

Abanicos aluviales en la zona Noroeste de Ciudad Juárez, Chihuahua. México

Dr. David Zúñiga de León¹, Dr. Stephen Kershaw², Dr. Jaime Romero³

Resumen

El relieve topográfico en el área de estudio está formado primordialmente de sedimentos transportados por arroyos con origen en la sierra de Juárez llamados abanicos aluviales. Sin embargo estas estructuras están intercaladas con estratos de terrazas de edad Pleistoceno-Holoceno derivados del Río Bravo. En el presente documento, se asocian espacial y temporalmente estas estructuras con el cambio climático ocurrido durante la penúltima y última inter-glaciación así como con la última glaciación. Durante esta, el Río edificó las terrazas sobre su margen derecha desde la intersección de las calles Hortensia y Guadalajara colonia Felipe Ángeles continuando por la intersección de 16 de Septiembre y Barrio y terminando en la zona suroriental conocida como El Porvenir. Por otro lado, la litología de estas estructuras y su elevación relativa con respecto al cauce actual del Río se comparó con un sistema de terrazas existente en el área de Albuquerque Nuevo México. Dicho modelo presenta una gran similitud litológica con las terrazas encontradas en el área de estudio. Finalmente, estos dos tipos de estructuras se ensamblan para de esta manera establecer el modelo dinámico en contacto con los abanicos aluviales derivados predominantemente de sedimentos de calizos, areniscas y lutitas de la sierra de Juárez. Para formular dicho modelo se realizó un estudio previo de la configuración del sistema de drenaje, geomorfología, tectónica y clima del área de estudio en donde se analizaron las imágenes aéreas y las curvas de nivel usando la plataforma de Los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Finalmente una vez definidos los resultados del análisis de laboratorio se obtuvo la posición estratigráfica y topográfica de estas estructuras sedimentarias.

Palabras clave: abanicos aluviales, terrazas fluviales, dinámica, temporal, espacial, geomorfología, Río Bravo.

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chih. México. dzuniga@uacj.mx

² Brunel University. London, UK.

³ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chih. México. jromero@uacj.mx

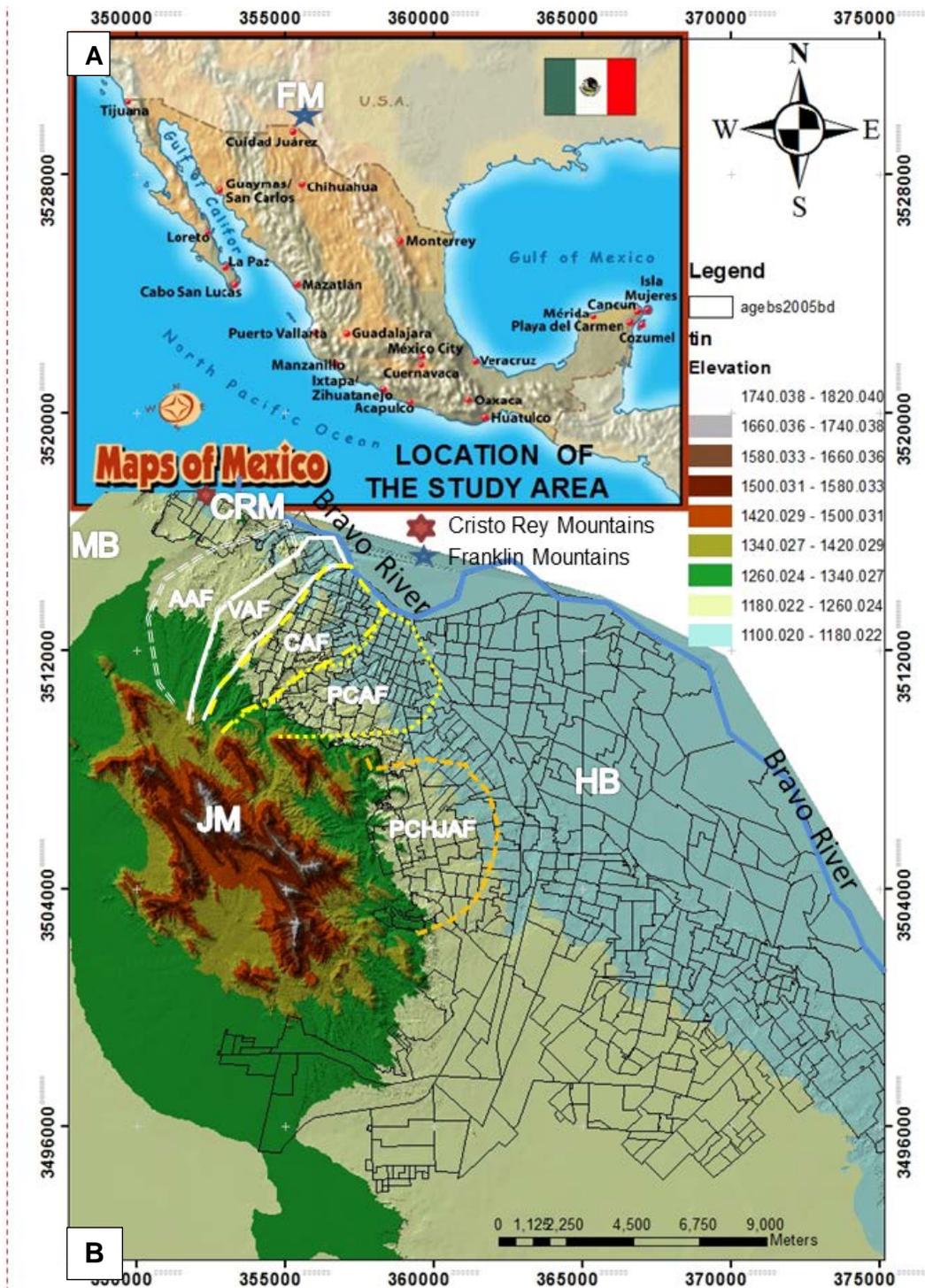
Localización del área de estudio.

