 | 23.80 | 107.10 | | 4.10 | SSN |
| 3 |  | Sinaloa | 1994 | 07 | 27 | 23.11 | 107.06 | 33 | 3.90 | PDE |
| 4 |  | Zacatecas | 1995 | 09 | 25 | 23.00 | 102.51 | 10 | 4.10 | PDE |
| 5 |  | Zacatecas | 1997 | 01 | 26 | 23.11 | 102.64 | 10 | 0.00 | PDE |
| 6 |  | Zacatecas | 1953 | 09 | 17 | 23.52 | 103.32 | | 4.70 | SSN |
| 7 |  | Zacatecas | 1998 | 03 | 05 | 23.69 | 103.43 | | 4.95 | CFE |
| 8 |  | Zacatecas | 1998 | 03 | 06 | 24.03 | 103.45 | | 3.47 | CFE |
| 9 |  | Zacatecas | 1998 | 02 | 26 | 24.49 | 102.02 | 18 | 4.61 | CFE |
| 10 |  | Coahuila | 1985 | 08 | 08 | 25.28 | 102.36 | 33 | | PDE |
| 11 |  | Coahuila | 1978 | 05 | 03 | 25.79 | 103.05 | 33 | 4.40 | PDE |
| 12 |  | Coahuila | 1992 | 10 | 01 | 27.83 | 102.37 | 5 | 3.80 | PDE |
| 13 |  | Coahuila | 1993 | 12 | 05 | 27.83 | 102.74 | 5 | 4.70 | PDE |
| 14 |  | Coahuila | 1968 | 06 | 04 | 27.30 | 103.00 | 33 | 4.40 | SSN |
| 15 |  | Chihuahua | 1928 | | | 27.74 | 105.11 | 10 | 6.30 | CFE |
| 16 |  | Chihuahua | 1932 | 05 | 01 | 26.98 | 105.57 | | 5.00 | SSN |
| 17 |  | Chihuahua | 1960 | 10 | 09 | 26.98 | 105.57 | | 4.30 | SSN |
| 18 |  | Chihuahua | 1994 | 01 | 05 | 25.89 | 106.93 | 10 | 3.80 | PDE |

FUENTE: SSN Servicio Sismológico Nacional, UNAM.
PDE-Preleminary determination epicenter, U.S. Geological Survey.
CFE-Departamento de Sismotectónica, Comisión Federal de Electricidad.

Con el fin de observar la correlación de las fracturas, fallas, fosa y pilares tectónicos con la distribución de los epicentros se ubicaron en la **Figura 4.2**

La dirección de las alineaciones de los sismos se correlacionó con las estructuras geológicas del estado de Durango.

Tabla 4.5 Rumbo de las alineaciones entre los sismos de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas

| Símbolo | Localidad del Sismo | Rumbo de la alineación | Observaciones |
|--|--|------------------------|--|
|  | Suroeste de Chihuahua, porción noroeste de Durango y sur de Chihuahua. | NE50°SW | Las alineaciones coinciden con las direcciones secundarias de los rasgos maestros del estado de Durango (Tabla 3.4, inciso a). |
|     | Al oriente del estado de Sinaloa, el cúmulo de 13 sismos de El Palmito, el cúmulo de 31 eventos, y los sismos de Coahuila. | NE50°SW | |
|    | Al oriente del estado de Sinaloa, el sismo de Rodeo y el sismo de Coahuila | NE45°SW | |
|     | Al oriente del estado de Sinaloa, el sismo de Coahuila, y muy próximos están el sismo de Avino y los sismos de Cuencamé. | NE63°SW | |
|    | Al noreste del estado de Nayarit, porción noroeste de Cuencamé y porción suroeste del estado de Coahuila. | NE35°SW | Las alineaciones coinciden con las direcciones principales de los rasgos secundarios del estado de Durango (Tabla 3.4, inciso b). |
|    | Al oriente del estado de Sinaloa, cúmulo de 22 sismos de Canatlán y el sismo de Coahuila | NE65°SW | Las alineaciones coinciden con las direcciones secundarias de los rasgos maestros del estado de Durango (Tabla 3.4, inciso a). |
|     | Los sismos de Zacatecas y el sismo de Avino | NW50°SE | |
|    | Los sismos de Zacatecas y los sismos de Cuencamé. | NW20°SE | La alineación coincide con las direcciones principales de los rasgos maestros y las fracturas en rocas cenozoicas, en el estado de Durango (Tabla 3.4 incisos a y b). |
|     | El sismo de Avino, el sismo de Rodeo, el cúmulo de 31 eventos, el sismo de Chihuahua | NW30°SE | |
|     | Los sismos del estado de Zacatecas y los sismos de la capital de Durango. | NW63°SE | Las alineaciones coinciden con las direcciones secundarias de los rasgos maestros y secundarios del estado de Durango (Tabla 3.4, inciso a y b). |
|    | Los sismos del estado de Zacatecas, el sismo de la población de Nombre de Dios y los sismos de la capital de Durango. | NW75°SE | |
|    | Los sismos de Coahuila y el sismo de Chihuahua. | NW45°SE | |
|    | El sismo de Zacatecas y los sismos de Coahuila | NW13°SE | La alineación coinciden con las direcciones principales de las fallas normales en rocas mesozoicas (Tabla 3.4, inciso d). |

El sismo de Zacatecas del 26 de febrero de 1998 de 4.61° y profundidad de 18 km (rectángulo de color rojo), el sismo de Coahuila del 8 de agosto de 1985 sin magnitud pero con profundidad de 33 km (rectángulo de color verde claro) y el sismo de Coahuila del 4 de junio de 1968 con magnitud de 4.40° y profundidad de 33 km (rectángulo color rosa) (**Tabla 4.4**), tienen una alineación con rumbo de NW 13° SE (**Figura 4.2**), que coincide con la dirección principal de las fallas normales en rocas mesozoicas (**Tabla 3.4 inciso d**). Asimismo, la profundidad de estos tres sismos puede estar relacionada con la continuación del *rift* del Río Grande desde Norteamérica hacia el sur (**Urrutia-Fucugauchi, 1986**), esta suposición de la continuación del *rift* dentro de México es de **Smith et al., (1979)** que se basa en la medición del flujo térmico, las altas temperaturas del manto y el adelgazamiento de la corteza debajo de la porción norte del Altiplano Mexicano. El flujo térmico en el continente es mayor de 1.5 UFT (unidades de flujo térmico) con valores que fluctúan de 0.54 a 4.18 UFT, que es característico de provincias jóvenes. En la Sierra Madre Occidental se observó un valor de 2 UFT, que es ligeramente inferior al valor promedio de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (**Urrutia-Fucugauchi, 1986**). El modelo de flujo térmico en el norte de México es complejo y puede reflejar diversos episodios magmáticos y/o diferencias en la distribución de la generación de calor radiactivo. La generación de calor radiactivo presenta una aparente variación sistemática y se sugieren tres explicaciones: (1) variación química de los magmas; (2) variaciones del espesor cortical y (3) levantamiento diferencial y erosión que removieron porciones de la corteza con elementos que generaron mucho calor (**Urrutia-Fucugauchi, 1986**). El espesor de la corteza varía a través de la margen noroeste de México, desde la península de Baja California con 10 km y se incrementa a casi 35 km debajo la porción norte del Altiplano (**Urrutia-Fucugauchi, 1986**). Del mismo modo, los datos sísmicos y gravimétricos de la Provincia de Cuencas y Cordilleras muestran un claro adelgazamiento cortical; la discontinuidad del Moho está situada a 20-35 km de profundidad en lugar de los 50 km que tiene en la planicie del Colorado. Igualmente la litosfera es más delgada (~80 km) que la existente bajo este último (120 km) (**Mercier y Vergely, 1999**). Además, en los orígenes de la tectónica de placas, **Atwater (1970)** estudia la evolución tectónica cenozoica del occidente del continente norteamericano. Sus conclusiones sugieren que la Sierra Madre Occidental se originó por la interacción de las placas de Farallón y de Norteamérica, las que definían una zona de subducción activa desde fines del Mesozoico (80 Ma) hasta el Terciario medio (20 Ma). Durante el Cuaternario y fines del Terciario, la corteza de la Sierra Madre Occidental debe haber experimentado un proceso de adelgazamiento y compactación, causado a lo menos por los fenómenos de denudación, enfriamiento y compensación isostática (**Rivera y Ponce, 1986**).

En la región de la presa El Palmito se encuentra un cúmulo de sismos relacionados con la fosa El Palmito y con la sismicidad inducida por el llenado de embalse que puede deberse a dos procesos: uno ligado a los esfuerzos originados por el peso mismo de la masa del agua y otro relacionado a la modificación del campo de esfuerzos de la zona, producto de la difusión de la presión. En estudios de este tipo realizados por la CFE (presas Aguamilpa y Angostura) se han observado que la actividad sísmica inducida está relacionada directamente con los niveles de embalse. Entre los diferentes aspectos que intervienen en el fenómeno están el marco geológico, la geometría del

embalse, tipo de discontinuidades que serán inundadas, patrón sísmico de la zona, velocidad de llenado del vaso (**Ramírez y Garza, 1996**).

Las **figuras 4.3** y **4.4** muestran las secciones N-S y W-E, latitud y longitud, respectivamente, para los 95 eventos (**tablas 4.1 a 4.4**) localizados en cinco entidades: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas. Los hipocentros están distribuidos en tres grupos: el primero de 1 a 5 km y el segundo de 6 a 14 km, y tercero de 18 a 37 km de profundidad, y el evento de 37 km es el de mayor profundidad registrada. En las dos secciones se observa un aglutinamiento de focos con un aparente alineamiento vertical que sugiere que estos eventos se asocian a una fosa tectónica con una anchura de aproximadamente de 216 km, que insinúa que esta estructura es sísmicamente activa.

En conformidad con **De la Fuente et al., 1991**, los datos gravimétricos del estado de Durango muestran dos bajos o dos anomalías residuales isostáticas negativas ubicadas al noroeste de la capital de la entidad federativa, con valores de -55 miligales, una ubicada al Norte de la capital del estado, a una distancia de 65 km, que coincide con la caldera de Chupaderos y otra al Noreste de la capital, distante aproximadamente unos 120 km, donde inicia la fosa tectónica de Rodeo (**Figura 4.5**).

De lo anterior, podemos decir que se tiene un haz de pruebas que nos permiten reforzar la hipótesis de que el *rift* de Río Grande se extiende hacia el sur dentro de México, hasta la fosa tectónica de Rodeo. Asimismo, es probable que este tipo de estructura haya facilitado los sistemas de fallas normales y fracturas que permitieron la formación de la fosa tectónica de Rodeo y el emplazamiento del cuerpo subvolcánico riolítico del DCB, que trajo consigo la mineralización de uranio, la que se emplazó en la Formación Mezcalera.

Finalmente, la zona norte del país no debe considerarse como una zona asísmica sino que debe tomarse de baja sismicidad.

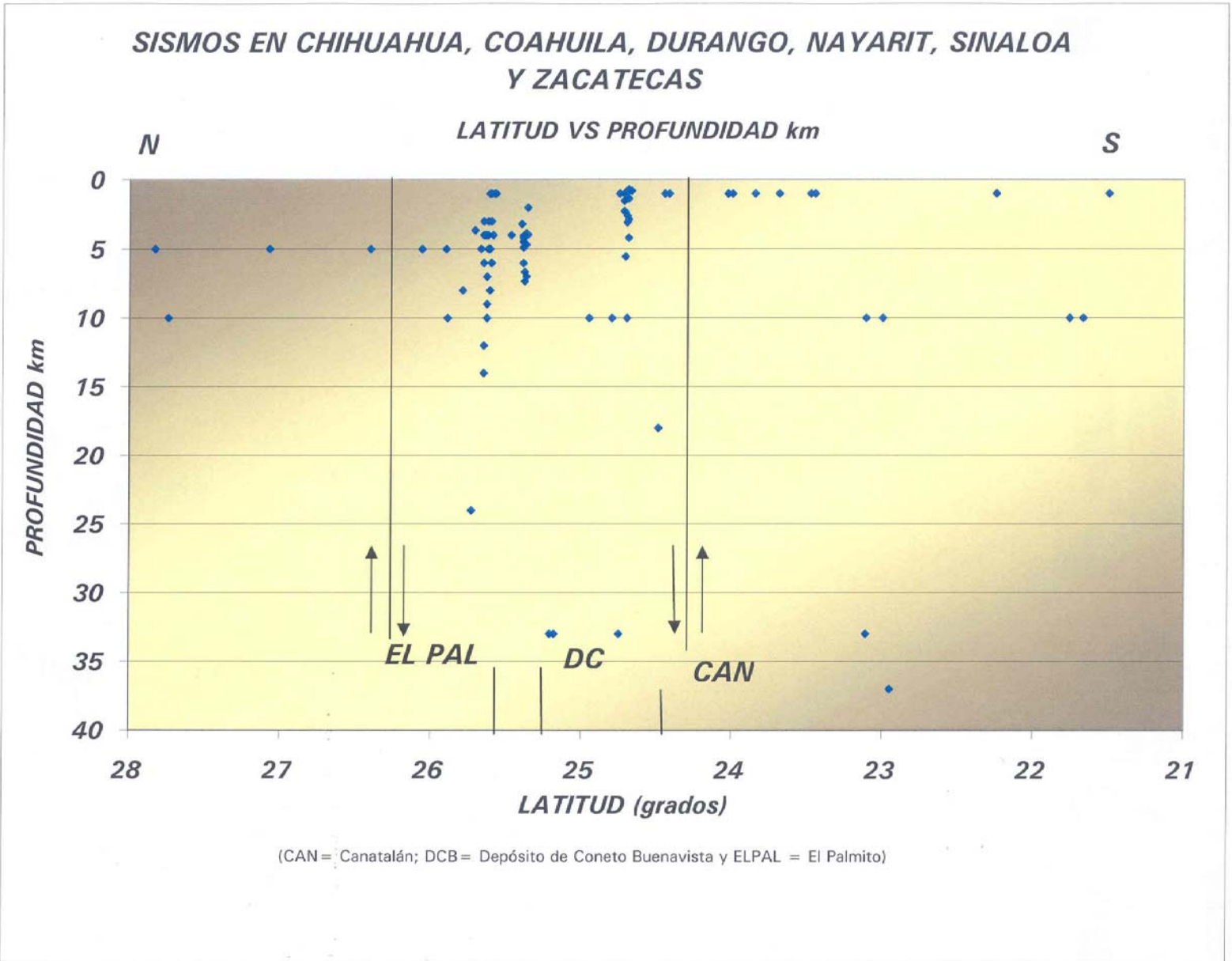


Figura 4.3 Distribución de los focos sísmicos contra la profundidad a lo largo del perfil de la latitud N-S en seis estados de la República Mexicana (CAN = Canatalán; DCB = Depósito de Coneto- Buenavista y EL PAL = El Palmito)

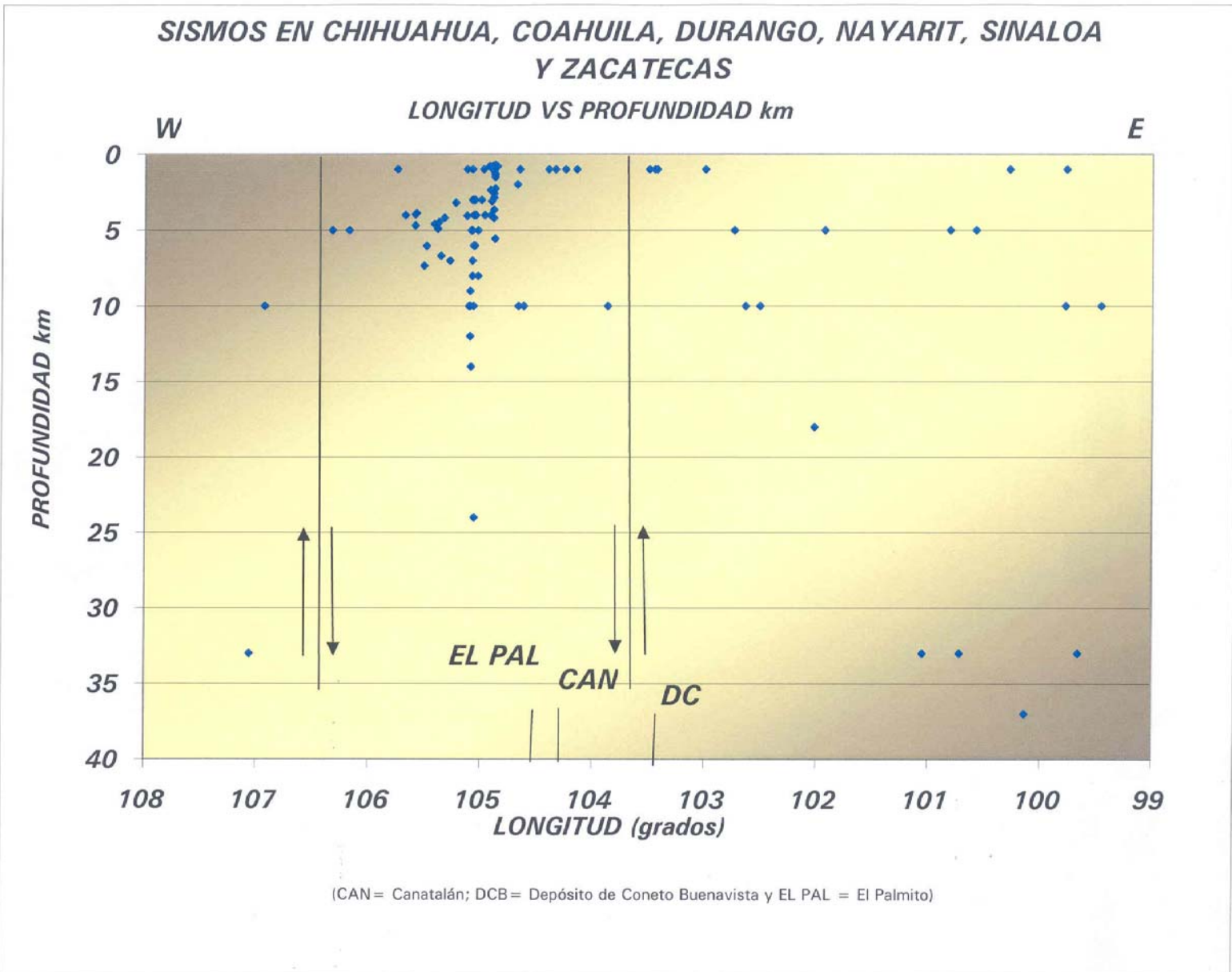


Figura 4.4 Distribución de los focos sísmicos contra la profundidad a lo largo del perfil de la longitud W-E en seis estados de la República Mexicana (CAN = Canatalán; DCB = Depósito de Coneto-Buenavista y EL PAL = El Palmito)

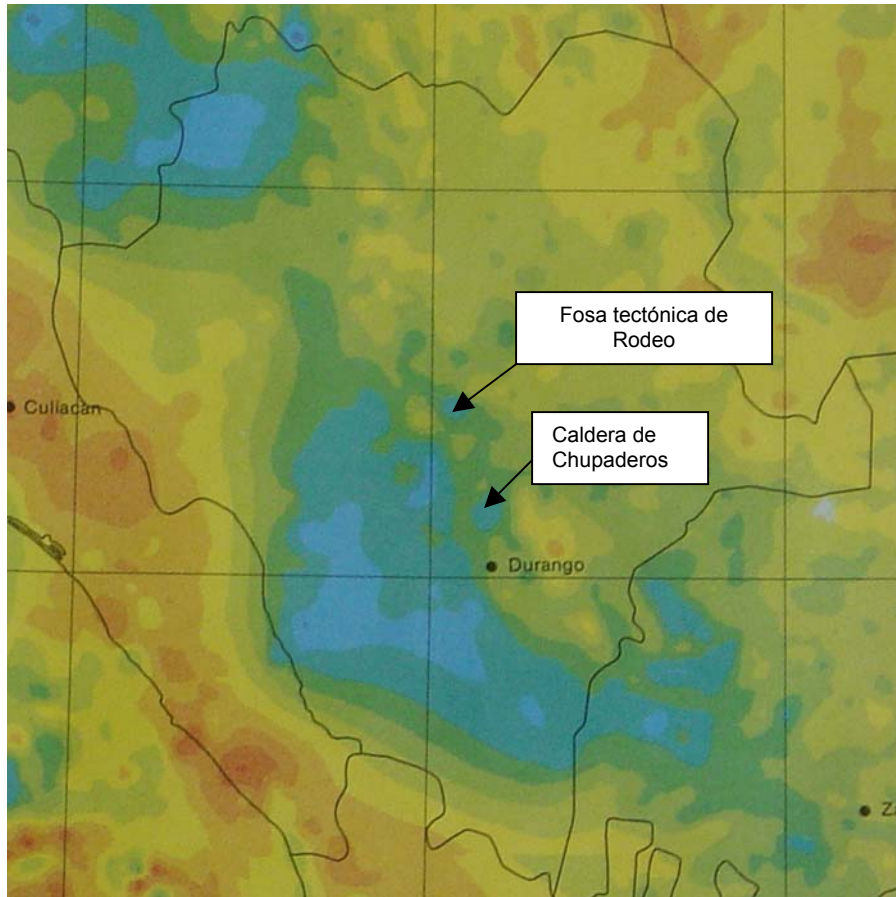


Figura 4.5 Carta gravimétrica de la República Mexicana, III Carta de anomalía residual isostática con detalle de los bajos gravimétricos en el estado de Durango

FUENTE: De la Fuente *et al.* 1991,

4.2 Espectroscopía

Después de que se realizó la radiometría pedestre a detalle del DCB se programaron diversos trabajos como fueron: 1) Configuración topográfica a escala 1:1 000 y 2) El estacado con dirección NW-SE y en forma de cuadrícula con distanciamiento cada 20 m, para llevar a cabo el estudio geofísico superficial, denominado levantamiento espectroscópico, con el espectrómetro DISA-400 y obtener configuraciones de isorradadas (curvas de igual valor de radiactividad) de cuenta total, bismuto, talio, y relación bismuto/talio, que sirvieron de guía al programa de las obras de exploración directa como fueron las catas y barrenos (**plano 1** al final en bolsa).

Las mediciones de las lecturas de la radiactividad son en cuentas por segundo (*cps*, *counts per seconds*) y los altos radiométricos se consideraron aquellos que alcanzaron lecturas de 1 000 *cps* o mayores, pues las calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera, tienen un conteo de fondo (*background*) de 60 a 70 *cps*. El cuerpo subvolcánico riolítico presenta una radiactividad de fondo de 200 a 300 *cps*. Los depósitos de conglomerado y aluvión presentan cuentas de fondo que fluctúan de 60 a 80 *cps*. El levantamiento espectroscópico es un método geofísico superficial, que capta la radiactividad del subsuelo de unos 0.80 a 2.0 m de profundidad, pues la cubierta del

suelo tiene una fuerte interferencia para detectar la radiactividad anómala. En cada punto o estaca de la cuadrícula se tomó la lectura con el espectrómetro en cada uno de los cuatro canales que detecta. El espectrómetro proporciona la lectura de la radiactividad cuando han transcurrido 10 segundos, después se realizó el promedio aritmético para obtener la cuenta por segundo. Por ejemplo, si la lectura en la cuenta total fue de 10 000/10, el valor del promedio resultó ser de 1 000 cps. De manera general, a los cuatro planos de las configuraciones de cuenta total, bismuto, talio, y relación bismuto/talio se les sobrepuso la topografía, geología de detalle y cuadrícula (20 por 20 m) de los barrenos. Los altos radiométricos en las cuatro configuraciones de isorradadas tienen forma alargada, que siguen aproximadamente la traza de los tres cuerpos hidrotermalizados con dirección NW-SE y que arman en la Formación Mezcalera. Asimismo, los altos radiométricos coincidieron con las zanjas y los barrenos que cortaron mineralización de uranio (**plano 1** al final en bolsa).

4.2.1 Interpretación de las configuraciones de cuenta total, bismuto, talio y relación bismuto/talio

Las configuraciones se realizaron con base en la lectura de cada canal del espectrómetro de masas, en cada estaca de la cuadrícula. Se comienza con la lectura de toda la radiactividad que corresponde a la de cuenta total, sin que se pueda discriminar si la lectura es por efecto de la radiactividad del uranio o del torio. La segunda lectura es la del canal del ^{214}Bi que es un elemento descendiente de la cadena de radiactividad del uranio. La tercera lectura es la del canal del ^{208}Tl que es un elemento descendiente de la cadena de radiactividad del torio. Con el fin de conocer que la anomalía es por uranio y no por torio, se efectuó la configuración radiométrica de la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$. Asimismo, la radiactividad anómala más alta es la que está sobre el cuerpo hidrotermalizado No. 1 y más próxima al cuerpo subvolcánico riolítico, como es el caso de los dos altos radiométricos, el de la porción norte y el de la parte norte centro. Las curvas del conteo de fondo del DCB, de los cuatro canales fueron: 300 cps de la cuenta total (**Figura 4.6**); 5 cps del ^{214}Bi (**Figura 4.7**); 10 cps del ^{208}Tl (**Figura 4.8**) y el valor de 5 para la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$ que es adimensional (**Figura 4.9**). En la parte norte del cuerpo hidrotermalizado No. 1 se tiene valores anómalos de 2 200 a 6 000 cps de la cuenta total; valores de 30 a 93 cps del ^{214}Bi ; valores de 50 a 120 cps del ^{208}Tl y valores de 110 a 180 cps de la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$, las cuatro lecturas anómalas coinciden con la zanja 1 y los barrenos J y 17 que cortaron uranio con leyes de 65 y 282 g/t, respectivamente (**figuras 4.6 a 4.9**). Asimismo, en la porción norte centro, se tiene otro alto radiométrico con valores que fluctúan de las 2 000 a 10 000 cps de la cuenta total; valores de 45 a 175 cps del ^{214}Bi ; valores de 50 a 130 cps del ^{208}Tl y valores de 110 a 280 cps de la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$, las cuatro lecturas anómalas se asocian con las zanjas 2, 3 y 4, así como los barrenos B, 6, A, 0 y 3 que cortaron mineralización uranífera con leyes de 48, 165, 78, 99 y 379 g/t, correspondientemente (**figuras 4.6 a 4.9**). La parte central y sur contiene cuatro altos radiométricos de 1 000 a 3 000 cps de la cuenta total; valores de 33 a 43 cps del ^{214}Bi ; valores de 20 a 50 cps del ^{208}Tl y valores de 110 a 370 cps de la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$, los cuatro valores anómalos coinciden con las zanjas 5, 6 y 7, así como los barrenos 31, 41, 51, 53, 56, 58 y 61 que cortaron mineral de uranio con leyes de 97, 188, 292, 159, 153, 187 y 221 g/t, congruentemente (**figuras 4.6 a 4.9**).

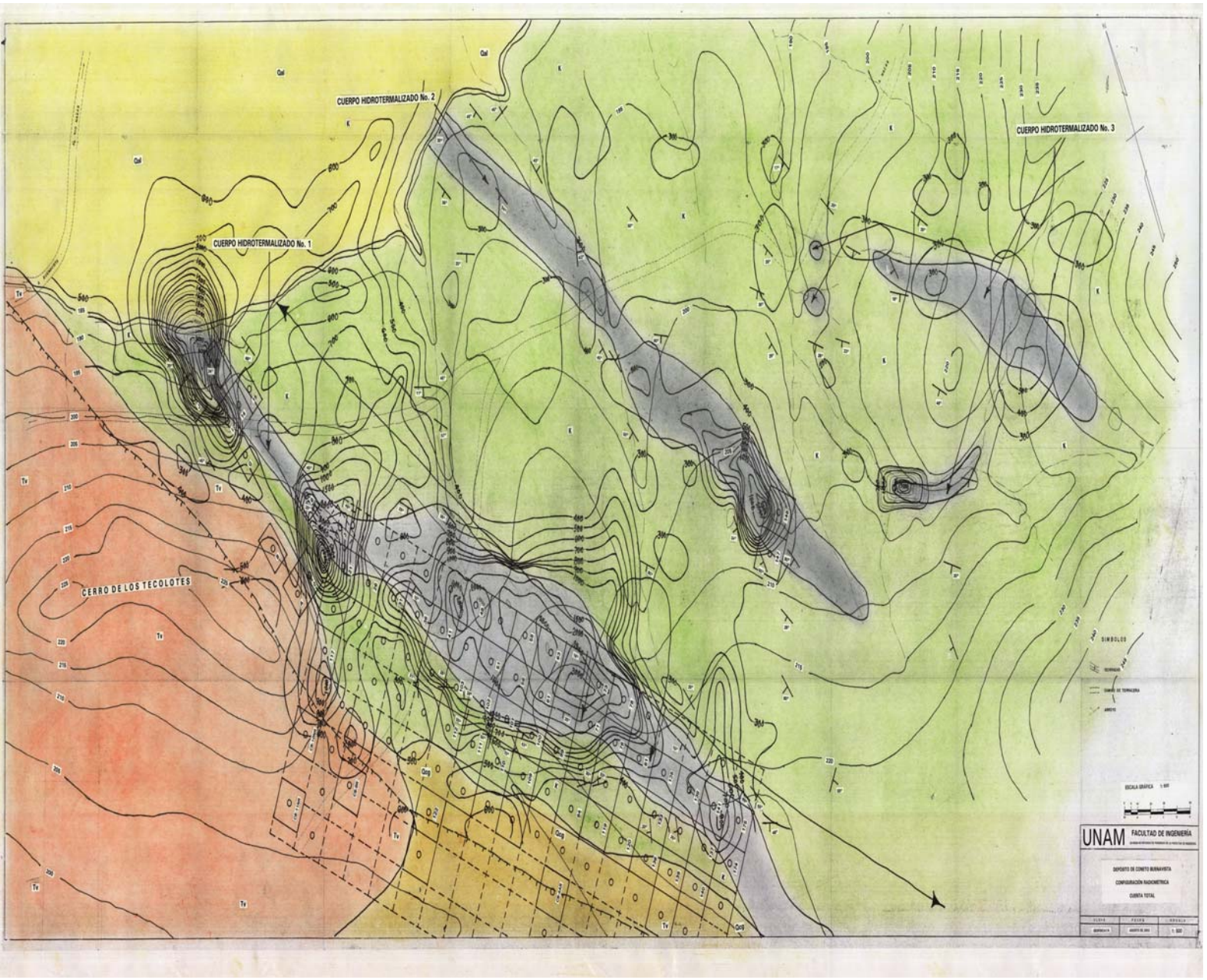
La porción sur de cuerpo hidrotermalizado No.2 tiene un alto radiométrico de 1 000 a 2 500 cps de la cuenta total; valores de 15 a 23 cps del ^{214}Bi ; valores de 10 a 30 cps del ^{208}Tl y valores de 100 a 250 cps de la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$, las cuatro lecturas anómalas coinciden con la zanja 8 y con los barrenos 147 y 148 que cortaron mineralización de uranio con leyes de 77 y 104 g/t, respectivamente (**figuras 4.6 a 4.9**).

El cuerpo hidrotermalizado No. 3 en su porción oriental se ubica un alto radiométrico de 1 000 a 7 000 cps de la cuenta total; valores de 33 a 73 cps del ^{214}Bi ; valores de 30 a 50 cps del ^{208}Tl y valores de 100 a 140 cps de la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$, para las cuatro lecturas anómalas no se tiene ningún barrero que pudiera corroborar los valores anómalos altos (**figuras 4.6 a 4.9**).

En forma sucinta se presentan los parámetros de radiactividad de cuenta total, bismuto, talio y la relación $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$ de los altos radiométricos en los cuerpos hidrotermalizados No. 1 y No. 2 del DCB.

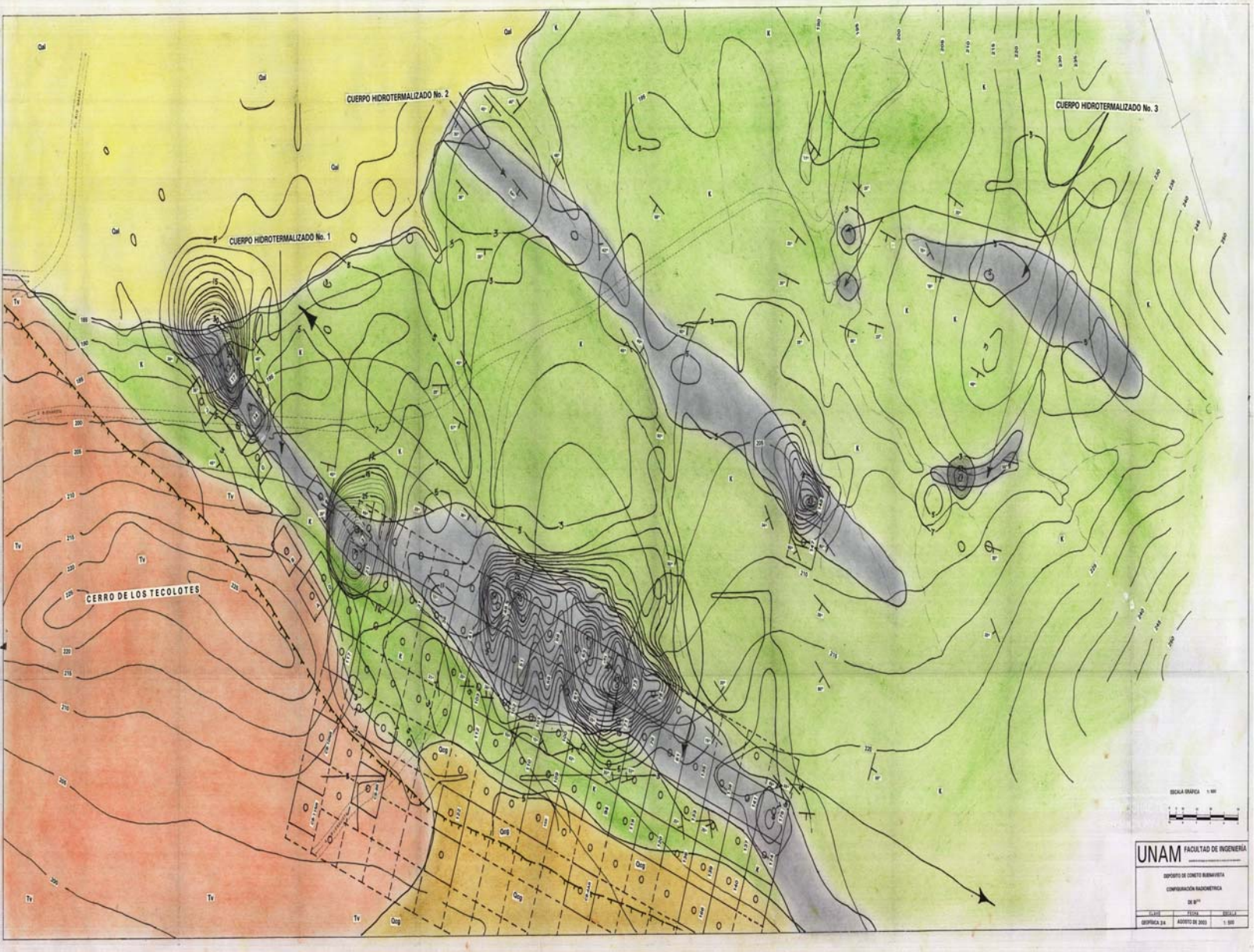
Tabla 4.6 Parámetros de la radiactividad con las zanjas y barrenos en los cuerpos hidrotermalizados No.1 y No. 2 del DCB

| Número de Zanja | Número de Barreno | Ley en g/t | Cuenta Total en cps | ^{214}Bi en cps | ^{208}Tl en cps | $^{214}\text{Bi} / ^{208}\text{Tl}$ |
|-----------------|-------------------|------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 | J | 65 | 2 000 a 6 000 | 30 a 93 | 50 a 120 | 110 a 180 |
| | 17 | 282 | | | | |
| 2, 3 y 4 | B | 48 | 2 000 a 10 000 | 45 a 175 | 50 a 130 | 110 a 280 |
| | 6 | 165 | | | | |
| | A | 78 | | | | |
| | 0 | 99 | | | | |
| | 3 | 379 | | | | |
| 5, 6, y 7 | 31 | 97 | 1 000 a 3 000 | 33 a 43 | 20 a 50 | 110 a 370 |
| | 41 | 188 | | | | |
| | 51 | 292 | | | | |
| | 53 | 159 | | | | |
| | 56 | 153 | | | | |
| | 58 | 187 | | | | |
| 8 | 61 | 221 | 1 000 a 2 500 | 15 a 23 | 10 a 30 | 100 a 250 |
| | 147 | 77 | | | | |
| | 148 | 104 | | | | |



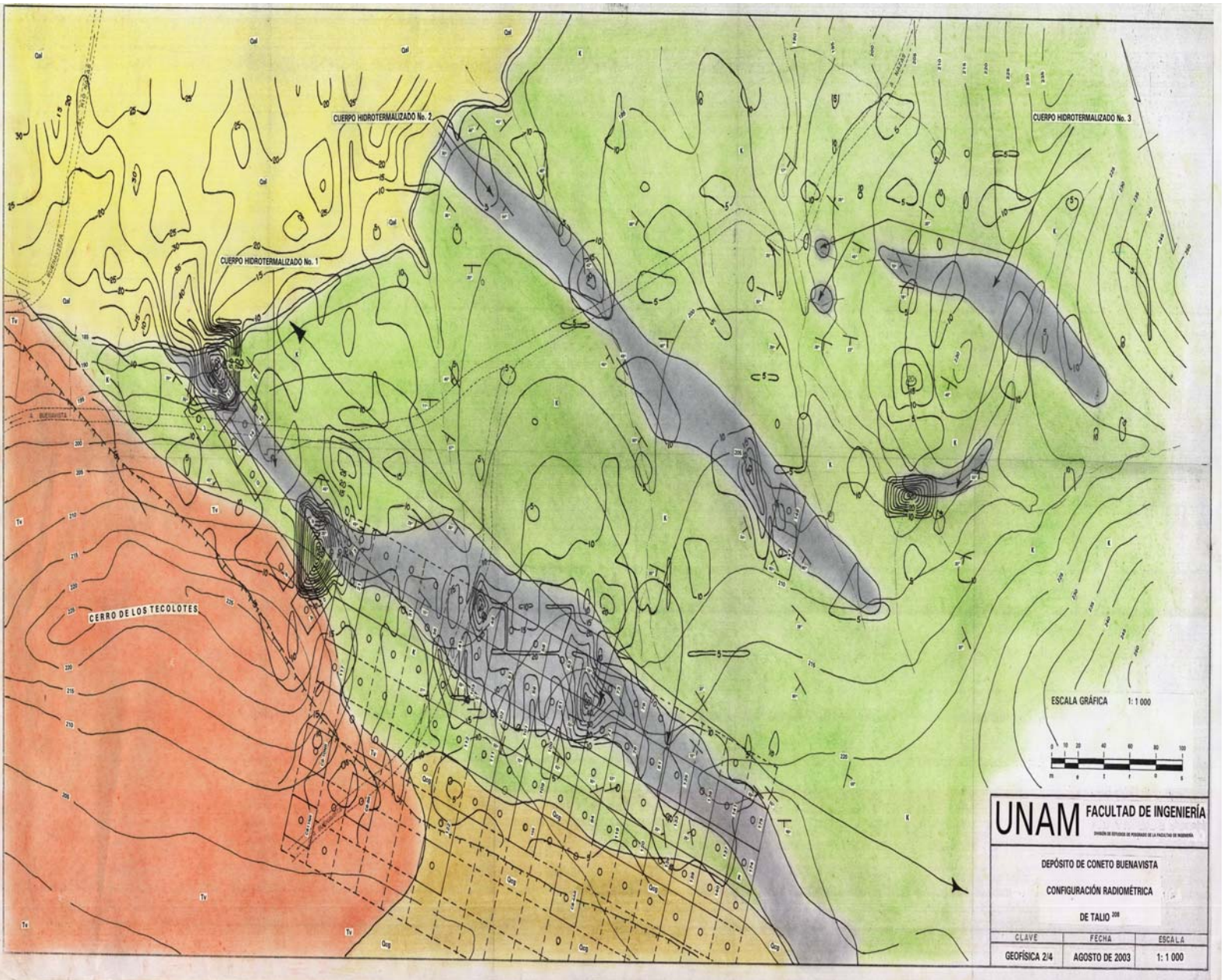
Nota: Los símbolos y explicación de la litología se puede consultar en el plano geológico 1 (al final en bolsa)

Figura 4.6 Configuración radiométrica de cuenta total del depósito de Concreto-Buenavista



Nota: Los símbolos y explicación de la litología se puede consultar en el plano 1 (al final en bolsa)

Figura 4.7 Configuración radiométrica de ^{214}Bi del depósito de Coneto-Buenavista



Nota: Los símbolos y explicación de la litología se puede consultar en el plano 1 (al final en bolsa)

Figura 4.8 Configuración radiométrica de ²⁰⁸Tl del depósito de Coneto-Buenavista

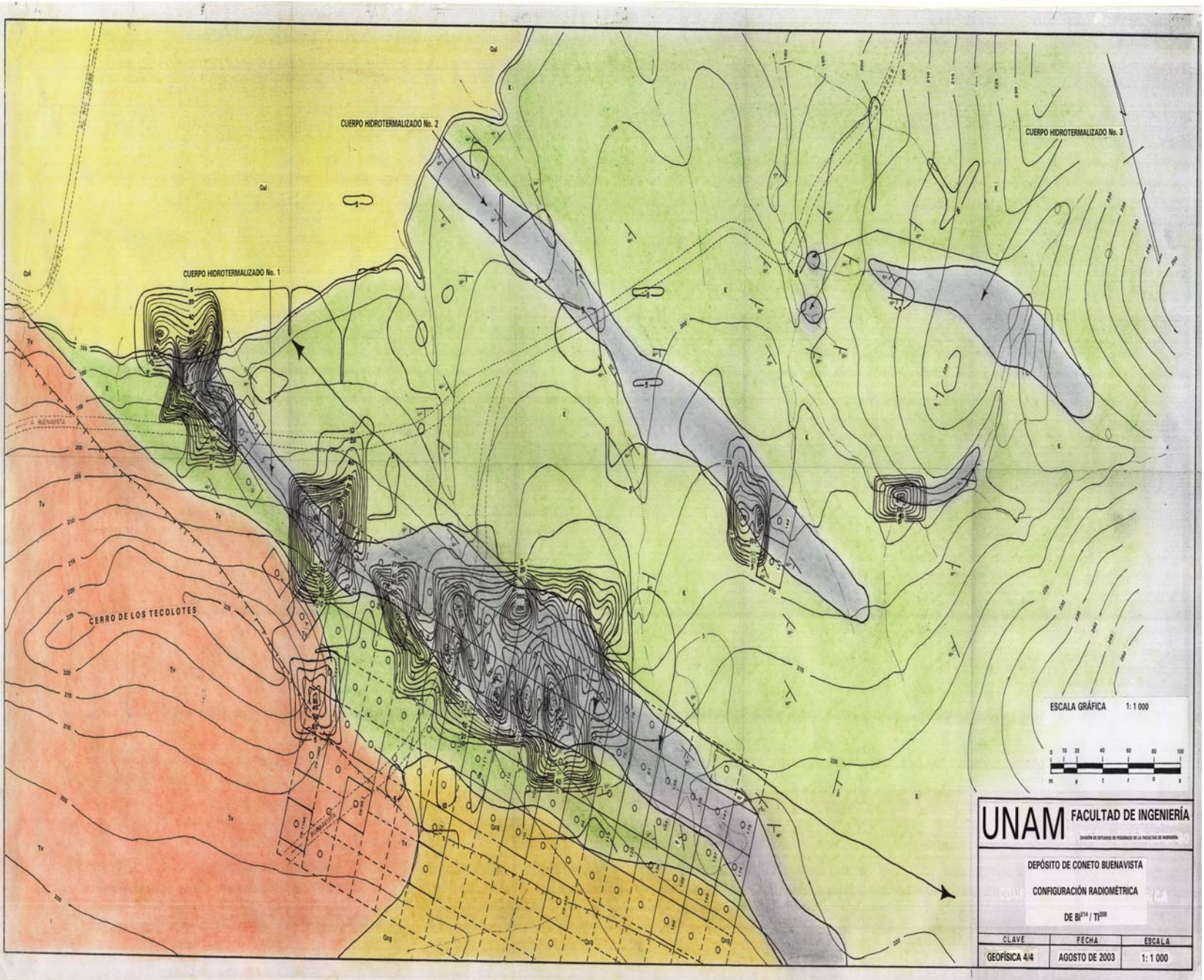


Figura 4.9 Configuración radiométrica de la relación ²¹⁴Bi / ²⁰⁸Tl del depósito de Coneto-Buenavista

Nota: Los símbolos y explicación de la litología se puede consultar en el plano 1 (al final en bolsa)

5. DESCRIPCIÓN DE LA MINERALIZACIÓN Y EXPLICACIÓN DE LA GÉNESIS DEL URANIO DEL DEPÓSITO DE CONETO-BUENAVISTA

5.1 Rasgos estructurales de detalle

El DCB se localiza en un anticlinal recostado, con inclinación o vergencia hacia el oriente, su eje tiene una dirección de NW33°SE (**Fotografía 5.1**). La porción occidental del depósito se encuentra afectada por una falla normal de rumbo general de NW30°SE y echado al suroeste (**plano 1** al final en bolsa).



Fotografía 5.1 Pliegue recostado de las calizas y lutitas de la Formación Mezcalera en el camino de terracería del poblado de Buenavista a la población de Nazas

En el área de estudio la estratificación de la secuencia sedimentaria presenta un rumbo regional aproximado de NW30°SE con numerosas flexiones a rumbo y plegamientos recostados (**Fotografía 5.2**).



Fotografía 5.2 Pliegue buzante inclinado de las calcarenitas, lutitas y areniscas de la Formación Mezcalera, en el camino de terracería del poblado de Buenavista a la población de Nazas

En la Formación Mezcalera, que aflora en el área de estudio, se tomaron 69 datos estructurales de las capas de las calcarenitas, lutitas y areniscas. La dirección de la estratificación que predomina es la de NW-SE con ángulos de 25° a 30° y frecuencia mayor al 17% (**Figura 5.1**). En la orientación de NE-SW prevalecen ángulos de 5° y frecuencia mayor al 4%.

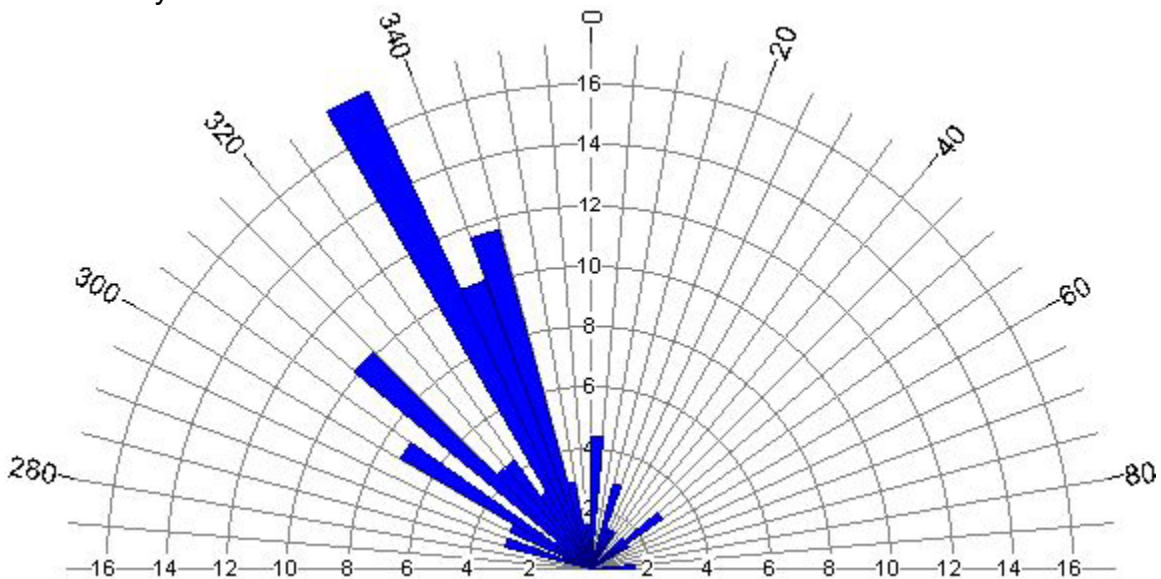


Figura 5.1 Azimut del rumbo de las capas de las calcarenitas, limolitas y areniscas

Asimismo, se realizó la proyección estereográfica, para configurar los polos del rumbo del echado de las capas de las calcarenitas, limolitas y areniscas, y se aplicó la red de Schmidt (de igual área), para la proyección de los polos dentro del hemisferio inferior de la esfera. La concentración de los polos con 69 datos estructurales de las capas, corresponden del 12 al 13% con una dirección N64°E, y perpendicularmente está el plano del círculo máximo que tiene un rumbo de NW26°SE y un echado de 24° al SW (**Figura 5.2**). Los datos de la dirección de las capas son semejantes a los datos estructurales regionales de las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior con dirección del plano del círculo máximo al NW30°SE con echado de 57° al SW (**Tabla 3.5 inciso c**). Asimismo, existen coincidencias en las direcciones secundarias de fracturas y direcciones principales de las fallas normales de las rocas mesozoicas con rumbo NW-SE, con ángulos de 25° a 30° y frecuencias mayores del 5% y 9% (**Tabla 3.5 inciso d**).

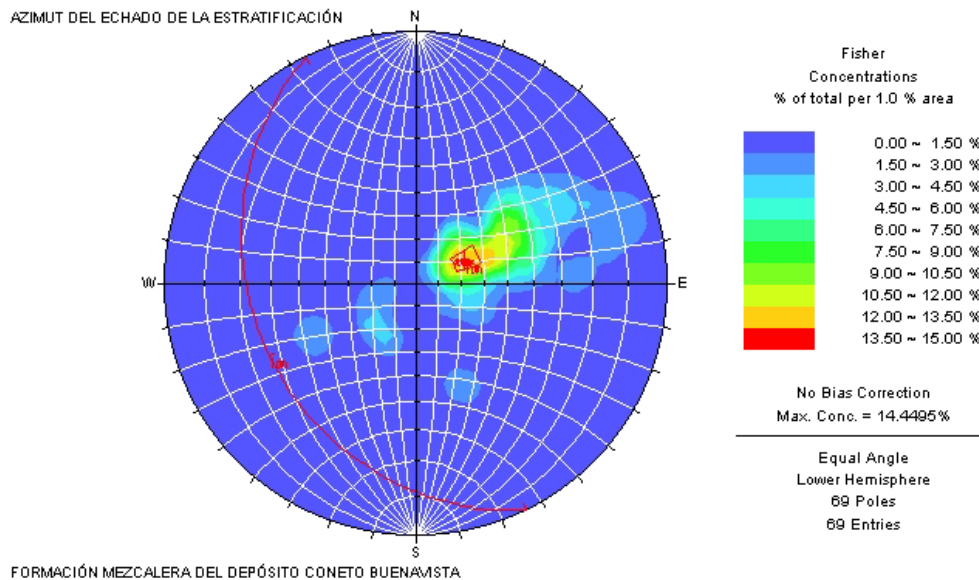


Figura 5.2 Proyección estereográfica de los polos del rumbo del echado de las capas de las calcarenitas, limolitas y areniscas

La Formación Mezcalera, en el área de estudio, fue mineralizada por el cuerpo subvolcánico riolítico, quien traía consigo al uranio y a las soluciones hidrotermales mineralizantes, se emplazó una vez que hubo una liberación de presión causada por la falla normal regional, con una longitud de 65 km, con orientación NW-SE y ángulos de 22° a 27°; ésta se prolonga en la porción occidental del DCB, con una longitud de 825 m y dirección NW30° a 47°SE. Asimismo, el cuerpo subvolcánico se encuentra afectado localmente por pequeñas fracturas sensiblemente paralelas con rumbos generales de NW50°SE 74°SW y NE78°SW 79°SE. Es probable que la falla normal regional y el cuerpo subvolcánico riolítico su origen pueda estar relacionado a la fase distensiva plio-cuaternaria en la época de relajación de los esfuerzos compresionales principales (σ_1). También, es posible que la falla normal regional haya sido el conducto de la emisión de los basaltos que afloran a 2 km al sur-sureste del depósito de uranio.

Además, la estratificación de las capas, las fracturas y fallas normales con dirección NW-SE en las rocas mesozoicas son casi perpendiculares a los esfuerzos

compresionales principales (σ_1), que actuaron del oeste-suroeste al este-noreste en el Cretácico Tardío durante la Orogenia Laramide (**Tabla 3.4 inciso d**).

5.2 Mineralización de uranio

La distribución de las manifestaciones uraníferas en Chihuahua y Durango coinciden con la dirección de los depósitos de uranio del plano de Provincias metalogenéticas de México por **Damon et al. (1981)**, pero existen otras manifestaciones de uranio en el país como son: al oriente de Sonora, en la porción oeste de Tamaulipas, en la parte oriental de Nuevo León, porción central de Zacatecas y en las porciones norte y sureste de San Luis Potosí, a sí como en la región oeste de Oaxaca (**Figura 2.3**). La continuación hacia el sur de la franja de uranio cartografiada en la ciudad de Chihuahua (**Figura 5.3** franja amarilla), son los depósitos de El Mezquite, el DCB, Sierra de Coneto y Sierra de Gamón en Durango.

Burnham (1959 en Damon et al., 1981) se percató de que las provincias metalogenéticas del suroeste de los Estados Unidos y del noroeste de México forman cinturones de gran extensión con orientación NNW, en alineaciones paralelas a los rasgos tectónicos más importantes. También, observó que dichas provincias no estaban asociadas únicamente con una clase particular de intrusivo o roca encajonante, ya que ambas ocurren dentro y fuera de los cinturones. De acuerdo con esto concluyó que los hechos eran compatibles con un origen a profundidad para las provincias metalogenéticas (**Figura 5.3**).

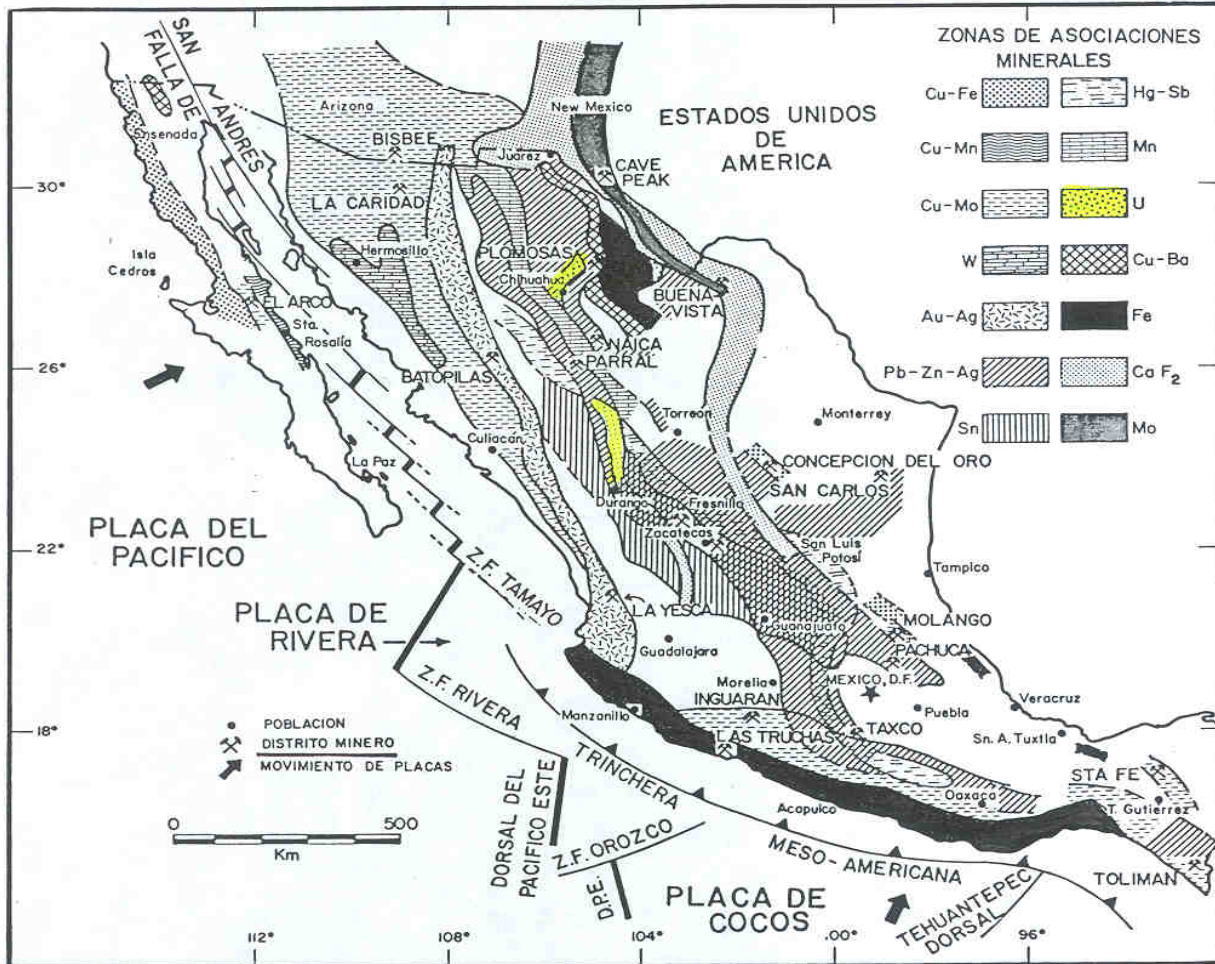


Figura 5.3 Provincias metalogenéticas de México. Nótese la sucesión en dirección NNW de la tendencia de las zonas metalogenéticas

FUENTE: Damon *et al.*, 1981.

