



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

*INTERPRETACIÓN DE AMBIENTES
SEDIMENTARIOS CUATERNARIOS A PARTIR
DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-
ESTADÍSTICO, DE DOS NÚCLEOS
PROVENIENTES DE LA REGIÓN DE LA
LAGUNA DE SANTIAGUILLO, ESTADO DE
DURANGO, NORTE DE MÉXICO.*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA

GUILLERMO JUAN CHACÓN CRUZ



DIRECTOR DE TESIS
DR. JOSÉ R. ORTEGA RAMÍREZ

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIA

A mis padres:

José Jesús Mariano Chacón Soto (†).

María Francisca Cruz Cruz.

Por todo su amor, apoyo, comprensión y estímulo para que yo lograra terminar todo lo que me propuse.

A mis hermanas y sobrinos:

Alejandra Leticia: Jessica Alexandra.

Martha Silvia: Ricardo y Evelyn.

Guadalupe Angélica: Vanessa y Mónica.

María Susana: Ana Karen y Ariadna.

Mariana Estela: Samantha.

Por su apoyo, compañía y consejos,... y también por aguantarme.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios.

A todos los trabajadores de mi país, pues gracias a ellos muchas personas recibimos la mejor educación en la mejor universidad de América Latina: la UNAM, y llegamos a ser los profesionistas que México requiere.

A mi Alma Matter: la Universidad Nacional Autónoma de México y a su Facultad de Ingeniería por la formación académica de excelencia y calidad que me dio.

Al Doctor José R. Ortega Ramírez por sus enseñanzas, dirección, asesoría y apoyo en la realización de ésta tesis.

A mis sinodales: Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo, Ing. Héctor Luis Macías González, Dr. Arturo Carranza Edwards, e Ing. Emiliano Campos Madrigal, por las correcciones, comentarios y sugerencias que mejoraron éste trabajo.

A todos los profesores de mi Facultad, especialmente a los de la División de Ingeniería en Ciencias e la Tierra:

- *De teoría: Ing. Benjamín Márquez Castañeda, Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez, Dr. Mario Gutiérrez Estrada (†), Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz, Ing. Miguel Vera Ocampo, Ing. Alberto Arias Paz, Ing. Alfredo Victoria Morales, Ing. Javier Arellano Gil, Ing. Enrique Alejandro González Torres, Dra. Silvia E. Rivera Olmos, Ing. Luis Arturo Tapia Crespo, Ing. Carlos Garnica Hernández, Ing. Leovigildo Cepeda Dávila, Ing. Sergio Raúl Herrera Castañeda, Ing. Carlos Henry Schulze Schreiber, Ing. Bernardo Martell Andrade, Ing. Roberto Uribe Afj, Ing. Carlos Garza González Vélez, Dr. J. Héctor Sandoval Ochoa, Ing. Gilberto Silva Romo, Ing. María de la Paz Hernández Rivero, Ing. Fernando Rosique Naranjo, por impartirme sus conocimientos y experiencias e inculcarme el amor a las Ciencias de la Tierra y a la GEOLOGÍA.*
- *De laboratorio: Ing. Angélica Aguilar Hernández, Ing. Juan Carlos Cruz Ocampo, Ing. Aline Concha Dimas, Ing. Sergio Yussim Guarneros, Ing. Miguel A. Rualcaba Sepúlveda, Ing. Alberto Herrera Palomo, Biol. Rosalía Guerrero Arenas.*

Al personal de laboratorio de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra: Sres. Irineo, Adrián, Fidel, Sergio, José, Salvador, José Juan.

A María Guadalupe, Enrique, Gustavo, Alfonso, Rubén, Sonia, Israel, Licelda, Melibea, Adriana, Antonio, Bernardo, Blanca, Mauricio, Horacio, Alberto, Jorge Francisco, Irma, Manuel, Myriam, Yardenia, Nubia, Dario, Fermín (†), Marcos, Héctor, Amelia, Irasema, Claudia Hdz., Héctor Víctor, Alejandra, Noemí, Zolia, etc., etc., etc., por su amistad y por compartir grandes momentos durante las prácticas y la actividad académica.

Al Instituto de Geofísica de la UNAM, por permitirme la utilización de los equipos del Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geomagnetismo y Exploración Geofísica con los cuales se realizaron todos los análisis detallados en ésta tesis.

A los doctores Carlos Ángel Mortera Gutiérrez y William Bandy del Instituto de Geofísica por el apoyo que me dieron en la etapa final de éste trabajo.

ÍNDICE.

I	Introducción	1
	Resumen	1
	Introducción	2
	Objetivo	2
II	Generalidades	3
	II.1 Plano índice	3
	II.2 Localización	4
	II.3 Vías de comunicación	4
	II.4 Clima, suelos, vegetación y fauna	4
	II.4.1 Clima	4
	II.4.2 Suelos	5
	II.4.3 Vegetación	5
	II.4.4 Fauna	5
	II.5 Actividades económicas	6
	II.6 Riesgo sísmico	6
	II.7 Trabajos previos	7
	II.8 Geología	7
	II.8.1 Marco geológico	7
	II.8.2 Fisiografía	7
	II.8.3 Geomorfología	10
	II.8.4 Hidrografía	11
	II.8.5 Estratigrafía	13
	II.8.6 Rocas ígneas intrusivas y rocas metamórficas	20
	II.8.7 Geología estructural	20
	II.8.8 Geología histórica	21
III	Metodología	25
	III.1 Trabajo de gabinete	26
	III.2 Trabajo de laboratorio	26

III.2.1	Preparación de las muestras y descripción megascópica (textura y estructura).....	26
III.2.2	Tamizado por vía húmeda.....	26
III.2.3	Análisis granulométricos.....	27
III.2.3.1	Análisis granulométrico de la fracción gruesa.....	27
III.2.3.2	Análisis granulométricos de la fracción fina.....	28
III.2.3.3	Análisis granulométrico de la población total y determinación de los índices granulométricos.....	30
III.2.3.3.a	Método Matemático de Momentos.....	32
III.2.3.3.b	Método Gráfico de Folk y Ward.....	34
III.2.3.4	Significado sedimentológico de los índices granulométricos	35
III.2.3.5	Modos de transporte según Visber.....	37
III.2.4	Determinación del contenido de materia orgánica y carbonatos totales	38
IV	Resultados y Discusión.....	39
IV.1	Resultados.....	39
IV.1.1	Perfil “El Llano”	39
IV.1.1.1	Descripción megascópica, textura y estructura de las muestras	39
IV.1.1.2	Porcentajes de la fracción gruesa y fina obtenidos a través del tamizado por vía húmeda.....	40
IV.1.1.3	Distribución granulométrica de la población total.....	40
IV.1.1.4	Análisis granulométrico de la fracción gruesa.....	44
IV.1.1.5	Análisis granulométrico de la fracción fina	48
IV.1.1.6	Análisis granulométrico de la población total.....	52
IV.1.1.6.a	Método Matemático de Momentos.....	52
IV.1.1.6.b	Método Gráfico de Folk y Ward	55
IV.1.1.7	Materia orgánica, carbonatos totales y materia mineral.....	58
IV.1.2	Perfil “Miguel Negrete”.....	60
IV.1.2.1	Descripción megascópica, textura y estructura de las muestras	60
IV.1.2.2	Porcentajes de la fracción gruesa y fina a través del tamizado por vía húmeda.....	60
IV.1.2.3	Distribución granulométrica de la población total.....	61
IV.1.2.4	Análisis granulométrico de la fracción gruesa.....	65
IV.1.2.5	Análisis granulométrico de la fracción fina	69

IV.1.2.6	<i>Análisis granulométrico de la población total</i>	73
IV.1.2.6.a	<i>Método Matemático de Momentos</i>	73
IV.1.2.6.b	<i>Método Gráfico de Folk y Ward</i>	76
IV.1.2.7	<i>Materia orgánica, carbonatos totales y materia mineral</i>	79
IV.2	<i>Discusión</i>	81
V	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	85
V.1	<i>Conclusiones</i>	85
V.2	<i>Recomendaciones</i>	85
	<i>Bibliografía</i>	87

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	<i>Morfología de las sierras</i>	11
Fotografía 2	<i>Vista de la Laguna de Santiaguillo (parte norte)</i>	12
Fotografía 3	<i>Nucleadora rotatoria “Giddings”</i>	25
Fotografía 4	<i>Equipo automatizado “Analysette”</i>	28
Fotografía 5	<i>Contador Láser de Partículas Spectrex (LPC)</i>	29

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1	<i>Imagen satelital del área de estudio</i>	3
Figura 2	<i>Vías de comunicación</i>	4
Figura 3	<i>Regionalización sísmica de la República Mexicana</i>	6
Figura 4	<i>Marco Geológico</i>	7
Figura 5	<i>Provincias Geológicas</i>	8
Figura 6	<i>Provincias fisiográficas</i>	9
Figura 7	<i>Relieve de la Sierra Madre Occidental en su parte este</i>	11
Figura 8	<i>Región Hidrológica III Pacífico Norte</i>	12
Figura 9	<i>Tabla y columna estratigráficas</i>	14

Figura 10	Reporte y gráficas obtenidos por medio del programa Autosieb.....	28
Figura 11	Reporte y gráfica obtenidos por el programa LPC	29
Figura 12	Escala de tamaño adoptada por GRADISTAT.....	31
Figura 13	Curva de porcentaje acumulado en escala de probabilidad.....	34
Figura 14	Fórmulas utilizadas por Folk y Ward para la obtención de los índices granulométricos	34
Figura 15	Representación gráfica y relación entre media, mediana y moda con el sesgo	36
Figura 16	Modos de transporte de acuerdo a los puntos de inflexión y los segmentos de recta que definen una curva (Visher).....	37
Figura 17	Ubicación del perfil “El Llano”.....	39
Figura 18	Clases granulométricas y representación del perfil “El Llano”	43
Figura 19	Variación de la media, mediana y moda, y relación entre media-mediana-moda, fracción gruesa, perfil “El Llano”	46
Figura 20	Variación de la desviación estándar, sesgo, kurtosis y K' , fracción gruesa, perfil “El Llano”.....	47
Figura 21	Variación de la media, mediana y moda, y relación entre media-mediana-moda, fracción fina, perfil “El Llano”.....	50
Figura 22	Variación de la desviación estándar, sesgo, kurtosis y K' , fracción fina, perfil “El Llano”	51
Figura 23	Variación de la media, desviación estándar, sesgo y K' , población total, Método Matemático de Momentos, perfil “El Llano”	54
Figura 24	Variación de la media, desviación estándar, sesgo y K' , población total Método Gráfico FyW, perfil “El Llano”	57
Figura 25	Variación de la materia orgánica, carbonatos totales y materia mineral, perfil “El Llano”.....	59
Figura 26	Ubicación del perfil “Miguel Negrete”.....	60
Figura 27	Clases granulométricas y representación del perfil “Miguel Negrete”.....	64
Figura 28	Variación de la media, mediana y moda, y relación entre media-mediana-moda, fracción gruesa, perfil “Miguel Negrete”	67
Figura 29	Variación de la desviación estándar, sesgo, kurtosis y K' , fracción gruesa, perfil “Miguel Negrete”	68
Figura 30	Variación de la media, mediana y moda, y relación entre	

	<i>media-mediana-moda, fracción fina, perfil “Miguel Negrete”</i>	71
Figura 31	<i>Variación de la desviación estándar, sesgo, kurtosis y K’, fracción fina, perfil “Miguel Negrete”</i>	72
Figura 32	<i>Variación de la media, desviación estándar, sesgo y K’, población total, Método Matemático de Momentos, perfil “Miguel Negrete”</i>	75
Figura 33	<i>Variación de la media, desviación estándar, sesgo y K’, población total Método Gráfico FyW, perfil “Miguel Negrete”</i>	78
Figura 34	<i>Variación de la materia orgánica, carbonatos totales y materia mineral, perfil “Miguel Negrete”</i>	80
Figura 35	<i>Modos de transporte por viento en Loess</i>	84

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1	<i>Características del acuífero 1001 Valle de Santiaguillo</i>	13
Tabla 2	<i>Estructuras de suelos</i>	26
Tabla 3	<i>Intervalos propuestos para el Método Matemático de Momentos para la descripción de la desviación estándar, el sesgo y la kurtosis</i>	31
Tabla 4	<i>Ejemplo del cálculo de los parámetros estadísticos por medio del Método Matemático de Momentos</i>	33
Tabla 5	<i>Intervalos propuestos por Folk y Ward para caracterizar la desviación estándar, el sesgo y la kurtosis</i>	34
Tabla 6	<i>Descripción megascópica (textura y estructura) de las muestras, pesos y porcentajes de la fracción gruesa, perfil “El Llano”</i>	40
Tabla 7	<i>Porcentajes y clases granulométricas del perfil “El Llano”</i>	41 y 42
Tabla 8	<i>Valores de los índices granulométricos, fracción gruesa, perfil “El Llano”</i>	44
Tabla 9	<i>Valores de los índices granulométricos, fracción fina, perfil “El Llano”</i>	48
Tabla 10	<i>Valores de los índices granulométricos, población total, Método Matemático de Momentos, perfil “El Llano”</i>	52
Tabla 11	<i>Valores de los índices granulométricos, población total, Método Gráfico FyW, perfil “El Llano”</i>	55
Tabla 12	<i>Porcentajes de materia orgánica, carbonatos totales y materia mineral, perfil “El Llano”</i>	58

Tabla 13 Descripción megascópica (textura y estructura) de las muestras, pesos y porcentajes de la fracción gruesa y fina, perfil “Miguel Negrete”	61
Tabla 14 Porcentajes y clases granulométricas del perfil “Miguel Negrete”	62 y 63
Tabla 15 Valores de los índices granulométricos, fracción gruesa, perfil “Miguel Negrete”	65
Tabla 16 Valores de los índices granulométricos, fracción fina, perfil “Miguel Negrete”	69
Tabla 17 Valores de los índices granulométricos, población total, Método Matemático de Momentos, perfil “Miguel Negrete”	73
Tabla 18 Valores de los índices granulométricos, población total, Método Gráfico FyW, perfil “Miguel Negrete”	76
Tabla 19 Porcentajes de materia orgánica, carbonatos totales y materia mineral, perfil Miguel Negrete”	79
Tabla 20 Determinación del tipo de ambiente según Greenwood, Perfil “El Llano”	83
Tabla 21 Determinación del tipo de ambiente según Greenwood, Perfil “Miguel Negrete”	83



RESUMEN.

Con la finalidad de determinar el ambiente sedimentario para la región semiárida de la Laguna de Santiaguillo, en éste trabajo se realizó el análisis granulométrico aplicado a un total de 48 muestras de dos perforaciones (24 muestras cada una) provenientes de la región mencionada; ambas perforaciones (perfiles) tienen una profundidad de 6 metros, las muestras se tomaron a intervalos de 20 centímetros hasta los 4 metros, y después a cada 50 centímetros hasta los 6 metros; se colectó aproximadamente 1 kilogramo del material y se colocó dentro de bolsas para su estudio en laboratorio.

Los estudios de laboratorio consistieron en la separación de la fracción gruesa de la fracción fina, la determinación y análisis de los índices granulométricos para la fracción gruesa, para la fracción fina y para la población total (por medio del Método Matemático de Momentos y del Método Gráfico de Folk y Ward, 1957); también se determinó el contenido porcentual de materia orgánica y de carbonato de calcio a través del método de calcinación.

Los estudios realizados indicaron que el agente de transporte que actuó a lo largo de ambos perfiles fue el viento. Los contenidos relativamente bajos de materia orgánica y de carbonato de calcio, indicaron una baja estabilidad ambiental que se asoció con la actividad eólica.

El ambiente sedimentario determinado fue de tipo *Loess*, y que presenta particularmente procesos de retrabajo en ambos perfiles.



I INTRODUCCIÓN.

La Geología de la parte central del Estado de Durango ha sido poco estudiada. Como parte de estudios multidisciplinarios entre el Instituto de Geofísica y el Instituto de Ecología, en éste trabajo se identifica y define el ambiente sedimentario, a partir del análisis granulométrico y estadístico, efectuados a 48 muestras de sedimentos no consolidados provenientes de dos perfiles de 6 metros de profundidad cada uno, localizados en la cuenca que ocupa actualmente la Laguna de Santiaguillo, ubicada a unos 115 Km al norte-noroeste de la Ciudad de Durango, Durango; el área se localiza entre las coordenadas geográficas 24°30' y 25°00' latitud Norte y los 104°40' y 105°00' longitud Oeste; dentro de las hojas topográficas escala 1:50000 de INEGI: Nuevo Ideal (G13C59), La Campana (G13C69), Guatimapé (G13D51), Canatlán (G13D61), San Juan del Río (G13D52) y Donato Guerra (G13D62).

El área de estudio se encuentra dentro de la *Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental*, subprovincia de *Mesetas y cuencas* (parte este de la provincia). Tiene una superficie aproximada de 1964 Km², y una altitud entre los 1940 m snm de la Laguna de Santiaguillo, y los 2700 m snm en las sierras. Su clima en general es semiseco templado. Es una zona de invernada de aves acuáticas migratorias (patos y gansos), además de ser una área protegida para apoyar la recuperación del lobo mexicano. Las especies vegetales se presentan de manera estratificada de acuerdo a la altitud: gran diversidad de bosques de clima templado en las sierras y sus estribaciones, pastizales al pie de las sierras, y zacates, arbustos y cactáceas en el valle.

En el presente trabajo se proponen como metodología moderna para el estudio granulométrico de sedimentos: el uso del *Contador Láser de Partículas Spectrex*, para el análisis de la fracción fina (limos y arcillas); el equipo automatizado *Analysette* marca *Fritsch* para la fracción gruesa (arenas y gravas). Los equipos utilizados pertenecen al Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geomagnetismo y Exploración Geofísica, del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Objetivo.

El principal objetivo fue la determinación del ambiente sedimentario por medio de análisis granulométricos y estadísticos en 48 muestras de sedimentos de dos perforaciones. Ésta determinación se apoyó en el análisis de:

1. Los valores de los índices granulométricos de la fracción gruesa, fracción fina, y de la población total.
2. Los valores porcentuales de materia orgánica y carbonatos totales, obtenidos por medio del método de calcinación.
3. La utilización de un análisis multivariable para la discriminación de ambientes.

II GENERALIDADES.

II.1 PLANO ÍNDICE.



Figura 1. Imagen satelital del área de estudio.

La Figura 1 es una imagen Landsat TM (mapeador temático), tomada en el año de 1993. En ella se puede ver la localización de las dos barrenaciones (los dos perfiles) de donde se tomaron las muestras que se analizaron en éste trabajo: la estrella MN indica el lugar del perfil “Miguel Negrete”, y la estrella L indica el lugar del perfil “El Llano”.

II.2 LOCALIZACIÓN.

El área de estudio se encuentra en la porción central del estado de Durango, tiene una superficie aproximada de 1,964 Km², con una altitud entre los 1940 msnm de la Laguna de Santiaguillo, y 2700 msnm en las sierras; se encuentra entre las coordenadas geográficas 24°30' y 25°00' latitud Norte y los 104°40' y 105°00' longitud Oeste; dentro de las hojas topográficas escala 1:50000 de INEGI: G13C59 Nuevo ideal, G13C69 La Campana, G13D51 Guatimapé, G13D61 Canatlán, G13D52 San Juan del Río, y G13D62 Donato Guerra; .

Se encuentra en la Provincia Fisiográfica denominada Sierra Madre Occidental, subprovincia “Mesetas y Cuencas” de la parte este de la provincia.

II.3 VÍAS DE COMUNICACIÓN.

El área de estudio esta aproximadamente a 115 Km en línea recta al norte-noroeste de la Ciudad de Durango, dentro de los Municipios de Nuevo Ideal y Canatlán. El acceso al área se efectúa por la Carretera Federal 45 México-Ciudad Juárez, tomando posteriormente la Carretera Federal 39, la cual corre de forma paralela a lo largo de la Laguna de Santiaguillo. Además, en el área se cuenta con numerosos caminos de terracería que conectan a los diversos poblados de la región. La localización y las vías de acceso al área de estudio se muestran en la Figura 2.

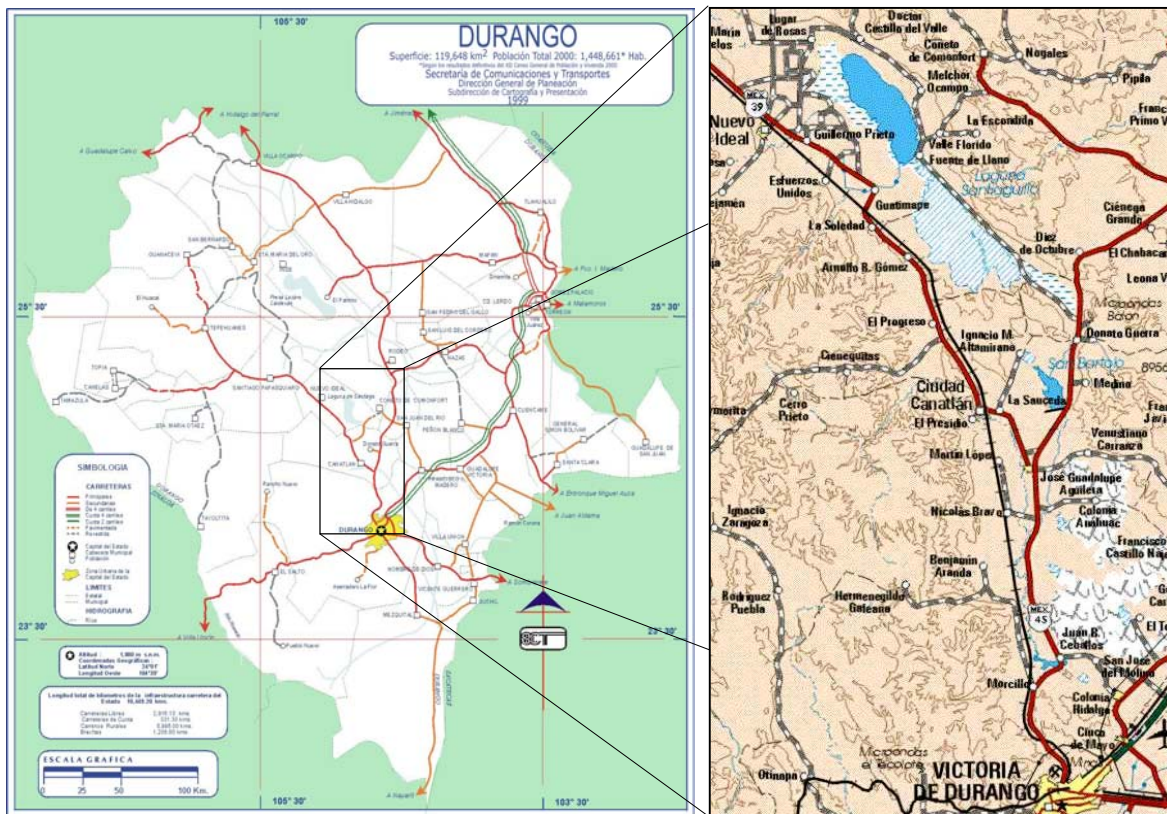


Figura 2. Vías de Comunicación. (modificado de SCT, 2004).

II.4 CLIMA, SUELOS, VEGETACIÓN Y FAUNA.

II.4.1 CLIMA.

El clima predominante es semiseco templado, y se distribuye en forma de una franja que cruza del norte-noroeste al este-sureste; en estos terrenos se encuentran situadas las poblaciones de Santa Catarina de Tepehuanes, Santiago Papasquiaro, Ciudad Canatlán, Ciudad

Guadalupe Victoria, Victoria de Durango y Vicente Guerrero, entre otras; su temperatura media anual varía entre 12°C y 18°C, alcanzando la máxima extrema de 33°C en el mes de mayo, y la mínima extrema de -3°C en el mes de diciembre (INEGI, 2004). Existe una evaporación promedio anual de 2 102 mm, y una precipitación anual de 587 mm, lo que equivale solo al 27.92% de lo que se evapora. El tiempo en que el suelo está húmedo para cultivar la tierra es de 7 meses, de julio a enero (Gascón Villa, 1983). Al noreste de Ciudad Canatlán y al oeste y suroeste de Vicente Guerrero, se localizan dos áreas de clima semiseco semicálido, presentan temperaturas medias anuales entre 18°C y 22°C, y su rango de precipitación total anual va de 400 a más de 500 mm. En el sur está ubicada una zona reducida de clima semiseco muy cálido y cálido, en ella la temperatura media anual va de 22°C a 26°C y la precipitación total anual es menor de 800 mm.

Del lado occidental y sur de la zona de clima semiseco templado, se extienden los terrenos que están bajo la influencia de clima templado subhúmedo con lluvias en verano. En estos, la temperatura media anual varía entre 12°C y 18°C, la temperatura media del mes más frío varía de -3°C a 18°C y la precipitación total anual, desde 600 hasta 1 500 mm (INEGI, *op. cit.*).

II.4.2 SUELOS.

Los suelos localizados en esta área son de zonas áridas y semiáridas de tipo regosoles. Son suelos de espesores pequeños de aproximadamente 10 cm sobre la roca, los cuales no son aptos para el cultivo y solo pueden destinarse al pastoreo, pues tienen una textura arenosa con fragmentos de roca.

En los cauces se encuentran suelos de origen aluvial, ocasionalmente cubiertos por una capa superficial de color claro, su textura es arenosa-limosa y contiene también fragmentos de roca; su fertilidad es muy variable.

También se encuentran suelos compuestos por una capa superficial de color oscuro, cuyo contenido de nutrientes es moderado, pero con agua son capaces de generar una elevada producción agrícola (Aguilar Castro, 1969).

II.4.3 VEGETACIÓN.

Existe una gran diversidad de bosques de clima templado, y el área alberga por lo menos dos endemismos de plantas, uno de ellos a nivel de género (*Megacorax*). La vegetación predominante es de tipo graminoide. Las sierras y sus estribaciones están pobladas por pinares, mientras que en las zonas limítrofes entre sierra y valle se identifican especies como: encino, mezquite, enebro y candelilla. En el valle es común la presencia de chaparrales, también se encuentran algunos pastizales que cubren una franja angosta al pie de las sierras. Aunque la cubierta vegetal sugiere una amplia alfombra monótona que se extiende sobre las llanuras y las colinas, en realidad su composición y asociaciones menores varían en forma marcada dentro de ciertas áreas limitadas, como son el zacate navajita, el zacate banderilla, uña de gato, plantas de tipo arbustivo, especies cactáceas bajas poco visibles entre las cepas de los zacates y las rocas.

En algunos márgenes de los arroyos se pueden observar álamos, sauces, nogales, manzanos, además de ahuehuetes (Gascón, *op. cit.*).

Un hecho notorio es la existencia de tupidas nopaleras en las superficies cubiertas por basaltos y suelos residuales con alto contenido de carbonatos (Aguilar, *op. cit.*).

II.4.4 FAUNA.

La fauna silvestre de las serranías está representada por oso negro, venado tenazate, coyote, lobo, zorra gris, tórtola, codorniz pinta, guajolote silvestre y una gran variedad de reptiles. En

el área del valle las especies presentes son liebre, conejo, tortola, paloma, codorniz pinta y pato triguero (Aguilar, *op. cit.*); además ésta es una muy importante área de invernada de aves acuáticas migratorias (patos y gansos), provenientes de Norteamérica.

Aunque se establece la caza en ciertas épocas del año como deporte, ésta se practica de forma indiscriminada durante todo el año. El animal de caza más común es el venado, así como el pavo y el jabalí en las sierras, y las aves migratorias en las lagunas. La Sierra de Promontorio (en partes llamada sierra de San Francisco, sierra de San Miguel y sierra de Coneto) es un área protegida con el fin de apoyar la recuperación del lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*), pero la falta de vigilancia impide que el área sea efectivamente resguardada (CONABIO, 2004).

II.5 ACTIVIDADES ECONÓMICAS.

Puede considerarse al Estado de Durango como una de las zonas madereras más importantes en el estado de Durango. De la explotación de los bosques se tienen aplicaciones como extracción de gomas, fabricación de cajas para empaques, tablas y tablones, ademes para minas, postes para líneas eléctricas y otras más. (Aguilar, *op. cit.*). En la sierra ocurre deforestación por extracción de madera y por la retracción que actualmente sufren los bosques templados debido a estrés hídrico y al efecto de la plaga *Dendroctonus*, en pinos (CONABIO, *op. cit.*).

En el aspecto agrícola son muy importantes los cultivos de manzana y perón; el maíz, frijol, trigo, avena y papa también forman parte del principal grupo de productos cultivados (Aguilar, *op. cit.*).

La pesca se lleva a cabo en la Laguna de Santiaguillo y San Bartolo a nivel de subsistencia, pues se desarrolla a baja escala.

II.6 RIESGO SÍSMICO.

El riesgo sísmico se expresa en términos de relaciones de intensidad sísmica y periodos de recurrencia (tasa de excedencia de intensidad sísmica). Usualmente se eligen como medidas de intensidad los parámetros del movimiento de terreno. La regionalización sísmica de México se muestra en la Figura 3.

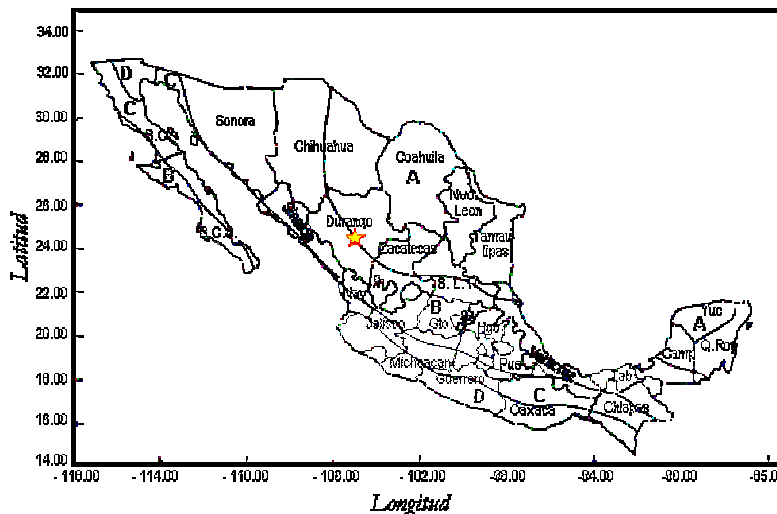


Figura 3. Regionalización sísmica de la República Mexicana. Las zonas sísmicas de A a D reflejan de menor a mayor, los niveles de aceleración máxima del terreno esperados en suelo firme. La estrella indica el área de estudio (modificado de Herrera, 2001).

Como se ve en la figura, el área de estudio se ubica en los límites de dos regiones con baja actividad sísmica regional; sin embargo, estudios recientes indican actividad sísmica actual, pues se tienen registros de microsismos que afectaron la ciudad de Canatlán en 1972; éstos fueron estudiados por Yamamoto (1993), y revelan la reactivación de dos sistemas de fallas que tienen una orientación NE-SW y NW-SE; Yamamoto menciona que los sismos fueron del orden de los 3.1 grados en la escala de Richter.

II.7 TRABAJOS PREVIOS.

La geología regional de la porción central del Estado de Durango es todavía poco conocida, Córdoba (1988) recopila la información existente y realiza estudios de campo para definir la estratigrafía de las rocas volcánicas de la región entre la Sierra de Gamón y la Laguna de Santiaguillo, al noroeste de la Ciudad de Durango, Durango.

II.8 GEOLOGÍA.

II.8.1 MARCO GEOLÓGICO.

En la constitución geológica del área, se encuentran rocas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico, siendo las primeras las que predominan (Figura 4).

Las rocas ígneas se localizan principalmente formando las sierras, son en general andesitas y riolitas del Paleógeno y Neógeno, cubiertas por sus tobas y brechas respectivas o por basaltos más jóvenes.

Las rocas sedimentarias son de origen marino o continental: las rocas de origen marino están constituidas por calizas, limolitas, areniscas y conglomerados del periodo Cretácico; las rocas de origen continental pertenecen al Cuaternario, y están constituidas por depósitos de acarreo (arcillas, gravas, arena, etc.) que rellenan los valles.

Las rocas de origen metamórfico están representadas por esquistos, ocupan una superficie muy reducida hacia el sureste de la Laguna Santiaguillo.

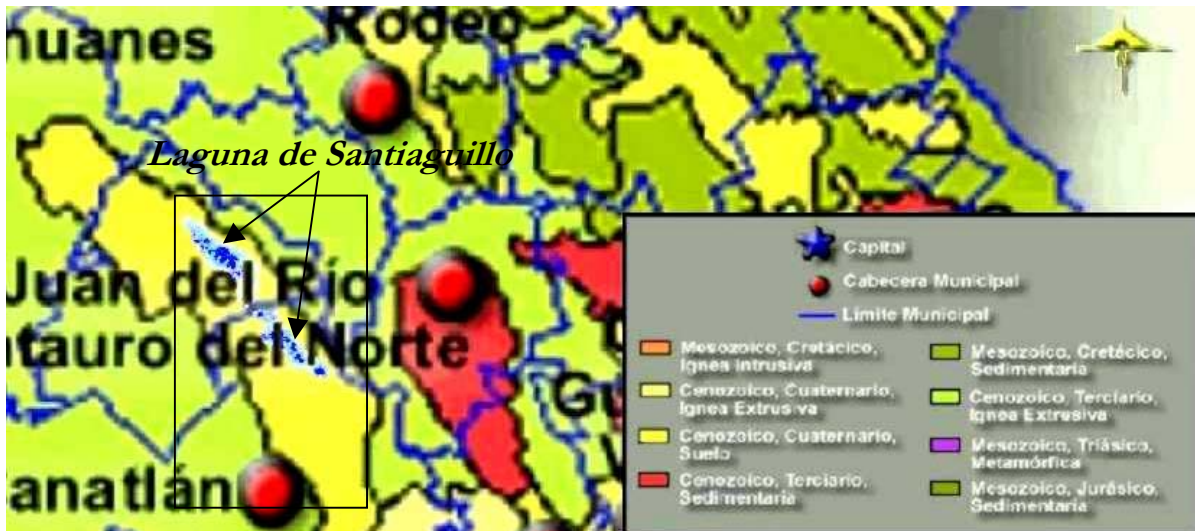


Figura 4 Marco Geológico. El cuadro muestra el área de estudio (modificado de INEGI, op. cit.).

II.8.2 FISIOGRAFIA.

El área de estudio se ubica dentro de la Provincia Geológica “Faja Ignimbrítica Mexicana” (Figura 5) y Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental” (Figura 6).

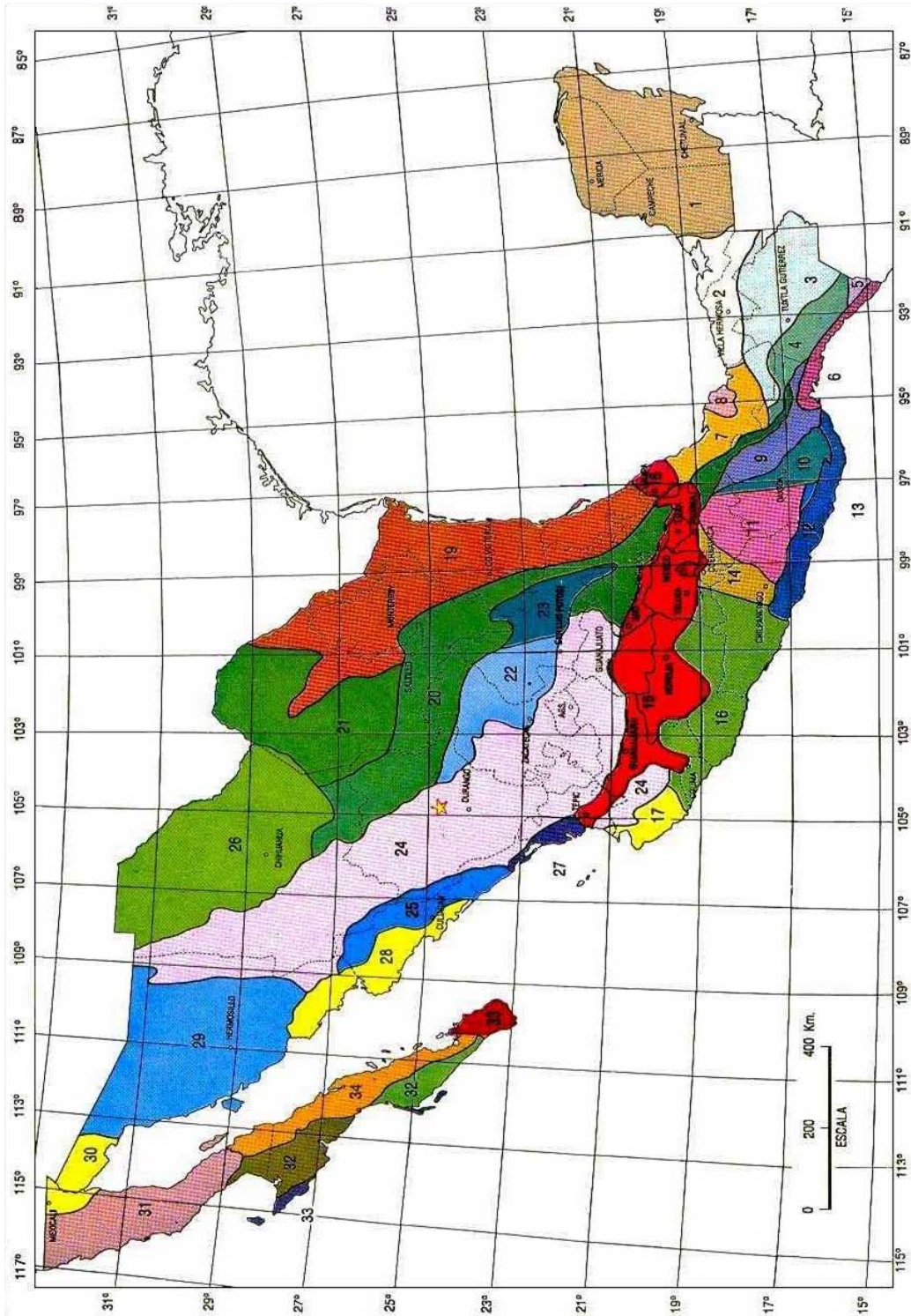


Figura 5. Provincias Geológicas de la República Mexicana. La estrella indica el área de estudio, la cual queda dentro de la Provincia Geológica 24 **Faja Ignimbrítica Mexicana (C, v, ac)**; donde C es la edad: Cenozoico, v es el origen: volcánico, y ac es el tipo de ambiente geotectónico: arco continental (modificado de Ortega Gutiérrez, et. al., 1991).