El área de estudio se localiza en las coordenadas UTM WGS 84: 351,766 de longitud Este y 3 508,163 de latitud Norte. La superficie estudiada cubre aproximadamente 90 kilómetros cuadrados y está situada en la porción Oeste de la sierra de Juárez. La elevación con respecto al nivel medio del mar se encuentra entre las cotas 1130 m a 1820 m. Los accesos al área son escasos y cuenta con una vía principal conocida como Boulevard Norzagaray que comunica con el Periférico Camino Real a la altura del kilómetro 4.72 del entronque que conduce a la colonia Anapra (ver Fig. 1).

El clima del área de estudio es templado seco característico de zona desértica, La temperatura máxima anual sobrepasa los 40°C y la mínima está por debajo de los 0°C, referente a la precipitación, esta es del orden de 200 milímetros por año. Dado que se atraviesa por período de sequía, el total de agua precipitada ha disminuido, llegando al rango de 90 milímetros al año. La temporada de lluvia se presenta en el verano durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre con lluvias de alta intensidad y corta duración. En lo que se refiere a la flora, está se compone de plantas xerófilas, herbáceas, arbustos de diferentes tamaños entre mezclados con algunas especies de agaves, yucas y cactáceas; leguminosas como el huisache, guamúchil, zacates y peyote. La fauna está constituida por gato montés, coyotes, palomas güilota y alas blancas, halcones y serpientes.

Justificación:

En Ciudad Juárez no existen estudios que traten sobre la dinámica de este tipo de estructuras las cuales son de gran calidad para la construcción de obras civiles tales como: terracerías, pavimentación, y edificación. También, dada sus propiedades altamente permeables estas presentan gran vocación acuífera por lo que su localización es de gran interés para futuras investigaciones relacionadas con estudios de calidad y cantidad de agua de los Bolsones del Hueco, la Mesilla y Conejos-Médanos que actualmente se están explotando a fin de sustentar el Bolsón del Hueco que suministra de agua a la población de Ciudad Juárez.



Figural **A**) Límite Internacional del área de estudio; punto color rojo muestra el área de estudio. **B**) Modelo Digital de Elevación (DEM). Abanicos aluviales; Colorado (CAF); Anapra (AAF); Víboras (VF) Pie de Monte Colorado (PCAF); Palo Chino y Jarudo (PCHJAF); Bolsón del Huevo (HB); Bolsón Mesilla (MB); montaña de Juárez (JM); montaña Franklin (FM); Límite del Río Bravo (línea Azul). Fuente: mapas de archivo de la República Mexicana y Arc-GIS 10.2 para construcción del modelo digital (DEM).

Modelo conceptual aluvial y fluvial.

Los abanicos aluviales y las terrazas fluviales son estructuras geológicas que se activan por dos causas principales: tectónica y clima. En la Fig. 2 se ilustra su evolución dinámica y sus componentes. Sin embargo, los procesos físico-químicos implícitos son complejos y no se mencionan por razones de espacio. La dinámica de dichas estructuras varía temporal y espacialmente por lo que es preciso definir una ventana de tiempo que permita su estudio. Dicha ventana de tiempo, en el área de estudio se ubica entre la penúltima y última inter glaciación. De esta manera el modelo quedo justamente enmarcado por esta última que es la clave en el desarrollo del modelo dinámico de terrazas y abanicos.