Para Damon *et al.* (1981), hay un zoneamiento distintivo NNW de los depósitos minerales de la Cordillera Sur de Norteamérica, notoriamente paralelo a la margen convergente del occidente de México. La sucesión de metales en el norte de México es: Fe, Cu (W, Mo), Au-Ag, Sn, Hg-Sb, Pb-Zn-Ag, Mn, U, Cu-Ba, Fe, CaF₂ y Mo (Figura 5.3). Los factores que controlan la sucesión de la composición de las rocas, de calcoalcalinas a alcalinocálcicas a alcalinas parecen controlar también directa o indirectamente la sucesión de los depósitos minerales. Asimismo, en el estado de Chihuahua se tienen depósitos de uranio derivados por alteración hidrotermal (Calas, 1977). Además, durante el Cretácico-Cenozoico de México el arco cordillerano en su continuo avance al oriente produjo depósitos volcanogénicos y de contacto de U y Fe (Damon *et al.*, 1981). La composición del magma, que está en función de la distancia desde la paleotrinchera puede ser correlacionada con el zoneamiento de los depósitos minerales. Las zonas de los depósitos de U, Mo, y CaF₂ están asociadas con los magmas alcalinos (K₂O 2.5% a 57.5 % SiO₂). Valores altos de uranio usualmente se correlacionan bien con altas concentraciones de potasio y sílice (Rich *et al.*, 1977). Los depósitos de pórfidos de Cu(Mo) con rocas ígneas calcoalcalinas y alcalinocálcicas y

los depósitos de vetas con rocas volcánicas calcoalcalinas (con K_2O 2.0% a 57% SiO_2) (**Damon et al., 1981**). Los depósitos de uranio se localizan entre los 700 y 800 km de la paleotrinchera, y con origen volcanogénico (**Figura 5.4**); encima están los depósitos de Fe y los de Pb-Zn-Ag (**Damon et al., 1981**). Asimismo, los depósitos de uranio en Chihuahua se sitúan a 800 km (**Figura 5.4**, franja anaranjada) y las manifestaciones de uranio en Durango se encuentran a 700 km de la paleotrinchera (franja amarilla). Los depósitos de hierro (La Perla, Chihuahua, Mina de Hércules en Coahuila y Cerro del Mercado en Durango) coinciden con el zoneamiento del uranio, pues el ion ferroso (Fe^{+2}) es uno de los agentes reductores más importantes en la corteza terrestre, para el uranio al reducirlo de U^{+6} a U^{+4} (**Rich et al., 1977**).

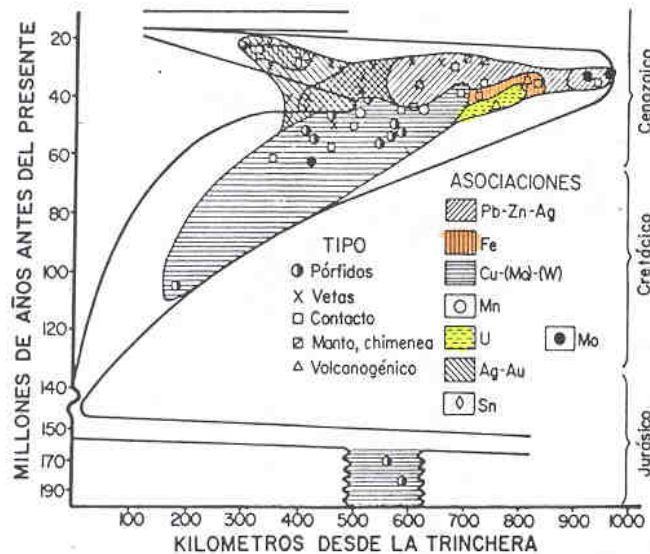


Figura 5.4 Sucesión de los depósitos minerales durante la migración del arco

Nótese que la provincia de Cu (Mo, W) originada por la progresión al oriente del arco magmático está intrusionada o encima están depósitos más recientes de Pb-Zn, Ag, Ag-Au provocados por la regresión al poniente del arco magmático.

FUENTE: **Damon et al., 1981**.

La edad de la mineralización de uranio es posible que corresponda al Terciario medio (**Figura 5.4**), cuando acontece la fase de extensión en la época de relajación de los esfuerzos compresionales principales (σ_1), que afectó a la región de Rodeo (**Aranda-Gómez, et al., 2000**) cuando la primera etapa de fallas sucedió hace ~29 Ma (Oligoceno Temprano) y el segundo impulso (~24-20 Ma, Mioceno Temprano) que originaron la formación de las fracturas y fallas normales con dirección NW-SE, éstas propiciaron la formación de fosas y pilares tectónicos. Las fracturas y fallas normales probablemente dieron lugar al emplazamiento del cuerpo subvolcánico riolítico que mineralizó a la Formación Mezcalera. También, fueron las vías o conductos por las que ascendieron las soluciones hidrotermales que contenían al uranio. Esta suposición se fundamenta en las siguientes evidencias:

1) En la porción occidental del DCB se perforaron tres barrenos verticales, uno sobre la traza de la falla normal que fue el barreno CB-4AR (antes 96) que cortó la ley más alta

del depósito. El barreno CB-8 a 15 metros al oriente de la traza de la falla, de éste a 6 m al oriente se perforó el barreno 155. Los tres barrenos cortaron mineral de uranio con diferentes espesores y leyes promedio (**Tabla 5.1**).

2) Cerca del cuerpo subvolcánico riolítico se perforaron 5 barrenos verticales el A, B, CB-9, CB-10 y CB-11, que cortaron mineralización uranífera con diferentes espesores y leyes promedio (**Tabla 5.1**).

Tabla 5.1 Datos de ocho barrenos

| Número de Barreno | Profundidad m | Cima m | Base m | Espesor m | Ley promedio U ₃ O ₈ g/t |
|-------------------|---------------|--------|--------|-----------|--|
| CB-4AR | 150 | 70.40 | 144.30 | 73.90 | 425 |
| 155 | 51 | 0.00 | 5.40 | 5.40 | 41 |
| CB-8AR | 110 | 51.35 | 100.45 | 49.10 | 136 |
| A | 34 | 19.20 | 25.65 | 5.85 | 78 |
| B | 38 | 5.40 | 9.80 | 4.40 | 48 |
| CB-9R | 91 | 35.55 | 73.85 | 38.30 | 287 |
| CB-10NR | 107 | 62.70 | 85.50 | 20.75 | 44 |
| CB-11NR | 286 | 70.90 | 259.10 | 188.20 | 225 |

En la literatura de los depósitos minerales se menciona que si una secuencia de rocas sedimentarias es plegada, los estratos tienden a deslizarse unos sobre otros, sufriendo compresión en los flancos y dilatación en las crestas de los anticlinales, representando estas últimas, áreas de liberación de presión y pudiéndose originar fracturas paralelas a los planos axiales, particularmente en las capas competentes (**Figura 5.5**). El resultado es un desarrollo de aberturas o un incremento en la permeabilidad en las crestas que al ser mineralizadas, dan lugar a estructuras en forma de sillars de montar (*saddles*) que se denominan crestas de repliegue o vetas en albarda (**Cepeda, 1975**).

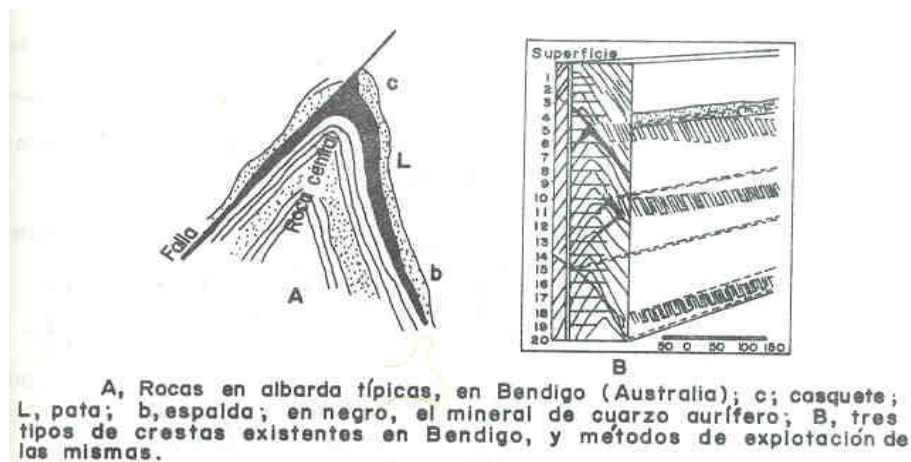


Figura 5.5 Cresta de repliegue o vetas en albarda

FUENTE: Cepeda, 1975.

En la superficie del DCB se tienen unos crestones blanquecinos y rojizos de rocas argilizadas que contienen la mineralización de uranio, que corresponden a los tres cuerpos mineralizados No.1, No. 2 y No.3 (**plano 1** al final en bolsa). Éstos presentan una superficie aproximada de 26 000 m², pero únicamente los cuerpos hidrotermalizados No. 1 y No. 2 fueron objeto de barrenación. El cuerpo

hidrotermalizado No.1 cuenta con una superficie aproximada de 15 700 m², y por ser el que más perspectivas superficiales presentó se puso un mayor interés a los trabajos de perforación.

El comportamiento que adopta la mineralización de uranio del DCB, en el subsuelo es la de crestas de repliegue, como se verá en el Capítulo 7. La formación de este tipo de estructuras fue favorecida, probablemente, por la dilatación de las crestas de los pliegues recostados y por los sistemas de fracturas persistentes que propiciaron la permeabilidad secundaria en las capas plegadas (**fotografías 5.1 y 5.2**). Así, el mineral de uranio en secciones perpendiculares a la anchura del cuerpo hidrotermalizado No. 1 (Capítulo 7) tiene un espesor mayor donde cruza la estratificación de la Formación Mezcalera. Sin embargo, se adelgaza cuando es paralelo a la estratificación y se inclina con ángulos de 30° a 65°, lo que propicia que adopte una forma de filón o veta, que se asemeja a la pierna de una silla de montar (**Figura 5.5**). En secciones longitudinales a rumbo del cuerpo hidrotermalizado No.1, el horizonte de uranio se comporta como un manto con variación en el espesor de la mineralización, pues sigue a los estratos favorables (Capítulo 7). La mineralización en el cuerpo hidrotermalizado No.1 se presenta como finas películas, rellenando cavidades y fisuras, asociada en algunos lugares a fluorita, lo cual permite pensar en un probable origen hidrotermal, asociado a la acción de la falla normal existente, la cual pudo ser el camino tomado para el emplazamiento del cuerpo subvolcánico riolítico con uranio y las soluciones hidrotermales mineralizantes, que terminaron fijándose en estratos favorables dentro de la secuencia sedimentaria, siendo el origen del depósito de tipo epigenético.

El análisis cualitativo por fluorescencia y difracción de rayos X de la muestra CO-75-1, que se colectó en el cuerpo hidrotermalizado No. 1 reveló la presencia del mineral uraninita asociada a fluorita, además se determinaron los elementos como: silicio, calcio, hierro, uranio, antimonio, arsénico, potasio y titanio en cantidades decrecientes conforme fueron enlistados. Además, el análisis cualitativo por difracción de rayos X de dos muestras reportó betauranofano, fosfuranilita, meta-autunita y cuarzo. El análisis cualitativo por fluorescencia reporta los elementos como: silicio, calcio, uranio, hierro, potasio (?), plomo, aluminio, bario, itrio y fósforo (?).

Los minerales de uranio presente son los siguientes:

| | |
|---|--------------------|
| uraninita UO_2 | con U=46.5 a 88.2% |
| betauranófono $Ca(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2 \cdot 5H_2O$ | con U=55.6% |
| meta-autunita $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6H_2O$ | con U=53 a 59% |
| fosfuranilita $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2(OH)_4 \cdot 7H_2O$ | con U=63.3% |

La silicificación presente en los cuerpos hidrotermalizados No.1 y No.2 del DCB (**plano 1** al final en bolsa), corresponde a un tipo alteración hidrotermal que es común, pues durante los procesos hidrotermales la sílice puede ser introducida por los fluidos circulantes o depositada en forma de sílice residual después de la lixiviación de los elementos principales (en nuestro caso del uranio) (**Pirajno, 1992**). La solubilidad de la sílice se incrementa con la presión y temperatura y disminuye cuando experimenta una

expansión adiabática, de tal manera que en regiones de temperatura y presiones bajas precipita fácilmente. En el DCB la sílice se manifiesta en el cuerpo subvolcánico riolítico hacia las márgenes donde se presentan brechas hidrotermales, las cuales están enteramente silicificadas. Muchos depósitos epitermales se caracterizan por los crestones argilizados, brechas silicificadas, silicificación de las vetas y rocas encajonantes. La sílice puede reemplazar todo tipo de roca, siendo tal vez la silicificación la alteración hidrotermal más común en rocas carbonatadas, como en las calcarenitas y lutitas calcáreas del área de estudio, sobre las que se encuentra *sínter* silíceo.

La alteración argílica es importante en el DCB y se caracteriza por la formación de minerales arcillosos debido al intenso metasomatismo del H^+ (lixiviación ácida) a temperaturas entre 100° y $300^\circ C$ (**Figura 5.6**). Esta alteración gradúa internamente de la zonas fílicas, mientras que al exterior se pierde dentro del terreno propilítico (**Figura 5.7**). Los ambientes epitermales se caracterizan por una extrema lixiviación ácida, y por lo tanto la alteración argílica proporciona una guía muy útil para la mineralización (**Pirajno, 1992**). En el DCB corresponde a los crestones blanquecinos y rojizos de rocas argilizadas (denominados cuerpos hidrotermalizados No.1, No. 2 y No. 3), que por estar fracturadas y plegadas conceden una mayor permeabilidad a las crestas de los pliegues, lo que favoreció a la circulación de los fluidos hidrotermales, para la mineralización de uranio y la alteración argílica.

La alteración argílica se encuentra en las zonas internas de las vetas hidrotermales y es típica de los depósitos hidrotermales ricos en sulfuros (**Pirajno, 1992**).

En los últimos 10 barrenos que se perforaron (CB-1NR, CB-2NR, CB-4R, CB-5NR, CB-6R, CB-7NR, CB-8AR, CB-9R, CB-10NR, CB-11NR) se hizo un análisis estadístico de los minerales de ganga y alteraciones hidrotermales presentes en el DCB, que son: sulfuros de hierro (pirita en el 100% de los barrenos), óxidos de hierro (90%), sulfatos de calcio (yesos 90%), carbonatos (calcita 80%), minerales arcillosos (70% de los pozos), feldespatos (plagioclasas en un 40% de los barrenos) y fluorita (20%)(**Tabla 5.2**).

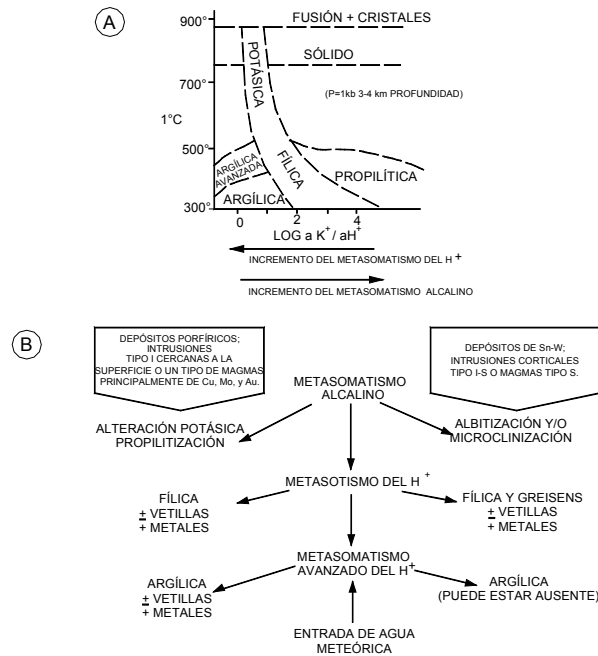
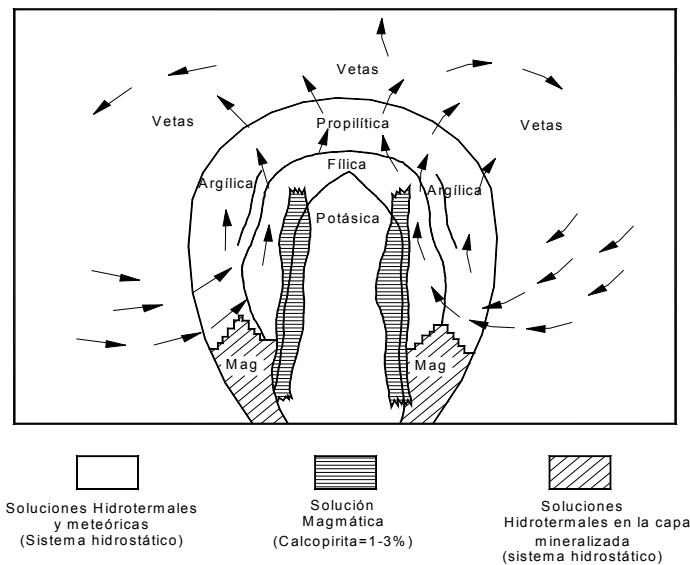


Figura 5.6 Esquema idealizado de la evolución de la secuencia de alteración

La parte **A** ilustra los tipos de alteración en función de la temperatura y las actividades del K^+ e H^+ .

En la parte **B** el metasomatismo alcalino libera al H^+ , y resulta una disminución de la relación de álcalis/ H^+ , y posteriormente una desestabilización de los feldespatos y micas, con el crecimiento de nuevas fases minerales (etapas de greisen y fílica). El metasomatismo avanzado del H^+ es propio de la introducción del agua meteórica al depósito, con oxidación y después el H^+ . La lixiviación ácida y alteración argílica se generan en esta etapa.

FUENTE: Pirajno, 1992.



FUENTE: Bateman, 1979.

Figura 5.7 Sección transversal a través de un yacimiento de pórfido cuprífero, que muestra los dos tipos de fluidos derivados de las aguas subterráneas y de formaciones profundas

Tabla 5.2 Características mineralógicas, alteraciones hidrotermales y litología de 10 barrenos

| Número de Barreno | Inclinación y Profundidad | Calcita | Yeso | Pirita | Óxidos de Hierro | Minerales arcillosos | Feldespatos | Fluorita | Minerales de U ₃ O ₈ | Silicificación | Limonización | Sericitización | Cloritización | Conglomerado y depósitos aluviales | Caliza arcillosa | Lutita calcárea | Lutita carbonosa | Toba o riolita alterada |
|-------------------|---------------------------|---------|------|--------|------------------|----------------------|-------------|----------|--|----------------|--------------|----------------|---------------|------------------------------------|--|---|---|-------------------------|
| CB-1NR | 90° 85 m | X | X | X | X | | | | | | | | | | 0-14 14 m | 14-61 47 m | 61-85 24 m | |
| CB-2NR | 90° 140 m | X | X | X | X | X | | | | X | X | X | | | 14-56 42 m | 69-91 22 m 103- 118 15 m 119- 140 21 m | 56-69 13 m 91-103 12 m 115-119 4 m | 0-14 14 m |
| CB-4R | 90° 150 m | | X | X | X | X | | X | X | | X | X | | | 0-7 7 m | 18-69 51 m | 69-150 81 m | |
| CB-5NR | 90° 151 m | X | X | X | X | X | X | | | X | X | | X | 0-6 6 m | 56- 123.5 67.5 m 139- 151 12 m | 123.5-139 15.5 m | 6-51 45 m | |
| CB-6R | 90° 158 m | X | X | X | X | X | | | | | X | X | X | 0-7 7 m | 60-93 33 m 101- 158 57 m | 93-101 8 m | 0-7 7 m | |
| CB-7NR | 90° 158 m | | X | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | 0-4 4 m | 18-62 44 m 144- 158 14 m 62-144 82 m | 62-144 82 m | 4-18 14 m | |
| CB-8AR | 90° 110 m | X | X | X | X | | | X | | | | | | | 0-17 17 m | 11-35 24 m 76-91 15 m | 35-76 41 m | |
| CB-9R | 90° 91 m | X | X | X | X | X | X | | | X | X | | | | 0-11 11 m | 35-76 41 m | 11-35 24 m 76-91 15 m | |
| CB-10NR | 90° 107 m | X | X | X | | X | | | | | | | | 0-2 2 m | 2-18 16 m | 36-107 71 m | 19-36 17 m | |
| CB-11NR | 90° 280 m | X | | X | X | | X | | | X | X | | | 0-4 4 m | 23-69 46 m | 69-280 211 m | 4-24 20 m | |

Símbolo X = presente

Las alteraciones hidrotermales más persistentes son: argílica (70%), limonitización (en un 70% de los barrenos), silicificación (en un 50% de los pozos), sericitización (40% de los barrenos) y cloritización (30% de los sondeos). Asimismo, la presencia de materia carbonosa (en el 100% de los barrenos), pudo servir como un eficiente agente reductor que causó la fijación de la mineralización secundaria de uranio.

También, se observaron minerales de uranio en dos barrenos (CB-4R y CB-7NR) que se asocian a la existencia de pirita, óxidos de hierro, minerales arcillosos y materia carbonosa (**Tabla 5.2**). Es posible que la reducción del uranio del DCB se debió a la presencia del sulfuro (pirita), ion férrico (limonita) y materia carbonosa (lutita carbonosa). El uranio pudo también ser removido de las soluciones hidrotermales por adsorción en los minerales arcillosos.

5.3 Explicación genética de la mineralización de uranio

Una característica de la mineralización del DCB que se mencionó es su origen secundario o de tipo epigenético en la Formación Mezcalera; además, se le clasifica de manera tentativa como un depósito epitermal relacionado al vulcanismo subaéreo. Asimismo, **Routhier (1963 en Cepeda, 1975)** coloca a la mayor parte de los yacimientos epitermales dentro de un grupo que denomina "Depósitos asociados al Vulcanismo y Subvolcanismo", afirmando que el papel del vulcanismo en Metalogenia ha sido mal estimado, ya que cuando las mineralizaciones se localizan en rocas volcánicas, muy rara vez se puede demostrar que su fuente directa se encuentra en las mismas lavas. Sin embargo, el vulcanismo y el subvolcanismo, en diversas épocas, deben haber aportado a las partes más altas de la Litosfera, elementos metálicos de origen más profundo. Posteriormente, éstos serían expulsados y concentrados dentro o fuera de las rocas volcánicas, sea por metamorfismo, sea por granitización, sea más simplemente y quizá más generalmente, por migraciones del agua que proviene de las deformaciones y de las fracturas de la corteza. El vulcanismo habría así desempeñado un papel indirecto y muy importante en la concentración metalífera (**Cepeda, 1975**).

A continuación se establecen las similitudes entre las características teóricas de los depósitos epitermales y la mineralización del DCB (**Tabla 5.3**).

Tabla 5.3 Similitudes entre las características teóricas de los depósitos epitermales y la mineralización del depósito de Coneto-Buenavista

| Características teóricas de los depósitos epitermales relacionados con el vulcanismo subaéreo | Características del depósito de Coneto-Buenavista |
|---|---|
| Incluye la emisión de sistemas ígneos intermedios a félsicos y ocurren a lo largo de límite de placas convergentes. | La paleogeografía del Cretácico-Cenozoico de México es el resultado de dos procesos fundamentales: la migración del arco cordillerano como consecuencia del cambio en el movimiento de las placas y el levantamiento continental en la márgenes convergentes en respuesta a ajustes isostáticos. La Sierra Madre Occidental está compuesta por dos importantes secuencias ígneas, cuyo contacto marca un periodo intermedio de calma volcánica. La secuencia más antigua la forman rocas volcánicas del Complejo Volcánico Inferior, principalmente intermedias, y cuerpos ígneos cuyas edades varían entre 100 y 45 millones de años. La secuencia más reciente corresponde a las ignimbritas del Super Grupo Volcánico Superior con un espesor que llega a superar en algunas localidades los 1 000 metros. |
| Los tipos de rocas que se asocian son riolitas con piroclásticos, piroclásticos soldados, regímenes de flujos asociados con ignimbritas, basaltos, grandes calderas y calderas complejas. | El depósito de Coneto-Buenavista se relaciona con el emplazamiento de un cuerpo subvolcánico riolítico, como una etapa final del emplazamiento de las ignimbritas del Super Grupo Volcánico Superior. En la carta tectónica de México, dentro de los límites estatales de Durango, están interpretadas 6 estructuras circulares en las rocas cenozoicas que se asocian a calderas, con diámetros de 12 a 40 km, las cuales produjeron extensos flujos ignimbriticos de gran espesor. |
| Originalmente se definió a los depósitos epitermales como producto del vulcanismo relacionado con la actividad hidrotermal a profundidades someras y bajas temperaturas. | El arco cordillerano en su continuo avance al oriente produjo depósitos volcanogénicos y de contacto de U y Fe. El depósito de Coneto-Buenavista se relaciona con un cuerpo subvolcánico riolítico, que ascendió hasta emplazarse muy próximo a la superficie (algunas decenas de metros) pero sin alcanzarla, que puede corresponder a un cuerpo de profundidad media, que afectó a las calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera. |
| Muchos depósitos están formados de fisuras con ramaleo irregular y se reconocen las texturas de relleno de intersticios. | La mineralización en el cuerpo hidrotermalizado No. 1 se presenta como finas películas, rellenando cavidades y fisuras. El las márgenes del cuerpo subvolcánico se presentan zonas de brechas donde se observan las texturas de brechas hidrotermales con fragmentos angulosos de riolítica en una matriz silicificada, con clorita, limonita y hematita. Asimismo, el cuerpo subvolcánico está afectado por dos sistemas de fracturas, las cuales sirvieron de conductos para los fluidos hidrotermales que transportaron la mineralización de uranio. |
| Las fisuras tienen una conexión directa con la superficie, que permite a los fluidos mineralizantes fluir con relativa tranquilidad. | Las fracturas y fallas normales en las rocas cenozoicas probablemente facilitaron el emplazamiento del cuerpo subvolcánico riolítico que mineralizó a las calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera. También, las fracturas y fallas fueron las vías o conductos por las que ascendieron las soluciones hidrotermales que contenían al uranio. La falla normal, existente en la porción occidental del depósito, pudo ser el camino tomado por la soluciones hidrotermales, que terminaron fijándose en estratos favorables dentro de la secuencia sedimentaria. |
| En general se distinguen las geodas en las cavidades, estructuras de crestas, crustificaciones y bandeamiento simétrico. La porosidad relativamente alta y la permeabilidad por las fracturas abiertas permiten a los fluidos circular sobre la pared de las rocas por grandes distancias, así como un adecuado gradiente de temperatura propicia las reacciones entre las soluciones tibias a calientes y las rocas huéspedes frías. | Se determinó la existencia de numerosas flexiones en el rumbo de la estratificación y plegamientos recumbentes en las capas sedimentarias, las cuales tienen un rumbo regional aproximado de NW30°SE. La forma que adopta la mineralización es la de sillars de montar (<i>saddles</i>) que se denominan crestas de repliegue o vetas en albarda, éstas tienen una aspecto de manto en las crestas de los pliegues, como los casquetes de las sillars, con una anchura mayor donde cruza la estratificación, y de forma de filón cuando el horizonte de uranio es paralelo a la estratificación, como si fueran las piernas o patas de la silla (Figura 5.5). |
| Incluye vulcanismo Terciario | La toba deleznable de color rojo, la unidad de brecha y los derrames andesíticos tentativamente corresponden al Complejo Volcánico Inferior del Cretácico Tardío y Eoceno Temprano. Las tobas líticas muy silicificadas y el pórfido riolítico se correlacionan con el Super Grupo Volcánico Superior del Terciario medio. |
| La sericitización, silicificación y feldspatización del potasio son los productos de alteración más comunes a los lados de las vetas. Los principales productos de alteración son la clorita, alunita, zeolitas, arcillas, adularia, sílice y piritita. | Los minerales de ganga y alteraciones hidrotermales presentes en el depósito de Coneto-Buenavista, que son: sulfuros de hierro (pirita en el 100% de los barrenos), óxidos de hierro (90%), sulfatos de calcio (yeso 90%), carbonatos (calcita 80%), minerales arcillosos (70% de los pozos), feldspatos (plagioclasas en un 40% de los barrenos) y fluorita (20%). Las alteraciones hidrotermales más persistentes son limonitización (en un 70% de los barrenos) y la argílica (70%), silicificación (en un 50% de los pozos), sericitización (40%) y cloritización (30%). Asimismo, la presencia de materia carbonosa (en el 100% de los barrenos). |
| Los minerales de ganga en vetas epitermales incluyen cuarzo lechoso, transparente, verdoso o amatista, calcedonia, adularia, calcita, dolomita, ankerita, rodocrosita, barita y fluorita. | El análisis cualitativo por fluorescencia y difracción de rayos X de la muestra CO-75-1, que se colectó en el cuerpo hidrotermalizado No. 1 reveló la presencia del mineral uraninita asociada a fluorita. El análisis cualitativo por difracción de rayos X de dos muestras reportó betauranofano, fosfuranilita, meta-autunita y cuarzo. En los barrenos CB-1NR a CB-11NR se encontró calcita, yeso, pirita, óxidos de hierro, minerales arcillosos, feldspatos y fluorita (Tabla 5.2). |

El DCB en cuanto a su posible origen epitermal se relaciona con el vulcanismo subaéreo que puede correlacionarse con los depósitos epitermales (Figura 5.6), de Tayoltita en Durango, Guanajuato, Pachuca-Real del Monte y Cerro del Mercado que

aunque no es epitermal, está en conformidad con el vulcanismo subaéreo (**Guilbert et al., 1986**).



Figura 5.8 Mapa de México con la localización de algunos depósitos epitermales y el depósito de Coneto-Buenavista

FUENTE: Guilbert, et al., 1986.

5.4 Hipótesis genética del depósito de Coneto-Buenavista

El DCB es un cuerpo subvolcánico que adopta la forma de un pequeño domo que de acuerdo con **Burt y Sheridan (1981 in Sillitoe et al., 1984)** mencionan que debajo de los domos de flujo riolítico con topacio pueden encontrarse depósitos de elementos litófilos del tipo diseminado (pórfidos), vetas (*greisen*), y (o) reemplazamiento (*skarn*) asociados con plutones comagmáticos con los complejos de domos de flujo (**Figura 5.7**).

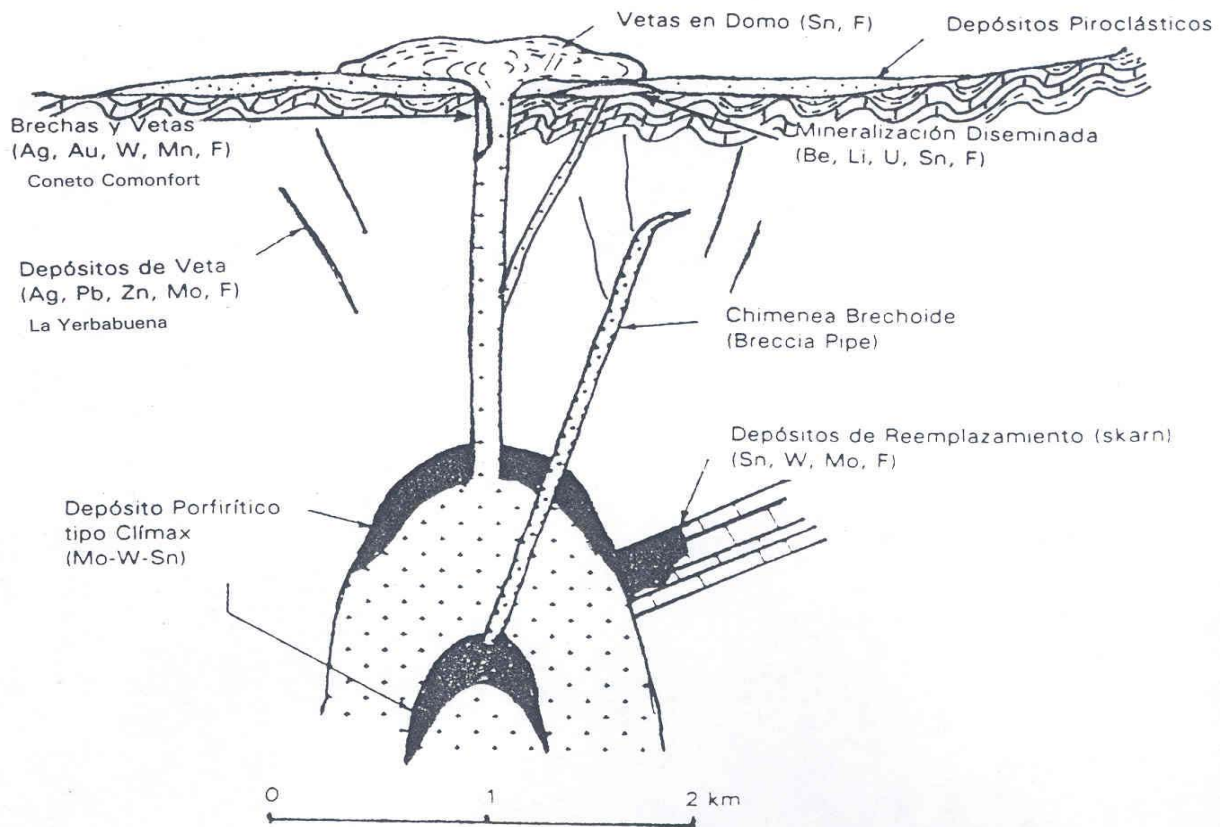


Figura 5.9 Modelo idealizado de probables tipos de depósitos minerales con relación a los complejos de domos de flujo riolítico con alta sílice. (Después de Burt y Sheridan, 1981)

FUENTE: Sillitoe *et al.*, 1984.

Los depósitos minerales conocidos de los complejos de domo de flujo principalmente son de vetas de metales preciosos y básicos, red de vetillas (*stockwork*), y relleno de brechas, pero también se incluyen a grandes cuerpos reemplazados. Los magmas que forman los domos representan la etapa de desvolatilización de residuos viscosos, de erupciones volcánicas y deben contener un mínimo en volátiles para alcanzar la superficie. Sin embargo, esto demuestra que algunos domos alcanzan la saturación de volátiles en los niveles cercanos a la superficie. La importancia de la mineralización en los complejos de domos de flujo es única (o al menos sin relación genética) con respecto a otros campos volcánicos mayores y sugiere que la saturación de volátiles en los magmas puede ser más extensa en esos ambientes, tal vez por la ausencia de un evento volcánico precedente de mayores proporciones. La mineralización en los complejos de domos de flujo son dominados por metales preciosos y se ubican en niveles someros dentro (o) inmediatamente adyacentes a los domos (**Sillitoe *et al.*, 1984**).

Los depósitos de berilio, fluorita y uranio se asocian con los complejos de domos de flujos riolíticos con topacio. Los domos de lavas son una de las manifestaciones superficiales de diversos sistemas geotermales. Aunque el volumen de los domos riolíticos es pequeño, la mineralización de metales preciosos y mercurio, algo de *sinters* en superficie, están relacionados genéticamente a los sistemas geotermales.

Las observaciones de campo y los resultados de la petrografía del DCB señalan características similares en paragénesis, sucesión, estructuras y texturas a las asociadas al modelo de mineralización de domos de flujo riolítico propuesto por **Burt y Sheridan (1981)**. Con base en ese patrón y las características observadas en el depósito se propone el siguiente modelo local de mineralización (**Figura 5.8**):

SECCIÓN TRANSVERSAL ESQUEMATIZADA DEL DEPÓSITO DE CONETO BUENAVISTA

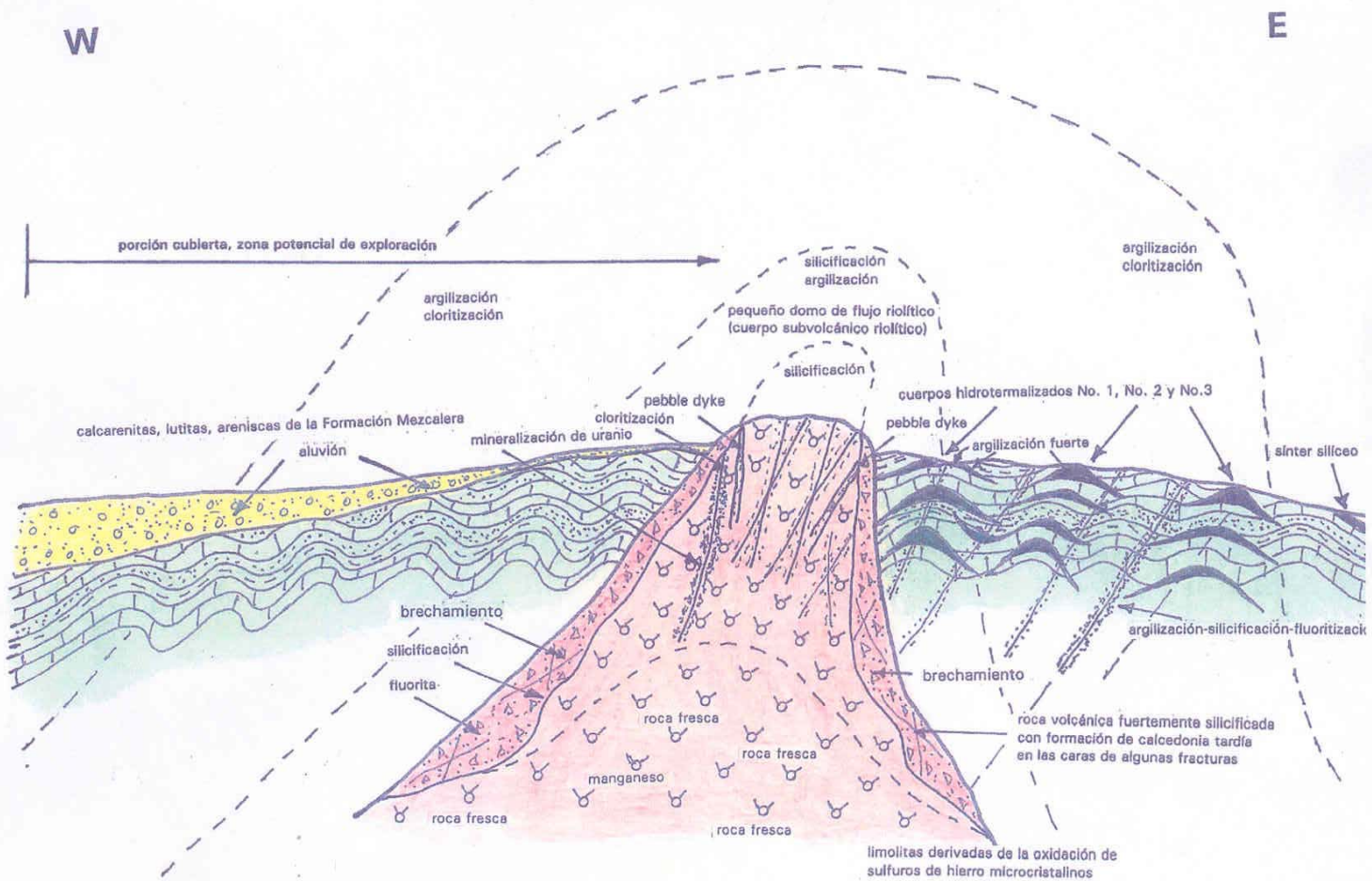


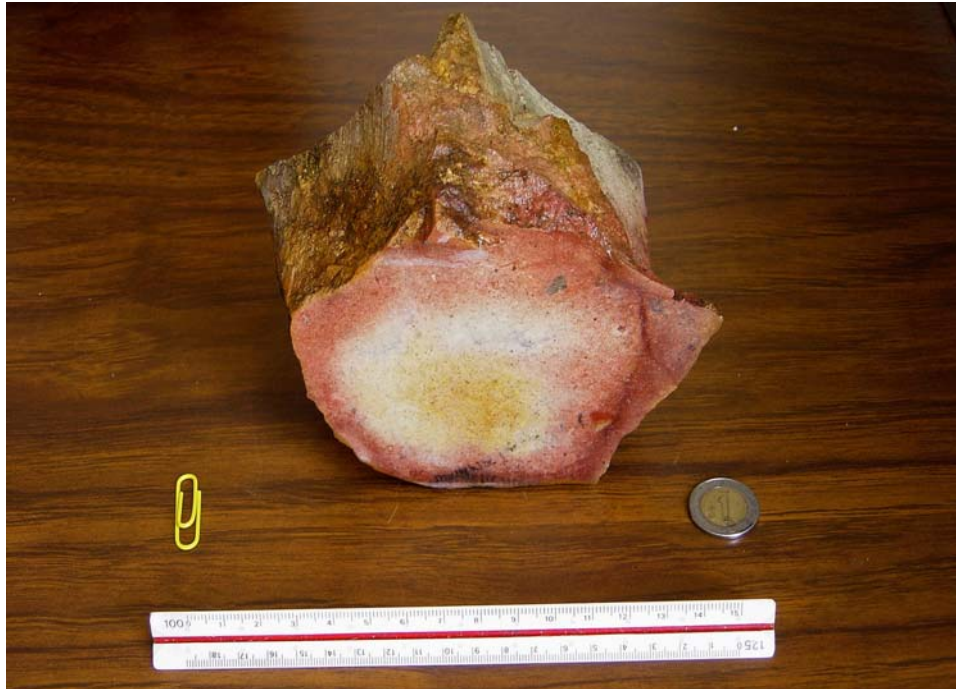
Figura 5.10 Modelo propuesto de la mineralización en el depósito de Coneto Buenavista (con base en el modelo de Burt y Sheridan, 1981)

En la porción oriental del DCB afloran materiales de tipo *sínter* silíceo que se encuentran en la secuencia sedimentaria mesozoica (calcarenitas, lutitas y areniscas) de la Formación Mezcalera (**Fotografía 5.3**):



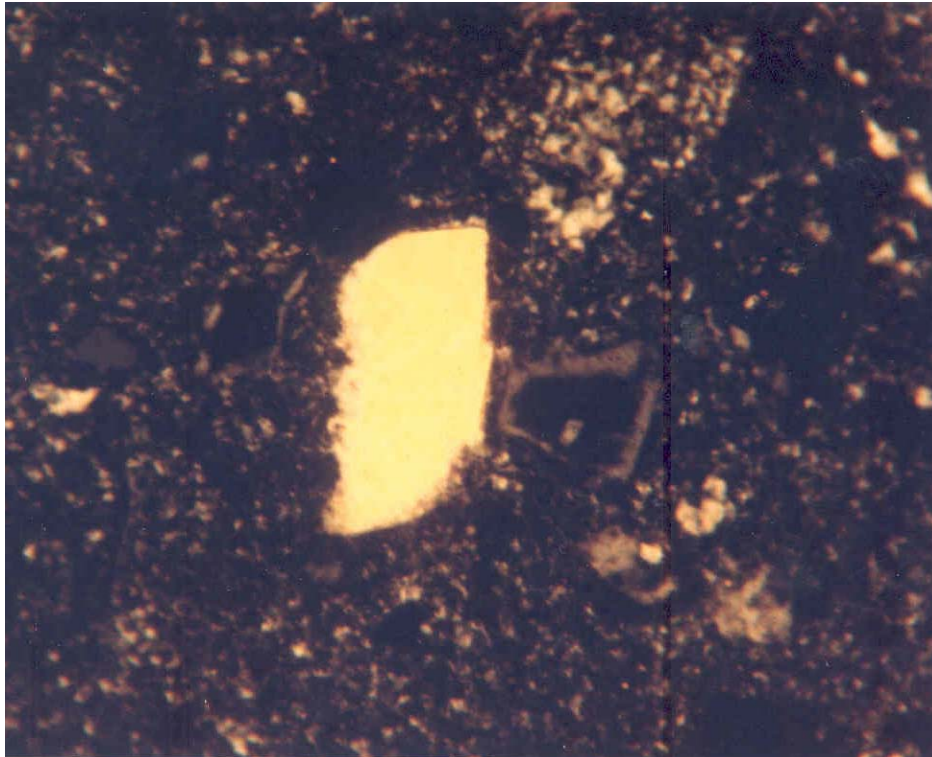
Fotografía 5.3 *Sínter* silíceo asociado a brechas hidrotermales que están en las márgenes de cuerpo silicificado

La roca del cuerpo subvolcánico es de color crema o pardo, con estructura compacta y masiva, con textura microcristalina, con cuarzo, plagioclasas, ferromagnesianos y posiblemente clorita . En la zona donde está las manchas de colores rojo y amarillo, posiblemente hematita y limonita, respectivamente, se tienen estrías; en general, el cuerpo subvolcánico está muy fracturado y afectado por una falla normal (**Fotografía 5.4**).

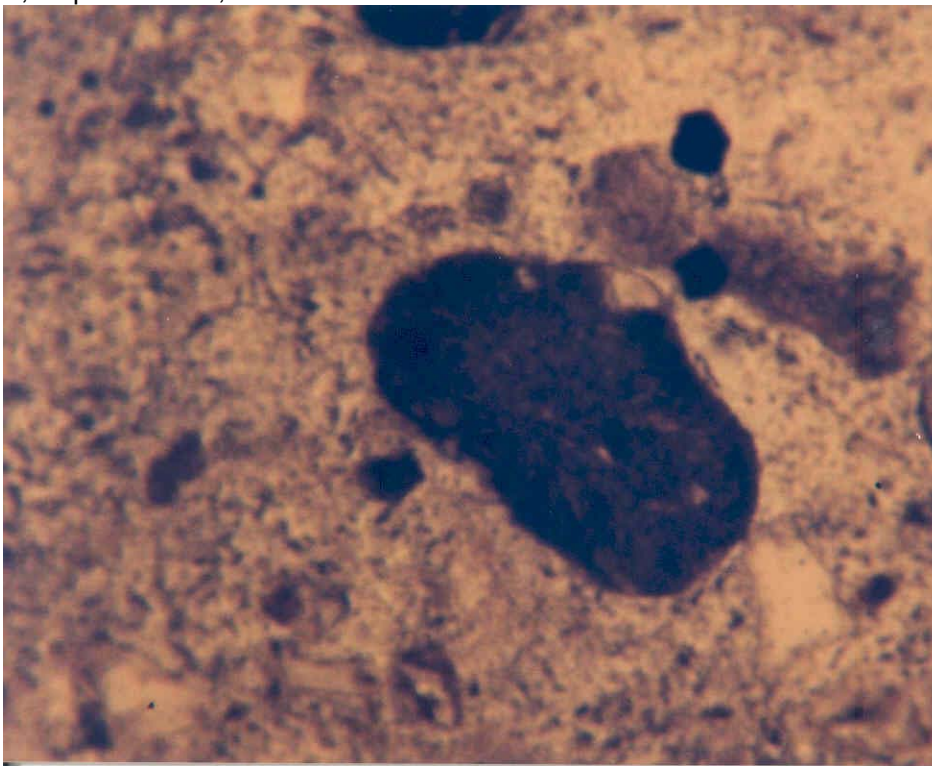


Fotografía 5.4 Muestra de roca húmeda del cuerpo subvolcánico donde se observa la textura microcristalina, que contiene a fragmentos líticos, así como la fuerte hematización y algo de limonita

La descripción petrográfica de la roca del cuerpo subvolcánico corresponde a una riolita con minerales esenciales como son: cuarzo, feldespato potásico, fragmentos de roca y posiblemente plagioclasas. Los minerales secundarios son óxidos de hierro y arcillas y la matriz es cuarzofeldespática por desvitrificación (fotomicografías 5.5 y 5.6, tomadas por **Ruvalcaba, 2004**).



Fotomicrografía 5.5 Riolita. Al centro se muestra cristales de cuarzo y feldespato, a la izquierda, derecha y arriba material granular fino cuarzo feldespático englobados en una matriz cuarzo feldespática por desvitrificación; ampliación 10X, nicoles cruzados



Fotomicrografía 5.6 Riolita. Al centro un fragmento lítico oxidado a la derecha material cuarzo feldespático, feldespato y arriba un mineral opaco euedral, en una pasta de grano fino donde abajo a la izquierda se observa un relicto de una deformación plástica vítrea en forma de Y; ampliación 10X, luz natural

El cuerpo subvolcánico es un cuerpo que ascendió hasta emplazarse muy próximo a la superficie (algunas decenas de metros) pero sin alcanzarla, que puede corresponder a un cuerpo de profundidad media (**Foucault et al., 1985**), que afectó a las calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera del Cretácico Tardío, que tiene numerosas flexiones en el rumbo de la estratificación y plegamientos recumbentes, donde se alojó la mineralización de uranio.

En las márgenes del cuerpo subvolcánico se encuentra una zona de brecha hidrotermal, con una anchura de 2 a 5 m, está fuertemente silicificada, en los huecos hay desarrollos de calcita, barita y fluorita, en la matriz se encuentra pirita finamente cristalizada (**Fotografía 5.7**).



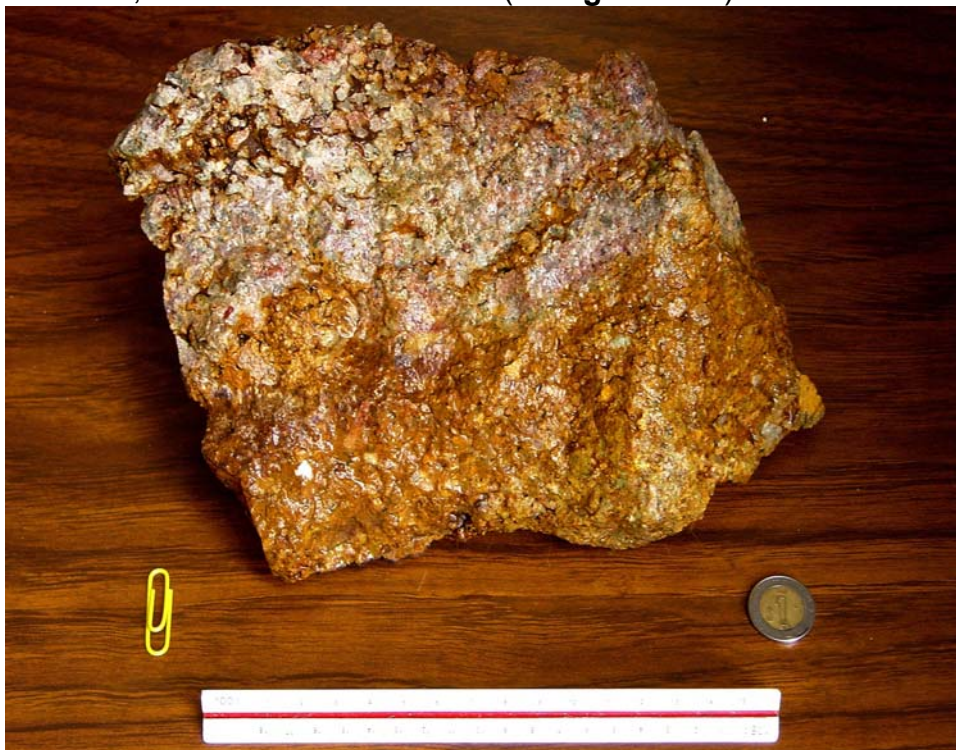
Fotografía 5.7 Muestra de roca húmeda de la brecha hidrotermal con fragmentos angulosos de origen calcáreo fuertemente silicificados, con presencia de calcita, barita, fluorita, hematita y limonita

Dentro de la zona de brecha, existen *pebble dikes* formados en la zona de fracturas en los que se observan fragmentos angulosos silicificados de color amarillento por la limonita en una matriz con sílice (**Fotografía 5.7**).



Fotografía 5.8 Muestra de roca húmeda del *pebble dike*

En la zona de brecha se encuentra una roca de color rosa con fragmentos de roca angulosos de riolita, con fuerte limonitización (**Fotografía 5.9**).



Fotografía 5.9 Muestra de roca húmeda de la brecha hidrotermal de color rosa con fragmentos angulosos de riolita en una matriz enteramente silicificada y fragmentos molidos con fuerte limonitización

La zona de brecha está fuertemente silicificada, limonitizada y cloritizada (**Fotografía 5.10**).



Fotografía 5.10 Muestra de roca húmeda de la brecha fuertemente silicificada, con fragmentos angulosos de riolita en una matriz enteramente silicificada, limonitizada y cloritizada

La zona de brecha está fuertemente silicificada con calcita y barita (**Fotografía 5.11**).



Fotografía 5.11 Muestra de roca húmeda de la zona de brecha con fragmentos angulosos fuertemente silicificados con presencia de calcita y barita

El cuerpo subvolcánico está fuertemente fracturado con dos sistemas de fracturas, cuyos rumbos de echado son los siguientes: $N30^{\circ}W$ con 90° y $N40^{\circ}E$ con 74° , las

fracturas son numerosas cada 50 cm, y tienen una traza ligeramente ondulada, abiertas con superficies rugosas, sin relleno, con impregnaciones en forma de películas de manganeso y limonita (**Fotografía 5.12**).



Fotografía 5.12 Muestra de roca húmeda de limonita, psilomelano y otros óxidos de Fe y Mn en zona de fracturas dentro del cuerpo subvolcánico

En las cercanías de la zona de brecha el cuerpo subvolcánico está fuertemente silicificado con formación de calcedonia tardía en las caras de alguna de las fracturas (**Fotografía 5.13**).



Fotografía 5.13 Muestra de roca húmeda en la que se muestra el desarrollo de calcedonia que tuvo lugar en las fracturas dentro del cuerpo subvolcánico, cerca de la zona de brecha. Obsérvese la fuerte silicificación de la roca encajonante

5.5 Clasificación del depósito de Coneto Buenavista

De acuerdo con **Guild (1974 in Guilbert y Park, 1986)**, quien enfatiza el aspecto metalogénico en las épocas en que fueron formados diversos depósitos de minerales, en distintos ambientes tectónicos alrededor del mundo (**Figura 5.9**). Su enfoque es sobre los tipos de depósitos generados a lo largo de las márgenes convergentes, en subducción, o que se están consumiendo, e intenta predecir donde (como en Japón, Perú o México) pueden encontrarse diferentes tipos de depósitos. En concordancia con la clasificación de **Guild (1974 in Guilbert y Park, 1986)** el DCB se ubica en el Grupo II Depósitos minerales asociados con márgenes en subducción o que se están consumiendo, en el inciso D Océano/Continente–Extensión y punto 3 Asociación ignimbrita-epitermal, asociado con depósitos de plata-oro, mercurio-uranio, antimonio, como pueden ser los depósitos de Coneto Comonfort, El Mezquite y Sierra de Coneto, y el depósito de Linares, respectivamente.

