

Correlación estratigráfica de los depósitos cuaternarios de la Laguna de Babícora, Chihuahua, México

J. Ortega-Ramírez

*Departamento de Geomagnetismo y Exploración Geofísica.
Instituto de Geofísica, UNAM, México.*

Recibido: 16 de enero, 1993; aceptado: 7 de noviembre, 1994.

RESUMEN

Se presenta un modelo de correlación estratigráfica basado en el método estadístico del Análisis en Componentes Principales para la Laguna de Babícora, noroeste del Estado de Chihuahua, México. La población finita de 99 individuos representa las muestras de ocho perfiles. El número de variables se limitó a tres: arrastre, saltación y suspensión, representadas gráficamente en 2 ejes principales. Los resultados indican que la variable suspensión corresponde grosso modo, a zonas que funcionaron como pequeñas cuencas de sedimentación; la variable arrastre, a depósitos de origen fluvial (planicies de inundación, conos aluviales y antiguos cauces de tipo anastomosados); la saltación se asocia, ya sea a la suspensión o al arrastre. La base de la correlación es la combinación de estas tres.

PALABRAS CLAVE: Análisis en Componentes Principales, arrastre, saltación, suspensión, régimen hidrodinámico, sedimentación.

ABSTRACT

A principal components analysis for stratigraphic correlation of Babícora Lake, northwestern Chihuahua, Mexico is presented. The finite population is represented by 99 elements, which corresponds to samples of eight profiles. The variables were: creep, saltation, and suspension, represented by two main axes. The suspension variable roughly correlates with areas of small sedimentation basins. The creep variable correlates with fluvial deposits: flood plains, alluvial fans and old channels. Saltation is associated either with suspension or creep. The correlation is based on a mixture of the three variables.

KEY WORDS: Principal Components Analysis, creep, saltation, suspension, hydrodynamic regime, sedimentation.

INTRODUCCION

Las correlaciones estratigráficas entre formaciones superficiales siempre han presentado problemas debido a los rápidos cambios tanto verticales como laterales en los depósitos. La acción de la tectónica y/o de las variaciones climáticas hacen que los procesos de sedimentación sean de difícil interpretación.

En el presente trabajo, se propone un método estadístico (análisis en componentes principales), que sustenta la correlación estratigráfica entre 8 perfiles localizados al norte, noreste, noroeste y sureste de la cuenca que forma la Laguna de Babícora. Los perfiles muestran sedimentos que corresponden a dos diferentes medios ambientes de depósito: fluvial y lacustre. Los fluviales geomorfológicamente se presentan como planicies aluviales y como depósitos de antiguos cauces o paleocanales que drenaban hacia la cuenca; los lacustres se encuentran como rellenos de dos pequeñas paleocuenas que forman las partes terminales de la Laguna de Babícora.

En la aplicación del método de análisis en componentes principales, se consideró un número total de 99 muestras; el número de variables se limitó a tres, ejemplificadas por los diferentes medios de transporte de las partículas: saltación, suspensión y tracción o rodamiento. A las variables se les asignó un tipo cuantitativo, representado por los valores porcentuales de cada una de ellas dentro de la muestra. Los valores se determinaron a partir de los puntos de inflexión o de troncadura de las curvas acumulativas de frecuen-

cia en escala de probabilidad aritmética, considerada esta última como la más adecuada para la representación gráfica de las diferentes poblaciones granulométricas contenidas en cada una de las muestras. Los puntos de troncadura expresan las variaciones de la mecánica de fluidos y transporte de los sedimentos (cf. Middleton, 1976; Doeglas, 1946, 1962; Inman, 1949; Moss, 1963; Spencer, 1963; Visher, 1965, 1967, 1969; Klován, 1966).

Se diferenciaron seis nubes de puntos en un espacio a dos dimensiones, dentro de las que se agruparon las muestras que contienen variables afines, base de la correlación estratigráfica. El análisis se complementó con histogramas de cada una de las variables.

GEOLOGIA Y FISIOGRAFIA DEL AREA DE INVESTIGACION

La región en estudio es una cuenca situada en el Estado de Chihuahua, al noroeste de la capital de mismo nombre, entre las coordenadas geográficas de 29°15' y 29°30' de latitud norte y 107°40' a 108°00' de longitud oeste (Figuras 1 y 2). La cuenca está orientada al noroeste/sureste, a lo largo de una diagonal de ca. 35 km. de largo; tiene una superficie aproximada de 437 km² y se encuentra a una altitud promedio de 2160 m.s.n.m.

El origen de la cuenca está relacionado con los fenómenos compresivo del Paleoceno y distensivo del Neogeno de la margen noroeste del Océano Pacífico (Atwater, 1970; Scholtz *et al.*, 1971; Handschumacher, 1976; Drewes,

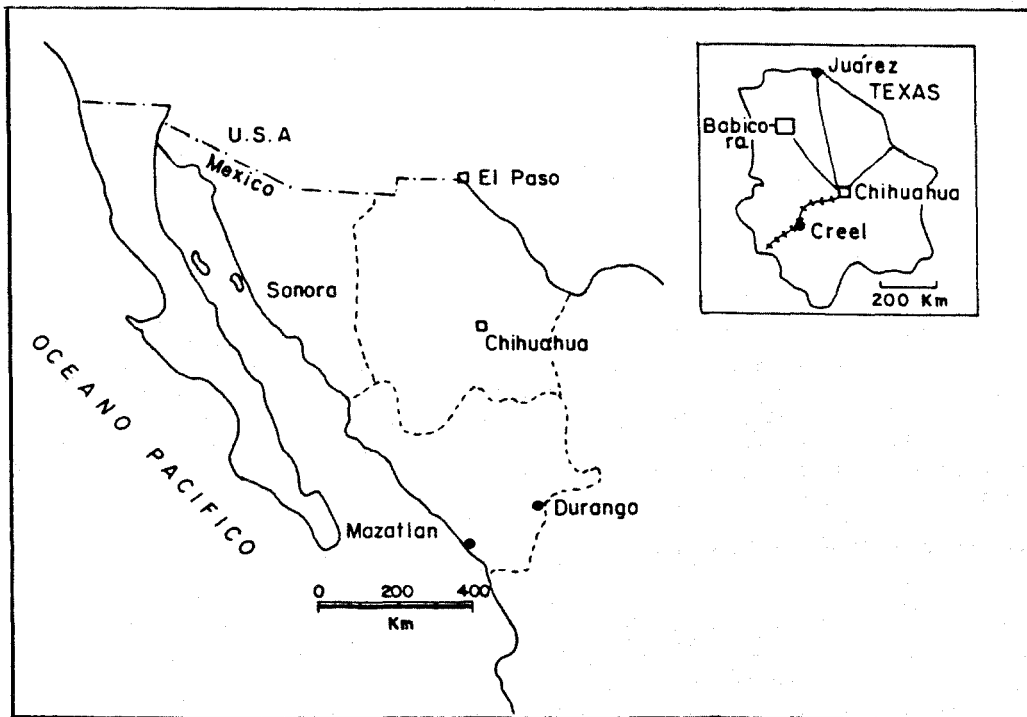


Fig. 1. Croquis de localización.