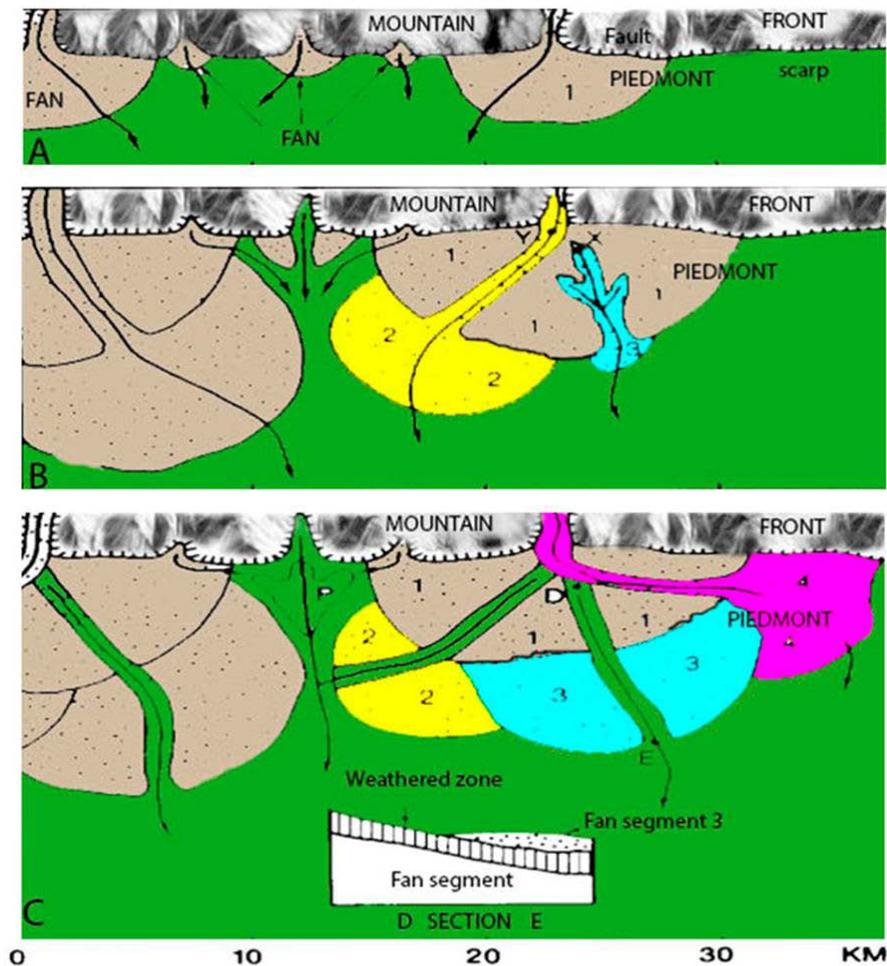


Figura 2. A) Piedemonte, ápice topográfico y segmento proximal del abanico. B) desarrollo de los segmentos medios y distales marcados por ápices hidrológicos del abanico (x, y). C) Ápices Hidrológicos que desarrollan el abanico hasta sus segmentos más distales (2, 3 y 4). Fuente: Blair and McPherson, 1994; Lecce (1990).

La Fig.2 indica el inicio del proceso del abanico en el ápice topográfico de piedemonte (1) asociado a ciclos de falla geológica, clima o a ambos. De esta manera el arroyo principal transporta, deposita y corta los sedimentos previamente depositados produciendo un ápice hidrológico durante cada ciclo. En la figura se aprecia como los segmentos de las 4 generaciones de abanico fueron cortadas por tres diferentes cambios de dirección del arroyo principal dando como resultado un sistema de abanicos marcados por periodos de incisión corte y agradación. En el área de estudio se tienen depósitos de conglomerados calizos (caliches) definidos por su grado de desarrollo III y IV de (Machette (1985); Gile et al., 1966 los cuales están en contacto con terrazas del Río Bravo.

Geología del área de estudio.

La geología de la zona se ilustra en el plano de la Fig. 3, que muestra las rocas desde el período Cretácico (formaciones geológicas de color verde) que se localizan en la Sierra de Juárez y cerro de Cristo Rey hasta las Cuaternarias indicadas en color crema. Existen numerosos lineamientos en color gris que representan fallas del período Cuaternario: Strain 1968; Wacker (1972); Nodeland (1970); Drewes and Dyer, 1993; Mack and Seager , 1990 y 1995. En relación a las incursiones del Río Bravo estas se muestran como líneas asuradas en tres diferentes colores: La primera, y más antigua que corresponde a la penúltima glaciación es la línea café que une los puntos (círculos y cruces de color lila); la intermedia es una línea de color lila que une los puntos (cruces de color rojo) corresponde a las terrazas del Río Bravo derivadas de la última glaciación; la línea indicada en color verde representa el curso Holoceno del Río Bravo. Finalmente la línea continua color café es la envolvente que delimita la zona de abanicos aluviales. Con el fin de ubicar temporalmente la evolución geomorfológica del área de estudio y la litología de los suelos encontrados, a continuación se presenta un análisis comparativo con los suelos hallados en la zona Albuquerque Nuevo México, Lambert (1968); Connell (2004). Esto permitió identificar el modo de operación durante los períodos climáticos registrados en las épocas interglaciares y glaciares ya mencionadas. Esto, a la vez ocasionó los cambios en el nivel de base del Río que significaron aumento de su capacidad y competencia. Finalmente, fueron diversas las rutas que el Río Bravo trazó durante dichos cambios lo que originó depósitos fluviales y terrazas que permitieron el ensamblaje de este modelo regional.