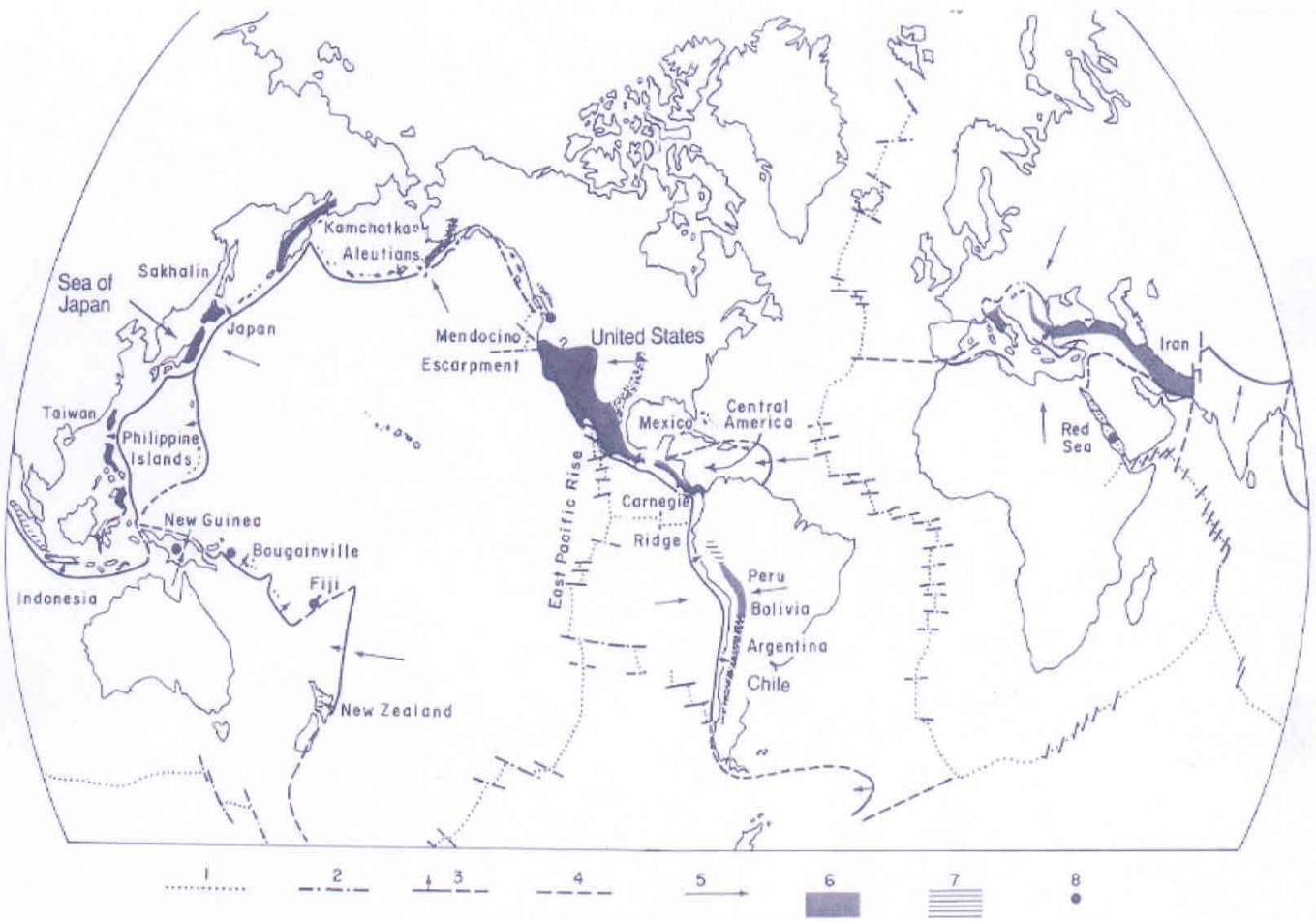


Figure 21-3. Principal post-Eocene metallogenic provinces of the world in relation to the major lithospheric plates. Key to ornament: 1-accreting plate margin, a midoceanic rise; 2-transform fault; 3-consuming plate margin with dip direction of down-going oceanic crustal plate; 4-margin of uncertain nature or location; 5-relative plate motion; 6-area of mineralization of post-Eocene age; 7-minor or suspected post-Eocene mineralization; 8-major or noteworthy isolated ore deposit of post-Eocene age. (From Guild, 1974.)

Figura 5.11 Principales provincias metalogénicas en el mundo de edad post-Eoceno con relación a las placas más importantes de la Litosfera (Guild, 1974 in Guilbert y Park, 1986).

Según **Camprubí et al., (1999)** la metalogenia de México es un excelente ejemplo de las relaciones cercanas entre las ignimbritas silíceas y los depósitos epitermales (márgenes convergentes), pero no es solamente el tipo de rocas volcánicas con el cual estos depósitos pueden estar relacionados. En muchos casos, los depósitos epitermales están relacionados en tiempo y espacio con el vulcanismo subaéreo intermedio a ácido y las series subvolcánicas asociadas, aunque las rocas del basamento puede ser de cualquier tipo.

En concordancia con **Camprubí et al., (2003)** los dos tipos de depósitos epitermales, denominados según la terminología actualmente más empleada son: alta (AS) y baja sulfuración (BS). A continuación se proporcionan las características distintivas y las analogías entre los depósitos epitermales de baja sulfuración (BS) y el DCB el cual queda dentro de esta categoría. El orden de la **Tabla 5.4** está dispuesto como “aproximación gradual” a los tipos de depósitos, esto es, desde la definición de los tipos de rocas genéticamente asociados, pasando por el reconocimiento de las evidencias de depósitos epitermales, hasta sus características más en detalle y los datos resultantes de su investigación geoquímica. De esta forma, se pretende ofrecer un orden lógico de reconocimiento desde el ámbito de la exploración hasta el estudio genético de los mismos (**Camprubí et al., 2003**).

Finalmente, el DCB por sus características observadas en campo, podemos decir, que el cuerpo subvolcánico riolítico trajo consigo al uranio y transportó a las soluciones hidrotermales mineralizantes que se alojaron en la Formación Mezcalera, dando lugar a un depósito secundario o epigenético, del tipo epitermal de baja sulfuración (BS), relacionado al vulcanismo subaéreo con ignimbritas silíceas asociados con márgenes convergentes. El cuerpo subvolcánico riolítico adopta la forma de un pequeño domo riolítico que de acuerdo con **Burt y Sheridan (1981 in Sillitoe et al., 1984)** mencionan que en los complejos de domos de flujo riolítico con topacio, se asocian con depósitos de berilio, fluorita y uranio.

Tabla 5.4 Características distintivas de los depósitos epitermales de baja sulfuración (BS) y analogías del depósito de Coneto-Buenavista
Reconocimiento macro- a mesoscópico y de mesos-a microscópico

| | Epitermales de baja sulfuración (BS) | Características del depósito de Coneto-Buenavista |
|---|---|---|
| Rocas volcánicas relacionadas | Vulcanismo subaéreo, rocas ácidas a intermedias (andesita-riodacita-riolita). Encajonante de cualquier tipo. | El DCB se relaciona con el emplazamiento de un cuerpo subvolcánico riolítico, como una etapa final del emplazamiento de las ignimbritas del Super Grupo Volcánico Superior. La roca encajonante de la mineralización es la Formación Mezcalera. |
| Controles de emplazamiento | Cualesquiera falla o zonas de fractura estrechamente relacionadas a centros volcánicos. | La falla normal que se encuentra en la porción occidental del DCB tiene una longitud de 825 m y dirección NW30° a 47° SE, y es la prolongación de la falla normal regional, con una longitud de 65 km, con orientación NW-SE y ángulos de 22° a 27°. Esta probablemente propició el emplazamiento del cuerpo subvolcánico riolítico que mineralizó a la Formación Mezcalera, su origen puede estar relacionado a la fase distensiva plio-cuaternaria en la época de relajación de los esfuerzos compresionales (σ_1). Asimismo, es posible que haya sido el conducto para la emisión de los basaltos que afloran a dos km al sur-sureste del DCB |
| Extensión de la zona de alteración periférica | Generalmente bastante restringida y de visualización muy sutil, aunque puede abarcar áreas relativamente extensas. | En la superficie del DCB se tienen unos crestones blanquecinos y rojizos de rocas argilizadas que contienen la mineralización de uranio, que corresponden a los tres cuerpos hidrotermalizados No.1, No. 2 y No. 3. El cuerpo hidrotermalizado No. 1 cuenta con una superficie de 15 700 m ² . |
| Alteración asociada | Extensa alteración propilítica en zonas adyacentes con baja relación agua/roca. Gran cantidad de mica blanca en zonas con alta relación agua/roca. Alteración argílica dominante conforme disminuye la temperatura. Los gases escapados a partir de ebullición pueden originar alteración argílica o argílica avanzada en la periferia, o bien superpuesta a partir de fluidos profundos. Clorita: común. Gerelacización: alteración sericitica → argílica. | Las alteraciones hidrotermales más persistentes son: argílica (70%), limonitización (en un 70 % de los barrenos), silicificación (en un 50% de los pozos), sericitización (40% de los barrenos) y cloritización (30% de los sondeos). Asimismo, la presencia de materia carbonosa (en el 100% de los barrenos), pudo servir como un eficiente agente reductor que causó la fijación de la mineralización uranífera. |
| Minerales clave de alteración proximal | Sericita o illita ± adularia; roscoelita (mica-V) en depósitos asociados a rocas alcalinas; a veces clorita. | La zona de brecha está fuertemente silicificada, limonitizada y cloritizada (Fotografía 5.10). |
| Geometría del cuerpo mineral | Tamaño variable y morfología tabular. | La forma que adopta la mineralización es la de sillitas de montar (<i>saddles</i>) que se denominan crestas de repliegue o vetas en albarda, éstas tienen un aspecto de manto en las crestas de los pliegues, como los casquetes de las sillitas, con una anchura mayor donde cruza la estratificación, y de forma de filón cuando el horizonte de uranio es paralelo a la estratificación, como si fueran las piernas o patas de la silla (Figura 5.5). |
| Características distintivas o notables | Presencia de sínteres y niveles o cobijaduras de calcedonia (niveles superficiales), posible presencia de vetas de sulfuración intermedia en inmediaciones de cuerpos de alta sulfuración (en profundidad). | En la porción oriental del DCB afloran materiales de tipo <i>sinter</i> silíceo que se encuentra en la Formación Mezcalera (Fotografía 5.3). En las cercanías de la zona de brecha el cuerpo subvolcánico está fuertemente silicificado con formación de calcedonia tardía en las caras de alguna de las fracturas (fotografía 5.13). |
| Carácter de la mineralización económica | Característicamente como relleno de cavidades o porosidad, en vetas con contactos con la roca encajonante. Típico relleno de filones en bandas, comúnmente con brechificaciones polifásicas. Hacia la superficie se presenta en <i>stockwork</i> o diseminada, según la naturaleza de la permeabilidad primaria y secundaria local. | La mineralización en el cuerpo hidrotermalizado No. 1 se presenta como finas películas, rellenando cavidades y fisuras, asociada en algunos lugares a fluorita, lo cual permite pensar en un probable origen hidrotermal, asociado a la acción de la falla normal de la porción oeste del DCB. |
| Ganga de cuarzo | Cuarzo y calcedonia dispuestos en todo tipo de texturas primarias, de recristalización o reemplazamiento de carbonatos. Calcedonia: común, en bandas. | La zona de brecha está fuertemente silicificada con calcita y barita (Fotografía 5.16). El análisis cualitativo por difracción de rayos X de dos muestras reportó betauranofano, fosforanilita, meta-autinita y cuarzo. En los barrenos CB-1NR a CB-11NR se encontró calcita, yeso, pirita, óxidos de hierro, minerales arcillosos, feldespatos y fluorita (Tabla 5.2). |
| Otros minerales de la ganga | Carbonatos: presentes, comúnmente calcita y rodocrosita. Adularia: diseminada y en vetas. Alunita y pirofilita: escasas. Barita y/o fluorita: presentes localmente; la barita se halla por lo común por encima de la mena. Azufre nativo: ausente. Illita. | En las márgenes del cuerpo subvolcánico se encuentra una zona de brecha hidrotermal, con una anchura de 2 a 5 m, está fuertemente silicificada, en los huecos hay desarrollos de calcita, barita y fluorita, en la matriz se encuentra pirita finamente cristalizada (Fotografía 5.12). La zona de brecha está fuertemente silicificada con calcita y barita (Fotografía 5.16). |
| Abundancia de sulfuros | 1-20% del volumen total, pero típicamente menos del 5%, pirita predominante. Contenido de azufre total típicamente bajo. Bajo contenido en metales base (Pb, Zn), aunque en numerosos depósitos son relativamente abundantes. | Los minerales de ganga y alteraciones hidrotermales presentes en el DCB, que son: sulfuros de hierro (pirita en el 100% de los barrenos), óxidos de hierro (90%), sulfatos de calcio (yeso 90%), carbonatos (calcita 80%), minerales arcillosos (70% de los pozos), feldespatos (plagioclasas en un 40% de los barrenos) y fluorita (20%). El análisis cualitativo por fluorescencia de dos muestras reportó los elementos: silicio, calcio, uranio, hierro, potasio (?), plomo, aluminio, bario, itrio y fósforo (?). |
| Minerales metálicos clave | Pirita, esfalerita, marcasita, galena, electrum, oro (sulfosales de Ag, arsenopirita, argentita, calcopirita, tetraedrita). Teleruros: relativamente abundantes en algunos depósitos. Enargita: muy raramente. Seleniuros: poco comunes. Bismutinita: muy raramente | El mineral de ganga presente más común es la pirita. No se tienen análisis mineralógicos de minerales metálicos. |

Fuente: Camprubi et al., 2003.

Datos analíticos

| | Epitermales de baja sulfuración (BS) | Características del depósito de Coneto-Buenvista |
|---|--|---|
| Profundidad de formación | En su mayor parte, entre 0 y 1 000 m. | El cuerpo subvolcánico riolítico es un cuerpo que ascendió hasta emplazarse muy próximo a la superficie (algunas decenas de metros) pero sin alcanzarla, que puede corresponder a un cuerpo de profundidad media (Foucault <i>et al.</i> , 1985), que afectó a las calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera del Cretácico Tardío, que tiene numerosas flexiones en el rumbo de la estratificación y plegamientos recumbentes, donde se alojó la mineralización de uranio. |
| Rango de temperaturas de formación | Generalmente, entre 100-320° (la mayoría entre 150-250°C). | La alteración argílica es importante en el DCB y se caracteriza por la formación de minerales arcillosos debido al intenso metasomatismo del H ⁺ (lixiviación ácida) a temperaturas entre 100° y 300° C (Figura 5.6). |
| Carácter de los fluidos | Baja salinidad (0-15% en peso de NaCl eq.). Aguas meteóricas; posible interacción con fluidos de origen magmático. Reducidos. pH aproximadamente neutro; puede volverse alcalino debido a ebullición; los gases separados pueden ser oxidados y producir fluidos ácidos. | La profundidad promedio de la cima del cuerpo mineral está a 19 m, la de la base a 38 m y el nivel freático promedio se encuentra a 40 m, es posible que haya existido interacción de las aguas meteóricas y las soluciones hidrotermales mineralizantes. |
| Edad | Por lo general, del Terciario o más reciente. Ejemplos hasta el Neoproterozoico y Paleoproterozoico | La edad de la mineralización de uranio es posible que corresponda al Terciario medio (Figura 5.4), cuando acontece la fase de extensión en la época de relajación de los esfuerzos compresionales principales (σ_1), que afectó a la región de Rodeo (Aranda-Gómez <i>et al.</i>, 2000). |
| Minerales clave de alteración proximal | Sericita o illita ± adularia; roscoelita (mica-V) en depósitos asociados a rocas alcalinas; a veces clorita. | La zona de brecha está fuertemente silicificada, limonitizada y cloritizada (Fotografía 5.15). |
| Diferencia de edad entre las rocas ígneas genéticamente asociadas y la mineralización | Entre 1 y 10 Ma (frecuentemente entre 2 y 4 Ma). | Entre 1 y 10 Ma (frecuentemente entre 2 y 4 Ma). La edad de la mineralización puede estar entre la primera etapa de fallamiento que sucedió hace ~29 Ma (Oligoceno Tardío) y el segundo impulso (~24-20 Ma Mioceno Temprano) que originaron la formación de las fracturas y fallas normales con dirección NW-SE, éstas propiciaron la formación de fosas y pilares tectónicos. Las fracturas y fallas normales probablemente dieron lugar al emplazamiento del cuerpo subvolcánico riolítico que mineralizó a la Formación Mezcalera (Aranda-Gómez <i>et al.</i>, 2000). |
| Distancia lateral de formación desde el foco de calor | Hasta varios kilómetros lateralmente, más cercanos al foco de calor en el subtipo de epitermales de sulfuración intermedia. | El cuerpo subvolcánico son aquellas rocas relacionadas con el vulcanismo que no alcanzaron la superficie terrestre. Por lo general, se trata de conductos alimentadores de las rocas volcánicas y su estructura es la de diques o pequeños intrusiones. Estas rocas suelen presentar texturas similares a las rocas volcánicas que originaron, y muchas veces el único criterio para distinguirlas es estructural (Cepeda, 1973). La mineralización de uranio es adyacente al cuerpo subvolcánico riolítico y está emplazada en la Formación Mezcalera. |
| Origen del azufre | Profundo, probablemente debido al lixiviado de la roca encajonante en profundidad. | No se tienen análisis químicos que reporten azufre. Sin embargo, la pirita es el mineral de ganga más común. |
| Origen del plomo | Rocas precámbricas o fanerozoicas en las que se emplaza el vulcanismo. | La Formación Mezcalera de edad Cretácico Tardío es la que contiene a la mineralización de uranio. |
| Metales predominantes | Au, Ag (Zn, Pb, Cu) | El análisis cualitativo por fluorescencia de dos muestras reportó los elementos: silicio, calcio, uranio, hierro, potasio (?), plomo, aluminio, bario, itrio y fósforo (?). |
| Metales presentes localmente | Mo, Sb, As (Te, Se, Hg) | El análisis cualitativo por fluorescencia de la muestra CO-75-1, que se colectó en el cuerpo hidrotermalizado No. 1, determinó los elementos: Si, Ca Fe, U, Sb As, K y Ti en cantidades decrecientes como fueron enlistados. |
| Clasificaciones posibles | Según estilo de mineralización: en <i>stockwork</i> (Mc Laughlin); en diseminaciones (Cracow); en vetas (Hishikari); en brechas (Kerimenge). Según contenido de metales base: "rico" (Fresnillo); "pobre" (Tayoltita). Según contexto geológico: depresiones con vulcanismo silícico (Ohakuri Dam, N. Z.); estratovolcanes andesíticos (Woodlark); vulcanismo tipo Cordillera (Acupan); islas volcánicas oceánicas (Ladolam). Según profundidad de formación: "someros" (depósitos de Norteamérica); "profundos" (depósitos del SW del Pacífico). Según mineralogía de las asociaciones de sulfuros: "sulfuración intermedia" y "baja sulfuración" (término extremo). Igualmente, se distingue el subtipo de "epitermales alcalinos", tanto con base a su mineralogía como a su asociación con rocas volcánicas alcalinas. | Es factible que los cambios bruscos de la mineralización en el subsuelo se deban a posibles fallas y a los sistemas de fracturas persistentes en las crestas de las rocas plegadas, que pueden dar lugar a la formación de una red de vetillas (<i>stock work</i>). En las márgenes del cuerpo subvolcánico se encuentra una zona de brecha hidrotermal, con una anchura de 2 a 5 m, está fuertemente silicificada, en los huecos hay desarrollos de calcita, barita y fluorita, en la matriz se encuentra pirita finamente diseminada (Fotografía 5.7). La Fosa Rodeo, donde se encuentra el DCB, delimitada por dos pilares tectónicos uno en la porción oeste denominado Pilar Sierra de San Francisco y otro en la parte oriental nombrado Pilar Sierra de Nazas. El DCB se encuentra en la ignimbritas del Super Grupo Volcánico Superior con carácter bimodal de esta secuencia volcánica en lo que a sílice y anortita normativa se refiere (Morán, 1984). El cuerpo subvolcánico riolítico es un cuerpo que ascendió hasta emplazarse muy próximo a la superficie (algunas decenas de metros pero sin alcanzarla, que puede corresponder a un cuerpo de profundidad media, Foucault <i>et al.</i>, 1985). |
| Manifestaciones de sistemas análogos actualísticos | Sistemas geotérmicos con fuentes termales pH neutro, <i>mud pools</i> . | En las cercanías del DCB se encuentran manantiales de aguas termales. |

Fuente: **Camprubí *et al.*, 2003**.

6. EVALUACIÓN GEOESTADÍSTICA

6.1 Aspectos teóricos

El término geoestadística etimológicamente designa el estudio estadístico de fenómenos naturales. El primer autor en dar formalidad a esta teoría fue **G. Matheron**, la cual, en 1962, definió como la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias regionalizadas al reconocimiento y la estimación de los depósitos y yacimientos minerales (**Castro, 1994**).

Para llevar un orden dentro de la evaluación geoestadística se abordarán tres grandes aspectos, que son los siguientes:

- 1) Análisis estadístico
- 2) Análisis estructural (semivariogramas)
- 3) Cálculo de reservas (*krigeage*)

6.1.1 Análisis estadístico

La estadística debe ser usada si uno está inseguro al considerar que los valores de las muestras son realizaciones de funciones aleatorias. Sobre esta hipótesis, el valor de una muestra es una función de su posición en el depósito, y la posición relativa de las muestras es tomada en consideración (una variable regionalizada es una variable aleatoria que toma diferentes valores de acuerdo a su posición dentro de alguna región). La similitud entre valores de muestras es cuantificada como una función de la distancia entre muestras y esta relación representa los fundamentos de la estadística espacial (**Rendu, 1979**).

La geoestadística acepta el concepto de que cada punto en el depósito representa una muestra de alguna distribución, pero la distribución en cualquier punto puede diferir completamente de la de los otros puntos en el depósito en su forma, media y varianza (**Clark, 1979**).

Existen diversas distribuciones paramétricas en estadística, las más comunes son: Bernoulli, Poisson, binomial, hipergeométrica, uniforme, normal, lognormal, etcétera. En la práctica los valores de las muestras siguen una distribución normal o lognormal, por lo que el uso de otras distribuciones es poco frecuente.

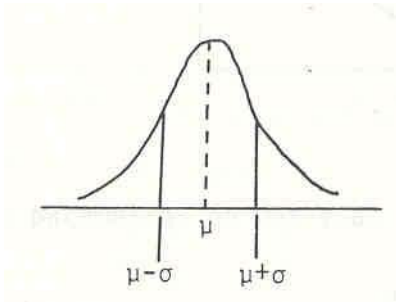
Es necesario proporcionar las definiciones de las distribuciones normal y lognormal (tomadas de Berlanga y Obregón, 1981). Se dice que la variable aleatoria (v.a.) x sigue una distribución Normal $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ si la función $f_x(\cdot)$ está dada por:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2 \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad \forall x \in (-\infty, \infty),$$

donde los parámetros μ y σ satisfacen $-\infty < \mu < \infty$ y $\sigma > 0$.

$$E[x]=\mu$$

$$\text{Var}[x]=\sigma^2$$



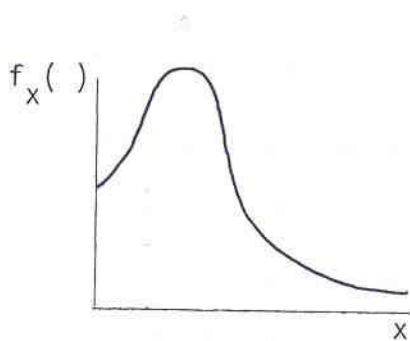
si $\mu=0$ y $\sigma=1$ se dice que la v. a. x tiene una distribución normal, es decir:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$$

Aitchison y Brown (1973), explican que la distribución lognormal en su forma más simple puede ser definida como la distribución de una variable cuyos logaritmos obedecen la ley normal de probabilidad.

Se dice que la v. a. x sigue una distribución Lognormal $x \sim N(m, s^2)$, si la función $f_x(\cdot)$ se define como:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \{\ln x - \mu\}^2\right), \forall x \in (0, \infty) \\ 0 \cdot \text{para} \cdot \text{otros} \cdot \text{valores} \cdot \text{de} \cdot x \end{cases}$$



donde μ y σ son los parámetros de una v. a. $Y = \log x$ con distribución normal

$$E[x] = e^{\mu + \sigma^2/2}$$

$$\text{Var}[x] = e^{2\mu + 2\sigma^2} - e^{2\mu + \sigma^2}$$

$$\text{Si } x \sim \log(m, s^2)$$

$$Y = \ln x \sim N(\mu, \sigma^2)$$

$$\text{donde: } m = e^{\mu + \sigma^2/2} \text{ y } s^2 = m^2(e^{\sigma^2} - 1)$$

Si el $\log \Theta (x+\Theta)$ es una variable normal donde Θ es una constante, entonces x es una variable lognormal de tres parámetros. La distribución de probabilidad de x que es una variable lognormal de tres parámetros es definida completamente por: la constante aditiva Θ , la varianza logarítmica de $(x+\Theta)$ y la medida logarítmica de $(x+\Theta)$. La constante Θ puede ser estimada usando la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{m^2 - f_1 f_2}{f_1 + f_2 - 2m}$$

m = a la media de la distribución observada

$f_1 = p$
 $f_2 = 1 - p$

} Son los valores de las muestras de las frecuencias acumulativas

p = valor entre 5% y 20%

6.1.2 Análisis estructural (semivariogramas)

El semivariograma es la herramienta más importante de la geoestadística para el análisis de los depósitos minerales. Un estudio de análisis estructural para ser completo, debe incluir un mínimo de tres partes que son sumamente interdependientes. Estos son, el cálculo del semivariograma, modelado matemático e interpretación geológica.

La finalidad del semivariograma es conocer la variabilidad espacial de la variable aleatoria regionalizada que estemos estudiando, por lo que es recomendable construir semivariogramas en diferentes direcciones (**Rendu y Readdy, 1982**).

El variograma ha sido definido como la varianza de la diferencia de dos variables aleatorias regionalizadas

$$2\gamma(h) = \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)]$$

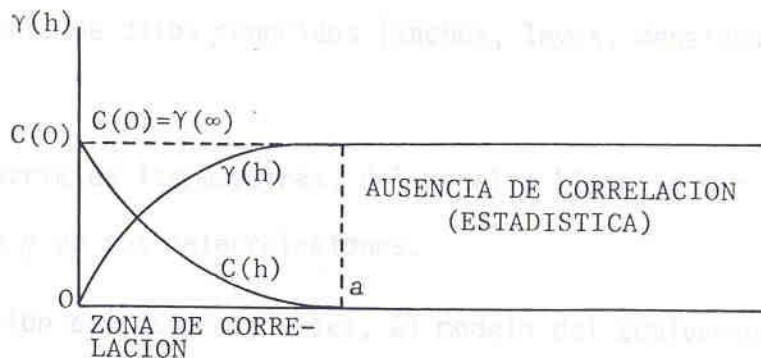
estando distanciadas una de la otra, por un vector h . Un semivariograma calculado a partir de datos experimentales, $\gamma^*(h)$, está dado por la fórmula:

$$\gamma^* = \frac{1}{2N'} \sum_{i=1}^{N'} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

donde N' representa el número de pares de datos separados por el vector h , $Z(x_i)$ es el valor de la variable en la posición x_i , y $Z(x_i+h)$ es el valor de la variable en la posición x_i+h .

Algunos aspectos más relevantes contenidos en los semivariogramas, son:

1. Representa el grado de continuidad de los valores de las v.a.r.; $\gamma(h)$ es una función creciente, es decir, que entre más alejada se encuentra una v.a.r. de otra, sus valores tenderán a ser más diferentes.
2. Responde a la tradicional noción de zona de influencia entre v.a.r. El grado de crecimiento de un semivariograma representa el grado de decrecimiento de la influencia de una v.a.r. sobre su vecindad.
3. Anisotropías en los valores v.a.r. pueden ser reveladas a través de distintos comportamientos de los semivariogramas construidos a lo largo de diferentes direcciones dentro del dominio de la v.a.r.
4. Continuidad y regularidad de los valores están representadas por el mayor o menor comportamiento regular del semivariograma cerca del origen.
5. Importantes rasgos estructurales del fenómeno en estudio pueden ser obtenidos del semivariograma. Para distancias mayores a la distancia llamada alcance, distancia o espacio de correlación, las v.a.r. prácticamente no presentan correlación. El valor de $\gamma(h)$ para distancia h mayores al alcance, nombrado meseta, representa la varianza máxima entre las v.a.r.
6. Desde el momento en que se efectúa un muestreo discontinuo, se obtiene una imagen imperfecta de la ley de dispersión teórica de los valores de la v.a.r., por lo que únicamente los puntos cercanos al origen son considerados como significativos.
7. $\gamma(h)$ no representa en su totalidad los detalles locales del fenómeno, sólo expresa, en forma sintética, sus caracteres esenciales.



6.1.3 Cálculo de reservas (krigeage)

El *krigeage* es una técnica de estimación local que proporciona el mejor estimador lineal insesgado posible de las características desconocidas del fenómeno en estudio, obteniendo el promedio ponderado de toda la información disponible, ya sea de muestras tomadas dentro del bloque, en su periferia o en el exterior del mismo. Obvio es decir que casi siempre dicho número de muestras es limitado. Así, se tiene que el *krigeage* se lleva a cabo asignándole factores de peso a cada uno de los datos disponibles, dependiendo las magnitudes de dichos pesos de los parámetros geoestadísticos del depósito en estudio y de la particular geometría de las muestras (o datos conocidos) con relación al bloque bajo cálculo. Los factores de peso son obtenidos en forma tal que pueda minimizarse la varianza de estimación; minimizando

dicha varianza se estará seguro de hacer el mejor uso de los datos disponibles, es decir, la estimación debe cumplir con la condición de ser insesgada.

La información requerida por el método del *krigeage* consiste de:

- a) Un conjunto de datos conocidos (anchos, leyes, densidades, etcétera).
- b) La geometría de las muestras, del panel o bloque a ser estimado y de sus interrelaciones.
- c) Información estructural, o sea, el modelo del semivariograma que caracteriza la variabilidad espacial de la zona en estudio y los parámetros descriptivos de dicho modelo.

FORMULACIÓN MATEMÁTICA

Sea V un bloque que tiene un valor medio real $Z(V)$ que es desconocido, y una serie de n muestras con valores conocidos $z(x_i), \forall_i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Lo que se desea es encontrar el conjunto de pesos $w_i, i=1, \dots, n$ que hagan que el promedio pesado

$$Z^* = \sum_i w_i Z(x_i)$$

sea el mejor estimador de $Z(v)$; los n pesos w_i se calcularán asegurando que el estimador Z^* sea insesgado y que la varianza de estimación sea mínima.

Para satisfacer la condición de imparcialidad se impone la condición de que

$$\sum_i w_i = 1$$

Posteriormente, se tiene un sistema de $n+1$ ecuaciones lineales simultáneas con $n+1$ incógnitas (los n coeficientes w_i más el multiplicador de Langrange λ), dicho sistema se denomina Sistema de Ecuaciones del *Krigeage* (**SEK**).

La fórmula del **SEK** es la siguiente:

$$\sum w_i \bar{\gamma} \cdot (S_i, S_j) + \lambda = \bar{\gamma} \cdot (S_i, P) \cdot \forall, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\sum w_i = 1.0$$

Una vez resuelto el sistema para los coeficientes w_i , la obtención de la varianza de estimación, o varianza del *krigeage* es inmediata:

$$\sigma_k^2 = \sum w_i \bar{\gamma} \cdot (S_i, P) + \lambda - \bar{\gamma} \cdot (P, P)$$

Es importante señalar que existen variantes del *krigeage* que son los siguientes:

- 1) *Krigeage* Normal (ordinario)
- 2) *Krigeage* Lognormal

- 3) *Krigeage* Universal
- 4) *Krigeage* Positivo
- 5) *Krigeage* Disyuntivo

Solamente se discutirán el *krigeage* normal y *krigeage* lognormal que son los que se emplearon en nuestros cálculos de evaluación. Independientemente de que el *krigeage* proporcione el mejor estimador lineal insesgado posible, EVITA CUALQUIER ERROR SISTEMÁTICO, siempre y cuando el modelo del semivariograma haya sido el adecuado. EL hacer que el estimador sea insesgado, significa que en promedio, Z^* será igual al valor real y no sistemáticamente más alto o más bajo. El efecto primordial del *krigeage* es el de eliminar en promedio cualesquier error sistemático de sobreestimación y/o de subestimación en la evaluación de reservas minerales.

El Sistema de Ecuaciones del *Krigeage* sólo depende para su construcción de las posiciones relativas de las muestras (geometría de las muestras) y NO de los valores particulares que puedan tener las mismas, se pueden calcular todos los esquemas de muestreo que se deseen para tratar de determinar aquel esquema que optimice la información SIN NECESIDAD de efectuar físicamente ningún muestreo. Ello puede llevar hacia el uso óptimo de los recursos utilizados en los planes de exploración y muestreo de un depósito. El *krigeage* es un método uniforme en su aplicación, que es independiente del criterio de la persona que lo utiliza; aunado a lo anterior, siempre se tiene un conocimiento respecto de la precisión del cálculo mediante la varianza del *krigeage*.

6.2 Análisis estadístico

Con el propósito de conocer el comportamiento estadístico de los datos del espesor del cuerpo mineralizado, ley y espesor por ley obtenidos en los 58 barrenos (**Tabla 6.1**), se llevó a cabo un estudio estadístico con el programa de cómputo *Est2D*, en lenguaje *Fortran 77* para el sistema operativo *MS-Dos*, con el cual se determinó el valor de los parámetros como: la media, varianza y distribución paramétrica que siguen los valores y sus logaritmos. Después, se empleó el programa de cómputo *Excel* para mejorar las figuras y obtener la curva con el mejor ajuste. Además, se elaboraron los histogramas de los valores y sus logaritmos, y a los histogramas de los valores se les ajustó, por el método de mínimos cuadrados, la función de tendencia central correspondiente. Los histogramas de los valores obtenidos del espesor, ley y espesor por ley, los cuales siguen una distribución lognormal con sesgo positivo, cuyas curvas de mejor ajuste resultaron ser funciones del tipo polinomio del 4°, 5° y 3° grado, respectivamente. También, los histogramas de los logaritmos de log-espesor, log-ley y log-espesor por ley, muestran una distribución normal con curva de ajuste del tipo polinomio de 4° grado. A manera de ejemplo se presenta los valores obtenidos del logaritmo de la ley en la **Tabla 6.2** y la curva correspondiente con un ajuste cuadrático R^2 de 0.5791(**Figura 6.1**).

Tabla 6.1 (primera parte) Datos estadísticos de los barrenos del depósito de Coneto-Buenavista.

| No. | NÚMERO DE BARRENO | NORTE X | ESTE Y | PROFUNDIDAD TOTAL EN m | PROFUNDIDAD DE CIMA EN m | PROFUNDIDAD DE BASE EN m | LEY U ₃ O ₈ g/t | ESPESOR m | ESPESOR POR LEY | LOG de LEY | LOG de ESPESOR | LOG de LEY por ESPESOR |
|-----|-------------------|---------|--------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------------|-------------|----------------|------------------------|
| 1 | 174 | 110 | 10 | 54 | C=8.40 | B=25.80 | 45 | 17.4 | 783 | 1.653212514 | 1.240549248 | 2.893761762 |
| 2 | CB-7NR | 10 | 30 | 158 | C=116.45 | B=118.60 | 49 | 2.15 | 105.35 | 1.69019608 | 0.33243846 | 2.02263454 |
| 3 | 140 | 90 | 30 | 55 | C=19.80 | B=24.95 | 117 | 5.15 | 602.55 | 2.068185862 | 0.711807229 | 2.779993091 |
| 4 | 137 | 110 | 30 | 38 | C=15.70 | B=28.90 | 129 | 13.2 | 1702.8 | 2.11058971 | 1.120573931 | 3.231163642 |
| 5 | 141 | 130 | 30 | 60 | C=0.00 | B=10.80 | 42 | 10.8 | 453.6 | 1.62324929 | 1.033423755 | 2.656673046 |
| 6 | 166 | 70 | 50 | 55 | C=45.60 | B=51.00 | 19 | 4.4 | 83.6 | 1.278753601 | 0.643452676 | 1.922206277 |
| 7 | 139 | 90 | 50 | 48 | C=19.20 | B=41.25 | 41 | 22.05 | 904.05 | 1.612783857 | 1.343408594 | 2.956192451 |
| 8 | 134 | 110 | 50 | 48 | C=12.45 | B=25.00 | 75 | 12.55 | 941.25 | 1.875061263 | 1.098643726 | 2.973704989 |
| 9 | 138 | 130 | 50 | 51 | C=13.15 | B=16.60 | 66 | 3.45 | 227.7 | 1.819543936 | 0.537819095 | 2.357363031 |
| 10 | 136 | 90 | 70 | 43 | C=23.90 | B=41.70 | 40 | 17.8 | 712 | 1.602059991 | 1.250420002 | 2.852479994 |
| 11 | 133 | 110 | 70 | 50 | C=15.40 | B=31.95 | 112 | 16.55 | 1853.6 | 2.049218023 | 1.218797998 | 3.268016021 |
| 12 | 135 | 130 | 70 | 42 | C=0.0 | B=15.60 | 56 | 15.6 | 873.6 | 1.748188027 | 1.193124598 | 2.941312625 |
| 13 | 120 | 90 | 90 | 51 | C=32.25 | B=50.50 | 81 | 18.25 | 1478.25 | 1.908485019 | 1.261262869 | 3.169747888 |
| 14 | 119 | 90 | 110 | 26 | C=5.20 | B=25.50 | 27 | 20.3 | 548.1 | 1.431363764 | 1.307496038 | 2.738859802 |
| 15 | 97 | 110 | 110 | 36 | C=14.60 | B=34.20 | 165 | 19.6 | 3234 | 2.217483944 | 1.292256071 | 3.509740016 |
| 16 | 76 | 130 | 110 | 39 | C=5.50 | B=18.10 | 139 | 12.6 | 1751.4 | 2.1430148 | 1.100370545 | 3.243385345 |
| 17 | 78 | 150 | 110 | 61 | C=0.00 | B=2.10 | 80 | 2.1 | 168 | 1.903089987 | 0.322219295 | 2.225309282 |
| 18 | CB-5NR | 10 | 130 | 151 | C=134.25 | B=139.15 | 39 | 4.9 | 191.1 | 1.591064607 | 0.69019608 | 2.281260687 |
| 19 | CB-4NR | 50 | 130 | 150 | C=70.4 | B=144.30 | 425 | 73.9 | 31407.5 | 2.62838893 | 1.868644438 | 4.497033368 |
| 20 | 94 | 90 | 130 | 35 | C=22.35 | B=33.35 | 59 | 11 | 649 | 1.770852012 | 1.041392685 | 2.812244697 |
| 21 | 93 | 110 | 130 | 40 | C=7.90 | B=38.50 | 320 | 30.6 | 9792 | 2.505149978 | 1.485721426 | 3.990871405 |
| 22 | 71 | 130 | 130 | 38 | C=0.71 | B=22.80 | 260 | 22.1 | 5746 | 2.414973348 | 1.344392274 | 3.759365622 |
| 23 | 73 | 150 | 130 | 51 | C=1.40 | B=13.00 | 258 | 11.6 | 2992.8 | 2.411619706 | 1.064457989 | 3.476077695 |
| 24 | 118 | 90 | 150 | 42 | C=25.75 | B=39.90 | 353 | 14.15 | 4994.95 | 2.547774705 | 1.15075644 | 3.698531145 |
| 25 | 99 | 110 | 150 | 21 | C=14.80 | B=18.60 | 376 | 3.8 | 1428.8 | 2.575187845 | 0.579783597 | 3.154971442 |
| 26 | 68 | 130 | 150 | 38 | C=0.00 | B=11.95 | 95 | 11.95 | 1135.25 | 1.977723605 | 1.077367905 | 3.055091511 |
| 27 | CB-8AR | 64 | 170 | 110 | C=51.35 | B=100.45 | 136 | 49.1 | 6677.6 | 2.133538908 | 1.691081492 | 3.8246204 |
| 28 | 155 | 70 | 170 | 51 | C=0.0 | B=5.40 | 41 | 5.4 | 221.4 | 1.612783857 | 0.73239376 | 2.345177617 |
| 29 | 109 | 90 | 170 | 25 | C=20.00 | B=21.90 | 56 | 1.9 | 106.4 | 1.748188027 | 0.278753601 | 2.026941628 |
| 30 | 100 | 110 | 170 | 37 | C=4.20 | B=18.60 | 64 | 14.6 | 934.4 | 1.806179974 | 1.164352856 | 2.97053283 |
| 31 | 61 | 130 | 170 | 32 | C=0.71 | B=27.10 | 221 | 26.4 | 5834.4 | 2.344392274 | 1.421603927 | 3.765996201 |
| 32 | 63 | 150 | 170 | 27 | C=0.00 | B=20.10 | 47 | 20.1 | 944.7 | 1.672097858 | 1.303196057 | 2.975293915 |
| 33 | 110 | 90 | 190 | 38 | C=27.30 | B=31.00 | 47 | 3.7 | 173.9 | 1.672097858 | 0.568201724 | 2.240299582 |
| 34 | 101 | 110 | 190 | 40 | C=2.50 | B=23.30 | 93 | 20.8 | 1934.4 | 1.968482949 | 1.318063335 | 3.286546284 |
| 35 | 56 | 130 | 190 | 31 | C=0.71 | B=14.30 | 153 | 13.6 | 2080.8 | 2.184691431 | 1.133538908 | 3.318230339 |
| 36 | 58 | 150 | 190 | 45 | C=0.50 | B=15.60 | 187 | 15.1 | 2823.7 | 2.271841607 | 1.178976947 | 3.450818554 |
| 37 | 153 | 70 | 210 | 50 | C=0.00 | B=4.20 | 48 | 4.2 | 201.6 | 1.681241237 | 0.62324929 | 2.304490528 |

Tabla 6.1 (segunda parte) Datos estadísticos de los barrenos del depósito de Coneto-Buenavista.

| No. | NÚMERO DE BARRENO | NORTE X | ESTE Y | PROFUNDIDAD TOTAL EN m | PROFUNDIDAD DE CIMA EN m | PROFUNDIDAD DE BASE EN m | LEY U ₃ O ₈ g/t | ESPESOR EN m | ESPESOR POR LEY | LOG de LEY | LOG de ESPESOR | LOG de LEY por ESPESOR |
|-----|-------------------|---------|--------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------|-----------------|-------------|----------------|------------------------|
| 38 | 111 | 90 | 210 | 45 | C=26.40 | B=30.80 | 53 | 4.4 | 233.2 | 1.72427587 | 0.643452676 | 2.367728546 |
| 39 | 102 | 110 | 210 | 35 | C=0.00 | B=21.40 | 124 | 21.4 | 2653.6 | 2.093421685 | 1.330413773 | 3.423835459 |
| 40 | 51 | 130 | 210 | 28 | C=0.71 | B=26.20 | 292 | 25.5 | 7446 | 2.465382851 | 1.40654018 | 3.871923032 |
| 41 | 53 | 150 | 210 | 42 | C=0.00 | B=13.80 | 159 | 13.8 | 2194.2 | 2.201397124 | 1.139879086 | 3.341276211 |
| 42 | 122 | 50 | 230 | 51 | C=11.70 | B=27.10 | 16 | 15.4 | 246.4 | 1.204119983 | 1.187520721 | 2.391640703 |
| 43 | CB-2NR | 70 | 230 | 140 | C=103.95 | B=117.80 | 84 | 13.85 | 1163.4 | 1.924279286 | 1.141449773 | 3.065729059 |
| 44 | 112 | 90 | 230 | 35 | C=31.05 | B=31.60 | 101 | 0.55 | 55.55 | 2.004321374 | -0.259637311 | 1.744684063 |
| 45 | CB-1NR (103) | 110 | 230 | 85 | C=16.90 | B=51.50 | 105 | 34.6 | 3633 | 2.021189299 | 1.539076099 | 3.560265398 |
| 46 | 46 | 130 | 230 | 32 | C=0.71 | B=18.30 | 81 | 17.59 | 1424.79 | 1.908485019 | 1.245265839 | 3.153750858 |
| 47 | 48 | 150 | 230 | 33 | C=1.40 | B=5.80 | 237 | 4.4 | 1042.8 | 2.374748346 | 0.643452676 | 3.018201022 |
| 48 | 104 | 110 | 250 | 48 | C=17.65 | B=26.05 | 347 | 8.4 | 2914.8 | 2.540329475 | 0.924279286 | 3.464608761 |
| 49 | 41 | 130 | 250 | 29 | C=6.05 | B=22.15 | 188 | 16.1 | 3026.8 | 2.274157849 | 1.206825876 | 3.480983725 |
| 50 | 36 | 130 | 270 | 31 | C=2.00 | B=11.20 | 132 | 9.2 | 1214.4 | 2.120573931 | 0.963787827 | 3.084361759 |
| 51 | CB-9R | 50 | 290 | 91 | C=35.55 | B=73.85 | 287 | 38.3 | 10992.1 | 2.457881897 | 1.583198774 | 4.041080671 |
| 52 | 31 | 130 | 290 | 35 | C=7.80 | B=20.30 | 97 | 12.5 | 1212.5 | 1.986771734 | 1.096910013 | 3.083681747 |
| 53 | 26 | 130 | 310 | 31 | C=17.30 | B=21.60 | 215 | 4.3 | 924.5 | 2.33243846 | 0.633468456 | 2.965906915 |
| 54 | CB-11NR | 10 | 330 | 286 | C=70.90 | B=259.10 | 225 | 188.2 | 42345 | 2.352182518 | 2.274619619 | 4.626802137 |
| 55 | CB-10NR | 51 | 330 | 107 | C=62.70 | B=85.50 | 44 | 20.75 | 913 | 1.643452676 | 1.317018101 | 2.960470778 |
| 56 | 117 | 91 | 330 | 24 | C=8.10 | B=23.50 | 171 | 15.4 | 2633.4 | 2.23299611 | 1.187520721 | 3.420516831 |
| 57 | 108 | 110 | 330 | 54 | C=8.40 | B=25.80 | 45 | 17.4 | 783 | 1.653212514 | 1.240549248 | 2.893761762 |
| 58 | 21 | 131 | 330 | 28 | C=0.71 | B=28.00 | 202 | 27.3 | 5514.6 | 2.305351369 | 1.438162647 | 3.741514016 |

Promedio de la ley de U₃O₈ = 7 766 / 58 = 133.90 g/t

Promedio del espesor = 1 082.85 / 58 = 18.67 m

Tabla 6.2 Datos Estadísticos del Logaritmo de la Ley

| INTERVALO | RANGO | FRECUENCIA | PORCENTAJE DE FRECUENCIA |
|-----------|---------|------------|--------------------------|
| 1 | 1.20400 | 0 | 0 |
| 2 | 1.31626 | 2 | 3.50877193 |
| 3 | 1.42852 | 0 | 0 |
| 4 | 1.54078 | 1 | 1.754385965 |
| 5 | 1.65304 | 0 | 0 |
| 6 | 1.76530 | 1 | 1.754385965 |
| 7 | 1.87756 | 7 | 12.28070175 |
| 8 | 1.98982 | 5 | 8.771929825 |
| 9 | 2.10208 | 3 | 5.263157895 |
| 10 | 2.21434 | 3 | 5.263157895 |
| 11 | 2.32660 | 4 | 7.01754386 |
| 12 | 2.43886 | 4 | 7.01754386 |
| 13 | 2.55112 | 5 | 8.771929825 |
| 14 | 2.66338 | 4 | 7.01754386 |
| 15 | 2.77564 | 4 | 7.01754386 |
| 16 | 2.88790 | 5 | 8.771929825 |
| 17 | 3.00016 | 4 | 7.01754386 |
| 18 | 3.11242 | 3 | 5.263157895 |
| 19 | 3.22468 | 2 | 3.50877193 |
| 20 | 0 | 0 | 0 |

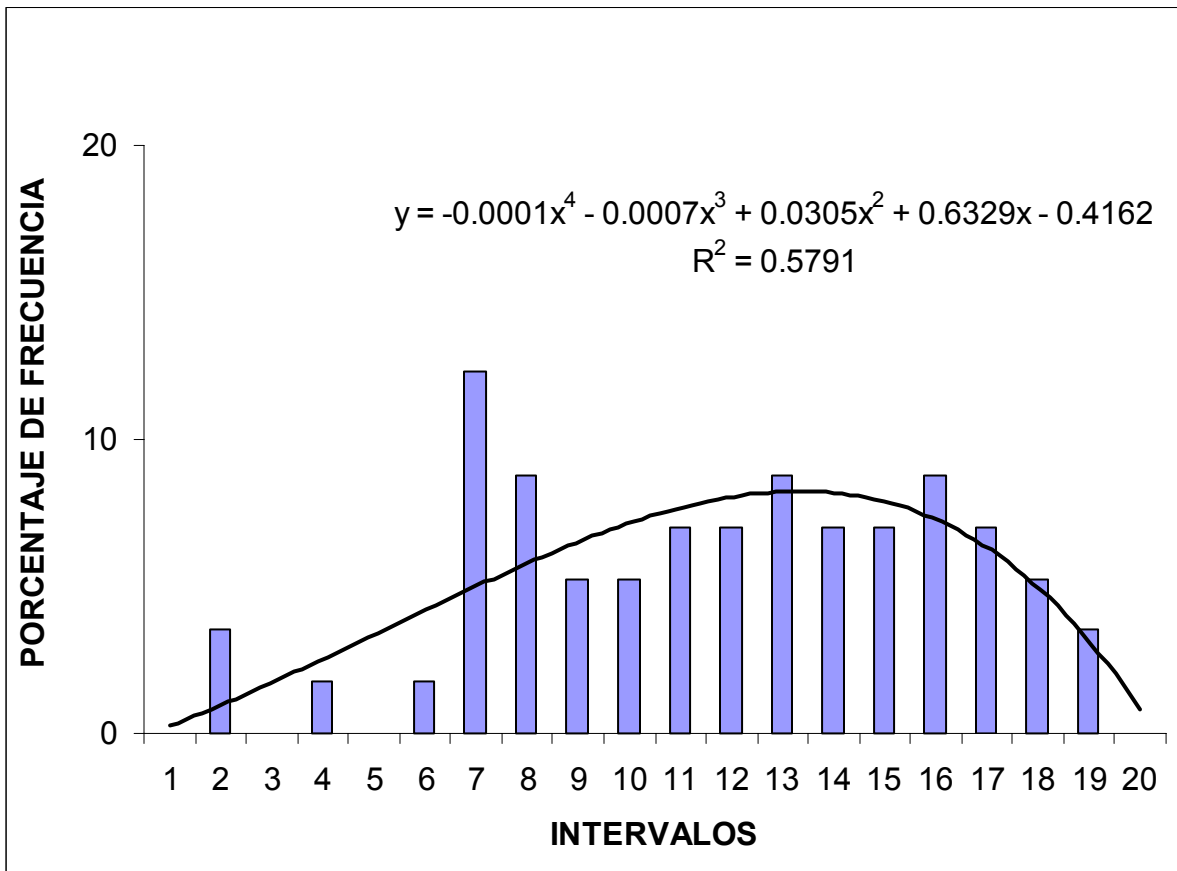


Figura 6.1 Variable Logaritmo de la Ley

Después, se trazó en papel de probabilidad logarítmica los valores de la frecuencia acumulativa del espesor por uranio, para examinar la distribución lognormal que muestran (**Figura 6.2**). Asimismo, se continuó la traza de la curva de los datos observados de la variable espesor por ley, a fin de obtener los valores de la media, de la frecuencia acumulativa del 10, 15, 20, 80, 85 y 90%, a fin de calcular la constante aditiva.

Los cálculos de la constante aditiva fueron efectuados con la fórmula siguiente:

$$\theta = \frac{m^2 - f_1 f_2}{f_1 + f_2 - 2m}$$

$$\theta_{15,85} = \frac{(850)^2 - (350)(5700)}{(350 + 5700) - (2)(850)} = -292.53$$

$$\theta_{10,90} = \frac{(850)^2 - (300)(6600)}{(300 + 6600) - (2)(850)} = -241.83$$

$$\theta_{20,80} = \frac{(850)^2 - (400)(4000)}{(400 + 4000) - (2)(850)} = -325$$

$$\bar{\theta} = -292.53 - 241.53 - 325 = -859.36 / 3 = -286.45$$

El valor promedio calculado para $\theta = -286.36$ es negativo y muy pequeño, no se puede apreciar en la gráfica logarítmica, por ello los datos observados y calculados coinciden (**Figura 6.2**). De la gráfica se puede interpretar que existen dos poblaciones, de los 58 valores de uranio, 56 de ellos o el 97% está comprendido en el rango de 0 a 11 803.796, el 3% que resta corresponde a dos barrenos el CB-4NR y CB-11NR, con valores de espesor por ley de 32 950.64 y de 42 349.23, respectivamente, y ambos barrenos tienen los valores del espesor y ley más altos (**Tabla 6.1**).

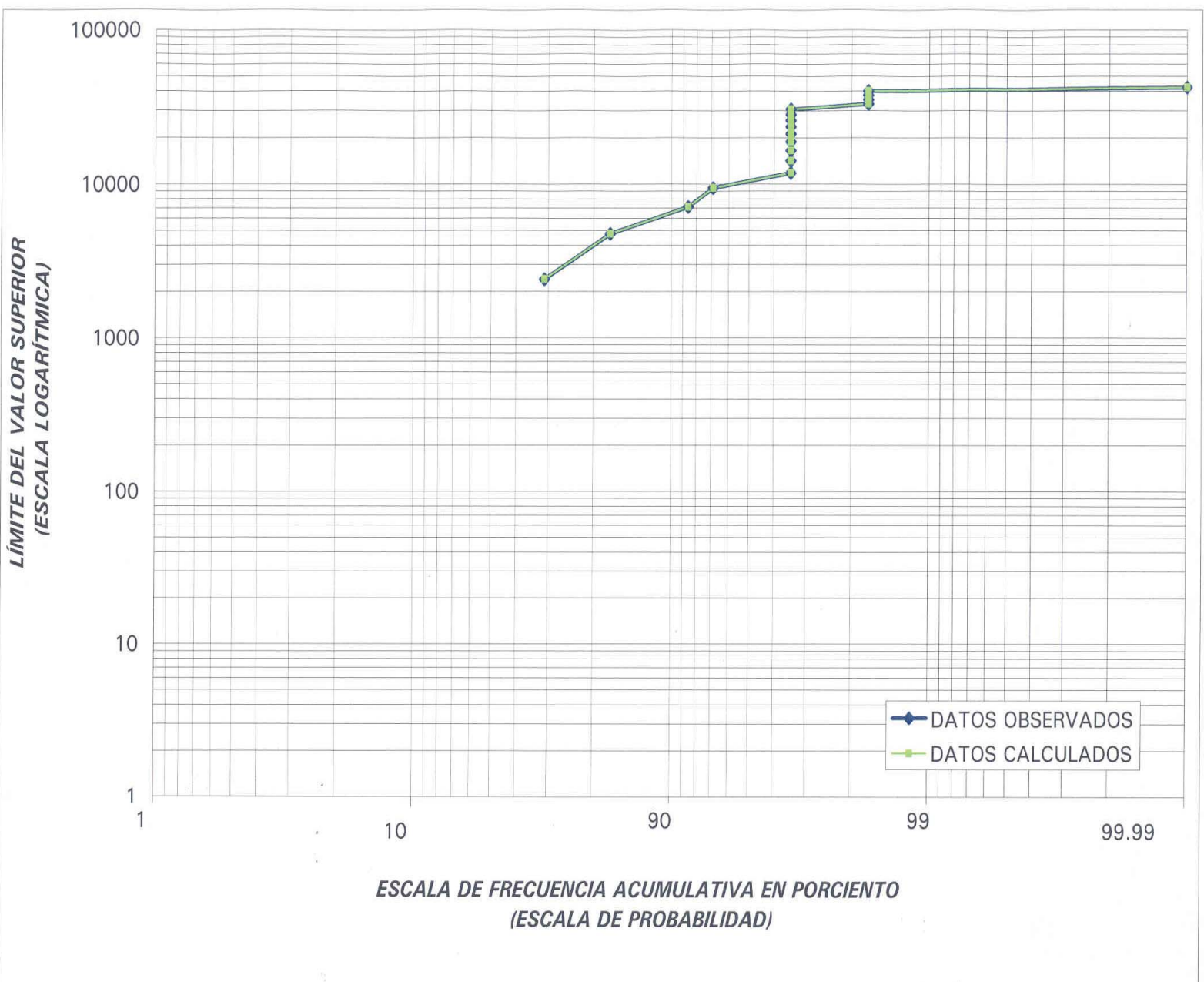


Figura 6.2 Distribución de frecuencia acumulativa de una variable (espesor por uranio) lognormal de tres parámetros

6.3 Análisis estructural (semivariogramas)

Se construyeron seis semivariogramas que corresponden al espesor, logaritmo del espesor, la ley (uranio), logaritmo de la ley (uranio), espesor por ley y el logaritmo del espesor por ley en cuatro direcciones preferenciales que son (**Apéndice B**): N-S (90°), E-W (0°), NE-SW (45°) y NW-SE (135°). A los seis semivariogramas se les ajustó un modelo teórico conocido como esférico con meseta o *sill* y comportamiento lineal al origen, con efecto pepita y rango de 60 m. En los seis semivariogramas, la dirección N-S (90°) es la que presenta mayor continuidad con 261 pares formados de puntos de muestras (**Tabla 6.3**), pues sigue la traza del cuerpo hidrotermalizado No. 1 y el rumbo del eje de la estructura geológica que corresponde a un anticlinal recumbente. Con relación a los semivariogramas con tendencias E-W, NE-SW y NW-SE se deben tomar en cuenta, pero con ciertas restricciones, pues los valores de los espesores y leyes cambian drásticamente y el número de pares formados de puntos de muestras obtenidos fue de 87, 71 y 64, respectivamente (**Tabla 6.3**). Así, el número de pares formados en las tres direcciones mencionadas, representan el 33% (87 / 261), el 27% (71 / 261) y 25% (64 / 261) con relación a la orientación N-S que es la de mayor continuidad o la mayor número de pares.