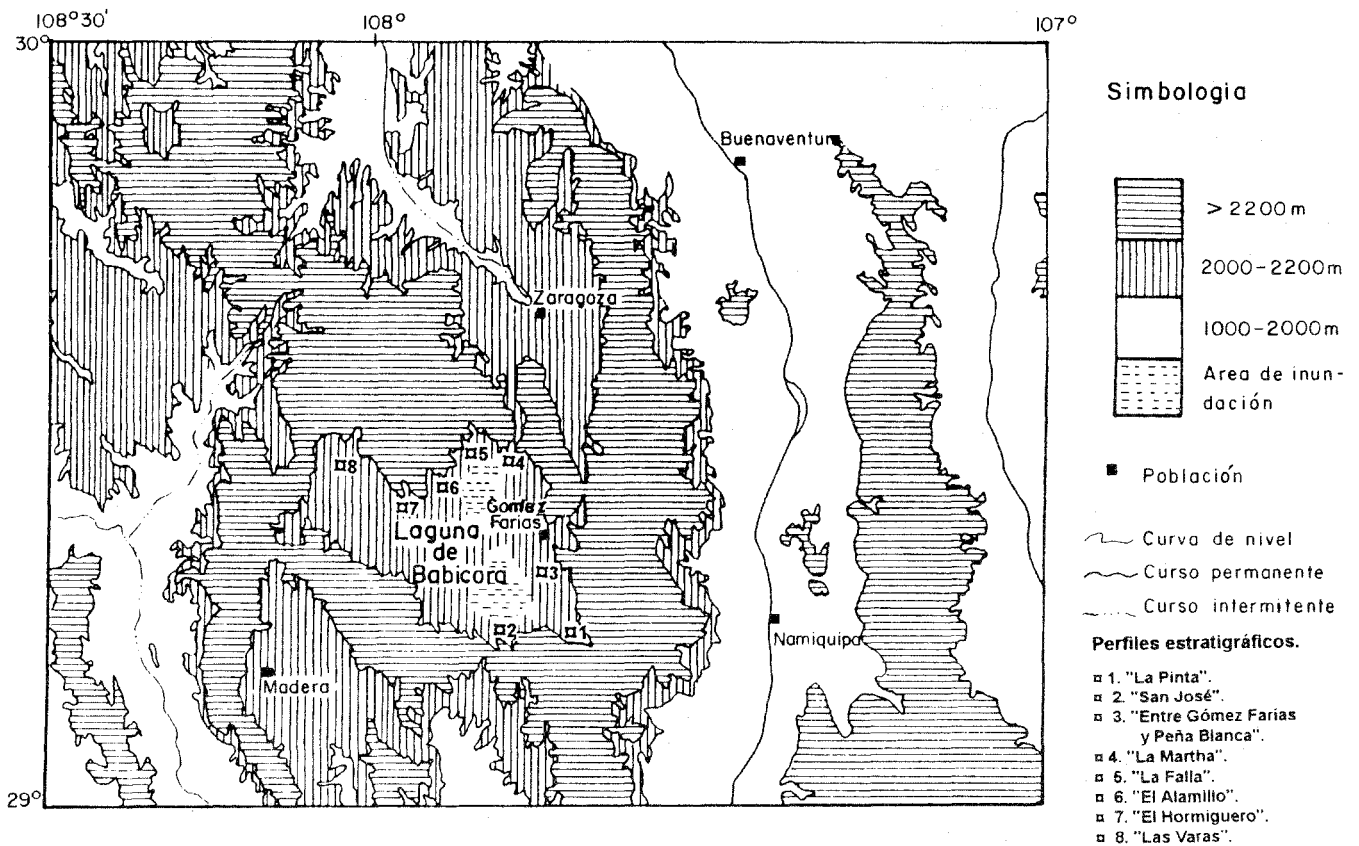


Fig. 2. Carta hipsométrica: localización geográfica de perfiles estratigráficos en la cuenca, (Esc. 1:000 000, S.S.P., 1981).

1978; Whitman *et al.*, 1983; Urrutia-Fucugauchi, 1981, 1986; Zoback *et al.*, 1981). La fase distensiva ha sido responsable de las estructuras de tipo horst y graben que caracterizan la gran provincia geomorfológica de Basin and Range del suroeste de los Estados Unidos, y gran parte de la Sierra Madre Occidental.

En la secuencia litológica expuesta en la zona se han reconocido tres episodios de volcanismo cenozoico (cf. Ortega-Ramírez, 1990): el primero o más antiguo, representado por ignimbritas de edad Oligoceno; el segundo, por grandes espesores de ignimbritas y tobas; y el tercero o más reciente, por una serie volcánica constituida en la base por andesitas basálticas, y en la cima por basaltos que constituyen la parte terminal de la secuencia litológica.

Las fallas principales que delimitan la cuenca están orientadas al norte-noroeste y sur-sureste, separadas por una distancia aproximada de 25 km y con un desplazamiento cercano a 35 km.

La vertiente este es más inclinada (de 20° a 30°), que la vertiente oeste. La primera contiene una red hidrográfica bien desarrollada pero de corta extensión aguas abajo. El contacto con la planicie está marcado por varios abanicos aluviales de textura gruesa. La segunda vertiente es menos inclinada (de 10° a 15°), la red hidrográfica es menos densa y más desarrollada aguas abajo, drenando superficies más extensas que la margen este, y el contacto con la planicie se caracteriza por depósitos fluviales.

En las partes terminales de la cuenca se encuentran pequeños valles de origen estructural (valles de falla), con fondos planos recorridos por cauces fluviales de tipo meándrico, los cuales probablemente indiquen fenómenos de hundimiento o de reajuste.

En la parte central de la planicie, se tiene una zona pantanosa de aproximadamente 10 km de diámetro; en ésta, los sondeos del subsuelo reportan espesores de sedimentos no consolidados de hasta de 350 m (Soria-Espino, 1979).

Muestreo y análisis granulométrico

Se tomaron 99 muestras de sedimentos de 8 perfiles estratigráficos distribuidos en la cuenca de la manera siguiente (Figura 2): al norte-noroeste, "Las Varas" (18), "El Hormiguero" (4), "La Martha" (20), "El Alamillo" (11), y "La Falla" (6); al este, "Entre Gómez Farías y Peña Blanca" (20); y al sur, "San José" (5) y "La Pinta" (15). A las muestras se les determinaron las clases granulométricas por medio de tamizado en húmedo y en seco, dentro de un rango de tamaño de malla de -1.0ϕ a $+4.0\phi$, a intervalos de 0.5ϕ .

Se calcularon los porcentajes y los parámetros de distribución de tamaño de grano, valores que fueron utilizados para la elaboración de las curvas acumulativas de frecuencia en escala de probabilidad logarítmico-normal. En ésta, las poblaciones de tipo log-normal se presentan como segmentos de líneas rectas, separadas por puntos de inflexión, ejemplificando estos últimos las variaciones de la mecánica

de fluidos y transporte de los sedimentos (Visher, 1969; Moss, 1972).

En la aplicación del análisis en componentes principales, los parámetros granulométricos y sedimentológicos considerados fueron 99 individuos, mismos que representan la serie finita; además, como a cada individuo se le puede asociar más de una variable (Bouroche y Saporta, 1980; Diday *et al.*, 1982; Philippeau, 1986), para el caso presente se les asignaron tres, a (saltación), b (suspensión) y c (arrastre), todas ellas de tipo cuantitativo, representado por los porcentajes de las sub-poblaciones granulométricas (Ortega-Ramírez, 1990).

La serie finita de 99 elementos corresponde a las siguientes muestras:

- de 1 a 20: Perfil "La Martha" (Tabla 1).
- de 21 a 40: Perfil "Entre Gómez Farías y Peña Blanca" (Tabla 2).
- de 41 a 55: Perfil "La Pinta" (Tabla 3).
- de 56 a 67: Perfil "La Falla" (Tabla 4).
- de 68 a 79: Perfil "Las Varas" (Tabla 5).
- de 80 a 84: Perfil "San José" (Tabla 6).
- de 85 a 88: Perfil "El Hormiguero" (Tabla 7).
- de 89 a 99: Perfil "El Alamillo" (Tabla 8).

Para el cálculo numérico se utilizó el programa de cómputo SICLA (Système Interactif de Classification Automatique), y el procesamiento se realizó en el CIRIL (Centre Regional Informatique de Lorraine, Francia).

Tabla 1
Perfil "La Martha": variables/individuos.