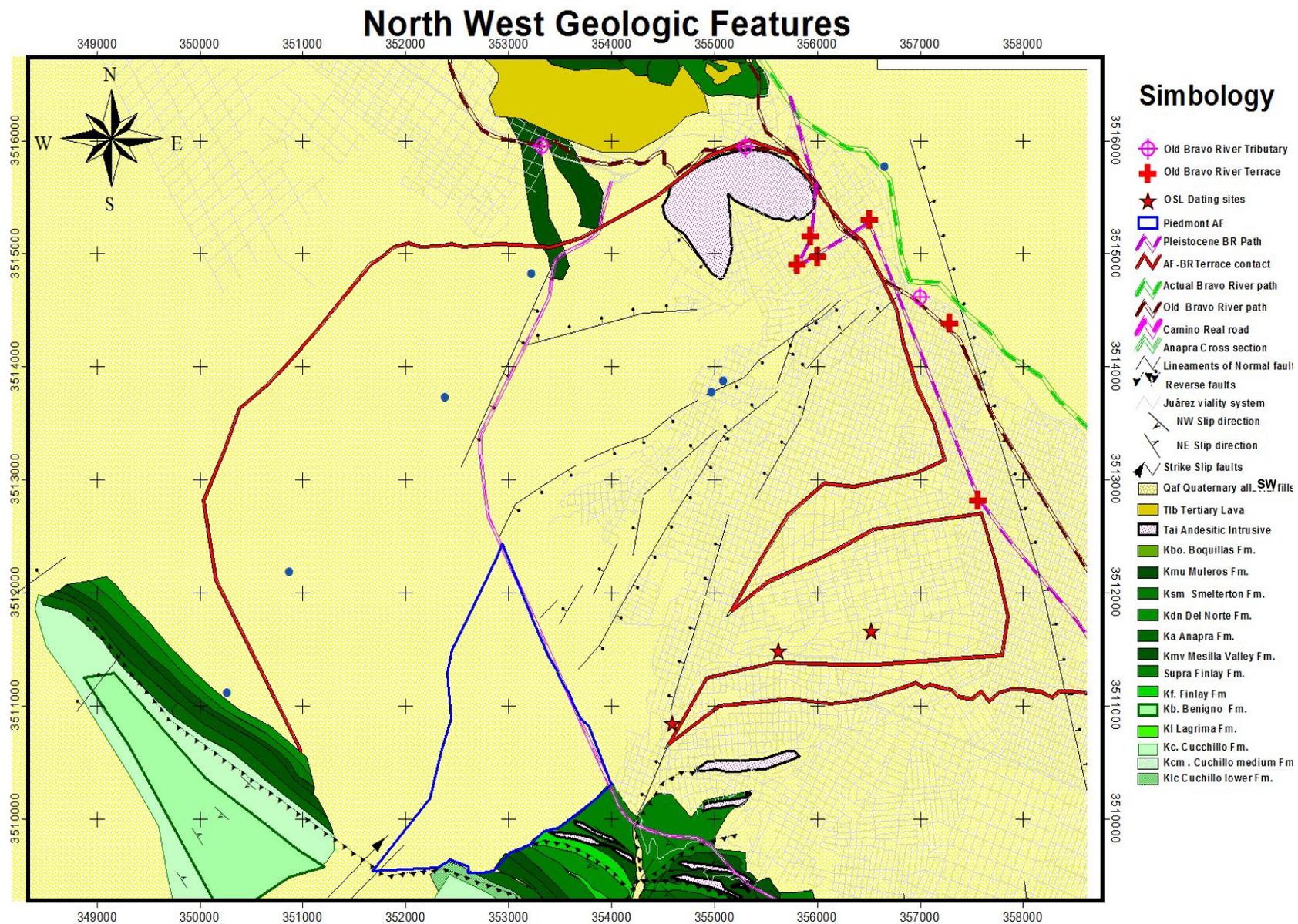


Figura 3 Mapa Geológico del área de estudio con las formaciones geológicas (ver simbología). Curso del Río Pleistoceno-Holoceno (líneas asuradas en color verde lila y cafe; Abanicos (estrellas rojas) y sedimentos fluviales; terrazas (cruces rojas). Fuente: Modificado de Drewes and Dyer (1977).Coordenadas Geográficas UTM datun NAD 27; Uso de Arc-Map 9.3.

Evolución espacial y temporal del sistema aluvial y fluvial.

Durante el modo tectónico se producen fallas con deslizamiento de bloques donde el bloque que cae (techo) y el bloque que se conserva o sube (piso) permite a los mineros ubicarse y encontrar zonas de falla. El efecto de estas fallas en la evolución de las estructuras sedimentarias se refleja por la alteración del nivel de base del río u arroyo con un cambio en el régimen hidráulico y variación en su capacidad y competencia suficientes para que el cauce cambie su dirección. De esta manera el cauce principal inicia la producción de terrazas u abanicos aluviales. Por otro lado, el modo climático se refiere a un cambio súbito en el nivel del Río dado por un cambio de clima como sucede durante la transición de interglaciación a glaciación o viceversa. Actualmente, el modo activo es el climático con precipitaciones de poca duración y alta intensidad que provocan mayor competencia del cauce principal con arrastre de partículas de tamaño grande como gravas y arenas gruesas conocidos como conglomerados (ver tabla 1). En el área de estudio se sugieren tres ventanas de tiempo extremas basadas en Marine Isotope Stage (MIS) del programa equatorial Pacífico ODP sitio 846 de Haug and Tiedemann (1998). Los tres periodos glaciares (MIS 6,4 y 2)=(160ka-75ka-22ka) están divididas por el penúltimo período (5e) y último (3) (125ka-50ka) (ver Fig. 4B). En el período 5 se identifican una gran cantidad de abanicos aluviales conglomeráticos tipo calcrete con estado de desarrollo entre las etapas III y IV (160ka-50ka) conocidos regionalmente como caliches Bachman and Machete (1977). Por otro lado, en el período extremo más reciente se localizan conglomerados calizos con etapas de desarrollo más reciente (<50ka) comprendidas entre las escalas I y II de Machette (1985). En período correspondiente a la última glaciación máxima (aprox. 22 Ma), cambió el régimen hidráulico del sistema de arroyos y del Río predominando la capacidad sobre la competencia es decir agradación sobre incisión. Lo anterior sugiere una desactivación de la formación de abanicos aluviales con un gran aumento en los volúmenes de arenas eólicas tipo duna, limos y arcillas así como la proliferación de una gran cantidad de lagos en el área de estudio (ver tabla 1 donde se aprecia un marcado predominio de suelos con símbolo doble en los abanicos aluviales). Contrariamente a la reducción en la formación de abanicos aluviales, se incrementó la formación de terrazas en el Río Bravo durante esta época (ver tabla 1; suelos más limpios y uniformes debido al régimen predominantemente laminar). Por otro lado, el aumento en el nivel base del Río Bravo

causó una elevación del tirante del río de 32 m y el aumento de la velocidad de flujo en zonas de reducción transversal del cauce del Río. Este incremento en la velocidad de flujo produjo un aumento en la competencia causando el depósito de un importante volumen de sedimentos conocidos como terrazas. Estos se encuentran depositados en numerosos puntos (ver mapa geológico Fig. 3). A fin de complementar lo anteriormente señalado a continuación se describen trabajos previos sobre la geología regional del área de estudio.