Tabla 6.3 Número de pares formados de muestras de puntos en las cuatro direcciones para los seis semivariogramas

| Semivariograma | Número de Pares Formados de Muestras de Puntos en las Direcciones | | | | Número de Pares Totales |
|--------------------------------|---|---------|-----------|-----------|-------------------------|
| | E-W 0° | N-S 90° | NE-SW 45° | NW-SE135° | |
| Espesor | 87 | 261 | 71 | 64 | 483 |
| Logaritmo Espesor | 87 | 261 | 71 | 64 | 483 |
| Uranio | 87 | 261 | 71 | 64 | 483 |
| Logaritmo Uranio | 87 | 261 | 71 | 64 | 483 |
| Ley por Espesor | 87 | 261 | 71 | 64 | 483 |
| Logaritmo (Uranio por Espesor) | 87 | 261 | 71 | 64 | 483 |
| TOTAL | 522 | 1 566 | 426 | 384 | 2 898 |

Además, las orientaciones E-W, NE-SW y NW-SE son las que cortan de forma perpendicular y diagonal al cuerpo hidrotermalizado No. 1. Para pares de puntos con distanciamientos, entre sí, menor o igual a 60 m, el fenómeno puede considerarse como estacionario (o cuasiestacionario) e isotrópico. En la dirección E-W el número de pares formados de muestras de puntos representa el 83% (72 / 87), en la orientación N-S el 37% (96 / 261), en la dirección NE-SW el 65% (46 / 71) y en la trayectoria NW-SE el 75% (48 / 64) (**Tabla 6.4**).

Tabla 6.4 Detalle del número de pares formados de muestras de puntos en las direcciones para el semivariograma de ley.

| Número de Pares Formados en las Direcciones para el Semivariograma de Ley | | | | | |
|---|-----------|------------|----------------|-----------|------------|
| Distancia en m | E-W 0° | N-S 90° | Distancia en m | NE-SW 45° | NW-SE 135° |
| 20 | 34 | 35 | 28.28 | 28 | 29 |
| 40 | 25 | 31 | 56.57 | 18 | 19 |
| 60 | 13 | 30 | 84.85 | 12 | 8 |
| 80 | 8 | 27 | 113.14 | 6 | 5 |
| 100 | 4 | 29 | 141.42 | 3 | 3 |
| 120 | 2 | 23 | 169.71 | 2 | |
| 140 | 1 | 17 | 197.99 | 1 | |
| 160 | | 16 | 226.27 | 1 | |
| 180 | | 15 | | | |
| 200 | | 12 | | | |
| 220 | | 8 | | | |
| 240 | | 5 | | | |
| 260 | | 5 | | | |
| 280 | | 4 | | | |
| 300 | | 3 | | | |
| 320 | | 1 | | | |
| TOTAL | 87 | 261 | | 71 | 64 |

Asimismo, los semivariogramas con las orientaciones E-W, NE-SW y NW-SE exhiben anisotropía zonal, pues el valor de la meseta es alto, por ser trayectorias perpendiculares a la traza del cuerpo hidrotermalizado No. 1. Sin embargo, los semivariogramas en la dirección N-S tienen un valor de la meseta bajo por seguir el rumbo de la traza del cuerpo hidrotermalizado No. 1 (**Rendu, 1981**). A los semivariogramas experimentales obtenidos en las cuatro direcciones preferenciales se les ajustó el modelo esférico que tiene las siguientes fórmulas:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad h \leq a \quad \text{fórmula general}$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h \geq a \quad \text{fórmula con los parámetros de la ley, espesor y espesor por ley.}$$

El rumbo del cuerpo hidrotermalizado No.1 es de NW 35° SE (**plano 1** al final en bolsa), para facilitar la elaboración de los seis semivariogramas se giró el superbloque al Norte franco, el cual está conformado por 136 panales con forma de cuadriláteros de 20 m por lado (**Tabla 6.5** y **Figura 6.3**). Para realizar los semivariogramas se empleó el paquete de cómputo *Est2d*, que realiza el análisis estadístico estructural de n número de variables considerando las escalas decimal y logarítmica. Además, en una misma corrida se calculan los histogramas, diagramas de correlación y semivariogramas bidimensionales. Los datos de los 58 barrenos están en la **Tabla 6.1**. Los seis semivariogramas se calcularon en las cuatro direcciones principales N-S, E-W, NE-SW y NW-SE, los valores de la meseta, efecto pepita y rango de cada semivariograma están en la **Tabla 6.6**. Como ejemplos se proporcionan los semivariogramas de la ley y del logaritmo de la ley, por ser los más representativos **Figura 6.4**.

Tabla 6.5 Número de barrenos del bloque por evaluar en el depósito de Coneto Buenavista

| CONCEPTO | NÚMERO DE BARRENOS |
|---|--------------------|
| Barrenos sin perforar | 35 |
| Barrenos perforados sin valor de uranio | 43 |
| Barrenos perforados con mineral de uranio | 58 |
| TOTAL | 136 |

Tabla 6.6 Valores de la meseta, efecto pepita y rango de los seis semivariogramas

| Variable | Efecto de Pepita C_0 | C_1 | Meseta $C(0)=C$ | Rango a | $2/3 a$ |
|-------------------------------|------------------------|------------|-----------------|---------|---------|
| Espesor | 50 | 150 | 200 | 60 m | 40 m |
| Logaritmo del espesor | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 60 m | 40 m |
| Uranio | 5 000 | 6 000 | 11 000 | 60 m | 40 m |
| Logaritmo del uranio | 0.02 | 0.10 | 0.12 | 60 m | 40 m |
| Espesor por ley | 20 000 000 | 10 000 000 | 30 000 000 | 60 m | 40 m |
| Logaritmo del espesor por ley | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 60 m | 40 m |

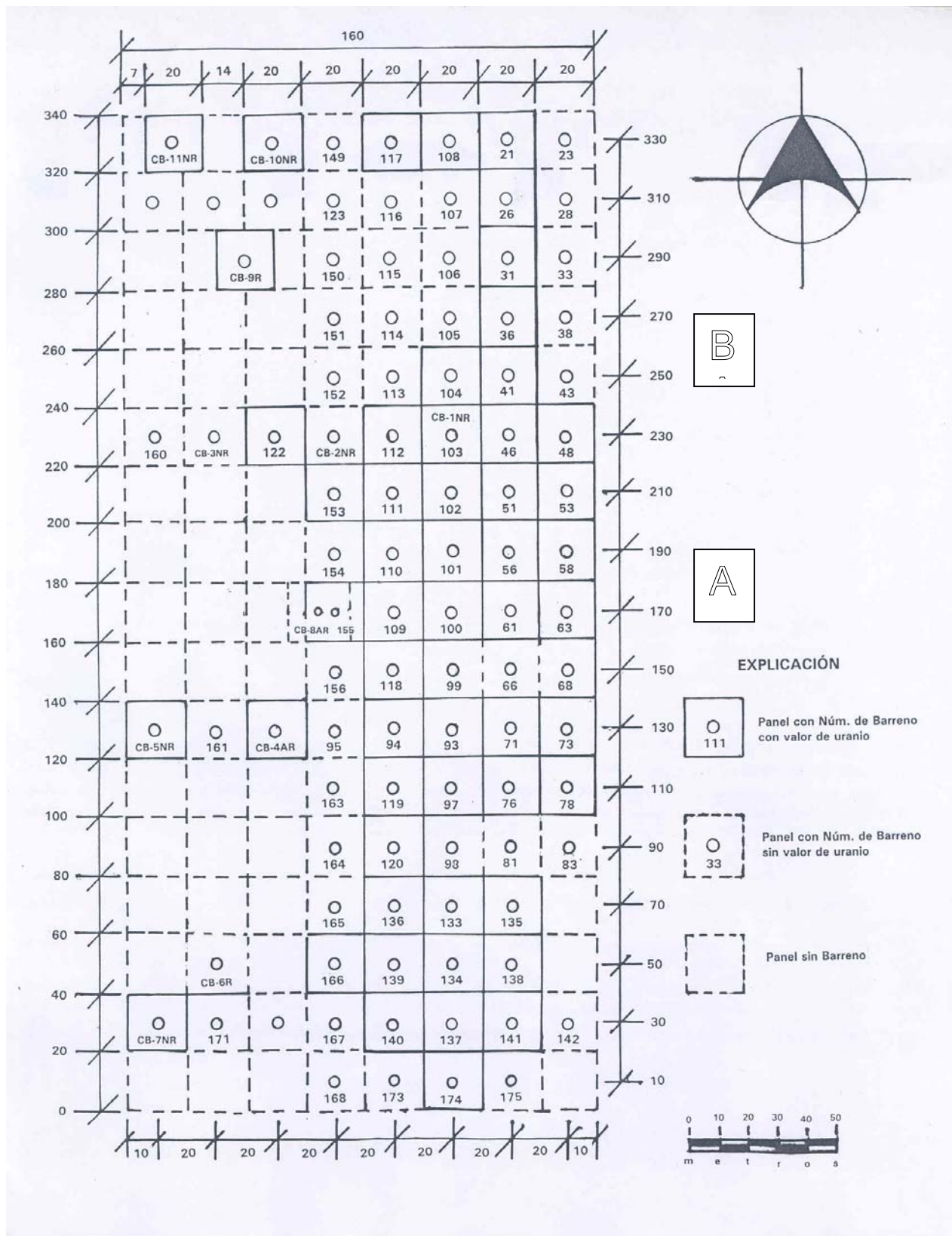
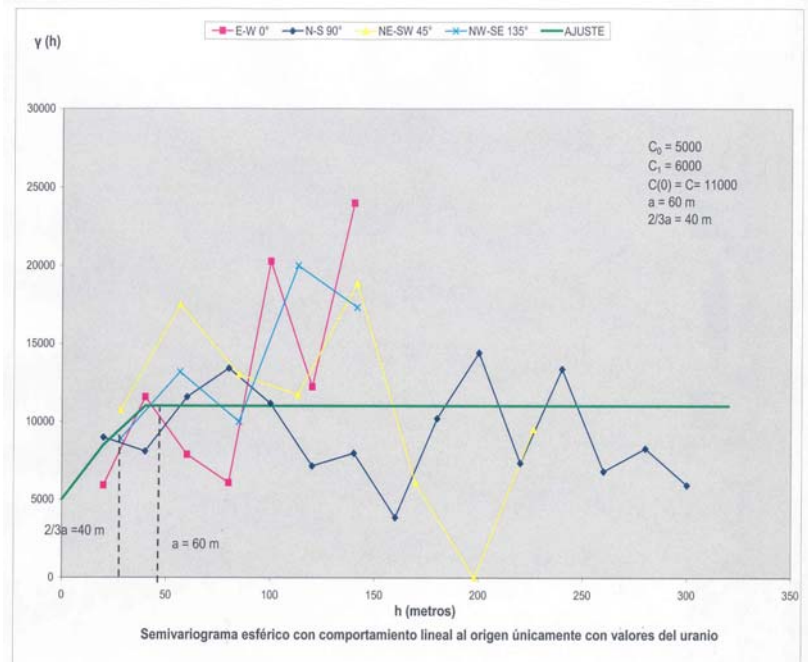
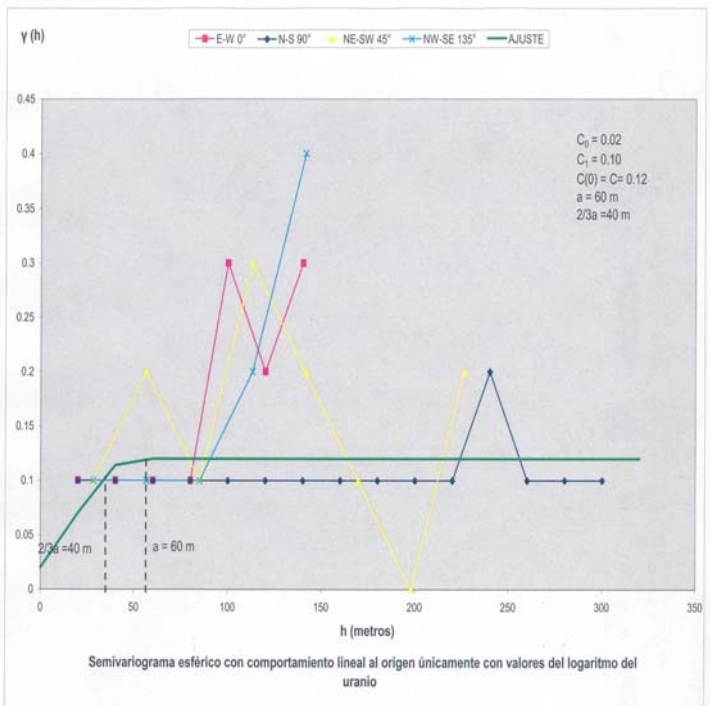


Figura 6.3 Bloque a evaluar en el depósito de Coneto Buenavista

Figura 6.4 Semivariogramas de los valores del uranio y su logaritmo



6.4 Variantes del kriging

6.4.1 Kriging normal

Al considerar un depósito mineral Ω en el cual los valores de las muestras tienen una distribución normal multivariable; el valor μ_w de un bloque de mineral W en Ω también es distribuido normalmente. Al tomar en cuenta a μ como el valor promedio del depósito. Para estimar μ_w de los valores x_i de las muestras w_i ($i=1,2,\dots,n$) el siguiente estimador lineal es usado si las suposiciones de estacionaridad son satisfechas.

$$\hat{\mu}_w = C + \sum_i b_i x_i \quad (6.1)$$

donde C y los b_i son constantes a ser calculadas. Si la media μ es conocida, se elige:

$$\hat{\mu} = \mu + \sum_i b_i (x_i - \mu) \quad (6.2)$$

$$C = (1 - \sum_i b_i) \mu \quad (6.3)$$

Es conveniente tener presente que las fórmulas están expresadas en función de covarianzas (**Rendu, 1979**).

El estimador general (ecuación 6.1) está distribuido normalmente, con media:

$$E[\hat{\mu}_w] = C + \sum_i b_i \mu \quad (6.4)$$

y varianza

$$D^2[\hat{\mu}_w] = \sum_i \sum_j b_i b_j \bar{\sigma}(w_i, w_j) \quad (6.5)$$

El error de estimación de μ_w es $\hat{\mu}_w - \mu_w$ es una variable con media

$$E[\hat{\mu}_w - \mu_w] = C + (\sum_i b_i - 1) \mu \quad (6.6)$$

y varianza

$$D^2[\hat{\mu}_w - \mu_w] = \bar{\sigma}(W_i; W) + \sum_i \sum_j b_i b_j \bar{\sigma}(w_i, w_j) - 2 \sum_i b_i \bar{\sigma}(w_i, W) \quad (6.7)$$

El estimador $\hat{\mu}_w$ es un estimador imparcial de μ_w si y solamente si

$$C = (1 - \sum_i b_i) \mu \quad (6.8)$$

La covarianza entre el error de estimación y el valor de x_i de la i -ésima muestra es

$$E[(\hat{\mu}_W - \mu_W)(x_i - \mu)] = \sum_j b_j \hat{\sigma}(w_i, w_j) - \hat{\sigma}(w_i, W) \quad (6.9)$$

Esta covarianza es usualmente diferente de cero, la cual indica que la esperanza condicional del error de estimación $\hat{\mu}_W - \mu_W$ dada a los valores de las muestras, es una función de los valores de las muestras.

El estimador μ_K es el estimador lineal imparcial μ_W con una varianza de estimación pequeña (6.7). Los pesos *krigeados* b_j son obtenidos por resolución del siguiente sistema de ecuaciones:

$$\sum_j b_j \hat{\sigma}(w_i, w_j) = \bar{\sigma}(W, w_i) \quad (6.10)$$

y la varianza de estimación o varianza del *krigeage* puede ser escrita

$$\sigma_K^2 = D^2 [\mu_K - \mu_W] = \bar{\sigma}(W; W) - \sum_i b_i \bar{\sigma}(W, w_i) \quad (6.11)$$

La correlación entre el error de estimación y los valores de las muestras es cero, por lo tanto, dada la suposición de distribución normal multivariable, la distribución estadística de $\mu_K - \mu_W$ es independiente del valor de las muestras. Cualquier valor x_1, x_2, \dots, x_n , el error $\mu_K - \mu_W$ es una variable normal con media cero y varianza σ_K^2 . En particular, si los valores de las muestras x_i y la media μ son conocidos, el estimador del *krigeage* μ_K puede ser calculado y es un número conocido, y el error $\mu_K - \mu_W$ es solamente una función del valor desconocido de μ_W . La distribución condicional de μ_W dado a los valores de las muestras $x_i, i=1, 2, \dots, n$, es una distribución con media μ_K y varianza σ_K^2 .

6.4.2 Krigeage lognormal

La distribución lognormal es más compleja. La suposición mayor para el caso lognormal es que la conservación de lognormalidad condiciona que si los valores de las muestras están distribuidos lognormalmente entonces el valor promedio de un número de muestras, tal como un valor promedio de un bloque, es también una variable distribuida lognormalmente.

Considerando un depósito mineral Ω de valor promedio μ en el cual los valores de las muestras y valores de los bloques son distribuidos lognormalmente. Para estimar μ_W el valor de un bloque mineral W , un estimador log-lineal μ es usado, que satisface la ecuación siguiente:

$$\ln \hat{\mu} = C + \sum_i b_i \ln x_i \quad (6.12)$$

donde C y los b_i son constantes a ser calculadas. Si la μ es conocida, se elige μ_W tal que:

$$\ln \left[\frac{\hat{\mu}_w}{\mu} \right] = C + \sum_i b_i \ln \left[\frac{x_i}{\mu} \right] \quad (6.13)$$

$$C = C - (1 - \sum_i b_i) \ln \mu \quad (6.14)$$

El estimador log-lineal, μ_w , está dado por:

$$\hat{\mu}_K = \exp(C + \sum_i b_i \ln x_i) \quad (6.15)$$

Es conveniente aclarar que las fórmulas están expresadas en función de las covarianzas (**Dowd, 1982**).

El estimador, $\hat{\mu}_w$, es un estimador imparcial de μ_w si y solamente si

$$C = (1 - \sum_i b_i) \ln \mu - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j b_i b_j \bar{\sigma}_e(w_i, w_j) + \frac{1}{2} \sum_i b_i \bar{\sigma}_e(w_i, w_i) \quad (6.16)$$

Para este valor de C

$$E[\hat{\mu}_w] = \mu \quad (6.17)$$

Si la media μ del depósito es conocida, el estimador dado en la ecuación (6.15) es usado

$$\hat{\mu}_K = \exp \left[(1 - \sum_i b_i) \ln \mu + \sum_i b_i \ln x_i + \frac{1}{2} \sum_i b_i \bar{\sigma}_e(w_i, w_i) - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j b_i b_j \bar{\sigma}_e(w_i, w_j) \right] \quad (6.18)$$

El estimador *krigeado* μ_k es el estimador log-lineal imparcial con una varianza de estimación logarítmica muy pequeña $E[(\ln \mu_w - \ln \mu_w)^2]$. Los pesos *krigeados* b_j son soluciones al siguiente sistema de ecuaciones:

$$\sum_j b_j \bar{\sigma}_e(w_i, w_j) = \bar{\sigma}_e(w_i, W) \quad (6.19)$$

La varianza de estimación logarítmica del krigage es:

$$\sigma_{K_e}^2 = \bar{\sigma}_e(W, W) - \sum_i b_i \bar{\sigma}_e(w_i, W) \quad (6.20)$$

La varianza del krigage es

$$\sigma_K^2 = D^2[\mu_k - \mu_w] = \mu^2 (\exp \bar{\sigma}_e(W; W) - \exp \sum_i b_i \bar{\sigma}_e(w_i, W)) \quad (6.21)$$

$$\sigma_K^2 = \mu^2 e^{\sigma_e(W;W)} (1 - e^{-\sigma_{k_e}^2}) \quad (6.22)$$

Para valores pequeños de $C(<1)$ el caso general del *krigeage* lognormal se asume conservación de lognormalidad con resultados que no difieren significativamente de aquellos obtenidos sin la suposición de la conservación de lognormalidad. Al incrementarse C , la varianza de *krigeage* de ambos métodos permanece muy similar, pero la diferencia en los pesos *krigeados* llega a incrementarse significativamente.

Es pertinente manifestar que en muchos depósitos los valores de las muestras son distribuidos lognormalmente, por tanto, se ha observado que el valor promedio de un número de muestras, tal como un valor promedio del bloque, también es una variable distribuida lognormalmente. Esta propiedad observada, solamente es verificada para pequeños bloques, siendo conocida como la conservación de lognormalidad (**Rendu, 1979**).

De acuerdo a la teoría estadística, la distribución de probabilidad de una combinación lineal de variables lognormales no es lognormal.

En lo general, la presentación de la teoría matemática para la estimación de variables regionalizadas con distribución de frecuencias normal y lognormal, expresada por **Rendu, (1979)**, está basada sobre la suposición para el caso lognormal en la conservación de la lognormalidad, que consigna que si los valores de las muestras son distribuidos lognormalmente entonces el valor promedio de un número de muestras, tal como el valor promedio de un bloque, también es una variable distribuida lognormalmente (**Dowd, 1982**).

Por otra parte, se ha señalado lo siguiente (**Dowd, 1982**):

- 1) Que aún cuando la conservación de lognormalidad puede ser asumida, la presentación de **Rendu** a la solución del problema es solamente una solución.
- 2) Presenta una teoría matemática para el caso general del *krigeage* lognormal (por ejemplo, sin la suposición de la conservación de lognormalidad) y compara los resultados obtenidos con y sin la suposición de la conservación de lognormalidad.

El superbloque por evaluar del DCB está conformado por paneles cuadrados de 20 m por lado y se describen en la **Tabla 6.4**.

Con los valores de la meseta, efecto pepita y rango de los semivariogramas de la ley y espesor, así como el logaritmo de la ley y logaritmo del espesor, se efectuaron los cálculos del *krigeage* normal y lognormal con el paquete de cómputo *Krig2D*, en dos dimensiones, en lenguaje fortran 77 para sistema operativo *MS-Dos*, pero por limitaciones del programa, solamente se pueden calcular 100 paneles en un sola corrida, el superbloque se dividió en dos sectores A y B. Los bloques tienen las coordenadas (x,y) siguientes:

- 1) El sector A se ubica en: (0,0) a (0,160) y (0,220) a (160,220), es decir, son 11 renglones por 8 columnas, para calcular 88 paneles.
- 2) El sector B se localiza en: (0,220) a (160,220) y (0,340) a (160,340), es decir, son 6 renglones por 8 columnas, para calcular 48 paneles (**Figura 6.3**).

La estimación y desviación de la ley de uranio con el *krigeage* normal y lognormal con diferentes valores del coeficiente de insesgamiento se tiene en la **Tabla 6.6**.

6.5 Comentarios sobre los resultados obtenidos al variar el coeficiente de insesgamiento (parámetro de ajuste, PARAM) entre 0 y 1

Es pertinente mencionar diversas observaciones a las fluctuaciones que tienen los tonelajes, espesores, leyes y contenidos de uranio entre el *krigeage* normal y lognormal, con la finalidad de explicar y comparar los resultados de cada método (**Tabla 6.7**).

Tabla 6.7 Comparación de los resultados obtenidos con el *krigeage* normal y lognormal en el depósito Coneto Buenavista

| Parámetro por evaluar | KRIGEAGE NORMAL | KRIGEAGE LOGNORMAL | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Número de bloques | | | | | | |
| | 136 | 136 | | | | | |
| Coefficiente de insesgamiento | ----- | 0.0 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| Toneladas métricas | 2 866 306 | 2 044 524 | 2 053 874 | 2 067 982 | 2 091 714 | 2 115 726 | 2 140 018 |
| Espesor m desviación | 22.81 1.07 | 16.41 0.03 | 16.49 0.03 | 16.60 0.06 | 16.79 0.03 | 16.98 0.03 | 17.17 0.03 |
| Ley U ₃ O ₈ g/t desviación | 197.30 10.97 | 128.52 0.31 | 128.34 0.30 | 128.07 0.30 | 127.63 0.30 | 127.18 0.29 | 126.74 0.29 |
| Contenido de U ₃ O ₈ kg | 565 522 | 262 762 | 263 594 | 264 846 | 266 965 | 269 078 | 271 226 |

Al efectuar la estimación de los recursos del DCB, con el *krigeage* normal se consideró la media μ conocida (estimada) obtenida del cálculo estadístico de los 58 barrenos conocidos.

Con el rango de 60 m se pudo evaluar el superbloque formado de 136 panales o bloques, se advierte en la **Tabla 6.6** que las toneladas métricas calculadas con el *krigeage* normal tienen un incremento del 34% (2 866 306 / 2 140 018) respecto al valor más alto obtenido del *krigeage* lognormal que corresponde al coeficiente de insesgamiento de 1.0. Con relación al espesor el valor obtenido con el *krigeage* normal aumenta un 33% (22.81 / 17.17) en comparación con el valor más alto del *krigeage* lognormal que pertenece al parámetro de ajuste de 1.0. Además, el valor de la ley de uranio estimado con el *krigeage* normal se incrementa un 54% (197.30 / 128.52) con referencia al valor más alto del *krigeage* lognormal que corresponde al coeficiente de insesgamiento 0.10. Asimismo, el valor del contenido de uranio con el *krigeage* normal se eleva un 209% (565 893 / 270 682) con respecto al valor más grande del *krigeage* lognormal que le atañe al parámetro de ajuste de 1.0. Estos incrementos pueden ser explicados porque se está considerando que los valores de los barrenos tiene una distribución normal, en vez de la distribución lognormal que es la que verdaderamente tienen los valores.

Es importante tener presente que la distribución lognormal está definida por $Y = \ln x$ distribuida normalmente con media μ y varianza σ^2 . Si x es distribuida lognormalmente con media μ y varianza S^2 :

$$E[x]=m$$

$$D^2[x]=S^2$$

entonces $\ln x$ está distribuida normalmente con media μ y varianza σ^2 .

$$\begin{aligned} E[\ln x] &= \mu \\ D^2[\ln x] &= \sigma^2 \end{aligned}$$

donde

$$m = e^{\mu + \sigma^2/2} \quad y \quad S^2 = m^2(e^{\sigma^2} - 1)$$

La distribución tiene un sesgo positivo y el valor más grande de σ^2 corresponde al valor más grande del sesgo. Las posiciones relativas de la media, mediana y moda, son definidas como $x = e^{\mu - 1/2\sigma^2}$, e^μ y $e^{\mu + \sigma^2}$, respectivamente. Si $\ln x$ está distribuido normalmente entonces $\mu=0$ y $\sigma^2=1$, que son los valores límites que van a tomar el parámetro de ajuste (*param*).

En la estimación del *krigeage* lognormal se realizaron seis evaluaciones variando el coeficiente de incesgamiento (*param*) con valores de 0.0, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0; considerando la media geométrica (G) estimada de los logaritmos decimales de los valores conocidos.

Debido a que el programa de cómputo para el cálculo del *krigeage* lognormal, el parámetro de ajuste (*param*) multiplica el valor de C, el valor que se le asigne al parámetro de ajuste afecta directamente a C y finalmente al valor del estimador del *krigeage* μ_k . Si el parámetro de ajuste tiene valor de 1.0 el *krigeage* lognormal es el de media μ conocida, que es el mencionado anteriormente.

En el caso que el parámetro de ajuste tenga un valor de 0.0, se calcula el *krigeage* lognormal con media desconocida, definido como:

El estimador $\hat{\mu}_w$ es imparcial, si solamente si:

$$\sum_i b_i = 1 \quad (6.23)$$

$$\text{Así: } C = \frac{1}{2} \sum_i b_i \bar{q}_i(w_i, w_i) - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j b_i b_j \bar{q}_i(w_i, w_j) \quad (6.24)$$

y el estimador incesgado es:

$$\hat{\mu}_w = \exp \left[\sum_i b_i \ln x_i + \frac{1}{2} \sum_i b_i \bar{q}_i(w_i, w_i) - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j b_i b_j \bar{q}_i(w_i, w_j) \right] \quad (6.25)$$

El estimador del *krigeage* μ_k es el estimador log-lineal incesgado (que satisface la ecuación 6.23) con una varianza de error logarítmica mínima. Los pesos *krigeados*, b_j , son obtenidos al resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\sum_j b_j \bar{q}_i(w_i, w_j) = \bar{q}_i(w_i, w) + \lambda \quad (6.26)$$

$$\sum_i b_i = 1 \quad (6.27)$$

donde λ es un multiplicador de Lagrange

La varianza de error logarítmica del *krigeage* es:

$$\hat{\sigma}_k^2 = \bar{\sigma}_g(w, w) - \sum_i b_i \bar{\sigma}_g(w_i, w) + \lambda \quad (6.28)$$

Por lo tanto, si el parámetro de ajuste tiene un valor de 0.0 el valor de $C=0$ y se procede a calcular el estimador insesgado μ_w .

Los seis valores proporcionados al parámetro de ajuste es con el fin de conocer *a priori* las fluctuaciones que pueden tener las toneladas métricas, espesor, ley y contenido de uranio, para ello empleamos el parámetro de ajuste como un estimador de corrección para evitar el sesgo positivo de la distribución lognormal de los valores conocidos, y hacer que uno de los valores proporcionados al parámetro de ajuste se puede aproximar a la distribución normal de los logaritmos de las muestras originales. En virtud de que la media μ que usamos es la estimada de los cálculos estadísticos evaluados en un principio, la media μ verdadera no la conocemos hasta que el depósito se encuentre en explotación y saber con precisión cual es el coeficiente de insesgamiento que debemos utilizar en la evaluación de recursos (**Figura 6.5**).

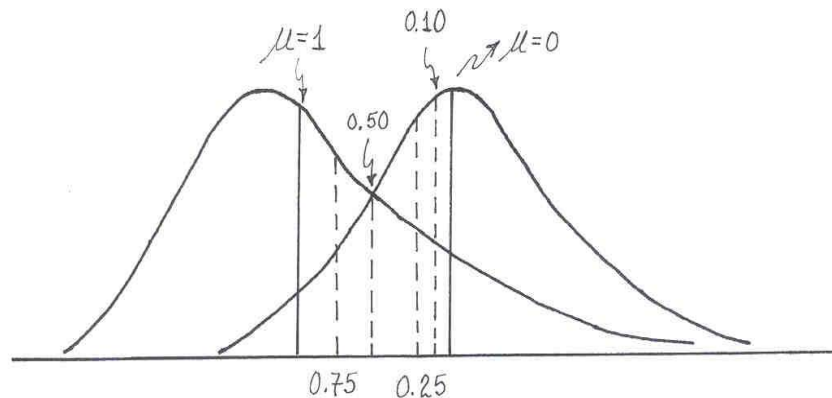


Figura 6.5 Curvas lognormales con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0

Al analizar los resultados del *krigeage* lognormal de la **Tabla 6.6**, la división entre el coeficiente de insesgamiento 0.0 y el coeficiente de 1.0 proporciona los siguientes valores: para las toneladas métricas es un 96% (2 044 524 / 2 140 018), el espesor un 96% (16.41 / 17.17), la ley un 101% (128.52 / 127.24) y el contenido de uranio un 97% (262 338/ 270 682). Es posible inferir que cuando el parámetro de ajuste tiene un valor de 1.0 se aleja uno de la distribución normal de los logaritmos del espesor y contenidos de uranio (**Figura 6.5**), lo que conduce a que aumenten los valores, con el coeficiente de insesgamiento de 1.0, en tres de los cuatro factores tomados en la evaluación.

6.6 Comentarios del cálculo del *krigeage* normal y lognormal del tonelaje y ley promedio sobre ley de corte

Con respecto al cálculo del tonelaje sobre la ley de corte, del **Sector A** (88 paneles) y **Sector B** (48 paneles), se llevó a cabo la construcción de las gráficas de la ley y tonelajes recuperables del *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con la variación del coeficiente de insesgamiento con seis valores que son 0.0, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0, a fin de conocer el valor del punto donde se intersecan la línea de ley de corte vs. tonelaje, y la línea de ley de corte vs. ley promedio, que se indican a continuación (**Tablas 6.8**).

Tabla 6.8 Valores de la ley mínima de corte y tonelaje total de cada sector del superbloque, con el *krigeage* normal y lognormal con diferentes valores del coeficiente de insesgamiento

| Valor del coeficiente de insesgamiento | SECTOR A (88 paneles) | | SECTOR B (48 paneles) | | Ley Promedio en g/t Tonelaje Total | |
|--|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| | Ley mínima económica en g/t | Tonelaje en t | Ley mínima económica en g/t | Tonelaje en t | Ley mínima económica en g/t | Tonelaje en t |
| SUPERBLOQUE KRIGEAGE NORMAL | | | | | | |
| 0.0 | 269 | 921 868 | 210 | 1 116 485 | 240 | 1 019 177 |
| SUPERBLOQUE KRIGEAGE LOGNORMAL | | | | | | |
| 0.0 | 157 | 497 998 | 171 | 818 653 | 164 | 1 316 651 |
| 0.10 | 157 | 500 406 | 171 | 822 300 | 164 | 1 322 706 |
| 0.25 | 142 | 624 690 | 171 | 818 653 | 157 | 1 443 343 |
| 0.50 | 142 | 624 690 | 171 | 827 430 | 157 | 1 452 120 |
| 0.75 | 142 | 632 278 | 172 | 817 429 | 157 | 1 449 707 |
| 1.0 | 141 | 639 958 | 172 | 817 429 | 157 | 1 457 387 |

De manera general, si las leyes de corte son bajas el tonelaje es alto con una ley promedio del superbloque por explotar, por ejemplo, en la **Tabla 6.9**, si la ley de corte es de 26 g/t el tonelaje es de 1 081 830 de toneladas métricas, y la ley promedio del superbloque es de 104 g/t, debido a que se tienen panales con leyes por arriba de los 400 gramos (**Figura 6.6**). Así, en la **Tabla 6.10** del sector B del superbloque es el que presenta un mayor tonelaje, porque es donde se encuentra los paneles con mayor espesor y ley de uranio (**Figura 6.7**).

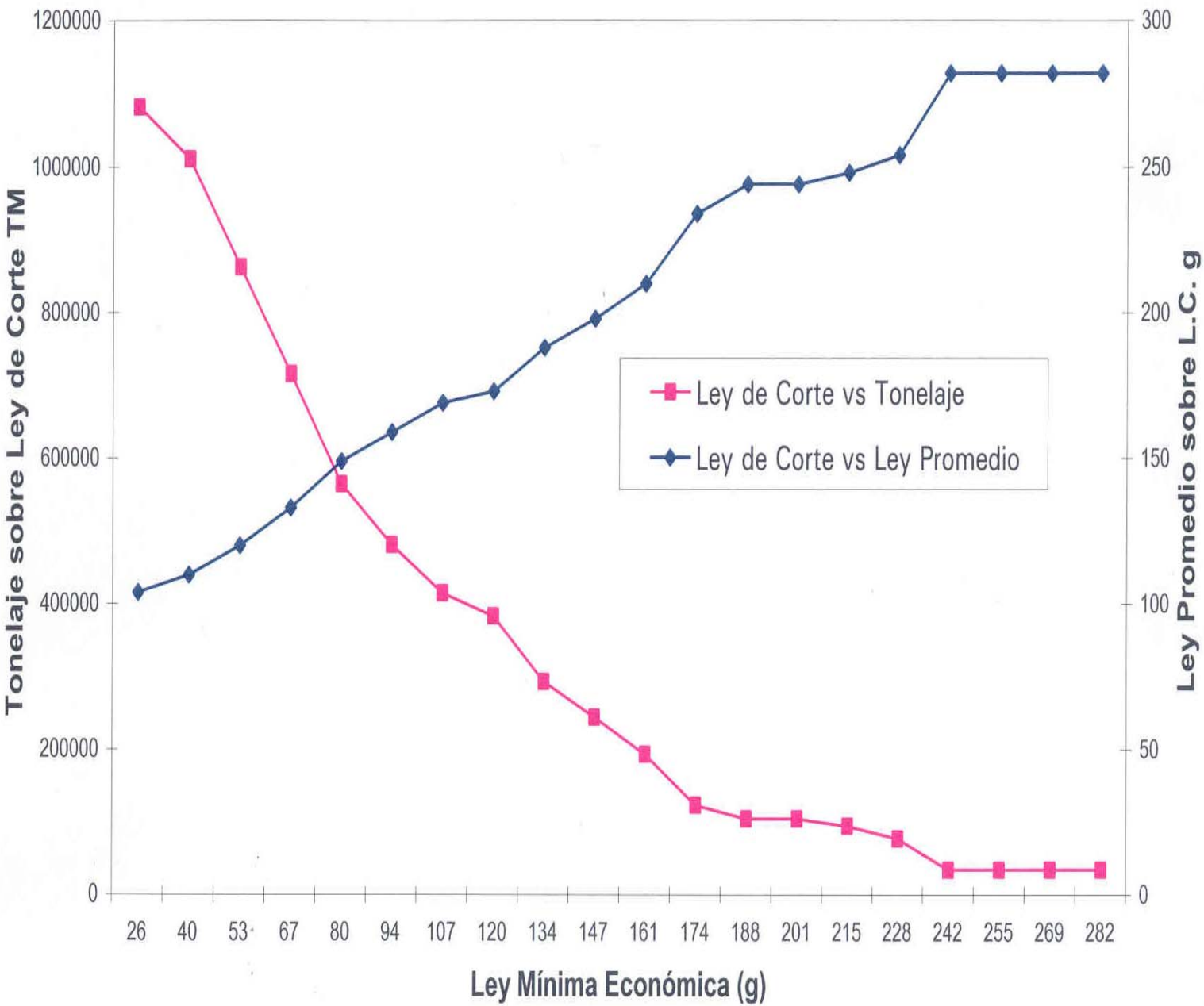
Tabla 6.9 Tabla de recuperables del *Krigeage* Lognormal con coeficiente de insesgamiento de 1.0 del Sector A (88 Paneles)

| Número Consecutivo | Ley de Corte en g | Tonelaje toneladas métricas | Ley Promedio del Superbloque sobre la Ley de Corte en g |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|---|
| 1 | 26 | 1 081 830 | 104 |
| 2 | 40 | 1 010 790 | 110 |
| 3 | 53 | 862 568 | 120 |
| 4 | 67 | 715 641 | 133 |
| 5 | 80 | 564 274 | 149 |
| 6 | 94 | 480 953 | 159 |
| 7 | 107 | 414 930 | 169 |
| 8 | 120 | 383 176 | 173 |
| 9 | 134 | 293 154 | 188 |
| 10 | 147 | 243 808 | 198 |
| 11 | 161 | 192 918 | 210 |
| 12 | 174 | 123 051 | 234 |
| 13 | 188 | 103 995 | 244 |
| 14 | 201 | 103 995 | 244 |
| 15 | 215 | 94 081 | 248 |
| 16 | 228 | 76 619 | 254 |
| 17 | 242 | 34 061 | 282 |
| 18 | 255 | 34 061 | 282 |
| 18 | 269 | 34 061 | 282 |
| 20 | 282 | 34 061 | 282 |

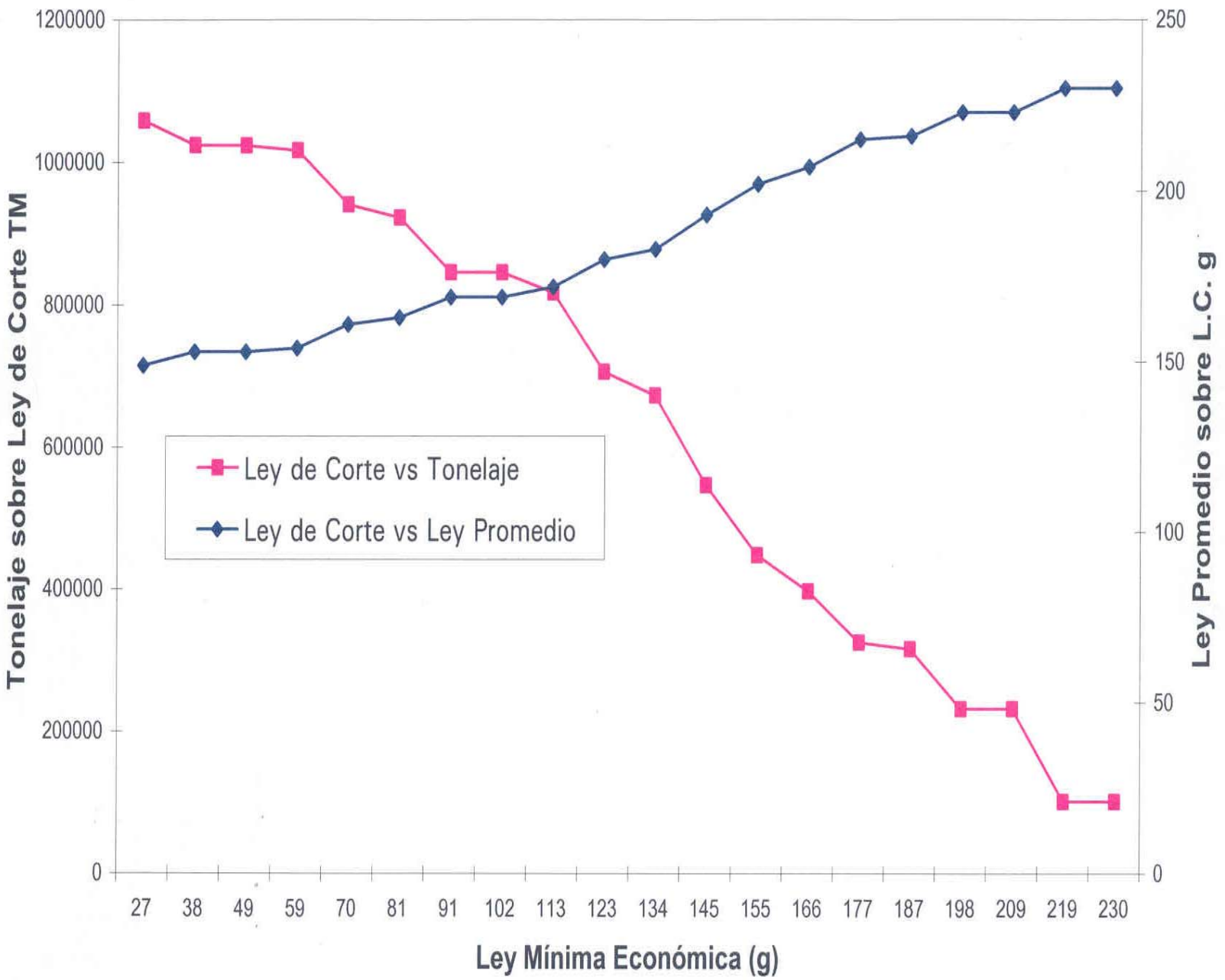
Tabla 6.10 Tabla de recuperables del *Krigeage* Lognormal con coeficiente de insesgamiento de 1.0 del Sector B (48 Paneles)

| Número Consecutivo | Ley de Corte en g | Tonelaje toneladas métricas | Ley Promedio del Superbloque sobre la Ley de Corte en g |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|---|
| 1 | 27 | 1 058 190 | 149 |
| 2 | 38 | 1 024 080 | 153 |
| 3 | 49 | 1 024 080 | 153 |
| 4 | 59 | 1 017 330 | 154 |
| 5 | 70 | 941 166 | 161 |
| 6 | 81 | 922 630 | 163 |
| 7 | 91 | 845 993 | 169 |
| 8 | 102 | 845 993 | 169 |
| 9 | 113 | 817 429 | 172 |
| 10 | 123 | 705 738 | 180 |
| 11 | 134 | 672 372 | 183 |
| 12 | 145 | 546 316 | 193 |
| 13 | 155 | 447 830 | 202 |
| 14 | 166 | 396 954 | 207 |
| 15 | 177 | 324 576 | 215 |
| 16 | 187 | 315 296 | 216 |
| 17 | 198 | 230 766 | 223 |
| 18 | 209 | 230 766 | 223 |
| 18 | 219 | 100 792 | 230 |
| 20 | 230 | 100 792 | 230 |

Figura 6.6 Gráfica del Tonelaje (TM) y Ley Promedio (g) sobre Ley de Corte (g)
 Variable: Uranio con Krigage Lognormal Coeficiente de Inesgamiento 1.00 Sector A
 (88 Paneles)



**Figura 6.7 Gráfica del Tonelaje (TM) y Ley Promedio (g) sobre Ley de Corte (g)
Variable: Uranio con Krigage Lognormal Coeficiente de Inssegamiento 1.00 Sector B
(48 Paneles)**



6.7 Descripción de las curvas de interpolación de los espesores y la ley de uranio de los 58 datos originales

Para la interpolación se empleó el programa de cómputo *Surfer versión 7*. Con relación al espesor predominan las curvas de 20 m, pero en el extremo superior izquierdo del superbloque se tiene un valor alto de más de 180 m que coincide con el barreno CB-11NR que cortó uranio con un espesor de 188.20 m. En la parte media del superbloque se tiene un valor anómalo de 40 a 60 m que concuerda con el sondeo CB-4NR con un espesor de 73.94 m. Sin embargo, en la porción oriental del superbloque no se tiene valores del espesor, excepto por dos porciones con espesor de 20 m (**Figura 6.8**).

Respecto a la ley predominan las curvas de las leyes de 80 a 100 g/t en la parte intermedia del superbloque, pero existe una zona, con dos altos con dirección NW-SE, con curvas de 240 a 360 g/t, que se ubica en el tercio superior del superbloque donde están los barrenos CB-9R y 104, con leyes de 287 y 347 g/t, correspondientemente. Asimismo, en la parte intermedia del superbloque se tienen, dos altos con dirección NE-SW, curvas de la 280 a la 420 g/t que coinciden con los barrenos CB-4NR y 99, que cortaron leyes de 425 y 376 g/t, respectivamente. Empero, en el tercio inferior del superbloque es donde los valores de la ley son bajos por la falta de información de más barrenos, con curvas con valor de 40 g/t (**Figura 6.9**).

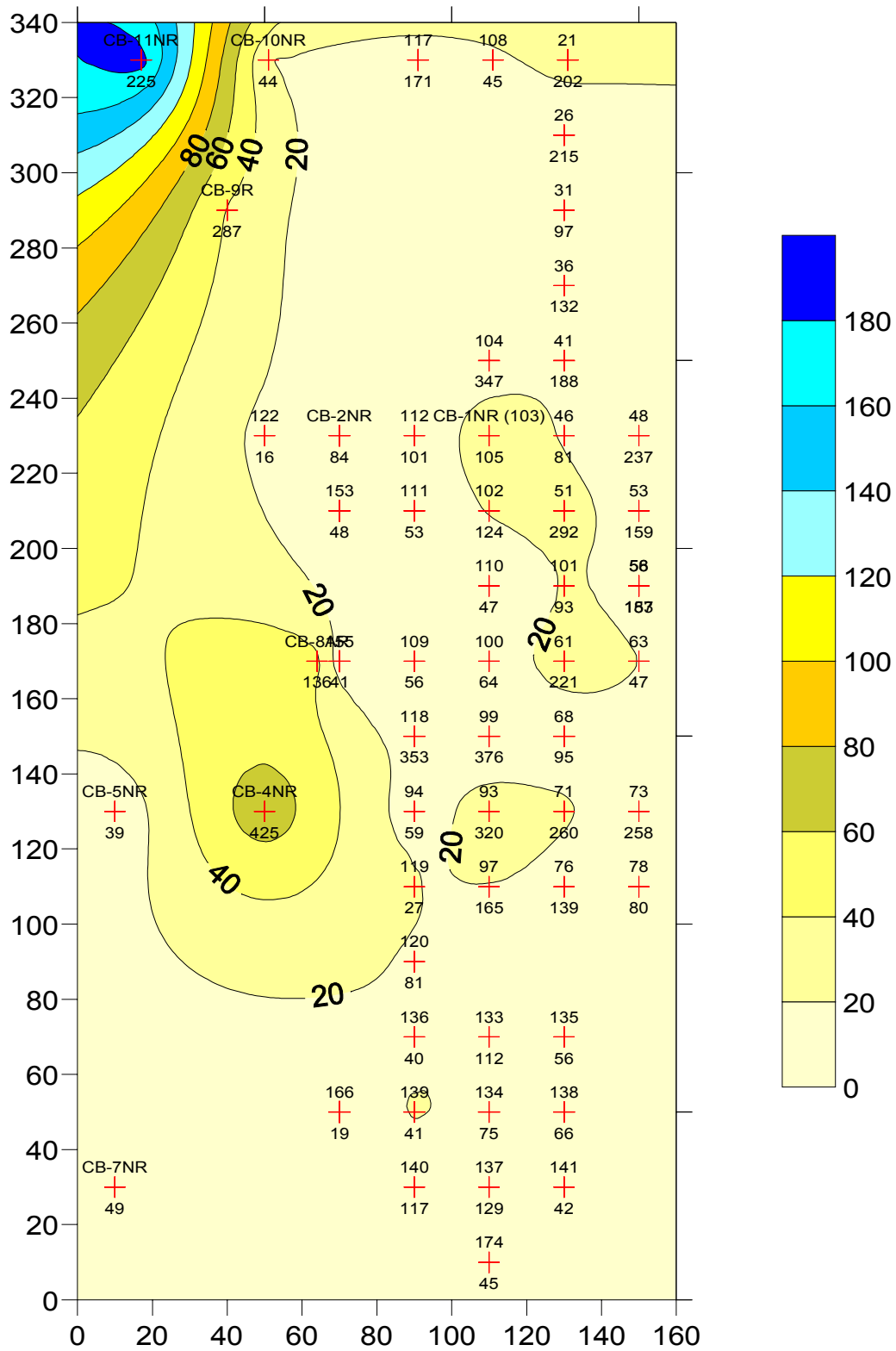


Figura 6.8 Datos originales del espesor del superbloque

6.8 Descripción de las curvas de interpolación de los espesores y desviaciones y las leyes de uranio y desviaciones calculados con el *krigeage* normal y lognormal

El objeto de efectuar la interpolación de las curvas de leyes de uranio y las desviaciones o errores de estimación es conocer la distribución geográfica de los valores calculados con el *krigeage* normal y lognormal con seis diferentes valores del coeficiente de insesgamiento, así como observar de manera gráfica las áreas con información de las zonas sin información. Una vez que se obtuvo el valor de la ley y su desviación con el *krigeage* normal y lognormal, se efectuó la interpolación de las curvas de la ley y desviación obtenidas por cada método de evaluación. Para la interpolación se empleó el programa de cómputo *Surfer versión 7*. A continuación se realiza una descripción de la interpolación de las curvas de la ley y desviación obtenidas por cada método de evaluación.