Variables				
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
I	1	89	1	10
	2	95,5	0,5	4
	3	99,65	0	0,35
	4	95,3	4,5	0,2
II	5	11,8	86,2	2,0
	6	55,4	43,8	0,8
	7	84,6	15,2	0,2
III	8	71,8	27,8	0,4
	9	85,7	14,1	0,2
	10	49,3	50,0	0,7
	11	97,3	2,7	0
	12	76,4	22,6	1,0
	13	93,2	6,5	0,3
	14	60,6	18,9	0,5
	15	89,0	10,6	0,4
	16	75,9	23,2	0,9
IV	17	7,5	5,0	87,5
	18	98,6	1,4	0
	19	90,7	9,3	0
	20	93,4	6,2	0,4

Tabla 2

Perfil "entre Gómez Farías y Peña Blanca": variables/individuos

Variables				
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
I	21	31,19	68,4	0,41
	22	45,36	28,3	26,31
	23	38,57	50,37	11,06
	24	99,53	0	0,47
II	25	33,77	65,0	1,23
	26	42,85	55,75	1,40
	27	73,94	25,52	0,54
	28	70,73	26,54	2,73
	29	87,09	12,65	0,26
	30	97,4	2,53	0,07
	31	86,71	12,91	0,38
III	32	96,0	2,89	1,16
	33	20,15	78,35	1,4
	34	42,29	50,07	0,64
	35	76,41	22,65	0,94
	36	77,71	6,13	16,16
	37	9,82	86,2	3,98
	38	88,77	10,52	0,71
IV	39	3,09	94,39	2,52
	40	21,98	64,85	10,17

Tabla 3

Perfil "La Pinta": variables/individuos

Variables				
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
I	41	0	28	72
	42	64	16	20
	43	0	58	42
	44	71	8	21
	45	0	1	99
	46	0	13	87
	47	0	33	67
II	48	0	3,5	96,7
	49	0	10	90,0
	50	78,7	16,1	5,2
	51	45,0	26,0	29
III	52	0	44	56
	53	0	6,5	93,5
	54	0	4,0	96,0
	55	0	4,8	95,2

Tabla 4

Perfil "La Falla": variables/individuos

Variables				
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
	56	0	57	43
	57	0	52	48
	58	0	40	60
	59	0	27	73
	60	0	22	78
	61	52	12	36

Tabla 5

Perfil "Las Varas": variables/individuos

Variables				
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
I	62	16,0	29,0	55,0
	63	13,0	20,0	67,0
	64	19,0	37,0	44,0
	65	54,0	43,0	3,0
	66	5,7	88,5	5,8
	67	0	41,0	59,0
	68	2,5	3,5	94,0
II	69	0	11,0	89,0
	70	0	11,0	89,0
	71	0	29,0	71,0
	72	0	15,0	85,0
	73	10,4	77,0	12,5
	74	0	80,0	20,0
	75	0	5,0	95,0
III	76	7,17	80,84	11,99
	77	70,10	24,08	5,82
	78	3,0	91,4	5,6
	79	83,22	16,29	0,49

Tabla 6

Perfil "San José": variables/individuos

Variables				
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
I	80	59,0	34,5	6,5
	81	77,0	19,0	4,0
	82		22,0	78,0
II	83	0	66,0	34,0
	84	0	72,0	28,0

Tabla 7

Perfil "El Hormiguero": variables/individuos

Variables				
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
	85	46,0	23,0	31,0
	86	64,0	16,0	20,0
	87	78,0	14,0	8,0
	88	89,0	10,2	0,8

ANÁLISIS EN COMPONENTES PRINCIPALES

La representación gráfica de las variables

Si una variable constituye más del 50% de la población, la consideramos como la más representativa del fenómeno principal de transporte, y si además mantiene de una manera homogénea o con variaciones ligeras esta proporción a lo largo del perfil o de las unidades estratigráficas, a ese perfil o unidades se le atribuyen un ambiente de depósito bajo un régimen hidrodinámico continuo o con variacio-

nes insignificantes. En cambio, si la región se encuentra sometida al mismo tiempo a fenómenos tectónicos, la respuesta sedimentaria se traducirá en un cambio de facies. Esta hipótesis permite el reagrupamiento de ciertas unidades de un mismo perfil y/o la correlación entre unidades de diferentes perfiles por medio de la representación en histogramas de las variables utilizadas.

Tabla 8
Perfil "El Alamillo": variables/individuos

		Variables		
unidades sedimentarias	individuos	arrastre % (c)	saltación % (a)	suspensión % (b)
I	89	16,5	4,0	79,5
	90	25,0	7,5	67,5
	91	43,0	9,5	47,5
	92	57,0	14,0	29,0
	93	89,6	9,1	1,3
II	94	80,0	14,5	5,5
	95	60,0	31,0	9,0
	96	62,9	25,3	11,8
	97	81,0	16,0	3,0
	98	81,0	18,0	1,0
	99	81,0	15,0	4,0

Histograma de la variable arrastre c

Dentro del conjunto de la población finita, 49 muestras contienen porcentajes superiores a 50%, y corresponden a los perfiles "La Martha", unidades I, II, III, y IV; "Entre Gómez Farías y Peña Blanca", unidad III; "El Alamillo", unidad I; "El Hormiguero", parte basal; "San José", unidad I y "La Pinta" unidad II parte basal (Figura 3).

Histograma de la variable saltación a

Las muestras que contienen más del 50% de la variable saltación (a), en orden de importancia por cada perfil son: perfil "Entre Gómez Farías y Peña Blanca", unidad III; "Las Varas", parte basal de la unidad III; "San José", unidad II; "La Martha" (2 muestras); "La Falla" (2 muestras) y "La Pinta" (1 muestra) (Figura 4).

Histograma de la variable suspensión b

La variable b (suspensión) con porcentajes superiores a 50 % se encuentra en 26 muestras, repartidas en los perfiles (Figura 5): "Las Varas", parte superior de la unidad II y III; "La Pinta", parte superior de la unidad III e intermedia de la unidad II; "La Falla", parte intermedia; "El Alamillo", parte superior; "La Martha", un solo individuo dentro de la unidad IV; y "San José", un solo individuo dentro de la unidad II.

De acuerdo con la distribución de las variables en los histogramas, el tipo de transporte en la cuenca está bien diferenciado, implicando regímenes hidrodinámicos distintos. Al norte y noreste (perfiles "El Alamillo", unidad II; "El Hormiguero", parte basal; "La Martha", unidades II y III y "Entre Gómez Farías y Peña Blanca", unidades II y III), el transporte principal o predominante es por arrastre seguido por saltación, mientras que, al noroeste y sur-oeste, el

agente de transporte más representativo es la suspensión (perfiles "Las Varas" y "La Pinta").

Matriz de correlación

Los coeficientes de correlación muestran una variación perceptible entre el coeficiente del arrastre (c) y el de la suspensión (a) (Tabla 9), los cuales varían en sentido opuesto. Lo mismo sucede entre la variable saltación (b) y arrastre (c). Aun si estas variaciones son lógicas, los resultados numéricos permiten la confirmación de la hipótesis hidrodinámica, la que establece que, si el régimen hidrodinámico es fuerte, el arrastre predomina como medio de transporte, en el caso contrario, la suspensión es el medio principal. Esto se evidencia en los valores de -0.75 de los coeficientes entre las variables b y c.

Tabla 9
Matriz de correlación sobre 99 individuos.

	c	a	b
c	1.00	-0.47	-0.75
a	-0.47	1.00	-0.23
b	-0.75	-0.23	1.00

Valores propios, factores y componentes principales

Los dos primeros valores propios representan el 99.99% (Tabla 10), por lo que deducimos que los datos pueden ser representados por dos componentes principales. En efecto, si proyectamos los pesos sobre el primer plano factorial (F1 y F2), se observa solamente la pérdida de 0.01% de la información.