Subyaciendo a las estructuras sedimentarias superficiales de abanicos aluviales y terrazas existen formaciones geológicas del grupo Santa Fe Inferior, Media y Superior que forman los Bolsones del Hueco y La Mesilla en la zona Este y Oeste respectivamente del área de estudio (Hawley *et al.*, 1969, 1976). Estos depósitos corresponden a la formación Camp Rice y Forthankok muy común en la sierra de Juárez. Durante los períodos Pleistoceno y Holoceno se presentaron eventos tectónicos y climáticos que causaron la formación de antiguos distributarios del Río Bravo que formaron gran cantidad de terrazas en el área de estudio. Finalmente, el indicador geológico (Lava Greek B) de la espuma volcánica derivada de Yellowstone se encuentra preservada a 75 m de altura con respecto a la elevación del actual cauce del Río Bravo en USA UTEP cercana a la calle Mesa en El Paso Texas. Lo anterior constituye la evidencia del rápido pero episódico evento de incisión del Río Bravo ocurrido hace 640,000 años a lo largo de Paso del Norte entre las montañas Franklin y la Sierra de Juárez. (Hawley *et al.*, 1969, 1976).

Evolución del Río Bravo durante el Pleistoceno Temprano y el Holoceno

Al menos cinco eventos avulsivos de los tributarios del río se han presentado: **A)** El Lago Cabeza de Vaca floreció durante Plio-Pleistoceno (<2.5 Ma) (Strain, 1966; Hawley *et al.*, 1969; Vanderhill, 1986. **B)** El antiguo Río Bravo durante Pleistoceno Medio -Tardío. **C)** Los antiguos tributarios del Río formaron y disectaron terrazas durante el Pleistoceno Medio a Tardío (0.66 Ma a 0.16 Ma) (Connell *et al.*, 1998). **D)** Formación de terraza durante el Pleistoceno Tardío (78- 28 Ma) (Connell *et al.*, 1998). **E)** otro evento avulsivo ocurrió durante el Holoceno (15 – 22 Ma) (Hawley and Kottlowsky., 1969; Hawley *et al.*, 1976; Allen and Anderson, 1993). También, durante período recientes (<15 Ma) tributarios jóvenes del río estuvieron activos produciendo el último cambio en su trayectoria (Connell *et al.*, 1998). En resumen, el modelo de terrazas del presente trabajo comprende sedimentos

fluviales en las márgenes del río de menor a mayor edad: Los Padillas (Qrp); Arenal (Qra); Los Duranes (Qrd); Menaul, Edith (Qre) y Lomatas Negras Formations (Qrl). Las edades de estas formaciones fueron obtenidas mediante el método Optical Stimulated Luminescence (OSL) (Cole et al., 2007; Personius and Mahan, 2000, 2003; Hall et al., 2008). En la Fig. 4A se ilustran 5 columnas litológicas y sus respectivas alturas relativas definidas por Lambert (1968) de menor a mayor edad como: llanura de inundación del RG (23m), primero alto (8m), segundo alto (43m), tercero alto (30m) y cuarto alto (23m). Para el estudio comparativo de estas terrazas localizadas en Albuquerque Nuevo México y las encontradas en la colonia Felipe Ángeles de Ciudad Juárez se colectaron muestras en ambas regiones. La petrología y características litológicas fueron similares entre aquellas llamadas como Padillas, Menu y Edith y las de Juárez. Estos depósitos corresponden a limos, arcillas y arenas de llanuras de inundación transportadas por el río (Qrp, Qra y Qrd) así como gravas y arenas de las formaciones Edith (Qre) Lambert (1968); Cole et al., 2007. En resumen, los depósitos encontrados en la calle Hortensia cruce con Guadalajara y calle Quelite ambas en la Colonia Felipe Ángeles (Ver Figs. 4C, 5 y 6), presentan una gran similitud tanto litológica como topográficamente con respecto a los encontrados en la formación Edith (Qre) ya que ambos están a 23 m de altura del cauce actual del río (Ver Figs. 4A, 4C y 4D). En caso de los depósitos encontrados en las márgenes del río conocidos como (Qrp) de albuquerque estos también corresponden litológicamente con los encontrados en Ciudad Juárez en la calle 16 de Septiembre y Barrio así como los encontrados en la zona suroriente de la ciudad cerca del valle de Juárez (ver Tabla 1 con los puntos de coordenadas geográficas y mapa geológico de Fig. 3 y fotos de la Fig. 6). Finalmente, en relación a los depósitos más antiguos que corresponden a ciclos climáticos anteriores a la Glaciación MI6 no existen en el área de estudio zonas de terrazas preservadas que se pudieran ajustar al modelo propuesto. En la Fig. 4A se tiene que la terraza más joven tiene un espesor entre 1m y 15m y esta 8 m arriba del Río Bravo. (Qrp); La segunda es de 0 a 5m de espesor y se localiza 12 m arriba del Río Bravo (Qra); finalmente la tercera es de 7m de espesor y quizás este localizada en falla que ocurrió en la Formación Edith (Qre) se conoce también como Formación Segundo alto de Lambert el signo de interrogación Qe? La formación Edith en el área de estudio está localizada a 42m abajo del nivel