Tabla 6.11 (primera parte) Espesor del uranio con el barreno, valores del espesor y desviaciones con el *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0.

| No. | COORDENADAS | | NÚMERO DE BARRENO | ESPESOR DEL BARRENO m | VALOR DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | DESV. DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | VALORES DEL ESPESOR CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | | DESVIACIÓN DE LOS VALORES DEL ESPESOR CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | |
|-----|-------------|------|-------------------|-----------------------|---|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|------|------|------|------|------|
| | EN X | EN Y | | | | | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| 1 | 10 | 10 | | | 2.15 | 12.54 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 2 | 30 | 10 | | | 3 | 12.15 | 2.85 | 2.86 | 2.87 | 2.9 | 2.93 | 2.95 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 |
| 3 | 50 | 10 | | | 7.84 | 12 | 5.61 | 5.64 | 5.68 | 5.76 | 5.84 | 5.92 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| 4 | 70 | 10 | | | 8.75 | 11.31 | 7.2 | 7.24 | 7.29 | 7.38 | 7.46 | 7.55 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| 5 | 90 | 10 | | | 11.09 | 8.54 | 9.32 | 9.37 | 9.43 | 9.54 | 9.66 | 9.77 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 6 | 110 | 10 | 174 | 17.4 | 14.1 | 5.96 | 12.43 | 12.48 | 12.56 | 12.69 | 12.82 | 12.96 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| 7 | 130 | 10 | | | 14.56 | 8.61 | 13.11 | 13.17 | 13.26 | 13.42 | 13.57 | 13.73 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| 8 | 150 | 10 | | | 10.63 | 11.86 | 8.59 | 8.63 | 8.68 | 8.77 | 8.87 | 8.96 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| 9 | 10 | 30 | CB-7NR | 2.15 | 2.15 | 8.52 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| 10 | 30 | 30 | | | 3.19 | 10.11 | 3.02 | 3.03 | 3.05 | 3.08 | 3.12 | 3.15 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 11 | 50 | 30 | | | 5.68 | 10.68 | 4.84 | 4.87 | 4.91 | 4.97 | 5.04 | 5.1 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| 12 | 70 | 30 | | | 7.51 | 8.38 | 6.29 | 6.32 | 6.37 | 6.45 | 6.53 | 6.62 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 13 | 90 | 30 | 140 | 5.15 | 9.91 | 5.3 | 8.18 | 8.21 | 8.27 | 8.36 | 8.46 | 8.55 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 14 | 110 | 30 | 137 | 13.2 | 11.08 | 4.6 | 9.18 | 9.22 | 9.28 | 9.39 | 9.5 | 9.6 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 15 | 130 | 30 | 141 | 10.8 | 10.62 | 5.51 | 9.25 | 9.29 | 9.35 | 9.45 | 9.55 | 9.66 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 16 | 150 | 30 | | | 10.57 | 9.9 | 9.17 | 9.22 | 9.28 | 9.39 | 9.5 | 9.62 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| 17 | 10 | 50 | | | 2.86 | 10.84 | 2.74 | 2.77 | 2.76 | 2.78 | 2.8 | 2.83 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| 18 | 30 | 50 | | | 5.85 | 11.25 | 4.05 | 4.07 | 4.09 | 4.14 | 4.18 | 4.23 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| 19 | 50 | 50 | | | 5.76 | 9.8 | 4.8 | 4.83 | 4.86 | 4.92 | 4.99 | 5.05 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| 20 | 70 | 50 | 166 | 4.4 | 9.41 | 5.92 | 7.55 | 7.58 | 7.63 | 7.71 | 7.79 | 7.88 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| 21 | 90 | 50 | 139 | 22.05 | 13.32 | 4.6 | 9.89 | 9.93 | 10 | 10.11 | 10.23 | 10.35 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 22 | 110 | 50 | 134 | 12.55 | 9.6 | 4.52 | 7.1 | 7.13 | 7.18 | 7.27 | 7.35 | 7.44 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| 23 | 130 | 50 | 138 | 3.45 | 7.95 | 5.03 | 6.56 | 6.59 | 6.63 | 6.71 | 6.78 | 6.86 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 24 | 150 | 50 | | | 10.04 | 9.26 | 7.6 | 7.64 | 7.7 | 7.8 | 7.9 | 8 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 25 | 10 | 70 | | | 3.38 | 13.48 | 3.12 | 3.13 | 3.15 | 3.18 | 3.21 | 3.24 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 26 | 30 | 70 | | | 6.85 | 12.75 | 4.76 | 4.79 | 4.82 | 4.88 | 4.93 | 4.99 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 27 | 50 | 70 | | | 18.03 | 10.58 | 9.71 | 9.76 | 9.85 | 9.99 | 10.14 | 10.29 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 28 | 70 | 70 | | | 13.64 | 8.04 | 11.48 | 11.54 | 11.62 | 11.77 | 11.92 | 12.07 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 29 | 90 | 70 | 136 | 17.8 | 16.32 | 4.9 | 14.18 | 14.24 | 14.34 | 14.5 | 14.67 | 14.84 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 30 | 110 | 70 | 133 | 16.55 | 14.83 | 4.82 | 12.46 | 12.51 | 12.6 | 12.75 | 12.9 | 13.05 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 31 | 130 | 70 | 135 | 15.6 | 12.31 | 5.44 | 9.92 | 9.97 | 10.04 | 10.15 | 10.27 | 10.39 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 32 | 150 | 70 | | | 11.25 | 9.25 | 8.73 | 8.78 | 8.85 | 8.97 | 9.09 | 9.21 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 33 | 10 | 90 | | | 2.35 | 12.63 | 8.24 | 8.28 | 8.34 | 8.44 | 8.54 | 8.64 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 34 | 30 | 90 | | | 26.63 | 12.02 | 13.4 | 13.48 | 13.59 | 13.78 | 13.96 | 14.16 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| 35 | 50 | 90 | | | 26.69 | 11.01 | 16.14 | 16.23 | 16.38 | 16.62 | 16.87 | 17.12 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| 36 | 70 | 90 | | | 24.37 | 8.82 | 17.63 | 17.73 | 17.87 | 18.11 | 18.36 | 18.61 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| 37 | 90 | 90 | 120 | 18.25 | 19.31 | 5.18 | 18.18 | 18.26 | 18.39 | 18.6 | 18.82 | 19.04 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 38 | 110 | 90 | | | 17.42 | 6.37 | 16.82 | 16.91 | 17.04 | 17.25 | 17.47 | 17.7 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| 39 | 130 | 90 | | | 13.32 | 7.03 | 11.25 | 11.3 | 11.39 | 11.54 | 11.69 | 11.84 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| 40 | 150 | 90 | | | 9.83 | 8.6 | 6.93 | 6.96 | 7.02 | 7.11 | 7.2 | 7.3 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 41 | 10 | 110 | | | 27.72 | 10.88 | 12.71 | 12.75 | 12.81 | 12.91 | 13.01 | 13.11 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| 42 | 30 | 110 | | | 35.4 | 10.3 | 18.94 | 19.02 | 19.15 | 19.37 | 19.58 | 19.81 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 43 | 50 | 110 | | | 41.27 | 9.39 | 26.36 | 26.5 | 26.71 | 27.07 | 27.44 | 27.81 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 44 | 70 | 110 | | | 31.19 | 8.14 | 21.17 | 21.28 | 21.46 | 21.75 | 22.05 | 22.34 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 45 | 90 | 110 | 119 | 20.3 | 21.16 | 5 | 18.82 | 18.9 | 19.03 | 19.25 | 19.48 | 19.7 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |

Tabla 6.11 (segunda parte) Espesor del uranio con el barreno, valores del espesor y desviaciones con el *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0

| No. | COORDENADAS | | NÚMERO DE BARRENO | ESPESOR DEL BARRENO m | VALOR DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | DESV. DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | VALORES DEL ESPESOR CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | | DESVIACIÓN DE LOS VALORES DEL ESPESOR CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | |
|-----|-------------|------|-------------------|-----------------------|---|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|------|------|------|------|------|
| | EN X | EN Y | | | | | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| 46 | 110 | 110 | 97 | 19.6 | 19.69 | 4.82 | 18.47 | 18.55 | 18.68 | 18.9 | 19.12 | 19.34 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 47 | 130 | 110 | 76 | 12.6 | 14.54 | 4.92 | 11.76 | 11.82 | 11.9 | 12.04 | 12.18 | 12.32 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 48 | 150 | 110 | 78 | 2.1 | 8.03 | 5.57 | 5.95 | 5.98 | 6.02 | 6.09 | 6.16 | 6.23 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| 49 | 10 | 130 | CB-5NR | 4.9 | 21.1 | 7.28 | 10.13 | 10.15 | 10.19 | 10.26 | 10.33 | 10.4 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 50 | 30 | 130 | | | 36.4 | 7.98 | 17.77 | 17.85 | 17.97 | 18.18 | 18.4 | 18.61 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 51 | 50 | 130 | CB-4NR | 73.9 | 51.84 | 6.31 | 32.52 | 32.67 | 32.9 | 33.28 | 33.67 | 34.06 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 52 | 70 | 130 | | | 36.89 | 7.19 | 24.32 | 24.44 | 24.63 | 24.96 | 25.28 | 25.61 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| 53 | 90 | 130 | 94 | 11 | 19.53 | 4.93 | 15.66 | 15.73 | 15.84 | 16.02 | 16.21 | 16.4 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 54 | 110 | 130 | 93 | 30.6 | 19.79 | 4.51 | 16.68 | 16.75 | 16.87 | 17.07 | 17.26 | 17.46 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| 55 | 130 | 130 | 71 | 22.1 | 17.31 | 4.56 | 14.36 | 14.42 | 14.52 | 14.69 | 14.86 | 15.03 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 56 | 150 | 130 | 73 | 11.6 | 11.94 | 5.4 | 9.89 | 9.93 | 10.00 | 10.11 | 10.23 | 10.34 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 57 | 10 | 150 | | | 29.07 | 10.25 | 15.34 | 15.41 | 15.51 | 15.67 | 15.84 | 16.01 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 58 | 30 | 150 | | | 36.4 | 9.73 | 19.12 | 19.21 | 19.36 | 19.61 | 19.86 | 20.12 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| 59 | 50 | 150 | | | 44.48 | 8.13 | 26.13 | 26.26 | 26.47 | 26.82 | 27.17 | 27.53 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 60 | 70 | 150 | | | 31.23 | 6.85 | 17.66 | 17.75 | 17.89 | 18.12 | 18.35 | 18.59 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| 61 | 90 | 150 | 118 | 14.15 | 14.2 | 4.82 | 9.77 | 9.82 | 9.89 | 10 | 10.12 | 10.24 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 62 | 110 | 150 | 99 | 3.8 | 12.4 | 4.51 | 9.47 | 9.51 | 9.58 | 9.69 | 9.8 | 9.91 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| 63 | 130 | 150 | 68 | 11.95 | 16.27 | 4.73 | 14.27 | 14.33 | 14.43 | 14.6 | 14.77 | 14.94 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 64 | 150 | 150 | | | 15.78 | 6.94 | 14.4 | 14.48 | 14.59 | 14.77 | 14.96 | 15.15 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| 65 | 10 | 170 | | | 30.54 | 12.53 | 15.41 | 15.48 | 15.6 | 15.79 | 15.98 | 16.18 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 |
| 66 | 30 | 170 | | | 30.18 | 11.21 | 13.29 | 13.37 | 13.48 | 13.67 | 13.86 | 14.05 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| 67 | 50 | 170 | | | 33.66 | 8.18 | 19.28 | 19.38 | 19.53 | 19.79 | 20.05 | 20.31 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 68 | 70 | 170 | 155 | 5.4 | 22.3 | 4.68 | 11.31 | 11.36 | 11.43 | 11.56 | 11.69 | 11.82 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 69 | 90 | 170 | 109 | 1.9 | 8.13 | 4.81 | 5.33 | 5.35 | 5.39 | 5.45 | 5.52 | 5.58 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 70 | 110 | 170 | 100 | 14.6 | 11.1 | 4.55 | 8.23 | 8.27 | 8.33 | 8.42 | 8.52 | 8.62 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 71 | 130 | 170 | 61 | 26.4 | 18.61 | 4.55 | 15.86 | 15.94 | 16.05 | 16.23 | 16.42 | 16.61 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 72 | 150 | 170 | 63 | 20.1 | 18.32 | 5.23 | 17 | 17.08 | 17.2 | 17.4 | 17.6 | 17.8 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 73 | 10 | 190 | | | 23.2 | 13.02 | 15.55 | 15.63 | 15.74 | 15.94 | 16.14 | 16.34 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 |
| 74 | 30 | 190 | | | 21.08 | 12.12 | 13.52 | 13.58 | 13.69 | 13.86 | 14.03 | 14.2 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| 75 | 50 | 190 | | | 23.93 | 9.25 | 12.04 | 12.11 | 12.21 | 12.37 | 12.54 | 12.72 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 76 | 70 | 190 | | | 13.8 | 6.98 | 7.37 | 7.41 | 7.46 | 7.56 | 7.65 | 7.75 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| 77 | 90 | 190 | 110 | 3.7 | 6.51 | 6.34 | 4.86 | 4.88 | 4.92 | 4.98 | 5.05 | 5.11 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| 78 | 110 | 190 | 101 | 20.8 | 11.27 | 4.73 | 8.12 | 8.16 | 8.22 | 8.31 | 8.41 | 8.51 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 79 | 130 | 190 | 56 | 13.6 | 19 | 4.51 | 16.91 | 16.99 | 17.1 | 17.3 | 17.5 | 17.7 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| 80 | 150 | 190 | 58 | 15.1 | 16.81 | 4.59 | 16.16 | 16.24 | 16.35 | 16.53 | 16.72 | 16.91 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 81 | 10 | 210 | | | 10.31 | 14.71 | 8.46 | 8.48 | 8.52 | 8.58 | 8.64 | 8.7 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 |
| 82 | 30 | 210 | | | 16.73 | 11.21 | 11.54 | 11.59 | 11.68 | 11.83 | 11.98 | 12.13 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| 83 | 50 | 210 | | | 14.98 | 8.26 | 10 | 10.06 | 10.13 | 10.26 | 10.39 | 10.52 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 84 | 70 | 210 | 153 | 4.2 | 8.56 | 5.3 | 6 | 6.03 | 6.07 | 6.14 | 6.21 | 6.29 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 85 | 90 | 210 | 111 | 4.4 | 7.65 | 4.81 | 4.77 | 4.79 | 4.83 | 4.88 | 4.94 | 5 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 86 | 110 | 210 | 102 | 21.4 | 17.61 | 4.55 | 11.58 | 11.63 | 11.71 | 11.85 | 11.98 | 12.12 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 87 | 130 | 210 | 51 | 25.5 | 20.64 | 4.51 | 18.2 | 18.28 | 18.41 | 18.62 | 18.84 | 19.06 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| 88 | 150 | 210 | 53 | 13.8 | 13.93 | 4.87 | 12.65 | 12.7 | 12.79 | 12.94 | 13.08 | 13.23 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 89 | 10 | 230 | | | 14.76 | 14.83 | 14.72 | 14.75 | 14.81 | 14.9 | 14.99 | 15.08 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 |
| 90 | 30 | 230 | | | 10.8 | 10.96 | 6.6 | 6.62 | 6.66 | 6.72 | 6.78 | 6.84 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |

Tabla 6.11 (tercera parte) Espesor del uranio con el barreno, valores del espesor y desviaciones con el *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0

| No. | COORDENADAS | | NÚMERO DE BARRENO | LEY DE URANIO DEL BARRENO g/t | VALOR DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | DESV. DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | VALORES DEL ESPESOR CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | | DESVIACIÓN DE LOS VALORES DEL ESPESOR CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | |
|-----|-------------|------|-------------------|-------------------------------|---|---|--|-------|-------|-------|-------|--------|--|------|------|------|------|------|
| | EN X | EN Y | | | | | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| 91 | 50 | 230 | 122 | 15.4 | 14.68 | 6.23 | 11.74 | 11.78 | 11.85 | 11.96 | 12.08 | 12.19 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 92 | 70 | 230 | CB-2NR | 13.85 | 9.88 | 5.05 | 6.45 | 6.48 | 6.52 | 6.6 | 6.67 | 6.74 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 93 | 90 | 230 | 112 | 0.55 | 9.55 | 4.87 | 3.93 | 3.95 | 3.98 | 4.02 | 4.07 | 4.12 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 94 | 110 | 230 | CB-1NR (103) | 34.6 | 20.47 | 4.55 | 11.87 | 11.93 | 12.01 | 12.15 | 12.29 | 12.43 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 95 | 130 | 230 | 46 | 17.69 | 18.75 | 4.57 | 15.8 | 15.88 | 15.99 | 16.16 | 16.36 | 16.54 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 96 | 150 | 230 | 48 | 4.4 | 9.92 | 5.45 | 8.29 | 8.33 | 8.38 | 8.48 | 8.57 | 8.67 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 97 | 10 | 250 | | | 26.45 | 13.58 | 23.95 | 24.04 | 24.17 | 24.4 | 24.63 | 24.86 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 98 | 30 | 250 | | | 22.08 | 11.2 | 17.67 | 17.75 | 17.87 | 18.08 | 18.29 | 18.51 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| 99 | 50 | 250 | | | 18.67 | 9.23 | 13.71 | 13.78 | 13.88 | 14.06 | 14.24 | 14.42 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 100 | 70 | 250 | | | 15.06 | 8.9 | 9.37 | 9.42 | 9.5 | 9.62 | 9.75 | 9.88 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| 101 | 90 | 250 | | | 10.43 | 7.98 | 5.91 | 5.94 | 5.99 | 6.06 | 6.14 | 6.22 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 102 | 110 | 250 | 104 | 8.4 | 12.78 | 5.29 | 9.06 | 9.1 | 9.16 | 9.26 | 9.37 | 9.48 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 103 | 130 | 250 | 41 | 16.1 | 13.7 | 4.9 | 11.98 | 12.04 | 12.12 | 12.26 | 12.4 | 12.54 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 104 | 150 | 250 | | | 10.61 | 8.04 | 9.63 | 9.68 | 9.75 | 9.88 | 10 | 10.12 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 105 | 10 | 270 | | | 28.49 | 13.08 | 25.74 | 25.84 | 25.98 | 26.22 | 26.46 | 26.71 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 |
| 106 | 30 | 270 | | | 28.54 | 10.59 | 25.17 | 25.27 | 25.42 | 25.69 | 25.96 | 26.23 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| 107 | 50 | 270 | | | 25.32 | 10.03 | 15.11 | 15.18 | 15.29 | 15.47 | 15.65 | 15.83 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 108 | 70 | 270 | | | 19.68 | 10.84 | 12.64 | 12.71 | 12.83 | 13.01 | 13.2 | 13.4 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| 109 | 90 | 270 | | | 12.87 | 10.28 | 8.96 | 9.02 | 9.1 | 9.23 | 9.37 | 9.52 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 110 | 110 | 270 | | | 9.73 | 7.97 | 8.82 | 8.86 | 8.93 | 9.05 | 9.16 | 9.28 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 111 | 130 | 270 | 36 | 9.2 | 10.46 | 5.32 | 9.61 | 9.65 | 9.71 | 9.82 | 9.93 | 10.04 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 112 | 150 | 270 | | | 11.35 | 9.08 | 9.98 | 10.03 | 10.1 | 10.24 | 10.37 | 10.5 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 113 | 10 | 290 | | | 84.76 | 11.58 | 57.11 | 57.36 | 57.73 | 58.36 | 59 | 59.65 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| 114 | 30 | 290 | | | 65.97 | 8.09 | 48.85 | 49.03 | 49.3 | 49.76 | 50.23 | 50.7 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 115 | 50 | 290 | CB-9R | 38.3 | 41.85 | 7.67 | 33.03 | 33.18 | 33.41 | 33.79 | 34.18 | 34.57 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |
| 116 | 70 | 290 | | | 22.56 | 10.46 | 19.36 | 19.48 | 19.66 | 19.95 | 20.25 | 20.56 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 117 | 90 | 290 | | | 15.74 | 10.69 | 11.11 | 11.18 | 11.29 | 11.47 | 11.65 | 11.83 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| 118 | 110 | 290 | | | 11.69 | 8.77 | 10.73 | 10.78 | 10.87 | 11.02 | 11.16 | 11.32 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| 119 | 130 | 290 | 31 | 12.5 | 10.72 | 5.44 | 9.91 | 9.95 | 10.02 | 10.13 | 10.24 | 10.35 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 120 | 150 | 290 | | | 10.76 | 9.22 | 9.36 | 9.41 | 9.48 | 9.61 | 9.73 | 9.86 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 121 | 10 | 310 | | | 114 | 9.99 | 77.6 | 77.63 | 76.81 | 77.63 | 78.45 | 79.28 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 122 | 30 | 310 | | | 87.12 | 8.13 | 57.22 | 57.47 | 57.86 | 58.51 | 59.17 | 59.84 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 123 | 50 | 310 | | | 47.45 | 8.04 | 34.07 | 34.22 | 34.48 | 34.89 | 35.32 | 35.74 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 124 | 70 | 310 | | | 30.3 | 9.47 | 21.93 | 22.05 | 22.22 | 22.53 | 22.84 | 23.15 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| 125 | 90 | 310 | | | 17.13 | 9.1 | 15.35 | 15.43 | 15.56 | 15.78 | 15.99 | 16.21 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 126 | 110 | 310 | | | 12.91 | 7.61 | 11.29 | 11.35 | 11.43 | 11.58 | 11.73 | 11.88 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |
| 127 | 130 | 310 | 26 | 4.3 | 12.02 | 5.31 | 9.7 | 9.74 | 9.8 | 9.91 | 10.02 | 10.13 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 128 | 150 | 310 | | | 13.54 | 9.46 | 10.71 | 10.76 | 10.83 | 10.96 | 11.08 | 11.2 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| 129 | 10 | 330 | CB-11NR | 188.2 | 140.15 | 7.82 | 97.35 | 97.68 | 98.2 | 99.05 | 99.92 | 100.79 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 130 | 30 | 330 | | | 108.11 | 7.07 | 66.97 | 67.24 | 67.65 | 68.34 | 69.04 | 69.74 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| 131 | 50 | 330 | CB-10 NR | 20.75 | 48.12 | 6.36 | 31.46 | 31.59 | 31.79 | 32.12 | 32.46 | 32.8 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 132 | 70 | 330 | 149 | | 26.8 | 7.95 | 22.36 | 22.46 | 22.62 | 22.89 | 23.16 | 23.43 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 133 | 90 | 330 | 117 | 15.4 | 16.45 | 6.12 | 16 | 16.07 | 16.17 | 16.34 | 16.51 | 16.69 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 134 | 110 | 330 | 108 | 17.4 | 17.43 | 5.35 | 15.92 | 15.99 | 16.09 | 16.26 | 16.44 | 16.61 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 135 | 130 | 330 | 21 | 27.3 | 19.43 | 5.65 | 15.66 | 15.72 | 15.82 | 15.98 | 16.14 | 16.3 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.19 |
| 136 | 150 | 330 | 23 | | 18.45 | 9.93 | 14.75 | 14.82 | 14.91 | 15.07 | 15.24 | 15.4 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |

Tabla 6.12 (primera parte) Ley de uranio con el barreno, valores del uranio y desviaciones con el *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0

| No. | COORDENADAS | | NÚMERO DE BARRENO | LEY DE URANIO DEL BARRENO g/t | VALOR DE LA LEY CON KRIGEAGE NORMAL g/t | DESV. DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | VALORES DE URANIO CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | | DESVIACIÓN DE LOS VALORES DE URANIO CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | |
|-----|-------------|------|-------------------|-------------------------------|---|---|--|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|
| | EN X | EN Y | | | | | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| 1 | 10 | 10 | | | 49 | 289 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 2 | 30 | 10 | | | 32 | 133 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 3 | 50 | 10 | | | 53 | 83 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 70 | 10 | 168 | | 69 | 90 | 48 | 48 | 48 | 47 | 47 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 5 | 90 | 10 | 173 | | 63 | 49 | 63 | 63 | 63 | 62 | 62 | 62 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 110 | 10 | 174 | 45 | 60 | 26 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 130 | 10 | 175 | | 51 | 31 | 53 | 53 | 53 | 53 | 52 | 52 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 150 | 10 | | | 56 | 63 | 51 | 51 | 51 | 50 | 50 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | 10 | 30 | CB-7NR | 49 | 49 | 197 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 10 | 30 | 30 | 171 | | 64 | 203 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 11 | 50 | 30 | | | 83 | 156 | 36 | 36 | 35 | 35 | 35 | 35 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 12 | 70 | 30 | 167 | | 71 | 80 | 42 | 42 | 42 | 41 | 41 | 41 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 13 | 90 | 30 | 140 | 117 | 77 | 41 | 73 | 73 | 73 | 73 | 72 | 72 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 110 | 30 | 137 | 129 | 79 | 33 | 86 | 85 | 85 | 85 | 85 | 84 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 130 | 30 | 141 | 42 | 64 | 33 | 54 | 54 | 54 | 54 | 53 | 53 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 150 | 30 | 142 | | 64 | 61 | 55 | 55 | 55 | 55 | 54 | 54 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 17 | 10 | 50 | | | 34 | 132 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 18 | 30 | 50 | CB-6R | | 45 | 88 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 19 | 50 | 50 | | | 70 | 120 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 20 | 70 | 50 | 166 | 19 | 57 | 36 | 27 | 27 | 27 | 26 | 26 | 26 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | 90 | 50 | 139 | 41 | 55 | 19 | 52 | 52 | 52 | 51 | 51 | 51 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | 110 | 50 | 134 | 75 | 82 | 39 | 67 | 67 | 67 | 67 | 66 | 66 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | 130 | 50 | 138 | 66 | 82 | 52 | 56 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | 150 | 50 | | | 58 | 54 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 25 | 10 | 70 | | | 43 | 174 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 26 | 30 | 70 | | | 39 | 73 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 27 | 50 | 70 | | | 255 | 150 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 28 | 70 | 70 | | | 60 | 36 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 29 | 90 | 70 | 136 | 40 | 58 | 18 | 52 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 30 | 110 | 70 | 133 | 112 | 80 | 26 | 86 | 85 | 85 | 85 | 84 | 84 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 31 | 130 | 70 | 135 | 56 | 82 | 36 | 72 | 72 | 72 | 71 | 71 | 71 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 32 | 150 | 70 | | | 91 | 75 | 68 | 68 | 68 | 67 | 67 | 67 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 33 | 10 | 90 | | | 402 | 216 | 79 | 78 | 78 | 78 | 78 | 78 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 34 | 30 | 90 | | | 331 | 149 | 76 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 35 | 50 | 90 | | | 255 | 105 | 70 | 70 | 69 | 69 | 69 | 69 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 36 | 70 | 90 | 164 | | 212 | 77 | 61 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 37 | 90 | 90 | 120 | 81 | 120 | 32 | 66 | 66 | 66 | 66 | 65 | 65 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 38 | 110 | 90 | 93 | | 98 | 36 | 101 | 101 | 100 | 100 | 100 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 39 | 130 | 90 | 81 | | 107 | 57 | 87 | 87 | 87 | 87 | 86 | 86 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 40 | 150 | 90 | 83 | | 148 | 129 | 71 | 71 | 71 | 70 | 70 | 70 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 41 | 10 | 110 | | | 436 | 171 | 73 | 73 | 73 | 72 | 72 | 72 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 42 | 30 | 110 | | | 344 | 100 | 97 | 97 | 97 | 97 | 96 | 96 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 43 | 50 | 110 | | | 298 | 68 | 171 | 171 | 171 | 170 | 169 | 169 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 44 | 70 | 110 | 163 | | 254 | 66 | 81 | 81 | 81 | 81 | 80 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 45 | 90 | 110 | 119 | 27 | 161 | 38 | 57 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

Tabla 6.12 (segunda parte) Ley de uranio con el barreno, valores del uranio y desviaciones con el *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con el coeficiente de incesgamiento de 0.0 a 1.0

| No. | COORDENADAS | | NÚMERO DE BARRENO | LEY DE URANIO DEL BARRENO g/t | VALOR DE LA LEY CON KRIGEAGE NORMAL g/t | DESV. DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | VALORES DE URANIO CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | | DESVIACIÓN DE LOS VALORES DE URANIO CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | |
|-----|-------------|------|-------------------|-------------------------------|---|---|--|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|
| | EN X | EN Y | | | | | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| 46 | 110 | 110 | 97 | 165 | 155 | 38 | 133 | 133 | 133 | 132 | 131 | 131 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 47 | 130 | 110 | 76 | 139 | 185 | 63 | 145 | 145 | 145 | 144 | 143 | 143 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 48 | 150 | 110 | 78 | 80 | 196 | 136 | 85 | 85 | 84 | 84 | 84 | 83 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 49 | 10 | 130 | CB-5NR | 39 | 473 | 163 | 53 | 53 | 53 | 52 | 52 | 52 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 50 | 30 | 130 | | | 328 | 72 | 125 | 125 | 124 | 124 | 123 | 123 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 51 | 50 | 130 | CB-4NR | 425 | 309 | 38 | 287 | 286 | 286 | 284 | 283 | 282 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 52 | 70 | 130 | | | 283 | 55 | 151 | 150 | 150 | 149 | 149 | 148 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 53 | 90 | 130 | 94 | 59 | 244 | 62 | 106 | 106 | 105 | 105 | 104 | 104 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 54 | 110 | 130 | 93 | 320 | 228 | 52 | 227 | 227 | 226 | 226 | 225 | 224 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 55 | 130 | 130 | 71 | 260 | 221 | 58 | 233 | 233 | 232 | 231 | 230 | 229 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 56 | 150 | 130 | 73 | 258 | 208 | 94 | 162 | 161 | 161 | 160 | 160 | 159 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 57 | 10 | 150 | | | 330 | 116 | 70 | 70 | 69 | 69 | 69 | 69 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 58 | 30 | 150 | | | 306 | 82 | 141 | 141 | 140 | 140 | 140 | 139 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 59 | 50 | 150 | | | 265 | 48 | 237 | 236 | 236 | 235 | 234 | 233 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 60 | 70 | 150 | | | 261 | 57 | 170 | 170 | 169 | 168 | 168 | 167 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 61 | 90 | 150 | 118 | 353 | 280 | 95 | 172 | 172 | 171 | 171 | 170 | 169 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 62 | 110 | 150 | 99 | 376 | 252 | 92 | 209 | 208 | 208 | 207 | 206 | 205 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 63 | 130 | 150 | 66 | 95 | 188 | 55 | 157 | 156 | 156 | 155 | 155 | 154 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 64 | 150 | 150 | 68 | | 161 | 71 | 126 | 126 | 126 | 125 | 125 | 124 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 65 | 10 | 170 | | | 306 | 126 | 87 | 87 | 87 | 87 | 86 | 86 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 66 | 30 | 170 | | | 255 | 95 | 115 | 115 | 114 | 114 | 114 | 113 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 67 | 50 | 170 | | | 184 | 45 | 123 | 123 | 123 | 122 | 122 | 121 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 68 | 70 | 170 | 155 | 41 | 185 | 39 | 80 | 80 | 79 | 79 | 79 | 78 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 69 | 90 | 170 | 109 | 56 | 220 | 130 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 58 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 70 | 110 | 170 | 100 | 64 | 160 | 66 | 91 | 91 | 90 | 90 | 90 | 89 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 71 | 130 | 170 | 61 | 221 | 140 | 34 | 125 | 125 | 125 | 124 | 124 | 123 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 72 | 150 | 170 | 63 | 47 | 124 | 35 | 93 | 93 | 93 | 93 | 92 | 92 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 73 | 10 | 190 | | | 102 | 58 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 74 | 30 | 190 | | | 93 | 53 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 55 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 75 | 50 | 190 | | | 178 | 69 | 76 | 75 | 75 | 75 | 75 | 74 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 76 | 70 | 190 | 154 | | 111 | 56 | 50 | 50 | 50 | 50 | 49 | 49 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 77 | 90 | 190 | 110 | 47 | 138 | 135 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 78 | 110 | 190 | 101 | 93 | 148 | 62 | 61 | 61 | 61 | 61 | 60 | 60 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 79 | 130 | 190 | 56 | 153 | 145 | 35 | 120 | 120 | 119 | 119 | 118 | 118 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 80 | 150 | 190 | 58 | 187 | 151 | 41 | 139 | 138 | 138 | 137 | 137 | 136 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 81 | 10 | 210 | | | 22 | 33 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 | 26 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 82 | 30 | 210 | | | 80 | 54 | 37 | 37 | 36 | 36 | 36 | 36 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 83 | 50 | 210 | | | 76 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 42 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 84 | 70 | 210 | 153 | 48 | 104 | 65 | 49 | 49 | 49 | 48 | 48 | 48 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 85 | 90 | 210 | 111 | 53 | 126 | 80 | 56 | 56 | 56 | 55 | 55 | 55 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 86 | 110 | 210 | 102 | 124 | 132 | 34 | 106 | 106 | 106 | 105 | 105 | 104 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 87 | 130 | 210 | 51 | 292 | 165 | 36 | 179 | 179 | 179 | 178 | 177 | 176 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 88 | 150 | 210 | 53 | 159 | 186 | 65 | 174 | 174 | 173 | 172 | 172 | 171 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 89 | 10 | 230 | 160 | | 44 | 45 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 90 | 30 | 230 | CB-3NR | | 31 | 32 | 28 | 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tabla 6.12 (tercera parte) Ley de uranio con el barreno, valores del uranio y desviaciones con el *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con el coeficiente de insesgamiento de 0.0 a 1.0

| No. | COORDENADAS | | NÚMERO DE BARRENO | LEY DE URANIO DEL BARRENO g/t | VALOR DE LA LEY CON KRIGEAGE NORMAL g/t | DESV. DEL ESPESOR CON KRIGEAGE NORMAL m | VALORES DE URANIO CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | | DESVIACIÓN DE LOS VALORES DE URANIO CON KRIGEAGE LOGNORMAL m | | | | | |
|-----|-------------|------|-------------------|-------------------------------|---|---|--|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|
| | EN X | EN Y | | | | | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| 91 | 50 | 230 | 122 | 16 | 48 | 21 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 92 | 70 | 230 | CB-2NR | 84 | 73 | 37 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 59 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 93 | 90 | 230 | 112 | 101 | 128 | 65 | 79 | 78 | 78 | 78 | 78 | 77 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 94 | 110 | 230 | CB-1NR (103) | 105 | 124 | 28 | 144 | 144 | 143 | 143 | 142 | 141 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 95 | 130 | 230 | 46 | 81 | 147 | 36 | 155 | 155 | 155 | 154 | 153 | 153 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 96 | 150 | 230 | 48 | 237 | 198 | 109 | 153 | 153 | 152 | 152 | 151 | 150 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 97 | 10 | 250 | | | 207 | 107 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 63 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 98 | 30 | 250 | | | 177 | 90 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 99 | 50 | 250 | | | 157 | 78 | 72 | 72 | 72 | 71 | 71 | 71 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 100 | 70 | 250 | 152 | | 161 | 95 | 93 | 93 | 92 | 92 | 92 | 91 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 101 | 90 | 250 | 113 | | 171 | 131 | 130 | 130 | 129 | 129 | 128 | 128 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 102 | 110 | 250 | 104 | 347 | 178 | 74 | 199 | 199 | 198 | 197 | 197 | 196 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| 103 | 130 | 250 | 41 | 188 | 162 | 59 | 176 | 176 | 175 | 175 | 174 | 173 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 104 | 150 | 250 | 43 | | 178 | 135 | 152 | 151 | 151 | 151 | 150 | 149 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 105 | 10 | 270 | | | 217 | 100 | 87 | 87 | 86 | 86 | 86 | 86 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 106 | 30 | 270 | | | 212 | 79 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 121 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 107 | 50 | 270 | | | 207 | 82 | 129 | 129 | 128 | 128 | 128 | 127 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 108 | 70 | 270 | 151 | | 193 | 107 | 136 | 136 | 136 | 135 | 135 | 134 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 109 | 90 | 270 | 114 | | 205 | 164 | 149 | 149 | 149 | 148 | 148 | 147 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 110 | 110 | 270 | 105 | | 189 | 155 | 184 | 184 | 183 | 183 | 182 | 181 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 111 | 130 | 270 | 36 | 132 | 173 | 88 | 151 | 151 | 150 | 150 | 149 | 149 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 112 | 150 | 270 | 38 | | 150 | 120 | 145 | 145 | 145 | 144 | 144 | 143 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 113 | 10 | 290 | | | 224 | 31 | 198 | 198 | 197 | 197 | 196 | 196 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 114 | 30 | 290 | | | 249 | 31 | 220 | 219 | 219 | 218 | 218 | 217 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 115 | 50 | 290 | CB-9R | 287 | 249 | 46 | 166 | 166 | 165 | 165 | 164 | 163 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 116 | 70 | 290 | 150 | | 188 | 87 | 156 | 156 | 156 | 155 | 155 | 154 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 117 | 90 | 290 | 115 | | 184 | 125 | 149 | 148 | 148 | 148 | 147 | 147 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 118 | 110 | 290 | 106 | | 157 | 118 | 128 | 128 | 128 | 127 | 127 | 126 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 119 | 130 | 290 | 31 | 97 | 147 | 75 | 123 | 123 | 123 | 122 | 122 | 121 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 120 | 150 | 290 | 33 | | 159 | 137 | 141 | 141 | 141 | 140 | 140 | 140 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 121 | 10 | 310 | | | 205 | 18 | 221 | 221 | 221 | 220 | 220 | 219 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 122 | 30 | 310 | | | 219 | 20 | 174 | 174 | 174 | 173 | 173 | 172 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 123 | 50 | 310 | | | 241 | 41 | 118 | 118 | 118 | 117 | 117 | 116 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 124 | 70 | 310 | 123 | | 236 | 74 | 120 | 120 | 120 | 119 | 119 | 118 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 125 | 90 | 310 | 116 | | 161 | 86 | 119 | 119 | 118 | 118 | 118 | 117 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 126 | 110 | 310 | 107 | | 145 | 86 | 114 | 114 | 114 | 113 | 113 | 113 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 127 | 130 | 310 | 26 | 215 | 168 | 74 | 142 | 142 | 142 | 141 | 141 | 140 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 128 | 150 | 310 | 28 | | 158 | 110 | 156 | 156 | 155 | 155 | 154 | 154 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 129 | 10 | 330 | CB-11NR | 225 | 195 | 11 | 233 | 233 | 232 | 232 | 231 | 230 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 130 | 30 | 330 | | | 202 | 13 | 139 | 139 | 138 | 138 | 138 | 137 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 131 | 50 | 330 | CB-10 NR | 44 | 220 | 29 | 70 | 70 | 70 | 70 | 69 | 69 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 132 | 70 | 330 | 149 | | 237 | 70 | 84 | 83 | 83 | 83 | 83 | 82 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 133 | 90 | 330 | 117 | 171 | 120 | 45 | 111 | 111 | 110 | 110 | 109 | 109 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 134 | 110 | 330 | 108 | 45 | 121 | 37 | 91 | 91 | 91 | 90 | 90 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 135 | 130 | 330 | 21 | 202 | 150 | 44 | 161 | 161 | 161 | 160 | 159 | 159 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 136 | 150 | 330 | 23 | | 159 | 86 | 195 | 194 | 194 | 193 | 193 | 192 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

6.8.1 *Krigeage* Normal

6.8.1.1 Evaluación de los espesores y desviaciones con el *krigeage* normal

En general, predominan las curvas con espesor de 20 a 30 m, pero en el extremo superior izquierdo del superbloque se tiene un valor alto de más de 140 m que coincide con el barreno CB-11NR que cortó uranio con un espesor de 140.15 m. En la parte media del superbloque se tiene un valor anómalo de 30 a 50 m que concuerda con el sondeo CB-4NR con un espesor de 51.84 m (**Figura 6.10**).

Con relación a la desviación del espesor las curvas que predominan son las que tienen un valor de 4 a 7 m, existen dos valores altos, el primero de ellos se presenta en el tercio superior del lado izquierdo del superbloque con un valor superior a 15 m que cae en las coordenadas (10, 210) y (10, 230) y con desviaciones del espesor de 14.71 y 14.83 m, respectivamente. El segundo valor alto está en el tercio inferior izquierdo del superbloque que coincide con las coordenadas de (10,70) y (10,90) con desviaciones del espesor de 13.48 y 12.63 m, respectivamente. Los dos valores altos están en zonas donde no se tienen barrenos y no hay datos, así como se está cerca de los límites del superbloque donde no existe información (**Figura 6.11**).

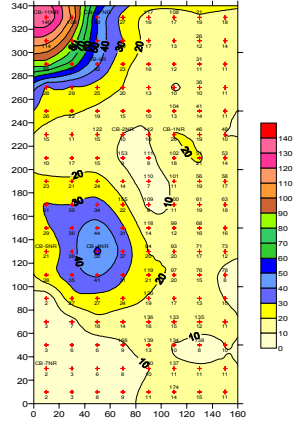


FIGURA D.1 ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE NORMAL

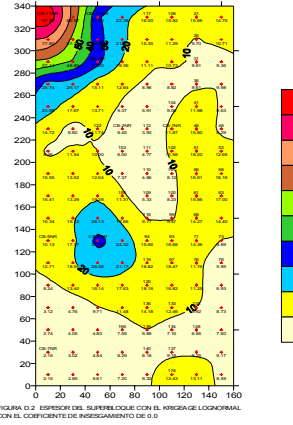


FIGURA D.2 ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.0

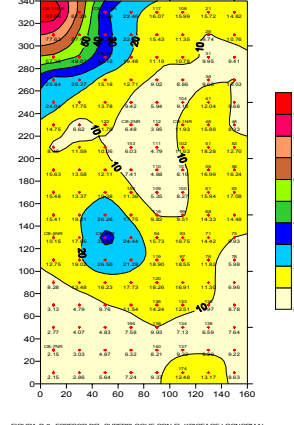


FIGURA D.3 ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.10

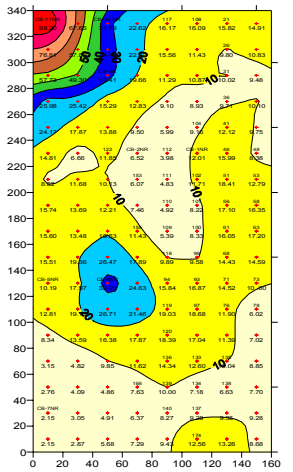


FIGURA D.4 ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.25

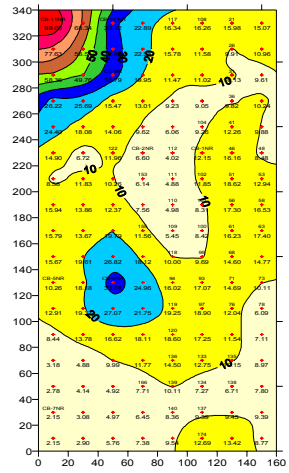


FIGURA D.5 ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.50

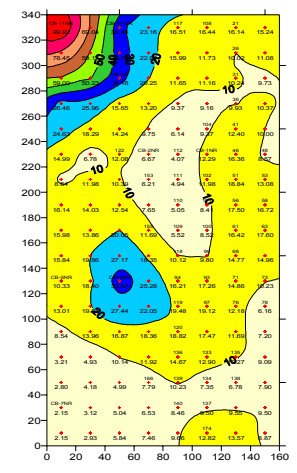


FIGURA D.6 ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.75

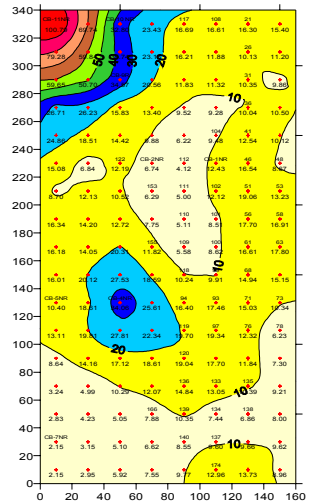


FIGURA D.7 ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 1.00

Figura 6.10 Espesor total con el *krigeage* normal y lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0

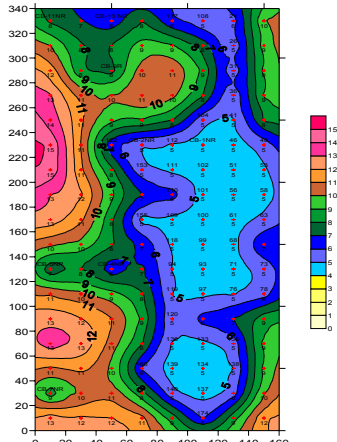


FIGURA D-8 DESVIACIÓN DEL ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE NORMAL

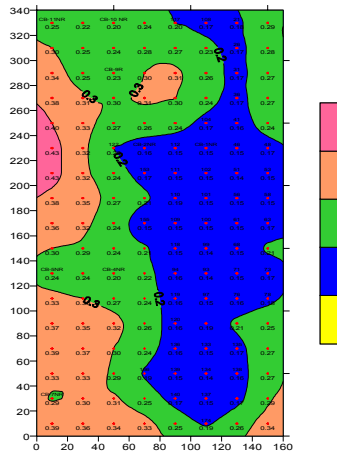


FIGURA D-9 DESVIACIÓN DEL ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INHOMOGENEIDAD DE 0.0

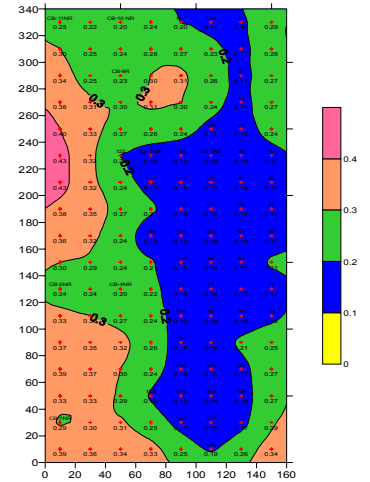


FIGURA D-10 DESVIACIÓN DEL ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INHOMOGENEIDAD DE 0.10

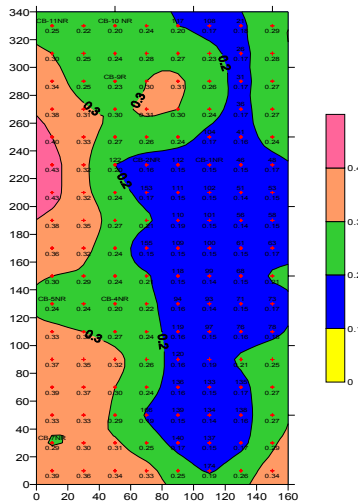


FIGURA D-11 DESVIACIÓN DEL ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INHOMOGENEIDAD DE 0.25

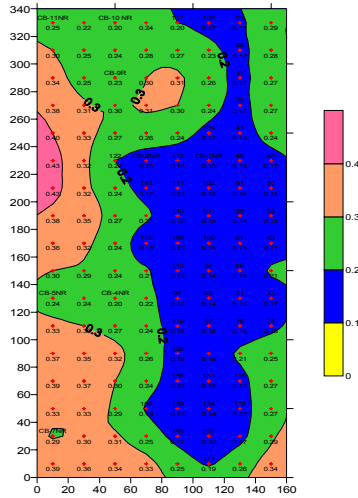


FIGURA D-12 DESVIACIÓN DEL ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INHOMOGENEIDAD DE 0.50

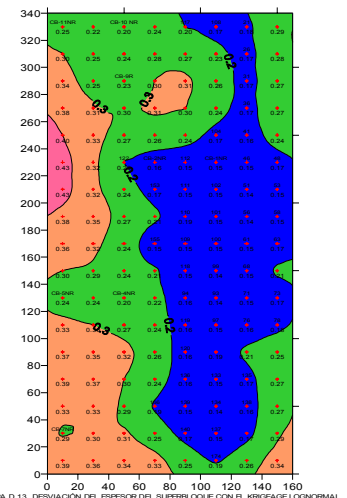


FIGURA D-13 DESVIACIÓN DEL ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INHOMOGENEIDAD DE 0.75

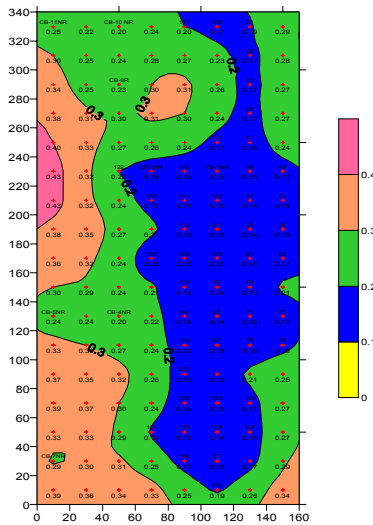


FIGURA D-14 DESVIACIÓN DEL ESPESOR DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INHOMOGENEIDAD DE 1.00

Figura 6.11 Desviación del espesor total con el *krigeage* normal y lognormal con el coeficiente de inhomogeneidad de 0.0 a 1.0

6.8.1.2 Evaluación de las leyes y desviaciones con el *krigeage* normal

De manera general, en el superbloque predominan las curvas de las leyes de 100 a 150 g/t, pero existen una zona con curvas de 350 a 450 g/t, que se ubica en el tercio inferior del superbloque donde están los barrenos CB-5NR y CB-4NR (**Figura 6.13**).

En el barreno CB-5NR, con el cálculo con el *krigeage* normal, se tiene un valor alto de uranio de 473 g/t y la desviación del valor de uranio es de 163 g/t, pero el barreno cortó ley de 39 g/t (**Tabla 6.1**). La explicación de este alto es que hay un sesgo hacia la porción oeste del superbloque (con coordenadas de 0,0 y 50,0 a 0,340 y 340,0), que es la porción más desconocida por carecer de barrenos con valores de uranio y donde los valores de la desviación de la ley son muy altos por arriba del 1 200% (473/39), pues el barreno CB-4NR fue el que cortó la ley más alta de 425 g/t (**Figura 6.13**).

De la parte central hacia la porción oriental del superbloque, que es la zona donde se tiene los barrenos con las leyes de uranio conocidas, los valores de la ley fluctúan de los 150 a 250 g/t, *grosso modo* coinciden con los valores cortados por los barrenos y las desviaciones de los valores de uranio de 50 a 100 g/t.

En cuanto a la desviación de la ley en el superbloque las curvas que prevalecen son las de 60 a 120 g/t, que son valores demasiado altos, la explicación es que de los 136 barrenos que conforman el superbloque, 43 barrenos no tienen valor de uranio y hay 36 barrenos sin perforar, lo que suman 79 barrenos sin información de la ley. Así, en muchos casos el valor de la desviación de la ley rebasa en un 100% el valor que se calculó con el *krigeage* normal. En los 58 barrenos que cortaron uranio la desviación de la ley es de un 27 a 60%, que son porcentajes altos debido a que los barrenos con ley están rodeados por los barrenos sin ley o carecen de información de la ley, lo que provoca fuertes sesgos a los valores calculados de las leyes con el *krigeage* normal, lo que confirma que los valores de uranio no siguen una distribución normal (**Figura 6.14**).

Además, se tiene dos valores altos de la desviación de la ley, el primero de ellos se ubica en el tercio inferior izquierdo del superbloque que coincide con las coordenadas de (10,90) con desviaciones de ley de 216 g/t. El segundo valor alto se localiza en el extremo inferior izquierdo del superbloque que concuerda con las coordenadas (10,10), con desviaciones de ley de 289 g/t (**Figura 6.14**).

6.8.2 *Krigeage* Lognormal

6.8.2.1 Evaluación de los espesores y desviaciones con el *krigeage* lognormal

En la interpolación de los valores del espesor de uranio calculados con el *krigeage* lognormal el coeficiente de inescamamiento se varió con seis valores que fueron: 0.0, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 (**Figura 6.12**). De manera general, en las seis figuras coinciden las curvas del espesor, sobre todo en el extremo superior izquierdo del superbloque, próximo al barreno CB-11NR se tiene una zona con espesor de 90 m, pues el barreno cortó un espesor de 188.2 m, pero los valores que se calcularon, con el *krigeage* lognormal con los seis coeficientes de inescamamiento, fueron de 97.35 a 100.39 m. Asimismo, en la parte intermedia del

superbloque se tiene un valor anómalo persistente de 20 a 40 m que concuerda con el barreno CB-4NR que cortó un espesor de 73.9 m, pero los espesores calculados, con el *krigeage* lognormal con los seis coeficientes de insesgamiento, fueron de 32.52 a 34.06 m (**Figura 6.12**).

En general, la desviación del espesor, con el *krigeage* lognormal con los seis coeficientes de insesgamiento, es muy baja como se puede observar en las curvas con valores que van de 0.2 a 0.4 m, lo que confirma que los valores de uranio siguen una distribución lognormal (**Figura 6.13**), excepto un valor anómalo alto en el tercio superior izquierdo del superbloque que concuerda con las coordenadas (10,210) y (10,230), muy próxima pasa la curva de 0.4, que coincide con los valores del cálculo de la desviación del espesor de 0.43 m (**Tabla 6.8**).

6.8.2.2 Evaluación de las leyes y desviaciones con el *krigeage* lognormal

Con relación al uranio las curvas que prevalecen son las curvas con ley de 60 a 160 g/t, con el *krigeage* lognormal y los seis coeficientes de insesgamiento (**Figuras 6.12**). Además, existen 5 valores altos de uranio, el primero de ellos se localiza en el extremo superior izquierdo del superbloque que pertenece al sondeo CB-11NR, muy cerca pasa la curva de 220 g/t, que concuerda con el cálculo con valores de 230 a 233 g/t. El segundo alto se ubica en el extremo superior derecho que corresponde al barreno 23, muy próxima pasa la curva de 180 g/t, que coincide con el cálculo con valores de 192 a 195 g/t (**Figuras 6.12**). El tercer alto está en el tercio superior hacia el extremo derecho que se relaciona con los barrenos 104 y 105, muy junto pasa la curva de 180 g/t, que concuerda con el cálculo con valores de 196 a 199 g/t y de 181 a 184 g/t, respectivamente. El cuarto y quinto valor alto se encuentran en el tercio inferior y parte media del superbloque, se encuentran muy próximos y son concomitantes con los sondeos CB-4NR, 93 y 71, muy contigua pasa la curva de 220 a 280 g/t, que es coincidente con el cálculo con valores de 282 a 287 g/t, 224 a 227 g/t y 229 a 233 g/t, respectivamente.

En general, las curvas de la desviación del uranio, con el *krigeage* lognormal y los seis coeficientes de insesgamiento, tienen valores bajos de 1 a 5 g/t, lo que confirma que los valores de uranio siguen una distribución lognormal. Se tiene un valor anómalo alto en el extremo inferior izquierdo del superbloque, que se relaciona con las coordenadas de (10,10), muy cerca pasa la curva de 9 g/t, que coincide con el cálculo con valor de 9 g/t, que es la zona donde se carece de información por estar muy próxima a los límites del superbloque (**Figuras 6.13**).

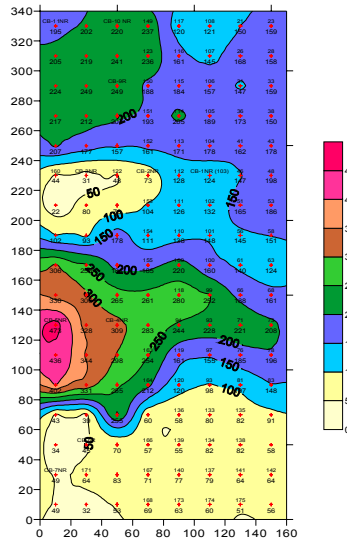


FIGURA E.1 LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE NORMAL

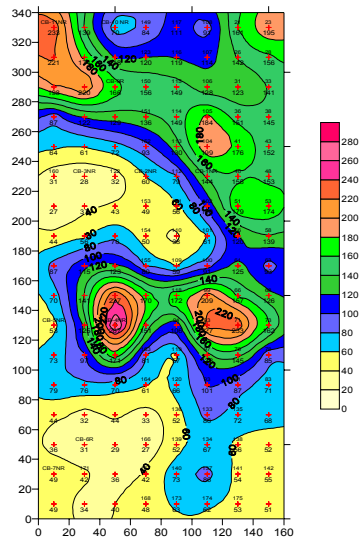


FIGURA E.3 LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INSESAMIENTO DE 0.0

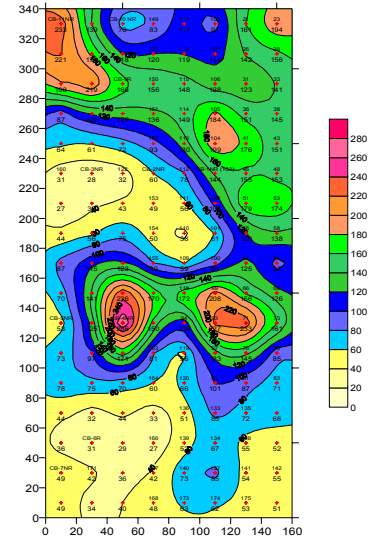


FIGURA E.4 LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INSESAMIENTO DE 0.10

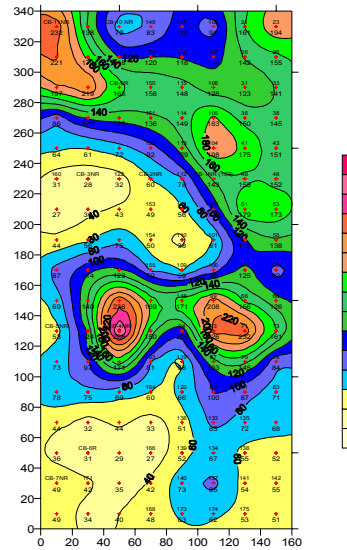


FIGURA E.5 LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INSESAMIENTO DE 0.25

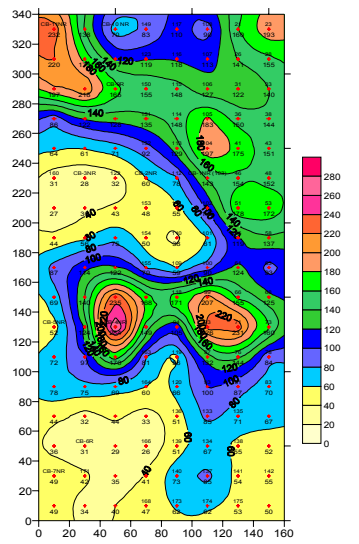


FIGURA E.6 LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INSESAMIENTO DE 0.50



FIGURA E.7 LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INSESAMIENTO DE 0.75

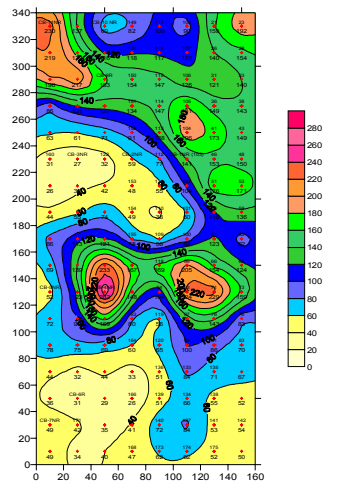


FIGURA E.8 LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INSESAMIENTO DE 1.00

Figura 6.12 Ley con el *krigeage* normal y lognormal con el coeficiente de inesesamiento de 0.0 a 1.0

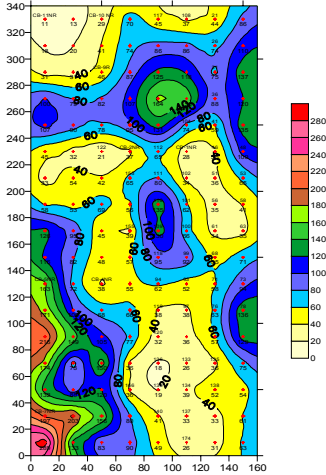


FIGURA E.2 DESVIACIÓN DE LA LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE NORMAL

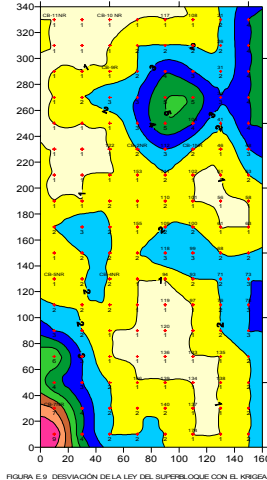


FIGURA E.9 DESVIACIÓN DE LA LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.0

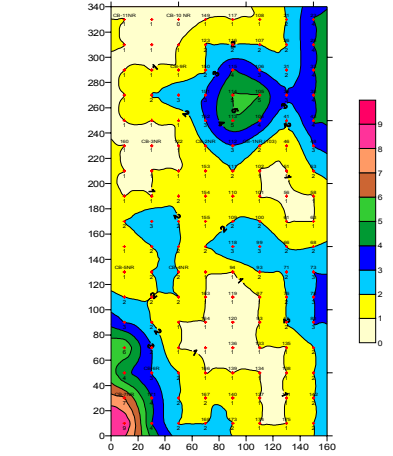


FIGURA E.10 DESVIACIÓN DE LA LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.10

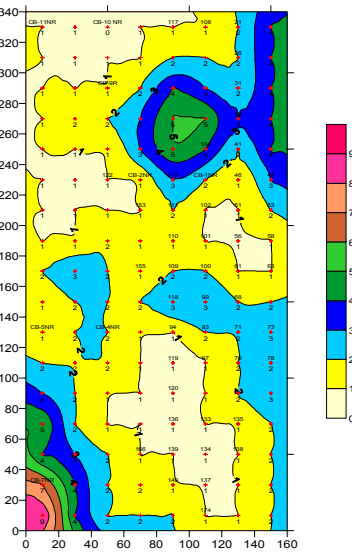


FIGURA E.11 DESVIACIÓN DE LA LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.25

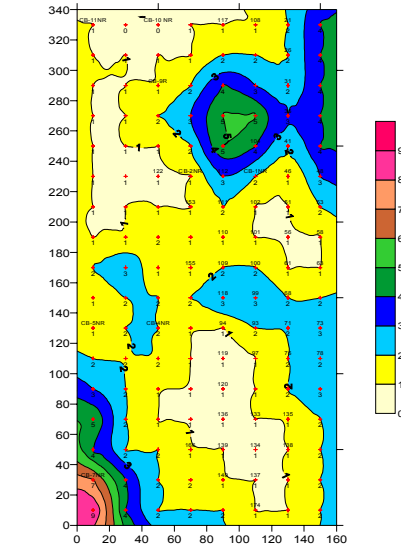


FIGURA E.12 DESVIACIÓN DE LA LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.50

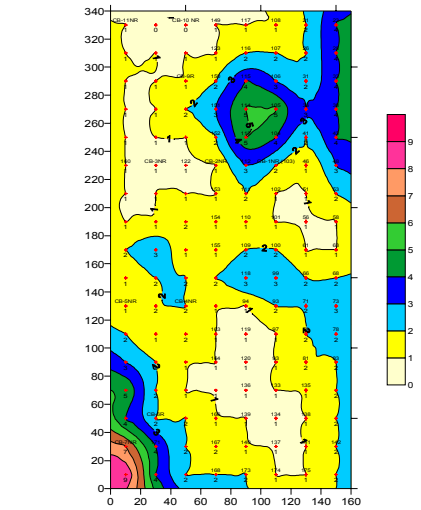


FIGURA E.13 DESVIACIÓN DE LA LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 0.75

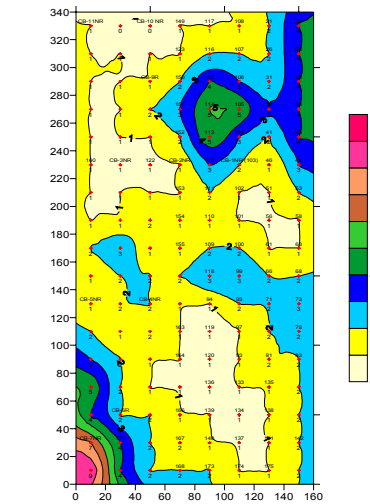


FIGURA E.14 DESVIACIÓN DE LA LEY DEL SUPERBLOQUE CON EL KRIGEAGE LOGNORMAL CON EL COEFICIENTE DE INESGAMIENTO DE 1.00

Figura 6.13 Desviación de la ley con el krigage normal y lognormal con el coeficiente de inesgamiento de 0.0 a 1.0

7. ELABORACIÓN DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS DEL DCB CON LOS DATOS ORIGINALES Y CON LOS DATOS DE LOS VALORES DEL KRIGEAGE NORMAL Y LOGNORMAL

En este capítulo se lleva a cabo la construcción, con la ayuda del paquete de cómputo *rockworks*, versión 2.12.3, de las secciones estratigráficas transversales y longitudinales del cuerpo hidrotermalizado No.1, de los datos originales y los datos de los valores del *krigeage* normal y lognormal. Las secciones están ubicadas en los 58 barrenos y en los 136 bloques, respectivamente, que forman el superbloque del depósito, con el fin de tener una visión del comportamiento de la mineralización de uranio en el subsuelo, sea con la información original o la que resultó de los cálculos (**plano 1** al final en bolsa). Asimismo, con el propósito de facilitar la ubicación de las secciones estratigráficas transversales y longitudinales el plano de localización de barrenos del depósito se rotó hacia el Norte franco de acuerdo con las coordenadas locales de cada barreno.