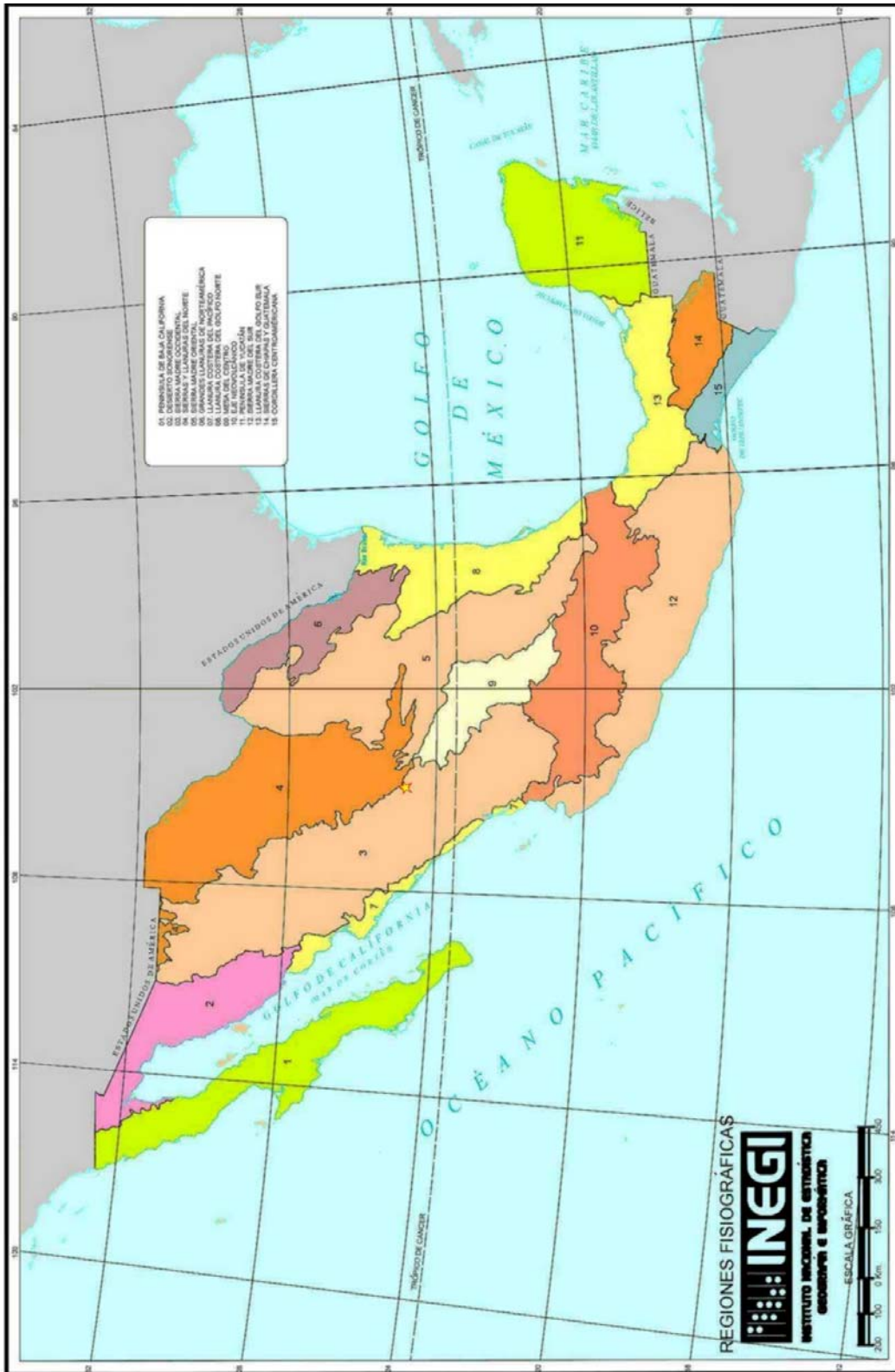


Figura 6. Provincias Fisiográficas. La estrella indica el área de estudio, que queda dentro de la Provincia Fisiográfica 3 Sierra Madre Occidental (modificado de INEGI, op. cit.)



Esta provincia es una de las más grandes de la República Mexicana, pues tiene una superficie aproximada de 250,000 Km² y una orientación general Noroeste-Sureste, su longitud es de 1400 Km con un promedio de 200 Km de ancho; su altura media esta entre los 2100 a 2000 m, a excepción de picos que tienen hasta 3000 m sobre el nivel del mar. La Sierra Madre Occidental esta limitada al Norte por la línea internacional con los Estados Unidos de Norteamérica (donde recibe el nombre de *Basin and Range Region*), al Noreste por la Provincia Chihuahua y la subprovincia Sierra de Torreón-Monterrey, al Sureste por el Altiplano Mexicano (Mesa Central), al Sur por la Faja Volcánica Mexicana, al Suroeste por la Planicie Costera del Océano Pacífico, y al Noroeste por la Provincia Sonora. En general, la Sierra Madre Occidental esta formada principalmente por rocas ígneas extrusivas del Paleógeno y Neógeno, cubriendo y sepultando rocas ígneas más antiguas. La secuencia superior es predominantemente piroclástica riolítica, y deben haberse formado grandes volúmenes de cineritas debido a gruesos complejos de calderas volcánicas de forma circular, que generalmente estuvieron acompañados de pequeñas efusiones de lava basáltica, como al Oeste de Durango, entre el poblado de Navíos y la Ciudad de Durango.

La provincia de la Sierra Madre Occidental se divide en tres subprovincias: 1 Sierras alargadas, 2 Meseta riolítica, 3 Mesetas y cuencas.

La zona de estudio se encuentra dentro de la subprovincia de Mesetas y Cuencas, que se localiza a lo largo de toda la parte Este de la Sierra Madre Occidental. Su morfología está caracterizada en sus partes bajas por valles constituidos por materiales Paleógenos, Neógenos y Cuaternarios (tobas, arenas y gravas). En sus partes altas las mesetas están formadas por derrames basálticos y riolíticos, así como por sus correspondientes piroclásticos.

II.8.3 GEOMORFOLOGÍA.

En general las sierras componentes del sistema Sierra Madre Occidental están muy próximas entre sí, sus crestas son paralelas y uniformes, a veces con altos acantilados (Fotografía 1).

Parte de las crestas de esta cordillera son generalmente redondeadas o forman mesas, de tal manera que son fácilmente accesibles desde la región central del país, pero la mayor parte de la ladera occidental está cortada profundamente por arroyos que fluyen al Océano Pacífico, siguiendo gargantas escarpadas.

Las acciones erosivas, especialmente en las rocas más recientes, determinan una topografía incipiente y los cañones profundos que nacen en los bordes de las largas mesetas, que con frecuencia se extienden en las cimas de las sierras, aparecen como valles colgantes.

La Sierra Madre Occidental constituye el parteaguas entre el Océano Pacífico y la Región de Bolsones de la Mesa Central y Chihuahua, con excepción de las corrientes permanentes del Río Conchos, que atraviesa este último estado por su parte central y va a desembocar al Río Bravo, junto a la población de Ojinaga, y del Río Nazas que desemboca en la Región Lagunera de Torreón, el resto del drenaje corre hacia el Pacífico.

El origen de todos estos aspectos geomorfológicos debe atribuirse solamente a un gran levantamiento general y lo suficientemente rápido para permitir que todas las corrientes permanezcan en su etapa juvenil, es decir en cañones de grandes pendientes. Debe suponerse también que este levantamiento no ha sido uniforme en toda la provincia, pero es evidente que el efecto de erosión de grandes corrientes fue más continuado hacia el Este, donde rellenó grandes porciones de lo que actualmente es la Mesa Central (Gascón, *op. cit.*). La Figura 7 muestra las características del relieve que se presenta en la región.



Fotografía 1. Morfología típica de las sierras, cerca del poblado de Canatlán.

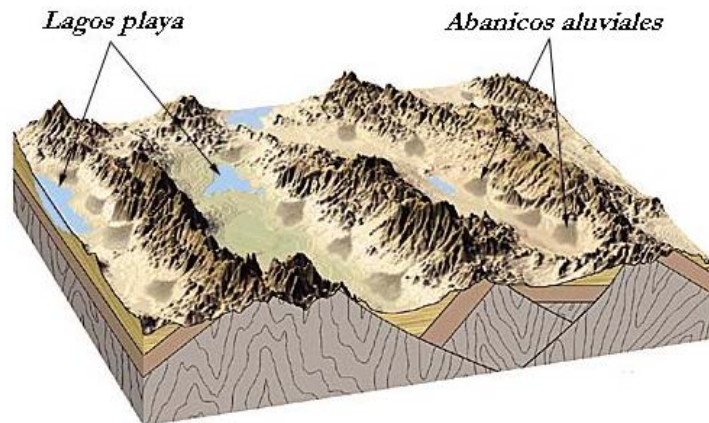


Figura 7. Relieve de la Sierra Madre Occidental en su parte este, el cual es evidentemente juvenil (modificado de Geode II, 1998).

II.8.4 HIDROGRAFÍA.

El área de estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica III (RH-III) Pacífico Norte, en la cuenca 1001 *Valle de Santiaguillo* (Figura 8).

Aguas superficiales.

El área se encuentra dentro de la cuenca *Valle de Santiaguillo*, la cual es endorreica con fase inundable y salina (Fotografía 2). Las corrientes más importantes que drenan sus aguas a las Lagunas de Santiaguillo son los ríos La Quebrada, Los Caballos y Guatimapé en su parte más austral; el volumen promedio de agua que presentan las Lagunas de Santiaguillo es del orden de los 260 millones de metros cúbicos. Como ya se dijo, es una zona inundable en temporada de lluvias, y durante el resto del año permanece seca, esto se observa principalmente en la parte sur de la Laguna de Santiaguillo, que presenta fases químicas sólidas debido a la precipitación de las sales existentes en cuerpos de agua intermitentes.

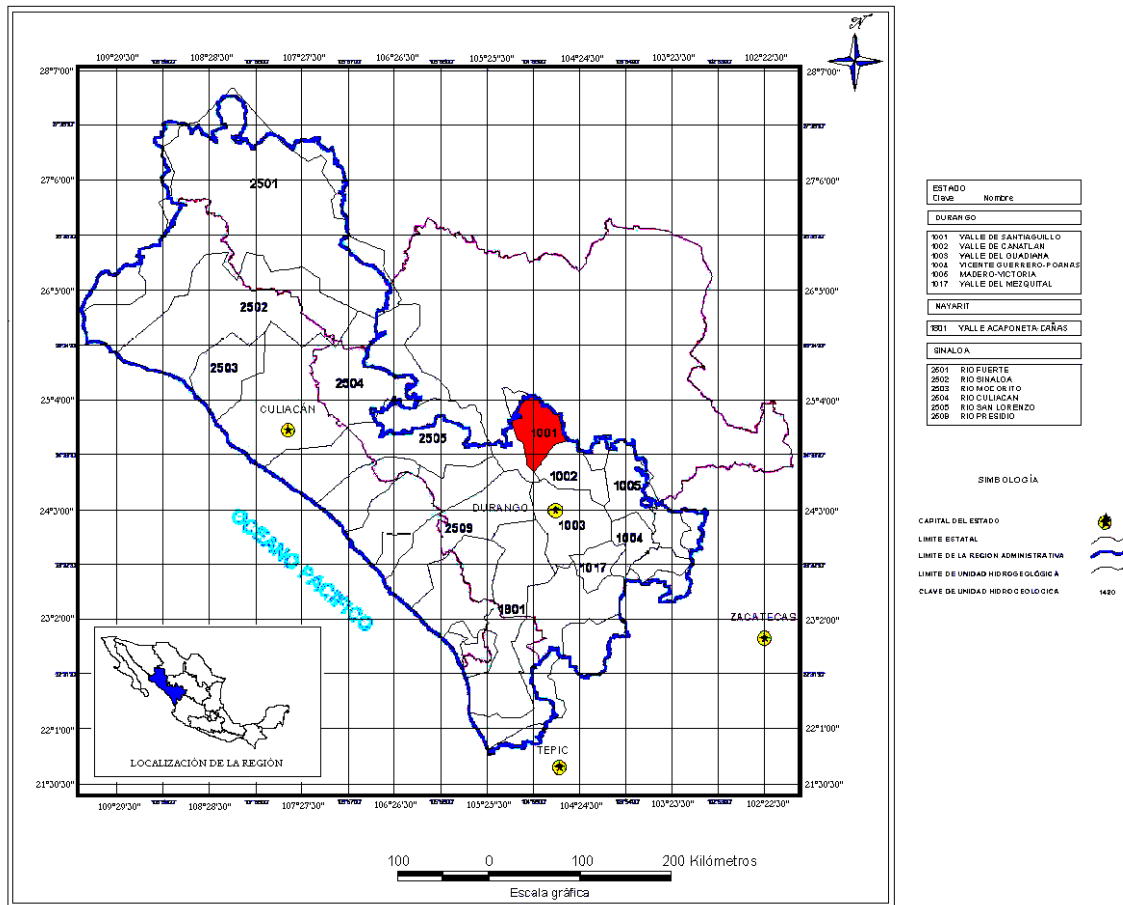


Figura 8. Región Hidrológica III "Pacífico Norte", el área de estudio se localiza en la cuenca 1001 "Valle de Santiagoillo", que se muestra sombreada (modificado del DOF, 2004).



Fotografía 2. Vista hacia el este de la Laguna de Santiagoillo (en su parte norte), al fondo se observa la Sierra de Promontorio.



Aguas subterráneas.

La baja precipitación en el área conlleva a explotación del agua subterránea. Este acuífero se aprovecha con intensidad por la gran concentración de pozos. Es de tipo libre, las rocas almacenadoras son: toba riolítica poco consolidada, conglomerados, arenas y gravas aluviales, todas con posibilidades altas de almacenamiento de agua. La dirección del flujo subterráneo va de las sierras frontales al centro del Valle Santiaguillo, y es concordante con el flujo superficial.

El empleo principal de las aguas es para actividades domésticas, seguido de las agrícolas y agropecuarias (Cruz-P y Nava-V, 1991).

Cruz Pineda y Nava Villalpando (*op. cit.*), mencionan en su trabajo que éste acuífero estaba subexplotado a finales de los años ochentas, los niveles estáticos de los pozos fluctuaban entre los 2 y 30 metros de profundidad, y los niveles dinámicos variaban entre 15 y 80 metros; la calidad del agua era dulce, con un total de sólidos disueltos menor a 434 mg/l, dentro de las familias: cálcica, sódica, potásica-bicarbonatada.

En la Tabla 1 se presentan las características que presenta éste acuífero en la actualidad.

Tabla 1. En donde R es la recarga media anual, DNCOM es la descarga natural comprometida, VCAS es el volumen concesionado de agua subterránea, VEXTET es el volumen de extracción consignado en estudios técnicos, y DAS es la disponibilidad media anual de agua subterránea (DOF, 2004).

Clave	Unidad hidrogeológica (Acuífero)	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	Déficit
1001	Valle de Santiaguillo	25.90	10.393	54.858828	26.8	0.00000	-39.351828

Lo que obtenemos de la tabla, es que existe un déficit de agua originado por la extracción, por ello el acuífero actualmente está sobrexplotado. La calidad actual del agua se desconoce.

II.8.5 ESTRATIGRAFÍA.

En el área de estudio afloran rocas ígneas del Paleógeno, Neógeno y depósitos aluviales y materiales residuales del Cuaternario. Las rocas paleógenas y neógenas se encuentran formando las sierras de Coneto y Cacaria, en tanto que las cuaternarias se localizan en el valle.

Las rocas más antiguas que afloran corresponden a sedimentos del Cretácico Superior, y muestran estructuras de tipo laramídico; fueron tratados informalmente como sedimentos del Cretácico Superior. Sobre estas rocas se depositaron discordantemente, sedimentos continentales de tipo *molasse*, correspondientes a la Formación Ahuichila del Paleoceno.

Las rocas volcánicas más antiguas del área pertenecen al complejo volcánico inferior de la Sierra Madre Occidental. Consisten en derrames de composición andesítica agrupados bajo el nombre de andesita basal (Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano).

La siguiente unidad descansa discordantemente sobre la andesita basal y le fue asignada una edad oligocénica temprana. Consiste en tobas de composición andesítica, denominada “equivalente toba Registro”.

Sobreyaciendo en forma discordante a la unidad anterior, se presenta un conjunto de rocas formadas durante eventos explosivos de la Caldera de Chupaderos, llamado grupo Carpintero, que comprende las ignimbritas, tobas de caída libre y derrames de lava riolíticos de las formaciones Águila, Cacaria y Santuario.

Derivado de una gran caldera situada al occidente, se depositaron rocas pertenecientes al grupo Río Chico Superior, que comprende rocas de composición riolítica, cuya edad es del Oligoceno. En la parte oriental del área, se acumularon piroclastos depositados en una cuenca cerrada, que constituyen la Formación San Pablo. Sobre esta unidad se depositaron las ignimbritas de composición riolítica alcalina de la Formación Gamón.

Asociados a fallamientos de cuencas y sierras (12.2 Ma), se emplazaron los diques alimentadores de la Formación Metates, de composición basáltica alcalina. La reactivación de este fallamiento produjo basaltos cuaternarios; interestratificados con éstos o sobreyaciéndolos, están los depósitos clásticos de la Formación Guadiana y los depósitos de talud, lacustres y aluviales del Reciente. La columna y tabla estratigráficas se muestran en la Figura 9.

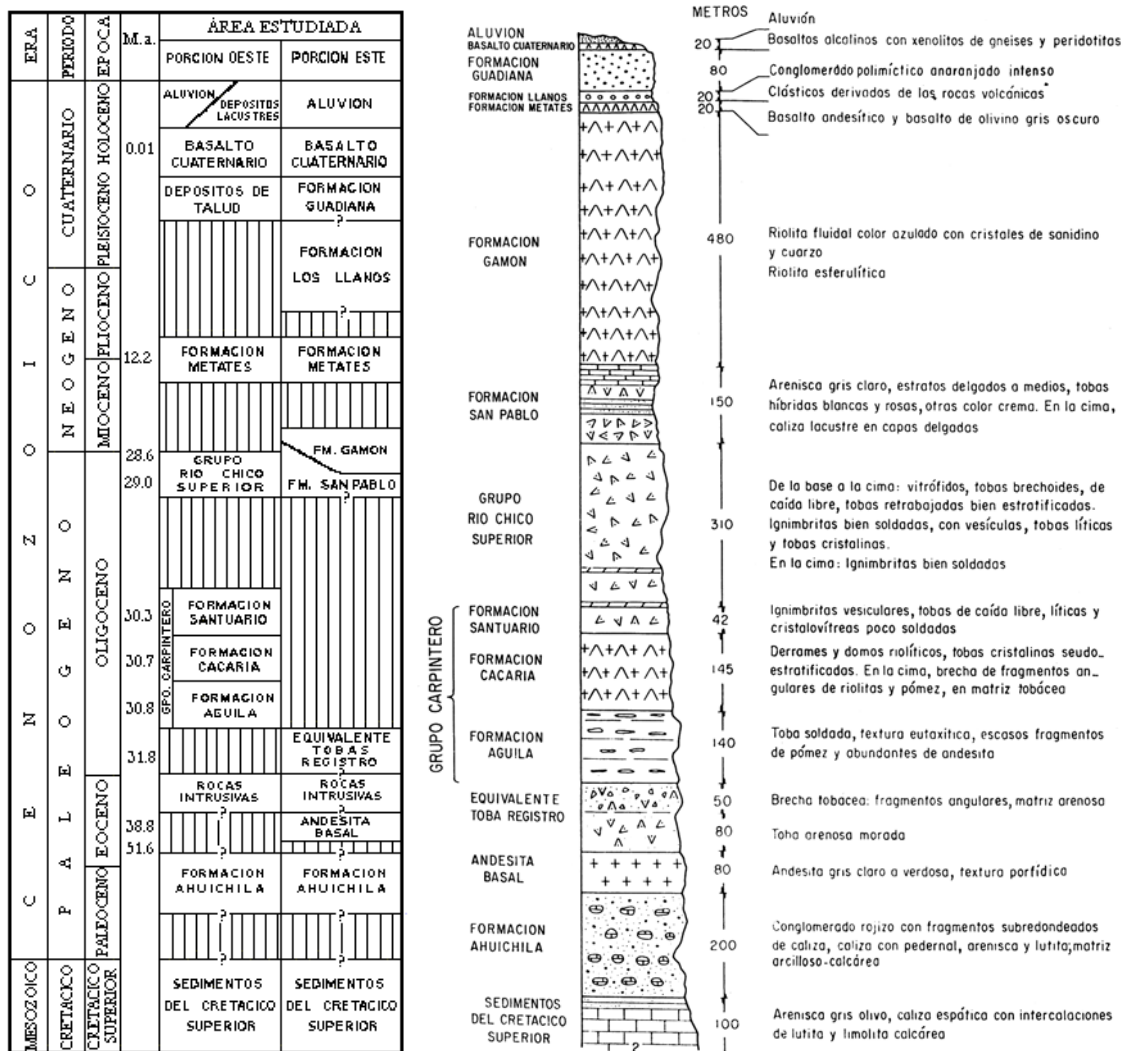


Figura 9. Tabla y columna estratigráficas (modificadas de Córdoba, 1988).

SEDIMENTOS DEL CRETÁCICO SUPERIOR.

Caliza limonítica de color gris rojizo que varía por intemperismo a rojo oscuro, en capas medianas con algunos estratos delgados de limolita y arenisca rosada a gris olivo en la cima. La caliza limonítica es un agregado fino de cristales de calcita (espática), con hematita y limonita abundantes diseminadas en forma de grumos anhedrales. En algunos lugares existen diseminaciones de siderita. El espesor mínimo estimado es de 100 m, puesto que la secuencia está plegada y fallada. Se midieron 700 m de una secuencia similar en el área de Peñón Blanco. El contacto con las rocas suprayacentes (Formaciones San Pablo y Gamón) es discordante. Se encontraron algunos fragmentos de conchas y de otro tipo de fauna mal conservada que no fueron identificados; no se encontró microfauna. La semejanza litológica de la secuencia con las Formaciones Indidura y Caracol, aflorantes en Peñón Blanco y Cuencamé, así como el tipo



de plegamiento, permiten opinar que pertenecen al Cenomaniano Superior-Campaniano. Se cree que estas unidades fueron depositadas en un ambiente nerítico en subsidencia, con aportación abundante de terrígenos, representando una facies de *preflysch*.

FORMACIÓN AHUICHILA.

Consiste en 200 m de conglomerado rojizo, con fragmentos sub-redondeados que varían en tamaño desde arena hasta cantos rodados. Los clastos son principalmente de caliza, caliza con pedernal, arenisca y lutita. La matriz es arcillosa calcárea bien consolidada y de color rojizo. En el área no aflora la base de la Formación Ahuichila. El conglomerado está cubierto discordantemente por rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Río Chico Superior. En otras localidades al oriente, la Formación Ahuichila descansa sobre rocas del Cretácico no diferenciado. La edad de la Formación Ahuichila va del Paleoceno al Eoceno temprano, ya que contiene fragmentos de rocas de la secuencia sedimentaria cretácica, pero no incluye clastos de la andesita basal (51.6 Ma). La Formación Ahuichila es correlacionable con el Conglomerado Rojo de Guanajuato y Zacatecas. Representa un depósito continental de tipo *molasse*, originado después del periodo de plegamiento fuerte de la Sierra Madre Occidental, y depositado en grandes fosas tectónicas formadas durante la tafrogenia post-laramídica.

ROCAS VOLCÁNICAS DEL PALEÓGENO Y NEÓGENO.

ANDESITA BASAL.

Se encuentra en el área de Coneto de Comonfort (Hoja Guatimapé) y en la base de la Sierra de San Lucas (Hoja Donato Guerra). También aflora fuera del área en Pánuco de Coronado y San José de Avino; en éstas localidades esta formación aloja cuerpos importantes con mineralización de sulfuros metálicos (Au, Ag, Pb, Zn y Cu), por lo que se considera como una guía estratigráfica para la prospección de yacimientos minerales. Presenta variaciones frecuentes en la textura, mineralogía y coloración. En Coneto de Comonfort es de color gris claro con tinte verdoso, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda. Su clasificación petrográfica es de traquiandesita hipocristalina. En otra localidad cercana es de color pardo oscuro con textura afanítica a simple vista, pero holocristalina porfídica con mosaicos de plagioclasa con augita como mineral accesorio vista en el microscopio; su clasificación corresponde a una microdiorita. El afloramiento localizado inmediatamente al sureste de San Agustín de Ocampo (Hoja San Juan del Río), consiste en 80 m de roca gris azulado, con fenocristales de plagioclasa hasta de 0.5 cm, propilitizada en parte; su clasificación petrográfica es de pórfido riódacítico o cuarzolítico. En Coneto de Comonfort no aflora la base. Al norte de San Lucas de Ocampo, sobreyace a caliza y lutita del Cretácico Superior. Casi todos sus afloramientos están cubiertos por ignimbrita riolítica. Se le estimó un espesor de 80 m. El intervalo de tiempo obtenido por edades radiométricas (K-Ar), varía desde 38.7 ± 0.8 Ma hasta 51.6 ± 1.3 Ma; esta última fecha fue obtenida en la Sierra del Registro. Las edades obtenidas caen dentro del lapso de intrusión del Batolito Sinaloa, localizado al oeste, lo cual permite incluir esta unidad en el complejo volcánico inferior de la Sierra Madre Occidental, aunque su posición estratigráfica dentro de dicho complejo no se pueda precisar.

SUPERGRUPO VOLCÁNICO SUPERIOR.

EQUIVALENTE TOBA REGISTRO.

La parte inferior está formada por una toba afanítica de color morado con tintes grises y de composición andesítica. El espesor medido de la toba es de 80 m, y el de la brecha que la sobreyace es de 50 m. Suprayacen a la andesita basal en la Sierra de San Lucas. A ésta toba



sobreyace una brecha constituida por fragmentos angulares derivados de la misma toba, en una matriz arenosa. Se le ha asignado una edad tentativa oligocénica temprana (la Toba Registro, de la sierra del mismo nombre, dio una edad radiométrica K-Ar de 31.8 Ma). La presencia de esta brecha podría significar tal vez un largo periodo de erosión, anterior al depósito de rocas sobreyacentes, correspondientes al Grupo Río Chico Superior.

GRUPO CARPINTERO.

Se trata de rocas que suprayacen a la toba Registro, y que están relacionadas genéticamente con la Caldera de Chupaderos, localizada en las inmediaciones del poblado del mismo nombre (aproximadamente 10 Km al norte de la ciudad de Durango). El grupo Carpintero está constituido por las formaciones en orden ascendente estratigráficamente:

FORMACIÓN ÁGUILA.

Se encuentra restringida a la porción centromeridional de la Hoja Guadalupe Aguilera. En otras localidades debe encontrarse sepultada por las rocas volcánicas que la sobreyacen. La roca es una ignimbrita soldada, con textura eutaxítica, con 50% de fenocristales de sanidino, plagioclasa, cuarzo y piroxeno. En la toba se observan fragmentos escasos de pómez y líticos abundantes de andesita, de hasta 3 cm de diámetro. El espesor medido a unos 25 Km al norte de la Ciudad de Durango es de 140 m, aunque no se observó la base de la unidad, que en las cercanías podría alcanzar hasta 320 m de espesor. Como la base no fue observada, se supone que descansa discordantemente sobre la toba Registro; subyace concordantemente a la formación Cacaria. En las inmediaciones del poblado de San Vicente Chupaderos, se reportó una edad radiométrica de 30.8 Ma, que la ubica en el Oligoceno. Se formó durante la primera erupción de la Caldera de Chupaderos, y fue depositada en una gran depresión circular de 40 a 50 Km de diámetro.

FORMACIÓN CACARIA.

Secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas depositada dentro de la Caldera de Chupaderos, y que sobreyace a la formación Águila. La localidad tipo está en la Sierra de Cacaria, al noroeste de la ciudad de Durango. La formación está constituida principalmente por derrames y domos de composición riolítica, tobas cristalinas soldadas pobremente y pseudoestratificadas. La cima tiene una brecha con fragmentos angulares de riolita y pómez de hasta 40 cm de diámetro, matriz tobácea compacta de color rojizo. El contacto inferior de la formación Cacaria con la formación Águila es concordante. El contacto con la formación Santuario que la suprayace, es discordante debido a la erosión o no depósito de los miembros Leona y Mercado. La formación tiene una edad radiométrica de 30.7 Ma, por lo que pertenece al Oligoceno. La unidad está estrechamente ligada al proceso evolutivo de la Caldera de Chupaderos, la cual al término del depósito de la formación Águila empezó a fracturarse con un sistema de fallas concéntricas y radiales, por las que hubo emisiones de material piroclástico y emplazamiento de domos riolíticos.

FORMACIÓN SANTUARIO.

Secuencia de 50 m descrita en el Cerrito del Santuario, al norte de la ciudad de Durango. Está constituida por ignimbritas vesiculares, con grandes litofisas y pómez aplastado, y tobas líticas de caída libre y cristalovítreas soldadas pobremente. El espesor de la formación Santuario es variable debido a que fue depositada sobre topografía muy irregular. En algunos lugares se cree que no alcanzó a cubrir las partes elevadas. El contacto inferior con la formación Cacaria es discordante y el contacto superior no se observó en ningún sitio. Se han reportado edades de 29.3 Ma, y otra de 30.3 Ma para esta unidad, lo que la sitúa dentro del Oligoceno Superior. La formación Santuario es similar litológica y químicamente a la



formación Águila, y ésta es la base en que se apoya la hipótesis de que ambas unidades provienen de una “misma fuente de origen como resultado de una segunda gran explosión de la Caldera de Chupaderos”.

GRUPO RÍO CHICO SUPERIOR.

Se consideró como Formación Río Chico a toda la secuencia comprendida entre la andesita basal y la Formación Metates. Se ha definido como Grupo Río Chico Inferior al conjunto que constituye las formaciones Tunal, Santa María y Garavito. El Grupo Río Chico Superior incluyó a las formaciones Tapias, Saltito, Mimbres y Soldado. En el área no se encontró afloramientos de rocas pertenecientes al Grupo Río Chico Inferior, únicamente fue identificado el Grupo Río Chico Superior, el cual aflora ampliamente en toda la región y constituye la parte más elevada de las sierras. El Grupo Río Chico Superior tiene una litología variedad, de la base a la cima vitrófidios, tobas brechoides, tobas de caída libre, tobas retrabajadas (bien estratificadas) con algunas ignimbritas intercaladas, y una secuencia de tobas líticas y cristalinas con algunos vitrófidios intercalados. El grupo está coronado por una serie de ignimbritas bien soldadas. El espesor total que se midió del Grupo Río Chico Superior es de 310 m aproximadamente, siendo variable, ya que en algunos lugares puede alcanzar un máximo de 800 m. En ningún lugar se pudieron observar las relaciones del Grupo Río Chico con la Formación Santuario; considerando que se trata de una discordancia, debido a la erosión o no depósito del Grupo Río Chico Inferior. En la porción centromeridional del área, donde aflora el grupo Carpintero, el Grupo Río Chico Superior descansa discordantemente sobre la formación Cacaria, ya que ahí no se depositó la formación Santuario. El Grupo Río Chico Superior más al sur fuera del área, comprende las formaciones Tapias, Saltito, Mimbres y Soldado, las cuales se fecharon en 31.2, 29, 28.9 y 28.8 Ma.

FORMACIÓN SAN PABLO.

Forma lomas suaves, excepto donde está cubierta por la Formación Los Llanos, que la preserva de la erosión y permite la formación de rasgos topográficos característicos que semejan castillos. En la parte noreste del área está cubierta por la Formación Gamón. La base está constituida por una alternancia de arenisca gris claro, de grano fino, de estratos delgados a medios y capas delgadas de toba híbrida blanca y rosa, bien estratificada. La parte media está formada por estratos gruesos de toba híbrida color crema, con fragmentos sub-redondeados de roca volcánica. La cima tiene capas delgadas de caliza lacustre color blanco, con fósiles no identificados y perforaciones de raíces o gusanos, rellenas de calcita. Se pueden observar en algunas áreas capas ignimbríticas claras, de composición félsica, en las que es notable la abundancia de calcedonia. El espesor estimado es de 150 a 200 m, aproximadamente. Debido a que la unidad se encuentra rellenando una topografía irregular, sobreyace a diversas unidades litológicas. En áreas más al oriente, sobreyace a calizas cretácicas, a la Formación Ahuichila o la parte superior del Grupo Río Chico, sobre el que se acuña. La edad inferida por posición estratigráfica, es cuando menos posterior al Grupo Río Chico Superior.

FORMACIÓN GAMÓN.

Es una secuencia de rocas volcánicas de composición riolítica que constituyen la Sierra Gamón, al este, fuera del área. En las sierras basculadas cortadas por la Carretera Federal 45, la Formación Gamón consiste en una ignimbrita cristalina de textura eutaxítica y con fenocristales de cuarzo y sanidino, fragmentos de pómez que semejan amígdalas, calcedonia y fragmentos líticos angulares escasos. En las partes altas de la Sierra de Gamón existen



derrames de riolita rojiza, de estructura dómica, intercalados con ignimbritas con vesículas alargadas, donde es notable la presencia de ópalo y vetillas de magnetita y casiterita. En los arroyos que cortan a estas rocas se han encontrado yacimientos de estaño, los cuales fueron aprovechados por los habitantes del Rancho Las Minutas. Las ignimbritas de la Formación Gamón incluyen vitrófidos en la base. Tomando en cuenta las características mineralógicas y los resultados de los análisis químicos obtenidos por el método Rittman, se considera que las rocas de la Formación Gamón son riolitas alcalinas. Los afloramientos de esta formación corresponden a bloques fallados, por lo cual el espesor total no está presente en su totalidad, aunque se reportaron 500 m aproximadamente. Esta unidad cubre discordantemente a unidades más antiguas, ya sean las calizas del Cretácico o a la Formación Ahuichila. Es posible observar que sobreyace a la Formación San Pablo. La Formación Gamón está cubierta discordantemente por la Formación Los Llanos en las mesetas altas y en la Meseta Los Ojitos. También la cubren gravas derivadas de su erosión en las partes bajas y zonas de pie de monte (Formación Guadiana). La posición estratigráfica de esta unidad permite suponer que su edad corresponde al Oligoceno Tardío. De acuerdo con la variación de la composición de las rocas volcánicas de la faja orogénica de la Sierra Madre Occidental, que aumenta de alcalinidad hacia el oriente, ésta unidad litoestratigráfica es correlacionable con las últimas rocas volcánicas del complejo volcánico superior, de la Sierra Madre Occidental.

FORMACIÓN METATES.

Unidad que sobreyace discordantemente a la Formación Río Chico. La localidad tipo se situó en el Km 990 de la carretera Durango-Mazatlán, en los alrededores del poblado de Metates. Se encuentra distribuida en una área comprendida en las Hojas Guatimapé, San Juan del Río, Canatlán y Donato Guerra. Está constituida por derrames de basalto andesítico y basalto de olivino. La roca tiene color gris oscuro al fresco e intemperiza a pardo rojizo. Los basaltos y basaltos andesíticos contienen vesículas de zeolitas y se caracterizan por tener concentraciones de cristales y xenolitos de rocas peridotíticas, gneises y otras rocas metamórficas. El espesor máximo observado en el área es de 20 m. Se encuentra depositada principalmente sobre el Grupo Río Chico Superior, aunque puede descansar sobre rocas más antiguas. Se han reportado edades radiométricas de 12.3 y 12.2 Ma para esta unidad, por lo que pertenece al Mioceno Superior. El material que constituye la Formación Metates fue inyectado a través de fallas asociadas al evento tectónico que formó la Provincia de Cuencas y Sierras.

SISTEMA CUATERNARIO.

FORMACIÓN LOS LLANOS.

Depósitos clásticos continentales, probablemente de edad pliocénica pleistocénica, que cubren aproximadamente la cuarta parte de esa área. En las Hojas San Juan del Río y Donato Guerra, se encuentra al oriente. Consta principalmente de grava, arena, arcilla y limo. Los clastos gruesos están generalmente sin consolidar y los finos lo están débilmente. La mayor parte de los componentes se derivó de rocas volcánicas preexistentes, de composición principalmente félsica. En toda el área, el conjunto clástico presenta un color café rojizo característico. El espesor de la Formación Los Llanos varía desde 5 hasta 150 m. Suprayace discordantemente a rocas mesozoicas marinas o rocas terciarias continentales. La cima está impregnada de caliche y presenta una superficie denudada cubierta localmente por suelo y vegetación baja. La Formación Los Llanos posiblemente es de edad pliocénica o pleistocénica. Con base en su posición estratigráfica, es correlacionable con la Formación Santa Inés, que aflora al occidente de la Hoja Nazas. Las fuentes que originaron los clásticos volcánicos de la Formación Los Llanos fueron las sierras de la región.



FORMACIÓN GUADIANA.

Depósitos pleistocénicos de aluvión del Valle del Guadiana y de las tierras bajas intermontanas vecinas. Esta unidad está distribuida ampliamente en el Valle del Río Guadiana; en el área estudiada se encuentra en las partes bajas de las sierras y forma el relleno de las fosas tectónicas de la Laguna de Santiaguillo y del Río San Juan. La localidad tipo está en una reentrante occidental del Valle del Río Guadiana, en el poblado de Cárdenas, 8 Km al oeste de la ciudad de Durango, Dgo. Allí, la unidad forma una terraza de 5 m sobre la llanura de inundación y de 10 m sobre el cauce del arroyo que drena la reentrante mencionada; consiste casi completamente de grava gruesa de cantos rodados y guijas de lava y toba, derivadas de las sierras circundantes. La Formación Guadiana puede distinguirse fácilmente de los depósitos aluviales más jóvenes por su textura gruesa (grava-arena), por su coloración marrón claro y por el hecho de que comúnmente contiene depósitos de carbonato secundario en forma de caliche. En los afloramientos cortados por el Río San Juan (Hoja Donato Guerra, al este), consiste en un conglomerado con fragmentos sub-redondeados, que van desde guijarros hasta cantos rodados, derivados de las tobas soldadas y lavas riolíticas, en una matriz arenosa de coloración naranja intenso. Su espesor varía desde unos cuantos centímetros hasta decenas de metros. Al pie de las sierras, sobreyace a las rocas volcánicas de las que se deriva, y en los valles se encuentra entre dos derrames de composición basáltica, denominados basalto joven y basalto antiguo respectivamente. Aunque los fósiles en la Formación Guadiana no son comunes, se han encontrado huesos y dientes de vertebrados como el caso del equino *Asinus hydruntinus* y de la tortuga terrestre *Testudo* sp.; este último sugiere una edad más antigua que el Estadio Interglacial Sangamon, del Pleistoceno. El mismo género se ha encontrado en el miembro inferior de la Formación Becerra, cerca de Tequixquiatic, en la vecindad de la Ciudad de México; lo cual permite fechar a la porción inferior de la Formación Becerra como pre-wisconsiniana. La Formación Guadiana está constituida por depósitos continentales derivados de la erosión de las sierras volcánicas del área.