Tabla 10
Valores propios de las variables

Edición de valores propios			
suma de valores propios 3.00000003			
histograma de los primeros valores propios			
	valor-propio	porcentajes acumulado	porcentaje
1	1.79464076	59.82	59.82 *****
2	1.20518151	40.17	99.99 *****
3	0.00017774	0.1	100.00 *

Contribución de las variables

La contribución numérica de las variables otorga la calidad de cada una de ellas (Tabla 11). La variable arrastre (c) está bien representada, su coeficiente de correlación es próximo de 1 (0.99) para el eje F1. La variable saltación (a) presenta su más fuerte correlación con un valor de 0.94 con el eje F2; la variable suspensión (b) manifiesta una fuerte correlación de -0.83 con el eje F1 y una correlación media

Variable c: arrastre

Muestra de 99 individuos repartidos en 25 clases

Mínimo 0.000 Máximo 99.650 Media 44.123 Desviación-estándar 37.170

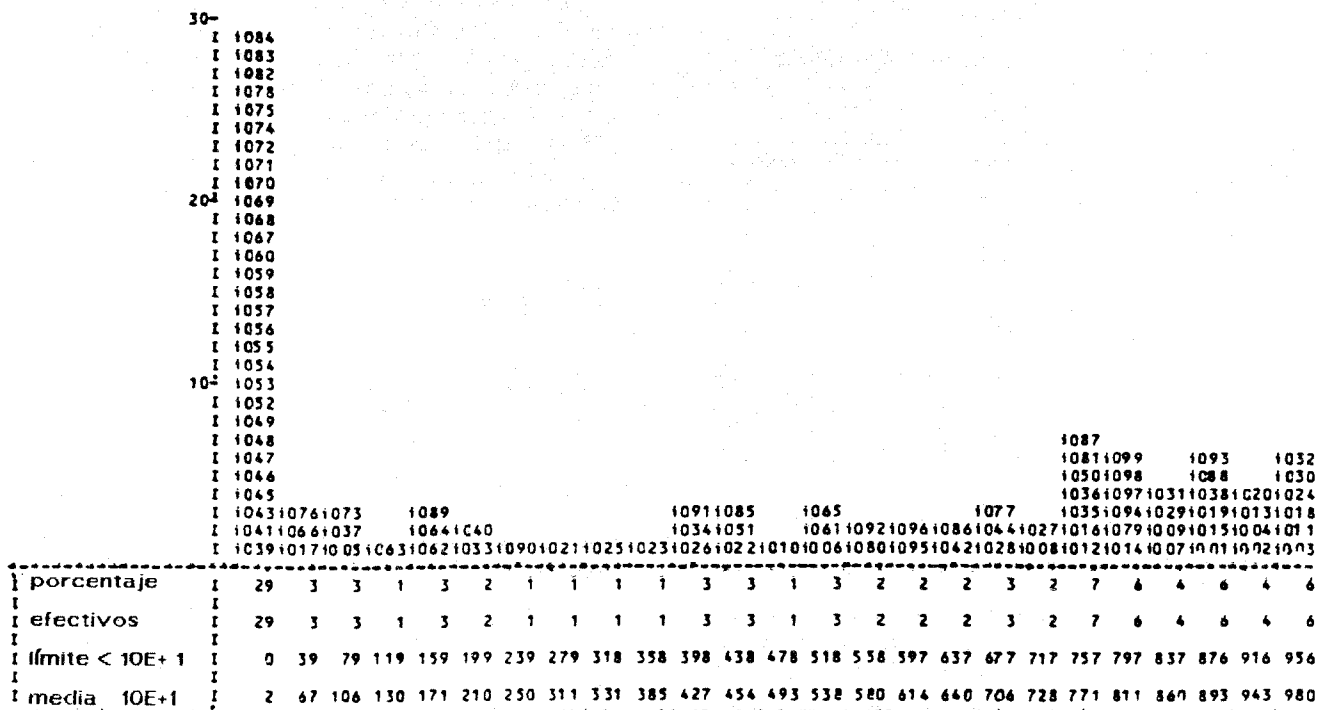


Fig. 3 Histograma de la variable arrastre (c).

media de 0.55 con el eje F2. Debido a que los valores de correlación mínimos y/o nulos se sitúan entre los ejes F3, F4, F5 y F6, consideramos que dos ejes son suficientes para describir gráficamente la distribución de las muestras y de las variables.

Tabla 11
Contribución de variables

Nombre	Desviación estándar	Coordenadas					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
c	37.171	0.99	0.14	-0.01	0.00	0.00	0.00
a	25.173	-0.34	-0.94	-0.01	0.00	0.00	0.00
b	33.757	-0.83	0.55	-0.01	0.00	0.00	0.00

Interpretación de los componentes principales y la correlación estratigráfica

Tomando en cuenta el orden de semejanza de los individuos y de las variables, se definieron seis nubes de puntos (Figura 6), incluyendo también dentro de éstas los 22 puntos "escondidos" (Tabla 12), es decir, los puntos que se sobrepone a los ya definidos dentro del espacio a dos dimensiones. Los grupos definidos gráficamente son los siguientes:

Tabla 12
Puntos múltiples

punto observado	abscisa próxima	ordenada próxima	número de puntos escondidos	muestra No
048	-1.10	1.00	1	054
055	-1.10	0.96	2	068 075
069	-1.10	0.79	1	070
082	-1.03	0.49	1	060
003	1.02	0.45	1	024
032	1.02	0.36	2	030 011
041	-1.03	0.32	1	059
020	0.05	0.32	1	004
042	0.36	0.23	1	086
088	0.88	0.23	2	019 093
015	0.88	0.19	1	038
094	0.73	0.15	1	099
009	0.80	0.15	1	031
007	0.80	0.10	1	015
035	0.66	-0.07	2	016 012
065	0.29	-0.49	1	006
066	-0.59	-1.39	2	039 078

Variable a: saltación

Muestra de 99 individuos repartidos en 25 clases

Mínimo 0.000 Máximo 94.390 Media 27.663 Desviación-estándar 25.173

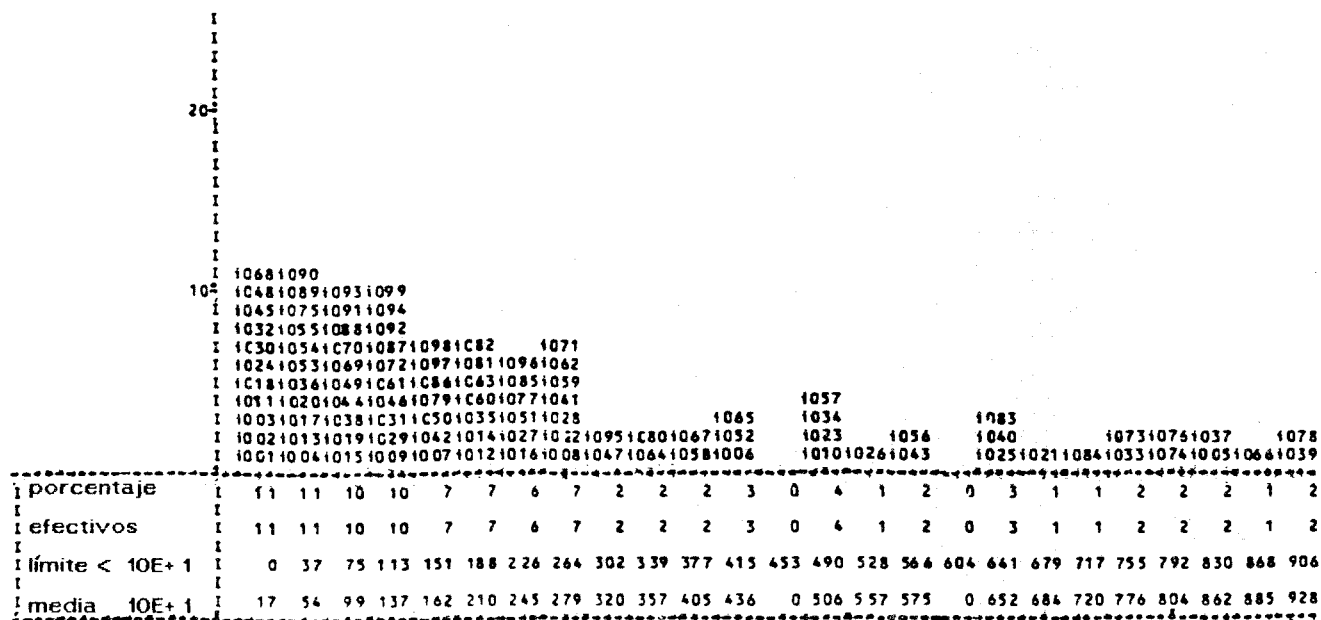


Fig. 4. Histograma de la variable saltación (a).