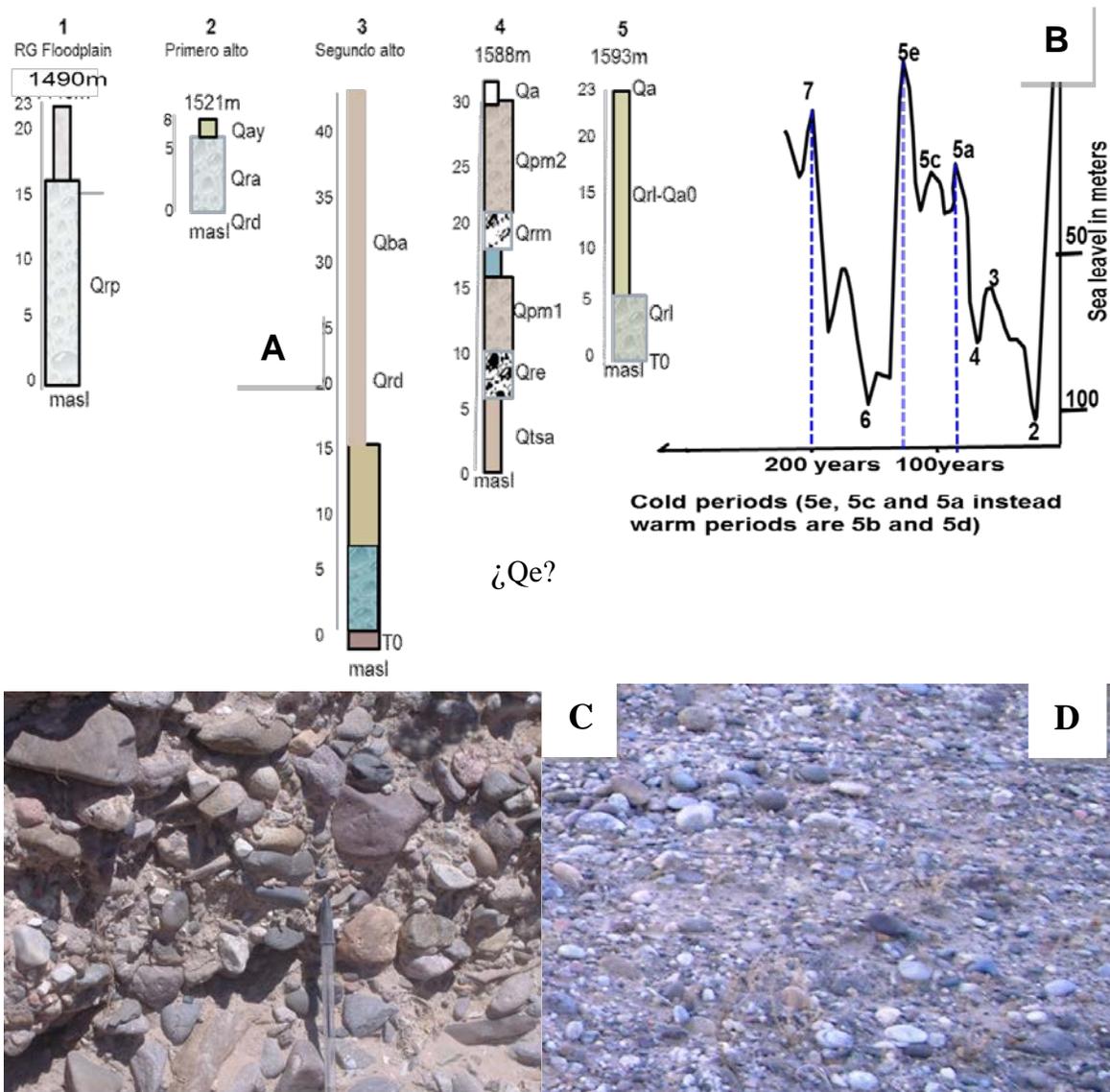


Figure 4. Edades comparativas de sedimentos fluviales Cuaternarios en Ciudad Juárez (este artículo) y Nuevo México (Cole *et al.*, 2007). A) Estratigrafía de los suelos encontrados en Nuevo México: 1) Formación Los Padillas Formation; 2) Formación Arenal modificada de (Lambert, 1968; Machette *et al.*, 1997); 3) Formación Los Duranes. 4) Formaciones Edith y Menaul (Connell *et al.*, 1998); and 5) Formación Lomas Negras Formation. B) Ventana de tiempo de asociación con el nivel del mar para el sitio MIS-5 durante el período Pleistoceno-Holoceno. C) Terrazas del Río Bravo encontradas en Ciudad Juárez en la intersección de las calles Guadalajara Hortensia en la que se compara su similitud con la terraza de la Formación Edith del área de Albuquerque indicada en la fotografía de la ilustración D.