BASALTO CUATERNARIO.

Es un campo de lava con varios derrames individuales, denominados “lava basáltica antigua” y “lava basáltica joven”; esta distinción se hizo debido a que la Formación Guadiana está entre ambos basaltos. La fisiografía en los basaltos más antiguos es de malpaís y en los jóvenes es de breña. En la Hoja Donato Guerra hay 17 pequeños volcanes que rellenan los antiguos valles. Debido a su fluidez, el basalto avanzó decenas de kilómetros hasta los alrededores de San Juan del Río. Posteriormente, los valles fueron reexcavados hasta llegar cerca de su nivel original. La petrografía hecha indicó que los basaltos son alcalinos y su composición varía de hawaíta a traquiandesita; algunos contienen xenolitos de gneis y lherzolita de espinela, lo que hace suponer un origen muy profundo. Se cree que fueron originados por reactivaciones holocénicas del fallamiento de cuencas y sierras.

SEDIMENTOS LACUSTRES, DE TALUD Y ALUVIÓN.

Depósitos lacustres y aluviales que en algunos lugares descansan discordantemente sobre las rocas volcánicas paleógenas y neógenas, pero que sobreyacen comúnmente a la Formación Guadiana. La localidad tipo la señala en el corte del Río El Tunal, cercano a la Ranchería El Pueblito, al SW de la ciudad de Durango, Dgo. En contraste con la Formación Guadiana, la Formación Pueblito tiene textura fina y contiene más arena, limo y arcilla que grava. Los depósitos lacustres están siendo depositados en la actualidad en la Laguna de Santiaguillo,



Presas San Bartolo, Laguna El Toboso, Laguna Seca, Laguna La Sinforosa, Laguna Pachona y Laguna El Ajolote.

- ❖ Los depósitos de talud corresponden a gravas mal clasificadas y sin consolidar, formadas por fragmentos líticos angulosos que varían en promedio desde 1 hasta 20 cm de diámetro. Estos depósitos están localizados al pie de las sierras.
- ❖ Los sedimentos aluviales están constituidos por grava, arena, limo y arcilla mal clasificados; el origen de estos materiales son las rocas ígneas descritas con anterioridad y que rellenan los valles intermontanos y las partes topográficas bajas.
- ❖ En el Valle del Guadiana se reportan más de 2 m de limo arcillosos húmicos, que carece de las acumulaciones secundarias conspicuas de caliche, tan características de la Formación Guadiana. Esta zona húmica es la parte superior de la Formación Pueblito y de ella se ha reportado cerámica de la cultura Chalchihuites, desarrollada entre los años 1350 y 500 a.C.

Se reportaron fósiles de los gasterópodos *Heliosoma trivolvis*, *Succinea grosveneri* y *Lymnaea palustris*. En algunos miembros inferiores de esos depósitos, se encontraron algunas falanges de bisonte; cerca de la Laguna de Santiaguillo se han recolectado dientes y fragmentos postcraneales de *Equus caballus laurentius* y del zorrillo moteado *Spilogla glucasana*. La abundancia de material húmico en el aluvión permite argumentar que se depositó durante un período de clima húmedo y frío.

II.8.6 ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS Y ROCAS METAMÓRFICAS. ROCAS INTRUSIVAS.

En el área estudiada se localizaron varios afloramientos de rocas intrusivas. En los alrededores del poblado La Cieneguilla en la Hoja Canatlán, Córdoba (1988) encontró tres afloramientos de un pórfido monzonítico con fenocristales de feldespatos y ferromagnesianos alterados, muy compacto, de color gris amarillento que intemperiza a gris rojizo. Hay evidencias de magmatismo intrusivo continuo desde 102 hasta 45 Ma; existen cerca de Toyaltita, Dgo., intrusivos de 65 Ma. Se han fechado en Choix, Sin., intrusivos de 60 Ma. El Grupo Río Chico Superior se depositó sobre una paleotopografía labrada en unidades anteriores al depósito de la Toba Registro (31.8 Ma), pero posteriores a la andesita basal (51.6 Ma) y a las rocas intrusivas aflorantes en las inmediaciones del poblado La Cieneguilla.

En las áreas de San Juan del Río, Donato Guerra y Carlos Real, afloran diques y mantos de composición que varían desde andesítica hasta riolítica, y que cortan o están emplazados en el Grupo Río Chico Superior (Córdoba, *op. cit.*).

ROCAS METAMÓRFICAS.

El basamento paleozoico del área está formado por rocas de metamorfismo regional que afloran cerca de Donato Guerra, localidad reportada por CETENAL (1977) en la carta geológica 1:50 000 G13D62 “Donato Guerra”, y en la carta geológica escala 1:50 000 G13D52 “San Juan del Río”, por DETENAL (1977).

II.8.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

Para la región en general, se evidencian las siguientes fases de deformación:

- ❖ Una tentativamente permotriásica, cuando esfuerzos de compresión metamorfizaron regionalmente y deformaron las rocas paleozoicas.
- ❖ Una fase subsecuente también de carácter compresivo, definida mayormente del Cretácico Tardío al Paleógeno, causada tal vez por la interacción, arrastre y subducción de la Placa



Farallón contra la Norteamericana; a este movimiento se le atribuye el plegamiento de los sedimentos mesozoicos.

- ❖ Se evidencia una fase mio-pliocuaternaria de carácter distensivo, evidentemente basáltica, responsable de la creación del *rift* del Golfo de California, sistema de San Andrés y de la estructura *Basin and Range*, representada por las emisiones piroclásticas y lávicas que constituyen uno de los rasgos más notables del área; así mismo se refleja por un sistema de fracturas orientadas al norte y noreste, que propicio volcanismo en forma de derrames fisurales y que además dio lugar a fallamiento en bloques, originándose en ésta época las estructuras tipo *horst*, *graben* y *semigraben* (Cruz-P. y Nava-V., *op. cit.*)

En el área, los principales rasgos tectónicos son las fracturas y fallas identificadas en las rocas paleógenas y neógenas. En forma general puede considerarse que estas rocas no sufrieron plegamientos considerables, ya que en su gran mayoría se encuentran en posición horizontal o casi horizontal. No obstante, los desplazamientos de fallas son abundantes y las masas rocosas se encuentran muy fracturadas, lo que es indicio de que la zona estuvo sometida a esfuerzos tectónicos anteriores al Plioceno Superior.

Las sierras de Coneto y Cacaria consisten en una serie de promontorios de escasa altura, alineados paralelos entre sí, que parece deben su posición a un sistema de fallas normales escalonadas. El alineamiento y la repetición de una misma secuencia a diferentes alturas en dos distintos alineamientos montañosos, proporcionan evidencias de desplazamientos. Se presentan entonces dos familias de fallas: una con rumbos variables entre 10° y 30° al NW, y la otra con rumbo de N40°E; ambas presentan buzamientos casi verticales, con valores entre los 70° y 90° (Aguilar, *op. cit.*).

II.8.8 GEOLOGÍA HISTÓRICA.

Las diversas regiones de la Sierra Madre Occidental han dado lugar a interpretaciones diferentes. La Sierra Madre Occidental ha sido dividida en tres porciones: Sierra Madre Occidental Noroeste, Sierra Madre Occidental Oeste-Central y Sierra Madre Occidental Central-Este.

El área de estudio se encuentra localizada en la porción Sierra Madre Occidental Central-Este, siendo su historia geológica en forma resumida la siguiente.

PRE-PALEOZOICO.

Se tiene metamorfismo de rocas volcánicas riolíticas.

PALEOZOICO (230-600 Ma.)

En el Estado de Sinaloa, en el fuerte de Mazatlán, se reporta una fase tectónica representada por series básicas polimetamorfizadas: metatobas, metalavas con pelitas negras y metacarcitas; corresponden a sartas de escamas de corteza oceánica y secuencias de fosas, las cuales fueron sometidas a gran presión, siendo así indicativas de antiguas zonas de subducción; sobreyacen a un basamento posiblemente precámbrico muy metamorfizado de gneises con anfibolitas y dioritas (Gneis de Sonobari y Sierra de San Francisco), provenientes de zonas de carácter ofiolítico; subyacen a lutitas poco metamorfizadas del Carbonífero.

El metamorfismo se atribuye a la Orogenia Antler. En el Carbonífero-Pérmico existieron ambientes marinos de plataforma, con acumulación de sedimentos calcáreos que contienen amonites e impresiones de tallos de crinoides, ésta sedimentación en mares someros estuvo acompañada con depósitos volcánicos.

La evolución geológica del área se remonta al Paleozoico, el conocimiento es escaso debido a lo limitado de sus afloramientos, pues existe un afloramiento del Paleozoico en una pequeña localidad reportada por CETENAL (1977) en las cartas geológicas 1:50000 “Donato Guerra,



Dgo.” (G13D62), y DETENAL 1977 “San Juan del Río, Dgo.” (G13D52). Éste basamento está formado por rocas de metamorfismo regional y posiblemente de cuarcitas.

MESOZOICO (230-63 Ma.)

Triásico (180-230 Ma.)

A comienzo del Mesozoico una de las placas paleopacíficas (Farallón) comenzó a acrecionar bloques de corteza contra la costa occidental de Norteamérica. Existen evidencias del establecimiento de un arco magmático de tipo andino en Nevada y Mojave durante el Triásico Medio, como un sistema de arco-fosa de márgenes continentales, resultado de la subducción de la litosfera oceánica bajo una placa continental.

Jurásico (130-180 Ma.)

En el Jurásico, el “*Megashear*” Mojave-Sonora yuxtapone dos terrenos metamórficos precámbricos en una zona de corrimiento lateral izquierdo. Se divide al país en dos regiones de naturaleza contrastante de acuerdo a la tectónica de placas y al ciclo geotectónico tradicional: dentro del “dominio cordillerano” se incluye a la región occidental de México, el cual evolucionó como un arco vulcano plutónico relacionado con la subducción de la Placa Farallón; dentro del “dominio tethysiano” se considera a la región que comprende la Sierra Madre Oriental-Planicie Costera del Golfo de México, donde predominan los sedimentos transgresivos jurásicos.

La acreción en el borde occidental de Norteamérica adquirió mayor importancia durante el Jurásico en la Costa Norteamericana del Pacífico, es en este periodo cuando existen evidencias de un evento fuerte (Orogenia Nevadiana) que afectó mayormente el occidente de las Montañas Rocosas, acompañada de metamorfismo.

En el área de Santa María del Oro, Dgo., se reportan polimorfos del Jurásico Inferior en metasedimentos negros de la Formación Gran Tesoro, que contrastan con fechamientos hechos en esquistos de muscovita de 326 ± 26 Ma), ya que se encuentran en contacto tectónico.

Se infieren las raíces de un arco en el occidente de México en una secuencia metabásica de esquistos verdes, probablemente del Jurásico Medio al Cretácico Inferior, que representan la continuación del Arco insular Alisitos de Baja California y Sonora.

Conforme la Placa Farallón se hundía, la resistencia aumentaba a tal punto que combó la plataforma continental y levanto las Montañas Rocosas en EE.UU., y la Sierra Madre Occidental en México, consolidando el emplazamiento continuo del Batolito de Sinaloa, donde el Arco Mágmató Mesozoico truncó las alineaciones de los sistemas Cordillerano y Ouachita; el emplazamiento ocurrió en una posición aproximada a la que se ha ubicado el *Megashear* Mojave-Sonora.

En el Jurásico Superior se originan en las áreas vecinas y seguramente en algunas partes del subsuelo, depósitos clásticos y calcáreos claramente discordantes de las formaciones La Gloria y Zuloaga; representa la mayor parte de éste tiempo un área de erosión o no depósito, mientras que hacia el noreste se origina una transgresión predominante.

Cretácico (63-130 Ma.)

Afín a la franja de magmatismo calco-alcalino del Jurásico-Cretácico, se desarrolló una cuenca retroarco con sedimentos que constituyeron calizas, lutitas y areniscas, cuyos componentes volcánicos disminuyen hacia el oriente, mientras que hacia el sur se interdigitan con la secuencia de la Cuenca Mesozoica de México. El área queda comprendida dentro de los límites del “Arco Volcánico Tarahumara-Sonorense”, localizado en la porción austral de Chihuahua y septentrional de Durango; esta secuencia abarca el intervalo Jurásico Superior-Cretácico (Grupo Mezcalera), intensamente deformada con recostamientos y cabalgaduras con vergencia notable hacia el noreste. De esta manera se define al antiguo Mar Mexicano, donde



la transgresión mencionada es interrumpida por continuos rejuvenecimientos de las áreas positivas del este (paleopenínsulas); la sedimentación de carbonatos generalizada al oriente como un segundo periodo, se reanudó en algunas partes, sin embargo en otras la tendencia pudo ser continua.

En la región de Toyaltita se menciona la presencia de la Caliza Espadañal del Cretácico, asociada a rocas metavolcánicas, lo que indica un desarrollo calcáreo intercalado en la secuencia volcánica del arco, los escasos registros microfauales indican una interrupción hasta el Aptiano; existen también pequeños afloramientos no cartografiables de calizas masivas al sur del área, al este existen afloramientos que podrían ser representativos de este hiatus en el Neocomiano (Valanginiano-Barremiano), lo que significaría por otra parte la prolongación del periodo de intrusión magmática y levantamiento, congruente con el emplazamiento del Granito Magistral en el área de hidalgo del Parral, Chi., también denominado Batolito “Cuarenta-La Perrita” fechado en 198 ± 7 y 155 ± 3 Ma, que produjo en las rocas metamórficas de esa área diafóresis a nivel regional (Esquisto Pescaditos) y metamorfismo de contacto a nivel local, originó también hornfels cuarzofeldespáticos, en esa área se mencionan intrusivos terciarios que evidencian la continua presencia de rocas plutónicas.

En el Aptiano se da una modificación en el régimen sedimentológico en el Mar Mexicano, un gran volumen de arcilla sustituye la sedimentación de carbonatos que se depositaban al oriente; éstos depósitos terrígenos coinciden con la separación de las placas Africana y la Sudamericana.

En el área persisten los depósitos de terrígenos tipo *flysh* de facies de talud y de plataforma relativamente profunda durante el Albiano Medio al Cenomaniano Inferior, representados por el Grupo Mezcalera.

Un evento tectonosedimentario ocurrido en el Cretácico Superior caracteriza las secuencias flyshoides en la mayor parte de México, reflejo de una continua inestabilidad provocada por el emplazamiento de los batolitos occidentales.

Se inicia la emersión del Mar Mexicano entre los 80 a 100 Ma, con el cambio de dirección tangencial a frontal de las placas de Norteamérica con respecto a la Farallón, experimentándose una disminución en el ángulo de subsidencia y aumento en la velocidad de choque.

En la secuencia Parral al igual que en el área, no se han reportado fósiles marinos más recientes al Cenomaniano debido a la emersión ocurrida en este tiempo; en el área de Saltillo Coah., se reportaron faunas marinas del Paleoceno y Eoceno, indicativas de una emersión más tardía; por otra parte hay reportes de lechos con fósiles terrestres en el noroeste de México, particularmente en el área de Agua Prieta, Son., una secuencia sedimentaria continental (Grupo Cabullona) yace en discordancia angular con unidades deformadas del Grupo Bisbee, constituida por clásticos continentales e intercalaciones volcánicas en los cuales se hallaron huesos de dinosaurios y flora del Cretácico Superior. Al oriente del área, entre Parras y Saltillo, se reportaron fósiles de frutas en la Formación Cerro Huerta del Grupo Difunta del Cretácico Superior. En esta época existieron áreas positivas en diversas partes, pues existen hallazgos de diversos fósiles terrestres al norte de México, como lo indican reportes de rastros de cocodrilos en la región del Río Bravo; madera petrificada y restos de dinosaurios Ceratopsidos, en rocas del Campaniano-Maestrichtiano, en La Soledad, entre Chihuahua y Coahuila; plantas en San Carlos, Chi. y en Piedrecitas, Coah.; carbón en Sabinas, Coah.; la evidencia más cercana al área se tiene en el Tanque San Antonia, municipio de Parras Coah., referida en una colección particular en torreón Coah., donde se exhiben entre otros un fémur de un dinosaurio pico de pato, constituyen vestigios de ornitópodos del Cretácico Superior en Norteamérica



PALEÓGENO Y NEÓGENO (2.5-63 Ma.)

Un levantamiento gradual de occidente a oriente ocurrió durante el Cretácico Superior-Paleógeno en el noroeste de México, asociado a un vulcanismo calco-alcalino y plutonismo, originados por la subducción de la Placa Farallón en el borde occidental de Baja California, éste tectonismo compresivo cambió el régimen de sedimentación para el occidente de México.

Contemporáneo a la Orogenia Laramide, ocurrió un evento volcánico representado por derrames andesíticos en la región de Toyaltita, Dgo., que constituyó al Complejo Volcánico Inferior, indicativo de las primeras emisiones lávicas del gran campo volcánico que constituye la Sierra Madre Occidental.

El levantamiento continental que se hizo más evidente en el Cretácico Superior, continúa hasta el presente; dicho levantamiento dejó una superficie de erosión inclinada hacia el oriente, que definió la paleogeografía cretácico-paleógena de gran parte del país. Como una respuesta a los ajustes isostáticos, éste levantamiento estuvo ligado a la migración del arco magmático al oriente, como consecuencia del cambio en el movimiento de las placas Farallón-Pacífica en relación a Norteamérica. Hace 90 Ma el arco magmático mesozoico tuvo un rápido incremento en su progresión al oriente; el resultado de la aceleración de la convergencia de placas entre 40 a 80 Ma (del Cretácico Superior al Eoceno) se dio a partir de que la trinchera se internó en el continente, desplazando la generación magmática al oriente, para retornar finalmente a la zona costera hace aproximadamente 20 Ma (Mioceno Temprano), debido a la disminución en la velocidad de convergencia de las placas involucradas. También se interpreta ésta regresión como el paso de Norteamérica sobre la placa tectónica subducida más caliente y más delgada, que aunado a un levantamiento continental resultó en una profundidad menor de generación magmática, lo cual produjo la expulsión del material volcánico piroclástico-ignimbrítico riolítico calco-alcalino, que cesó al Mioceno Medio; desde un punto de vista geoquímico en las andesitas de la región de Batopilas, se observó que en la producción de álcalis los porcentajes isotópicos de Sr indican una interacción significativa de magmas primarios con la corteza radiogénica anterior.

Del análisis de afloramientos en la Sierra Madre Occidental, se observa que la secuencia volcánica oligo-miocénica descansa discordante e indistintamente en un paleo-relieve conformado predominantemente de rocas metamórficas paleozoicas, plutónicas meso y cenozoicas, de flysh Cretácico Tardío y “molasse” continental Paleógeno.

Posteriormente se dan fallamientos regionales como consecuencia de la distensión ocurrida en las placas litosféricas recientes, originando las “cuencas y sierras” expresadas por el tipo de disyunciones observadas en el área, donde los grabens son rellenados con grandes cantidades de material aluvial, acompañados con derrames basálticos fisurales de origen primario.

En el área, las Gravas Los Llanos y el Aluvión Antiguo, cuyos constituyentes son de características similares, indican un proceso de levantamiento y arqueamiento de las rocas volcánicas cenozoicas medias o tardías de parte de la secuencia oligo-miocénica.

III METODOLOGÍA.

En el trabajo de campo se realizó la extracción del material por medio de una nucleadora rotatoria marca Giddings (Fotografía 3). Se realizaron dos perforaciones (perfiles) de 6 metros de profundidad cada una, tomándose 24 muestras para ambos perfiles de la siguiente manera: las primeras 20 a intervalos de 20 centímetros hasta los 4 metros, y las 4 restantes a cada 50 centímetros hasta los 6 metros. El material colectado se guardó y etiquetó en bolsas con aproximadamente 2 kilogramos.



Fotografía 3. Nucleadora rotatoria "Giddings" realizando la extracción de material.

Para la elaboración de éste trabajo, se realizó:

1. Trabajo de gabinete.
2. Trabajo de laboratorio:
 1. Preparación de las muestras y descripción megascópica (textura y estructura).
 2. Tamizado por vía húmeda.
 3. Análisis granulométricos de la fracción gruesa, fracción fina y población total.
 1. Análisis de la fracción gruesa.
 2. Análisis de la fracción fina.
 3. Análisis de la población total y determinación de los índices granulométricos por medio de:
 - a. Método de Momentos.
 - b. Método Gráfico de Folk y Ward.
 4. Significado de los índices granulométricos.
 5. Modos de transporte según Visher.
4. Determinación del contenido de materia orgánica y de carbonatos totales.

III.1 TRABAJO DE GABINETE.

El trabajo de gabinete realizado abarcó la búsqueda de información general de la región, de artículos en revistas especializadas para la comprensión de los procesos sedimentarios, y la consulta de las cartas topográficas escala 1:50,000 de INEGI: G13C59 Nuevo Ideal, G13C69 La Campana, G13D51 Guatimapé, G13D61 Canatlán, G13D52 San Juan del Río, y G13 D62 Donato Guerra, y de las cartas geológicas escala 1:50,000 de INEGI, CETENAL y DETENAL con la misma nomenclatura que las anteriores.








III.2 TRABAJO DE LABORATORIO.

III.2.1 Preparación de las muestras y descripción megascópica (textura y estructura).

El material venía en bolsas con aproximadamente 1 Kg de muestra, de cada bolsa se cuartearon y tomaron 250 gramos para secarlos en horno a una temperatura entre 62°C y 65°C. Al mismo tiempo se realizó una descripción megascópica del material, la cual consistió en establecer las siguientes características:

- Profundidad. Expresada en centímetros.
- Textura. Se obtuvo al tomar un poco del material para saturarlo con agua, y por medio del tacto deducir si era: arenosa, arcillosa, limosa de acuerdo con los términos propuestos por Folk (1980) para sedimentos no consolidados.
- Estructura. Se determinó al observar la forma en que el material se disgregaba, si era en forma: granular, de migas, de lajas o placas, prismática, columnar, de bloques angulares o de bloques subangulares, de acuerdo a la clasificación simplificada para suelos del “Soil Survey Staff” (1975), mostrada en la Tabla 2.
- Reacción al ácido clorhídrico. Se caracterizó como: nula, moderada, media o fuerte, al observar la reacción del material al agregarle una gota de ácido clorhídrico (HCl) diluido al 10%.

Tabla. 2. Estructuras de suelos de acuerdo a la clasificación simplificada del “Soil Survey Staff” (1975).

TIPO						
Placas	Prismático	Columnar	Bloques angulares	Bloques subangulares	Granular	Migas
						
Tabulares (laminares) y horizontales hacia la superficie	Elongados con cima plana y verticales hacia la superficie	Elongados con cima cóncava y verticales hacia la superficie	Equiaxiales (esféricas) con bordes de contacto agudos	Equiaxiales con bordes de contacto suaves	Esféroidales con ligeros bordes de contacto	Redondeados y esféricos pero sin bordes de contacto

III.2.2 Tamizado por vía húmeda.

Del material ya seco se tomaron 50 gramos y se colocaron dentro de un vaso de precipitados de 250 ml, se aforó a 200 ml con agua destilada (des-ionizada) para hidratarlo de nuevo, y se agitó para disgregar los granos. Se agregaron 10 ml de peróxido (agua oxigenada) para eliminar la materia orgánica que pudiera existir, y 10 ml de hexametáfosfato de sodio para deflocular las arcillas. Fue conveniente dejar reposar la mezcla al menos un día para esperar una mayor disgregación de los granos, y entonces separar la fracción gruesa (arenas y ocasionalmente gravas finas) de la fracción fina (limos y arcillas), por medio del método de tamizado por vía húmeda. Los pasos que se siguieron fueron:



1. La mezcla se tamizó utilizando el tamiz 230 (4ϕ), el cuál tiene una apertura de malla de $1/16$ de milímetro o 63 micras, para la separación de la fracción gruesa de la fracción fina.
2. Las fracciones separadas se colocaron dentro de vasos de precipitados para su secado.
3. Se pesaron las fracciones ya secas y se sumaron los pesos para calcular el porcentaje de cada una de éstas fracciones.

III.2.3 Análisis granulométricos de la fracción gruesa, fracción fina y población total.

III.2.3.1 Análisis granulométrico de la fracción gruesa.

Para el análisis de la fracción gruesa (inferior a 4ϕ o mayor a 63mm), se utilizó un equipo automatizado Analysette de la marca FRITSCH, que consiste de un vibrador o *Ro-Tap*, una balanza digital analítica y del programa de computo “*Autosieb*” (Fotografía 4).

El programa *Autosieb* procesa y da información estadística como: el peso y porcentaje de partículas para cada tamiz, el diámetro aritmético, el diámetro medio, el diámetro geométrico, la moda, la mediana, la varianza, la desviación estándar, el sesgo, y la kurtosis, así como histogramas de distribución de tamaño, curvas acumulativas de la composición de tamaño, gráficas del porcentaje en peso acumulado de la composición de tamaño en escala logarítmica entre muchas más. La Figura 10 muestra un ejemplo del reporte estadístico dado por *Autosieb*.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis estadístico de la fracción gruesa. El programa nos dio los resultados en micras, por lo que hubo que convertirlos a unidades phi utilizando la fórmula:

$$\phi = -\log_2(d),$$

donde d es el valor del diámetro de la partícula en milímetros.

Para el análisis granulométrico se siguieron los pasos siguientes:

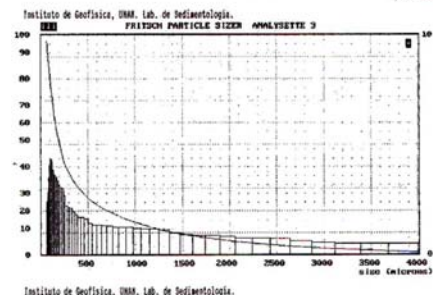
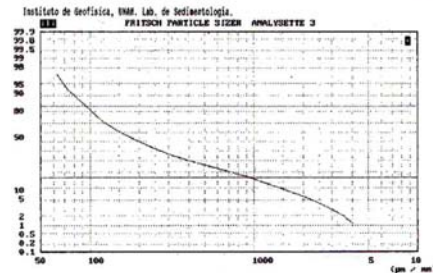
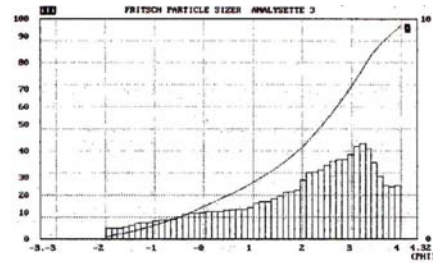
1. Se eligieron los tamices de acuerdo al de tamaño de los granos presentes en cada muestra, con un intervalo a cada 0.5ϕ ; los tamices utilizados fueron los números: 5 (-2ϕ), 7 (-1.5ϕ), 10 (-1ϕ), 14 (-0.5ϕ), 18 (0ϕ), 25 (0.5ϕ), 35 (1ϕ), 45 (1.5ϕ), 60 (2ϕ), 80 (2.5ϕ), 120 (3ϕ), 170 (3.5ϕ), y 230 (4ϕ).
2. Una vez seleccionados los tamices, se procedió a registrar cada uno (junto con la charola) en el programa, para conformar una “torre de tamices”. El programa registró los pesos de cada tamiz vacío directamente ensamblados en forma de torre; estos datos le permiten comparar los pesos iniciales y los pesos al contener la muestra ya procesada por el *Ro-Tap*.
3. La torre de tamices se colocó en el *Ro-Tap* y se vertió la fracción gruesa directamente en el tamiz superior (procurando los tamices quedaran siempre colocados en orden descendente de apertura de maya). El *Ro-Tap* permite únicamente la colocación de 7 tamices incluida la charola, en el caso de las muestras estudiadas se tuvo que emplear una torre de 13 tamices, por lo que se procesaron en dos partes. Enseguida de colocar la muestra dentro de la torre, se indicó al *Ro-Tap*: el tiempo para la separación de las muestras (5 minutos), con una vibración continua, y la amplitud máxima de vibración.
4. Después del procesado en el *Ro-Tap*, se procedió a colocar la torre completa de tamices en la balanza para obtener su peso y su registro en el programa, quien fue pidiendo la separación de cada tamiz (uno por uno) para obtener el peso de la fracción de la muestra contenida en cada uno de ellos.



Fotografía 4. Equipo automatizado Analysette por medio del programa Autosieb.

FRITSCH Particle Sizer Analysette 3

Instituto de Geofísica, UNAM. Lab. de Sedimentología. EL LLANO, ODO. MUESTRA LL-6. TÁMICES 750, 170, 120, 80, 60, 45, 35, 25, 18, 14, 10, 7, 5.		Measurement Number 6 Date of measurement 07-30-2002 Time of measurement 09:22 Sieving Length 0.60 min Amplitude of Sieving -63.50 mm Sieve machine permanent running Weigh all sieves on stack	
Sample weight	25.12 g	Number of used sieves	13
10.00% <	80.17 µm	15.00% <	92.11 µm
25.00% <	150.00 µm	30.00% <	180.00 µm
50.00% <	300.00 µm	75.00% <	750.00 µm
100.00% <	1500.00 µm	100.00% <	1500.00 µm



Autosieve (C) Fritsch GmbH

Unit Sieves Balance Measure Automatic Results Special Disk Help

(Statistics)

Arithm. mean diameter :	474.54 µ	10.0 % <	80.17 µ
Geom mean diameter :	235.11 µ	15.0 % <	92.11 µ
Quadr. Sq. mean diam. :	826.13 µ	25.0 % <	112.67 µ
Harmonic mean diam. :	158.74 µ	35.0 % <	139.05 µ
Mode :	109.31 µ	45.0 % <	175.73 µ
Median :	199.86 µ	55.0 % <	228.99 µ
Mean/Median Ratio :	2.37	65.0 % <	324.28 µ
Variance :	8459388.59 µ²	75.0 % <	520.51 µ
Standard Deviation :	637.78 µ	85.0 % <	984.33 µ
Mean Deviation :	444.37 µ	100.0 % <	1500.00 µ
Coefficient Variance :	142.83 %		
Skewness :	2.64	Spec. surface area	
Kurtosis :	7.27	0.0378 m²/cc	
Span :	6.64	Form factor	1
Uniformity :	1.83		

Figura 10. Ejemplo del reporte estadístico y las gráficas obtenidas por medio del paquete Autosieb.

III.2.3.2 Análisis granulométrico de la fracción fina.

La fracción fina de las muestras se analizó por medio del equipo “Spectrex Laser Particle Counter” (Contador Láser de Partículas Spectrex), el cual consiste del contador láser y del programa de computadora “Laser Particle Counting System Supercount Software (LPC)” (Fotografía 5). La Figura 11 muestra el reporte del análisis proporcionado por el programa LPC del contador láser.

El programa *LPC* proporciona información como: número de partículas contadas por centímetro cúbico, la mediana, la moda, la dispersión, la asimetría, la kurtosis, la desviación estándar, el tamaño promedio, y el total de sólidos suspendidos en partes por millón (ppm = miligramo/litro). El programa permite imprimir además de todo lo listado atrás, la gráfica de porcentaje acumulado a cada 0.5φ (desde 4φ hasta 10φ) y el reporte del análisis de la muestra, que incluye una gráfica donde se representa con barras el contenido de partículas *vs* tamaño phi. Con el propósito de conocer la normalidad de las curvas, se calculó la moda a partir de los valores de la media y la mediana, por medio de la relación:

$$Moda = Media - 3(Media - Mediana)$$



Fotografía 5. La imagen de la izquierda muestra el Contador Láser de Partículas Spectrex, sin la tapa oscura que lo protege de la entrada de partículas de polvo y luz. La imagen de la derecha muestra el funcionamiento del aparato a través del programa LPC.

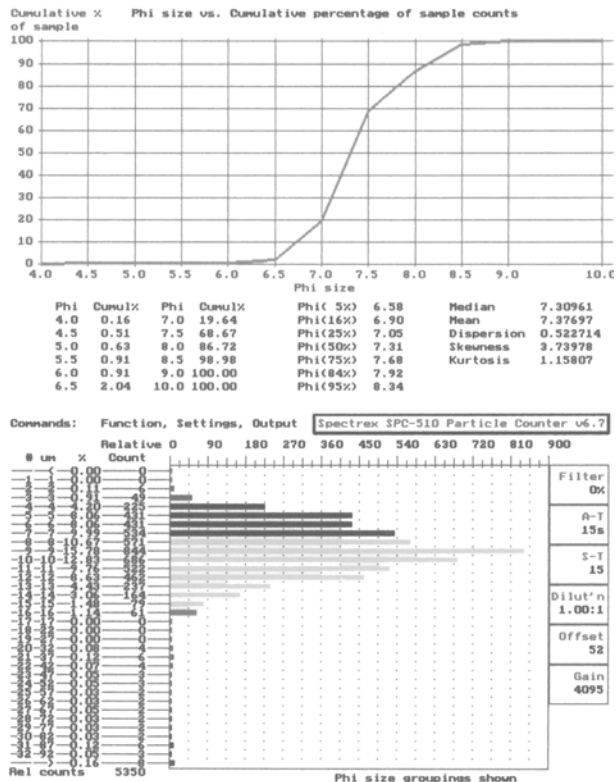


Figura 11. Ejemplo del reporte y las gráficas obtenidas por el contador láser.



El procedimiento seguido para éste estudio fue el siguiente:

1. Se tomaron 5 gramos de la fracción fina ya seca para hidratarlos de nuevo con 30 mililitros de agua bidestilada (doblemente des-ionizada), en vasos de precipitados de 80 mililitros. A ésta mezcla se le agregaron 5 mililitros aproximadamente de ácido clorhídrico diluido al 10%, y se hirvió para activar la destrucción de los carbonatos presentes en el sedimento, también se agregó un poco de hexametáfosfato de sodio como dispersor para evitar la atracción eléctrica y floculación de partículas. Se agitó y se dejó reposar un día
2. La mezcla se agitó de nuevo y se tomaron aproximadamente 0.2 mililitros para colocarlos dentro de una botella de vidrio de 250 mililitros, que se aforó a 200 ml con agua bidestilada y se agitó la botella unos 30 segundos para homogeneizar la mezcla. Se limpió la superficie de la botella para evitar que quedaran residuos o grasa en ésta, pues pueden provocar que el haz de luz del rayo láser se desvíe. Se dejó reposar la mezcla unos 15 segundos para permitir el ascenso de burbujas de aire.
3. Se colocó la botella dentro del contador, procurando cerrar la tapa superior que se adapta a la forma de la botella, con el propósito de evitar la entrada de luz.
4. Desde la computadora se precedió a inicializar el conteo. El programa *LPC* realiza dos conteos de manera automática, y proporciona el reporte antes mostrado.

III.2.3.3 Análisis granulométrico de la población total y determinación de los índices granulométricos.

Para el análisis de la población total, se tomaron los porcentajes de cada intervalo granulométrico obtenidos para la fracción gruesa (desde -2ϕ gravas muy finas hasta 4ϕ arenas muy finas) por medio del el paquete *Autosieb* con intervalos de 0.5ϕ ; y con los obtenidos para la fracción fina por medio del paquete *LPC* del contador láser (también a cada 0.5ϕ), desde 4ϕ hasta 10ϕ (limos muy gruesos a arcillas), y se procedió al cálculo de los principales parámetros estadísticos para cada una de las muestras por medio del Método Matemático de Momentos, y por el Método Gráfico de Folk y Ward.

En los análisis estadísticos efectuados la media, mediana y moda se definieron con la escala mostrada en la Figura 12, propuesta por el programa *Gradistat* (Blott, 2000).

Los valores de la desviación estándar, el sesgo y la kurtosis, se describieron de acuerdo a los intervalos indicados en la Tabla 3.



Tamaño de Grano		Término Descriptivo	
phi	mm		
-10	1024	Muy Grande	Canto
-9	512	Grande	
-8	256	Mediano	
-7	128	Pequeño	
-6	64	Muy pequeño	
-5	32	Muy Gruesa	Grava
-4	16	Gruesa	
-3	8	Media	
-2	4	Fina	
-1	2	Muy Fina	
0	1	Muy Gruesa	Arena
1	micras 500	Gruesa	
2	250	Media	
3	125	Fina	
4	63	Muy Fina	
5	31	Muy Grueso	Limo
6	16	Grueso	
7	8	Medio	
8	4	Fino	
9	2	Muy Fino	
		Arcilla	

Figura 12. Escala de tamaño adoptada en el programa GRADISTAT (Blott, 2000).

Tabla.3. Intervalos propuestos para el Método de Momentos para describir la desviación estándar (clasificación), el sesgo y la kurtosis.

Clasificación (σ_ϕ)	Sesgo (Sk_ϕ)	Kurtosis (K_ϕ)
Muy Bien Clasificado	<0.35	Muy sesgado hacia los finos >+1.30
Bien Clasificado	0.35 – 0.50	Muy platicúrtica <1.70
Moderadamente Bien Clasificado	0.50 – 0.70	Sesgado hacia los finos +0.43 - +1.30
Moderadamente Clasificado	0.70 – 1.00	Platicúrtica 1.70 – 2.55
Mal Clasificado	1.00 – 2.00	Simétrico -0.43 - +0.43
Extremadamente Mal Clasificado	>4.00	Sesgado hacia los gruesos -0.43 - -1.30
		Leptocúrtica 2.55 – 3.70
		Muy leptocúrtica 3.70 – 7.40
		Muy leptocúrtica >7.40

Con los valores obtenidos en los análisis, se elaboraron gráficas en series de tiempo para cuantificar e interpretar las variaciones porcentuales a lo largo de los perfiles.



III.2.3.3.a Método Matemático de Momentos.

El desarrollo de cálculos para obtener parámetros estadísticos basados en el método de momentos, fue modificado y publicado en varios trabajos matemáticos por Fisher, 1948 (*in* Griffiths, 1967). Éste método tiene tres ventajas: Primera, el procedimiento utiliza un pequeño conjunto de datos estadísticos que describen la distribución de la frecuencia; el método es consistente, eficiente y suficientemente seguro para la obtención de parámetros estadísticos. Segunda, Fisher modificó el cálculo para obtener parámetros estadísticos más seguros. Tercera, tiene la ventaja de utilizar la distribución de la frecuencia y ser independiente de la media.

En una distribución simétrica, la media está en el centro de la distribución, siendo el primer momento; cada momento sucesivo puede asignarse a significados físicos análogos (varianza, asimetría o sesgo y kurtosis).