GRUPO A.- Predominancia de la variable suspensión (b), asociada en algunas muestras a la variable saltación (a). Este grupo se encuentra situado entre el eje F1 positivo y F2 negativo y comprende las muestras de los perfiles "La Pinta", unidades II y III; "Las Varas", unidades II y III; "La Falla" parte basal e intermedia, y "San José" unidad II, parte superior (cf. anexo: Tabla 13). La presencia de las variables b y/o b+a es interpretada desde el punto de vista hidrodinámico, como un régimen de baja energía.

GRUPO B).- Este grupo se sitúa entre los ejes F1 positivo y F2 negativo, y se caracteriza por las asociaciones de las variables suspensión+ arrastre+saltación (b+c+a), y suspensión+saltación+arrastre (b+a+c). Dichas relaciones representan condiciones de sedimentación dentro de un régimen hidrodinámico de fuerte intensidad y de corta duración. Las muestras que lo componen corresponden a las unidades denominadas como I de los perfiles "El Alamillo", y "Las Varas" (cf. anexo Tabla 14), mismas que consideramos correlacionables.

GRUPO C).- Se encuentra entre los ejes F1 negativo y F2 negativo (cf. Figura 9), y se caracteriza por la asociación de las variables saltación+suspensión (a+b) (anexo, Tabla 15); tal asociación puede interpretarse como condiciones hidrodinámicas moderadas de baja energía de transporte de los sedimentos. Las muestras que constituyen el

Tabla 13

Grupo de individuos cuyas variables son: suspensión (b) y suspensión+saltación (b+a)

Grupo A: Variables b, b + a	
Nº. de individuo	Perfil y unidad
45	La Pinta; II
48	La Pinta; I
49	La Pinta; II
46	La Pinta; II
47	La Pinta; II
55	La Pinta; III
53	La Pinta; III
54	La Pinta; III
52	La Pinta; III
69	Las Varas II
72	Las Varas II
71	Las Varas II
68	Las Varas II
70	Las Varas II
67	Las Varas II
75	Las Varas III
60	La Falla; inferior
59	La Falla; intermed.
58	La Falla; intermed.
82	San José ; II

Variable b: suspensión

Muestra de 99 individuos repartidos en 25 clases

Mínimo 0.000 Máximo 99.000 Media 28.106 Desviación-estándar 33.757

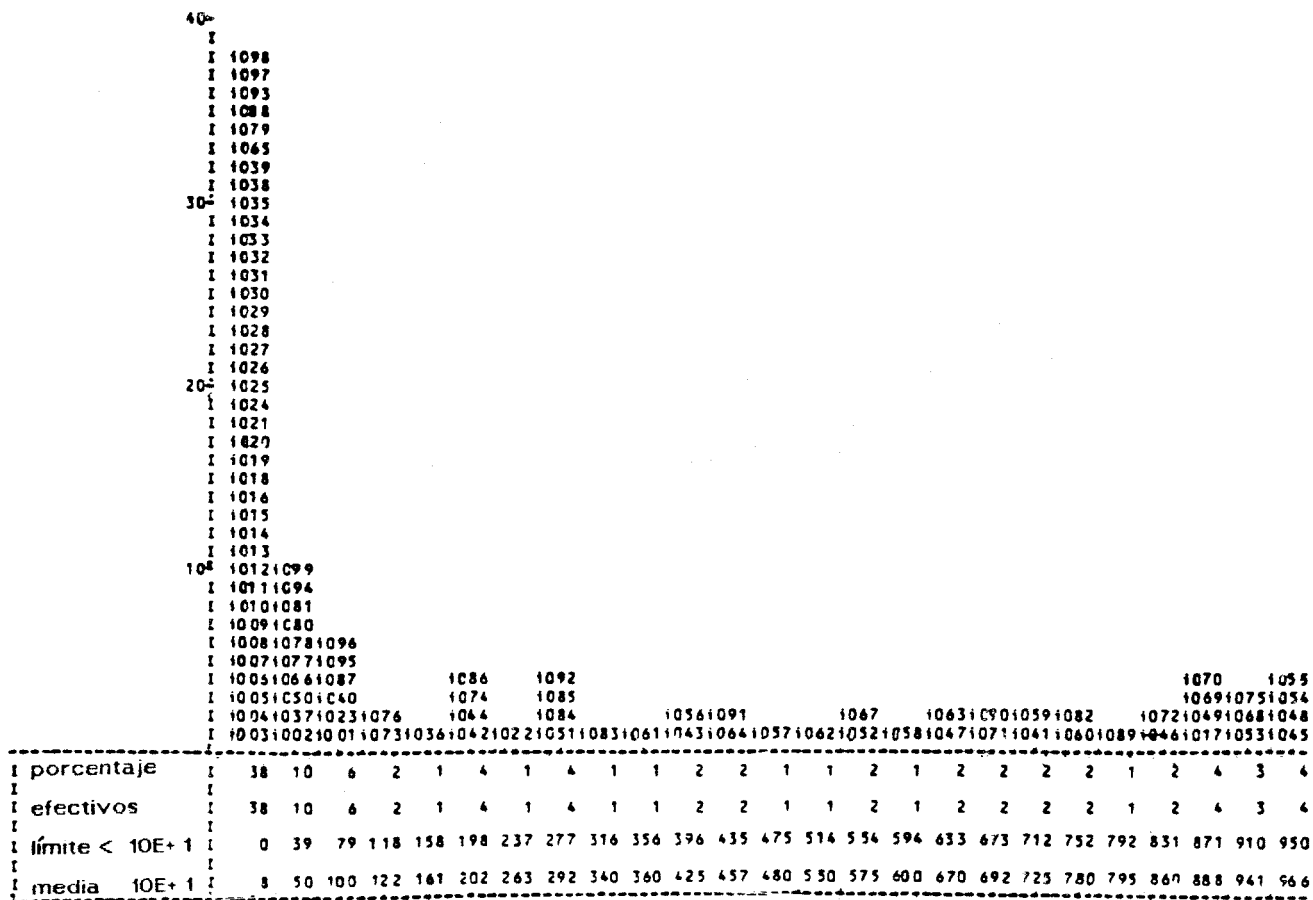


Fig. 5. Histograma de la variable suspensión: b.

Tabla 14

Grupo de individuos caracterizados por la asociación de variables: suspensión+arrastre+saltación (b+c+a), y suspensión+saltación+arrastre (b+a+c)

Grupo B: Variables b+c+a y b+a+c	
Nº. de individuo	Perfil y unidad
91	El Alamillo; I
62	El Alamillo; I
89	El Alamillo; I
90	El Alamillo; I
62	Las Varas; I
64	Las Varas; I
17	La Martha; IV

presente grupo corresponden a los perfiles La Falla”, parte superior; “San José”, unidad II; “Las Varas”, unidades II y III; “La Pinta”, unidad I (una sola muestra); “Entre Gómez Farías y Peña Blanca”, unidad III (dos muestras); y “La Martha”, unidad II (una sola muestra). Con base en los mayores porcentajes de muestras afines en cada uno de los perfiles, correlacionamos la unidad II del perfil “San José” y la unidad II de “Las Varas”.