Las secciones estratigráficas transversales de los datos originales y dirección Oeste-Este con vista al Norte franco, son 11 con nomenclatura de números de la 1-1' a la 11-11' e inician de la porción superior a la inferior del superbloque. Las secciones estratigráficas longitudinales, con dirección de Norte a Sur y con vista al Oriente, son siete y están enumeradas con letras mayúsculas de la A-A' a la G-G' y comienzan de izquierda a derecha del superbloque. Con el propósito de tener mayor claridad de la morfología del cuerpo mineralizado en el subsuelo, la Formación Mezcalera en las secciones estratigráficas se dividió de manera informal en dos, la que se encuentra encima o debajo del horizonte de uranio, Mezcalera I y Mezcalera II, respectivamente.

Además, las secciones estratigráficas transversales de los datos de los valores del *krigeage* y dirección Oeste-Este con vista al Norte franco, son 17 con nomenclatura de números de la 12-12' a la 28-28' e inician de la porción superior a la inferior del superbloque. Las secciones estratigráficas longitudinales, con dirección de Norte a Sur y con vista al Oriente, son ocho y están enumeradas con letras mayúsculas de la H-H' a la O-O' y comienzan de izquierda a derecha del superbloque. Con el propósito de tener mayor claridad de la morfología del cuerpo mineralizado en el subsuelo, la Formación Mezcalera en las secciones estratigráficas se dividió de manera informal en dos, la que se encuentra encima o debajo del horizonte de uranio, Mezcalera I y Mezcalera II, respectivamente.

El concepto de anisotropía tiene sentido geoestadístico ya que aprecia la variabilidad no aleatoria media de la estructura del mineral en una dirección dada (**Kazhdán, 1982**).

Como medida de la anisotropía I sirve la relación entre el número medio de elementos de heterogeneidad n , atravesados por líneas trazadas en una dirección dada, y las longitudes de dichas líneas l dentro de los límites del volumen estudiado de mineral.

$$I = \frac{n}{l} \text{ -----(7.1)}$$

En un caso general se separan los tres ejes de anisotropía recíprocamente ortogonales, los cuales a menudo coinciden con las direcciones del espesor, el buzamiento y la extensión de las acumulaciones minerales naturales. Según esas direcciones se observan las diferencias más grandes de las características cuantitativas de la variabilidad no aleatoria de las propiedades estudiadas (**Kazhdán, 1982**).

Con el propósito de comparar la formología de cuerpo mineral en el subsuelo y los valores de las anisotropías de las secciones estratigráficas, con los datos originales y los valores del *krigeage* normal y lognormal, se llevó a cabo las siguientes interpretaciones:

7.1 Elaboración de secciones estratigráficas transversales de los datos originales con dirección Oeste a Este

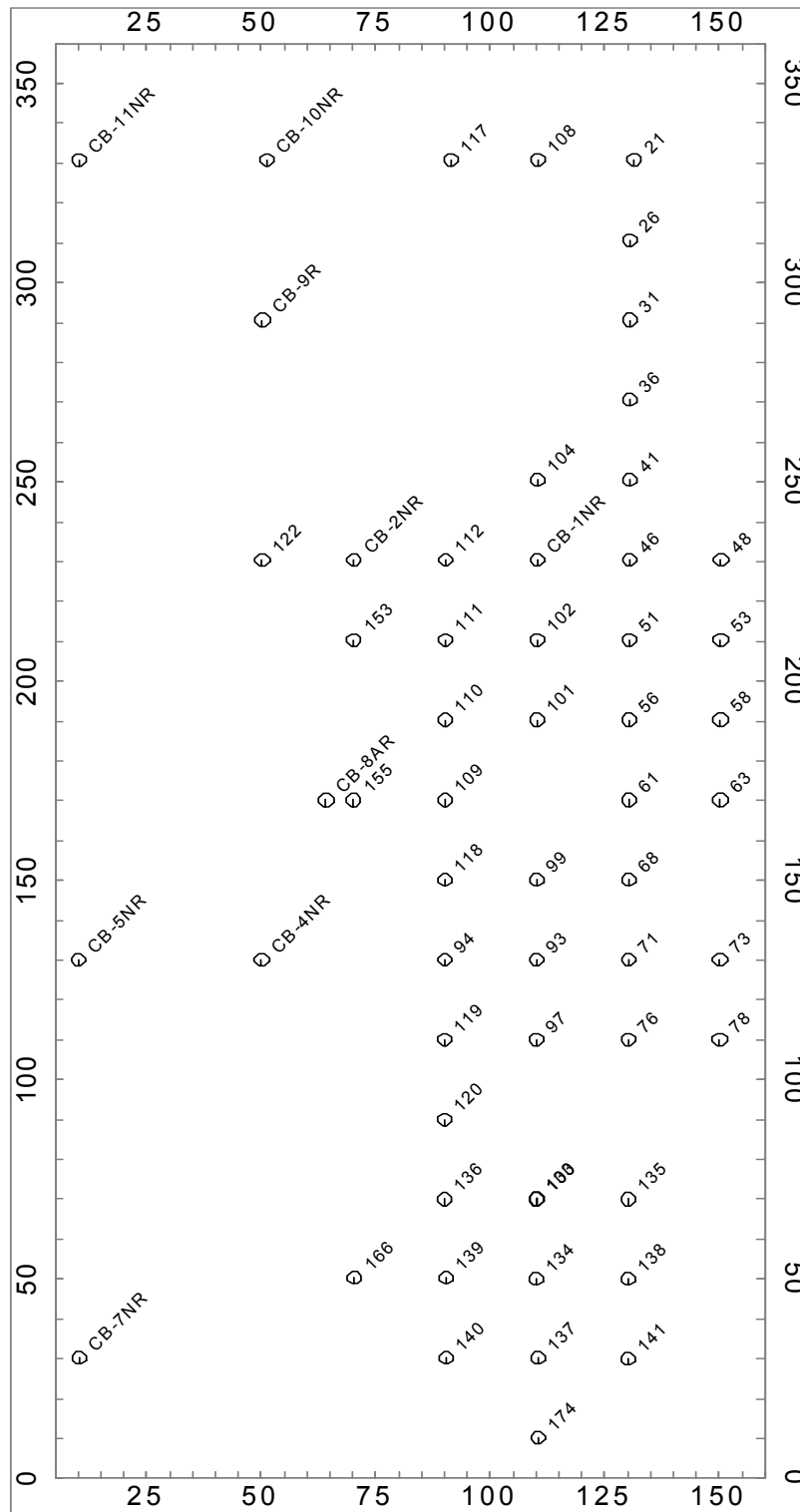


Figura 7.1 Localización de los 58 barrenos del depósito de Coneto-Buenavista

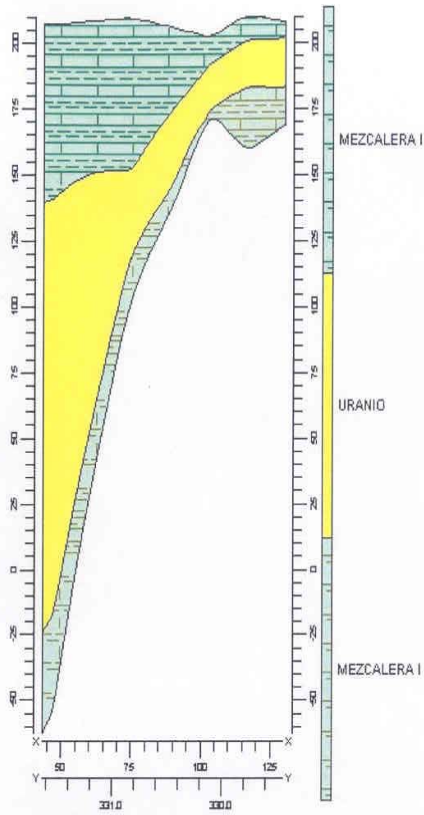
Las características generales de las propiedades físicas de las 11 secciones estratigráficas transversales (**figuras 7.2 y 7.3**), los valores promedios de la ley, espesor y las anisotropías correspondientes quedan resumidas en la **Tabla 7.1**.

Al estudiar la **Tabla 7.1** se puede mencionar que la ley promedio fluctúa de 50 a 275 g/t, el espesor medio va de 8 a 54 m, el valor intermedio de la anisotropía de la ley de 3 a 15 y el de la anisotropía del espesor de 1 a 32. En ocho secciones estratigráficas transversales el valor de la anisotropía del espesor es mayor, de 1.24 a 4.79, al valor de la anisotropía de la ley, y se reafirma que la dirección de la variabilidad máxima es del espesor ($31.92/1.14=28$) que coincide con la dirección de la anchura del cuerpo mineral. La dirección de la variabilidad mínima corresponde a la ley ($14.81/2.8=5.29$) que concuerda con la longitud del cuerpo de uranio.

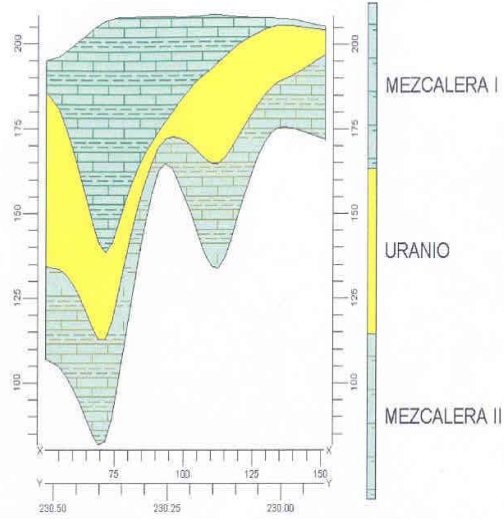
Tabla 7.1 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor que cortan los barrenos con los datos originales en las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este

| Número de la sección transversal con dirección Oeste a Este | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|--|--|--|---|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| 1-1' (CB-11 NR al 21) Inciso A | Dique | En los flancos o piernas se ensancha a profundidad. En la cima se adelgaza | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 70° | 687 / 5.0= 137.4 | 260.05 / 5=53.81 | 225 / 44=5.11 | 188.2 / 15.4=12.22 | 12.22 / 5.11= 2.39 |
| 2-2' (122-48) Inciso B | Silla de montar | Se engrosa en la cima y adelgaza en los flancos | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 624 / 60=104 | 94.79 / 6 =15.80 | 237 / 16 = 14.81 | 17.59 / 0.55=31.92 | 31.92 / 14.81= 2.16 |
| 3-3' (153 al 53) Inciso C | Manto | Se ensancha en la cima y se comprime en los extremos | Concordancia con la estratificación y ligeros cambios del grosor por posible presencia de fracturas y fallas | <i>Idem</i> | 676 / 5 = 135.20 | 69.3 / 5=13.86 | 292 / 48 = 6.08 | 25.5 / 4.2 = 4.95 | 4.95 / 3.98 = 1.24 |
| 4-4' (110 al 58) Inciso D | <i>Idem</i> | Se engrosa en la cima y adelgaza en los extremos | <i>Idem</i> | 15° a 65° | 480 / 4 = 120 | 53.2 / 4 =13.3 | 187 / 47 = 3.98 | 20.8 / 4.2 = 4.95 | 4.95 / 3.98 =1.24 |
| 5-5' (CB-8AR al 63) Inciso E | Filón con estrangulamiento en la parte media | Se ensancha en la cima, se adelgaza en la parte media y se engrosa a profundidad | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 60° a 65° | 565 / 6= 94.17 | 117.5 / 6 =19.58 | 221 / 41 = 5.39 | 49.1 / 1.9= 25.84 | 25.84 / 5.39 = 4.79 |
| 6-6' (118 al 68) Inciso F | Dique | Se engrosa en la cima y adelgaza a profundidad | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 30° | 824 / 3 = 274.67 | 29.9 / 3 = 9.97 | 376 / 95 = 3.96 | 14.15 / 3.8 = 3.72 | 3.72 / 3.96 = 0.94 |
| 7-7' (CB-5NR al 73) Inciso G | Silla de montar | En la cima se adelgaza en los flanco se engrosa | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 1 361 / 6 =226.83 | 154.10 / 6= 25.68 | 425 / 39= 10.90 | 73.9 / 4.9 = 15.08 | 15.08 / 10.90 =1.38 |
| 8-8' (119 al 78) Inciso H | Dique | Hacia la cima se adelgaza a profundidad se ensancha | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 411 / 4 = 102.75 | 54.6 / 4 =13.65 | 165 / 27 =6.11 | 20.30 / 2.1 = 9.67 | 9.67 / 6.11= 1.58 |
| 9-9' (136 al 135) Inciso I | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 42° | 208 / 3 = 69.33 | 49.95 / 3 = 16.65 | 112 / 40 = 2.8 | 17.8 / 15.6 = 1.14 | 1.14 / 2.8 = 0.41 |
| 10-10' 166 al 138) Inciso J | <i>Idem</i> | Se engrosa en la cima y adelgaza a profundidad | <i>Idem</i> | 30° | 201 / 4 = 50.25 | 42.45 / 4= 10.61 | 75 / 19 = 3.95 | 22.05 / 3.45 = 6.39 | 6.39 / 3.95 = 1.62 |
| 11-11' (CB-7NR al 141) Inciso K | Filón | Ligeramente más grueso en la cima y se adelgaza a profundidad | <i>Idem</i> | 40° a 55° | 337 / 4= 84.25 | 31.3 / 4 = 7.83 | 129 / 42 = 3.07 | 13.2 / 2.15 = 6.14 | 6.14 / 3.07 = 2 |

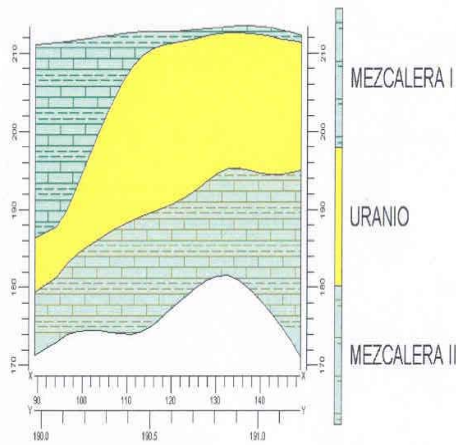
Figura 7.2 Secciones estratigráficas transversales de los datos originales de la 1-1' a la 5-5' con dirección Oeste a Este



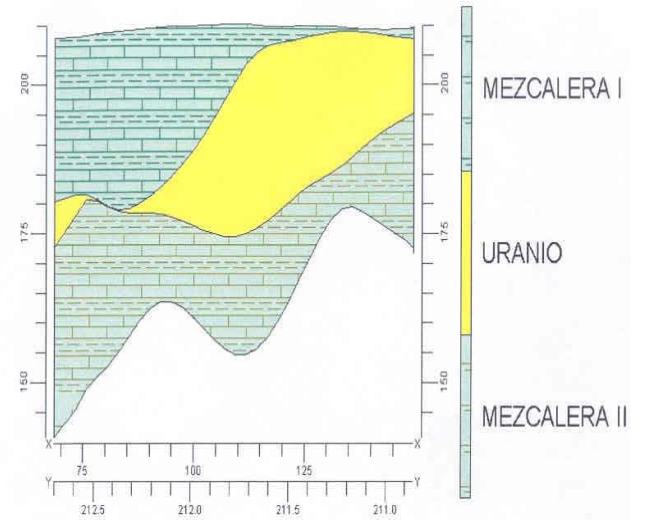
A) Sección estratigráfica transversal 1 a 1' de los datos originales y dirección Oeste a Este del barreno CB-11NR al barreno 21.



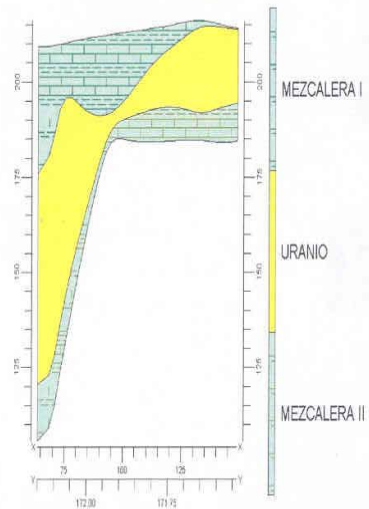
B) Sección estratigráfica transversal 2 a 2' de los datos originales y dirección Oeste a Este del barreno 122 al barreno 48.



D) Figura 7.5 Sección estratigráfica transversal 4 a 4' de los datos originales y dirección Oeste a Este del barreno 110 al barreno 58.

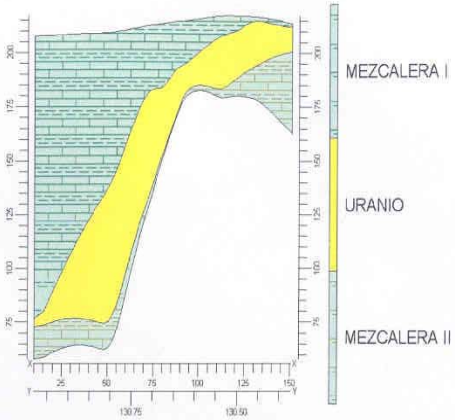


C) Sección estratigráfica transversal 3 a 3' de los datos originales y dirección Oeste a Este del barreno 153 al barreno 53.

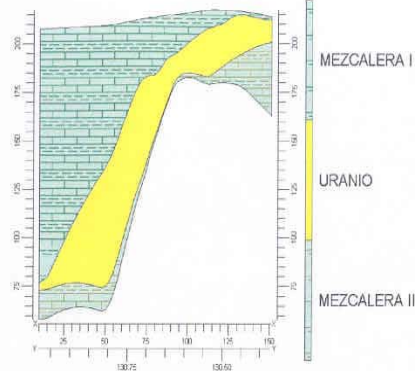


E) Figura 7.6 Sección estratigráfica transversal 5 a 5' de los datos originales y dirección Oeste a Este del barreno CB-8AR al 63.

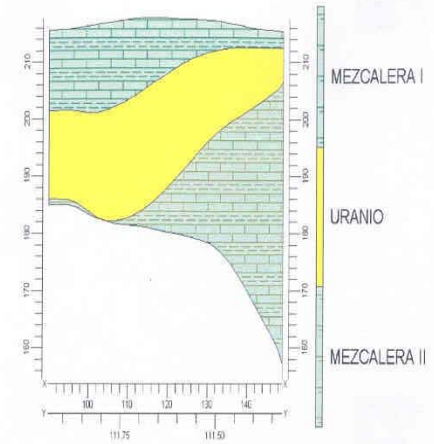
Figura 7.3 Secciones estratigráficas transversales de los datos originales de la 6 - 6' a la 11-11' con dirección Oeste a Este



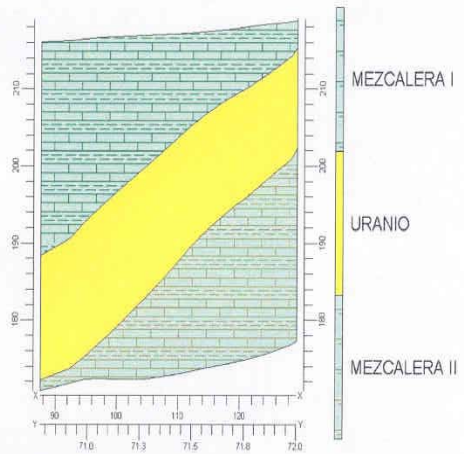
F) Sección estratigráfica transversal 6 a 6' de los datos originales y dirección de Oeste a Este del barreno 118 al barreno 68.



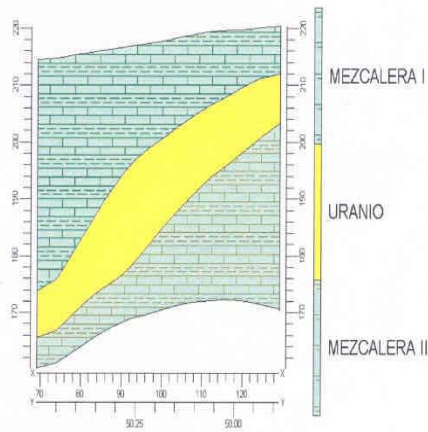
G) Sección estratigráfica transversal 7 a 7' de los datos originales y dirección de Oeste a Este del barreno CB-5NR al barreno 73.



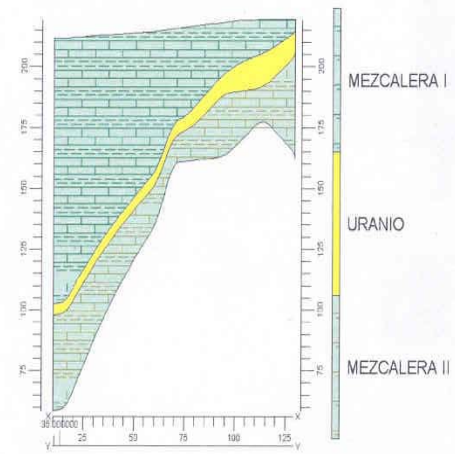
H) Sección estratigráfica transversal 8 a 8' con de los datos originales y dirección de Oeste a Este del barreno 119 al barreno 78.



I) Sección estratigráfica transversal 9 a 9' de los datos originales con dirección Oeste a Este del barreno 136 al barreno 135.



J) Sección estratigráfica transversal 10 a 10' de los datos originales y dirección Oeste a Este del barreno 166 al barreno 138.



K) Sección estratigráfica transversal 11 a 11' de los datos originales y dirección Oeste a Este del barreno CB-7NR al barreno 141.

7.2 Elaboración de secciones estratigráficas longitudinales de los datos originales con dirección Norte a Sur del depósito de Coneto-Buena Vista

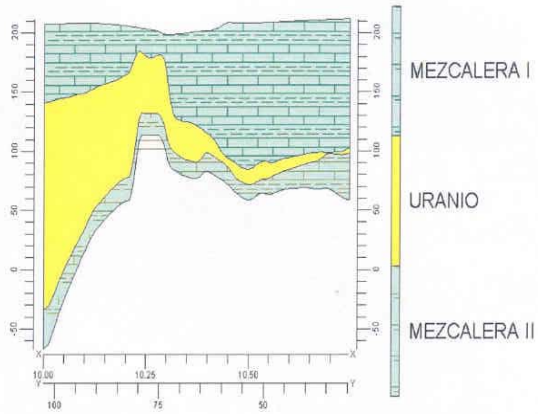
Las características generales de las propiedades físicas de las 7 secciones estratigráficas longitudinales (**figuras 7.4 y 7.5**) los valores promedios de la ley, espesor y las anisotropías correspondientes quedan resumidas en la **Tabla 7.1**.

De la **Tabla 7.2** se puede citar que la ley promedio fluctúa de 48 a 154 g/t, el espesor medio va de 7 a 65 m, el valor intermedio de la anisotropía de la ley de 4 a 27 y el de la anisotropía del espesor de 3 a 88. En cuatro secciones estratigráficas transversales el valor de la anisotropía del espesor es mayor, de 1.14 a 15.17, al valor de la anisotropía de la ley, y se confirma que la dirección de la variabilidad máxima es del espesor ($87.53/3.30=26.52$) que es concomitante con la anchura del cuerpo mineralizado. La variabilidad mínima recae en la ley ($26.56/4.42=6.00$) que concurre con el eje mayor del cuerpo mineral.

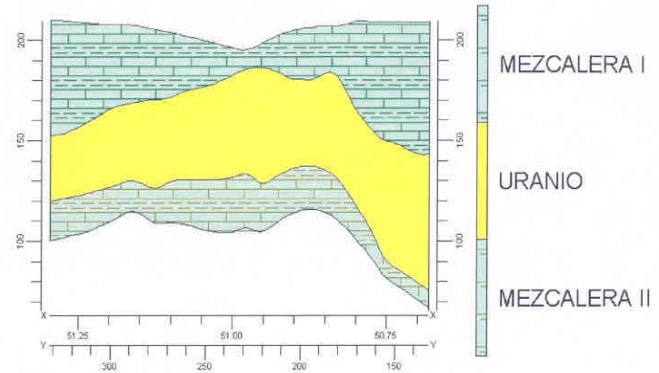
Tabla 7.2 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor que cortan los barrenos con los datos originales en las secciones estratigráficas longitudinales con dirección Norte a Sur

| Número de la sección longitudinal con dirección Norte a Sur | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|--|---|---|---|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| A-A' (CB-11 NR al CB-7NR) Inciso L | Silla de montar | En la parte norte de la sección se engrosa fuertemente el espesor y disminuye en la porción sur | Corta la estratificación, y el cambio brusco del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 70° | 313 / 3 = 104.33 | 195.25 / 3 = 65.08 | 225 / 44 = 5.11 | 188.2 / 2.5 = 87.53 | 87.53 / 5.77 = 15.17 |
| B-B' (CB-10Nr al CB-4NR) Inciso M | Manto con fuerte variación del espesor | Se adelgaza en la porción norte de la sección y se engrosa en la parte sur | <i>Idem</i> | 25° a 75° | 772 / 4 = 193 | 148.35 / 4 = 37.09 | 425 / 16 = 26.56 | 73.9 / 15.4 = 4.80 | 4.80 / 26.56 = 0.18 |
| C-C' (CB-12 NR al CB-4NR) Inciso N | Manto con fuerte variación del espesor | En la parte norte de la sección se adelgaza fuertemente el espesor, en la parte media se ensancha y disminuye en la porción sur | <i>Idem</i> | 60° | 192 / 4 = 48 | 27.85 / 4 = 6.96 | 84 / 19 = 4.42 | 13.85 / 4.2 = 3.30 | 3.30 / 4.42 = 0.75 |
| D-D' (117 al 140) Inciso O | Manto con variación en el espesor | En el tercio superior de la sección se adelgaza el espesor | Sigue la estratificación y el cambio del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | Sensiblemente horizontal con cambios de 30° a 35° | 1 146 / 12 = 95.5 | 134.65 / 12 = 11.22 | 353 / 40 = 8.83 | 22.05 / 0.55 = 40.09 | 40.09 / 8.83 = 4.54 |
| E-E' (108 al 74) Inciso P | Manto con variación en el espesor | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | Sensiblemente horizontal | 2 000 / 3 = 153.85 | 230.9 / 13 = 17.76 | 376 / 45 = 8.35 | 34.6 / 8.4 = 4.11 | 4.11 / 8.35 = 0.49 |
| F-F' (21 al 141) Inciso Q | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 2 239 / 15 = 149 | 228.99 / 15 = 15.27 | 292 / 42 = 6.95 | 27.3 / 3.45 = 7.91 | 7.91 / 6.95 = 1.14 |
| G-G' (48 al 78) Inciso R | Manto con variación del espesor | Se adelgaza el espesor en los extremos | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 968 / 6 = 161.33 | 67.10 / 6 = 11.18 | 237 / 47 = 5.04 | 20.1 / 2.1 = 9.57 | 9.57 / 5.04 = 1.90 |

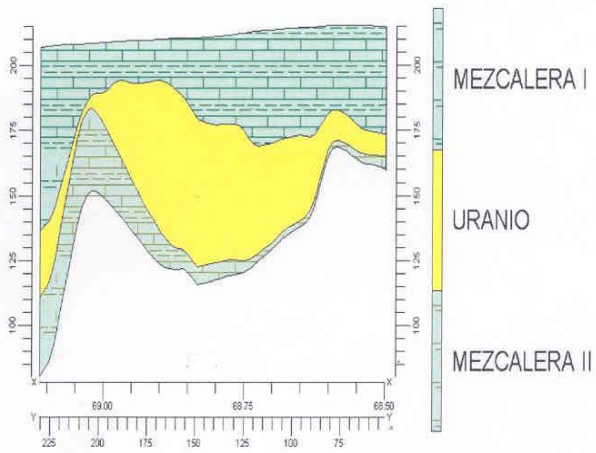
Figura 7.4 Secciones estratigráficas longitudinales de la A - A' a la D - D' con dirección Norte a Sur



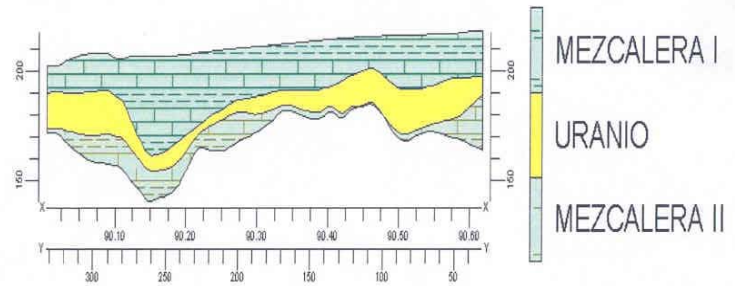
L) Sección estratigráfica longitudinal A a A' de los datos originales y dirección Norte a Sur del barreno CB-11NR al barreno CB-7NR.



M) Sección estratigráfica longitudinal B a B' de los datos originales y dirección Norte a Sur del barreno CB- 10NR al barreno CB-4NR.

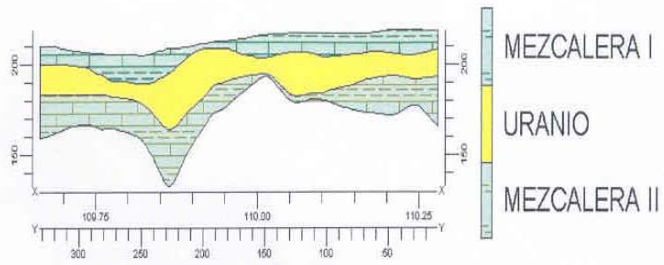


N) Sección estratigráfica longitudinal C a C' con dirección Norte a Sur del barreno CB-2NR al barreno 166.

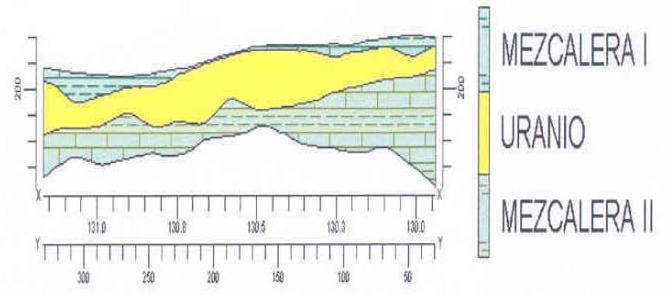


O) Sección estratigráfica longitudinal D a D' con dirección Norte a Sur del barreno 117 al barreno 140.

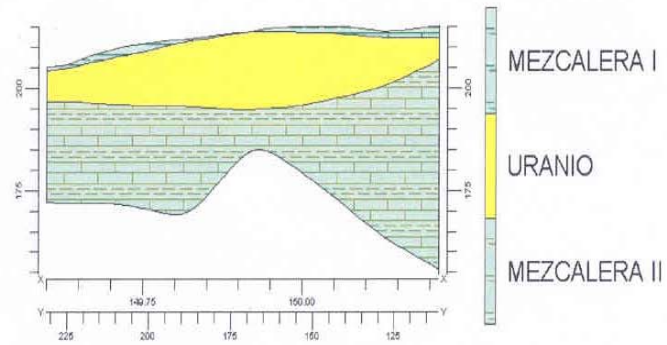
Figura 7.5 Secciones estratigráficas longitudinales de la E - E' a la G - G' con dirección Norte a Sur



P) Sección estratigráfica longitudinal E a E' con dirección Norte a Sur del barreno 108 al barreno 174.



Q) Sección estratigráfica longitudinal F a F' con dirección Norte a Sur del barreno 21 al barreno 141.



R) Sección estratigráfica longitudinal G a G' con dirección Norte a Sur del barreno 48 al barreno 78.

7.3 Elaboración de secciones estratigráficas transversales de los datos de los valores del *krigeage* normal y *krigeage* lognormal con dirección Oeste Este

Las interpretaciones de las secciones estratigráficas transversales y longitudinales, se efectuaron tanto para la ley como el espesor que proporcionó el cálculo y se les restó el promedio de sus desviaciones (**Figura 7.6**). Sin embargo, las interpretaciones son las mismas para el *krigeage* normal y el *krigeage* lognormal, por ello se realiza la explicación en cada sección los resultados obtenidos para cada método de evaluación (**plano 1** al final en bolsa).

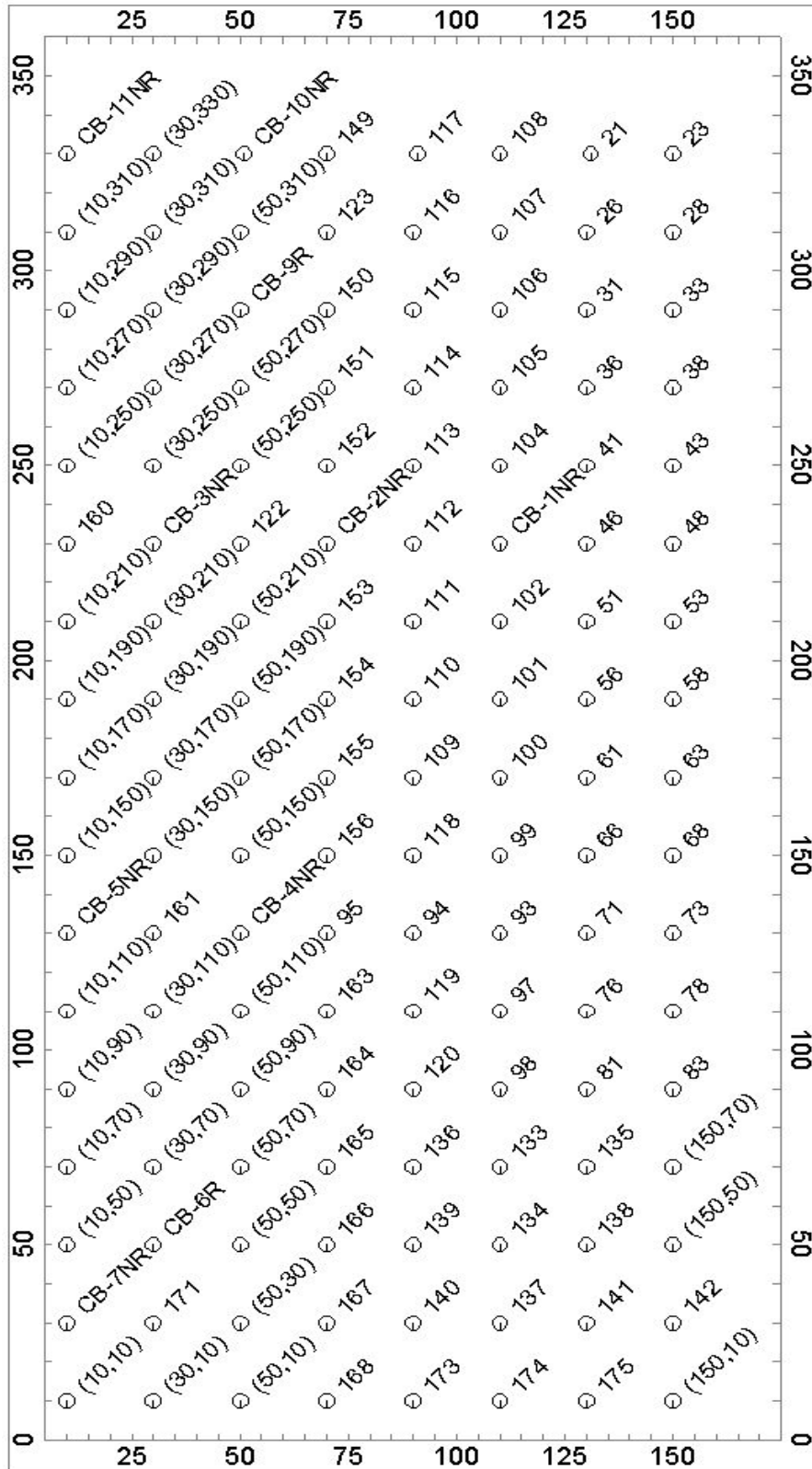


Figura 7.6 Localización de los 136 barrenos (58 originales y 78 estimados) del depósito de Coneto-Buenavista, del superbloque evaluado con el *krigeage* normal y lognormal

Las interpretaciones de las secciones estratigráficas transversales y longitudinales, se efectuaron tanto para la ley como el espesor que proporcionó el cálculo y se les restó el promedio de sus desviaciones. Sin embargo, las interpretaciones son las mismas para el *krigeage* normal y el *krigeage* lognormal (**figuras 7.7, 7.8 y 7.9**), por ello se realiza la explicación en cada sección los resultados obtenidos para cada método de evaluación (**plano 1** al final en bolsa).

De la **Tabla 7.3** (primera y segunda parte) podemos decir que con el *krigeage* normal la ley promedio fluctúa de 25 a 213 g/t, el espesor medio va de 4 a 42 m, el valor intermedio de la anisotropía de la ley es de 1.84 a 26.60 y el de la anisotropía del espesor es de 3.5 a 42. En 14 secciones estratigráficas transversales el valor de la anisotropía del espesor es mayor, de 1.05 a 6.60, al valor de la anisotropía de la ley. Además, se observa que la dirección de la variabilidad máxima corresponde a la ley ($26.60/1.84=14.46$) que coexiste con la extensión del cuerpo. La dirección de la variabilidad mínima es del espesor que coincide con la anchura del depósito ($36.5/3=12.18$). La explicación de la variabilidad máxima de la ley es que el cálculo del *krigeage* normal provoca fuertes sesgos y proporciona valores y desviaciones de uranio altos, que confirma que los valores de uranio no siguen una distribución normal sino lognormal.

En la **Tabla 7.4** (primera y segunda parte) se observa que con el *krigeage* lognormal la ley promedio fluctúa de 47 a 165 g/t, el espesor medio va de 3 a 35 m, el valor intermedio de la anisotropía de la ley de 1.68 a 7.08 y el de la anisotropía del espesor de 3.4 a 9. En 14 secciones estratigráficas transversales el valor de la anisotropía del espesor es mayor, de 1.05 a 6.60, al valor de la anisotropía de la ley. Asimismo, se observa que la dirección de la variabilidad mínima corresponde a la ley ($7.08/1.68=4.21$) que coexiste con la dirección del eje largo del depósito. La dirección de la variabilidad máxima es el espesor ($6.60/1.05=6.29$) que concurre con la anchura del depósito.

Tabla 7.3 (primera parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor calculadas con el Krigage Normal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este

| Número de la sección transversal con dirección Oeste a Este | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta el uranio a la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|------------------------------------|--|--|---|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| 12-12' (CB-11 NR al 23) Inciso S | Dique | Protuberancias y se adelgaza en la cima, en los flancos se ensancha a profundidad. | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 70° | 1 069 / 8 = 134 | 337 / 8 = 42 | 184 / 73 = 2.52 | 133 / 8 = 16.625 | 16.625 / 2.52 = 6.60 |
| 13-13' [(10,310) al 28] Inciso T | Ídem | Ídem | Ídem | Ídem | 1 024 / 8 = 128 | 267 / 8 = 33.38 | 200 / 48 = 4.17 | 104 / 5 = 20.80 | 20.80 / 4.17 = 4.98 |
| 14-14' [(10,290) al 33] Inciso U | Ídem | Ídem | Ídem | Ídem | 907 / 8 = 113.38 | 194 / 8 = 13.86 | 193 / 22 = 8.77 | 73 / 2 = 36.5 | 36.5 / 8.77 = 4.16 |
| 15-15' [(10,270) al 38] Inciso V | Ídem | Ídem | Ídem | 15° a 65° | 651 / 8 = 81.38 | 133 / 30 = 4.43 | 100 / 40 = 2.5 | 12 / 3 = 4 | 4 / 2.5 = 1.6 |
| 16-16' [(10,250) al 43] inciso W | Manto | Cambios bruscos en el espesor con estrangulamiento en la parte media | Sigue la estratificación y el cambio del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 60° a 65° | 622 / 8 = 77.75 | 60 / 8 = 7.5 | 100 / 40 = 2.5 | 12 / 3 = 4 | 4 / 2.5 = 1.6 |
| 17-17' [160 al 48] Inciso X | Silla de montar | Se engrosa en la cima y adelgaza en los flancos | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 50° a 60° | 460 / 8 = 57.5 | 66 / 8 = 8.25 | 111 / 16 = 6.94 | 15 / 5 = 3 | 3 / 6.94 = 0.43 |
| 18-18' [(10,210) al 53] Inciso Y | Manto | Cambios bruscos en el espesor con estrangulamiento en la parte media y en el extremo norte | Ídem | Ídem | 504 / 8 = 63 | 63 / 8 = 7.88 | 129 / 11 = 11.73 | 13 / 3 = 4.33 | 4.33 / 11.73 = 0.37 |
| 19-19' [(10,190) al 58] Inciso Z | Dique con forma de silla de montar | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo oriental | Ídem | 70° | 623 / 8 = 77.88 | 77 / 8 = 9.63 | 110 / 40 = 2.75 | 15 / 4 = 3.75 | 3.75 / 2.75 = 1.36 |
| 20-20' [(10,170) al 63] Inciso AA | Ídem | Ídem | Ídem | 65° a 70° | 1 004 / 8 = 125.50 | 116 / 8 = 14.50 | 180 / 89 = 2.02 | 19 / 3 = 6.33 | 6.33 / 2.02 = 3.13 |
| 21-21' [(10,150) al 68] Inciso BB | Ídem | Ídem | Ídem | Ídem | 1 427 / 8 = 178.38 | 142 / 8 = 17.75 | 224 / 90 = 2.49 | 36 / 7 = 5.14 | 5.14 / 2.49 = 2.06 |

Tabla 7.3 (segunda parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor calculadas con el Krigage Normal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este

| Número de la sección transversal con dirección Oeste a Este | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta el uranio a la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|------------------------------------|--|--|---|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| 22-22' (CB-5NR al 73) Inciso CC | Dique | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo oriental y engrosamientos a profundidad | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 65° a 70° | 1 700 / 8 = 212.50 | 166 / 8 = 20.75 | 310 / 114 = 2.72 | 46 / 7 = 6.57 | 6.57 / 2.72 = 2.42 |
| 23-23' [(10,110) al 78] Inciso DD | Idem | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo oriental | Idem | 70° | 703 / 8 = 87.88 | 141 / 8 = 17.63 | 266 / 10 = 26.60 | 32 / 3 = 10.67 | 10.67 / 26.60 = 0.40 |
| 24-24' [(10,90) al 83] Inciso EE | Idem | Idem | Idem | 65° a 70° | 872 / 8 = 109 | 79 / 8 = 9.88 | 186 / 19 = 9.79 | 16 / 1 = 16 | 16 / 9.79 = 1.63 |
| 25-25' [(10,70) al (150,70)] Inciso FF | Idem | Idem | Idem | 65° | 327 / 8 = 40.88 | 49 / 8 = 6.13 | 105 / 20 = 5.25 | 11 / 2 = 5.5 | 5.5 / 5.25 = 1.05 |
| 26-26' [(10,50) al (150,50)] Inciso GG | Idem | Idem | Idem | Idem | 234 / 8 = 29 | 32 / 8 = 4 | 43 / 17 = 2.53 | 8 / 2 = 4 | 4 / 5.23 = 1.58 |
| 27-27' (CB-7NR al 142) Inciso HH | Idem | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo occidental | Idem | Idem | 280 / 8 = 35 | 28 / 8 = 3.5 | 46 / 25 = 1.84 | 6 / 1 = 6 | 6 / 3.84 = 3.25 |
| 28-28' [80,10) al (150,10)] Inciso II | Idem | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en los extremos occidental y oriental | Idem | Idem | 199 / 8 = 24.88 | 34 / 8 = 4.25 | 35 / 16 = 2.19 | 8 / 1 = 8 | 8 / 2.19 = 3.65 |

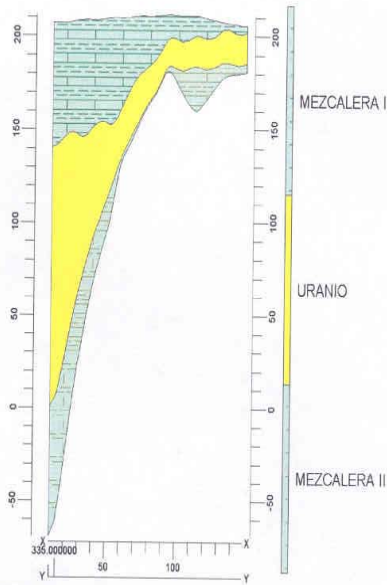
Tabla 7.4 (primera parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor con el Krigeage Lognormal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este

| Número de la sección transversal con dirección Oeste a Este | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta el uranio a la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|------------------------------------|--|--|---|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| 29-29' (CB-11 NR al 23) Inciso S | Dique | Protuberancias que se adelgaza en la cima, en los flancos se ensancha a profundidad. | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 70° | 1 068 / 8 = 133.5 | 280 / 8 = 35 | 231 / 70 = 3.30 | 99 / 11 = 9 | 9 / 3.3 = 2.73 |
| 30-30' [(10,310), al 28] Inciso T | Ídem | Ídem | Ídem | Ídem | 1 143 / 8 = 143 | 240 / 8 = 30 | 219 / 112 = 1.96 | 78 / 10 = 7.80 | 7.80 / 1.96 = 3.98 |
| 31-31' [(10,290), al 33] Inciso U | Ídem | Ídem | Ídem | Ídem | 1 070 / 8 = 133.75 | 117 / 8 = 14.63 | 178 / 85 = 2.09 | 26 / 10 = 2.6 | 2.6 / 2.09 = 1.24 |
| 32-32' [(10,270) al 38] Inciso V | Ídem | Ídem | Ídem | 15° a 65° | 1 256 / 8 = 157 | 201 / 8 = 25 | 218 / 120 = 6.44 | 58 / 9 = 6.44 | 6.44 / 1.82 = 3.54 |
| 33-33' [(10,250) al 43] Inciso W | Manto | Cambios bruscos en el espesor con estrangulamiento en la parte media | Sigue la estratificación y el cambio del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 60° a 65° | 921 / 8 = 153.5 | 99 / 8 = 12.38 | 194 / 60 = 3.23 | 24 / 6 = 4 | 4 / 3.23 = 1.24 |
| 34-34' [(160 al 48)] Inciso X | Silla de montar | Se engrosa en la cima y adelgaza en los flancos | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 50° a 60° | 665 / 8 = 83.13 | 78 / 8 = 9.75 | 153 / 27 = 5.66 | 16 / 4 = 4 | 4 / 5.66 = 0.71 |
| 35-35' [(10,210) al 53] Inciso Y | Manto | Cambios bruscos en el espesor con estrangulamiento en la parte media y en el extremo norte | Ídem | Ídem | 656 / 8 = 57.5 | 83 / 8 = 10.38 | 177 / 25 = 7.08 | 18 / 5 = 3.6 | 3.6 / 7.08 = 0.51 |
| 36-36' [(10,190) al 58] Inciso Z | Dique con forma de silla de montar | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo oriental | Ídem | 70° | 571 / 8 = 71.38 | 94 / 8 = 11.75 | 137 / 36 = 3.81 | 17 / 5 = 3.4 | 3.4 / 3.81 = 0.89 |
| 37-37' [(10,170) al 63] Inciso AA | Ídem | Ídem | Ídem | 65° a 70° | 754 / 8 = 94.25 | 105 / 8 = 13.13 | 123 / 85 = 1.45 | 20 / 5 = 4 | 4 / 1.45 = 2.76 |
| 38-38' [(10,150) al 68] Inciso BB | Ídem | Ídem | Ídem | Ídem | 1 255 / 8 = 156.88 | 105 / 8 = 13.13 | 233 / 68 = 3.43 | 20 / 5 = 4 | 4 / 3.43 = 1.17 |

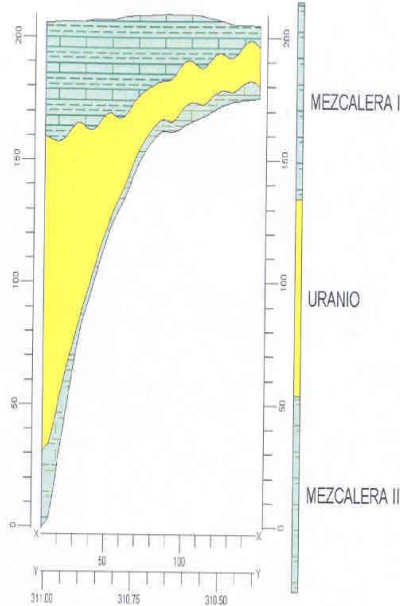
Tabla 7.4 (segunda parte) Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de la ley y espesor con el Krigeage Lognormal para los barrenos de las secciones estratigráficas transversales con dirección Oeste a Este

| Número de la sección transversal con dirección Oeste a Este | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta el uranio a la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|------------------------------------|--|--|---|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| 39-39' (CB-5NR al 73) Inciso CC | Dique | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo oriental y engrosamientos a profundidad | Corta la estratificación y a los pliegues tipo chevron, cambio de espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 65° a 70° | 1 323 / 8 = 165.38 | 130 / 8 = 16.25 | 231 / 52 = 4.44 | 31 / 6 = 5.16 | 5.16 / 4.44 = 1.16 |
| 40-40' [(10,110) al 78] Inciso DD | <i>Idem</i> | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo oriental | <i>Idem</i> | 70° | 825 / 8 = 103.13 | 136 / 8 = 17 | 142 / 56 = 2.54 | 27 / 6 = 4.5 | 4.5 / 2.54 = 1.77 |
| 41-41' [(10,90) al 83] Inciso EE | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 65° a 70° | 592 / 8 = 74 | 108 / 8 = 13.50 | 99 / 59 = 1.68 | 18 / 7 = 2.57 | 2.57 / 1.68 = 1.53 |
| 42-42' [(10,70) al (150,70)] Inciso FF | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 65° | 415 / 8 = 51.88 | 74 / 8 = 9.25 | 84 / 30 = 2.8 | 14 / 3 = 4.67 | 4.67 / 2.8 = 1.67 |
| 43-43' [(10,50) al (150,50)] Inciso GG | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 333 / 8 = 41.63 | 51 / 8 = 6.38 | 65 / 26 = 2.5 | 10 / 2 = 5 | 5 / 2.5 = 2 |
| 44-44' (CB-7NR al 142) Inciso HH | <i>Idem</i> | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en el extremo occidental | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 415 / 8 = 51.88 | 51 / 8 = 6.38 | 84 / 33 = 2.55 | 9 / 2 = 4.5 | 4.5 / 2.55 = 1.76 |
| 45-45' [810,10) al (150,10)] Inciso II | <i>Idem</i> | Cambios bruscos del espesor en la cima con adelgazamientos en los extremos occidental y oriental | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 377 / 8 = 47.13 | 51 / 8 = 6.38 | 84 / 33 = 2.55 | 9 / 2 = 4.5 | 4.5 / 2.55 = 1.76 |

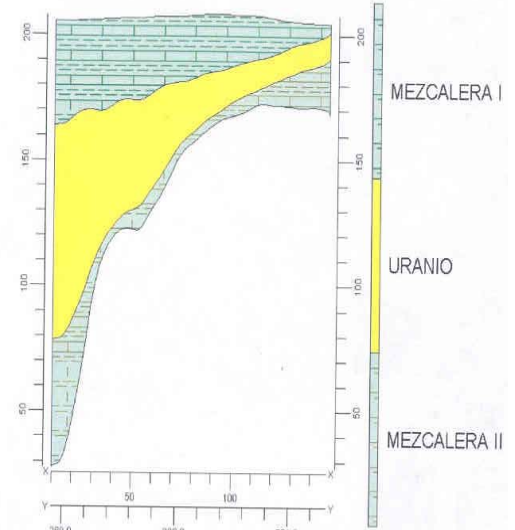
Figura 7.7 Secciones estratigráficas transversales de la 12-12' a la 17-17' de los valores del krigage normal y lognormal con dirección Oeste a Este



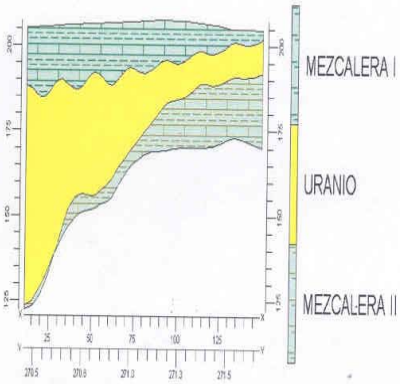
S) Sección estratigráfica transversal 12 a 12' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno CB-11NR al barreno 23



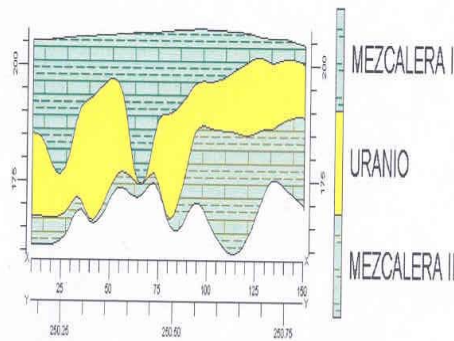
T) Sección estratigráfica transversal 13 a 13' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno (10,310) al barreno 28