Los momentos pueden definirse como:

$$m_k = 1/n \sum (X_i - M)^k$$

el primer momento m_1 es la media:

$$m_1 = 1/n \sum (X_i - M) = 0,$$

el momento $m_0 = (1/N)\sum(X_i - M)^0$ es el área de la curva.

En la práctica, es conveniente el cálculo de momentos alrededor de un origen arbitrario, usualmente es seleccionado el punto medio de la clase con mayor frecuencia (en las cercanías de la media). Esto es necesario para transformar los momentos n calculados alrededor de la media asumida, a los momentos m alrededor de la media real.

$$\begin{aligned} m_1 &= 0 \\ m_2 &= n_2 - n_1^2 \\ m_3 &= n_3 - 3n_2n_1 + 2n_1^3 \\ m_4 &= n_4 - 4n_3n_1 + 6n_2n_1^2 - 3n_1^4 \end{aligned}$$

Los datos agrupados en la tabla de frecuencia son la base para el cálculo de los momentos. Es necesaria la introducción de una constante de corrección para el intervalo de clase c , por lo que las fórmulas son:

$$\begin{aligned} m_1 &= M = M' + cn_1 \\ m_2 &= s^2 = c^2(n_2 - n_1^2) \\ m_3 &= c^3(n_3 - 3n_2n_1 + 2n_1^3) \\ m_4 &= c^4(n_4 - 4n_3n_1 + 6n_2n_1^2 - 3n_1^4) \end{aligned}$$

La media y la varianza son iguales al primer y segundo momentos respectivamente, pero es conveniente reducir al tercer y cuarto momentos para obtener la asimetría y la kurtosis. Para ello se tiene que

$$\begin{aligned} (\beta_1)^{1/2} &= m_3/m_2^{3/2} = m_3/\sigma^3 \\ (\beta_2)^{1/2} &= m_4/m_2^2 = m_4/\sigma^4 \end{aligned}$$

En una distribución normal $(\beta_1)^{1/2} = 0$ y $(\beta_2)^{1/2} = 3$, la asimetría Sk y la kurtosis K pueden ser expresadas:

$$\begin{aligned} Sk &= (\beta_1)^{1/2}/2 = m_3/2\sigma^3 \\ K &= \beta_2 - 3 = m_4/\sigma^4 \end{aligned}$$

A continuación se presenta en la Tabla 4 un ejemplo del cálculo de los parámetros estadísticos por éste método.



Tabla 4. Ejemplo del cálculo de parámetros estadísticos por medio del Método Matemático de Momentos, donde: $X\phi$ = punto medio de cada clase, f^a = frecuencia, M_ϕ = media aritmética, y $d = (X\phi - M_\phi) / c$.

MUESTRA N-14								
ϕ	$X\phi$	f (%)	d	fd	fd^2	fd^3	fd^4	$f(d-1)^4$
de -2.5 a -2	-2.25	2.54	-19	-48.26	916.94	-17421.86	331015.34	406400
de -2 a -1.5	-1.75	1.1	-18	-19.80	356.40	-6415.20	115473.60	143353.1
de -1.5 a -1	-1.25	1.69	-17	-28.73	488.41	-8302.97	141150.49	177409.44
de -1 a -0.5	-0.75	2.87	-16	-45.92	734.72	-11755.52	188088.32	239705.27
de -0.5 a 0	-0.25	4.46	-15	-66.90	1003.50	-15052.50	225787.50	292290.56
de 0 a 0.5	0.25	6.33	-14	-88.62	1240.68	-17369.52	243173.28	320456.25
de 0.5 a 1	0.75	6.49	-13	-84.37	1096.81	-14258.53	185360.89	249319.84
de 1 a 1.5	1.25	6.08	-12	-72.96	875.52	-10506.24	126074.88	173650.88
de 1.5 a 2	1.75	5.74	-11	-63.14	694.54	-7639.94	84039.34	119024.64
de 2 a 2.5	2.25	5.25	-10	-52.50	525.00	-5250.00	52500.00	76865.25
de 2.5 a 3	2.75	6.57	-9	-59.13	532.17	-4789.53	43105.77	65700
de 3 a 3.5	3.25	7.16	-8	-57.28	458.24	-3665.92	29327.36	46976.76
de 3.5 a 4	3.75	5.8	-7	-40.60	284.20	-1989.40	13925.80	23756.8
de 4 a 4.5	4.25	3.63	-6	-21.78	130.68	-784.08	4704.48	8715.63
de 4.5 a 5	4.75	1.4	-5	-7.00	35.00	-175.00	875.00	1814.4
de 5 a 5.5	5.25	2.45	-4	-9.80	39.20	-156.80	627.20	1531.25
de 5.5 a 6	5.75	1.82	-3	-5.46	16.38	-49.14	147.42	465.92
de 6 a 6.5	6.25	2.93	-2	-5.86	11.72	-23.44	46.88	237.33
de 6.5 a 7	6.75	7.61	-1	-7.61	7.61	-7.61	7.61	121.76
de 7 a 7.5	7.25	15.5	0	0.00	0.00	0.00	0.00	15.5
de 7.5 a 8	7.75	2.58	1	2.58	2.58	2.58	2.58	0
de 8 a 8.5	8.25	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0
de 8.5 a 9	8.75	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0
de 9 a 9.5	9.25	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0
de 9.5 a 10	9.75	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Σ		100		-783.14	9450.30	-125610.6	1785433.7	2347810.6

$$\Sigma f(d-1)^4 = \Sigma fd^4 - 4\Sigma fd^3 + 6\Sigma fd^2 - 4\Sigma fd + \Sigma f = 2347810.6$$

$$c = \text{intervalo de clase} = 0.5$$

$$M_\phi' = \text{media asumida} = 7.25$$

Momentos alrededor del origen arbitrario:

$$n_1 = -7.83$$

$$n_2 = 94.50$$

$$n_3 = -1256.11$$

$$n_4 = 17854.34$$

Momentos alrededor de la media verdadera para los datos agrupados:

$$m_1 = M_\phi' + cn_1 = 3.33$$

$$m_2 = c^2(n_2 - n_1^2) = 8.29$$

$$s = (m_2)^{1/2} = 2.88$$

$$m_3 = c^3(n_3 - 3n_2n_1 + 2n_1^3) = 0.44$$

$$(b_1)^{1/2} = m_3/s^3 = 0.09$$

$$Sk = (b_1)^{1/2}/2 = 0.05$$

$$m_4 = c^4(n_4 - 4n_3n_1 + 6n_2^2n_2 - 3n_1^4) = 124.83$$

$$b_2 = m_4/s^4 = 1.82$$

$$K = b_2 - 3 = -1.18$$

Sumario de datos estadísticos:

Media $M_\phi = 3.33$

Desviación estándar $s_\phi = 2.88$

Varianza $s^2 = 8.29$

Asimetría $Sk_\phi = 0.05$

Kurtosis $K_\phi = -1.18$

III.2.3.3.b Método Gráfico de Folk y Ward.

Los índices granulométricos del Método Gráfico de Folk y Ward (1957), éste método consiste en graficar el porcentaje acumulado en una escala de probabilidad. Una vez realizada la gráfica, se encuentran los valores en escala phi de los cuartiles a utilizar, por ejemplo: se encuentra el punto sobre la curva para el 16%, y se proyecta sobre el eje de las abscisas (valores phi), éste último valor es el cuartil 16 (ϕ_{16}); los demás valores se toman de manera semejante, y son los utilizados en las fórmulas propuestas por Folk y Ward. En la Figura 13 se ilustra una curva de porcentaje acumulado en escala de probabilidad, y las fórmulas propuestas por Folk y Ward se muestran en la Figura 14.

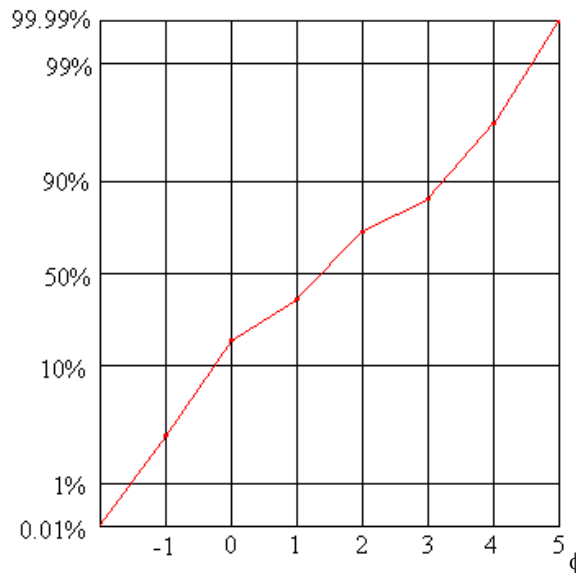


Figura 13. Curva de porcentaje acumulado en escala de probabilidad.

Media	Desviación Estándar	Sesgo	Kurtosis
$M_2 = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	$\sigma_s = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$	$SK_s = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$	$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

Figura 14. Fórmulas utilizadas por Folk y Ward para la obtención de los índices granulométricos.

Los índices granulométricos de éste método se tomaron del programa *Gradistat* (Blott y Pye, 2001), el cual está integrado a una hoja de cálculo de *Excel*. La desviación estándar, el sesgo y la kurtosis se describieron de acuerdo a los intervalos propuestos por Folk y Ward (*op. cit.*), que se muestran en Tabla 5.

Tabla 5. Intervalos propuestos por Folk y Ward para caracterizar la desviación estándar (clasificación), el sesgo y la kurtosis.

Clasificación (σ_s)	Sesgo (SK_s)		Kurtosis (K_G)		
Muy Bien Clasificado	<0.35	Muy sesgado hacia los finos	+0.3 a +1.0	Muy platicúrtica	<0.67
Bien Clasificado	0.35 – 0.50	Sesgado hacia los finos	+0.1 a +0.3	Platicúrtica	0.67 – 0.90
Moderadamente Bien Clasificado	0.50 – 0.70	Simétrica	+0.1 a –0.1	Mesocúrtica	0.90 – 1.11
Moderadamente Clasificado	0.70 – 1.00	Sesgado hacia los gruesos	-0.1 a –0.3	Leptocúrtica	1.11 – 1.50
Mal Clasificado	1.00 – 2.00	Muy sesgado hacia los gruesos	-0.3 a –1.0	Muy leptocúrtica	1.50 – 3.00
Muy Mal Clasificado	2.00 – 4.00			Extremadamente leptocúrtica	>3.00
Extremadamente Mal Clasificado	>4.00				

III.2.3.4 Significado sedimentológico de los índices granulométricos.

Medidas de tendencia central.

- 1) Media (M_ϕ): Indica la tendencia central del tamaño medio del total del sedimento. En términos de la energía disponible, indica el promedio de la energía cinética (velocidad) del agente de depósito. Sin embargo, el tamaño promedio de un sedimento depende también de la distribución de tamaño de la fuente de material disponible (Sahu, 1964).
- 2) Mediana (Md_ϕ): La mediana es el valor central de las diferentes clases granulométricas cuando se jerarquizan según su magnitud. La mediana se refiere también a la observación central o a la distancia desde los extremos y no a los valores numéricos. Dado que la mediana es un valor posicional, en algunos casos su utilización es muy útil, pues proporciona la medida de la tendencia central de la curva de frecuencia; sin embargo, su desventaja radica en que los valores extremos de la curva no son considerados en su determinación ni es de utilidad para poblaciones con sedimentos bimodales y/o polimodales.
- 3) Moda (Mo_ϕ): La moda es el diámetro de partículas que se presenta con mayor frecuencia si la variable es discreta, o el intervalo de clase (punto medio de clase) que posee la mayor frecuencia si la distribución es continua. De esta manera, la moda es el valor máximo en una distribución de frecuencia. En un histograma de clases de tamaño de grano, el porcentaje mayor de granos es la clase modal. En las curvas de distribución de frecuencia, el punto más alto de la curva es el valor modal. Es muy importante en el estudio del transporte y génesis del sedimento, especialmente cuando dos o más fuentes han contribuido. El diámetro modal es más constante en un área que en otra, las otras medidas de tendencia central tienden a variar más. Su uso nos es muy común porque su determinación es difícil. Además es independiente del tamaño de grano del resto del sedimento, por lo tanto no es una buena medida del promedio total de tamaño.

Medidas de dispersión.

- 4) Desviación estándar (σ_ϕ): Se conoce también como Coeficiente de Dispersión. Mide la clasificación de un sedimento, e indica las condiciones de fluctuaciones en la energía cinética (velocidad) del agente de transporte sobre su velocidad promedio. Cuando un sedimento es producido por dos diferentes agentes de transporte, la desviación estándar indica la diferencia en la energía cinética (velocidad) asociada con los modos de transporte. La clasificación está en relación inversa con los valores de la desviación estándar. Sin embargo, cuando cantidades suficientes de materiales de diferentes tamaños no están disponibles dentro del agente de transporte, todas las fluctuaciones en la velocidad no pueden ser registradas geológicamente. Así, la distribución de tamaño de una fuente de material también controla hasta cierto punto la clasificación de los sedimentos (Sahu, *op. cit.*).
- 5) Sesgo o Asimetría (Sk_ϕ): Es un índice estadístico que caracteriza la asimetría o sesgamiento de una distribución. En una distribución normal, la media, mediana y moda coinciden; en distribuciones asimétricas o sesgadas, la mediana y la media están movidas con respecto a la moda hacia los tamaños gruesos o finos. Un sesgo negativo indica que los granos gruesos están menos clasificados que los granos finos; esto produce una cola suavemente inclinada hacia los tamaños gruesos. Un sesgo positivo, indica que los granos finos están más pobremente clasificados que los granos gruesos, produciendo una cola suavemente

inclinada hacia los tamaños finos. La simetría tiene un significado genético, debido a que los agentes de transporte difieren en competencia, y el depósito de material grueso *vs* fino (Prothero y Schwab, 1997).

- 6) Kurtosis (K_ϕ): Esta considerada convencionalmente como una medida de la angulosidad de la curva de frecuencia. Sin embargo, la kurtosis no debe ser interpretada como una descripción de la forma (lisa o aguda) de la curva de frecuencia. La definición de K indica que es una relación de la clasificación dentro del 90% central de la distribución de la clasificación del 50% central. Para una distribución normal la kurtosis vale 1, un valor mayor indica que las fluctuaciones de velocidad quedaron restringidas dentro del 50% central de la velocidad promedio durante un largo periodo de tiempo (Sahu, *op. cit.*).

En todos los casos se calculó el valor normalizado de la kurtosis (K'), de acuerdo a la fórmula propuesta por Mason y Folk (1958):

$$K' = K / (K + 1)$$

De ésta manera: si $K' < 0.5$ la curva es platicúrtica, si $K' = 0.5$ es mesocúrtica, y si $K' > 0.5$ es leptocúrtica.

La Figura 15 muestra la representación gráfica y la relación entre la media, mediana y moda con el sesgo.

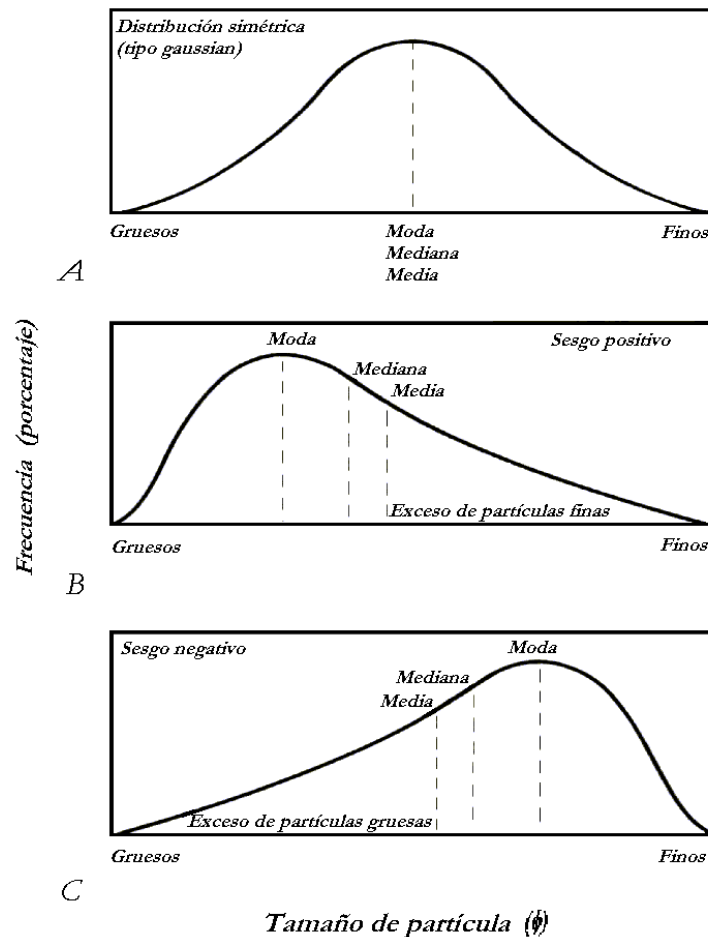


Figura 15. Representación gráfica y relación entre la media, mediana y moda con el sesgo.

III.2.3.5 Modos de transporte según Visser.

Visser (1969) realizó estudios sedimentológicos a partir de los cuales observó que al realizar las gráficas del porcentaje acumulado en una escala de probabilidad, las curvas podían definirse por tres o cuatro segmentos rectos, y que cada segmento quedaba dentro de un rango bien definido de valores de diámetro de las partículas; al punto de unión de dos segmentos lo denominó como “punto de inflexión” (donde la curva presenta un quiebre más pronunciado). Visser asoció cada segmento de recta a tres distintos modos de transporte: suspensión, saltación y tracción o arrastre. La Figura 16 muestra una curva de distribución de tamaño con los modos de transporte asociados a los puntos de inflexión que definen cada segmento de recta de la curva.

De la figura 16 se tiene que: C es la población transportada por tracción o arrastre, con partículas de tamaño menor a 2ϕ (mayor a $250 \mu m$); A y A' son poblaciones transportadas por saltación: A' representa la saltación por inercia y A representa la saltación viscosa, con partículas dentro del intervalo de 2ϕ a 3.32ϕ ; y B es la población transportada en suspensión, con partículas mayores a 3.32ϕ .

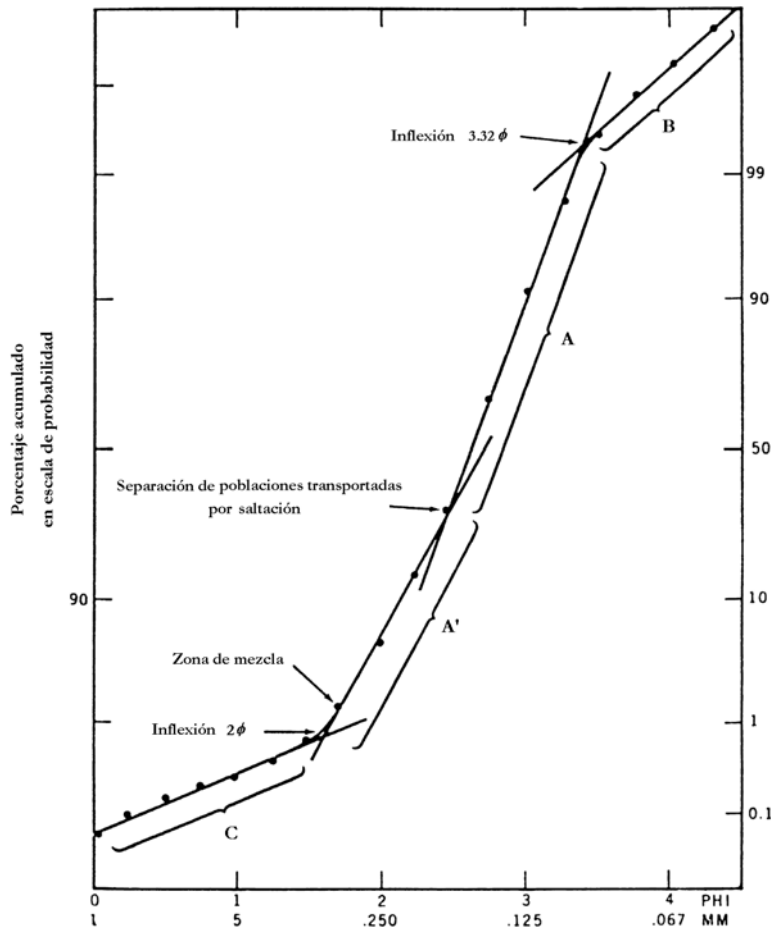


Fig. 16. Modos de transporte de acuerdo a los puntos de inflexión y los segmentos de recta que definen a la curva (modificado de Visser, 1969).



III.2.4 Determinación del contenido de materia orgánica y carbonatos totales.

La determinación de la materia orgánica y del carbonato de calcio se realizó por el método de calcinación propuesto por Walter E. Dean (1974), el procedimiento fue el siguiente:

1. Se tomaron 5 gramos de la muestra seca y se colocaron en un crisol, tomando el peso del crisol solo (M_1), y del crisol con los 5 gramos de muestra (M_2). Estos pesos son la base para todos los cálculos de pérdida de peso.
2. El crisol con la muestra se colocó dentro de un horno para que se calentara a 500°C por una hora. Se dejó enfriar por 24 horas, y se pesó de nuevo (peso M_3). El porcentaje de materia orgánica calcinada se calcula con la fórmula:

$$\% \text{ Mat. Org.} = 100[(M_2 - M_1) - (M_3 - M_1)] / (M_2 - M_1)$$

3. El crisol se colocó de nuevo dentro del horno para que esta vez se calentara hasta los 1000°C por una hora. También se dejó enfriar por 24 horas y se pesó para obtener M_4 . El porcentaje de carbonato de calcio se obtiene por la pérdida del CO_2 contenido en los minerales carbonatados, a través de la fórmula:

$$\% \text{ CaCO}_3 = [(M_3 - M_1) - (M_4 - M_1)] / (M_3 - M_1)$$

4. Se obtuvo además el porcentaje de materia mineral, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Mat. Min.} = 100 - (\% \text{ Mat. Org.} + \% \text{ CaCO}_3)$$

Con los valores determinados para éstos contenidos, también se elaboraron gráficas en series de tiempo para cuantificar e interpretar las variaciones porcentuales a lo largo de los perfiles.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

IV.1 RESULTADOS.

Para la interpretación de los ambientes de sedimentación de ambos perfiles, se tomaron en cuenta:

1. La descripción megascópica, textura y estructura de las muestras.
2. El porcentaje de la fracción gruesa y de la fracción fina obtenidos a través del tamizado por vía húmeda.
3. La distribución granulométrica de la población total.
4. El análisis granulométrico y estadístico de la fracción gruesa y fina.
5. El análisis granulométrico y estadístico de la población total, éste último por medio de los métodos: matemático de momentos, y gráfico de Folk y Ward.
6. El análisis de los porcentajes de: materia orgánica, materia inorgánica y carbonatos.

IV.1.1 PERFIL “EL LLANO”.

El perfil se localiza en las coordenadas $24^{\circ}48'13''$ de latitud Norte y $104^{\circ}52'56''$ de longitud Oeste como se muestra en la Figura 17, se encuentra a una altura aproximada de 1957 msnm y tiene una profundidad total de 6 metros, de donde se tomaron 24 muestras: las primeras veinte a intervalos de cada 20 cm (de la muestra Ll-1 con 20 cm, hasta la muestra Ll-20 con 400 cm de profundidad), y las cuatro muestras restantes a cada 50 cm (Ll-450 a Ll-600).

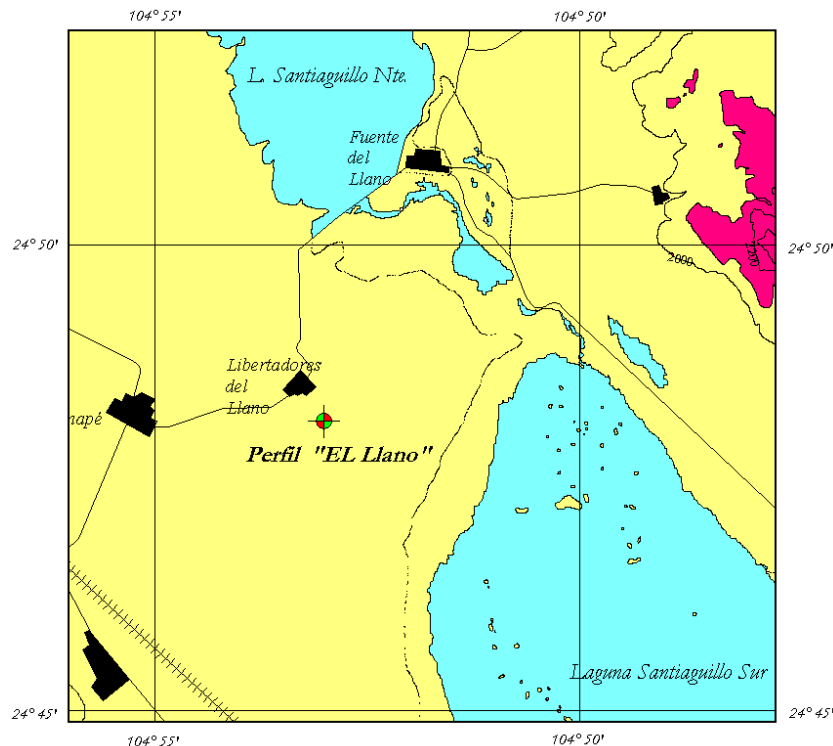


Figura 17. Ubicación del Perfil “El Llano”: $24^{\circ}48'13''$ N, $104^{\circ}52'56''$ O.

IV.1.1 Descripción megascópica, textura y estructura de las muestras.

Estos estudios se realizaron durante la preparación de las muestras para la separación de la fracción gruesa de la fina. Todas las muestras presentaron una textura areno-arcillo-limosa, una



estructura granular, y la reacción al ácido clorhídrico varió de nula a fuerte. Los resultados y características de cada muestra se presentan en la Tabla 6.

IV.1.1.2 Porcentaje de la fracción gruesa y de la fracción fina obtenidos a través del tamizado por vía húmeda.

Los porcentajes de cada fracción obtenidos después del tamizado por vía húmeda se muestran en la Tabla 6, donde se observa que la fracción gruesa varía entre 15.53 g (31.82%) y 39.44 g (78.53%), la fracción fina varía entre 10.78 g (21.47%) y 33.27 g (68.18%).

Tabla 6. Descripción Megascópica de las muestras (A-a-l = areno-arcillo-limosa), pesos y porcentajes de la Fracción Gruesa y de la Fracción Fina, perfil “El Llano”, Laguna de Santiaguillo, Durango.

Unidad	Muestra	Prof. (cm)	Características megascópicas			Peso (g)			Porcentaje (%)		
			Textura	Estructura	Reacción al HCl	F. Gruesa	F. Fina	Total	F. Gruesa	F. Fina	Total
U I	Ll-1	20	A-a-l	Granular	Moderada	16,89	33,78	50,67	33,33	66,67	100
	Ll-2	40	A-a-l	Granular	Fuerte	15,53	33,27	48,8	31,82	68,18	100
	Ll-3	60	A-a-l	Granular	Fuerte	26,98	23,63	50,61	53,31	46,69	100
	Ll-4	80	A-a-l	Granular	Fuerte	25,58	24,33	49,91	51,25	48,75	100
	Ll-5	100	A-a-l	Granular	Fuerte	25,5	23,95	49,45	51,57	48,43	100
	Ll-6	120	A-a-l	Granular	Fuerte	24,36	26,09	50,45	48,29	51,71	100
	Ll-7	140	A-a-l	Granular	Fuerte	24,26	25,28	49,54	48,97	51,03	100
	Ll-8	160	A-a-l	Granular	Fuerte	26,82	23,01	49,83	53,82	46,18	100
	Ll-9	180	A-a-l	Granular	Fuerte	25,2	24,51	49,71	50,69	49,31	100
	Ll-10	200	A-a-l	Granular	Fuerte	23,36	27,29	50,65	46,12	53,88	100
	Ll-11	220	A-a-l	Granular	Media	26,65	23,79	50,44	52,84	47,16	100
U II	Ll-12	240	A-a-l	Granular	Moderada	33,86	16,2	50,06	67,64	32,36	100
	Ll-13	260	A-a-l	Granular	Media	38,92	11,4	50,32	77,34	22,66	100
	Ll-14	280	A-a-l	Granular	Nula	38,82	11,48	50,3	77,18	22,82	100
	Ll-15	300	A-a-l	Granular	Media	38,03	12,52	50,55	75,23	24,77	100
	Ll-16	320	A-a-l	Granular	Fuerte	35,89	13,68	49,57	72,40	27,60	100
	Ll-17	340	A-a-l	Granular	Media	37,91	12,33	50,24	75,46	24,54	100
	Ll-18	360	A-a-l	Granular	Moderada	32,81	16,65	49,46	66,34	33,66	100
U III	Ll-19	380	A-a-l	Granular	Moderada	21,21	27,51	48,72	43,53	56,47	100
	Ll-20	400	A-a-l	Granular	Moderada	27,3	22,69	49,99	54,61	45,39	100
U IV	Ll-450	450	A-a-l	Granular	Fuerte	31,15	19,31	50,46	61,73	38,27	100
	Ll-500	500	A-a-l	Granular	Nula	37,74	12,86	50,6	74,58	25,42	100
	Ll-550	550	A-a-l	Granular	Moderada	39,44	10,78	50,22	78,53	21,47	100
	Ll-600	600	A-a-l	Granular	Moderada	34,95	14,7	49,65	70,39	29,61	100

IV.1.1.3 Distribución Granulométrica de la Población Total.

Se definieron cuatro unidades sedimentarias para éste perfil, de acuerdo a los porcentajes de la fracción gruesa (grava y arena) y de la fracción fina (limo y arcilla); las unidades se numeran de la cima a la base del perfil como U-I a U-IV. Los porcentajes obtenidos para cada muestra de éste perfil, así como las clases granulométricas determinadas se muestran en la Tabla 7. En la Figura 18 se muestran las clases granulométricas (gravas, arenas y limos) y la representación del perfil.



Tabla 7. Porcentajes y clases granulométricas del perfil “El Llano”

Unidad		I											II
Tamaño (ϕ)	Muestra	Ll-1	Ll-2	Ll-3	Ll-4	Ll-5	Ll-6	Ll-7	Ll-8	Ll-9	Ll-10	Ll-11	Ll-12
Gravas	-2	1.22	3.09	3.56	9.02	6.27	0.56	1.86	1.91	2.96	0.57	0.34	3.98
	-1.5	0.14	1.6	2.77	1.78	2.12	1.09	1.11	1.44	0.95	0.26	0.93	1.18
	-1	0.59	1.07	2.15	1.68	1.84	1.49	1.41	1.71	1.91	0.36	1.11	1.54
Total		0	0	0	12.48	10.23	0	0	0	0	0	0	0
Arenas	-0.5	3	7.38	11.31	1.54	2.31	5.02	6.8	7.35	7.89	37.38	3.91	9.08
	0	1.38	1.5	2.88	1.4	2.08	2.34	2.52	2.65	2.55	1.07	1.65	3.26
	0.5	1.91	1.54	2.96	1.88	2.39	2.58	3.05	3.41	2.94	1.76	2.62	5.27
	1	2.53	1.82	3.52	2.46	2.61	2.87	3.49	3.93	3.58	2.72	4.34	9.05
	1.5	2.92	2.13	4.05	3.45	3.18	3.51	3.77	4.47	4.22	3.85	7.79	12.41
	2	3.55	2.52	5.37	5.23	4.29	4.58	4.68	5.5	5.15	4.84	6.82	10.81
	2.5	3.69	2.79	5.95	6.79	5.44	5.99	5.43	6.12	5.41	5.63	4.04	4.89
	3	4.93	4.06	6.9	6.93	7	7.87	6.86	7.49	6.52	7.76	5.81	4.25
	3.5	5.47	4.63	6.36	5.71	7.28	8.15	7.25	7.38	6.8	9.1	8.01	4.73
4	3.95	3.46	4.01	3.37	4.77	5.39	5.11	5.52	5.63	7.66	7.85	3.9	
Total		33.33	31.83	53.31	38.76	41.35	48.3	48.96	53.82	50.69	81.77	52.84	67.65
Limos	4.5	0.56	0.6	0.73	0.14	0.41	0.47	0.39	0.6	0.27	0.2	0.43	0.19
	5	0.32	0.19	0.24	0.16	0.16	0.22	0.14	0.23	0.09	0.11	0.31	0.07
	5.5	0	0	0.6	0	0.07	0.2	0.06	0.39	0.08	0.13	0	0.14
	6	0	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0.12	0	0
	6.5	0.85	2.78	1.35	0.54	0.2	0.42	0.25	0.49	0.32	0.23	0.88	0.13
	7	23.68	29.73	11.22	15.98	2.28	10.28	3.79	10.37	2.04	1.5	13.82	2.02
	7.5	24.05	16.91	8.3	19.42	20.95	28.59	28.11	12.64	19.69	10.44	18.39	15.23
	8	13.37	14.19	4.98	9.59	17.31	9.31	11.82	6.44	18.03	15.65	8.29	10.3
	8.5	3.78	3.48	11.27	2.5	6.48	1.99	6.22	14.65	8.43	24.34	4.74	4.09
9	0.06	0.32	7.84	0.49	0.56	0.24	0.25	0.37	0.38	1.16	0.31	0.17	
Total		66.67	68.2	46.68	48.82	48.42	51.72	51.03	46.18	49.33	53.88	47.17	32.34
Arcillas	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Los porcentajes menores al 10% en la clase de gravas se sumaron a la clase de arenas.



Tabla 7. (continuación) Porcentajes y clases granulométricas del perfil “El Llano”

Unidad		II						III		IV			
Tamaño (ϕ)	Muestra	Ll-13	Ll-14	Ll-15	Ll-16	Ll-17	Ll-18	Ll-19	Ll-20	Ll-450 cm.	Ll-500 cm.	Ll-550 cm.	Ll-600 cm.
Gravas	-2	6.4	2.35	11.33	9.5	4.58	15	6.1	8.68	4.22	0.12	9.42	3.99
	-1.5	3.16	3.48	6.25	7.91	4.08	5.74	3.47	1.48	1.74	0.02	0.86	1.93
	-1	5.13	4.65	7.68	8.21	4.42	4.1	2.63	1.56	1.86	0.08	0.32	2.52
Total		14.69	10.48	25.26	25.62	13.08	24.84	12.2	11.72	0	0	10.6	0
Arenas	-0.5	7.01	7.16	8.57	7.44	4.1	4	1.95	1.92	10.65	0.36	0.54	11.7
	0	7.29	8.43	8.13	6.07	4.86	2.97	1.87	2.54	2.97	0.26	0.58	4.41
	0.5	8.37	9.74	7.6	5.85	6.59	3.21	2.13	2.82	3.82	0.32	1.23	6.4
	1	10.05	10.24	7	5.73	9.28	3.58	2.42	3.3	5.55	0.69	4.72	9.18
	1.5	9.54	9.56	5.12	5.55	11.49	3.52	2.67	3.18	7.47	3.68	17.16	11.02
	2	8.35	8.05	4.19	6.74	12.44	5.12	3.45	4.84	8.34	23.46	22.12	11.08
	2.5	5.56	5.57	3.74	4.68	7.13	5.8	4.1	5.98	7.29	29.35	11.57	7.45
	3	3.4	3.96	2.95	2.52	3.52	5.96	5.34	8.06	7.05	11.36	5.54	4.63
	3.5	1.83	2.39	1.52	1.31	1.79	4.41	4.54	6.86	5.19	3.38	2.71	2.66
4	1.25	1.61	1.15	0.89	1.19	2.91	2.87	3.38	3.37	1.74	1.77	1.85	
Total		62.65	66.71	49.97	46.78	62.39	41.48	31.34	42.88	61.7	74.6	67.94	70.38
Limos	4.5	0.17	0.35	0.23	0.04	0.12	0.2	0.36	0.46	0.15	0.09	0.13	0.32
	5	0.05	0.17	0.12	0.03	0.14	0.16	0.27	0.15	0.04	0.04	0.05	0.09
	5.5	0.12	0.15	0.14	0.04	0.13	0.03	0.03	0.25	0.05	0.05	0.1	0.18
	6	0.01	0	0	0.04	0.16	0	0	0	0	0	0.07	0.11
	6.5	0.04	0.57	0.34	0.04	0.42	0.45	1.03	0.39	0.17	0.04	0.05	0.3
	7	0.62	5.92	2.81	0.73	0.28	7.75	17.37	5.79	1.31	0.71	0.52	7.67
	7.5	7.19	5.13	12.38	6.15	2.67	16.86	21.34	22.68	17.22	6.52	2.94	9.87
	8	9.39	3.28	5.46	10.81	5.33	5.59	10.47	7.84	13.41	11.85	6.69	5.37
	8.5	5	6.64	3.25	8.46	14.03	2.23	5.43	7.31	5.71	5.92	10.51	4.56
9	0.07	0.62	0.03	1.26	1.26	0.38	0.16	0.52	0.21	0.19	0.41	1.14	
Total		22.66	22.83	24.76	27.6	24.54	33.65	56.46	45.39	38.27	25.41	21.47	29.61
Arcillas	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Los porcentajes menores al 10% en la clase de gravas se sumaron a la clase de arenas.

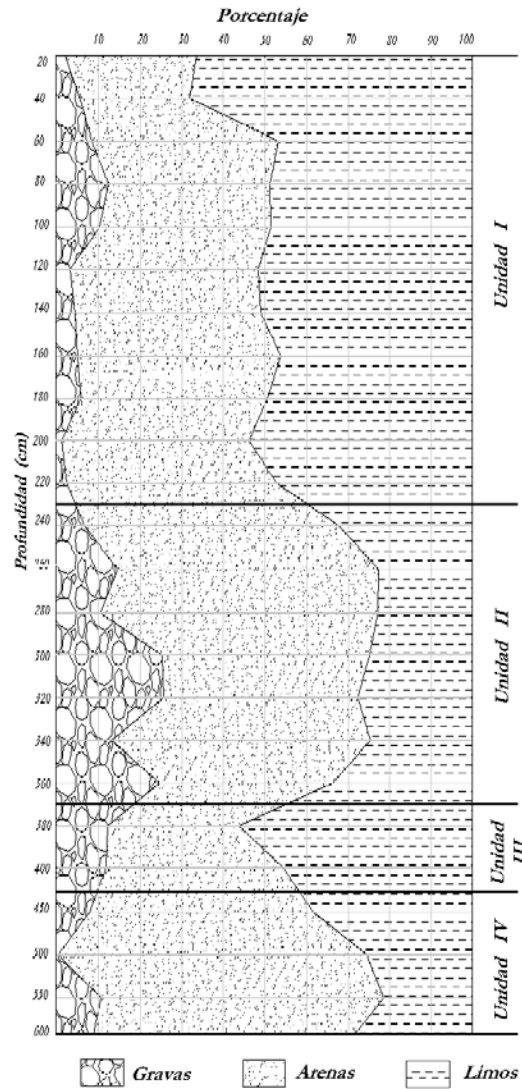


Figura 18. Clases granulométricas y representación del perfil “El Llano”.