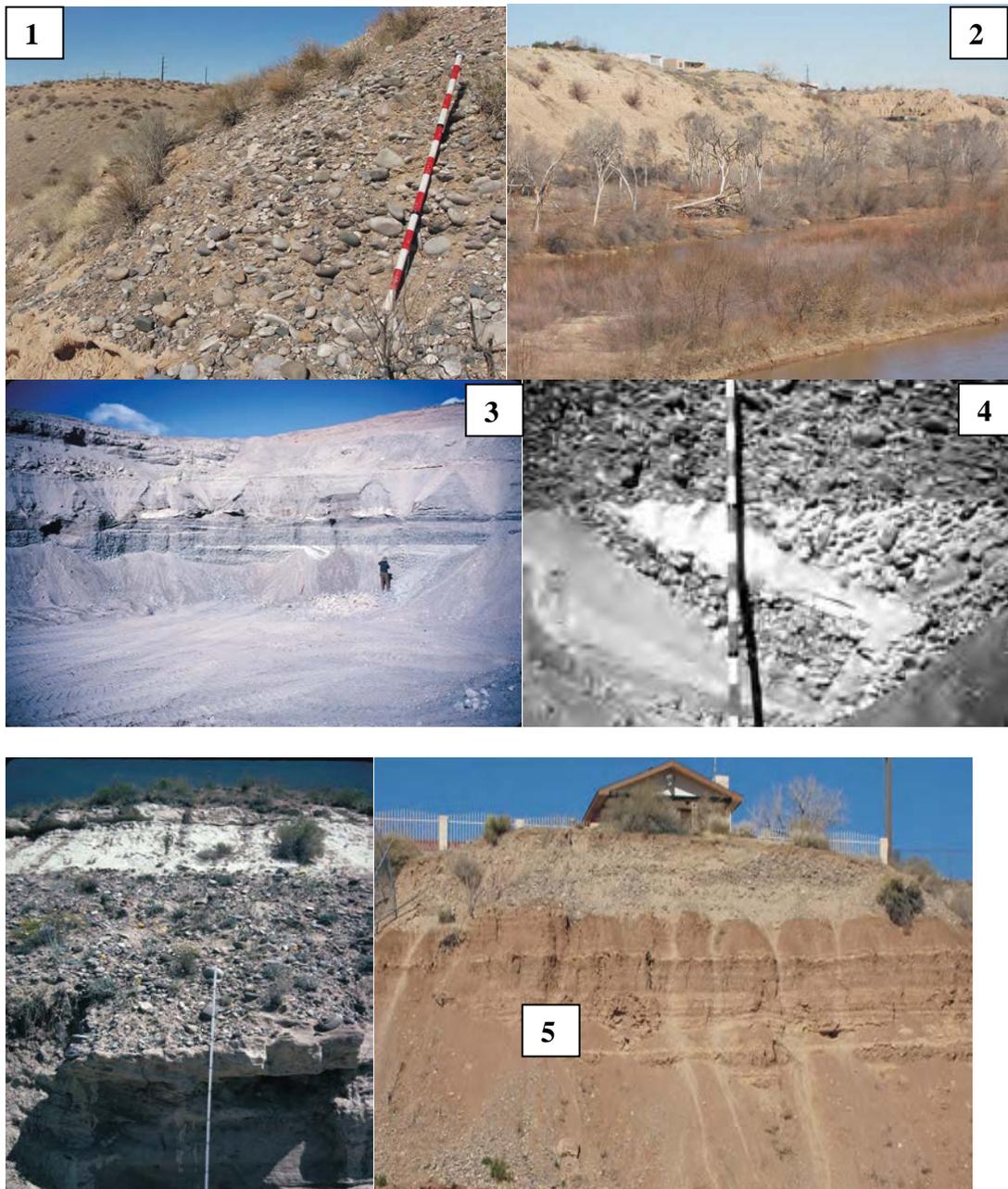


Figura 5 Fotografías de terrazas depositadas por el río Bravo. **1**=Gravas medias de la formación Lomatas Negras. Estadal dividido en secciones de 10 cm; Depósitos de la formación Lomatas negras donde se aprecia la inclusión Lava Creek B ash deposito color blanco. Estadal dividido en secciones de 10 cm. **3**= Formación Edith, aproximadamente a 120 del nivel del cauce. Formación Edith sobreyace a la Formación Sierra Ladrones. **4**=Area de Cliffs El adobe, cerca de la sección tipo mayormente compuesta por lodo y arena de la Formación Los Duranes. Formación Padillas donde se ve al fondo la llanura de Inundación. **5**=Gravel de la Formación Arenal en contacto discordante con lodos y arenas de la Formación los Duranes. Fuente: (Cole *et al.*, 2007).