GRUPO D).- Entre los ejes F1 negativo y F2 negativo/positivo (cf. Figura 9), tenemos la asociación de las variables saltación+arrastre+suspensión (a+c+b). Las muestras que la contienen pertenecen exclusivamente al perfil “Entre Gómez Farías y Peña Blanca”, unidades I, II y III (cf. anexo, Tabla 16). Estas unidades presentan una estructura sedimentaria de tipo “cruzada”, la cual puede ser interpretada de diversas maneras: (1), como el producto de una fuerte descarga por acreción lateral y vertical a lo largo de

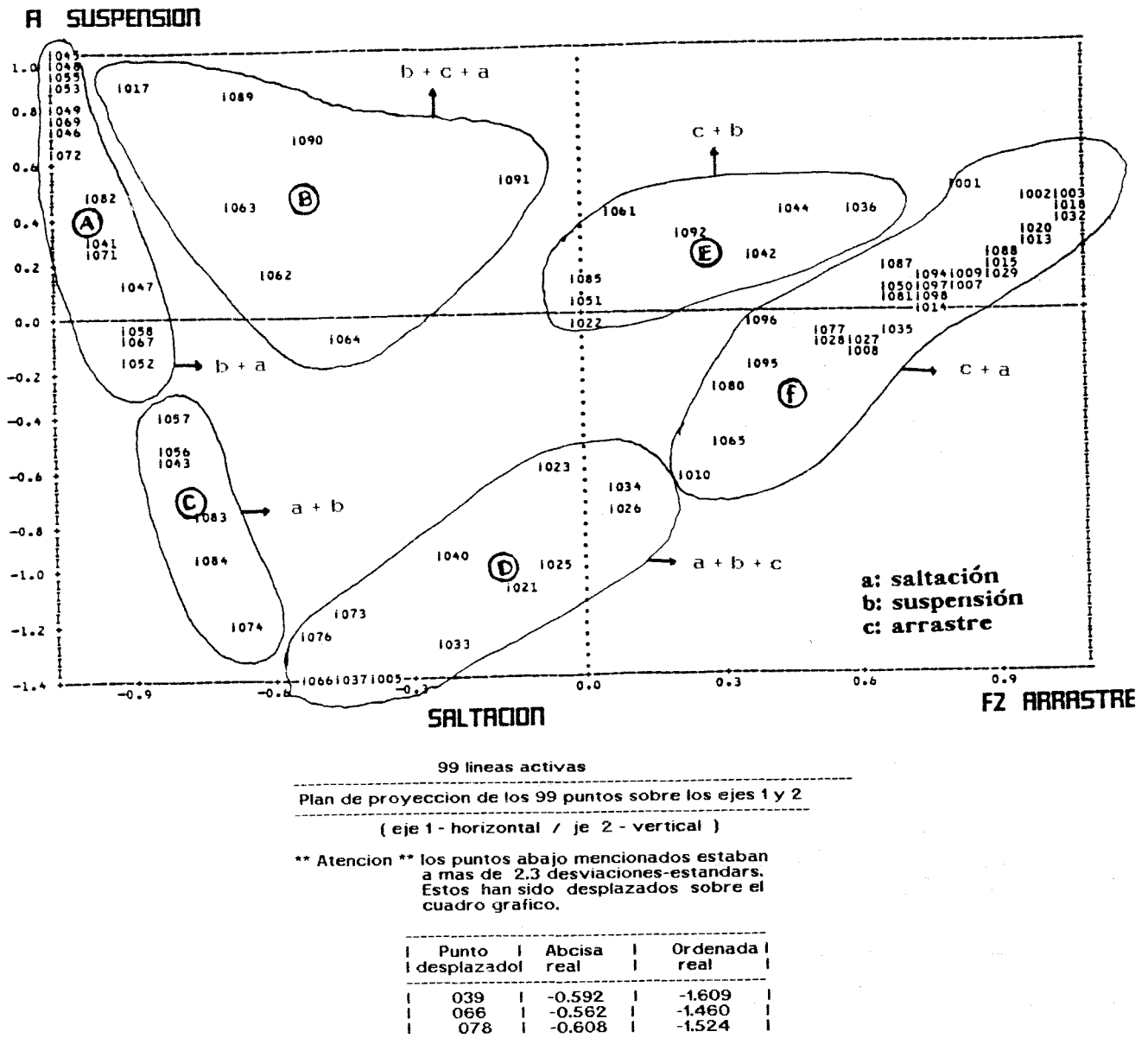


Fig. 6. Plan de proyección de los 99 individuos sobre los ejes 1 y 2.

un canal abandonado dentro de una dinámica de anastomosis (Blair C.T.,1987; Brush, 1965; Allen, 1963); (2), como un depósito con "estratificación cruzada simple", producto de un solo ciclo de sedimentación (Jopling, 1963); o bien (3), como una unidad de estratificación de tipo BETA (cf. Allen, loc. cit.). En cualquiera de los casos, este tipo de estructura sedimentaria se origina por un régimen hidrodinámico de fuerte intensidad, ejemplificado por la asociación de las variables que caracterizan el presente grupo.

GRUPO E).- Nube de muestras determinada por las variables arrastre+suspensión+saltación (c+b+a), ubicada entre los ejes F1 positivo y F2 positivo (cf. Figura 9), y correspondientes a los perfiles "La Falla", parte inferior; "El Hormiguero", parte superior e intermedia; "La Pinta", unidades I y II; "Entre Gómez Farías y Peña Blanca", unidades I y III; y "El Alamillo", unidad I (cf. Tabla 17).

La asociación de las variables, traducida en términos hidrodinámicos, significa un gradiente hidráulico fuerte y un medio altamente viscoso; por ejemplo, durante una fuerte precipitación en un período de tiempo corto, típico en ambientes semiáridos y áridos. Basado en lo anterior y considerando la morfodinámica actual de la región de estudio, consideramos que únicamente las unidades superiores de los perfiles "El Hormiguero", "El Alamillo" y "La Pinta" pueden ser correlacionables.

Grupo F).- En el ángulo formado por los ejes F1 positivo/negativo y F2 positivo/negativo, se tiene el agrupamiento de variables: (1) arrastre(c); (2) arrastre+saltación+suspensión (c+a+b); (3) arrastre+saltación (c+a); y (4) arrastre+suspensión (c+b) (cf. anexo: Tablas 18, 19, 20 y 21).

Tabla 15

Grupo de individuos caracterizados por la asociación de variables: saltación+suspensión (a+b)

Grupo C: Variables a + b	
Nº. de individuo	Perfil y unidad
57	La Falla , superior
56	La Falla , superior
83	San José, II inter.
84	San José, II inf.
66	Las Varas, II sup.
73	Las Varas, II inf.
74	Las Varas, II inf.
76	Las Varas III, sup.
78	Las Varas III, inf.
37	G.F y P.B, III
39	G.F y P.B., IV, sup.
5	La Martha II, sup.
43	La Pinta I, sup.

Tabla 16

Grupo de individuos caracterizados por la asociación de las variables: saltación+arrastre+suspensión (a+c+b).

Grupo D: Variables a+c+b	
Nº de individuo	Perfil y unidad
21	G.F. y P.B, I sup.
23	G.F. y P.B., I interm.
25	G.F. y P.B., II sup.
26	G.F. y P.B., II, interm.
33	G.F. y P.B.,III interm.
34	G.F. y P.B.,III interm.
40	G.F. y P.B.,IV inf.

Tabla 17

Grupo de individuos caracterizados por la asociación de las variables: arrastre+suspensión+saltación (c+b+a).

Grupo E: Variables	
Nº de individuo	Perfil y unidad
42	La Pinta I, interm.
44	La Pinta II, inf.
51	La Pinta II inf.
85	El Hormiguero, sup.
86	El Hormiguero Interm.
61	La Falla, inf.
22	G.F. y P.B., I, interm.
36	G.F. y P.B.,III inf.
92	El Alamillo , I, inf.

Tabla 18

Grupo F: Subgrupo arrastre (c).