De manera general a lo largo de todo el perfil, se tiene que la clase predominante es la de arenas (-1ϕ a 4ϕ), con variaciones entre 26.07% y 74.38%; la clase que sigue es la de limos (4ϕ a 9ϕ), con variaciones entre 21.47% y 68.2%. La clase de gravas (-6ϕ a -1ϕ) presenta porcentajes muy variables, entre 0.22% y 25.62%, por lo que no se toma en cuenta para muestras que presentan un porcentaje menor al 10%; y las arcillas ($>9\phi$) no están presentes. Las unidades tienen las siguientes características:

Unidad I (de Ll-1 a Ll-11, 20 cm a 220 cm) de la base a la cima presenta las siguientes características: el porcentaje en las arenas tiende a disminuir de 60.95% a 31.38%; mientras que los limos tienden a aumentar de 32.34% a 66.67%; el porcentaje de gravas mayor al 10% solo se presenta en las muestras Ll-5 y Ll-4 (10.23% y 12.48% respectivamente).

Unidad II (de Ll-12 a Ll-18, 240 cm y 360 cm), de la base a la cima se tiene: decremento en las gravas de 24.84% a 14.69%, con un mínimo de 10.48% en Ll-14; el porcentaje en las arenas tiende a aumentar de 41.48% a 60.95%, con un máximo de 66.71% en Ll-14; mientras que el



porcentaje de limos tiende a disminuir de 33.65% a 32.34% (con un mínimo de 22.66% en Ll-13).

Unidad III (de Ll-19 a Ll-20, 380 cm y 400 cm), de la base a la cima: el porcentaje de gravas aumenta de 11.72% a 12.20%; el porcentaje de arenas decrece de 42.88% a 31.34%; mientras que el porcentaje de limos aumenta de 45.39% a 56.46%.

Unidad IV (de Ll-450 a Ll-600, 450 cm y 600 cm), de la base a la cima: el porcentaje de arenas tiende a decrecer de 61.94% a 53.88%, con un máximo de 74.38% en Ll-500; el porcentaje de limos tiende a aumentar de 29.61% a 38.27%, con un mínimo de 21.47% en Ll-550; el porcentaje de gravas sólo se toma en cuenta para la muestra Ll-550 que tiene un 10.06%.

IV.1.1.4 Análisis Granulométrico de la Fracción Gruesa.

La Tabla 8 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustran en las Figuras 19 y 20.

Tabla 8. Valores de los Índices Granulométricos obtenidos para la Fracción Gruesa y valores calculados de K'. Perfil "El Llano".

UNIDAD	MUESTRA	MEDIA	MODA	MEDIANA	D. E.	SESGO	K	K'
U I	Ll-1	2.37	3.21	2.24	1.04	2.84	9.64	0.91
	Ll-2	2.57	3.21	1.92	0.27	2.39	4.97	0.83
	Ll-3	2.13	3.23	1.73	0.23	2.20	4.10	0.80
	Ll-4	3.22	2.20	1.77	0.45	2.99	8.22	0.89
	Ll-5	2.81	3.21	1.96	0.35	2.57	5.96	0.86
	Ll-6	2.09	3.21	2.32	0.56	2.64	7.27	0.88
	Ll-7	2.18	3.21	2.09	0.56	2.55	6.82	0.87
	Ll-8	2.12	3.21	2.03	0.51	2.56	6.69	0.87
	Ll-9	2.35	3.21	2.00	0.59	2.56	6.72	0.87
	Ll-10	2.58	3.21	2.68	1.32	4.26	24.23	0.96
	Ll-11	2.19	3.18	2.14	0.76	3.15	11.37	0.92
U II	Ll-12	1.96	1.19	1.32	0.76	2.92	9.81	0.91
	Ll-13	1.48	0.78	0.57	0.32	1.81	2.72	0.73
	Ll-14	1.02	0.80	0.64	0.30	1.67	2.40	0.71
	Ll-15	1.76	-0.18	-0.24	0.09	1.51	1.14	0.53
	Ll-16	1.57	-1.19	-0.23	0.03	1.33	0.45	0.31
	Ll-17	1.47	1.81	1.00	0.24	2.01	3.24	0.76
	Ll-18	3.06	2.20	0.26	0.02	1.98	2.37	0.70
U III	Ll-19	2.58	2.77	1.30	0.04	1.97	2.52	0.72
	Ll-20	3.07	2.77	1.74	0.54	2.94	8.46	0.89
U IV	Ll-450	2.12	1.79	1.55	0.52	2.64	7.03	0.88
	Ll-500	2.19	2.05	2.14	2.72	7.87	107.28	0.99
	Ll-550	2.72	1.81	1.61	1.34	6.05	42.05	0.98
	Ll-600	1.68	1.19	1.17	0.54	2.48	6.31	0.86

Para cada unidad tenemos:

Unidad I: Media entre 2.12ϕ y 3.22ϕ , arena muy fina a arena fina, unidad de arena fina donde sólo Ll-4 es de arena muy fina. Moda entre 2.20ϕ y 3.23ϕ , arena muy fina donde sólo Ll-4 es de arena fina. Mediana entre 1.73ϕ y 2.68ϕ , se observa cierta gradación inversa de arena fina a arena media. Desviación estándar de 0.23ϕ (muy bien clasificadas) a 1.32ϕ (mal clasificadas). Sesgo entre 2.20 y 4.26, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 4.10 y 24.23 (leptocúrticas a muy leptocúrticas); K' entre 0.80 y 0.96, leptocúrticas.

Unidad II: Media entre 1.02ϕ y 3.06ϕ , arena media a arena muy fina, unidad de arena media, donde sólo Ll-18 en la base es de arena muy fina. Moda entre -1.19ϕ y 2.20ϕ , grava muy fina a arena fina, gradación inversa de la base hacia la parte media de la unidad de arena fina a grava muy fina, y de la parte media hacia la cima gradación normal de grava muy fina a arena media. Mediana entre -0.24ϕ y 1.32ϕ , arena muy gruesa a arena media, gradación inversa de la base a la parte media de arena gruesa a arena muy gruesa, y gradación normal de la parte media hacia la cima de arena muy gruesa a arena media. Desviación estándar entre 0.02ϕ (muy bien clasificadas) y 0.76ϕ (moderadamente clasificadas). Sesgo entre 1.33 y 2.01, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.45 y 9.81 (platicúrticas a muy leptocúrtica); K' entre 0.31 y 0.91, una platicúrtica (Ll-16) entre leptocúrticas.

Unidad III: Media entre 3.07ϕ y 2.58ϕ , gradación inversa de arena muy fina a arena fina. Moda 2.77ϕ , arena fina. Mediana entre 1.74ϕ y 1.30ϕ , arena media. Desviación estándar entre 0.04ϕ (muy bien clasificada) y 0.54ϕ (moderadamente bien clasificada). Sesgo entre 1.97 y 2.94, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 2.52 y 8.46, platicúrtica en la cima a muy leptocúrtica en la base; K' entre 0.72 y 0.89, leptocúrticas.

Unidad IV: Media entre 1.68ϕ y 2.72ϕ , gradación normal de arena media a arena fina. Moda entre 1.19ϕ y 2.05ϕ , arena media en general. Mediana entre 1.17ϕ y 2.14ϕ , arena media en general. Desviación estándar entre 0.52 y 2.72, moderadamente bien clasificadas a muy mal clasificadas. Sesgo entre 2.48 y 7.87, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 6.31 y 107.28, leptocúrtica a muy platicúrtica; K' entre 0.86 y 0.99; muestras leptocúrticas.

Interpretación sedimentológica de los parámetros estadísticos.

Media, Mediana y Moda varían entre grava muy fina y arena muy fina (de -1.19ϕ a 3.23ϕ); las variaciones indican cambios importantes en la velocidad del agente o agentes de transporte. De acuerdo con los trabajos realizados por Visher (1969), vemos que los valores de la media nos indican que: se tuvo saltación en la Unidad I; en la Unidad II se tuvo saltación en la base y tracción hacia la cima; y en la Unidad III y la Unidad IV se presentó saltación. Desviación estándar entre 0.02ϕ y 2.72ϕ (muy bien clasificadas a muy mal clasificadas); los valores son muy variables, las muestras que presentan una mala clasificación son: Ll-1 y Ll-10 de la Unidad I, y Ll-500 y Ll-550 de la Unidad IV; los valores positivos menores a 0.5ϕ indican un origen eólico, (según trabajos de Mason y Folk, 1958, y Friedman, 1962), las muestras que presentan estas características son: Ll-2 a Ll-5 de la Unidad I, Ll-13 a Ll-18 de la Unidad II, y Ll-19 de la Unidad III; . Sesgo entre 1.33 y 7.87 (muy sesgadas hacia los finos, sesgos positivos); el amplio rango de valores de sesgo indica fluctuaciones importantes en la velocidad del agente de transporte por un tiempo relativamente largo, y con velocidades muy por arriba de lo normal (Sahu, 1964). Kurtosis entre 0.45 y 107.28, curvas muy platicúrticas a muy leptocúrticas. K' entre 0.31 y 0.99, los valores indican que todas las muestras en general son leptocúrticas, a excepción de la muestra Ll-16 de la Unidad II que es platicúrtica; estas características de acuerdo con los trabajos realizados por Mason y Folk (*op. cit.*), pueden confirmarnos que en el caso de las

muestras leptocúrticas, el depósito fue de tipo eólico, mientras que para la muestra L116, el ambiente pudo ser de playa o duna. Por lo tanto, el análisis granulométrico para la fracción gruesa, indica claramente que el agente de transporte fue eólico.

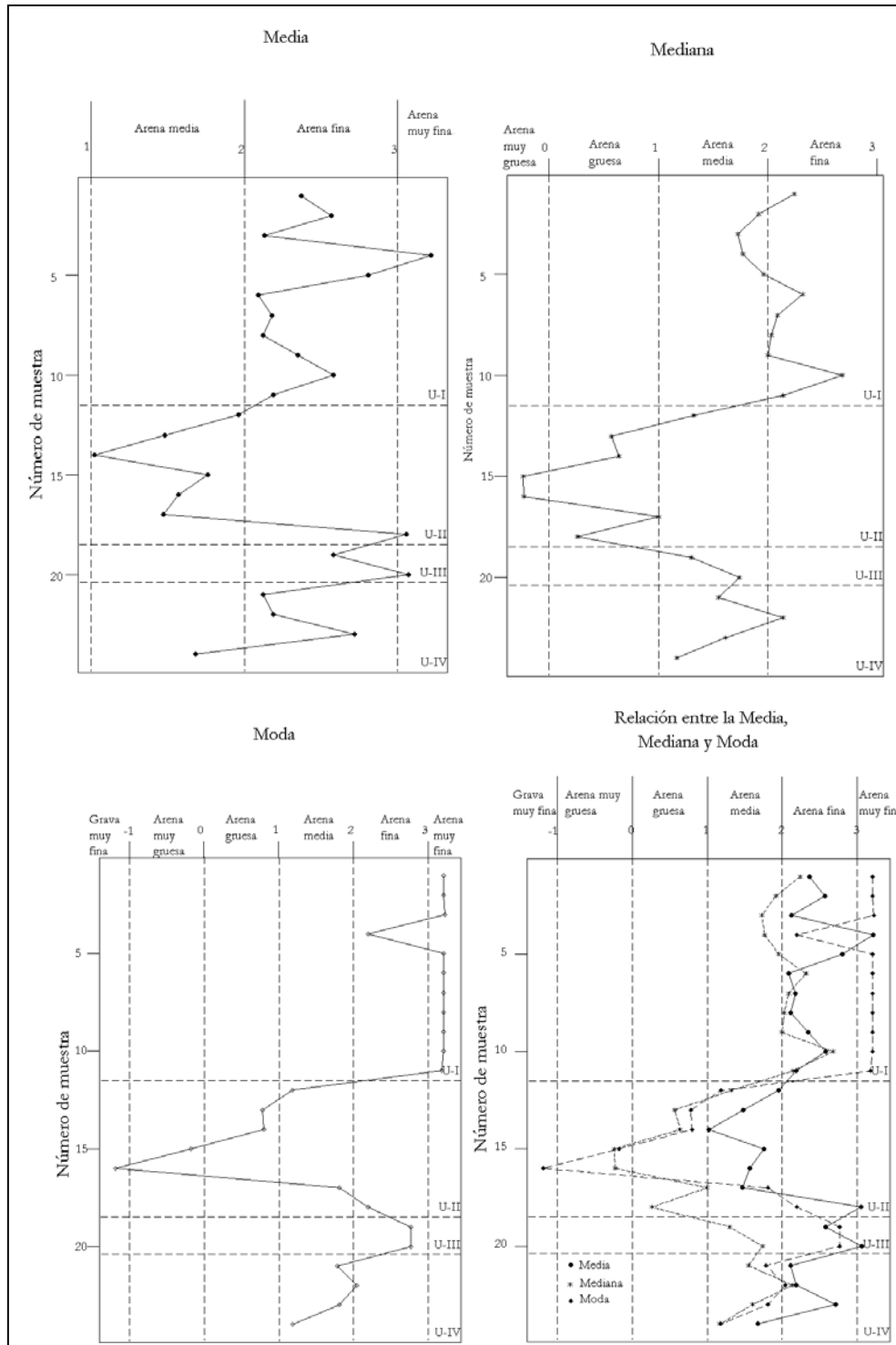


Figura 19. Variación de la Media, Mediana y Moda y relación entre Media-Mediana y Moda, para la Fracción Gruesa, perfil "El Llano".

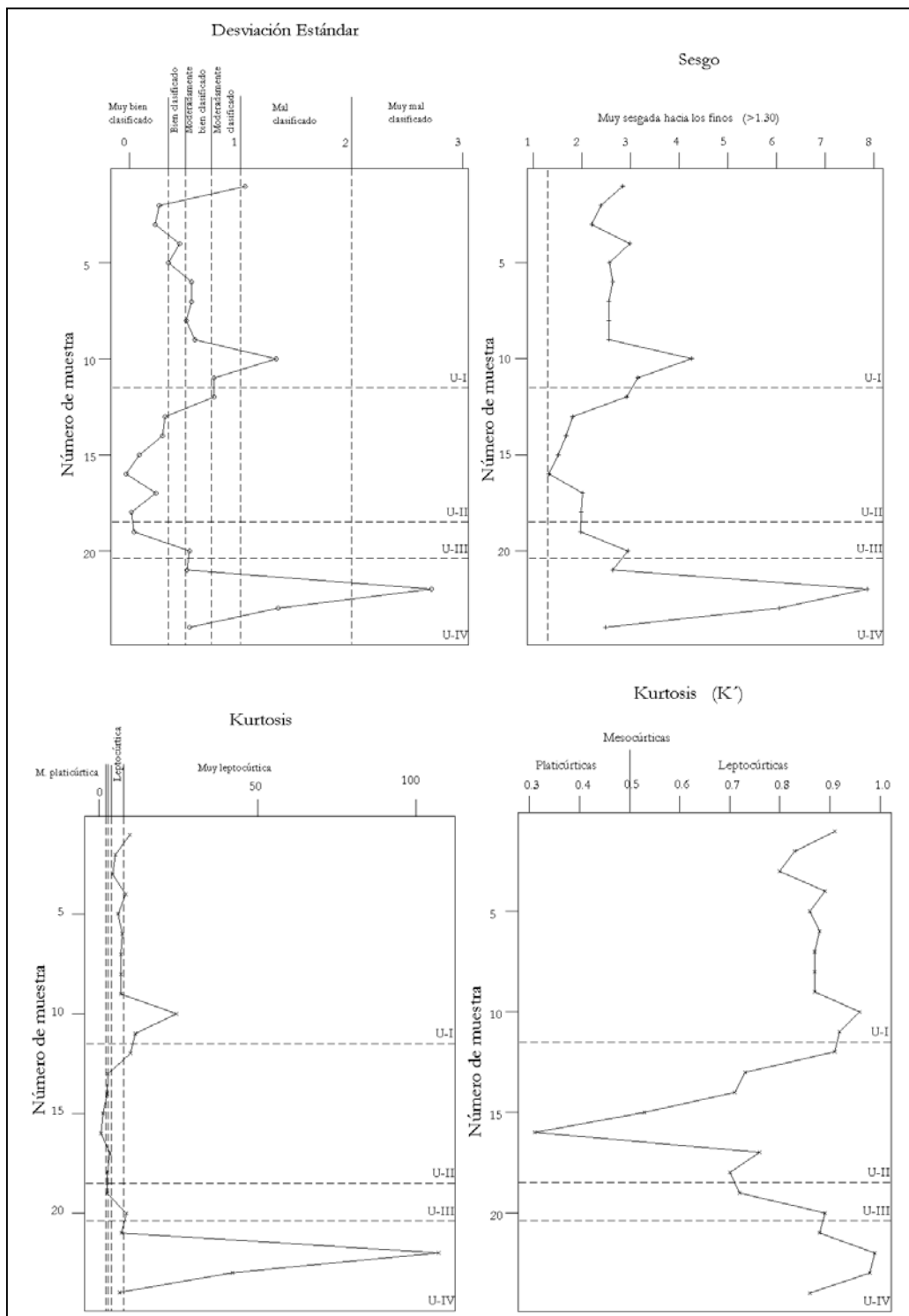


Figura 20. Variación en la Desviación Estándar, Sesgo, Kurtosis y K', para la Fracción Gruesa, perfil "El Llano".



IV.1.1.5 Análisis Granulométrico de la Fracción Fina.

La Tabla 9 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustra en las Figuras 21 y 22.

Tabla 9. Valores de los Índices Granulométricos obtenidos para la Fracción Fina y valores calculados de K', Perfil "El Llano".

UNIDAD	MUESTRA	MEDIA	MEDIANA	MODA	D. E.	SESGO	K	K'
		Unidades phi (ϕ)						
U I	Ll-1	7.19	7.16	7.09	0.50	3.51	0.89	0.47
	Ll-2	7.12	7.01	6.79	0.54	3.36	0.86	0.46
	Ll-3	7.59	7.57	7.52	0.86	2.07	0.75	0.43
	Ll-4	7.22	7.19	7.14	0.49	3.61	0.96	0.49
	Ll-5	7.53	7.50	7.45	0.45	4.42	0.98	0.49
	Ll-6	7.25	7.25	7.24	0.43	4.30	1.29	0.56
	Ll-7	7.45	7.37	7.21	0.46	4.49	1.11	0.53
	Ll-8	7.49	7.43	7.33	0.66	2.58	0.68	0.41
	Ll-9	7.58	7.56	7.52	0.45	4.18	0.91	0.48
	Ll-10	7.87	7.95	8.13	0.48	3.54	0.82	0.45
	Ll-11	7.25	7.22	7.14	0.55	3.31	0.99	0.50
U II	Ll-12	7.50	7.45	7.35	0.45	4.42	1.01	0.50
	Ll-13	7.66	7.67	7.67	0.45	4.00	0.88	0.47
	Ll-14	7.46	7.41	7.31	0.71	2.40	0.69	0.41
	Ll-15	7.43	7.35	7.19	0.50	4.14	1.15	0.53
	Ll-16	7.80	7.81	7.83	0.48	3.75	0.88	0.47
	Ll-17	8.00	8.11	8.31	0.47	4.07	1.04	0.51
	Ll-18	7.26	7.24	7.21	0.49	3.86	1.33	0.57
U III	Ll-19	7.25	7.21	7.13	0.54	3.34	0.96	0.49
	Ll-20	7.46	7.34	7.11	0.53	3.79	1.08	0.52
U IV	Ll-450	7.54	7.51	7.44	0.42	4.53	0.87	0.46
	Ll-500	7.71	7.72	7.74	0.44	4.12	0.99	0.50
	Ll-550	7.93	8.01	8.16	0.45	4.00	0.91	0.48
	Ll-600	7.39	7.31	7.16	0.63	2.86	0.86	0.46

Para cada unidad de éste perfil, tenemos lo siguiente:

Unidad I: Media entre 7.12 ϕ y 7.87 ϕ , limos finos. Mediana entre 7.01 ϕ y 7.95 ϕ , limos finos. Moda entre 6.79 ϕ y 8.13 ϕ , gradación inversa de limos muy finos a limos finos, con Ll-2 de limos medios. Desviación estándar entre 0.43 ϕ (bien clasificadas) y 0.86 ϕ (moderadamente clasificada). Sesgo entre 2.07 y 4.49, todas las muestras en éste unidad están muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.68 y 1.29, muy platicúrticas; K' entre 0.43 y 0.56, se trata de muestras platicúrticas con dos leptocúrticas (Ll-6 y Ll-7) y una mesocúrtica en la base (Ll-11).

Unidad II: Media entre 7.26 ϕ y 8.00 ϕ , limos finos. Mediana entre 7.24 ϕ y 8.11 ϕ , limos finos con Ll-16 de limos muy finos. Moda entre 7.21 ϕ y 8.31 ϕ , limos finos con Ll-16 de limos muy finos. Desviación estándar entre 0.45 ϕ (bien clasificadas) y 0.71 ϕ (moderadamente

clasificadas). Sesgo entre 2.40 y 4.42, están muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.69 y 1.33, muy platicúrticas; K' entre 0.41 y 0.57, la mayoría de las muestras son platicúrticas, excepto Ll-15 y Ll-18 que son leptocúrticas, y Ll-12 que es mesocúrtica.

Unidad III: Media entre 7.25ϕ y 7.46ϕ , Mediana entre 7.21ϕ y 7.34ϕ , Moda entre 7.11ϕ y 7.13ϕ , limos finos. Desviación estándar entre 0.53ϕ y 0.54ϕ , moderadamente bien clasificadas. Sesgo entre 3.34 y 3.79, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.96 y 1.08, muy platicúrticas; K' entre 0.49 y 0.52, una leptocúrtica (Ll-19), y una platicúrtica (Ll-20).

Unidad IV: Media entre 7.39ϕ y 7.93ϕ , Mediana entre 7.31ϕ y 8.01ϕ , Moda entre 7.16ϕ y 8.16ϕ , limos finos con Ll-550 de limos muy finos. Desviación estándar entre 0.42ϕ (bien clasificadas) y 0.63ϕ (moderadamente bien clasificadas). Sesgo entre 2.86 y 4.53, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.86 y 0.99, muy platicúrticas, K' entre 0.46 y 0.50, leptocúrticas con una muestra mesocúrtica (Ll-500).

Interpretación sedimentológica de los parámetros estadísticos.

La Media, Mediana, y Moda varían entre 6.79ϕ y 8.31ϕ (de limos medios a muy finos), éstas variaciones indican cambios en la velocidad del agente de transporte, el cual actuó por suspensión, de acuerdo a los trabajos de Visher (*op. cit.*). Desviación estándar entre 0.42ϕ y 0.86ϕ , en general las muestras se mantienen entre moderadamente bien clasificadas a bien clasificadas, sólo en el Unidad I (muestra Ll-3) y en el Unidad III (muestra Ll-14) son moderadamente clasificadas; las muestras que tienen valores menores a 0.5ϕ : Ll-1, Ll-4 a Ll-7, Ll-9 y Ll-10 de la Unidad I; Ll-12, Ll-13 y Ll-15 a Ll-18 de la Unidad II; y Ll-450 a Ll-550 de la Unidad IV, son de origen eólico (de acuerdo a Mason y Folk *op. cit.*, y a Friedman *op. cit.*). Sesgo entre 2.07 y 4.53, muy sesgadas hacia los finos o sesgos positivos, lo que indica que se trata de sedimentos de origen eólico (Friedman, *op. cit.*); así mismo, el amplio rango de valores indica también fluctuaciones importantes en la velocidad del agente de transporte por un periodo importante de tiempo, lo que sugiere un ambiente eólico (Sahu, *op. cit.*). Kurtosis entre 0.68 y 1.33, todas las muestras son muy platicúrticas. K' entre 0.41 y 0.57, se encuentra entre leptocúrtica y platicúrtica; las curvas leptocúrticas: Ll-6, Ll-7 y Ll-11 de la Unidad I; Ll-12, Ll-14 Ll-17 y Ll-18 de la Unidad II; Ll-20 de la Unidad III; y Ll-450 de la unidad IV, corresponden a sedimentos de origen eólico, las curvas platicúrticas pueden ser de un ambiente de playa o duna (de acuerdo a Mason y Folk, *op. cit.*). En conjunto, los parámetros anteriores nos indican que el agente de transporte que actuó a lo largo de todo el perfil, fue de tipo eólico.

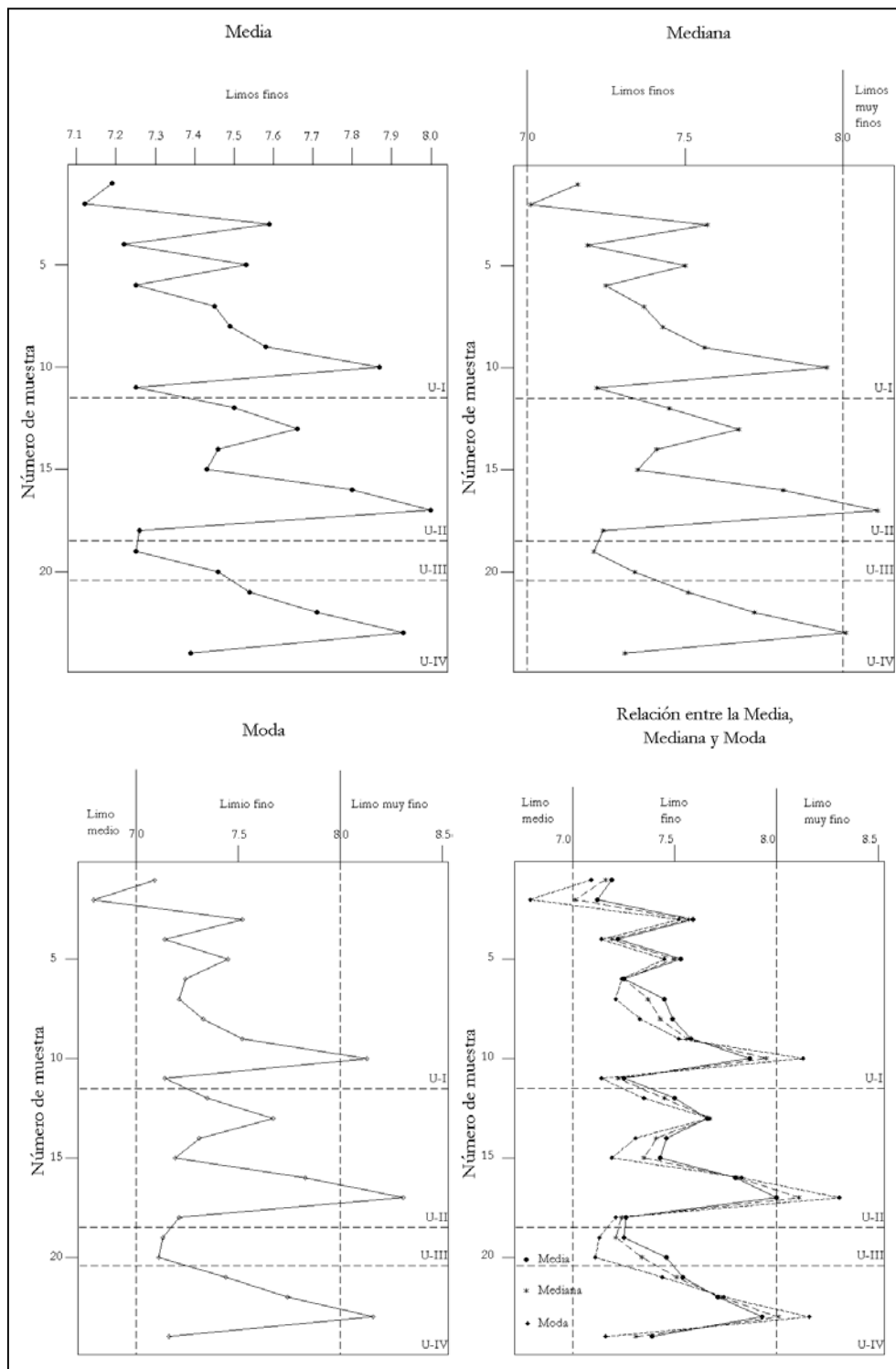


Figura 21. Variaciones en la Media Mediana, Moda y relación entre Media-Mediana-Moda, para la Fracción Fina, perfil "El Llano".

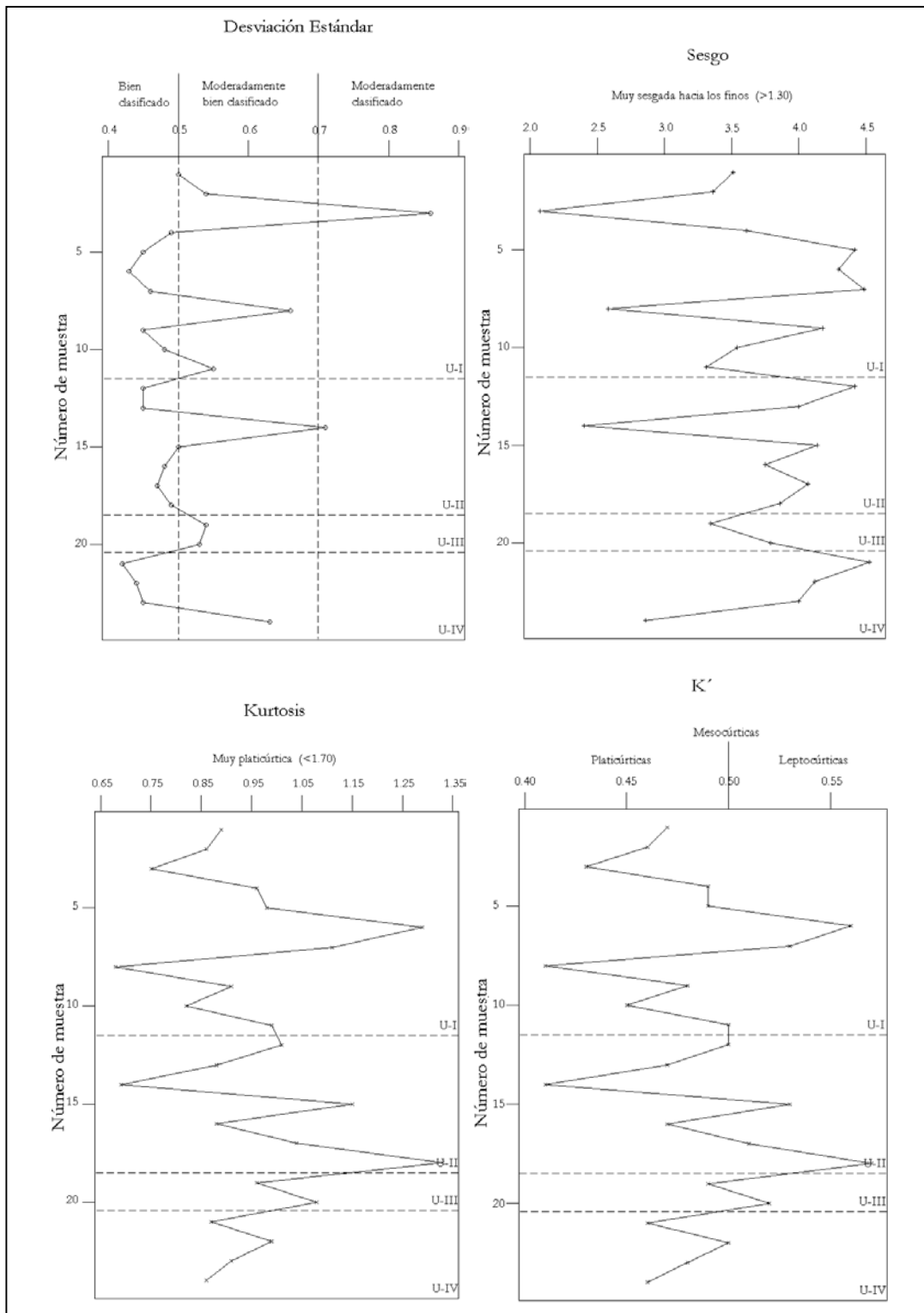


Figura 22. Variación de la Desviación Estándar, Sesgo, Kurtosis y K', para la Fracción Fina, perfil "El Llano".



IV.1.1.6 Análisis Granulométrico de la Población Total.

IV.1.1.6.a Método Matemático de Momentos:

La Tabla 10 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustran en la Figura 23.

Tabla 10. Valores de los índices granulométricos obtenidos para la Población Total por el método de Momentos. Perfil “El Llano”.

Unidad	Muestra	Prof. (cm)	Media	D. E.	Sesgo	Kurtosis	K'
			Unidades phi (ϕ)				
U I	Ll-1	20	5.41	2.70	-2.23	-0.29	0.22
	Ll-2	40	5.27	2.97	-2.96	0.96	0.49
	Ll-3	60	4.2	3.47	-0.72	-1.3	0.57
	Ll-4	80	4.07	3.43	-1.5	-1.14	0.53
	Ll-5	100	4.29	3.46	-1.38	-1.19	0.54
	Ll-6	120	4.64	2.91	-1.14	-1.15	0.53
	Ll-7	140	4.58	3.15	-1.22	-1.2	0.55
	Ll-8	160	5.05	3.94	0.67	-0.63	0.39
	Ll-9	180	4.51	3.28	-1.15	-1.24	0.55
	Ll-10	200	5.27	2.94	-1.03	-1.29	0.56
	Ll-11	220	4.42	2.89	-0.59	-1.33	0.57
U II	Ll-12	240	3.22	3.21	0.86	-1.26	0.56
	Ll-13	260	2.08	3.29	2.31	-0.71	0.42
	Ll-14	280	2.18	3.13	2.26	-0.63	0.39
	Ll-15	300	1.75	3.52	2.37	-0.97	0.49
	Ll-16	320	2.12	3.78	2.23	-1.18	0.54
	Ll-17	340	2.48	3.38	2.19	-0.81	0.45
	Ll-18	360	2.63	3.71	0.48	-1.47	0.60
U III	Ll-19	380	4.45	3.48	-2.12	-1.06	0.51
	Ll-20	400	3.96	3.49	-1.05	-1.25	0.56
U IV	Ll-450	450	3.65	3.34	0.07	-1.38	0.58
	Ll-500	500	3.56	2.48	1.94	-0.69	0.41
	Ll-550	550	2.66	3.05	1.67	-0.36	0.26
	Ll-600	600	2.85	3.19	1.27	-1.1	0.52

Para cada unidad de éste perfil, tenemos entonces lo siguiente:

Unidad I: Media entre 4.07ϕ y 5.41ϕ , intercalación de limos gruesos y muy gruesos, de base a cima se presentan: una muestra de limos muy gruesos, una de limos gruesos, una de limos muy gruesos, una de limos gruesos, cinco de limos muy gruesos, y dos de limos gruesos. Desviación estándar entre 2.70ϕ y 3.94ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -0.59 y 0.67 , de base a cima presenta: tres muestras sesgadas hacia los gruesos, una sesgada hacia los finos, dos sesgadas hacia los gruesos, y cinco muy sesgadas hacia los gruesos, sesgos negativos con una de sesgo positivo (Ll-8) hacia la parte media. Kurtosis entre -0.29 y -1.33 , muy platicúrticas. K' entre 0.22 y 0.57 , de base a cima: tres leptocúrticas, una platicúrtica, cinco leptocúrticas y dos platicúrticas.

Unidad II: Media entre 1.75ϕ y 3.22ϕ , presenta gradación inversa de arenas finas a arenas medias de la base hacia la parte media, y gradación normal de arenas medias a arenas muy finas de la parte media hacia la cima. Desviación estándar entre 3.13ϕ y 3.78ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre 0.48 y 2.37, en general están sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre -0.63 y -1.47, muy platicúrticas. K' entre 0.39 y 0.60, de base a cima: una leptocúrtica, una platicúrtica, una leptocúrtica, tres platicúrticas, y una leptocúrtica.

Unidad III: Media entre 3.96ϕ y 4.45ϕ , se tiene una gradación normal de arenas muy finas a limos muy gruesos. Desviación estándar entre 3.48ϕ y 3.49ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -1.05 y -2.12, sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos). Kurtosis entre -1.06 y -1.25, muy platicúrticas. K' entre 0.51 y 0.56, leptocúrticas.

Unidad IV: Media entre 2.66ϕ y 3.65ϕ , se tiene una gradación normal de arenas finas a arenas muy finas. Desviación estándar entre 2.48ϕ y 3.34ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre 0.07 y 1.94, sesgadas en general hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre -0.36 y -1.38, muy platicúrticas. K' entre 0.41 y 0.58, de base a cima: leptocúrtica, dos platicúrticas y leptocúrtica.

Interpretación sedimentológica de los parámetros estadísticos.

La Media varía entre 1.75ϕ y 5.41ϕ , se tienen de arenas medias a limos gruesos, se presenta según Visher (*op. cit.*): solo suspensión en la Unidad I; en la Unidad II se tuvo de base a cima saltación, tracción o arrastre, saltación, y suspensión en la cima; en la Unidad III se tuvo suspensión; y en la Unidad IV se tuvo saltación en la base y suspensión hacia la cima. La Desviación Estándar varía entre 2.48ϕ y 3.94ϕ , los altos valores obtenidos nos señalan altas fluctuaciones en la velocidad durante un tiempo relativamente largo. El Sesgo se encuentra entre -2.96 y 2.37, las muestras van de muy sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos) a muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos), éstos valores contrasta con los análisis anteriores, pues en ambos casos fueron valores positivos; la variación nos confirma fluctuaciones importantes en la velocidad del agente de transporte por un intervalo de tiempo largo, con velocidades muy por arriba de lo normal (Sahu, *op. cit.*). La Kurtosis se encuentra entre 0.29 y 1.47, todas las muestras son muy platicúrticas. K' se encuentra entre 0.22 y 0.60, las muestras varían de platicúrticas (Ll-1 Ll-2, Ll-4, Ll-6 y Ll-8 de la Unidad I; Ll-13 a Ll-15 y Ll-17 de la Unidad II; Ll-19 de la Unidad III; y Ll-500 a Ll-600 de la Unidad IV) a leptocúrticas (muestras restantes); de acuerdo a Mason y Folk (*op. cit.*), las muestras platicúrticas pueden ser de un ambiente de playa o duna, las muestras leptocúrticas indican un ambiente eólico.

En éste análisis, los parámetros granulométricos no nos determinan un solo tipo de ambiente de depósito, ya pues los valores de K' indican que se tuvieron dos probables ambientes: de playa y de tipo eólico.