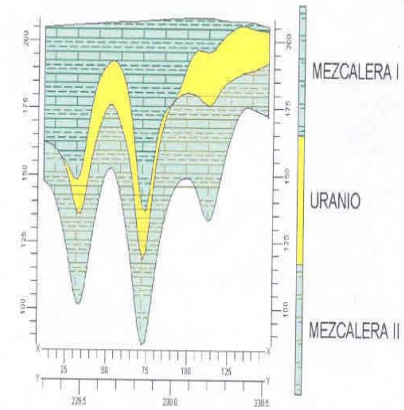
U) Sección estratigráfica 14 a 14' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno (10,290) al barreno 33



V) Sección estratigráfica transversal 15 a 15' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno (10,270) al barreno 38

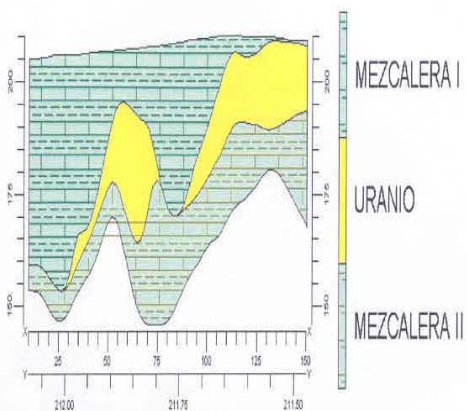


W) Sección estratigráfica transversal 16 a 16' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno (10,250) al barreno 43

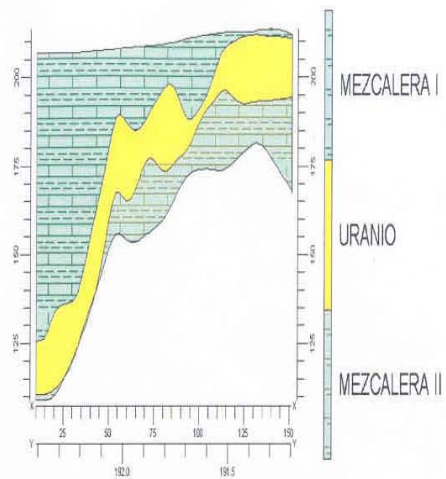


X) Sección estratigráfica 17 a 17' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno 160 al barreno 48

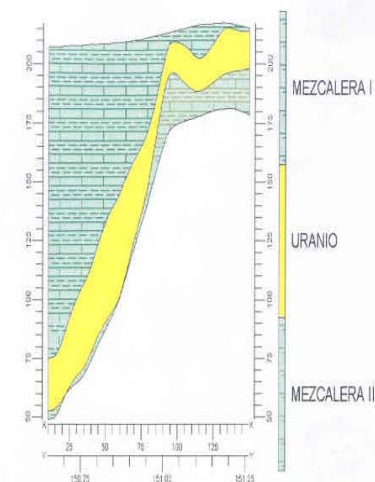
Figura 7.8 Secciones estratigráficas transversales de la 18-18' a la 23-23' de los valores con el krigage normal y lognormal con dirección Oeste a Este



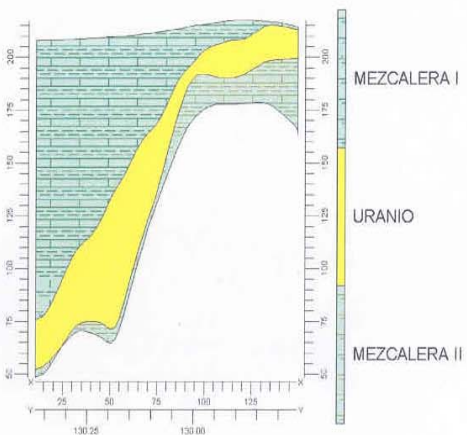
Y) Sección estratigráfica transversal 18 a 18' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno (10,210) al barreno 53



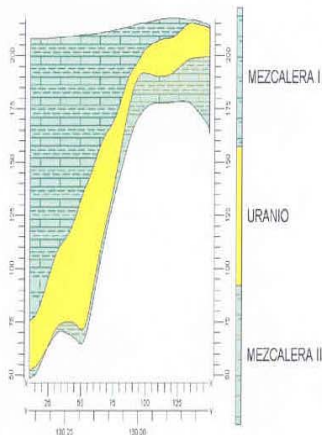
Z) Sección estratigráfica transversal 19 a 19' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno (10,190) al barreno 58



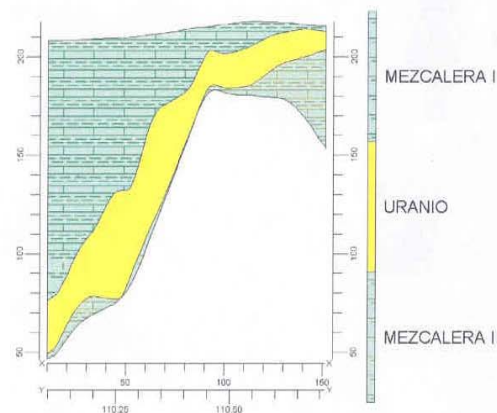
AA) Sección estratigráfica 20 a 20' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno (10,170) al barreno 63



BB) Sección estratigráfica transversal 21 a 21' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno (10,150) al barreno 68

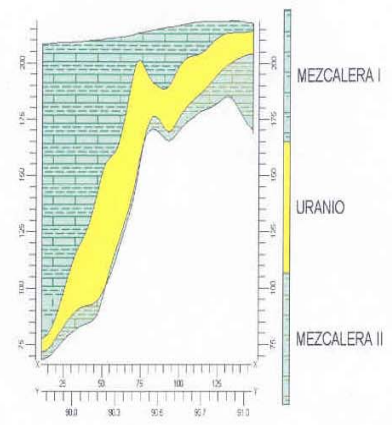


CC) Sección estratigráfica transversal 22 a 22' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno CB-5NR al barreno 73

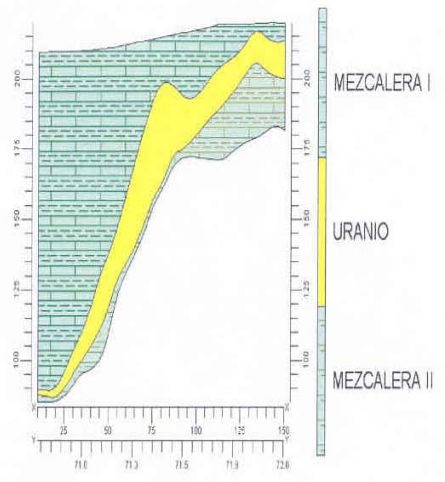


DD) Sección estratigráfica transversal 23 a 23' de los valores *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno (10,110) a 78

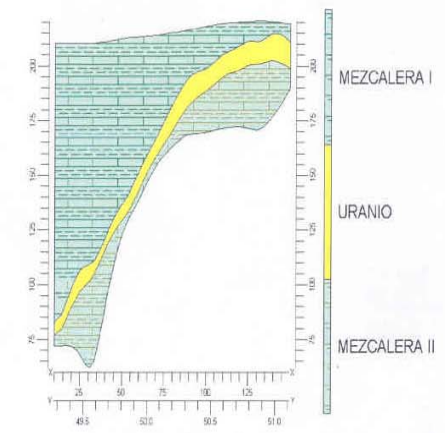
Figura 7.9 Secciones estratigráficas transversales de la 24-24' a la 28-28' con el krigage normal y lognormal con dirección Oeste a Este



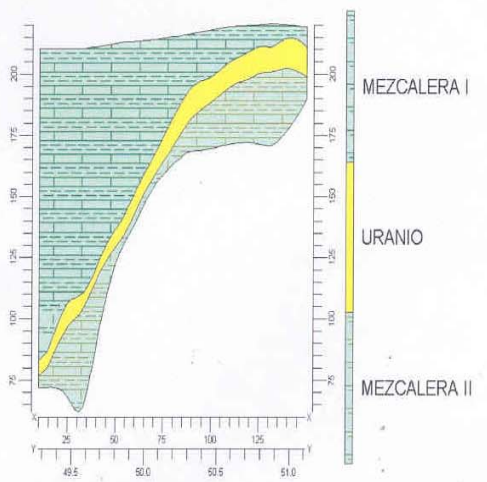
EE) Sección estratigráfica transversal 24 a 24' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno (10,90) al barreno 83



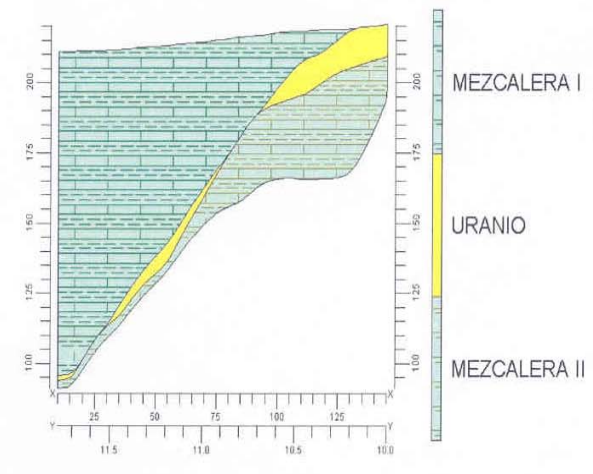
FF) Sección estratigráfica transversal 25 a 25' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno (10,70) al barreno (150,70)



GG) Sección estratigráfica transversal 26 a 26' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste-Este del barreno (10,50) a (150,50)



HH) Sección estratigráfica transversal 27 a 27' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno CB-7NR al barreno 142



II) Sección estratigráfica transversal 28 a 28' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Oeste a Este del barreno (10,10) al barreno (150,10)

7.4 Elaboración de secciones estratigráficas longitudinales de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur

Al verificar la **Tabla 7.5** se puede mencionar que la ley promedio fluctúa de 60 a 129 g/t, el espesor medio va de 5 a 26 m, el valor medio de la anisotropía de la ley de 4 a 28 y el de la anisotropía del espesor de 8 a 132 . En seis secciones estratigráficas longitudinales el valor de la anisotropía del espesor es mayor, de 1.11 a 4.68, al valor de la anisotropía de la ley. Asimismo, se reconoce que la variabilidad máxima corresponde al espesor ($132/8=16.5$) que coincide con la dirección de la anchura del depósito. La dirección de la variabilidad mínima es la ley ($28.18/4.07=6.92$) que coincide con la dirección del eje largo del depósito.

De la **Tabla 7.6** se puede mencionar que la ley promedio fluctúa de 82 a 126 g/t, el espesor medio va de 10.65 a 23.12 m, el valor medio de la anisotropía de la ley de 4 a 10 y el de la anisotropía del espesor de 2 a 50. En tres secciones estratigráficas longitudinales el valor de la anisotropía del espesor es mayor, de 1.05 a 5.57, al valor de la anisotropía de la ley. Además, se distingue que la variabilidad mínima corresponde a la ley ($10.48/3.67=2.86$) que coincide con la dirección del eje largo del depósito. La dirección de la variabilidad máxima es el espesor ($49.5/2.57=19.26$) que es concomitante con la dirección de la anchura del depósito.

Con el fin de sintetizar las explicaciones de la **tablas 7.1 a 7.6**, se lleva acabo el cálculo del valor más alto entre el más bajo de las anisotropías de la ley y espesor, que se muestran en la **Tabla 7.7**, y se confirma que los valores de espesor y la ley siguen una distribución lognormal.

Tabla 7.7 Valores promedio de las anisotropías de la ley y espesor, así como los parámetros de la variabilidad máxima y mínima

| Número de Tabla | Valor de la anisotropía de la Ley | Valor de la anisotropía del Espesor | Parámetro de la variabilidad máxima | Parámetro de la variabilidad mínima |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 7.1 | $14.81/2.8=5.29$ | $31.72/1.14=28$ | Espesor | Ley |
| 7.2 | $26.56/4.42=6.00$ | $88/3=29.35$ | <i>Ídem</i> | <i>Ídem</i> |
| 7.3 (<i>Krigeage Normal</i>) | $26.60/1.84=14.46$ | $36.5/3=12.18$ | Ley | Espesor |
| 7.4 (<i>Krigeage Lognormal</i>) | $7.08/1.68=4.21$ | $6.60/1.05=6.29$ | Espesor | Ley |
| 7.5 (<i>Krigeage Normal</i>) | $28.18/4.07=6.92$ | $132/8=16.5$ | <i>Ídem</i> | <i>Ídem</i> |
| 7.6 (<i>Krigeage Lognormal</i>) | $10.48/3.67=2.86$ | $49.5/2.57=19.26$ | <i>Ídem</i> | <i>Ídem</i> |

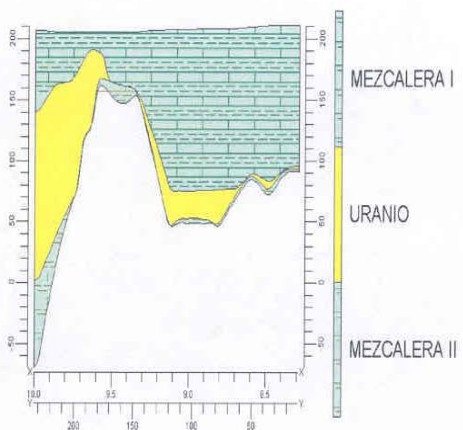
Tabla 7.5 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de las propiedades físicas calculadas con el Krigage Normal para los barrenos de las secciones estratigráficas longitudinales con dirección Norte a Sur

| Número de la sección longitudinal con dirección Norte a Sur | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta el uranio a la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|------------------------------------|--|---|---|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| H-H' (CB-11 NR al C7NR) Inciso JJ | Silla de montar | En la parte norte de la sección se engrosa fuertemente el espesor y con estrangulamientos en la parte intermedia | Sigue la estratificación y el cambio del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 70° | 2 102 / 17 = 123.65 | 437 / 17 = 25.71 | 310 / 11 = 28.18 | 132 / 1 = 132 | 132 / 28.18 = 4.68 |
| I-I' [(30,330) al (30,10)] Inciso KK | <i>Idem</i> | En la parte norte de la sección se engrosa fuertemente el espesor y con adelgazamientos en la parte intermedia | <i>Idem</i> | 75° | 2 065 / 17 = 121.47 | 412 / 17 = 24.34 | 256 / 16 = 16 | 101 / 2 = 50.50 | 50.50 / 16 = 3.16 |
| J-J' [(CB-10NR al (10,50)] Inciso LL | Manto con forma de silla de montar | Se adelgaza en la porción norte de la sección y se engrosa en la parte intermedia | <i>Idem</i> | 55° | 2 191 / 17 = 128.88 | 344 / 17 = 20.24 | 271 / 27 = 10.04 | 46 / 3 = 15.33 | 15.33 / 10.04 = 1.53 |
| K-K' (CB-12 NR al CB-4NR) Inciso MM | <i>Idem</i> | En el tercio superior el espesor se adelgaza fuertemente, en la parte media se ensancha | <i>Idem</i> | 70° a 80° | 1792 / 17 = 101.71 | 211 / 17 = 12.41 | 228 / 21 = 10.86 | 30 / 3 = 10 | 10 / 10.86 = 0.92 |
| L-L' [117 al 171] Inciso NN | Manto con variación en el espesor | En el tercio superior de la sección se adelgaza el espesor, en la porción sur se estrangula | Sigue la estratificación y el cambio del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | Sensiblemente horizontal con cambios de 30° a 35° | 1 245 / 17 = 73.24 | 123 / 17 = 7.24 | 185 / 14 = 13.21 | 16 / 2 = 8 | 8 / 13.21 = 0.61 |
| M-M' [108 al 74] Inciso OO | Manto con variación en el espesor | Cambios del espesor a lo largo de la sección norte a sur | <i>Idem</i> | Sensiblemente horizontal | 1 386 / 17 = 81.53 | 147 / 17 = 8.65 | 176 / 34 = 5.18 | 15 / 2 = 7.50 | 7.50 / 5.18 = 1.45 |
| N-N' [21 al 75] Inciso PP | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 1 540 / 17 = 90.59 | 160 / 17 = 9.41 | 163 / 34 = 4.79 | 16 / 3 = 5.33 | 5.33 / 4.79 = 1.11 |
| O-O' [23 al (150,10)] Inciso QQ | <i>Idem</i> | Se adelgaza el espesor en los extremos | <i>Idem</i> | <i>Idem</i> | 1 013 / 17 = 59.58 | 86 / 17 = 5.18 | 114 / 28 = 4.07 | 9 / 1 = 9 | 9 / 4.07 = 2.21 |

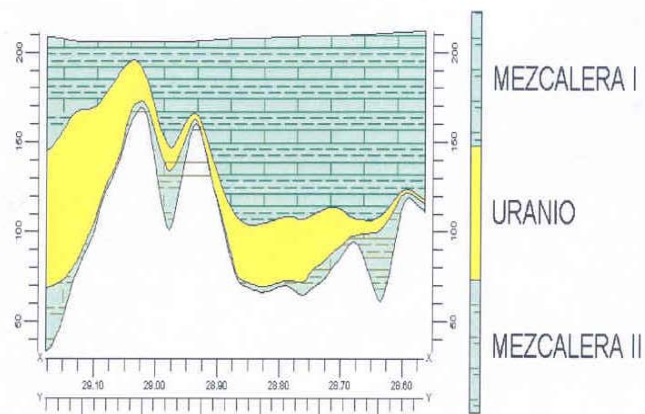
Tabla 7.6 Características geológicas del horizonte de uranio y valores promedio de las propiedades físicas calculadas con el Krigage Lognormal para los barrenos de las secciones estratigráficas longitudinales con dirección Norte a Sur

| Número de la sección longitudinal con dirección Norte a Sur | Forma que adopta el cuerpo mineral | Actitud de la mineralización de uranio | Comportamiento estructural del horizonte mineral en la Formación Mezcalera | Ángulo con que corta el uranio a la estratificación de la Formación Mezcalera | Ley promedio en g/t | Espesor medio en m | Anisotropía de la Ley | Anisotropía del espesor | Valor de la anisotropía del espesor entre el valor de la anisotropía de la ley |
|---|------------------------------------|--|---|---|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| H- H' (CB-11 NR al CB-7NR) Inciso JJ | Silla de montar | En la parte norte de la sección se engrosa fuertemente el espesor y con estrangulamientos en la parte intermedia | Sigue la estratificación y el cambio del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | 70° | 1 398 / 17 = 82.34 | 393 / 17 = 23.12 | 231 / 26 = 8.88 | 99 / 2 = 49.5 | 49.5 / 8.88 = 5.57 |
| I - I' [(30,330) al (30,10)] Inciso KK | Ídem | En la parte norte de la sección se engrosa fuertemente el espesor y con adelgazamientos en la parte intermedia | Ídem | 75° | 1 490 / 17 = 87.65 | 291 / 17 = 17.11 | 218 / 27 = 8.07 | 68 / 3 = 22.67 | 22.67 / 8.07 = 2.81 |
| J - J' [(CB-10NR al (10,50)) inciso LL | Manto con forma de silla de montar | Se adelgaza en la porción norte de la sección y se engrosa en la parte intermedia | Ídem | 55° | 1 674 / 17 = 98.47 | 309 / 17 = 18.18 | 283 / 27 = 10.48 | 33 / 5 = 6.6 | 6.6 / 10.48 = 0.63 |
| K- K' (CB-12 NR al CB-4NR) Inciso MM | Ídem | En el tercio superior el espesor se adelgaza fuertemente, en la parte media se ensancha | Ídem | 70° a 80° | 1405 / 17 = 82.76 | 231 / 17 = 13.59 | 153 / 26 = 5.88 | 25 / 6 = 4.17 | 4.17 / 5.88 = 0.71 |
| L- L' [117 al 171] Inciso NN | Manto con variación en el espesor | En el tercio superior de la sección se adelgaza el espesor, en la porción sur se estrangula | Sigue la estratificación y el cambio del espesor por posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo | Sensiblemente horizontal con cambios de 30° a 35° | 1 486 / 17 = 87.41 | 180 / 17 = 10.59 | 168 / 37 = 4.54 | 19 / 4 = 4.75 | 4.75 / 4.54 = 1.05 |
| M- M' [108 al 74] Inciso OO | Manto con variación en el espesor | Cambios del espesor a lo largo de la sección norte a sur | Ídem | Sensiblemente horizontal | 2 044 / 17 = 120.24 | 201 / 17 = 11.82 | 224 / 61 = 3.67 | 19 / 7 = 2.71 | 2.71 / 3.67 = 0.74 |
| N - N' [21 al 75] Inciso PP | Ídem | Ídem | Ídem | Ídem | 1 902 / 17 = 111.88 | 215 / 17 = 12.65 | 229 / 52 = 4.40 | 18 / 7 = 2.57 | 2.57 / 4.40 = 0.58 |
| O - O' [23 al (150,10)] Inciso QQ | Ídem | Se adelgaza el espesor en los extremos | Ídem | Ídem | 2 142 / 17 = 126 | 181 / 17 = 10.65 | 229 / 50 = 4.58 | 17 / 6 = 2.83 | 2.83 / 4.58 = 0.62 |

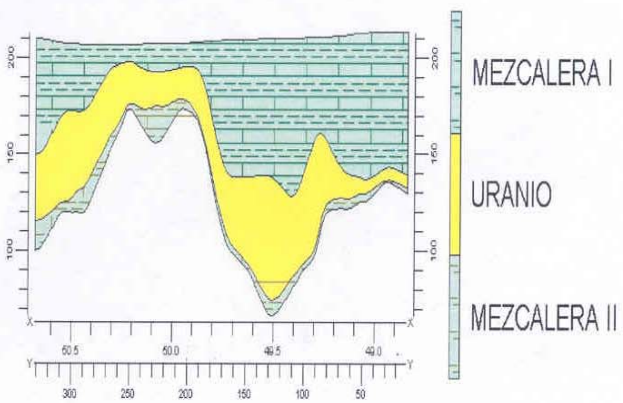
Figura 7.10 Secciones estratigráficas longitudinales de la H-H' a la K-K' de los valores del krigage normal y lognormal con dirección Norte a Sur



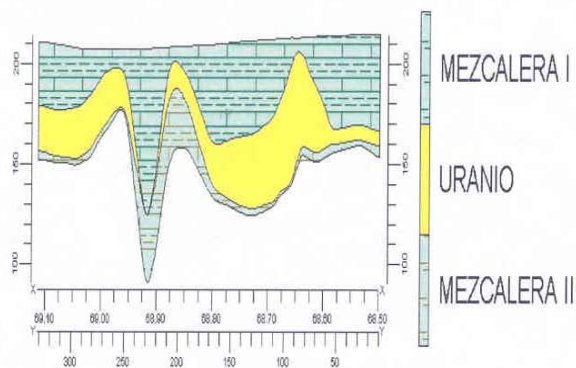
JJ) Sección estratigráfica longitudinal H a H' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno CB-11NR al barreno (10,10).



KK) Sección estratigráfica longitudinal I a I' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno (30,330) al barreno (30,10).

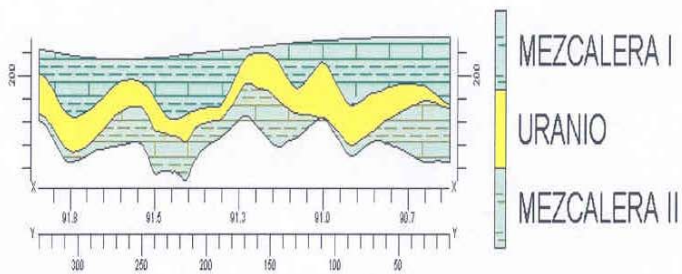


LL) Sección estratigráfica longitudinal J a J' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno CB-10NR al barreno (50,10).

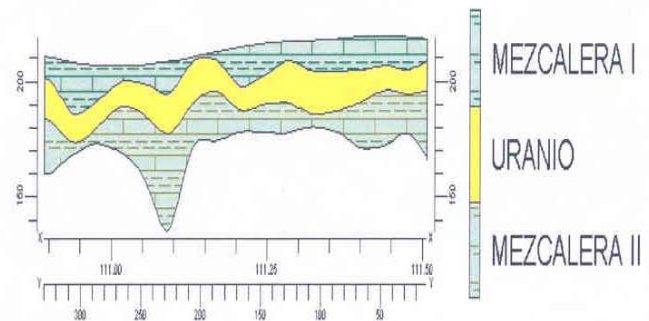


MM) Sección estratigráfica longitudinal K a K' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno 149 al barreno 168.

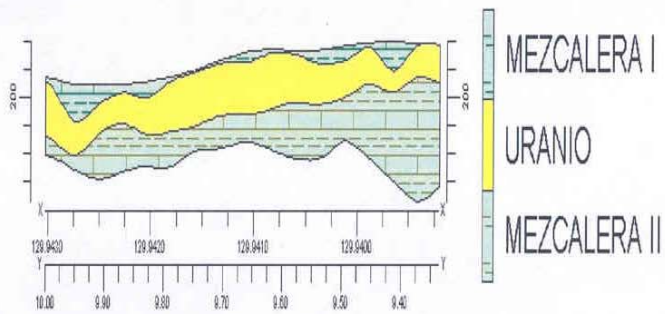
Figura 7.11 Secciones estratigráficas longitudinales de la L-L' a la O-O' con el krigage normal y lognormal con dirección Norte a Sur



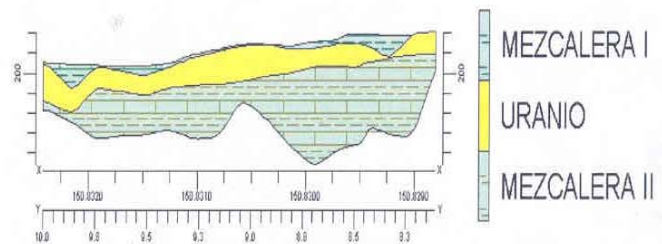
NN) Sección estratigráfica longitudinal L a L' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno 117 al barreno 173



OO) Sección estratigráfica longitudinal M a M' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno 108 al barreno 174



PP) Sección estratigráfica longitudinal N a N' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno 21 al barreno 175



QQ) Sección estratigráfica longitudinal O a O' de los valores del *krigeage* normal y lognormal con dirección Norte a Sur del barreno 23 al barreno (150,10)

7.5 Elaboración de secciones estratigráficas y contenido de uranio en tercera dimensión

Con el fin de investigar sobre la morfología de la mineralización y contenido de uranio en el subsuelo se elaboraron secciones estratigráficas y contenido de uranio en tercera dimensión, en forma diagonal, en cruz, en rejilla, longitudinales y transversales en el contorno del superbloque, las figuras son las siguientes:

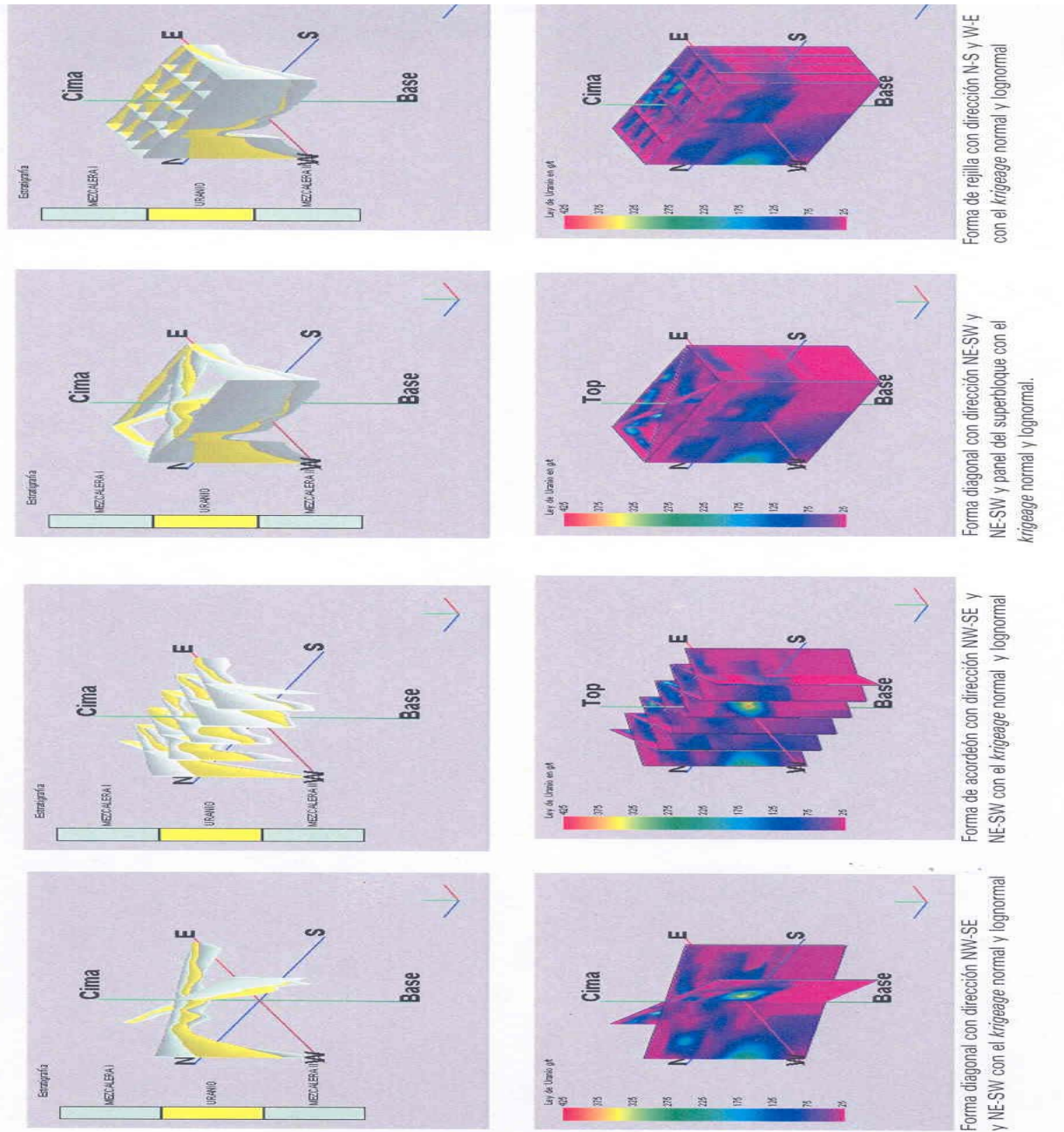
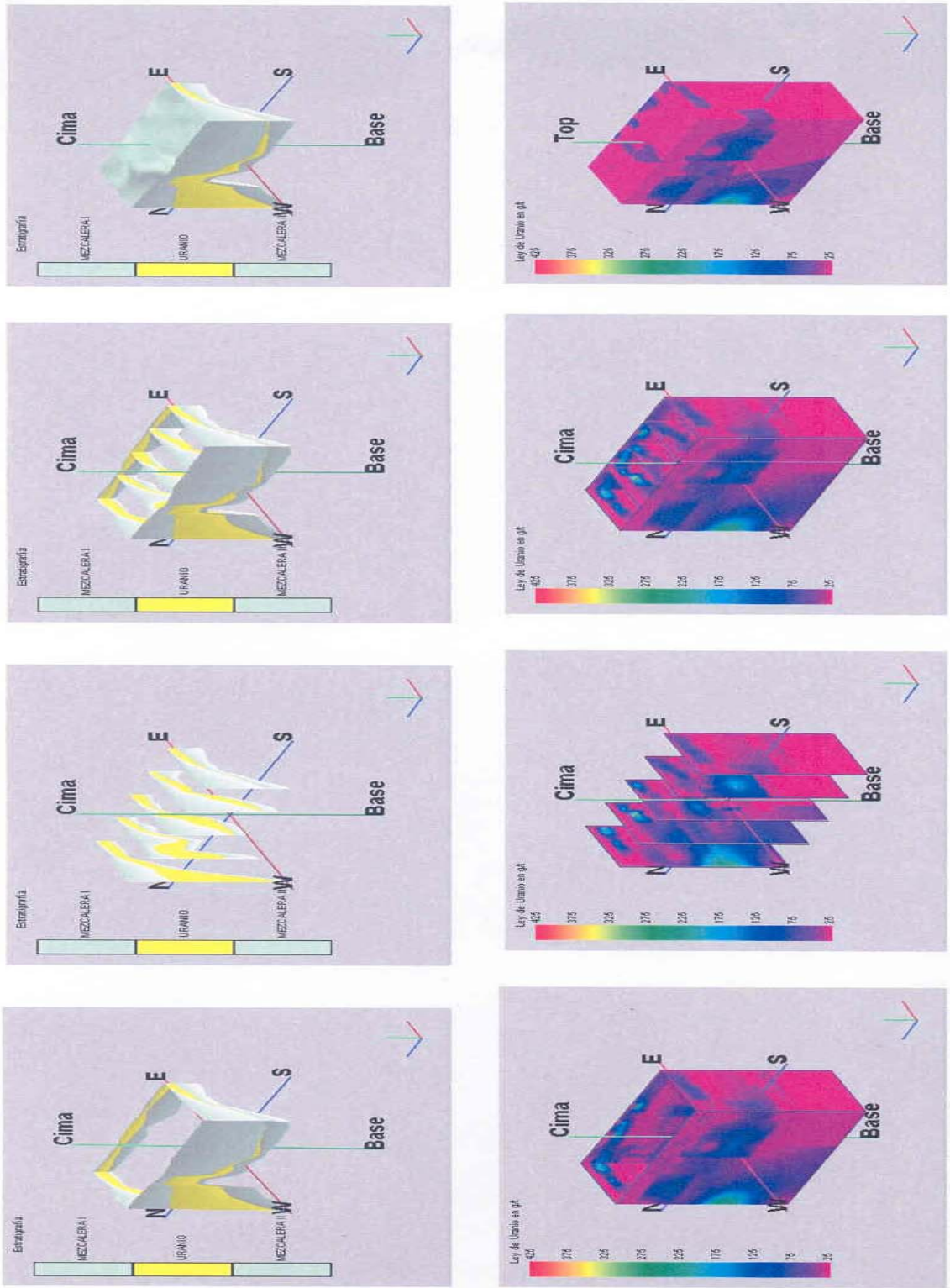


Figura 7.12 (primera parte) Secciones estratigráficas y contenido de uranio con diversas formas con el *krigeage* normal y lognormal



Bloque diagramático en tercera dimensión con el *krigeage* normal y lognormal

Forma de panel del superbloque con dirección N-S y W-E con el *krigeage* normal y lognormal

Forma transversal con dirección W-E con el *krigeage* normal y lognormal

Forma de panel del superbloque con dirección N-S y W-E con el *krigeage* normal y lognormal

Figura 7.12 (segunda parte) Secciones estratigráficas y contenido de uranio con diversas formas, así como bloques diagramáticos en tercera dimensión con el *krigeage* normal y lognormal.

CAPÍTULO 8 ANALOGÍAS DEL DCB CON OTROS DEPÓSITOS DE URANIO

Se presentan las características de tres localidades unaníferas próximas al DCB como son: Mina El Mezquite, Sierra de Coneto, Sierra de Gamón, así como los yacimientos de Peña Blanca en Chihuahua y el de Marysvale en Utah, con el objeto de hacer la comparación entre las similitudes geológicas y mineralógicas de estos depósitos.

8.1 Mina El Mezquite, Durango

Se localiza, en el cerro del cual toma su nombre, a unos 130 km al norte de la ciudad de Durango y al N 65° W a una distancia de 39 km del DCB. En la carta geológica minera Santiago Papasquiari (CRM, 2000), al cerro El Mezquite lo interpretan como una estructura de forma circular con un diámetro 9 km, la que clasifican como un domo de riolita porfídica del Oligoceno (ToRP) con flujos de lava con dirección radial y echados de 12° a 80° (Figura 8.1).

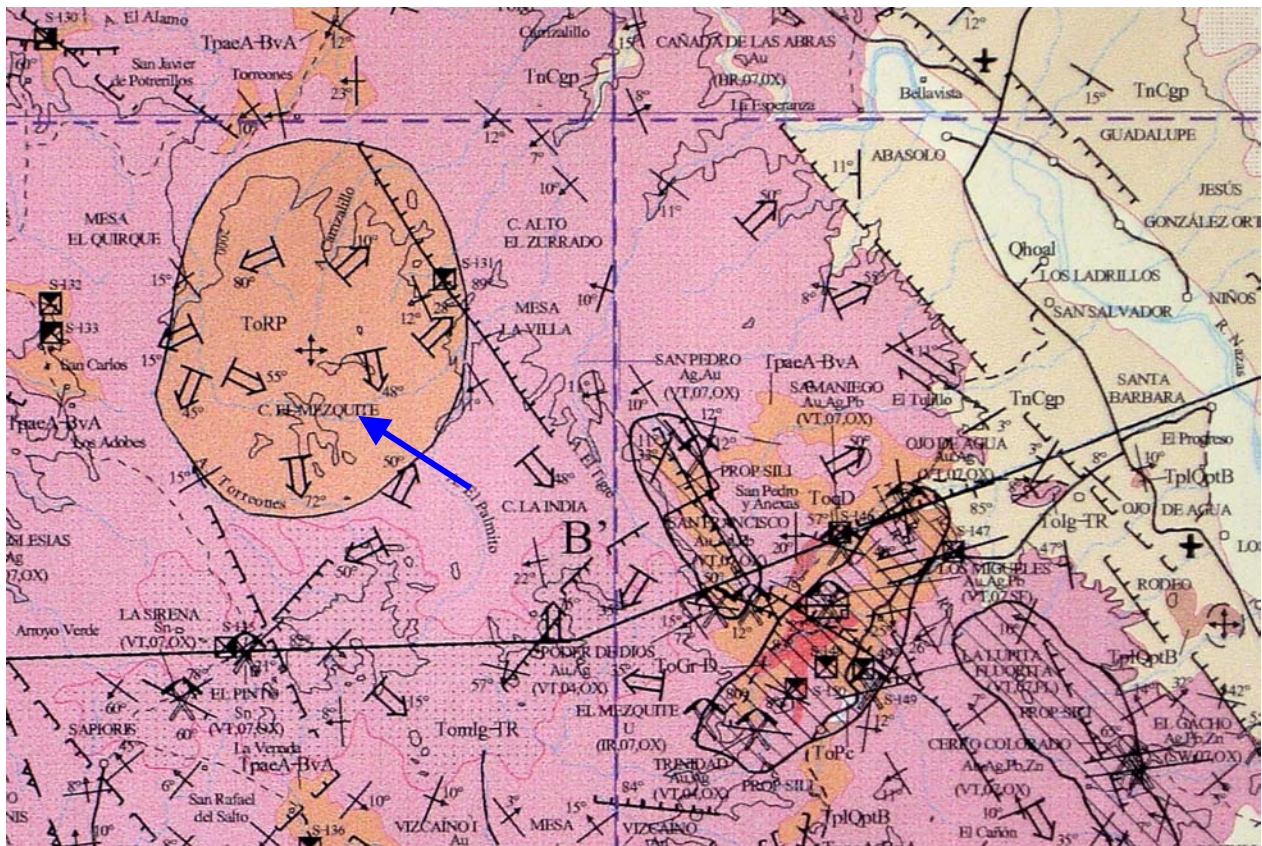


Figura 8.1 CRM, 2000. Detalle del Cerro El Mezquite (la flecha señala el sitio), donde se ubica la mina de uranio homónima del lugar
Fuente: CRM, 2000.

La roca donde se manifiesta la mineralización uranífera corresponde a una toba riolítica de color rosado y gris blanquecino, con partes pardas por la alteración de óxidos de hierro (limonita), predomina el color blanquecino debido al contenido de sílice y caolín, su estructura es maciza, con algunas partes que presentan esferulitas que contienen

sílice y ocasionalmente fluorita morada. La mineralización uranífera corresponde a la autunita que se encuentra alojada en la oquedades o poros de la toba riolítica, así como en pequeñas fracturas. También, la autunita se presenta cubriendo superficies de fracturas y raramente rodeando fragmentos líticos, distribuidos irregularmente (Reyes, 1977).

Con respecto a la mineralización de uranio, se colectaron muestras de canal en los cuerpos mineralizados de la mina El Mezquite, las que se estudiaron por difracción de rayos X determinándose las siguientes especies mineralógicas: uranofano $[Ca(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2 \cdot 5H_2O]$ y autunita $[Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6-12H_2O]$. Además, se determinaron minerales de hematita, limonita, pirolusita, pirita, psilomelano y fluorita. En el análisis químico cualitativo por fluorescencia de Rayos X se determinó el elemento rubidio, que interfiere a las determinaciones del elemento uranio. Las leyes registradas en el depósito de la Mina El Mezquite son el orden de los 400 gramos de U_3O_8 por tonelada (Reyes, 1977).

8.2 Sierra de Coneto, Durango

Se encuentra aproximadamente a 100 km al norte de la ciudad de Durango, así como al S 45° W y una distancia de 40 km del DCB, en la cual se identificaron 54 anomalías radiométricas y consiste enteramente de rocas calcoalcalinas que son equivalentes al Supergrupo Volcánico Superior, de la Sierra Madre Occidental, y tiene relaciones similares de álcalis (Figura 8.2). Sin embargo, hay una tendencia del contenido de álcalis a incrementarse a través del tiempo (Reyes, 1985).

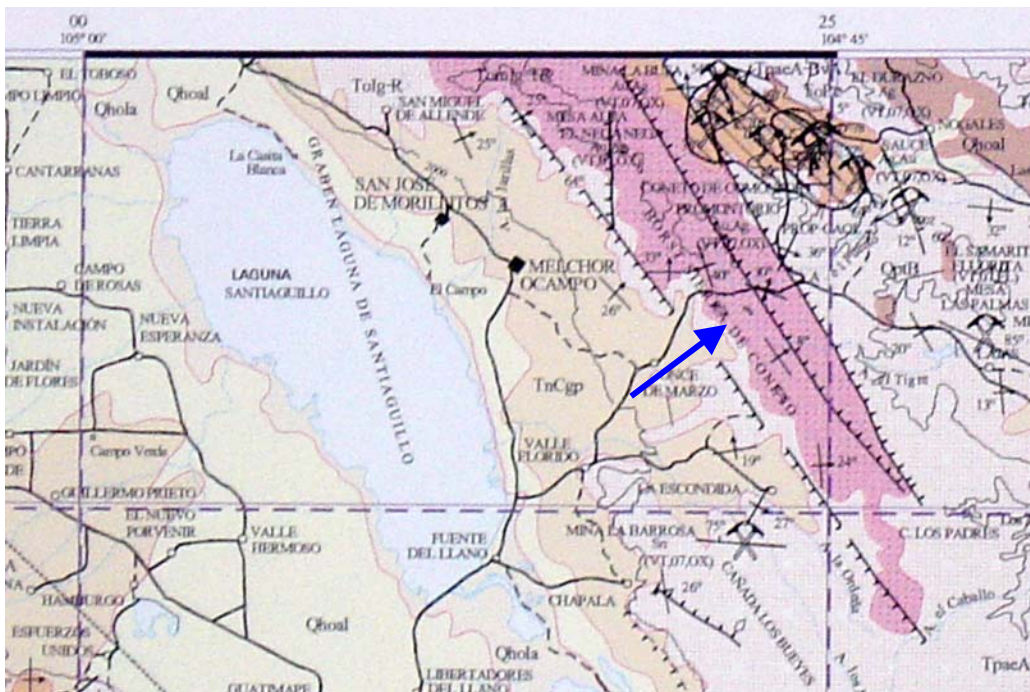


Figura 8.2 CRM, 2000. Detalle de la Sierra de Coneto (la flecha señala el sitio) donde se ubican 54 anomalías radiométricas

La mayor parte de la Sierra de Coneto está formada por una secuencia de ignimbritas y domos riolíticos emparentados que pertenecen al Supergrupo Volcánico Superior. El uranio se cree que se depositó de condiciones que varían de la fase vapor a la epitermal.

Magascópicamente, la mineralización de uranio se observa de color amarillo pulverulento diseminado a través de los horizontes del material piroclástico. Minerales como el uranofano $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$, betauranófano $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$, weeksita $[\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, gastunita $[(\text{K}_1\text{Na})_2(\text{UO}_2)(\text{Si}_2\text{O}_5)_4]$, autunita $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$, meta-autunita $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$, uranospinita $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]$, torbernita $[\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$, tyuyamunita $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ (definidos por difracción de rayos X) fueron encontrados dentro de las diferentes muestras colectadas en diversos afloramientos de las anomalías radiactivas. Los minerales de uranio están diseminados pero también se encuentran rellenando fracturas, revistiendo a los granos y en concentraciones dentro de zonas silicificadas. El tamaño del grano de uranio tiene un diámetro de 0.1 a 3 mm al estar diseminado, y de 0.2 a 2 mm cuando está sin rellenar y al cubrir a los granos (**Reyes, 1985**).

En la Sierra de Coneto se presentan dos etapas de mineralización. La primera etapa presenta la correlación del Mn, Mo, Pb y Th. Estos elementos posiblemente son parte de una etapa geotermal-hidrotermal de la mineralización después de la erupción de las últimas ignimbritas en la Sierra de Coneto. La segunda etapa muestra una correlación de los elementos de U, V, Ca y As. Ellos representan la última precipitación y concentración que puede ser debida a la lixiviación o alteración de las ignimbritas por las aguas subterráneas ascendentes, descendentes o de movimiento lateral. También, es posible que el uranio esté entrampado en algunas zeolitas (heulandita $[\text{Na,Ca}]_4\text{-}_6\text{Al}_6(\text{Al,Si})_4\text{Si}_{26}\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}]$) y materia carbonosa. Además, el uranio se asocia con el ópalo, fluorita y óxidos de manganeso. En muestras de núcleos de roca de barrenos de la Sierra de Coneto los análisis de laboratorio reportan valores de plata de 120 ppm y plomo de 200 ppm. La presencia de fluorita, cuarzo, calcedonia, pirita y calcita asociada con los minerales de uranio sugiere temperaturas epitermales-geotermales de mineralización; sin embargo, algo de sericitización puede representar altas temperaturas. Las alteraciones consisten en devitrificación, argilitización, zeolitización, cloritización, caolinización, hematización y silicificación (**Reyes, 1985**).

El origen del uranio en el área de la Sierra de Coneto puede ser de cuatro tipos: magmático, magmático-hidrotermal, devitrificación-diagénesis-lixiviación y geotermal. Empero, **Reyes (1985)** se inclina por los últimos dos procesos debido a las características físicas y químicas de las formaciones ignimbriticas y la ocurrencia del uranio. Sin embargo, una mejor definición será cuando, posteriormente, se efectúen estudios de inclusiones fluidas y estudios isotópicos.

El proceso geotermal es el resultado del calentamiento de las aguas meteóricas por la presencia de un domo; o por las aguas magmáticas o por las aguas connatas calientes.

Las aguas geotermales lixivian, transportan, y removilizan grandes cantidades de sílice y otros elementos de las formaciones afectadas (**Reyes, 1985**).

En la Sierra de Coneto hay tres sistemas principales o modelos de fallas normales. Estos modelos posiblemente correspondan al sistema de Cuencas y Cordilleras (Basin and Range). Las direcciones preferenciales son N30°W, N-S y N10°E; sin embargo, hay una rango de variación en la orientación de cada modelo el cual varía casi 10°. También, hay tres sistemas de fracturas secundarios y subordinados que son casi perpendiculares a los primeros. La longitud de estas fallas y fracturas dentro de la sierra varían de unas decenas de metros a más de 50 km. Las fallas más importantes que se relacionan con las zonas de mineralización se encuentran a lo largo del flanco oeste y dentro de la porción central de la Sierra de Coneto (**Reyes, 1985**).

8.3 Sierra de Gamón, Durango

Se ubica a una distancia de 62 km al S 20° E del depósito de Coneto Buenavista, o al N 35° E y a una longitud de 75 km de la ciudad de Durango. En el flanco oeste de la Sierra de Gamón se detectó una anomalía radiométrica denominada "La Rosilla", la que se localiza a 7.2 km al N 16° E del poblado Pánuco de Coronado, Durango. La zona anómala detectada se manifiesta en los flujos de riolita que se encuentran taponando un conducto volcánico, la roca es de color gris claro y rosado, con minerales observables a simple vista como el cuarzo, feldespatos y escasos máficos, con fracturas persistentes y presencia de alteraciones hidrotermales (**Williams, 1983**).

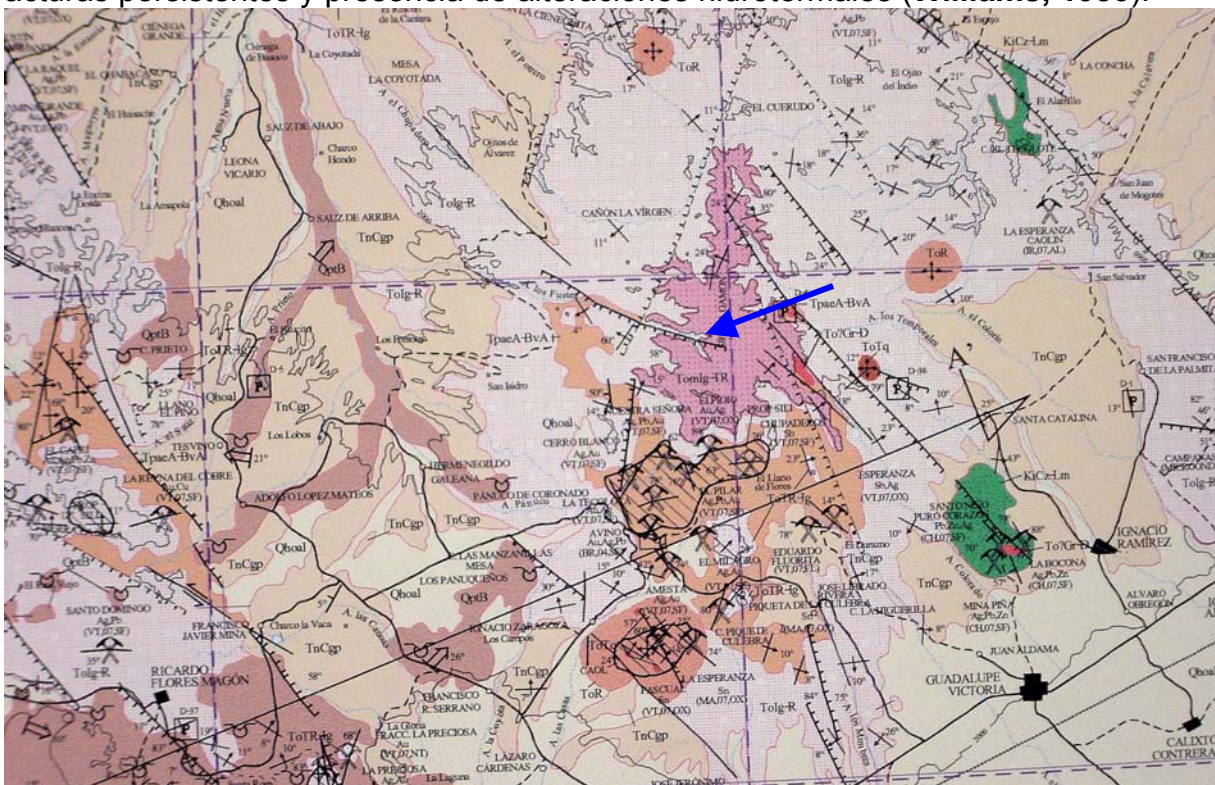


Figura 8.3 CRM, 2000. Detalle de la Sierra de Gamón (la flecha señala el sitio), donde se ubica la anomalía "La Rosilla"

Las manifestaciones anómalas radiométricamente están directamente relacionadas con un conducto volcánico, el cual está afectado por tres sistemas de fracturas, el primero con orientación Norte-Sur y está favorecido por los planos de fluidez verticales, el segundo tiene una dirección Noreste-Suroeste y el último Noroeste-Sureste, siendo el primero el sistema preferencial. Se colectaron muestras a las que se les efectuaron estudios de fluorescencia y difracción de rayos X identificándose uranio y thorio como elementos presentes y la thorita como especie mineralógica. Asimismo, se identificaron cuarzo, caolinita, alunita, muscovita, esfalerita, hematita y goethita. También, los elementos identificados fueron: hierro, thorio, arsénico, selenio (?), rubidio, uranio, cobre (?), plomo (?) y galio (?) en orden descendente de su proporción estimada. De los análisis por difracción de rayos X se desprenden los siguientes comentarios (**Williams, 1983**):

- 1) La alteración hidrotermal existente es producto del ataque de los feldespatos por soluciones hidrotermales ricas en boro, fluor, bióxido de carbono y gas sulfhídrico, dando origen este último a la formación de alunita.
- 2) La alteración presente en las muestras, es semejante a la que presentan los yacimientos de uranio de Margaritas y Puerto III en el distrito minero de Peña Blanca, Chih.

La estructura volcánica presenta intensas alteraciones hidrotermales representadas por: caolinita, alunita, sericita, hematita y sílice, estas alteraciones guardan una estrecha relación con la mineralización de uranio y thorio que se presenta con mayor intensidad en los sistemas de fracturas y su edad se considera del Mioceno (**Williams, 1983**).

8.4 Sierra de Peña Blanca, Chihuahua

Los depósitos de uranio de la Sierra de Peña Blanca se encuentran al NE del estado de Chihuahua, en el extremo oriental de la sierra mencionada, en el Municipio de Aldama (**Figura 8.4**).

La Sierra de Peña Blanca está constituida por una secuencia de rocas que abarcan desde el Paleozoico hasta el Terciario, de origen sedimentario y volcánico (**Figura 8.5**). La mineralización de uranio se encuentra en la Formación Nopal constituida por dos miembros, uno riolítico y otro tobáceo (**Figura 8.5**) y en la Formación Escuadra compuesta por dos miembros, el inferior consiste de tobas y conglomerado y el superior que está representado por derrames riolíticos (**Rodríguez et al., 1976**).

La mineralización uranífera se sitúa en el borde oriental de la Sierra de Peña Blanca, en donde se han identificado varios depósitos que en realidad pertenecen a uno solo, de entre los cuales resaltan: El Nopal I, II y III, La Brecha, El Puerto, Las Margaritas y otros que fueron en su mayoría descubiertos por prospección aero-radiométrica (**Chávez y Chávez , 1990**).

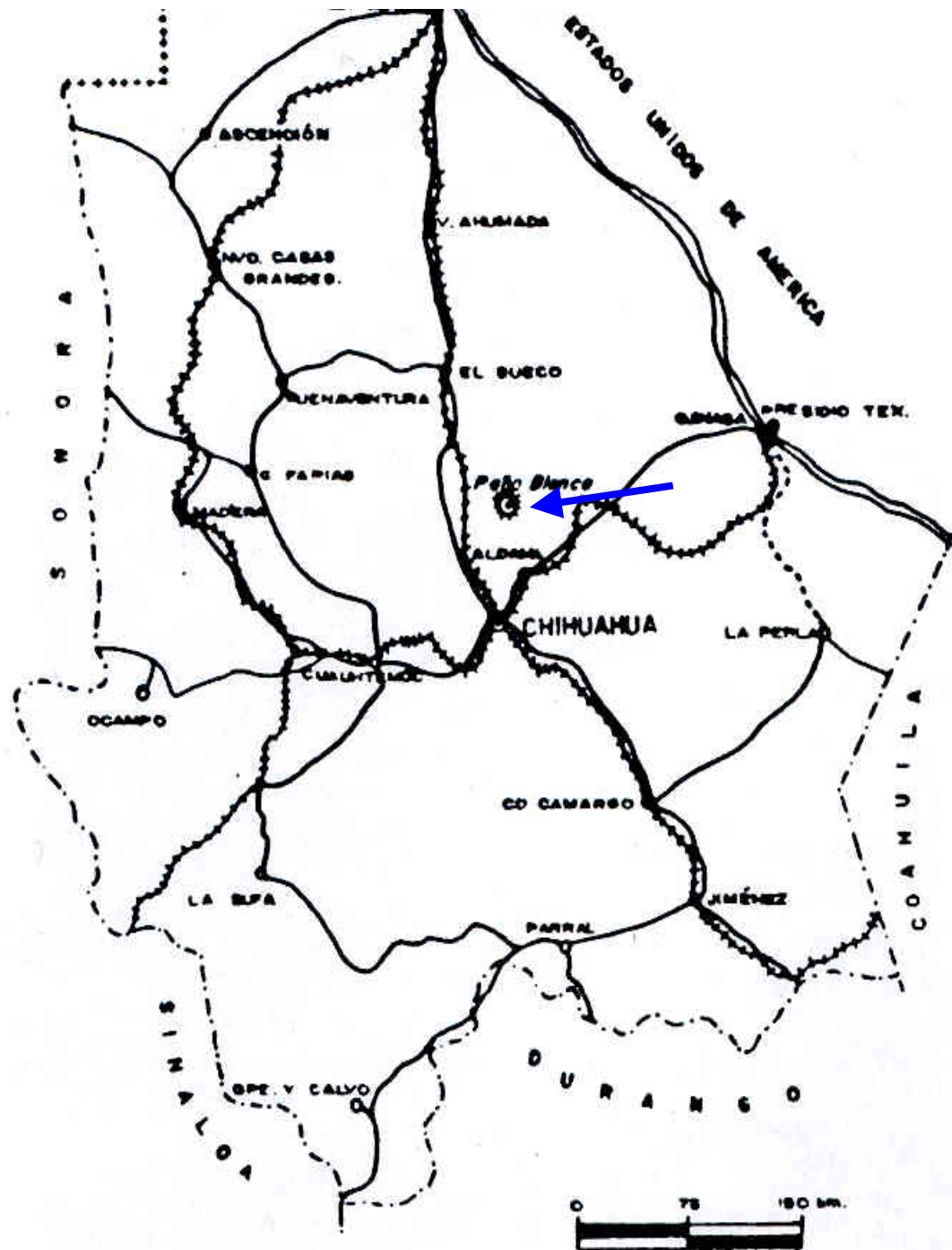


Figura 8.4 Ubicación del yacimiento de uranio de Peña Blanca, Chihuahua (la flecha señále sitio)
 FUENTE: Chávez y Chávez, 1990.