Grupo F: asociación: c, c+a+b, c+a y c+b	
Subgrupo arrastre (c).	
Nº de individuo	Perfil y unidad
18	Martha IV, interm.
24	G.F y P.B., inf.
32	G.F y P.B., sup.
11	Martha III, interm.
3	Martha I, inf.
4	Martha I, inf.

Tabla 19

Grupo F, Subgrupo arrastre+saltación+suspensión (c+a+b)

Subgrupo: arrastre+saltación+suspensión (c+a+b).	
Nº de individuo	Perfil y unidad
87	Hormiguero interm.
91	Alamillo II, inf.
94	Alamillo II, sup.
96	Alamillo II inf.
99	Alamillo II, inf.
50	Pinta II, inf.
80	San José I, sup.
81	San José I, inf.
77	Varas III, interm.

Tabla 20

Grupo F, subgrupo; arrastre+saltación(c+a).

Subgrupo arrastre+saltación (c+a).	
Nº de individuo	Perfil y unidad
4	Martha I, inf.
6	Martha II, interm.
7	Martha II, inf.
8	Martha III, sup.
9	Martha III, sup.
10	Martha III, sup.
11	Martha III, sup.
12	Martha III, sup.
13	Martha III, interm.
14	Martha III, interm.
15	Martha III, inf.
16	Martha III, inf.
19	Martha IV, interm
20	Martha IV, inf.
27	G.F. y P.B. II, inf.
28	G.F. y P.B. II, inf.
29	G.F. y P.B.III, sup.
31	G.F. y P.B.III, sup.
35	G.F. y P.B. III,interm.
38	G.F. y P.B. III, inf.
93	El Alamillo I, inf.
98	El Alamillo II, inf.
79	Varas III, inf.

Tabla 21

Grupo F, subgrupo; arrastre+suspensión (c+b)

Subgrupo arrastre+suspensión (c+b).	
Nº de individuo	Perfil y unidad
1	Martha I, sup.
2	Martha I, sup.

1.- En este grupo tenemos la predominancia en más del 90% de la variable arrastre (c) (cf. Tabla 18), en las muestras de los perfiles "Entre Gómez Farías y Peña Blanca", unidades I y III; "La Martha", unidades I, III y IV. Esta característica implica un régimen de transporte de fuerte intensidad.

Con base en la posición estratigráfica de las unidades de los perfiles antes citados, se propone la siguiente correlación: la unidad I del perfil "Entre Gómez Farías y Peña Blanca", con la unidad I de la "La Martha"; la unidad III del primero, con las unidades III y IV del segundo;

2.- La asociación de las variables arrastre+saltación+suspensión (c+a+b), sugiere un régimen hidrodinámico de

intensidad elevada y constante. Las unidades de los perfiles que presentan tal asociación son "El Alamillo", unidad II; "La Pinta", unidad II; "El Hormiguero", parte intermedia; y "San José", unidad I (cf. Tabla 19). Estratigráficamente todas las unidades número II arriba mencionadas, y la parte intermedia de "El Hormiguero" por su posición estratigráfica, pueden ser correlacionables.

3.- La agrupación arrastre+saltación (c+a) (cf. Tabla 20) representa un régimen hidrodinámico menos intenso que el anterior. Las muestras de los perfiles que contienen tales características son "La Martha", unidades II, III y IV; "Entre Gómez Farías y Peña Blanca", unidades II y III; "El Alamillo", unidad I (nivel inferior) y II (nivel inferior y superior); y "Las Varas" unidad III (nivel inferior).

4.- La asociación arrastre+suspensión (c+b) (cf. Tabla 21) define un régimen hidrodinámico de muy fuerte intensidad, originado probablemente por altas precipitaciones en lapsos de tiempo cortos, típicos de ambientes desérticos o semidesérticos (Baker V.R., 1974a, b; Baker V.R. y Pentead-Orellana M.M., 1975, 1977, 1978). Las muestras que presentan tal asociación, corresponden exclusivamente a la unidad I del perfil "La Martha".

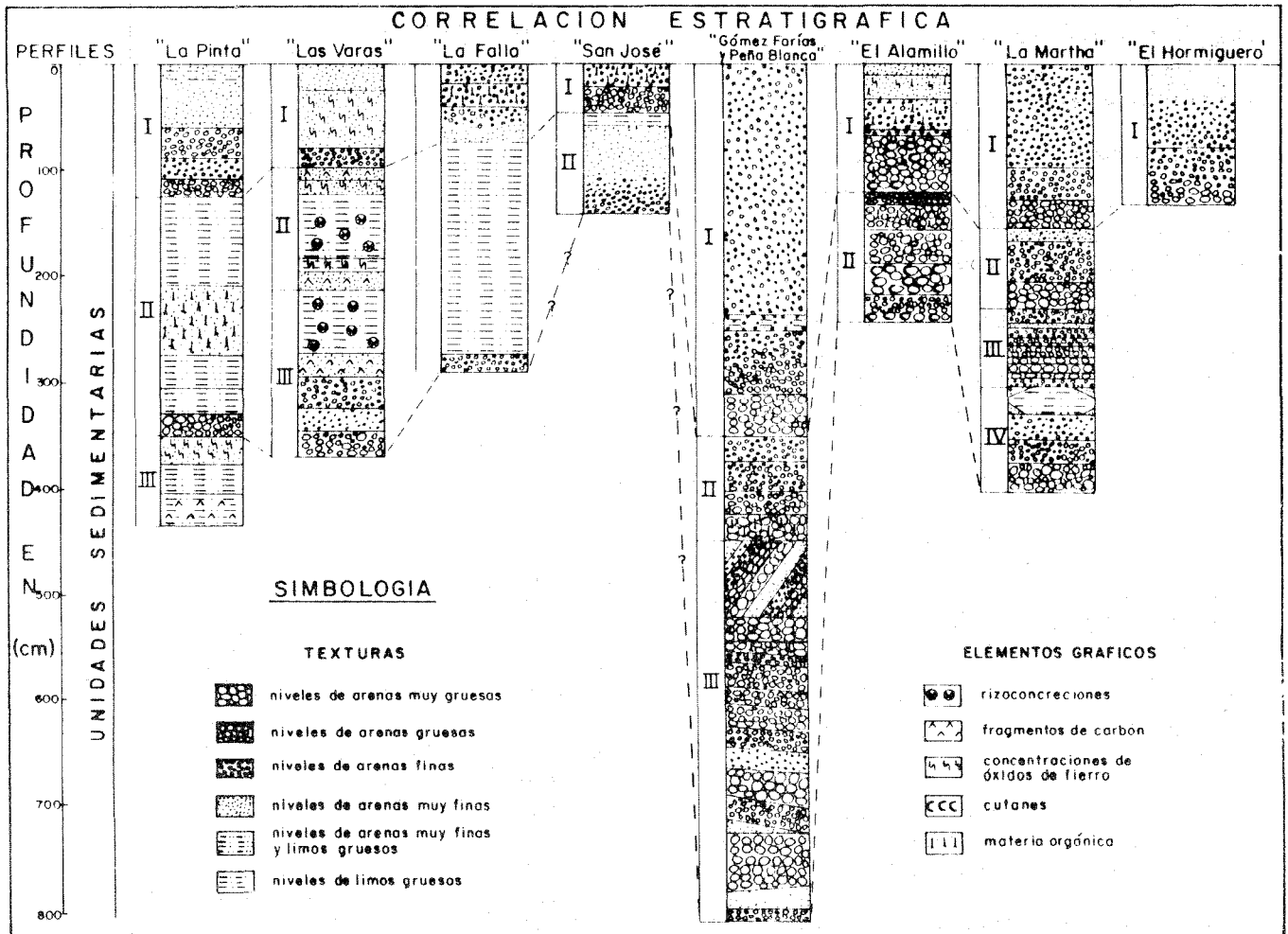


Fig. 7. Correlación estratigráfica de los perfiles con base en el análisis en componentes principales.