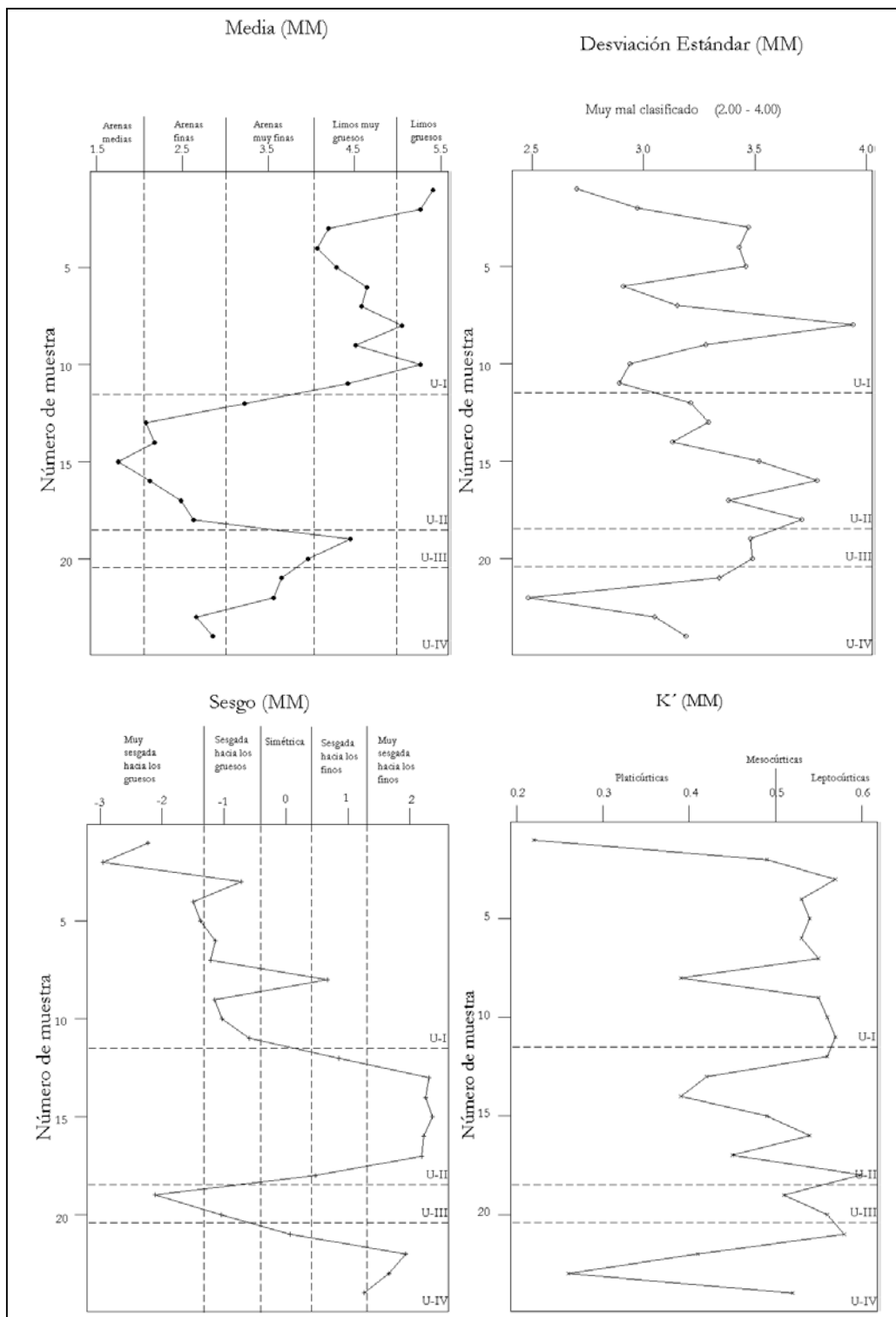


Figura 23. Variaciones en la Media, Desviación Estándar, Sesgo y K'. Para la Población Total obtenidos por medio del Método de Momentos. Perfil "El Llano".



IV.1.1.6.b Método Gráfico (FyW):

La Tabla 11 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustran en la Figura 24.

Tabla 11. Valores de los índices granulométricos obtenidos para la Población Total por el Método Gráfico (FyW), Perfil “El Llano”.

Unidad	Muestra	Prof. (cm)	Media	D. E.	Sesgo	Kurtosis	K'
			Unidades phi (ϕ)				
U I	Ll-1	20	5.73	2.53	-0.67	0.76	0.43
	Ll-2	40	5.56	2.91	-0.71	0.94	0.48
	Ll-3	60	4.25	3.63	0.05	0.78	0.44
	Ll-4	80	3.92	3.31	-0.10	0.76	0.43
	Ll-5	100	4.10	3.48	-0.04	0.78	0.44
	Ll-6	120	5.27	2.76	-0.75	0.70	0.41
	Ll-7	140	5.38	2.99	-0.65	0.73	0.42
	Ll-8	160	4.29	3.20	0.07	0.71	0.41
	Ll-9	180	4.30	3.21	0.04	0.67	0.40
	Ll-10	200	6.07	2.68	-0.67	0.57	0.36
	Ll-11	220	4.29	2.79	0.12	0.64	0.39
U II	Ll-12	240	3.42	3.21	0.32	0.61	0.38
	Ll-13	260	2.78	3.60	0.41	1.24	0.55
	Ll-14	280	2.64	3.38	0.43	1.19	0.54
	Ll-15	300	2.23	3.81	0.41	0.85	0.46
	Ll-16	320	2.45	4.00	0.43	0.52	0.34
	Ll-17	340	3.11	3.71	0.36	1.22	0.55
	Ll-18	360	2.64	3.89	0.07	0.53	0.35
U III	Ll-19	380	4.89	3.58	-0.72	0.78	0.44
	Ll-20	400	3.61	3.50	0.01	0.74	0.43
U IV	Ll-450	450	3.77	3.42	0.20	0.70	0.41
	Ll-500	500	4.09	2.55	0.77	0.58	0.37
	Ll-550	550	3.60	3.36	0.48	2.35	0.70
	Ll-600	600	3.09	3.41	0.38	0.70	0.41

Para cada unidad de éste perfil, tenemos entonces lo siguiente:

Unidad I: Media entre 3.92ϕ y 6.07ϕ , de base a cima presenta: gradación normal de limos muy gruesos a limos medios, gradación inversa de limos medios a limos muy gruesos, gradación normal de limos muy gruesos a limos gruesos, gradación inversa de limos gruesos a arenas muy finas, y gradación normal de arenas muy finas a limos gruesos. Desviación estándar entre 2.53ϕ y 3.63ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -0.75 y 0.12 , de base a cima: una sesgada hacia los finos, una muy sesgada hacia los gruesos, dos simétricas, dos muy sesgadas hacia los gruesos, tres simétricas y dos muy sesgadas hacia los gruesos. Kurtosis entre 0.57 y 0.94 , de base a cima: dos muy platicúrticas, siete platicúrticas, una mesocúrtica y una platicúrtica. K' entre 0.36 y 0.48 , platicúrticas.

Unidad II: media entre 2.23ϕ y 3.42ϕ , se tiene en general una gradación normal de arenas finas a arenas muy finas, sólo Ll-17 (hacia la base de la unidad) es de arena muy fina.



Desviación estándar entre 3.21ϕ y 4.00ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre 0.07 y 0.43, de base a cima: una simétrica, y seis muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.52 y 1.24, de base a cima: una muy platicúrtica, una leptocúrtica, una muy platicúrtica, una platicúrtica, dos leptocúrticas y una muy platicúrtica. K' entre 0.34 y 0.55, de base a cima: una platicúrtica, una leptocúrtica, dos platicúrticas, dos leptocúrticas y una platicúrtica.

Unidad III: Media entre 3.61ϕ y 4.89ϕ , se tiene una gradación normal de arenas muy finas a limos muy gruesos. Desviación estándar entre 3.50ϕ a 3.58ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -0.72 y 0.01, simétrica en la base y muy sesgada hacia los gruesos en la cima. Kurtosis entre 0.74 y 0.78, platicúrticas. K' entre 0.43 y 0.44, platicúrticas.

Unidad IV: Media entre 3.09ϕ y 4.09ϕ , arenas muy finas con Ll-500 de limos gruesos hacia la cima. Desviación estándar entre 2.25ϕ y 3.42ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre 0.20 y 0.77, de base a cima: tres muy sesgadas hacia los finos, y una sesgada hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.58 y 2.35, de base a cima: una platicúrtica, una muy leptocúrtica, una muy platicúrtica, y una platicúrtica. K' entre 0.37 y 0.70, de base a cima: una platicúrtica, una leptocúrtica, y dos platicúrticas.

Interpretación sedimentológica de los parámetros estadísticos.

La Media varía entre 2.23ϕ y 6.07ϕ , se tiene (de acuerdo con Visher, *op. cit.*): suspensión en la Unidad I, Unidad III y Unidad IV, en la Unidad II se tuvo sólo saltación. La Desviación Estándar varía entre 2.53ϕ y 4.00ϕ , todas las muestras están muy mal clasificadas; los altos valores obtenidos nos señalan altas fluctuaciones en la velocidad durante un tiempo relativamente largo. El Sesgo se encuentra entre -0.75 y 0.77 , varían de muy sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos) a simétricas; la variación indica fluctuaciones importantes en la velocidad del agente de transporte durante un intervalo de tiempo relativamente largo, y con velocidades muy por arriba de lo normal. La Kurtosis varía entre 0.52 y 2.35, van de muy platicúrticas a muy leptocúrticas. K' varía entre 0.34 y 0.70, van de platicúrticas a leptocúrticas; la mayoría de las muestras son platicúrticas, lo que nos puede indicar un ambiente de playa o duna (Mason y Folk, *op. cit.*), sólo se tienen cuatro muestras leptocúrticas: Ll-13, Ll-14 y Ll-17 de la Unidad II; y Ll-550 de la Unidad IV, que indican un depósito eólico.

El análisis granulométrico por éste método tampoco nos precisa el tipo o tipos de ambiente de depósito, ya que los valores de K' nos acercan a pensar que se pudieron tener dos tipos de ambiente: de playa y eólico.

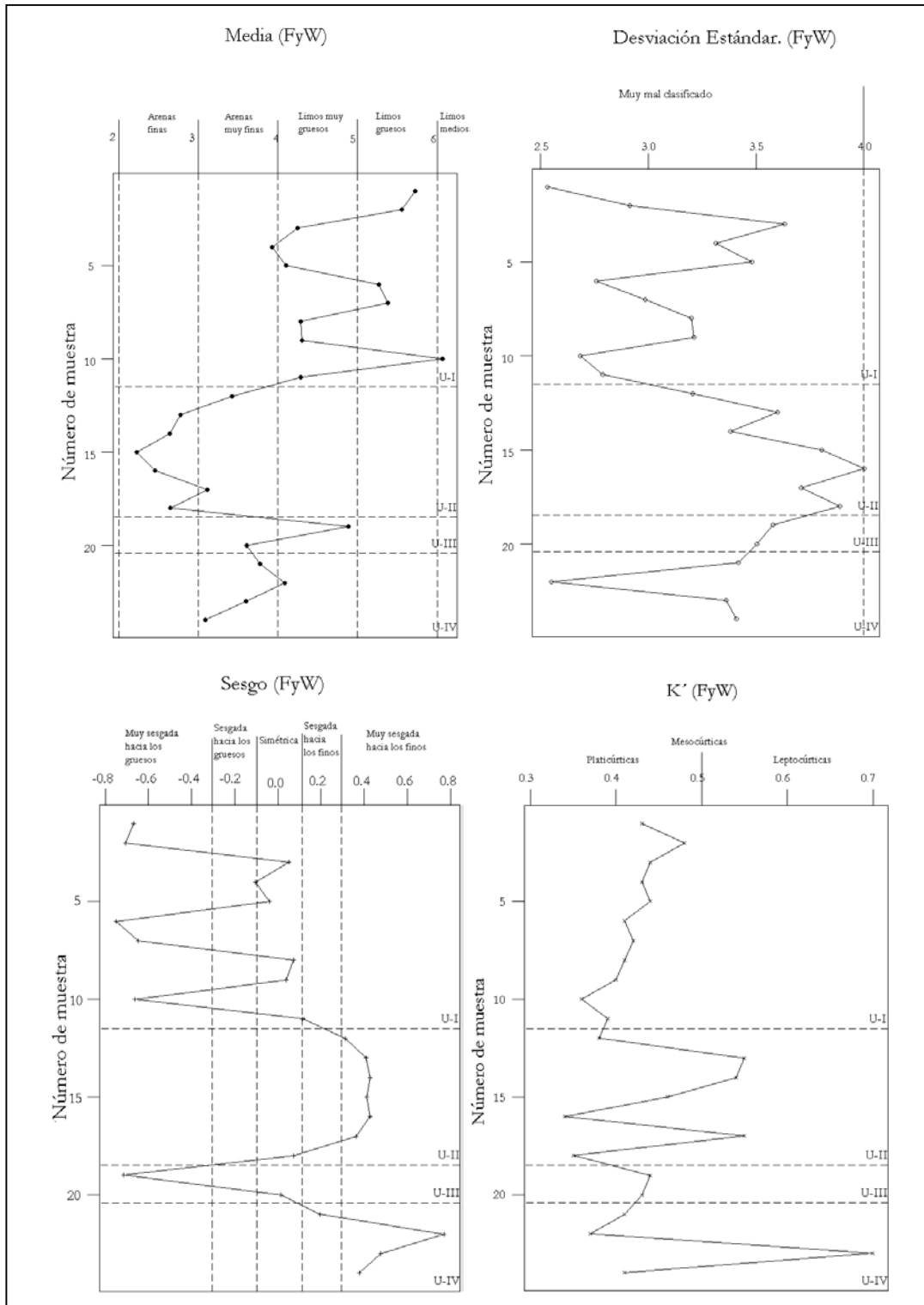


Figura 24. Variaciones en la Media, Desviación Estándar, Sesgo y K'. Para la Población Total obtenidos por medio del Método Gráfico. Perfil "El Llano".



IV.1.1.7 Materia Orgánica, Carbonatos totales y Materia Mineral.

La Tabla 12 se muestra los porcentajes obtenidos para la materia orgánica, carbonatos totales (CaCO_3) y la materia mineral; en la Figura 25 se muestran las variaciones de los parámetros.

Tabla 12. Porcentajes de Materia Orgánica, Carbonato de Calcio y Materia Mineral, en las muestras del Perfil “El Llano”.

Unidad	Muestra	Prof. (cm)	% Mat. Org.	% CaCO_3	% Mat. Min.
U I	Ll-1	20	4.4	2.5	93.1
	Ll-2	40	5.4	5.3	89.3
	Ll-3	60	3.2	5.4	91.4
	Ll-4	80	3	6.8	90.2
	Ll-5	100	3	7.2	89.8
	Ll-6	120	2.6	5.7	91.7
	Ll-7	140	3	7.4	89.6
	Ll-8	160	3.4	4.6	92
	Ll-9	180	2.8	9.1	88.1
	Ll-10	200	2.6	6.4	91
	Ll-11	220	5.8	4.7	89.5
U II	Ll-12	240	1.2	2.2	96.6
	Ll-13	260	5.2	2.5	92.3
	Ll-14	280	3.8	1.7	94.5
	Ll-15	300	2	4.1	93.9
	Ll-16	320	2.2	8.2	89.6
	Ll-17	340	1.6	2	96.4
	Ll-18	360	2.4	3.3	94.3
U III	Ll-19	380	3.4	6.6	90
	Ll-20	400	2.2	3.3	94.5
U IV	Ll-450	450	2	6.1	91.9
	Ll-500	500	2.2	1.8	96
	Ll-550	550	1.6	1.8	96.6
	Ll-600	600	2.8	1.9	95.3

Para éste perfil, se tiene que:

- Unidad I. El porcentaje de materia orgánica varía entre 2.6% y 5.8%. El porcentaje de carbonato de calcio varía entre 2.5% y 9.1%. El porcentaje de materia mineral varía entre 88.1% y 93.1%.
- Unidad II. El porcentaje de materia orgánica varía entre 1.2% y 5.2%. El porcentaje de carbonato de calcio varía entre 1.7% y 8.2%. El porcentaje de materia mineral varía entre 89.6% y 96.6%.

- Unidad III. El porcentaje de materia orgánica varía entre 2.2% y 3.4%. El porcentaje de carbonato de calcio varía entre 3.3% y 6.6%. El porcentaje de materia mineral varía entre 90.0% y 94.5%.
- Unidad IV. El porcentaje de materia orgánica varía entre 1.6% y 2.8%. El porcentaje de carbonato de calcio varía entre 1.8% y 6.1%. El porcentaje de materia mineral varía entre 91.9% y 96.6%.

En general, observamos que la cantidad de materia orgánica a lo largo de todo el perfil es bajo, el valor más alto es de 5.8% en la muestra Ll-11 de la Unidad III. El porcentaje de carbonato de calcio es un poco mayor al de materia orgánica, el valor mayor es de 9.1% en la muestra Ll-9 de la Unidad II. El porcentaje de materia mineral es muy alto, el valor menor es de 88.1% en la muestra Ll-9 de la Unidad II.

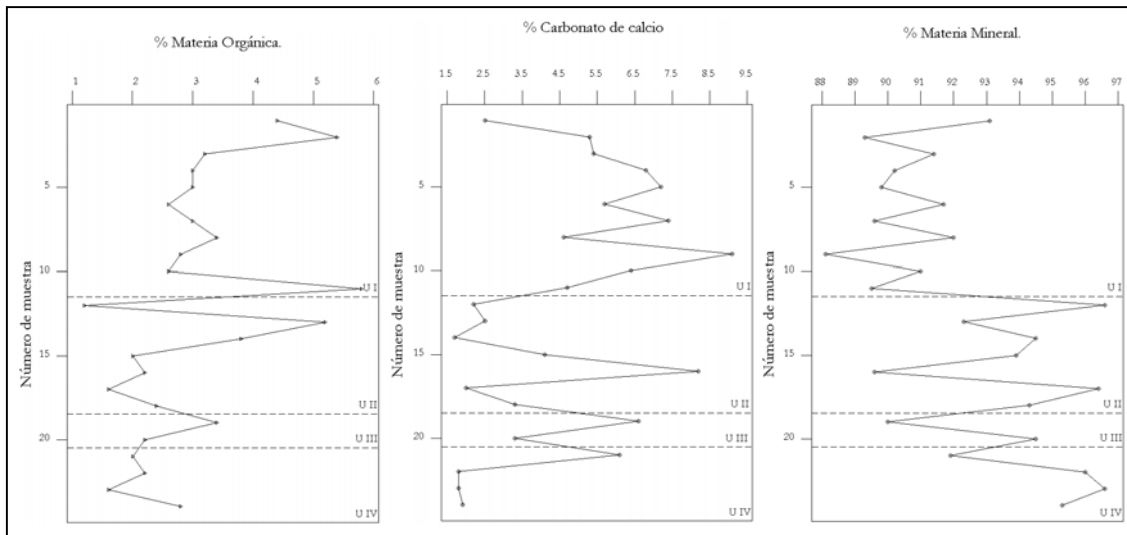


Figura. 25. Variaciones en los porcentajes de Materia Orgánica, Carbonato de Calcio y Materia Mineral. Perfil "El Llano".

Las características anteriores nos indican que hubo inestabilidad en el ambiente provocada por el viento. El origen de los carbonatos es ambiental, pues sólo afloran rocas carbonatadas (conglomerados de la Fm. Ahuichila) al sureste del área de estudio; los carbonatos seguramente precipitaron por la acción bacteriana asociada con las raíces. Las plantas jugaron además un papel importante pues éstas sirvieron como trampa para la acumulación de partículas del tamaño de limos y arcillas a su alrededor.

IV.1.2 PERFIL “MIGUEL NEGRETE”.

Éste perfil se localiza en las coordenadas 24°58’30” de latitud Norte y 104°55’11” de longitud Oeste, como se muestra en la Figura 26, a una altura aproximada de 1980 msnm; igual que el perfil anterior, tiene una profundidad de 6 metros; se tienen 24 muestras tomadas a intervalos de cada 20 cm hasta la muestra N-20, las últimas 4 muestras se tomaron a cada 50 cm.

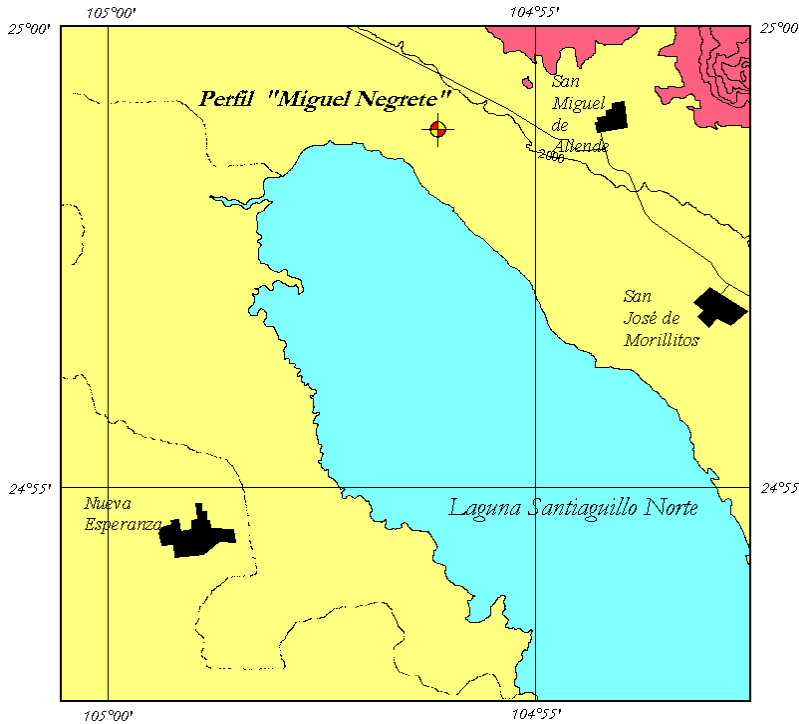


Figura 26. Ubicación del Perfil “Miguel Negrete”: 24°59’ N, 104°56’ O.

IV.1.2.1 Descripción megascópica y características de las muestras.

Estos estudios se realizaron durante la preparación de las muestras para la separación de la fracción gruesa de la fina. Diecisiete muestras tuvieron una textura arcillo-areno-limosa, seis muestras fueron arcillo-limo-arenosas, y sólo una fue areno-arcillo-limosa; todas las muestras tuvieron estructura granular; la reacción al ácido clorhídrico fue entre moderada y fuerte. Los resultados y características de cada muestra se presentan en la Tabla 13.

IV.1.2.2 Porcentaje de la fracción gruesa y de la fracción fina obtenidos a través del tamizado por vía húmeda.

Los porcentajes de cada fracción obtenidos después del tamizado por vía húmeda se muestran en la Tabla 13, en ésta se observa que la fracción gruesa varía entre 5.25 g (11.23%) y 33.95 g (69.30%), y que la fracción fina varía entre 15.04 g (30.70%) y 41.51 g (88.77%).



Tabla 13. Descripción Megascópica de las muestras (a-A-l = arcillo-arena-limosa, A-a-l = arena-arcillo-limosa, A-l-a = arcillo-limo-arenosa), pesos y porcentajes de la Fracción Gruesa y de la Fracción Fina, perfil “Miguel Negrete”

Unidad	Muestra	Prof. (cm)	Características megascópicas.			Peso (g)			Porcentaje (%)		
			Textura	Estructura	Reacción al HCl	F. Gruesa	F. Fina	Total	F. Gruesa	F. Fina	Total
U I	N-1	20	a-A-l	Granular	Media	15,32	23,89	39,21	39,07	60,93	100
	N-2	40	a-A-l	Granular	Moderada	13,45	32,82	46,27	29,07	70,93	100
	N-3	60	a-A-l	Granular	Fuerte	19,36	27,08	46,44	41,69	58,31	100
	N-4	80	a-A-l	Granular	Fuerte	23,03	26,42	49,45	46,57	53,43	100
	N-5	100	a-A-l	Granular	Fuerte	22,04	22,39	44,43	49,61	50,39	100
	N-6	120	a-A-l	Granular	Fuerte	11,82	36,9	48,72	24,26	75,74	100
	N-7	140	a-A-l	Granular	Fuerte	15,15	35,81	50,96	29,73	70,27	100
	N-8	160	a-A-l	Granular	Fuerte	19,93	30,21	50,14	39,75	60,25	100
	N-9	180	a-A-l	Granular	Media	21,89	26,09	47,98	45,62	54,38	100
	N-10	200	a-A-l	Granular	Fuerte	21,78	27,09	48,87	44,57	55,43	100
	N-11	220	a-A-l	Granular	Fuerte	23,72	25,21	48,93	48,48	51,52	100
	N-12	240	a-A-l	Granular	Moderada	25,36	25,42	50,78	49,94	50,06	100
U II	N-13	260	a-A-l	Granular	Moderada	33,95	15,04	48,99	69,30	30,70	100
	N-14	280	a-A-l	Granular	Moderada	30,51	18,63	49,14	62,09	37,91	100
U III	N-15	300	A-a-l	Granular	Media	25,28	25,38	50,66	49,90	50,10	100
	N-16	320	a-A-l	Granular	Moderada	13,61	34,07	47,68	28,54	71,46	100
	N-17	340	a-l-A	Granular	Moderada	9,72	35,09	44,81	21,69	78,31	100
	N-18	360	a-l-A	Granular	Moderada	8,07	37,59	45,66	17,67	82,33	100
	N-19	380	a-l-A	Granular	Media	12,48	34,68	47,16	26,46	73,54	100
	N-20	400	a-l-A	Granular	Moderada	11,21	35,05	46,26	24,23	75,77	100
	N-450	450	a-A-l	Granular	Moderada	18,19	29,76	47,95	37,94	62,06	100
	N-500	500	a-l-A	Granular	Media	14,76	34,9	49,66	29,72	70,28	100
	N-550	550	a-A-l	Granular	Moderada	5,25	41,51	46,76	11,23	88,77	100
N-600	600	a-l-A	Granular	Moderada	7,78	42,04	49,82	15,62	84,38	100	

IV.1.2.3 Distribución Granulométrica de la Población Total.

Se definieron tres unidades sedimentarias a partir de los porcentajes de la fracción gruesa (grava y arena) y de la fracción fina (limo y arcilla); las unidades se numeraron de la cima a la base del perfil como U-I a U-III. Los porcentajes obtenidos para cada muestra de éste perfil, así como las clases granulométricas determinadas se muestran en la Tabla 14. En la Figura 27 se muestran las clases granulométricas (gravas, arenas y limos) y la representación del perfil.

De manera general, la clase predominante es la de limos (entre 4ϕ y 9ϕ), y presenta variaciones entre 30.70% y 88.78%. La siguiente es la de arenas (-1ϕ a 4ϕ), con variaciones entre 12.40% y 56.75%. Finalmente, las arcillas (mayor a 9ϕ) sólo se presentan en dos muestras (N-1 con 0.4% y N-3 con 0.1%), por lo que éstos valores no se tomaron en cuenta para el cálculo de los parámetros granulométricos. En el caso de las gravas el porcentaje es muy variable, las muestras que presentan un porcentaje superior o cercano al 10% son: N-3 y N-4 de la Unidad I, y en N-13 de la Unidad II, por lo que sólo se tomaran en cuenta para éstas muestras.



Tabla 14. Porcentajes y clases granulométricas del perfil “Miguel Negrete”

Unidad		I											
Tamaño (φ)	Muestra	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12
Gravas	-2	2.32	2.2	3.45	9.02	0.41	1.23	2.14	1.26	1.54	1.62	2	0.89
	-1.5	1.33	1.21	3.55	3.58	1.15	0.64	0.47	2.57	1.9	1.21	1.33	0.45
	-1	1.3	1.21	3.14	2	1.62	1.03	0.71	2.27	2	2.21	1.41	1.04
Total		0	0	10.14	14.6	0	0	0	0	0	0	0	0
Arenas	-0.5	6.12	6.28	3.42	2.37	5.57	3.99	4.14	8.95	8.11	7.78	7.23	3.9
	0	1.79	1.6	2.89	1.92	2.99	1.29	1.22	3.75	3.65	3.58	3.49	3.45
	0.5	3.65	1.92	3.23	2.22	3.2	1.89	2.08	4.21	5.86	5.34	5.42	5.24
	1	4.03	2.38	3.38	2.83	3.47	2.52	2.39	4.03	6.09	5.61	6.09	6.7
	1.5	3.62	2.72	3.7	3.82	4.03	2.52	2.63	3.57	5.65	5.22	6.01	7.4
	2	4.28	3.63	4.24	4.87	4.88	2.36	3.2	3.73	5.19	5.18	6.79	8.59
	2.5	4.87	3.76	3.94	4.49	5.27	2.07	3.22	3.19	3.73	3.89	4.99	6.36
	3	4.87	3.26	3.21	4.15	6.42	2.38	3.49	3.11	2.73	3.01	3.21	3.7
	3.5	3.49	2.16	2.11	2.91	7.56	2.46	3.57	2.71	2.33	2.46	2.55	2.48
4	2.35	1.34	1.42	2.39	6.24	2.77	3.79	2.49	2.29	2.52	2.7	2.13	
Total		39.07	29.05	31.54	31.97	49.63	24.25	29.73	39.74	45.63	44.59	48.48	49.95
Limos	4.5	0.01	0.3	0.03	0.03	1.04	2.69	0.66	0.33	0.31	0.53	0.86	0.43
	5	0.04	0.16	0.13	0.24	0.91	1.56	0.48	0.19	0.66	0.74	1.08	0.32
	5.5	0.05	0.21	0.08	0.31	1.01	1.7	0.6	0.13	0.5	0.72	0.96	0.15
	6	0.02	0.06	0.05	0.18	1.36	3.07	0	0	0.66	0.72	1.03	0
	6.5	0.15	0.36	0.19	0.41	2.89	5.66	0.76	0.63	1.93	2.26	1.27	0.73
	7	0.66	1.34	0.49	8.7	13.63	18.89	15.14	9.42	15.17	17.63	9.92	10.55
	7.5	6.5	12.41	3.9	25.5	14.68	22.69	36.16	30.23	15.17	17.4	15.21	24.08
	8	37.44	38.45	15.08	15.27	14.69	19.48	8.33	14.94	18.28	15.3	13.45	10.9
	8.5	12.48	16.67	37.09	2.79	0.17	0	7.66	4.31	1.69	0.14	7.73	2.68
9	3.19	0.97	1.17	0	0	0	0.47	0.07	0	0	0	0.23	
Total		60.54	70.93	58.21	53.43	50.38	75.74	70.26	60.25	54.37	55.44	51.51	50.07
Arcillas	9.5	0.4	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Los porcentajes menores al 10% en la clase de gravas se sumaron a la clase de arenas.



Tabla 14. (continuación) Porcentajes y clases granulométricas del perfil “Miguel Negrete”

Unidad		II		III									
Tamaño (ϕ)	Muestra	N-13	N-14	N-15	N-16	N-17	N-18	N-19	N-20	N-450 cm.	N-500 cm.	N-550 cm.	N-600 cm.
Gravas	-2	11.04	2.54	1.42	1.07	0.89	0.18	0.21	0.3	0.1	3.1	2.82	1.33
	-1.5	2.96	1.1	0.67	0.23	0.69	0.2	0.42	0.56	1.52	1.31	1.07	0.82
	-1	3.51	1.69	1.03	0.84	0.8	0.11	0.68	0.65	1.44	0.26	0.51	0.98
Total		17.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arenas	-0.5	3.76	8.2	4.98	3.54	3.25	0.93	2.67	2.35	5.19	5.68	4.89	4.33
	0	6.49	4.46	3.32	2.1	1.34	0.96	1.91	1.73	3.52	2.17	0.53	1.87
	0.5	8.12	6.33	4.48	3.04	1.87	1.45	2.88	2.55	3.94	3.22	0.66	1.71
	1	7.98	6.49	4.82	3.25	1.99	1.6	2.84	2.49	3.32	2.84	0.58	1.06
	1.5	6.9	6.08	4.7	3.1	2.03	1.69	2.69	2.25	3	2.58	0.58	1
	2	6.57	5.74	4.95	3.04	2.14	1.93	2.8	2.42	3.15	2.7	0.68	1.08
	2.5	4.31	5.25	4.91	2.62	2.03	2.08	2.48	2.29	3.19	2.7	0.68	1.08
	3	3.04	6.57	6.12	2.73	2.32	2.26	2.69	2.55	3.57	3.02	0.81	1.31
	3.5	2.41	7.16	6.63	2.56	2.37	2.39	2.78	2.81	4.36	2.86	0.94	1.26
4	2.2	5.8	4.99	2.56	2.34	2.41	2.71	2.79	4.69	1.95	0.86	0.9	
Total		51.78	62.08	49.9	28.54	21.68	17.7	26.45	24.23	37.93	29.72	11.21	15.6
Limos	4.5	0.63	3.63	0.3	1.1	0.27	3.9	5.59	0.39	0.66	1.65	0.27	0.31
	5	0.42	1.4	0.12	1.6	0.64	2.51	2.69	0.37	0.85	1.95	0.83	0.8
	5.5	0.38	2.45	0.21	1.43	0.99	2.85	4.36	0.45	0.75	1.98	2.99	0.73
	6	0.85	1.82	0	1.41	0.52	3.65	3.05	0.7	1.09	1.76	0.2	0.81
	6.5	1.75	2.93	0.14	1.69	1	5.58	5.4	1.38	2.2	3.13	1.45	1.92
	7	8.12	7.61	4.56	17.57	13.29	19.47	18.57	28.22	16.96	22.1	25.77	25.52
	7.5	8.58	15.5	26.79	21.32	28.78	26.34	29.87	19.82	16.7	25.08	57.27	29.28
	8	9.67	2.58	12.68	19.25	20.94	18.04	4.02	24.15	21.09	12.63	0	24.93
	8.5	0.3	0	5.11	6.1	11.87	0	0	0	1.76	0	0	0.08
9	0	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total		30.7	37.92	50.12	71.47	78.3	82.34	73.55	75.48	62.06	70.28	88.78	84.38
Arcillas	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Los porcentajes menores al 10% en la clase de gravas se sumaron a la clase de arenas.

Unidad I (muestras de N-1 a N-12, entre 20 cm y 240 cm), de la base a la cima presenta: un decremento de arenas, desde 47.57% hasta 34.12%, con un mínimo de 21.35% en N-6; el porcentaje de limos se incrementa hacia la cima de 50.07% a 60.54%, con un máximo de 75.74% en N-6. El porcentaje de gravas sólo se toma en cuenta para la muestras N-3(10.14%) y N-4 (14.60%).

Unidad II (muestras de N-13 a N-14, entre 260 cm y 280 cm), de la base a la cima se tiene que: el porcentaje de arenas decrece de 56.75% a 51.78%; y el porcentaje en los limos decrece de 37.92% a 30.70%. El porcentaje de gravas se toma en cuenta para la muestra N-13 (17.51%).

Unidad III (muestras de N-15 a N-600, entre 300 cm y 600 cm), de la base a la cima: el porcentaje de arenas aumenta de 12.47% a 46.78%, con un mínimo de 6.81% (N-550); mientras que el porcentaje de limos decrece de 84.38% a 50.12%.

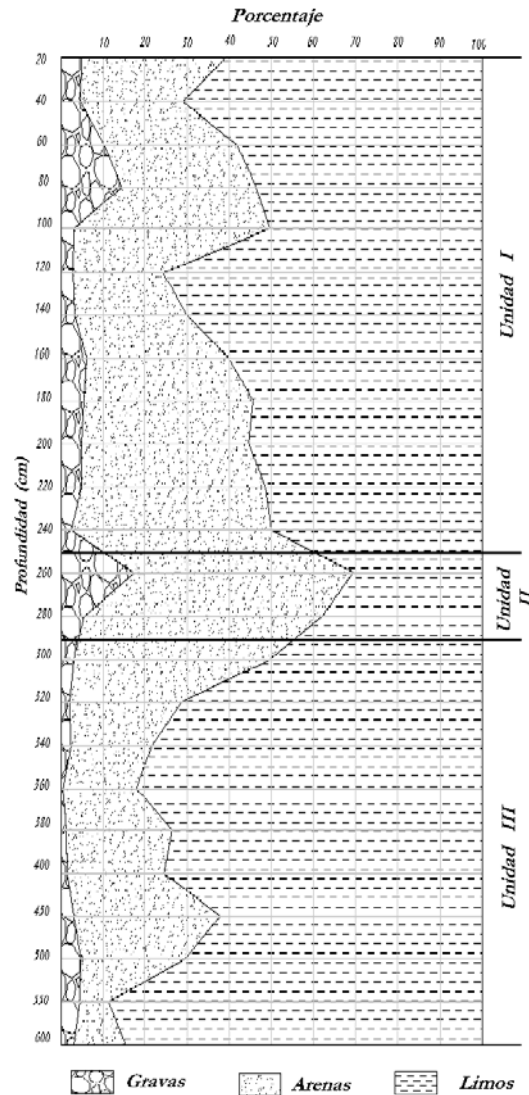


Fig. 27. Clases granulométricas y representación del perfil "Miguel Negrete".



IV.1.2.4 Análisis Granulométrico de la Fracción Gruesa.

La Tabla 15 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustran en las Figuras 28 y 29.

Tabla 15 Valores de los Índices Granulométricos obtenidos para la Fracción Gruesa y valores calculados de K', Perfil "Miguel Negrete".