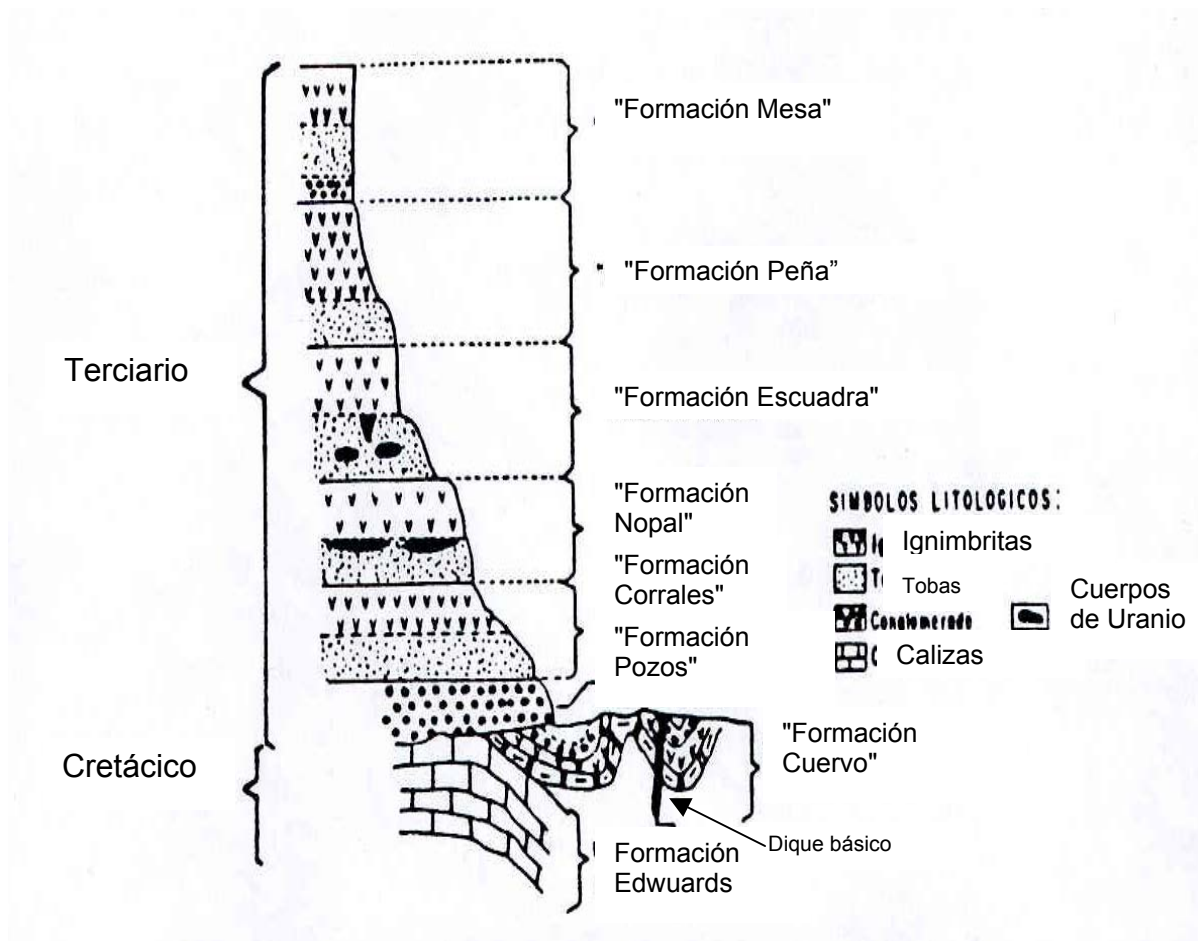


Figura 8.5 Columna estratigráfica de la Sierra de Peña Blanca, Mpio. de Aldama

FUENTE: Rodríguez et al., 1976.

En los depósitos antes mencionados es difícil encontrar el mineral primario de uranio (uraninita y pechblenda), pero son más frecuentes los minerales secundarios en altas concentraciones como son: uranofano $[Ca(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2 \cdot 5H_2O]$, betauranófono $[Ca(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2 \cdot 5H_2O]$, weeksita $[K_2(UO_2)_2(Si_2O_5)_3 \cdot 4H_2O]$, carnotita $[K_2(UO_2)_2(VO)_4 \cdot 3H_2O]$, tyuyamunita $[Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 5-8H_2O]$, autunita $[Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O]$.

La mineralización tuvo lugar al mismo tiempo que el inicio de la alteración hidrotermal provocando una precipitación de sílice del vidrio y feldespatos, que concentró la mineralización primaria, rodeándola en una matriz silíceo, impidiendo así su oxidación y lixiviación (Chávez y Chávez, 1990).

En las minas Nopal II y III el uranio está concentrado en el límite entre las ignimbritas soldadas y tobas, en un horizonte argilitizado. La alteración hidrotermal es menos intensa, afectando únicamente la matriz vítrea intersticial, el uranofano rodea a los feldespatos y puede proceder de la lixiviación de otro depósito.

En la mina Las Margaritas la mineralización de uranio está en la base de las tobas de la Formación Escuadra, en las riolitas y tobas de la Formación El Nopal y en calizas de la Formación Edwards, a lo largo de fracturas o fallas con desarrollo de una mineralización de cuarzo-fluorita-yeso (**Chávez y Chávez , 1990**).

8.5 Marysvale, Utah

Dentro de los depósitos epitermales se puede añadir los yacimientos uraníferos de pechblenda y fluorita, con pirita, cuarzo, calcedonia y adularia de Marysvale, Utah (**Cepeda, 1975**). En Marysvale diversos grupos de minerales de uranio supergénicos fueron encontrados como incrustaciones, vetillas y desiminaciones que ocurren tanto a lo largo de las vetas como en la cercanía de la pared de las rocas (**Figura 8.6**). Los trabajos mineros se circunscriben a la riolita, contenedora de la mineralización de uranio, que tiene una forma semicircular. El contorno, más la presencia de la brecha y la alteración argílica, sugieren que la riolita adopta una forma de chimenea. Al continuar el minado se encontraron diversos cuerpos minerales bien definidos dentro de la riolita. Éstos son más o menos lenticulares y pueden medir de 3 a 17 m de diámetro (**Kerr, 1970**).



Figura 8.6 Áreas con las mayores reservas de uranio de los Estados Unidos de América, donde se ubica el yacimiento de Marysvale (subrayado con azul)

FUENTES: U.S. Department of Energy, Grand Junction Project Office (GJPO), and National Uranium Resource Evaluation, Interim Report (June 1979).

Los minerales supergénicos de los niveles superiores de la mina Freedom se describen como sigue (**Kerr, 1970**):

- 1) Sulfatos hidratados

| | |
|--------------------------|---|
| Uranofilita | $6\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ |
| 2) Silicatos hidratados | |
| Uranofano | |
| | } $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |
| β -uranotilo | |
| 3) Carbonatos hidratados | |
| Scroevingerita | $\text{Ca}_3\text{NaUO}_2(\text{CO}_3)_3(\text{SO}_4)\text{F} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ |
| 4) Fosfatos hidratados | |
| Autunita | $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ |
| Meta-autunita | $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ |
| Meta-torbernita | $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ |
| Fosfuranilita | $(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ |

La mineralogía de Marysvale está conformada por uraninita, betauranófono, meta-autunita y phosphuranilita. Dos prominentes generaciones de alteraciones ocurren en el distrito de Marysvale. La primera e inicial representa la formación de numerosas masas y vetas de alunita. La segunda y posterior representa la alteración argílica asociada con la introducción de minerales de uranio a lo largo de fracturas (**Kerr, 1970**).

La petchblenda es el mineral mena en Marysvale. La fluorita fina de color negro o morado, pirita y cuarzo comúnmente están asociadas con la petchblenda. Las determinaciones de la edad de la petchblenda en Marysvale es de 10 a 13 Ma. que ubica al uranio a principios del Mioceno Medio (**Kerr, 1970**).

A continuación de manera sucinta se presenta la comparación de las características geológicas del DCB con los cinco depósitos de uranio descritos (**Tabla 8.1**).

| CONCEPTO | DEPÓSITO DE CONETO BUENAVISTA, DGO. | MINA EL MEZQUITE, DGO. | SIERRA DE CONETO, DGO. | SIERRA DE GAMÓN, DGO. | SIERRA PEÑA BLANCA, CHIH. | MARYSVALE, UTAH |
|--|---|--|---|---|--|--|
| Litología | Riolita porfídica | Secuencia de tobas e ignimbritas | Ignimbritas y domos riolíticos del Super Grupo Volcánico Superior | Flujos de riolita que se encuentran taponando un conducto volcánico | Secuencia de rocas ígneas volcánicas | Complejo de rocas ígneas intrusivas y extrusivas |
| Estructura | Cuerpo subvolcánico en forma de tronco o domo de flujo riolítico | Domo riolítico con diámetro de 9 km | Meseta ignimbrítica con alternancia de tobas | Conducto volcánico donde se encuentran las manifestaciones anómalas radiométricamente | Meseta ignimbrítica con alternancia de tobas | Riolita que adopta una forma de chimenea de forma circular |
| Litología que encajona la mineralización de uranio | Riolita, calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mezcalera | Toba lítica riolítica de color rosado o gris blanquecino. | Horizontes de material piroclástico | Flujo de riolita, brechas volcánicas riolíticas que se manifiestan como domos y cuellos volcánicos | Formación Nopal constituida por dos miembros uno riolítico y otro tobáceo | Porción inferior de flujos riolíticos |
| Alteraciones hidrotermales | Argílica, limonitización, silicificación, sericitización, cloritización y materia carbonosa | Limonita, hematita | Sericitización, desvitrificación, argilitización, zeolitización, cloritización, caolinización, hematización y silicificación. | Alunita, caolinita, sericita, hematita y sílice | Argílica y silicificación | Alunita, argílica |
| Mineralogía | Cuarzo, silicio, calcio, uranio, hierro, potasio, plomo, aluminio, bario, itrio y fósforo | Sílice, caolín, fluorita morada, hematita, limonita, pirolusita, pirita, psilomelano | Zeolita, materia carbonosa, ópalo, fluorita, óxidos de manganeso, cuarzo, calcedonia, pirita y calcita | Cuarzo, caolinita, alunita, muscovita, esfalerita, hematita y goethita. Elementos como. Fe, Th, Ar, Se, Rb, U, Cu, Pb, Ga | Cuarzo, yeso y fluorita | Fluorita, pirita, cuarzo, calcedonia, adularia |
| Mineralización uranífera | Betauranofano, fosfuranilita, meta-autunita, uraninita | Uranofano, autunita | Uranofano, betauranofano, weeksita, gastunita, autunita, meta-autunita, uranospinita, torbernita, tyuyamunita | Uranio, torio, thorita | Uraninita y pechblenda (escasas), uranofano, betauranofano, weeksita, carnotita, tyuyamunita, autunita | Uranofilita, uranofano, β -uranotilo, scroekingierita, autunita, meta-autunita, meta-torbernita, fosfuranilita |
| Sistemas de Fracturas | Dos sistemas: NW50°SE con 74° al SW y NE78°SW con 79°SE | Dos sistemas: NE60°SW y NW30°SE | Tres sistemas: NW30°SE; N-S, NE10°SW | Tres sistemas: N-S, NE-SW y NW-SE | Fracturas y fallas | Vetas con dirección NE55° a 65°SW y más o menos verticales |
| Leyes | U de 45 a 430 g/t | U 400 g/t | Ag 120 g/t, Pb 200 g/t, y U de 250 g/t a 14 kg/t | U de 62 a 210 g/t; Th de 47 a 1 007 g/t | U 1 kg/t | U 2 kg/t |
| Edad de la mineralización | Mioceno Temprano | Oligoceno | Oligoceno-Mioceno | Mioceno | Oligoceno-Mioceno | Mioceno Medio |
| Origen de la mineralización | Hidrotermal epitermal de baja sulfuración (BS) | Hidrotermal | Hidrotermal por desvitrificación-diagénesis-lixiviación, geotermal | Hidrotermal | Hidrotermal | Hidrotermal epitermal |

Tabla 8.1 Comparación de las características geológicas del DCB con cinco depósitos uranio

De la **Tabla 8.1** se infiere que existen muchas similitudes de las características geológicas y mineralógicas de los seis depósitos, para establecer la continuidad de la franja uranífera en México (**Damon et al., 1981**), desde la Sierra de Gamón, pasando por el DCB en Durango, hasta el yacimiento de Sierra de Peña Blanca en Chihuahua. Además, es factible que la franja de uranio se extienda hacia el norte al yacimiento de Marysvale, Utah.

De los depósitos de Mina El Mezquite, Sierra de Coneto, Sierra de Gamón, DCB y Sierra de Peña Blanca, éste fue al único que se le realizaron los estudios de factibilidad minero-metalúrgica con leyes de uranio de 1kg/t y molibdeno de 500 g/t, así como los estudios económico y financieros que lo hacen un yacimiento viable para ser explotado. Sin embargo, los cuatro depósitos de Durango constituyen una franja uranífera, para ser explorada y evaluada, y en el futuro poder ser explotados como un solo depósito, pues la ley mínima explotable de uranio requerida es de 500 g/t y un tonelaje de aproximadamente 1 000 000 toneladas, para tener un contenido de 500 t de U₃O₈.

La evaluación de los recursos *in-situ* del DCB con el *krigeage* normal proporciona un tonelaje de 2 866 306 t, con un espesor promedio de 23 m, ley media de 197 g/t y un contenido de U₃O₈ de 565 893 kg. Con el *krigeage* lognormal los recursos *in-situ* van de las 2 044 524 a las 2 140 018 t, el espesor promedio de 16 a 17 m, ley promedio de los 127 a 129 g/t y un contenido de U₃O₈ de 262 338 a 270 682 kg.

Si el precio de uranio (*Ux Weekly Spot Price*) es de **17.60 dólares/lb** de acuerdo con los precios de metales publicados el 5 de abril de 2004, en el The Ux Consulting Company, LLC, www.uc.com/review/uxc_prices.html. Se tienen los siguientes cálculos:

El valor del tonelaje *in-situ* con el *krigeage* normal será de:

$$(17.60 \text{ dólares/lb})(2.2 \text{ lb/kg})(565 522 \text{ kg})= 21 897 012 \text{ dólares}$$

El valor del tonelaje *in-situ* con el *krigeage* lognormal será de:

$$(17.60 \text{ dólares/lb})(2.2 \text{ lb/kg})(262 762 \text{ kg})=10 174 145 \text{ dólares}$$

$$(17.60 \text{ dólares/lb})(2.2 \text{ lb/kg})(271 226 \text{ kg})=10 501 871 \text{ dólares}$$

Así, la continuidad de los depósitos de uranio de Durango con los depósitos de Chihuahua tiene una amplia perspectiva, para los minerales radiactivos en México.

9. CONCLUSIONES

Con relación al objeto general de la disertación que se planteó, se puede manifestar que se efectuó el estudio de la explicación genética y la evaluación geoestadística del DCB y se llegó a los resultados que se mencionan a continuación:

1) Las rocas huéspedes de la mineralización de uranio son de la Formación Mezcalera que fue afectada por los esfuerzos compresionales, plegándola y a fallándola normal e inversamente, debido a su composición litológica con alto contenido de arcillas y margas, siendo menos compleja la deformación estructural en las rocas calcáreas (**Araujo y Arenas, 1986**). Se interpreta, de manera preliminar, que los pliegues y fallas inversas se formaron por los esfuerzos compresionales principales (σ_1), que actuaron en el Cretácico Tardío durante la Orogenia Laramide, con dirección *grosso modo* al NE-SW con ángulos de 60° a 75°, que afectaron a las calizas y lutitas (material dúctil) del Cretácico Inferior, presentes en la porción oriental del estado de Durango. Los esfuerzos compresionales principales (σ_1) propiciaron la formación de anticlinales (*sensu stricto* y recumbentes) cuyos ejes están orientados ortogonalmente a σ_1 , es decir, en la dirección NW-SE con ángulos de 35° a 15°, y al continuar la deformación, se dio inicio a las fallas inversas con una orientación paralela a los ejes de los pliegues (**Padilla y Sánchez, 1996**).

2) El análisis estadístico del azimut del rumbo de los sistemas de fracturas que prevalecen son la N-S y NE-SW, pero la primera dirección es la persistente por ser la más reciente y la que corta a los otros dos tendencias (NE-SW y NW-SE). Su origen se puede asociar a la etapa distensiva que sufrió la Sierra Madre Occidental y formó las fosas y pilares tectónicos durante el Plioceno, que se asemeja al sistema de fallas normales de la Provincia de Cuencas y Sierras.

3) A partir de la ciudad de Chihuahua se cartografió la franja metalogenética de uranio que se extiende hacia el sur al DCB, y los depósitos de uranio se localizan entre los 700 y 800 km de la paleotrinchera (**Damon, 1981**). El DCB se puede correlacionar con, los depósitos de Durango, Mina El Mezquite, Sierra de Gamón, Sierra de Coneto, así como con los yacimientos de Sierra de Peña Blanca, Chihuahua y Marysvale, Utah. Las analogías de estos depósitos son en: litología, estructuras, mineralogía uranífera, alteraciones hidrotermales, sistemas de fracturas, edad y origen de la mineralización.

El cuerpo subvolcánico del DCB se emplazó una vez que hubo una liberación de presión causada por la falla normal regional con rumbo NW-SE y longitud aproximada de 65 km. Asimismo, adopta una forma de un pequeño domo riolítico, el cual mineralizó a la Formación Mezcalera, y trajo consigo al uranio y se acompañó de las soluciones hidrotermales con uranio. Asimismo, el cuerpo subvolcánico está fuertemente fracturado con dos sistemas de fracturas (N30°W con 90° y N40°E con 74°), que son persistentes cada 50 cm. Las fracturas tienen una traza ligeramente ondulada, abiertas con superficies rugosas, sin relleno, con impregnaciones de manganeso y limonita en forma de películas. También, en la zona de brechas el cuerpo subvolcánico está

fuertemente silicificado con formación de calcedonia tardía en las caras de alguna de las fracturas.

El comportamiento que adopta la mineralización de uranio del DCB, en el subsuelo es la de crestas de repliegue y se asocia a las charnelas y flancos de los pliegues del anticlinal recumbente. En las secciones transversales al cuerpo hidrotermalizado No. 1 la mineralización de uranio adopta la forma del casquete de una silla de montar, con un espesor que se engruesa en las crestas de los pliegues. La mineralización tiende adelgazar su espesor en los flancos o piernas de la silla de montar, al ser paralela con los flancos de los pliegues y se inclina con un ángulo vertical de 70° aproximadamente. El comportamiento estructural complicado de la mineralización en el subsuelo, puede ser por la posible presencia de fracturas o fallas en el subsuelo, que inducen al cuerpo mineral a dislocarse y adoptar una inclinación con un ángulo que tiende a la vertical. En las secciones longitudinales la mineralización se ajusta a la forma de un manto, pero con cambios bruscos en la cima y base, y sigue en forma aproximada la estratificación de la Formación Mezcalera.

La edad de la mineralización de uranio es posible que corresponda al Terciario medio cuando acontece la fase de extensión en la época de relajación de los esfuerzos compresionales principales (σ_1), que afectó a la región de Rodeo cuando la primera etapa de fallamiento sucedió hace ~29 Ma (Oligoceno Tardío) y el segundo impulso (~24-20 Ma, Mioceno Temprano) que originaron la formación de las fracturas y fallas normales con dirección NW-SE (**Aranda-Gómez et al., 2000**); éstas propiciaron la formación de fosas y pilares tectónicos. Las fracturas y fallas normales probablemente fueron las vías o conductos por las que ascendieron las soluciones hidrotermales que contenían al uranio.

Los minerales de uranio presentes en el DCB son uraninita, betauranofano, meta-autunita y phosphuranilita. Las alteraciones hidrotermales más persistentes son la argílica, limonitización, silicificación, sericitización y cloritización. Asimismo, la presencia de materia carbonosa, pudo servir como un eficiente agente reductor que causó la fijación de la mineralización uranífera. De las características litológicas, alteraciones hidrotermales y mineralógicas del DCB se infiere una mineralización de tipo epigenético, ubicándolo como un depósito epitermal de baja sulfuración (BS) relacionado al vulcanismo subaéreo (**Camprubí et al., 2003**).

Las observaciones de campo y los resultados de la petrografía del DCB señalan características similares en paragénesis, sucesión, estructuras y texturas a las asociadas al modelo de mineralización de domos de flujo riolítico propuesto por **Burt and Sheridan (1981)**. En concordancia con la clasificación de **Guild (1974)** el DCB, se ubica en el Grupo II Depósitos minerales asociados con márgenes en subducción o que se están consumiendo, en el inciso D Océano/Continente–Extensión y punto 3 Asociación ignimbrita-epitermal, asociado con depósitos de plata-oro, mercurio-uranio, antimonio, como pueden ser los depósitos de Coneto Comonfort, El Mezquite y Sierra de Coneto, y el depósito de Linares, respectivamente.

4) La sismicidad histórica que se recopiló de la zona norte del país se desprende que no debe considerarse como una zona asísmica sino que debe tomarse de baja sismicidad. Los eventos localizados en seis entidades, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas, sus hipocentros presentan un alineamiento vertical que sugiere que estos eventos se asocian a una fosa tectónica con una anchura de aproximadamente de 216 km, que insinúa que esta estructura es sísmicamente activa. Los datos gravimétricos del estado de Durango muestran dos bajos o dos anomalías residuales isostáticas negativas ubicadas al noroeste de la capital de la entidad federativa, con valores de -55 miligales, lo que indica un adelgazamiento cortical. Con los datos sísmicos, gravimétricos, medición del flujo de calor, las altas temperaturas del manto y el adelgazamiento de la corteza, podemos decir que se tienen elementos de juicio que nos permiten reforzar la hipótesis de que el *rift* de Río Grande se extiende hacia el sur dentro de México, hasta la fosa de Rodeo que es una estructura sísmicamente activa.

5) El estudio geofísico superficial que se efectuó en el DCB, denominado levantamiento espectroscópico, para obtener configuraciones de isorradas (curvas de igual valor de radiactividad) de cuenta total, bismuto, talio, y relación bismuto/talio, se les sobrepuso la topografía, geología de detalle y cuadrícula (20 por 20 m) de los barrenos, proporcionó buenos resultados, pues los altos radiométricos en las cuatro configuraciones de isorradas tienen forma alargada, que siguen aproximadamente la traza de los tres cuerpos hidrotermalizados con dirección NW-SE que contiene mineralización de uranio y arman en la Formación Mezcalera. Asimismo, los altos radiométricos coincidieron con las zanjas y los barrenos que cortaron mineralización de uranio.

6) Con relación al análisis geoestadístico del DCB, los histogramas de los logaritmos de log-espesor, log-ley y log espesor por ley, muestran una distribución normal con curva de ajuste del tipo polinomio de 4° grado. Se construyeron seis semivariogramas a los que se les ajustó un modelo teórico conocido como esférico con meseta o *sill* y comportamiento lineal al origen, con efecto pepita y rango de 60 m. En los seis semivariogramas, la dirección N-S (90°) es la que presenta mayor continuidad, pues sigue la traza del cuerpo mineralizado No. 1 y el rumbo del eje de la estructura geológica que corresponde a un anticlinal recumbente. Para pares de puntos con distanciamientos, entre sí, menor o igual a 60 m, el fenómeno puede considerarse como estacionario (o cuasiestacionario) e isotrópico. Los semivariogramas con las orientaciones E-W, NE-SW y NW-SE exhiben anisotropía zonal, pues el valor de la meseta es alto por ser trayectorias perpendiculares a la traza del cuerpo hidrotermalizado No. 1. Sin embargo, los semivariogramas en la dirección N-S tienen un valor de la meseta bajo por seguir el rumbo de la traza del cuerpo hidrotermalizado No. 1 (**Rendu, 1981**).

La evaluación geoestadística de los recursos *in-situ* del DCB con el krigeage normal proporcionó un tonelaje de 2 866 306 t, y con el krigeage lognormal de 2 144 018 t, con un valor estimado de 22 millones de dólares y 10.4 millones de dólares, respectivamente. Sin embargo, hay que ser cautelosos, pues son recursos *in-situ*, pero son de interés para continuar con la exploración.

10. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos del estudio de la génesis de la mineralización uranífera y la evaluación geoestadística del depósito de Coneto-Buenavista, se tienen las siguientes deducciones:

- 1) El uranio puede ser una buena opción como fuente de energía para generar electricidad, aunque en los últimos años se ha favorecido el empleo de gas para la generación de electricidad, por ser un combustible fósil más limpio. Sin embargo, el precio del gas natural aumentó rápidamente y seguirá con esa tendencia, según es la opinión de diversos especialistas en hidrocarburos. Asimismo, las reservas de gas con que cuenta el país han disminuido hasta en un 21% en los últimos 5 años, según las cifras de PEMEX, pues las reservas remanentes totales de gas asociado, el que se obtiene al extraer el petróleo, y no asociado pasaron de 81 mil 38 millones pies cúbicos en enero de 1999, a 63 mil 893 millones de unidades en enero de 2004. Actualmente, México importa desde Estados Unidos una quinta parte del gas que se consume en el territorio nacional, Felipe Calderón, Exsecretario de Energía, dijo que se seguirá dependiendo del gas importado (**Vela, J. A., 2004, 1 pp.**). La semana pasada (29 de marzo al 2 de abril de 2004), en un foro de expertos en energía de Estados Unidos, Canadá y México realizado en Monterrey, Andrés Rozental, del Consejo Mexicano de Asuntos Internacionales, advirtió la delicada coyuntura que enfrenta México en la disponibilidad de recursos energéticos. "Queda claro que nuestra demanda de gas natural es mayor que nuestra oferta y no hay un correspondiente programa de nueva generación que llegue a satisfacer esta demanda" dijo Rozental. Monterrey es el área metropolitana del país considerada como la capital del consumo del gas natural, con más de 500 industrias que dependen del insumo para sus procesos y unos 582 mil usuarios residenciales o domésticos (**Vela, J. A., op. cit., ibidem**). Asimismo, el subsecretario de hidrocarburos de la Secretaría de Energía (Sener), Héctor Moreira, comentó que en tanto no se mejore la producción interna de gas natural o haya otras fuentes, el país seguirá dependiendo de las importaciones del energético desde Estados Unidos, y en estos momentos eso ya no es conveniente (**Chávez, V. y Palma, M., 2004**). En un intento más por hacer atractivo el proyecto El Fénix, considerada la obra del sexenio en PEMEX Petroquímica, la paraestatal cambia su estrategia y en lugar de utilizar el gas natural negociará con los privados para que se consuman gasolinas naturales. Una de las ventajas de utilizarlas es que resultan 50 por ciento más económicas que el gas natural: El costo es de 2.5 dólares por millón de BTU (unidades térmicas británicas), mientras que el gas natural en unos cinco dólares (**Palma, G. M., 2004**). Al tener en cuenta que las reservas de petróleo y de gas son limitadas a mediano y largo plazos, y que además contribuyen al calentamiento del planeta por la emisión de gases de efecto invernadero, la diversidad energética se vuelve hacia las energías renovables y el reforzamiento de la energía nuclear. La energía nuclear será entonces esencial entre las fuentes de energía en el futuro, pero antes deberá resolver de sus grandes problemas: ¿qué hacer con los desechos nucleares?, el almacenamiento en una formación

geológica profunda se ha instaurado en un solo país. Los Estados Unidos de América aprobaron (2001-2002) el proyecto de almacenamiento geológico profundo en rocas volcánicas en el sitio de Yuca Mountain (desierto de Nevada) para el almacenamiento definitivo del combustible quemado. Muchos otros países se preparan para seguir este ejemplo (**Badillo-Almaraz, V. E., y Pérez, J. A., 2004**).

- 2) El que México pueda replantear el empleo del uranio para generar electricidad, concederá al país la posibilidad de diversificar las fuentes de energía, con el propósito de no depender de un solo tipo de combustible y no elevar el precio de los combustibles como ha ocurrido en los últimos años. También, el empleo de la energía nuclear deberá cumplir con el desarrollo sustentable que en términos simples consiste en buscar un equilibrio entre la satisfacción de las necesidades de las generaciones actuales por una parte, y el derecho de los futuros habitantes de vivir en un mundo de condiciones ambientales similares (o mejores) a las presentes. Dicho de otra manera, el esfuerzo por mejorar el bienestar económico en el mediano plazo no debe comprometer el bienestar, en el sentido más amplio, de nuestra descendencia (**Briceño, L. P., 1996**). Las consideraciones de seguridad industrial en las centrales nucleares tiene que ver con la prevención de evitar contaminar al ambiente, al controlar las causas que originan accidentes y las incidencias de eventos que se repiten al aplicar procedimientos que investiguen sus orígenes. Además, se está en una competencia por los recursos financieros que son limitados, por lo tanto el orden jerárquico del aspecto ambiental debe ser del mismo orden para la prioridad económica.
- 3) Si el gobierno de México decide que el uranio es una fuente de energía importante para la generación de electricidad, será un factor fundamental para reactivar los trabajos de exploración, explotación y beneficio de la reservas de uranio que existen en el país. Asimismo, el sector minero metalúrgico ha estado deprimido en los últimos años por la falta de capitales, pues se requiere que el Estado impulse las inversiones, para que se conviertan en un detonador económico y maximizar su impacto a todo el territorio mexicano.
- 4) En el depósito de Coneto-Buenavista la perforación de 39 barrenos en la porción occidental del superbloque, con una profundidad hasta atravesar el espesor aproximado de la Formación Mezcalera que en el estado de Durango es de 156 a 342 m. La barrenación debe ser con recuperación continua de núcleo de roca, para efectuar los estudios petrográficos y mineragráficos, así como de estudios con el microscopio electrónico, para estudios de sucesión y paragénesis de la mineralización del depósito.
- 5) Tomar muestras para estudios de inclusiones fluidas que nos indiquen la temperatura a la cual se emplazó la mineralización primaria o secundaria de uranio.
- 6) Exploración con barrenación hacia el sur del cuerpo hidrotermalizado No.1, pues existen barrenos que cortaron mineral de uranio.
- 7) Investigación del cuerpo hidrotermalizado No.2 con pozos, ya que hay dos sondeos que cortaron mineral de uranio.
- 8) Prospección con pozos del cuerpo hidrotermalizado No.3, en los sitios de los altos radiométricos que se detectaron con la espectroscopía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aitchison, J. y Brown, J. A. C., 1973. The lognormal distribution: England, Cambridge University Press., p 1- 76.

Antunez, E. F., 1958. Manual para la exploración de uranio; México, CNEN, p. 51.

Aranda-Gómez, J. J., Henry, D. C., Luhr, F. J., 2000. Evolución tectonomagmática post-paleocénica de la Sierra Madre Occidental y de la porción meridional de la provincia tectónica de Cuencas y Sierras, México; México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. LIII, p. 59-71.

Araujo, Mendieta Juan, y Arenas, Partida Rodolfo, 1986. Estudio sedimentario en el Mar Mexicano estados de Chihuahua y Durango; México, SGM, Boletín, Tomo XLVII, vol. 2, p. 43-87.

Atwater, T., 1970. Implications of plate tectonics for the cenozoic tectonic evolution of Western North America; USA, Geological Society of America, Bull., 81, p. 3 513 - 3 536.

Badillo-Almaraz, Verónica E., y Pérez, Juan Antonio, 2004. Los desechos nucleares: ¿de dónde vienen y hacia donde van?; México, Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, vol. 55, núm. 2, abril-junio, p. 63-70.

Bateman, A. M., and Jensen, M. I., 1979. Economic mineral deposits; USA, Ed. John Wiley & Sons, Third Edition, 593 p.

Berlanga, Gutiérrez Juan Manuel y Obregón, Andría Juan José, 1981. Apuntes de geoestadística; México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 80 p.

Broker, P. I., 1979. Kriging, Engineering and Mining Journal; USA, Mining Publication Mc Graw Hill, p. 148-153.

Burnham, C. W., 1959. Metallogenic provinces of the south-western United States and northern Mexico; USA, New Mexico State Bur. Mines and Mineral Resources, Bull. 65, 76 p.

Burt, D. M. and Sheridan, M. F., 1981. Model for the formation of uranium/lithophile element deposits in fluorine-rich volcanic rocks, USA, Am. Assoc. Petroleum Geologists Studies in Geology, vol. 13, p. 99-109.

Calas, G., 1977. Les phénomènes d'altération hydrothermale et leur relation avec les minéralisations uranifères en milieu volcanique; les cas des ignimbrites tertiaires de la Sierra de Peña Blanca, Chihuahua (Mexique); France, Sci. Geol. Bull. Strasbourg, v. 30, núm. 1, p. 3-18.

Camprubí, A. , Prol-Ledesma, R. M., Tritlla, J., 1999. Comments on “metallogenic evolution of convergent margins: selected ore deposit models” by S.E. Kesler; Netherlands, Elsevier, Amsterdam, ore Geology Reviews 14, pp. 71-76.

Camprubí Antoni, Eduardo González Partida, Gilles Levesse, Jordi Tritlla y Alejandro Carrillo-Chávez, 2003. Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa; México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LVI, Núm. 1, pp. 10-18.

Carrasco, C. M., 1980. Carta geológica y metalogenética del estado de Durango, escala 1: 500 000; México, CRM, publicación 22 E, 63 p.

Carrillo, Aguado José Luis, 2003. Una mexicana en el Organismo Internacional de Energía Atómica; México, Revista Ciencia y Desarrollo, Volumen XXIX, Número 169, Marzo-Abril, p. 59.

Castañeda, Pérez Miguel, 1986. La producción de uranio en México; México, UNAM-FI, Programa Universitario de Energía, Coordinación de la Investigación Científica, 165 p.

Castro, Izquierdo Ángel, 1994. Conceptos básicos de geoestadística; México, Peñoles, Subdirección de Ingeniería de Proyectos, Sistemas Técnicos, 83 p.

Cepeda, Dávila Leovigildo, 1973. Apuntes de petrografía ígnea; México, UNAM-FI, Capítulo VII, p. 52-62.

Cepeda, Dávila Leovigildo, 1975. Apuntes de yacimientos minerales; México, UNAM, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología, 420 p.

Chávez, Aguirre José María, y Chávez, Aguirre Rafael, 1990. Geología de los yacimientos de uranio; México, UNAM-DEPFI, publicación D-86, Mayo, 117 p.

Chávez, Aguirre José María, 2003. Estudio petrográfico de la muestra MAO-1-2003; México, CFE-SEZC, p. 1.

Chávez, Víctor y Palma, Margarita, 2004. Se acaba el gas; está cerca la crisis, alertan Energía y Pemex; México, Periódico El Financiero, Sección Negocios, jueves 29 de abril, p.10.

Clark, Isobel, 1979. Practical geostatistics: Applied Science Publishers: England, pp. 129 p.

Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2002. Generación por fuente; México, CFE, Internet, www.cfe.gob.mx, Jueves 12 de septiembre, p. 1.

Coney, P. J.,1983. Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe; México, Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, vol. 87, p. 1180-1190.

CISN, 1996. Un panorama de los próximos 50 años de la energía nuclear; México, Consejo Internacional de Sociedades Nucleares (CISN), Sociedad Nuclear Mexicana, A.C., 95 p.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1993. Monografía geológico-minera del estado de Durango; México, SEMIP, Subsecretaría de Minas, CRM, 204 p.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 2000. Carta geológica minera Santiago Papatzi (G13-8) Durango, escala 1: 250 000; México, Secretaría de Economía, CRM, Febrero.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 2003, Carta geológico-minera de Rodeo, clave GD13-D42, escala 1:50 000; México, Secretaría de Economía, CRM, Noviembre.

Córdoba, A. Diego, 1988. Estratigrafía de las rocas volcánicas de la región entre Sierra de Gamón y Laguna de Santiaguillo, estado de Durango; México, UNAM, Instituto de Geología, Revista, vol. 7, núm. 2, p. 136-147.

Cunningham, P. William, y Woodworth, Saigo Barbara, 1999. Environmental Science: a global concern; USA, Mc Graw Hill, Fifth Edition, 650 p.

Christiansen, E. H., 1979. Uranium mineralization associated with fluorine-rich rhyolites in southwestern Utah: in Burt and Sheridan, eds., Uranium mineralization in fluorine-enriched volcanic rocks: USA, Dept. of Energy, GJBX-225-80, p. 415-458.

De la Fuente, D. A., Aiken, V. L., Mena, J. M. y Simpson, W. R., 1991. Carta gravimétrica de la República Mexicana, III Carta de anomalía residual isostática, escala 1: 3 000 000; México, UNAM-Instituto de Geofísica.

Damon, E. Paul, Shafiqullah, Mamad, y Clark, F. Kenneth, 1981. Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis; México, UNAM, Instituto de Geología, Revista, vol. 5, núm. 2, p. 223-238.

Demant, A. y Robin, C., 1975. Las fases del volcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico; México, UNAM, Revista del Instituto de Geología, p. 70 –83.

Dowd, P. A., 1982. Lognormal kriging-the general case; USA, Jour. Mathematical Geology, Vol. 14, No. 5, p. 475-499.

Díaz Velarde, S. G., y Morales, Ruiz M., 1969. El control estratigráfico como factor importante en la ubicación de los yacimientos de uranio descubiertos en las rocas extrusivas del Terciario, en la Sierra de Peña Blanca, Municipio de Aldama, estado de Chihuahua; México, Memoria de la VIII Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros Mineros, Metalurgistas y Geólogos de México, Taxco, Guerrero, Octubre del 12 al 16.

Eaton, G. P., 1979. A plate-tectonic model for Late Cenozoic crustal spreading in the western United States. *In* :R. E. Riecker (ed.). Rio Grande Rift: Tectonics and magmatism, A.G.U., Wash., p. 7-32.

Foucault, Alain y Raoult, Jean Francois, 1985. Diccionario de Geología; México, Ed. Masson, 1ª. Reimpresión, 315 p.

García, Virginia y Suárez, Gerardo, 1986. Los sismos de México, México, Fondo de Cultura Económica-UNAM-Centro de de Investigaciones y estudios Superiores en Antropología Social, p. 159, 297, 509 y 619.

Geoca, 1962. Informe de los trabajos geológicos-radiométricos efectuados en la Región del Mezquite, Municipio de Rodeo, Estado de Durango, III: México, Archivos de la Comisión Nacional de Energía Nuclear.

González Reyna, Jenaro, 1956. Riqueza minera y yacimientos minerales de México; México, Congreso Geológico internacional, XX Sesión, Banco de México, S. A., Tercera Edición, 497 p.

Guerra, Peña Felipe, 1976. Mapa de interpretación preliminar de la tectónica mexicana en imágenes del satélite artificial "Landsat-1"; México, Consejo de Recursos Minerales.

Guilbert, M. John, y Park, F. Charles Jr., 1986. The geology of ore deposits; USA, Freeman, Sixth printing, 985 p.

Guild, P. W., 1974. Distribution of metallogenic provinces in relation to major earth features. Osterr. Akad. Wiss., Vienna, Schriftenreihe Erdwiss. Komm, vol. 1, p. 10-28.

Guzmán, S. Enrique y Alba, S. Luis, 1981. Informe final de los trabajos de exploración, evaluación en el distrito minero de Coneto de Comonfort, Dgo.; México, Consejo de Recursos Minerales (CRM), 59 p.).

Hamblin, W. Kenneth, 1992. Earth's Dynamic Systems; USA, Macmillan Publishing Company, Sixth Edition, 646 p.

Henry, C. D.,1975. Geology and Geochronology of Granitic Batholithic Complex, Sinaloa, México; USA, Austin, Univ. Texas at Austin, Ph D. dissertation, unpublished, 158 p.

IAEA, 2002. Uranium ore deposits; USA, International Agency Energy Atomic (IAEA), Internet, www.antenna.nl/wise/uranium/uod.html

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 1983. Datación geocronológica por el método de K-Ar a muestras de Durango; México, IMP, 1p.

INEGI, 1976. Carta topográfica de Rodeo, Durango, escala 1: 50 000, clave G13D42; México, INEGI.

INEGI, 1978. Carta geológica de Rodeo, Durango, escala 1: 50 000, clave G13D42; México, INEGI.

INEGI, 1988. Carta geológica Santiago Papasquiari, escala 1:250 000, clave G13-8; México, INEGI.

Iparrea, V. V., Chávez, A. R., 1969. Descubrimientos recientes de localidades uraníferas en rocas ígneas extrusivas en la porción central del estado de Chihuahua; México, Memoria de la VIII Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros Mineros, Metalurgistas y Geólogos de México, Taxco, Guerrero, Octubre del 12 al 16.

ISO International Standard 710/II and 710/III, 1974 Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections-Part II: Representation of sedimentary rocks and Part III: Representation of magmatic rocks, p. 1-7 and p.1-6.

Kazimi, S. Mugid, 2003. Thorium fuel for nuclear energy; USA, American Scientist, September-October, Volume 91, Number5, p. 408-415.

Kazhdan, A. B., 1982. Prospección de Yacimientos Minerales; URSS, Ed. Mir Moscú, 376 p.

Kerr, F. Paul, 1970. Ore deposits of the United States, 1933-1967, The Marysvale Utah, Uranium Deposits: USA, The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., Ridge, D. John (editor), Reinpreted, Volume II, Part. 8, Chap. 50, p. 1019-1042.

Lee, W. H. K. y C. M. Valdés, 1985. A personal Computer Versión of the HYPO71 Earthquake Location Programa Open-File Report 85-749, Menlo Park, CA.

Levinson, A. A., 1980. Introduction to exploration geochemistry, 2nd ed.; USA, Applied Publishing, Ltd., Wilmette, Illinois.

Lomas, Delgado Elías, 1999. Sismicidad histórica y potencial sísmico alrededor de la C.C.C. Lerdo, Durango; México, CFE, Departamento de Sismotectónica, 21 p.

Long, E. Michael, 2002. Vida Media, el legado letal de los desechos nucleares en Estados Unidos; México, National Geographic en español, Julio, p. 2 - 33.

Lugo, Hubp José, 1989. Diccionario geomorfológico; México, UNAM Instituto de Geografía, p. 34.

Lyons, I. James, 1988. Volcanogenic iron oxide deposits, Cerro de Mercado and vicinity, Durango, México; USA, Economic Geology, p. 1886-1906

Matheron, Georges, 1962. Traite de géostatistique apliquée; Paris, Editions Technip, Tome 1 (1962), 334 pp., Tome 2 (1963) 172 p.

Matheron, Georges, 1971. The Theory of Regionalized Variables and its applications; France, Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau, No. 5.

Mc Dowell, W. Fred, and Clabaugh, E. Stephen, 1979. Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico; USA, in ash flows tuffs, Edited by Charles E. Chapin and Wolfaugh E. Elston, Geological Society of America, Special Paper 180.

Mc Dowell, F. W., y Keizer, R. P., 1977. Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental Between Durango City and Mazatlán, México; USA, Geological Society America, Bull., v. 88, p. 1979-1987.

Mercier, Jacques y Vergely, Pierre, 1999. Tectónica; México, IPN-Limusa-Noriega, 259 p.

Mohamed, M. O. Abdel, and Antia, E. Hogan, 1998. Geoenvironmental Engineering; Netherlands, Elsevier, 707 p.

Morán, Zenteno Dante J., 1984. Geología de la República Mexicana; México, INEGI, 88 p.

Morán, Zenteno Dante J., 1986. Breve revisión sobre la evolución tectónica de México; México, UNAM-Instituto de Geofísica, Revs. Geofísica Internacional, vol. 25, p. 9-38.

Norton, D., 1978. Transport phenomena in hydrothermal systems: the redistribution of chemical components around cooling magmas; France, Proceedings of the Centiennaire de la Societe Francaise de Mineralogie, Nancy, p. 913-936.

Norton, D., 1979. Transport process related to Koper-bearing porphyritic plutons: fluid and heat transport in plutón enviroments typical of the S. E. Arizona copper porphyry copper province; in Titley, S. R., ed., Geology of the Porphyry Copper deposits; USA, University of Arizona Press, Tucson, p. 436-442.

Norton, D. y Taylor, H. P., 1979. Quantitative simulation of the hidrothermal systems of crystallizing magmas on the basis of transport theory and oxigen isotope data: an analysis of the skaergaard intrusion; USA, Jour. Petrology, v. 20, no. 3, p. 117-124.

Padilla y Sánchez, Ricardo, 1985. Las estructuras de la curvatura de Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí; México, UNAM, Instituto de Geología, Revista, vol. 6, núm. 1, p. 1-20.

Padilla y Sánchez, Ricardo, Martínez, Serrano Raymundo G., y Torres, Rodríguez Vicente, 1990. Carta tectónica de México; México, INEGI, escala 1: 2000 000.

Padilla y Sánchez, Ricardo, 1996. Elementos de geología estructural; México, UNAM-FI y PEMEX, 110 p.

Palma, Gutiérrez Margarita, 2004. Reconversión al proyecto El Fénix, gasolina por gas; México, periódico El Financiero, Sección de Negocios, viernes 30 de abril, p.11.

Pirajno, Franco, 1992. Hydrothermal mineral deposits; USA, Springer Verlag, p. 101-155.

Química, 2002, Internet, www.prtodigyweb.net.mx/deqcorp/Quimica/Uranio.htm, Miércoles 28 de agosto, p.1.

Ramírez, Guzmán Alejandro H., y Garza, Porras Enrique, 1996. Resultados del registro de sismicidad de fuente natural, en la presa Lázaro Cárdenas, Durango (El Palmito); México, CFE-GEIC, Departamento Sismotectónica, reporte interno, 34 p.

Rendu, M. J. M., 1979. Normal and Lognormal Estimation; USA, Math. Geol., Vol. 11, No. 4, p. 407-422.

Rendu, M. J., 1981. An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation; South African, Institute of Mining and Metallurgy, 84 p.

Rendu, M. J. M., y Readdy, L., 1982. Geology and the semivariogram-A critical relationship; USA, Golder Associates Denver, Colorado, p. 771-783.

Reyes, Cortés Ignacio Alfonso, 1985. Geology and uraniumiferous in the Sierra de Coneto, Durango, México; USA, University of Texas at El Paso, thesis of Master of Geological Sciences, unpublished, May, 262 p.

Reyes, Guzmán José, 1977. Control de la mineralización uranífera en El Mezquite, Mpio. de Rodeo, Edo. de Durango; México, UASLP Escuela de Ingeniería, tesis profesional, inédita, 59 p.

Rich, A. Robert, Holland, D. Heinrich, and Petersen, Ulrich, 1977. Hydrothermal Uranium Deposits; Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 264 p.

Rivera, J., y Ponce, L., 1986. Estructura de la corteza terrestre oriente de la Sierra Madre Occidental, México, basada en la velocidad de grupo de las ondas de Rayleigh; México, UNAM-Instituto de Geofísica, Revs. Geof. Int., Vol. 25-3, p. 383-402.

Rodríguez, T. R., Yza, D. R., Chávez, A. R., Constantino, H. S., 1976. Rocas volcánicas ácidas y su potencial como objetivos para prospectar uranio; Vienna, IAEA-SM-208/59. Exploration for uranium ore deposits. Symposium Vienna, 29 March-2April 1976. International atomic Energy Agency.

Routhier, P., 1963. Les gisements métallifères. Géologie et principes de recherche; París, Masson et Cie., 2 vols.

Royle, A. G., 1979. Engineering and Mining Journal; USA, Mining Publication Mc Graw Hill, May, p. 92-101.

Ruvalcaba, Sepúlveda Miguel Ángel, 2004. Estudio petrográfico de la muestra MAO-1-2003; México, CFE-SEZC, pp. 1.

Salas, P. Guillermo, 1988. Geología Económica de México; México, Ed. Fondo de Cultura Económica, S. A., de C. V., 544 p.

Secretaría de Energía (SENER), 2002. Energía Nuclear; México, SENER, Internet, www.energia.gob.mx, Jueves 2 de septiembre, 1 p.

Sillitoe, H. Richard, and Bonham Jr., F. Harold, 1984. Volcanic landforms and ore deposits; USA, Economic Geology, vol. 79, p. 1286-1298.

Smith, D. L., C. E. Nuckels III, R. L. Jones and G.A. Cook, 1979. Distribution of heat flow and radioactive heat generation in northern Mexico; USA, J. Geophys. Res., 84, p. 2371-2379.

Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), Inc., 1991. Resource versus reserve; USA, SME, Bulletin 99-1, Pincock Allen & Holt.

Suárez, G., 1990. El potencial sísmico de la República Mexicana; México, Academia Mexicana de Ingeniería.

Tovar, R. J. C., 1981. (a) Provincias con posibilidades petroleras en el Distrito Chihuahua; México, AMGP, Vol. 33-1, 14 figuras, p. 25-51 y (b) XII Excursión de Geología Superficial, Superintendencia General de Distritos de Exploración, Zona Noreste; México, Petróleos Mexicanos, inédito.

Trentham, R. C., 1981. Leaching of uranium from felsic volcanics and volcanoclastics: model, experimental studies and analysis of sites; USA, University of Texas at El Paso, Ph. D. dissertation, 204 p.

Urrutia-Fucugauchi, Jaime, 1986. Late Mesozoic-Cenozoic evolution of the northwestern México magmatic arc zone; México, UNAM, Instituto de Geofísica, Geofísica Internacional, vol. 25-1, p. 61-84.

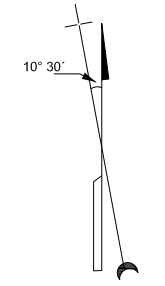
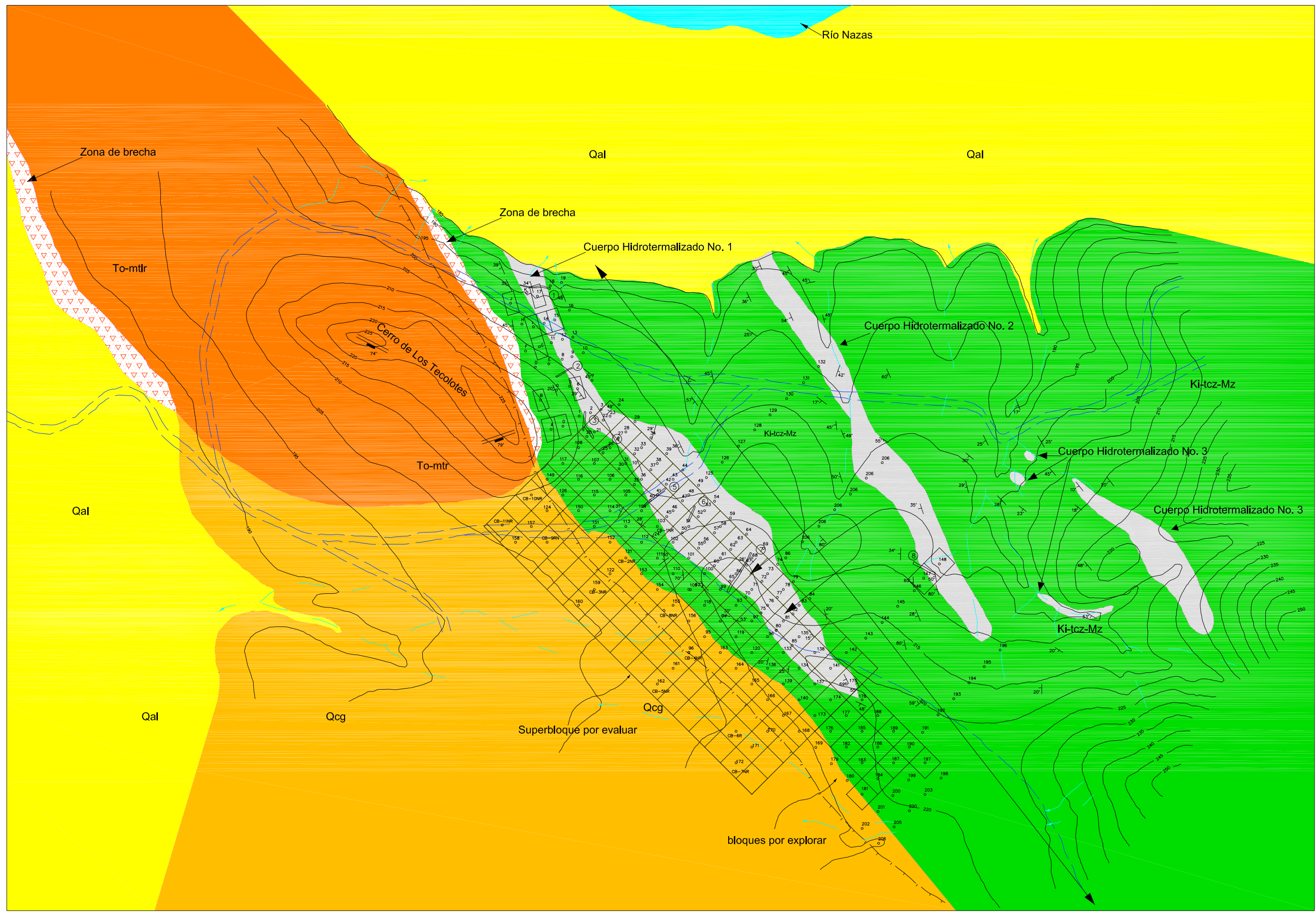
Vela, José Ángel, 2004. Caen en picada reservas de gas; México, Periódico Reforma, Primera Página, Sábado 10 de abril, 1 p.

Williams, Rojas Carlos T., 1983. Estudio geológico y prospección por minerales radioactivos en Sierra de Gamón, Edo. de Durango; México, UNAM Facultad de Ingeniería, tesis profesional, inédita, 72 p.

Yamamoto, J., 1993. Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango y su relación con la geología regional; México, UNAM-Instituto de Geofísica, Revista. Geofísica Internacional, volumen 32, número 3, p. 501-510.

Zielinski, R. A., 1981. Experimental leaching of volcanic glass: implications for evaluation of glassy volcanic rock as source of uranium: in Goodell, P.C., and Waters, A. C., eds., Uranium in volcanic and volcanoclastic rocks; USA, AAPG Studies in Geology, No. 13, p. 1-12.

Zoback M. L., Anderson, R. E., y Thompson, G. A., 1981. Cenozoic evolution of the state of stress and style of tectonism of the Basin and Range province of the Western United States; London, Phil. Trans. R. Soc., A300, p. 407-434.



SÍMBOLOS

- Qal Cuaternario.- Aluvión, depósitos de suelos mal graduados y poseen contenido de arcilla y carbonato de calcio.
- Qcg Cuaternario.- Conglomerado, fragmentos redondeados de diámetros variables de rocas sedimentarias y volcánicas en matriz de arena fina.
- To-mtr Riolita con textura microcristalina que forma al cuerpo subvolcánico del Oligoceno-Mioceno
- Ki-tcz-Mz Calcarenitas, lutitas, limolitas y areniscas de la Fm. Mezcalera del Cretácico Temprano al Tardío.
- Contacto litológico (interrumpido donde está inferido)
- Echado medido sobre el terreno
- Fracturas persistentes
- Zona de brecha
- Falla normal inferida
- Eje de anticlinal recumbente
- Cuerpo Hidrotermalizado No. 1
- Curva de nivel cada 5 metros
- Arroyo
- Camino
- Vereda
- Barreno programado
- Número de zanja



| | | | |
|------------------|--|--------------------------|------------|
| U N A M | FACULTAD DE INGENIERÍA DE PFI | | |
| | DEPÓSITO DE CONETO BUENAVISTA DURANGO TOPOGRAFIA Y GEOLOGIA | | |
| | Forma Icar Mangüis A | Fecha Septiembre/2005 | Plano 1 |