Por último, con base en los horizontes que a nuestro juicio presentan características de transporte similares, se estableció una correlación entre perfiles reflejada en la Figura 7.

CONCLUSIONES

El análisis en componentes principales permite, por medio de gráficas, observar las relaciones entre un conjunto de variables simultáneamente. Aplicado a los estudios sedimentológicos, puede proporcionarnos información cualitativa sobre los procesos hidrodinámicos responsable del transporte de los sedimentos. Esta aplicación, complementada con otros métodos analíticos como la petrografía, la identificación y cuantificación de los minerales arcillosos (minerales de neoformación), la micromorfología, la morfoscopia, el análisis de los minerales pesados y ligeros en tanto que coeficientes hidráulicos, permite mejorar la correlación estratigráfica.

La aplicación del análisis en componentes principales para los depósitos sedimentarios cuaternarios de la región de la Laguna de Babícora se efectuó gráficamente en dos ejes. Los aspectos que sobresalen son los siguientes:

El grupo caracterizado por la predominancia de la variable suspensión (b) permite inferir condiciones de sedimentación en ambientes lacustres, mientras que el grupo de la variable arrastre (c) sugiere procesos sedimentarios característicos de ambientes aluviales y fluviales, es decir, regímenes hidrodinámicos de alta energía, simbolizados en las estructuras primarias de tipo "estratificación gradada".

La asociación de las variables c+a+b define regímenes hidrodinámicos de alta energía, presentes en unidades geomorfológicas identificadas como planicies de inundación.

El presente trabajo se basa parcialmente en la tesis doctoral realizada por el autor en la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia (Ortega-Ramírez, 1990).

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, J. R. L., 1963. Henry Clifton Sorby and the sedimentary structures of sands and sanddunes in relation to flow conditions. *Geol. Mijnb.* 42, 223-228.
- ALLEN, J. R. L., 1963. The classification of cross-stratified units with notes on their origin. *Sedimentology*, 2, 93-114.
- ALLEN, J. R. L., 1965. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology*, 5, 89-191.
- ATWATER, T., 1970. Implication of plate tectonics for the cenozoic tectonic evolution of western North America. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81, 3513-3536.
- BAKER, V. R., 1974. Paleohydraulic interpretation of Quaternary alluvion near Golden, Colorado. *Quaternary Research*, 4, 94-112.
- BAKER, V. R., 1974. Stream channel response to flood with examples for Central Texas. *Geol. Soc. America Bull.* 88, 1057-1071.
- BAKER, V.R. y M.M. PENTEADO-ORELLANA, 1975. Sedimentology and paleohydrology of Quaternary fluvial regime changes, Colorado, central Texas. Proc. ninth. Intern. Cong. Theme 1, p.19-23.
- BAKER, V.R. y M.M. PENTEADO-ORELLANA, 1977. Adjustment to Quaternary climate change to the Colorado river in central Texas. *J. Geol.*, 85, 395-422.
- BAKER, V.R. y M.M. PENTEADO-ORELLANA, 1978. Fluvial sedimentation conditioned by quaternary climatic change in central Texas. *Journ. of Sed. Petrol.*, 48, 2, 433-451.
- BARREL, J., 1908. Relation between climate and terrestrial deposits. *J. Geol.*, 16, 159-190, 255-295, 363-384.
- BLAIR, T.C., 1987. Tectonic and hydrologic control on cyclic alluvial fan, fluvial and lacustrine rift-basin sedimentation, Jurassic-lowermost Cretaceous Todos Santos Formation, Chiapas, Mexico. *Journ. of Sed. Petrol.*, 57, 5, 845-862.
- BOUROCHE, J. M. y G. SAPORTA, 1987. L'analyse des données. Coll. "Que sais-je?", 1854, 127.
- BRUSH, L. M., 1965. Sediment sorting in alluvial channels. In: Middleton G.V. editor: primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. Soc. of Econ. Paleont. and Min., special publication n°12.
- CELEUX, G., E. DIDAY, G. GOVAERT, Y. LECHEVALLIER y H. RALAMBONDRAIN, 1989. Classification automatique des données: environnement statistique et informatique. Dunod, 293 p.
- DIDAY, E., J. LEMAIRE, J. POUGET y F. TESTY, 1982. Elements d'analyse de données. Dunod, 463 p.
- DOEGLAS, D. J., 1946. Interpretation of the results of mechanical analyses. *Journ. Sedim. Petrol.*, 16, 19-40.
- DOEGLAS, D. J., 1962. Structure of braided river deposits. *Sedimentology*, 1, 167-190.
- DREWES, H., 1978. The cordilleran orogenic belt between Nevada and Chihuahua. *Geol. Soc. of America Bull.*, 89, 641-657.
- HANDSCHUMACHER, D. W., 1976. Post-Eocene plate tectonics of the eastern Pacific. Amer. Geophys. Union Monograph., 19, p.177-202. In: The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and its Margin. The Wollard Volume.

- INMAN, D.L., 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journ. of Sedim. Petrol.*, 22, 3, 125-145.
- KLOVAN, J. E., 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain size distribution. *Journ. of Sed. Petrology*, 36, 115-125.
- MOSS, A. J., 1962. The physical nature of common sandy and pebbly deposits, part I. *Amer. J. Sci.*, 260, 337-373.
- MOSS, A. J., 1963. The physical nature of common sandy and pebbly deposits, part II. *Amer. J. Sci.*, 261, 297-343.
- ORTEGA-RAMIREZ, J., 1990). Le sommet du remplissage Quaternaire de la lagune de Babícora (Etat de Chihuahua, Nord-Ouest du Mexique): reconstitution à partir de la sédimentologie et de la stratigraphie, Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 350p.
- PHILLIPPEAU, G., 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales?. Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 63p.
- SCHOLZ, C. H., M. BARAZANGI y M.L. SBAR 1971. Late Cenozoic evolution of the Great Basin Western United States, as an Ensisalic interarc basin. *Geol. Soc. of America Bull.*, 82, 2979-2990.
- SORIA ESPINO, L., 1979. Estudio geohidrológico de la Laguna Babicora, Edo. de Chihuahua. Tesis profesional, U.N.A.M., 86 p.
- SPENCER, D. W., 1963. The interpretation of grain size distribution curves of classic sediment. *Journ. Sediment. Petrol.*, 33, p.180-190.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1981. Paleomagnetic evidence for tectonic rotation of Northern Mexico and the continuity of the Cordilleran orogenic belt between Nevada and Chihuahua. *Geology*, 9, 178-183.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1986. Late Mesozoic-Cenozoic evolution of the Northwestern Mexico magmatic arc zone. *Geofís. Int.*, 25-1, 61-84.
- VISHER, G. S., 1965. Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposit. In: Middleton, G.V. ed., p.116-132 : Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. Soc. Econ. Paleontologist Mineralogist, Special publ. 12, 265 p.
- VISHER, G. S., 1965. Use of the vertical profile in environmental reconstruction. *Am. Assoc. Petroleum Geologist*, 49, 41-62.
- VISHER, G. S., 1967. Grain size distribution and depositional processes. Preprint VII International sedimentologic congress. Reading and Erinburg, England, 4 p.
- VISHER, G. S., 1969. Grain size distribution and depositional processes. *Journ. of Sed. Petrol.*, 1074-1106.
- WHITMAN, J. M., C. G. HARRISON y G. W. BRASS, 1983. Tectonic evolution of the Pacific Ocean since 74 m.y. *Tectonophysics*, 99, 241-249.
- ZOBACK, M. L., R. E. ANDERSON y G. A. THOMPSON, 1981. Cenozoic evolution of the state of stress and style of tectonism of the Basin and Range province of the western United States. *Phil. Trans. R. Soc. London*, ser. A, v. 300, p.407-434.

J. Ortega-Ramírez

*Departamento de Geomagnetismo y Exploración Geofísica.
Instituto de Geofísica, UNAM., Del. Coyoacán, 04510
México, D. F., MEXICO.*