UNIDAD	MUESTRA	PROF. (CM)	MEDIA	MODA	MEDIANA	D. E.	SESGO	K	K'
			Unidades phi (ϕ)						
U I	N-1	20	2.06	2.20	1.59	0.46	2.62	6.83	0.87
	N-2	40	2.03	2.22	1.45	0.33	2.26	4.55	0.82
	N-3	60	1.65	2.22	0.73	0.02	1.57	1.31	0.57
	N-4	80	2.99	1.76	1.08	0.11	2.24	3.65	0.78
	N-5	100	2.21	3.21	2.34	0.56	2.51	6.71	0.87
	N-6	120	2.25	3.76	1.73	0.50	2.41	5.88	0.85
	N-7	140	2.70	3.18	2.13	0.78	3.11	10.98	0.92
	N-8	160	1.45	0.20	0.99	0.15	1.70	2.18	0.69
	N-9	180	1.44	0.83	0.99	0.36	2.04	4.02	0.80
	N-10	200	1.63	0.80	1.12	0.46	2.01	4.07	0.80
	N-11	220	1.78	1.81	1.29	0.55	2.39	6.30	0.86
	N-12	240	1.64	1.81	1.44	0.92	2.60	8.86	0.90
U II	N-13	260	2.34	0.18	0.47	0.36	2.25	4.49	0.82
	N-14	280	2.03	3.21	1.59	0.65	2.40	6.66	0.87
U III	N-15	300	2.10	3.21	1.91	0.77	2.61	8.34	0.89
	N-16	320	1.98	0.80	1.51	0.79	2.17	5.51	0.85
	N-17	340	2.03	3.21	1.69	0.44	2.39	5.72	0.85
	N-18	360	2.15	3.18	2.18	0.99	3.16	13.77	0.93
	N-19	380	1.66	0.18	1.58	0.66	2.25	6.09	0.86
	N-20	400	1.85	3.18	1.77	0.59	2.48	7.00	0.88
	N-450	450	1.68	3.18	1.70	0.34	2.01	3.99	0.80
	N-500	500	2.35	0.20	1.22	0.44	2.79	7.89	0.89
	N-550	550	3.41	-1.77	0.29	0.01	2.11	2.88	0.74
N-600	600	1.80	-0.23	0.53	0.20	1.71	2.28	0.70	

Para cada unidad tenemos:

Unidad I: Media entre 1.44ϕ y 2.99ϕ , de la base a la parte media se tiene una gradación normal de arena gruesa a arena media, le sigue una gradación inversa de arena media a arena gruesa, y hacia la cima una gradación normal de arena gruesa a arena media. Moda entre 0.20ϕ y 3.76ϕ ; se presenta de la cima hacia la parte media gradación inversa de arena media a arena gruesa, sigue gradación normal de arena gruesa a arena muy fina, después gradación inversa de arena muy fina a arena media, y hacia la cima gradación normal de arena media a arena fina. Mediana entre 0.73ϕ y 2.34ϕ ; presenta de base a cima: gradación inversa de arena media a arena gruesa, gradación normal de arena gruesa a arena media, gradación inversa de arena media a arena gruesa, gradación normal de arena gruesa a arena fina, gradación inversa de arena fina a arena media, gradación normal de arena media a arena fina, gradación inversa de arena fina a

arena gruesa, y gradación normal de arena gruesa a arena media. Desviación estándar entre 0.02ϕ (muy bien clasificadas) a 0.92ϕ (moderadamente clasificadas). Sesgo entre 1.57 y 3.11, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 1.31 y 10.98, de base a cima se tiene: una muy leptocúrtica, tres leptocúrticas, platicúrtica, una muy leptocúrtica dos leptocúrticas, una mesocúrtica, una muy platicúrtica, y dos leptocúrticas; K' entre 0.57 y 0.92, leptocúrticas.

Unidad II: Media entre 2.03ϕ y 2.34ϕ , unidad uniforme de arenas finas. Moda entre 0.18ϕ y 3.21ϕ , gradación inversa de arena gruesa a arena muy fina. Mediana entre 0.47ϕ y 1.59ϕ , gradación inversa de arena gruesa a arena media. Desviación estándar entre 0.36ϕ (bien clasificadas) y 0.65ϕ (moderadamente bien clasificadas). Sesgo entre 2.25 y 2.40, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 4.49 y 6.66, leptocúrticas; K' entre 0.82 y 0.87, leptocúrticas.

Unidad III: Media entre 1.66ϕ y 3.41ϕ , presenta de la base a la cima: gradación normal de arena gruesa a arena fina, gradación inversa de arena fina a arena gruesa, gradación normal de arena gruesa a arena media, gradación inversa de arena media a arena gruesa y gradación normal de arena gruesa a arena media. Moda entre 0.18ϕ y 3.21ϕ , de base a cima se presenta: gradación inversa de arena muy gruesa a grava muy fina, gradación normal de grava muy fina a arena muy fina, gradación inversa de arena muy fina a arena gruesa, gradación normal de arena gruesa a arena muy fina, gradación inversa de arena muy fina a arena gruesa y gradación normal de arena gruesa a arena muy fina. Mediana entre 0.29ϕ y 2.18ϕ , de base a cima: gradación normal de arena gruesa a arena fina y gradación inversa de arena fina a arena media. Desviación estándar entre 0.01ϕ (muy bien clasificadas) y 0.99ϕ (moderadamente clasificadas). Sesgo entre 1.71 y 3.16, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 2.28 y 13.77, de base a cima: una platicúrtica, una mesocúrtica, una muy leptocúrtica, tres leptocúrticas, una muy leptocúrtica, dos leptocúrticas y una muy leptocúrtica; K' entre 0.70 y 0.93, leptocúrticas.

Interpretación sedimentológica de los índices granulométricos.

Media entre 1.44ϕ y 3.41ϕ (arena media, arena muy fina), Moda entre -1.77ϕ y 3.76ϕ (grava muy fina, arena muy fina), Mediana entre 0.29ϕ y 2.34ϕ (arena gruesa, arena fina); las variaciones en éstos parámetros indican cambios importantes en la velocidad del agente o agentes de transporte, en general se tuvo tracción y saltación (Visher, *op. cit.*); los valores modales indican que se tuvo: para la Unidad I de la base a la cima: tracción, saltación, tracción y saltación; para la Unidad II saltación en la base y tracción en la cima; y para la Unidad III se tuvo de base a cima: tracción en la base, saltación, tracción, saltación, tracción y saltación. Desviación estándar entre 0.01ϕ y 0.99ϕ (muy bien clasificadas a moderadamente clasificadas), los valores positivos y menores a 0.5ϕ indican un origen eólico (según Mason y Folk *op. cit.*, y Friedman *op. cit.*); las muestras que presentan éstas características son: de N-1 a N-4, N-6 y de N-8 a N-10 de la Unidad I; N-13 de la Unidad II; N-17, N-450 y N-500 a N600 de la Unidad III. Sesgo entre 1.57 y 3.16, sesgadas hacia los muy finos (sesgos positivos), el amplio rango entre los que se encuentran los valores indican fluctuaciones importantes en la velocidad del agente o agentes de transporte por un tiempo relativamente largo, y con velocidades muy por arriba de lo normal (Sahu, *op. cit.*). Kurtosis entre 1.31 y 13.77, muy platicúrticas a muy leptocúrticas. K' entre 0.57 y 0.93, todas las muestras son leptocúrticas, y de acuerdo con los trabajos de Mason y Folk (*op. cit.*), el tipo de depósito fue eólico.

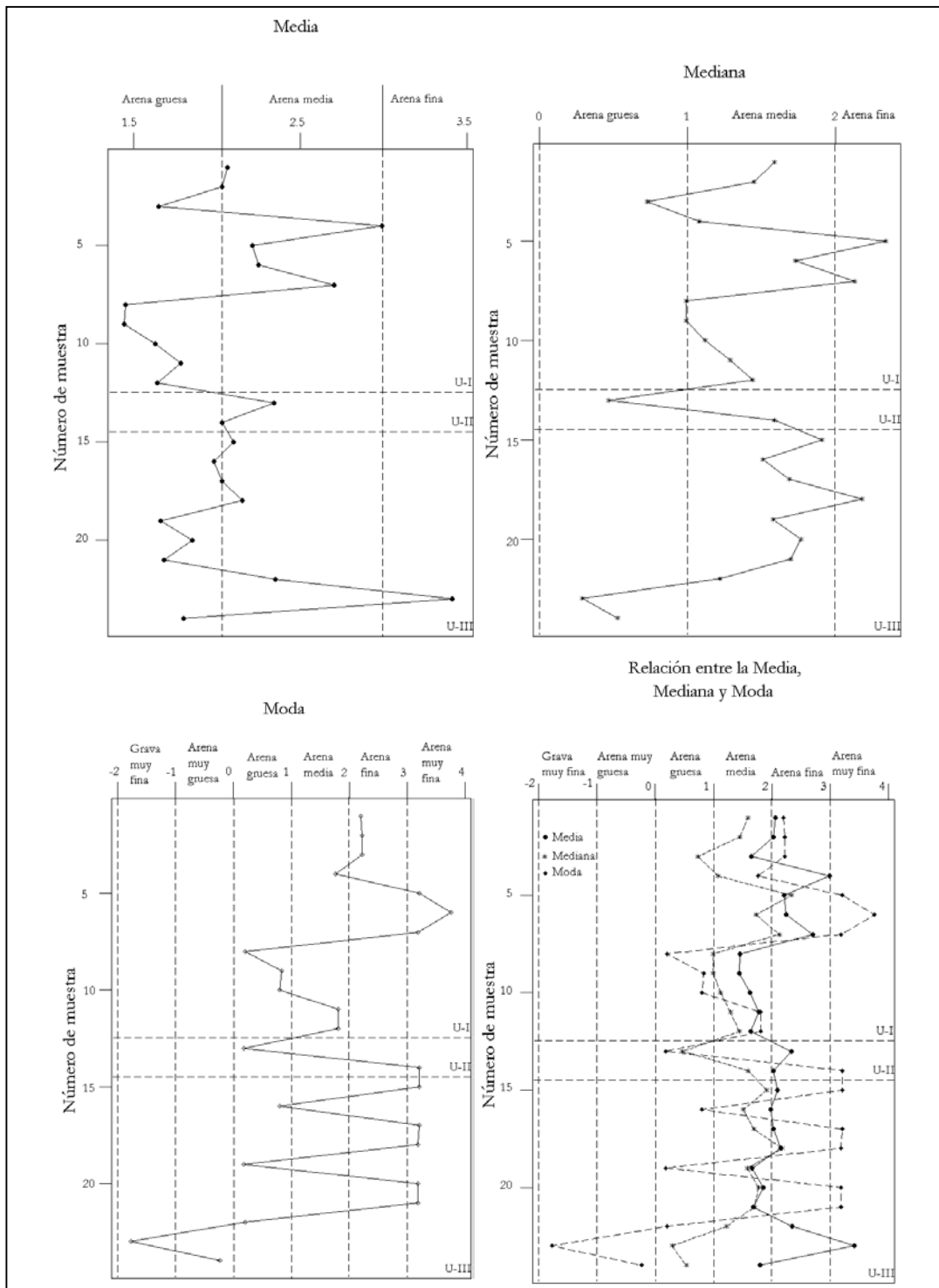


Figura 28. Variación de la Media, Mediana y Moda y relación entre Media-Mediana y Moda, para la Fracción Gruesa del perfil "Miguel Negrete".

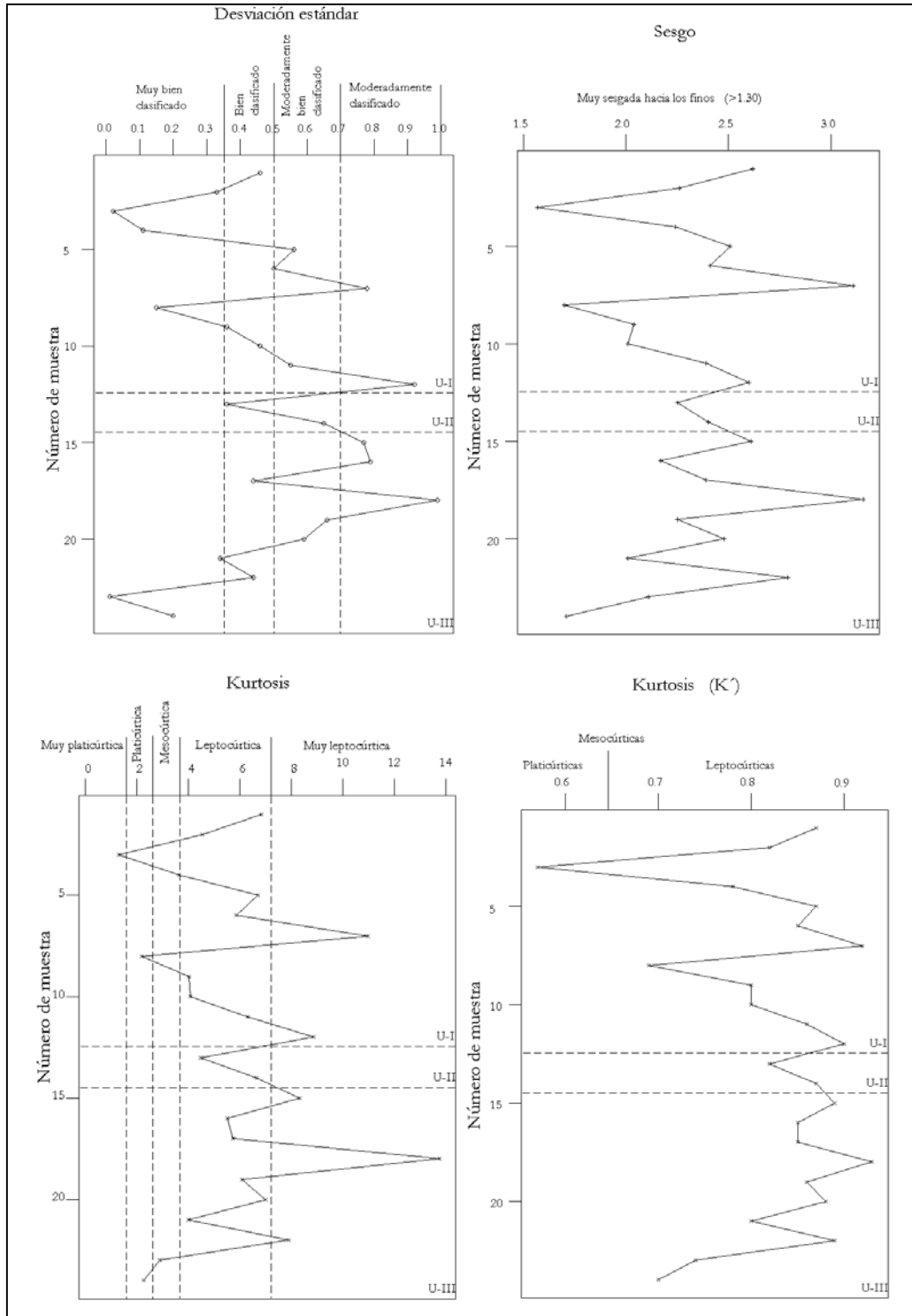


Figura 29. Variación en la Desviación Estándar, Sesgo, Kurtosis y K' , para la Fracción Gruesa del perfil "Miguel Negrete".



IV.1.2.5 Análisis Granulométrico de la Fracción Fina.

La Tabla 16 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustran en las Figuras 30 y 31.

Tabla 16. Valores de los Índices Granulométricos obtenidos para la Fracción Fina y valores calculados de K; Perfil “Miguel Negrete”.

UNIDAD	MUESTRA	PROF. (CM)	MEDIA	MEDIANA	MODA	D. E.	SESGO	K	K'
			Unidades phi (ϕ)						
U I	N-1	20	7.86	7.81	7.70	0.40	5.57	1.36	0.58
	N-2	40	7.77	7.77	7.76	0.42	4.66	1.22	0.55
	N-3	60	8.05	8.12	8.26	0.37	5.11	1.01	0.50
	N-4	80	7.36	7.33	7.28	0.44	4.15	1.00	0.50
	N-5	100	7.14	7.15	7.17	0.70	2.75	1.23	0.55
	N-6	120	7.01	7.09	7.25	0.83	2.16	1.41	0.59
	N-7	140	7.28	7.24	7.16	0.53	3.64	1.46	0.59
	N-8	160	7.36	7.32	7.24	0.46	4.24	1.13	0.53
	N-9	180	7.24	7.26	7.30	0.56	3.00	0.87	0.46
	N-10	200	7.16	7.15	7.13	0.56	3.15	0.98	0.49
	N-11	220	7.32	7.35	7.39	0.80	2.55	1.36	0.58
	N-12	240	7.27	7.26	7.25	0.48	3.75	1.14	0.53
U II	N-13	260	7.17	7.18	7.22	0.67	2.76	1.10	0.52
	N-14	280	6.49	6.93	7.81	1.07	0.97	1.09	0.52
U III	N-15	300	7.44	7.37	7.23	0.45	4.56	1.12	0.53
	N-16	320	7.24	7.26	7.28	0.76	2.73	1.35	0.57
	N-17	340	7.41	7.39	7.36	0.56	3.28	0.97	0.49
	N-18	360	6.88	7.05	7.39	0.94	1.68	1.54	0.61
	N-19	380	6.54	6.91	7.66	1.00	1.11	1.27	0.56
	N-20	400	7.18	7.15	7.09	0.49	3.34	0.70	0.41
	N-450	450	7.23	7.25	7.30	0.61	2.89	0.97	0.49
	N-500	500	7.04	7.05	7.07	0.70	3.15	1.61	0.62
	N-550	550	7.05	7.11	7.24	0.40	4.60	1.20	0.55
N-600	600	7.20	7.21	7.21	0.49	3.38	0.82	0.45	

Los índices granulométricos para cada unidad son:

Unidad I: La Media varía entre 7.01ϕ y 8.05ϕ , Mediana entre 7.09ϕ y 8.12ϕ , Moda entre 7.17ϕ y 8.26ϕ , se presentan pequeñas variaciones en valores correspondientes a limos finos, con una capa hacia la cima (muestra N-3) de limos muy finos. Desviación estándar entre 0.37ϕ (bien clasificada) y 0.83ϕ (moderadamente clasificada). Sesgo entre 2.16 y 5.57, muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.87 y 1.49, muy platicúrticas. K' entre 0.46 y 0.59, de base a cima: dos leptocúrticas, dos platicúrticas, cuatro leptocúrticas, dos mesocúrticas y dos leptocúrticas.

Unidad II: Media entre 6.49ϕ y 7.17ϕ , Mediana entre 6.93ϕ y 7.18ϕ , Moda entre 7.22ϕ y 7.81ϕ , gradación normal de limos medios a limos finos. Desviación estándar entre 0.67ϕ (moderadamente bien clasificada) y 1.07ϕ (mal clasificada). Sesgo entre 0.97 y 2.76, sesgada



hacia los finos a muy sesgada hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 1.09 y 1.10, muy platicúrticas. K' de 0.52, leptocúrticas.

Unidad III: Media entre 6.54ϕ y 7.44ϕ , de base a cima: gradación inversa de limo fina a limo medio, y gradación normal de limo medio a limo fino; Mediana entre 6.91ϕ y 7.39ϕ , de base a cima: gradación inversa de limo fino a limo medio, y gradación normal de limo medio a limos fino; Moda entre 7.07ϕ y 7.66ϕ , variaciones en limos finos. Desviación estándar entre 0.40ϕ (bien clasificada) y 1.00ϕ (mal clasificada). Sesgo entre 1.11 y 4.56, sesgada hacia los finos a muy sesgada hacia los finos (sesgos positivos). Kurtosis entre 0.70 y 1.61, muy platicúrticas. K' entre 0.41 y 0.62, de la base a la cima se tiene: una platicúrtica, dos leptocúrticas, dos platicúrticas, dos leptocúrticas, una platicúrtica y dos leptocúrticas.

Para las muestras de éste perfil tenemos que: la Media, Mediana y Moda se encuentran dentro de un intervalo general de entre 6.49ϕ y 8.26ϕ , el tamaño de las partículas es en general de limos medios, únicamente en el Unidad I (muestra N-3) se presenta limos muy finos; las variaciones en cada unidad nos indican de igual modo variaciones en la velocidad del agente de transporte, que actuó por suspensión, de acuerdo con los trabajos hechos por Visher (*op. cit.*). Desviación estándar entre 0.37ϕ y 1.07ϕ , entre bien clasificadas a moderadamente clasificadas, únicamente las muestras N-14 (Unidad II) y N-19 (Unidad III) están mal clasificadas; las muestras con valores positivos menores a 0.5: N-1 a N-4, N-8 y N-12 de la Unidad I; N-15, N-20, N-550 y N-600 de la Unidad III, indican un origen eólico según Mason y Folk (*op. cit.*) y Friedman (*op. cit.*). Sesgo entre 1.11 y 5.57, sesgadas hacia los finos a muy sesgadas hacia los finos (sesgos positivos); esto indica un origen eólico, según estudios realizados por Friedman (*op. cit.*); el rango de valores indica fluctuaciones importantes en la velocidad del agente de transporte por un periodo importante de tiempo, como en un ambiente eólico (Sahu *op. cit.*). Kurtosis entre 0.70 y 1.61, muy platicúrticas. K' entre 0.41 y 0.62, (platicúrticas y leptocúrticas); de acuerdo con los trabajos de Mason y Folk (*op. cit.*) las muestras platicúrticas: N-3, N-4, N-9 y N-10 de la Unidad I; N-17, N-20, N-450 y N-600 de la Unidad III, pueden provenir de un depósito de playa o de duna; mientras que las muestras leptocúrticas (todas las demás), indican un depósito eólico. Entonces de manera general, el análisis conjunto de todos los parámetros anteriores, nos indica que el agente de transporte que actuó fue de tipo eólico.

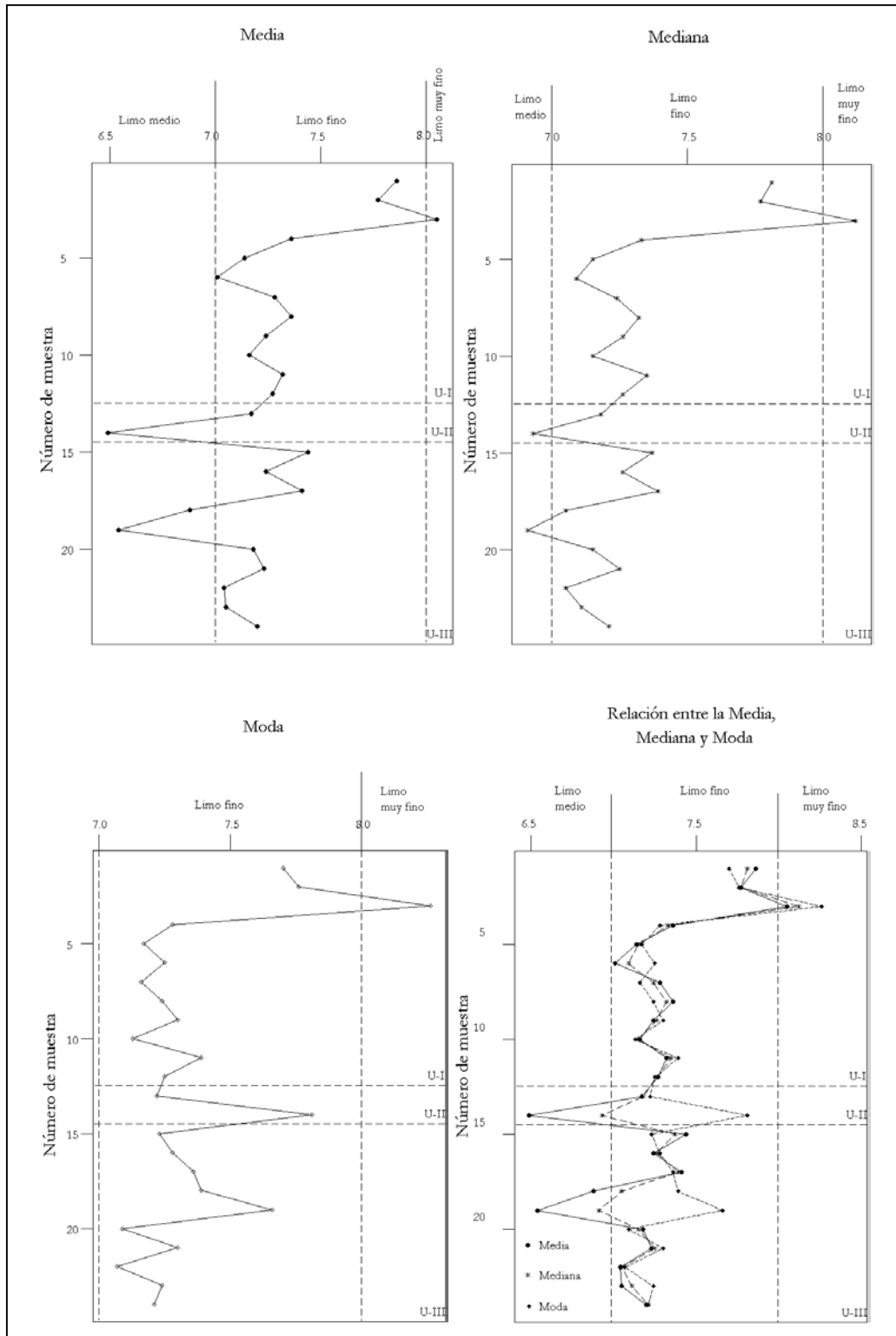


Figura 30. Variaciones en la Media Mediana, Moda y relación entre Media-Mediana-Moda, para la Fracción Fina del perfil "Miguel Negrete".

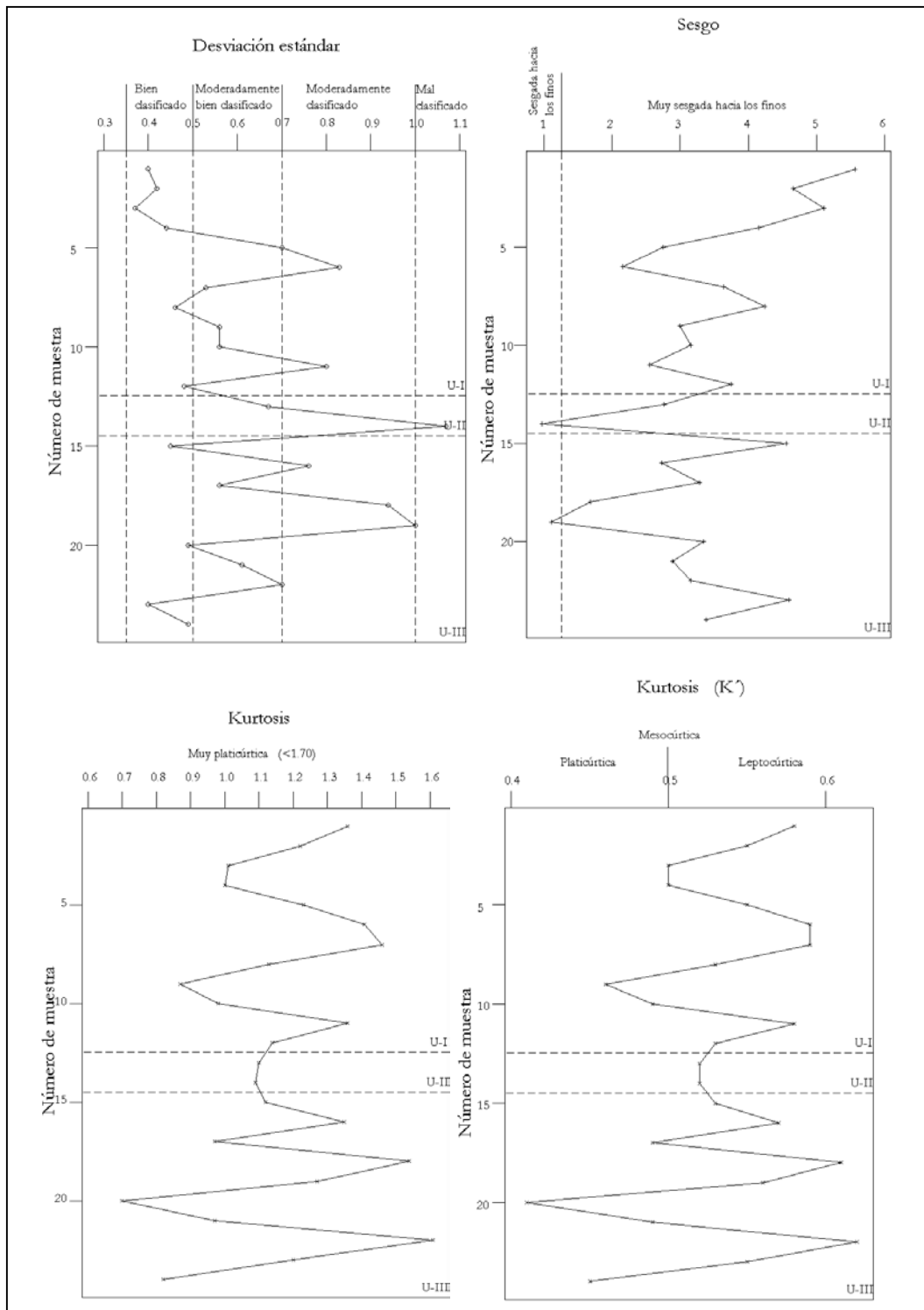


Figura 31. Variación de la Desviación Estándar, Sesgo, Kurtosis y K' , para la Fracción Fina del perfil "Miguel Negrete".



IV.1.2.6 Análisis Granulométrico de la Población Total.

IV.1.2.6.a Método Matemático de Momentos:

La Tabla 17 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustran en la Figura 32.

Tabla 17. Valores de los índices granulométricos obtenidos para la Población Total por el método de Momentos, Perfil "Miguel Negrete".

Unidad	Muestra	Media	D. E.	Sesgo	Kurtosis	K'
		Unidades phi (ϕ)				
U I	N-1	5.28	3.38	-2.24	-1.04	0.51
	N-2	5.8	3.19	-3.3	-0.18	0.15
	N-3	4.92	3.86	-2.16	-1.37	0.58
	N-4	4.16	3.68	-1.79	-1.31	0.57
	N-5	4.4	2.91	-0.93	-1.2	0.55
	N-6	5.57	2.63	-2.85	0.59	0.37
	N-7	5.56	2.82	-2.79	-0.14	0.12
	N-8	4.77	3.34	-2.04	-1.18	0.54
	N-9	4.33	3.32	-1.2	-1.45	0.59
	N-10	4.37	3.23	-1.31	-1.38	0.58
	N-11	4.25	3.3	-0.83	-1.46	0.59
	N-12	4.28	3.13	-0.59	-1.58	0.61
U II	N-13	2.4	3.44	1.15	-1.28	0.56
	N-14	3.33	2.88	0.05	-1.18	0.54
U III	N-15	4.51	3.13	-0.97	-1.35	0.57
	N-16	5.49	2.84	-2.57	-0.24	0.19
	N-17	6.08	2.64	-3.33	1.15	0.53
	N-18	5.95	2.15	-2.39	1.39	0.58
	N-19	5.24	2.51	-2.13	-0.11	0.10
	N-20	5.79	2.56	-2.86	0.57	0.36
	N-450	4.99	3.01	-1.95	-0.94	0.48
	N-500	5.16	2.93	-2.8	-0.09	0.08
	N-550	6.23	2.28	-4.67	6.25	0.86
N-600	6.15	2.5	-4.06	2.93	0.75	

Las características de cada unidad son:

Unidad I: Media entre 4.16ϕ y 5.80ϕ , de la base a la cima: gradación normal de limo muy grueso a limo grueso, gradación inversa de limo grueso a limo muy grueso, y gradación normal de limo muy grueso a limo grueso. Desviación estándar entre 2.63ϕ y 3.86ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -3.30 y -0.59 , muy sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos). Kurtosis entre -1.58 y 0.59 , muy platicúrticas. K' entre 0.12 y 0.61 , de base a cima: cinco leptocúrticas, dos platicúrticas, tres leptocúrticas, y dos leptocúrticas.

Unidad II: Media entre 2.40ϕ y 3.33ϕ , se tiene una gradación inversa de arenas muy finas a arenas finas. Desviación estándar entre 2.88ϕ y 3.44ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre 0.05 y 1.15 , simétrica a sesgada hacia los finos (sesgo positivo). Kurtosis entre -1.18 y -1.28 , muy platicúrticas. K' entre 0.54 y 0.56 , leptocúrticas.



Unidad IV: Media de 4.51ϕ a 6.23ϕ , gradación inversa de limo medio a limo muy grueso, con una capa hacia la cima de limo medio (muestra N-19). Desviación estándar entre 2.15ϕ y 3.13ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -4.67 y -0.97 , muy sesgadas hacia los gruesos a sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos). Kurtosis entre -1.39 y 6.25 , de base a cima: una mesocúrtica, una leptocúrtica, y ocho muy platicúrticas. K' entre 0.08 y 0.86 , de base a cima se tienen: dos leptocúrticas, cuatro platicúrticas, dos leptocúrticas, una platicúrtica y una leptocúrtica.

La Media varía entre 2.4ϕ y 6.23ϕ , arenas finas y limos medios; de acuerdo con los estudios de Visher (*op. cit.*), se tiene que a lo largo del perfil el transporte fue por suspensión, a excepción de la Unidad II, donde el transporte actuó por saltación. La Desviación Estándar se encuentra entre 2.15ϕ y 3.86ϕ , todas las muestras están muy mal clasificadas; esto contrasta con lo obtenido en los análisis anteriores, donde se tenía entre una moderada a una muy buena clasificación, los altos valores obtenidos nos señalan altas fluctuaciones en la velocidad durante un tiempo relativamente largo. El valor del Sesgo en general es muy sesgado hacia los gruesos (sesgos negativos), únicamente muestras que difieren en éste sentido están en la Unidad II: N13 (sesgo positivo) y N14 (simétrico); en los análisis anteriores, los sesgos fueron positivos; la gran variación nos indica importantes fluctuaciones en la velocidad del agente o agentes de transporte, durante un intervalo de tiempo largo y con velocidades muy por arriba de lo normal (Sahu, *op. cit.*). La Kurtosis se encuentra entre -1.58 y 6.25 , varían de leptocúrticas a muy platicúrticas. K' varía entre 0.08 y 0.86 (platicúrticas y leptocúrticas), según los estudios de Mason y Folk (*op. cit.*) las muestras platicúrticas: N-2, N-6 y N-7 de la Unidad I; y N-16 de la Unidad III, indican un depósito de playa o de duna; mientras que las muestras leptocúrticas, indican un depósito eólico o de duna.

De manera general, todo el análisis anterior nos indica que se trató de un depósito eólico.

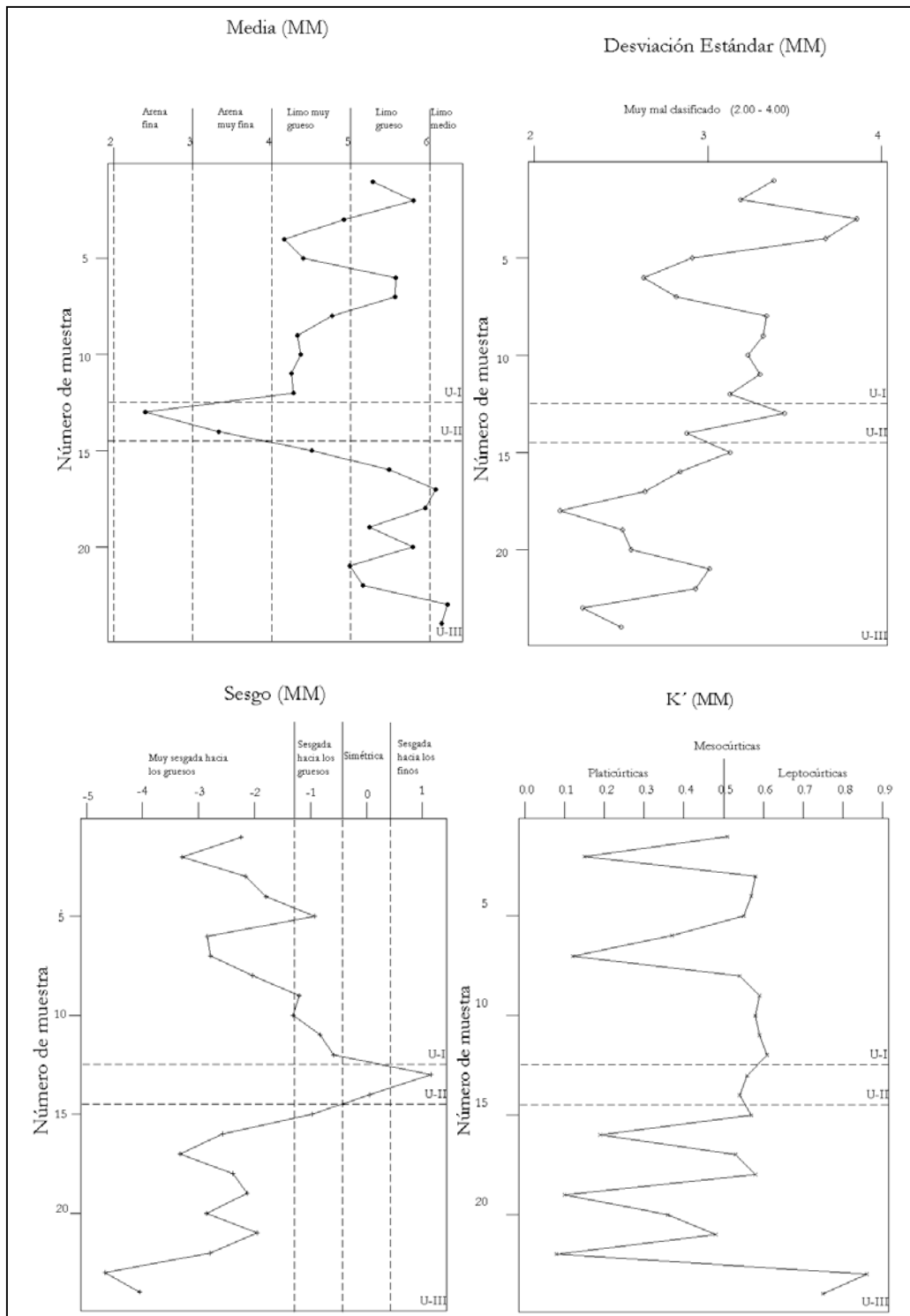


Figura 32. Variaciones en la Media, Desviación Estándar, Sesgo y K', para la Población Total obtenidos por medio del Método de Momentos. Perfil "Miguel Negrete".



IV.1.2.6.b Método Gráfico (FyW):

La Tabla 18 muestra los valores de los índices granulométricos obtenidos para cada muestra; la variación de éstos valores se ilustran en la Figura 33.

Tabla 18. Valores de los índices granulométricos obtenidos para la Población Total por el Método Gráfico de Folk y Ward, Perfil "Miguel Negrete".

Unidad	Muestra	Media	D. E.	Sesgo	Kurtosis	K'
		Unidades phi (ϕ)				
U I	N-1	5.78	3.03	-0.91	0.67	0.40
	N-2	6.07	3.02	-0.85	0.75	0.43
	N-3	5.44	3.71	-0.87	0.61	0.38
	N-4	4.74	3.65	-0.76	0.70	0.41
	N-5	4.45	2.79	-0.08	0.69	0.41
	N-6	5.75	2.59	-0.68	1.09	0.52
	N-7	5.87	2.68	-0.77	0.87	0.47
	N-8	5.10	3.27	-0.75	0.68	0.40
	N-9	5.05	3.25	-0.72	0.62	0.38
	N-10	4.92	3.11	-0.78	0.62	0.38
	N-11	4.47	3.24	-0.22	0.62	0.38
	N-12	4.27	2.86	-0.09	0.57	0.36
U II	N-13	2.57	3.70	0.31	0.60	0.38
	N-14	3.70	3.03	0.07	0.60	0.38
U III	N-15	4.44	3.04	-0.04	0.64	0.39
	N-16	5.58	2.81	-0.65	0.78	0.44
	N-17	6.12	2.48	-0.75	2.16	0.68
	N-18	6.23	2.00	-0.59	1.29	0.56
	N-19	5.54	2.34	-0.79	0.84	0.46
	N-20	5.78	2.51	-0.67	1.28	0.56
	N-450	5.40	2.91	-0.70	0.70	0.41
	N-500	5.29	2.77	-0.77	0.85	0.46
	N-550	7.04	1.44	-0.92	5.47	0.85
	N-600	6.74	1.98	-0.73	3.17	0.76

Para cada unidad de éste perfil, tenemos entonces lo siguiente:

Unidad I: Media entre 4.27ϕ y 6.07ϕ , de base a cima se tienen: gradación normal de limo muy grueso a limo grueso, gradación inversa de limo grueso a limo muy grueso y gradación normal de limo muy grueso a limo grueso, con N-2 de limo medio. Desviación estándar entre 2.59ϕ y 3.71ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -0.91 y -0.08 , muy sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos), con N-5 simétrica. Kurtosis entre 0.57 y 1.09, de base a cima: cuatro muy platicúrticas, dos platicúrticas, una mesocúrtica, dos platicúrticas, una muy platicúrtica y dos platicúrticas. K' entre 0.36 y 0.52, de base a cima: seis platicúrticas, una leptocúrtica, y cinco platicúrticas.

Unidad II: Media entre 2.57ϕ y 3.70ϕ , se tiene una gradación inversa de arenas muy finas a finas. Desviación estándar de 3.03ϕ a 3.70ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo de 0.07 a 0.31,



simétrica a muy sesgada hacia los finos (sesgo positivo). Kurtosis de 0.60, muy platicúrticas. K' de 0.38, platicúrticas.

Unidad III: Media entre 4.44ϕ y 7.04ϕ , se tiene de base a cima: gradación normal de limo medio a limo fino, gradación inversa de limo fina a limo grueso, gradación normal de limo grueso a limo medio, y gradación inversa de limo medio a limo muy grueso. Desviación estándar entre 1.43ϕ y 3.04ϕ , muy mal clasificadas. Sesgo entre -0.92 y -0.04 , muestras muy sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos) con una simétrica en la cima (N-15). Kurtosis entre 0.64 y 5.47, de base a cima: dos extremadamente leptocúrticas, una mesocúrtica, una platicúrtica, una leptocúrtica, una mesocúrtica, una leptocúrtica, una muy leptocúrtica, una platicúrtica y una muy platicúrtica. K' entre 0.39 y 0.85, de base a cima: dos leptocúrticas, dos platicúrticas, una leptocúrtica, una platicúrtica, dos leptocúrticas, y dos platicúrticas.

La Media se encuentra entre 2.57ϕ y 7.04ϕ , arenas finas y limos finos; de acuerdo con los estudios hechos por Visher (*op. cit.*), se tuvo suspensión a todo lo largo del perfil, únicamente la muestra N-13 de la Unidad II presentó saltación. La Desviación Estándar se encuentra entre 2.00ϕ y 3.71ϕ , muy mal clasificadas; éstos valores contrastan con los obtenidos en los análisis anteriores, donde se tuvo entre una moderada a una muy buena clasificación; los altos valores obtenidos nos señalan altas fluctuaciones en la velocidad durante un tiempo relativamente largo. El Sesgo varía entre -0.92 y 0.31 , las muestras en general están muy sesgadas hacia los gruesos (sesgos negativos), sólo las muestras: N-13 (sesgo positivo) de la Unidad II, N-14 y N-15 (simétricas) de las unidades II y III respectivamente, difieren de las demás; éstas variaciones nos indican fluctuaciones importantes en la velocidad del agente o agentes de transporte, durante un intervalo de tiempo largo y con velocidades muy por arriba de lo normal (Sahu, *op. cit.*). La Kurtosis varía entre 0.57 y 5.47, las muestras están entre muy platicúrticas y extremadamente leptocúrticas. K' varía entre 0.36 y 0.85, platicúrticas a leptocúrticas; de acuerdo con los estudios de Mason y Folk (*op. cit.*) las muestras leptocúrticas: N-6 de la Unidad I; y N-17, N-18 y N-20 de la Unidad III, indican un depósito eólico; las muestras platicúrticas (todas las demás), indican un depósito de playa o duna.

El análisis anterior nos indica de forma general, que todo el material proviene de un depósito eólico.

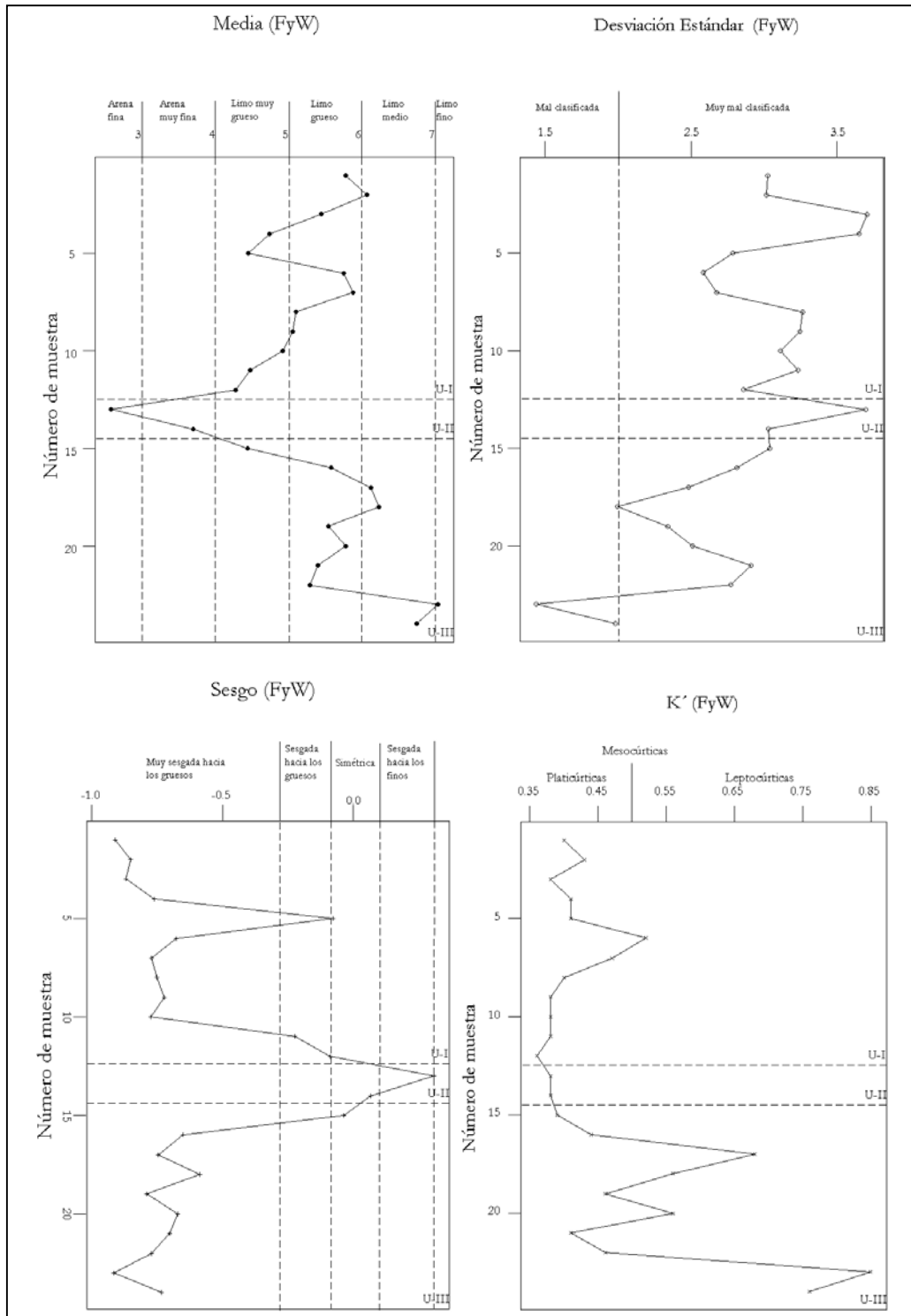


Figura 33. Variaciones en la Media, Desviación Estándar, Sesgo y K' , para la Población Total obtenidos por medio del Método Gráfico. Perfil "Miguel Negrete".



IV.1.2.7 Materia Orgánica, Carbonatos totales y Materia Mineral.

En la Tabla 19 se muestran los porcentajes obtenidos para la materia orgánica, los carbonatos totales (CaCO₃) y la materia mineral; en la Figura 34 se muestran las variaciones de los parámetros granulométricos.

Tabla 19. Porcentajes de Materia Orgánica, Carbonato de Calcio y Materia Mineral, para las muestras del Perfil "Miguel Negrete".

Unidad	Muestra	Prof. (cm)	% Mat. Org.	% CaCO ₃	% Mat. Min.
U I	N-1	20	7.4	5	87.6
	N-2	40	7.8	5.9	86.3
	N-3	60	7.2	6.9	85.9
	N-4	80	5	14.3	80.7
	N-5	100	3.6	5.2	91.2
	N-6	120	4.6	15.1	80.3
	N-7	140	3	8.5	88.5
	N-8	160	2.8	14.8	82.4
	N-9	180	5.2	9.3	85.5
	N-10	200	4.8	6.3	88.9
	N-11	220	5.6	3.6	90.8
	N-12	240	3.8	2.5	93.7
U II	N-13	260	3.4	2.3	94.3
	N-14	280	3.4	1.9	94.7
U III	N-15	300	2.4	2.5	95.1
	N-16	320	5.4	4.2	90.4
	N-17	340	9.2	6.4	84.4
	N-18	360	9.6	5.5	84.9
	N-19	380	8	4.6	87.4
	N-20	400	8.6	4.4	87
	N-450	450	5.4	3	91.6
	N-500	500	5	4.8	90.2
	N-550	550	8.4	8.7	82.9
	N-600	600	4.4	5.2	90.4

Para éste perfil, se tiene que:

- Unidad I. El porcentaje de materia orgánica varía entre 2.8% y 7.8%. El porcentaje de carbonato de calcio varía entre 2.5% y 15.1%. El porcentaje de materia mineral varía entre 80.3% y 93.7%.
- Unidad II. El porcentaje de materia orgánica es de 3.4%. El porcentaje de carbonato de calcio varía entre 1.9% y 2.3%. El porcentaje de materia mineral varía entre 94.3 % y 94.7%.
- Unidad IV. El porcentaje de materia orgánica varía entre 2.4% y 9.6%. El porcentaje de carbonato de calcio varía entre 2.5% y 8.7%. El porcentaje de materia mineral varía entre 82.9% y 95.1%.

En general, observamos que la cantidad de materia orgánica a lo largo de éste perfil es muy variable, entre 2.8% (N-8, U II) y 9.6% (N-18, U IV). El porcentaje de carbonato de calcio también es variable, entre 1.9% (N-14, U III) y 15.1% (N-6, U I). El porcentaje de materia mineral es en general alto, el valor menor es de 80.3% en la muestra N-6 de U I.

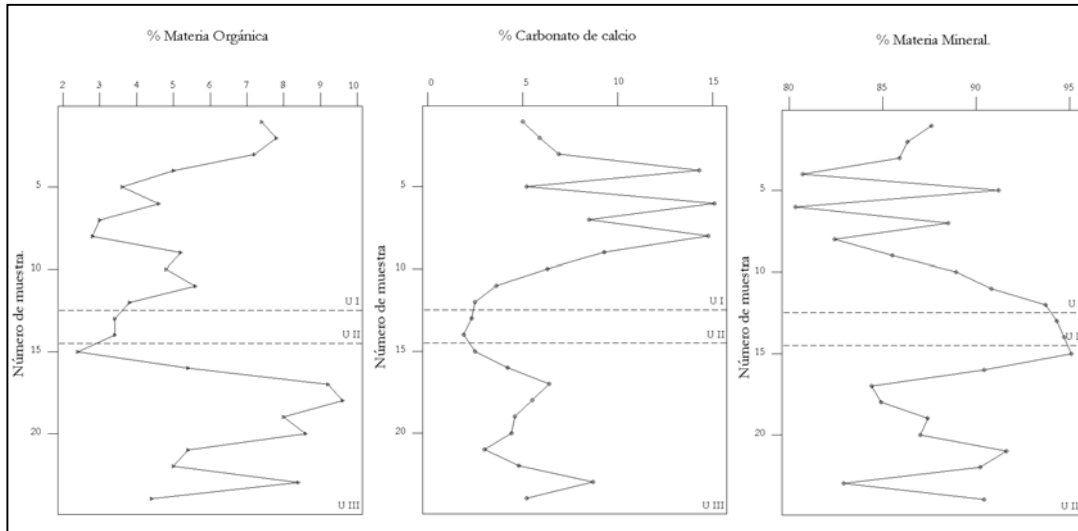


Figura 34. Variaciones en los porcentajes de Materia Orgánica, Carbonato de Calcio y Materia Mineral. Perfil "Miguel Negrete".

Los bajos porcentajes de materia orgánica y carbonatos totales, indican inestabilidad en el ambiente provocada por el viento. El origen de los carbonatos es ambiental, ya que en el área las rocas carbonatadas de la Fm Ahuichila (conglomerados) afloran al este-sureste; los carbonatos precipitaron por la acción bacteriana asociada con las raíces. Las plantas sirvieron además como trampas para la acumulación a su alrededor de las partículas del tamaño de limos y arcillas.

IV.2 DISCUSIÓN.

La aplicación en Sedimentología de nuevos métodos para el estudio y análisis del tamaño de granos, nos proporcionan una mayor seguridad y confianza en los datos obtenidos para la identificación del tipo o tipos de ambientes en una región dada. La utilización del equipo con tecnología láser a través del programa “LPC”, permite análisis más rápidos en el estudio de la fracción fina (limos y arcillas) en comparación con el método tradicional de pipeta; el programa proporciona además un informe detallado de las características de la muestra estudiada. En el análisis de la fracción gruesa (gravas y arenas) por Ro-Tap, el uso del programa “Autosieb” también proporciona rápidamente los parámetros estadísticos que caracterizan a cada una de las muestras.

La utilización de *Excel* permite realizar de forma más rápida y fácil los cálculos necesarios del Método Matemático de Momentos; en los primeros estudios granulométrico realizados, éste método no era muy utilizado principalmente por ser muy laborioso, fue por ello que varios investigadores (entre ellos Folk y Ward, 1957) idearon métodos gráficos para obtener los parámetros granulométricos y así concluir sus estudios. La aplicación de cualquiera de los dos métodos anteriores se diferencia al comparar los valores de sesgo y kurtosis, ya que el Método Matemático de Momentos considera al 100% de la distribución, mientras que el Método Gráfico sólo considera al 90% central de la distribución. La utilización del programa “*Gradistal*” (escrito en *Visual Basic*, y que funciona a partir de una hoja de cálculo en *Excel*), nos proporcionó los índices granulométricos del Método Gráfico de Folk y Ward y las características de la curva de distribución, esto nos facilitó la obtención rápida (sin la realización de gráficas ni la aplicación de las fórmulas), y la interpretación de dichos datos. Las gráficas de variación de cada parámetro estadístico, así como las del contenido de materia orgánica, materia mineral y carbonato de calcio, se graficaron en series de tiempo en el programa estadístico de computo “*Minitab 1.3 para Windows*”.

El Método Gráfico de Folk y Ward tiene una mejor aplicación en muestras unimodales y bimodales, pues son prácticamente simétricas. En éste trabajo se considera más oportuna la utilización del Método de Matemático de Momentos, pues éste toma en cuenta toda la distribución, y porque las muestras son bimodales y polimodales, y la mayoría son sesgadas o asimétricas.

A partir de los resultados de los análisis para ambos perfiles, tenemos que las medidas de tendencia central (Media, Mediana y Moda) son el resultado de la competencia del agente de transporte, por lo que indican las condiciones del mismo y del depósito. El tamaño medio para el perfil “El Llano” se mantuvo entre 1ϕ (arena media) y 5ϕ (limo medio), teniendo poblaciones transportadas por tracción, saltación y suspensión (de acuerdo con los estudios de Visher, *op. cit.*). Para el perfil “Miguel Negrete”, los tamaños medios van de 2ϕ (arena fina) a 7ϕ (limo fino), teniendo poblaciones transportadas por saltación y suspensión (Visher, *op. cit.*). Éstas características de las medidas de tendencia central no nos permiten determinar el tipo de agente de transporte, pues sólo nos indican los tamaños característicos de las partículas, siendo más importantes las relaciones entre éstas medidas y las medidas de dispersión. Es importante notar la presencia de granos del tamaño de grava muy fina (-2ϕ), lo cual se da por un retrabajo en el material original, como resultado del movimiento de masas (flujos de lodo o flujos de detritus) y por deslizamientos, o por erosión.

La Desviación Estándar señala fluctuaciones en la velocidad del agente de transporte y en las condiciones del depósito. Ambos perfiles están muy mal clasificados, por lo que hubo altas

fluctuaciones de energía durante un tiempo relativamente largo. Observamos que dichas variaciones energéticas representan variaciones en los tamaños promedios.

El Sesgo también representa las fluctuaciones en la energía (velocidad). Los valores sesgados hacia los tamaños gruesos (sesgos negativos), indican que los niveles de energía estuvieron muy por arriba de los valores promedio y que ocurrieron con más frecuencia que los niveles de baja energía, también indican que la depositación fue más rápida que la velocidad promedio del agente de transporte, y que los cambios en la velocidad fueron más elevados y ocurrieron de manera anormal, lo que permitió el depósito de grandes paquetes de sedimentos (Mason y Folk *op. cit.*, Sahu *op. cit.*, Friedman *op. cit.*). Los valores sesgados hacia los tamaños finos (sesgos positivos), indican que la media se sitúa hacia los valores grandes con respecto a la mediana, por lo que el flujo fue unidireccional (sedimentos de origen fluvial y/o eólico). En conjunto con los valores anteriores, podemos considerar un transporte por viento para todas las muestras en ambos perfiles, puesto que además los cambios en la velocidad pueden darse también por un agente eólico.

La Kurtosis es la medida de dispersión o concentración alrededor de la media. Las muestras platocúrticas indican ambientes de playa o duna, y las muestras leptocúrticas indican sedimentos de origen eólico (Mason y Folk, *op. cit.*), reflejan además niveles de energía altos, y en relación con la media, desviación estándar y sesgo, señalan un ambiente eólico (Sahu, *op. cit.*).

Lo anterior parece indicar un agente de transporte de tipo eólico, lo cual fue corroborado aplicando el análisis multivariable propuesto por Greenwood (1969). Éste análisis utiliza los índices granulométricos obtenidos por el método de momentos, y distingue entre un ambiente de playa de un ambiente eólico a través de la siguiente fórmula:

$$R_1 = -8.64m\phi - 1.610s\phi - 2.631sk\phi - 0.059k\phi,$$

donde $m\phi$ es el valor de la media, $s\phi$ es el valor de la desviación estándar, $sk\phi$ es el valor del sesgo, y $k\phi$ es el valor de la kurtosis. Si el valor obtenido de R_1 es mayor a -20.997 el ambiente es de playa, si es menor el origen es eólico.

Greenwood propuso en ése mismo trabajo una segunda fórmula:

$$R_2 = -8.383m\phi - 0.387s\phi - 2.160sk\phi.$$

Si el valor de R_2 es mayor a -19.986 el ambiente es de playa, si es menor el origen es eólico. Los resultados se muestran en las Tablas 20 y 21.

Se concluye que el tipo de agente de transporte que actuó en la región fue el viento.

El bajo porcentaje en el contenido de carbonatos de calcio en las muestras (el máximo se acerca al 15%), nos indica que éstos fueron por transportados y depositados por viento y/o lluvia, ésta hipótesis se confirma al conocer que solo afloran pequeñas áreas rocas carbonatadas de la Fm. Ahuichila (conglomerados) hacia la parte este-sureste de la región. Su presencia se explica por la precipitación de éstos debido a procesos asociados a la vegetación (fijación en raíces por actividad bacteriana), durante cortos periodos estables por lluvia.

El contenido de materia orgánica nos indica la estabilidad del ambiente; un ambiente estable permite primordialmente el crecimiento y desarrollo vegetal. En ambos perfiles el contenido no fue superior al 10%, lo que nos sugiere que las condiciones para el desarrollo de vegetación eran inestables. El viento parece ser la principal causa, ya que como se vio anteriormente, éste pudo desplazar y transportar granos hasta por tracción, no permitiendo así la conservación y germinación de semillas.

Los resultados de todos los análisis anteriores en conjunto con las características físicas del área, nos ayudan a concluir que el ambiente de depósito fue de tipo *Loess*.



Tabla 21. Determinación del tipo de ambiente de acuerdo al análisis multivariable de Greenwood (1969), perfil "Miguel Negrete".

Muestra	$m\phi$	$s\phi$	$s\phi\phi$	$k\phi$	R_1	Ambiente	R_2	Ambiente
N-1	5.28	3.38	-2.24	-1.04	-45.106	Eólico	-40.752	Eólico
N-2	5.8	3.19	-3.3	-0.18	-46.555	Eólico	-42.728	Eólico
N-3	4.92	3.86	-2.16	-1.37	-42.960	Eólico	-38.073	Eólico
N-4	4.16	3.68	-1.79	-1.31	-37.080	Eólico	-32.431	Eólico
N-5	4.4	2.91	-0.93	-1.2	-40.183	Eólico	-36.003	Eólico
N-6	5.57	2.63	-2.85	0.59	-44.896	Eólico	-41.555	Eólico
N-7	5.56	2.82	-2.79	-0.14	-45.230	Eólico	-41.674	Eólico
N-8	4.77	3.34	-2.04	-1.18	-41.153	Eólico	-36.873	Eólico
N-9	4.33	3.32	-1.2	-1.45	-39.514	Eólico	-34.991	Eólico
N-10	4.37	3.23	-1.31	-1.38	-39.429	Eólico	-35.054	Eólico
N-11	4.25	3.3	-0.83	-1.46	-39.763	Eólico	-35.112	Eólico
N-12	4.28	3.13	-0.59	-1.58	-40.373	Eólico	-35.816	Eólico
N-13	2.4	3.44	1.15	-1.28	-29.225	Eólico	-23.934	Eólico
N-14	3.33	2.88	0.05	-1.18	-33.470	Eólico	-29.138	Eólico
N-15	4.51	3.13	-0.97	-1.35	-41.374	Eólico	-36.923	Eólico
N-16	5.49	2.84	-2.57	-0.24	-45.230	Eólico	-41.571	Eólico
N-17	6.08	2.64	-3.33	1.15	-48.088	Eólico	-44.798	Eólico
N-18	5.95	2.15	-2.39	1.39	-48.663	Eólico	-45.549	Eólico
N-19	5.24	2.51	-2.13	-0.11	-43.704	Eólico	-40.297	Eólico
N-20	5.79	2.56	-2.86	0.57	-46.656	Eólico	-43.351	Eólico
N-450	4.99	3.01	-1.95	-0.94	-42.774	Eólico	-38.784	Eólico
N-500	5.16	2.93	-2.8	-0.09	-41.928	Eólico	-38.342	Eólico
N-550	6.23	2.28	-4.67	6.25	-45.580	Eólico	-43.021	Eólico
N-600	6.15	2.5	-4.06	2.93	-46.652	Eólico	-43.753	Eólico

Tabla 20. Determinación del tipo de ambiente de acuerdo al análisis multivariable de Greenwood (1969), perfil "El Llano".

Muestra	$m\phi$	$s\phi$	$s\phi\phi$	$k\phi$	R_1	Ambiente	R_2	Ambiente
Ll-1	5.41	2.7	-2.23	-0.29	-45.205	Eólico	-41.580	Eólico
Ll-2	5.27	2.97	-2.96	0.96	-42.583	Eólico	-38.934	Eólico
Ll-3	4.2	3.47	-0.72	-1.3	-39.904	Eólico	-34.996	Eólico
Ll-4	4.07	3.43	-1.5	-1.14	-36.673	Eólico	-32.206	Eólico
Ll-5	4.29	3.46	-1.38	-1.19	-38.935	Eólico	-34.321	Eólico
Ll-6	4.64	2.91	-1.14	-1.15	-41.708	Eólico	-37.561	Eólico
Ll-7	4.58	3.15	-1.22	-1.2	-41.362	Eólico	-36.978	Eólico
Ll-8	5.05	3.94	0.67	-0.63	-51.701	Eólico	-45.306	Eólico
Ll-9	4.51	3.28	-1.15	-1.24	-41.148	Eólico	-36.593	Eólico
Ll-10	5.27	2.94	-1.03	-1.29	-47.480	Eólico	-43.091	Eólico
Ll-11	4.42	2.89	-0.59	-1.33	-41.211	Eólico	-36.897	Eólico
Ll-12	3.22	3.21	0.86	-1.26	-35.177	Eólico	-30.093	Eólico
Ll-13	2.08	3.29	2.31	-0.71	-29.304	Eólico	-23.699	Eólico
Ll-14	2.18	3.13	2.26	-0.63	-29.783	Eólico	-24.368	Eólico
Ll-15	1.75	3.52	2.37	-0.97	-26.965	Eólico	-21.152	Eólico
Ll-16	2.12	3.78	2.23	-1.18	-30.200	Eólico	-24.052	Eólico
Ll-17	2.48	3.38	2.19	-0.81	-32.583	Eólico	-26.828	Eólico
Ll-18	2.63	3.71	0.48	-1.47	-29.872	Eólico	-24.520	Eólico
Ll-19	4.45	3.48	-2.12	-1.06	-38.411	Eólico	-34.072	Eólico
Ll-20	3.96	3.49	-1.05	-1.25	-36.997	Eólico	-32.279	Eólico
Ll-450	3.65	3.34	0.07	-1.38	-37.016	Eólico	-32.042	Eólico
Ll-500	3.56	2.48	1.94	-0.69	-39.815	Eólico	-34.994	Eólico
Ll-550	2.66	3.05	1.67	-0.36	-32.265	Eólico	-27.086	Eólico
Ll-600	2.85	3.19	1.27	-1.1	-33.036	Eólico	-27.869	Eólico

Un *Loess* es (de acuerdo con Pye, 1996) un depósito originado por procesos eólicos, y se caracteriza por contener más del 50% de partículas del tamaño de limos ($4\phi-9\phi$), con una moda en el rango del tamaño de limos gruesos a limos medios ($5\phi-6\phi$), como se muestra en la Figura 35; el porcentaje de arenas y de arcillas es variable, y si se tiene un 20% de cualquiera de éstas poblaciones se denomina *loess arenoso* o *loess arcilloso* en cada caso; su mineralogía es variada y refleja la naturaleza de la superficie y los procesos sedimentarios de la región donde se encuentran.

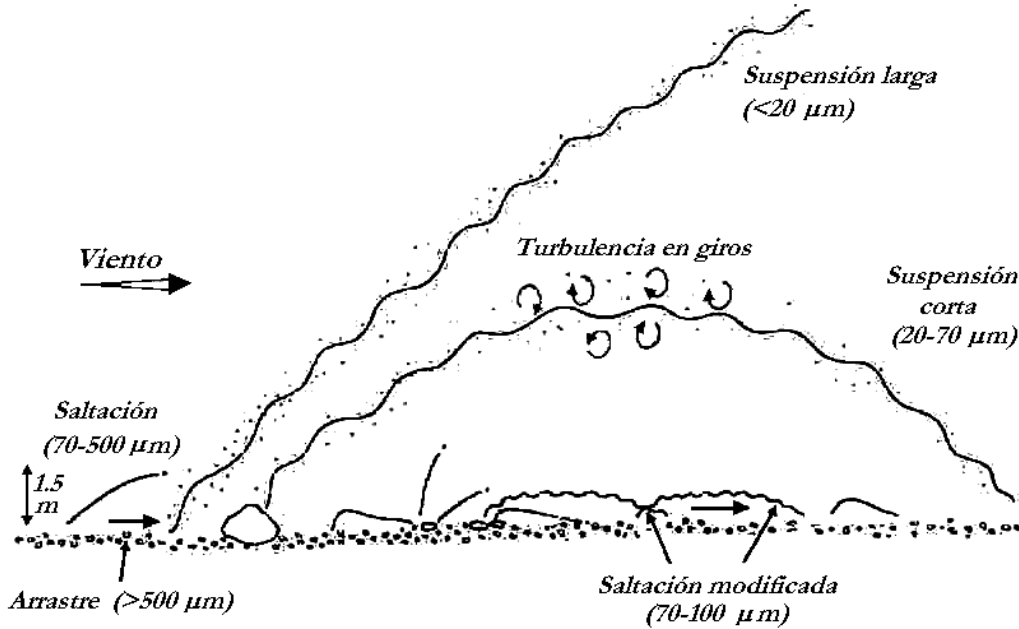


Figura 35. Modos de transporte por viento en Loess, rangos de tamaño típicos transportados durante tormentas de viento moderadas, con velocidades a partir de los 6.7 m/s. (Pye, 1987 y 1994).

El mismo autor señala que en algunos ambientes con una baja densidad vegetativa, particularmente en escarpes muy inclinados y en regiones áridas, éstos tipos de depósitos pueden presentar a menudo algún grado de retrabajo por procesos de lavado superficial y por deslizamientos de suelo; al transportar sedimentos bajo éstas circunstancias y como resultado de una inclinación baja, se puede producir una estratificación débil. En circunstancias extremas los *Loess* pueden ser removidos completamente de crestas altas y de zonas muy inclinadas, acumulándose al pie de las pendientes y en terrazas en los fondos de los valles.

Lo anteriormente expuesto, nos permite explicar las peculiaridades que se presentan en los tipos de gradación observados a lo largo de ambos perfiles.



V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

V.1 CONCLUSIONES.

Los análisis realizados en las 48 muestras provenientes de las dos perforaciones de la región de la Laguna de Santiaguillo, nos arrojan los siguientes resultados:

- Los índices granulométricos determinados para la fracción gruesa, fracción fina y población total, indican un agente de transporte de tipo eólico para ambos perfiles; esto se corroboró con la aplicación de un análisis multivariable.
- Los porcentajes del contenido de materia orgánica y de carbonatos de calcio, indican un ambiente inestable asociado con el viento.

Lo anterior nos permite determinar que el ambiente en la región es de tipo *Loess*, y que presenta algún grado de retrabajo por las gradaciones en los granos, y que se presentan en ambos perfiles

V.2 RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de los análisis granulométricos empleados, se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Realizar el análisis de color para cada muestra; puede decirse que los tonos amarillos que presentan las muestras, se deben a una baja concentración de materia orgánica, pero hay que definirlo mejor para cada una de las muestras.
2. El fechamiento del material por C_{14} en las capas con mayor contenido de materia orgánica.
3. Identificación del tipo de minerales arcillosos presentes (minerales de neoformación) por el método de difracción de rayos X, y que puedan ser de interés económico.
4. Análisis de tierras raras, también de interés económico.
5. Aplicación de un análisis en componentes principales para obtener la correlación estratigráfica.

**Bibliografía.**

- ❑ AGUILAR-Castro, R. 1969. *Intervenciones de la Geología en la agricultura, particularmente en el Valle de Canatlán, Estado de Durango México*. Tesis Profesional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional.
 - ❑ BLOTT, S. J. 2000. *GRADISTAT Version 4.0: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer*. Manual de manejo del programa.
 - ❑ BLOTT, S. J. and PYE, K., 2001. *Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments*. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 26, pp. 1237-1248.
 - ❑ CANAVOS, G. C. 1988. *Probabilidad y Estadística, aplicaciones y métodos*. McGraw-Hill, México, pp. 14-19, 67-71.
 - ❑ CETENAL. 1977. Carta Geológica Donato Guerra, Dgo. G13D62, escala 1:50,000. Comisión de estudios del Territorio Nacional, Secretaría de Programación y Presupuesto. México D. F.
 - ❑ CÓRDOBA D. A. 1988. *Estratigrafía de las rocas volcánicas de la región entre Sierra de Gamón y Laguna de Santiaguillo, Estado de Durango*: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, vol. 7, núm. 2, pp. 136-147.
 - ❑ CRUZ-Pineda, M. y NAVA-Villalpando, R. R. 1990. *Geología y algunos aspectos hidrológicos de la Hoja Durango (G13-II) en el sector central del Estado de Durango*. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
 - ❑ DAVIS, M.W. & EHRLICH, R. 1970. *Relationship between measures of sediment-size-frequency distributions and the nature of sediments*: Geological Society of America Bulletin, vol. 81, pp. 3537-3548.
 - ❑ DEAN, W. E. 1974. *Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 44, núm. 1, pp. 242-248.
 - ❑ DETENAL. 1977. Carta Geológica Nuevo Ideal, Dgo. G13C59, escala 1:50,000. Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, Coordinación General del Sistema Nacional de Información, Secretaría de Programación y Presupuesto. México D. F.
 - ❑ DETENAL. 1978. Carta Geológica Guatimapé, Dgo. G13D51, escala 1:50,000. Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, Coordinación General del Sistema Nacional de Información, Secretaría de Programación y Presupuesto. México D. F.
-



-
- ☐ DETENAL. 1978. Carta Geológica Canatlán, Dgo. G13D61, escala 1:50,000. Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, Coordinación General del Sistema Nacional de Información, Secretaría de Programación y Presupuesto. México D. F.
 - ☐ DETENAL. 1977. Carta Geológica San Juan del Río, Dgo. G13D52, escala 1:50,000. Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, Coordinación General del Sistema Nacional de Información, Secretaría de Programación y Presupuesto. México D. F.
 - ☐ FOLK, R. L. 1954. *The distribution between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature*: Journal of Geology, vol. 62, pp. 344-359.
 - ☐ FOLK, R. L. 1964. *Carbonate sediments of Isla Pérez, Alacrán Ref. Complex, Yucatán*: Journal of Geology, vol. 72, pp. 255-292.
 - ☐ FOLK, R. L. and WARD W. C. 1957. *Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 27, núm. 1, pp.3-26.
 - ☐ FOLK, R. L. 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, EE.UU.
 - ☐ FRIEDMAN, G. M. 1961. *Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 31, núm. 4, pp. 514-529
 - ☐ GASCÓN-Villa, I. 1983. *Estudio geológico final y pruebas de permeabilidad del proyecto para presa de almacenamiento "Canoas", municipio de Canatlán, Estado de Durango*. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
 - ☐ GREENWOOD, B. 1969. *Sediment parameters and environment discrimination: an application of multivariate statistics*: Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 6, pp. 1347-1357.
 - ☐ GRIFFITHS, J. C. 1967. *Scientific method in analysis of sediments*. McGraw-Hill, EE.UU., pp. 87-92.
 - ☐ HERRERA, S. R. 2001. *Geotecnia en ingeniería de presas*. IMTA.
 - ☐ INEGI. 1981. Carta Topográfica Nuevo Ideal, Dgo. G13C59, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D. F.
 - ☐ INEGI. 1996. Carta Topográfica La Campana, Dgo. G13C69, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D. F.
 - ☐ INEGI. 1986. Carta Topográfica Guatimapé, Dgo. G13D51, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D. F.
 - ☐ INEGI. 1981. Carta Topográfica Canatlán, Dgo. G13D61, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D. F.
-



-
- ☐ INEGI. 1985. Carta Topográfica San Juan del Río, Dgo. G13D52, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D. F.
 - ☐ INEGI. 1987. Carta Topográfica Donato Guerra, Dgo. G13D62, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D. F.
 - ☐ INMAN, D. L. 1949. *Sorting of sediments in the light of fluid mechanics*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 19, núm. 2, pp. 51-70.
 - ☐ INMAN, D. L. 1952. *Measures for describing the size distribution of sediments*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 22, núm. 3, pp. 125-145.
 - ☐ KOLDIJK, W. S. 1968. *On environment sensitive grain-size parameters*: Sedimentology, vol. 10, pp. 57-69.
 - ☐ KRUMBEIN, W. C. 1936. *Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 6, núm. 1, pp. 35-47.
 - ☐ MALPICA-Cruz, V. M., BARCELÓ, J., BARRADAS, J. P., MOYA, J. C., MONROY, F. 1994. *Cuaderno de prácticas laboratorio de Sedimentología*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
 - ☐ MASON-Curtis, C. and FOLK, R. L. 1958. *Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 28, núm. 2, pp. 211-226.
 - ☐ ORTEGA-Gutiérrez, F., *et. al.* 1992. *Texto explicativo de la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana, escala 1:2'000,000*. Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México y Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, pp. 12-13.
 - ☐ PASSEGA, R. 1964. *Grain size representation by cm patterns as a geological tool*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 34, núm. 4, pp. 830-847.
 - ☐ PASSEGA, R. 1977. *Significance of cm diagrams of sediments deposited by suspensions*: Sedimentology, vol. 24, pp. 723-733.
 - ☐ PROTHERO, D. R. and SCHWAB, F. 1997. *Sedimentary Geology, an introduction to sedimentary rocks and stratigraphy*. W. H. Freeman and Company, EE.UU.
 - ☐ PYE, K. 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press Inc., Gran Bretaña, pp. 48-49.
 - ☐ PYE, K. 1994. *Sediment transport and depositional processes*. Blackwell Scientific Publications, Gran Bretaña, pp. 309-313.
-



- ▣ PYE, K. 1996. *The nature, origin and accumulation of loess*: Quaternary Science Reviews, vol. 14, pp. 653-667.
 - ▣ SAHU, B. K. 1964. *Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 34, núm. 1, pp. 73-83.
 - ▣ SILVA-R., MENDOZA-R. y CAMPOS-M. 2001. *Elementos de cartografía geológica*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
 - ▣ VISHNER, G. S. 1969. *Grain size distributions and depositional processes*: Journal of Sedimentary Petrology, vol. 39, núm. 3, pp. 1074-1106.
 - ▣ YAMAMOTO, J. 1993. *Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango y su relación con la geología regional*: Geofísica Internacional, vol. 32, núm. 3, pp. 501-510.

 - 🌐 GEODE II 1998. *Geological Explorations on Disk*: Tasa Graphics inc. & Prentice-Halls inc.

 - 🌐 CONABIO. 2004. *Regiones Terrestres Prioritarias de México, RTP-054 Laguna de Santiaguillo*: Consejo Nacional para la Biodiversidad, www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_054.pdf, última visita en enero.
 - 🌐 DOF. 2004. *Diario Oficial de la Federación*, http://www.dof.gob.mx/2003/enero/dof_31-01-2003.pdf, última visita en enero.
 - 🌐 INEGI. 2004. *Aspectos Geográficos del Estado de Durango*: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, www.inegi.gob.mx/geo/default.asp?e=10, última visita en enero.
 - 🌐 SCT. 2004. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, www.sct.gob.mx, última visita en enero.
-