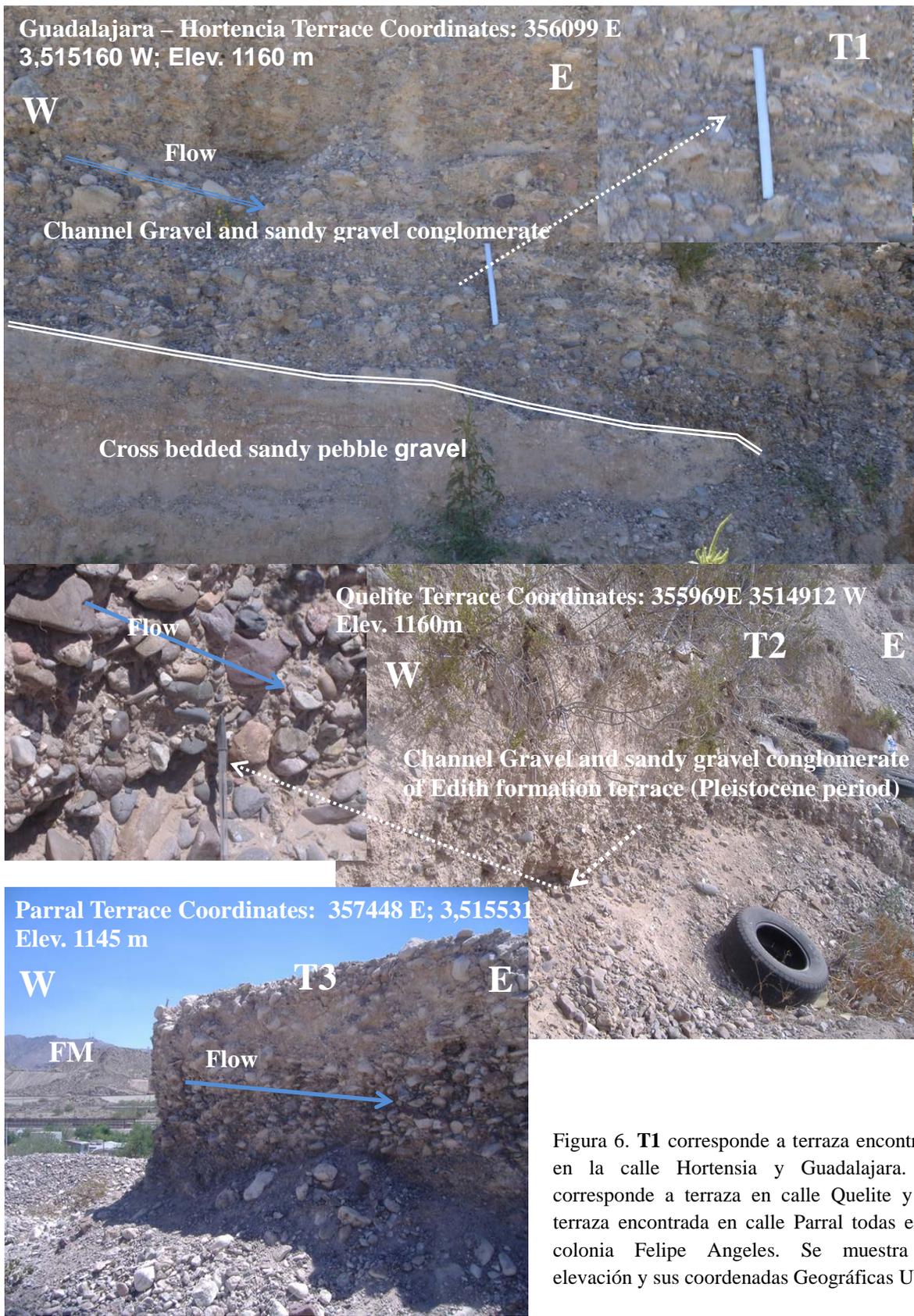


Figura 6. T1 corresponde a terraza encontrada en la calle Hortencia y Guadalajara. T2 corresponde a terraza en calle Quelite y T3 terraza encontrada en calle Parral todas en la colonia Felipe Angeles. Se muestra su elevación y sus coordenadas Geográficas UTM

Exploración de campo y clasificación litológica del sistema aluvial y pluvial

La tabla 1 presenta los tipos de suelos obtenidos usando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de las muestras recolectadas en la región de Ciudad Juárez. (Ver reportes del 3 al 23 en Zuñiga (2014) PhD. thesis). En la primer columna de la tabla 1 se tienen que del ensayo 100 al 117 corresponden a suelos derivados de abanicos aluviales mientras que del ensayo 118 al 130 se refieren a depósitos del Río Bravo.

ID	SUCS	L.L(%)	L.P(%)	CL(%)	PVS(Kg/cm ³)
100 (CR KM 14+500)	SM-SC	26.51	20.21	5.20	1607.22
101 (CR KM 14+500)	CL	24.22	17.14	3.50	1376.74
102 (CR KM 14+500)	SM	20.53	15.63	2.90	1629.69
103 (CR KM 11+700)	SM	17.46	15.05	2.41	1330.37
104 (CR KM 11+700)	SM-SC	22.82	18.18	5.90	1621.42
105 (CR KM 11+000)	GM-GC	18.53	13.04	2.70	1864.16
106 (CR KM 11+000)	SC	31.05	19.79	0.00	1297.98
107 (CR KM 10+380)	SM-SC	24.86	18.90	1.60	1228.66
108 (CM KM 11+380)	ML-OL	21.16	15.71	3.20	1354.26
109 (CR KM 9+300)	ML-OL	23.72	19.10	2.0	1303.44
110 (CR KM 9+300)	SP-SM	23.10	22.22	0.00	1373.03
111 (CR KM 9+300)	SM	18.80	13.33	2.20	1519.79
112 (Gasera)	SC	30.77	16.88	5.70	1210.00
113 (Gasera)	SC	18.72	9.70	3.20	1629.00
114 (PEC)	CL	30.03	17.78	7.90	1370.00
115 (PEC)	CH	50.95	28.81	15.10	1369.62
116 (PEC)	CH	54.64	28.30	16.40	1371.42
117 (Gasera)	CL	35.71	21.90	7.10	1250.89
118 (Col . 16 Sept)	SM	22.60	20.88	1.20	1204.77
119 (Col. 16 Sept)	CL	56.36	31.67	16.80	1318.00
120 (Col. 16 Sept)	CL	28.27	19.23	9.04	1246.42
121 (ME-JB)	SP-SM	17.42	15.89	0.00	1931.40
122 (ME-JN)	SM	22.50	21.05	0.00	1259.12
123 (COV-JB)	SM	19.03	18.35	1.20	1382.14
124 (Col. CHIH)	SM	18.07	16.13	1.94	1397.50
125 (Col. CHIH)	ML	26.16	21.31	4.50	1392.00
126 (AV-FA)	SM	17.50	16.97	0.00	1637.23
127 (AV-FA)	SC	40.06	24.69	10.50	1378.57
129 (Nogal FV)	SC	25.97	18.75	4.80	1453.00
130 (Reb-CM)	SM	23.24	16.90	0.90	1638.94
131 (Reb-CM)	SP	31.34	14.18	3.20	1667.91

Tabla 1 Nombre (ID); Columna 2 Clasificación (SUCS); Columna 3 límite líquido (L.L);Columna 4 Límite Plástico (L.P); Columna 5 Índice de Contracción (CL); Columna 6 Peso Volumétrico Seco (PVS). Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UACJ (2012).

Referencias

- Allen, B. D. and Anderson, R. Y. 1993. Evidence from western North America for rapid shifts in climate during the last Glacial Maximum: *Science*, 260, 1920-1923.
- ASTM. 1985. Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, 1985, pp. 395-408.
- Bachman, G.O. and Machete, M.N. 1977. Calcic soils and calcretes in the southwestern United States. United States Department of the Interior, Geological Survey Open File Report 77-794, accessible online at: <http://pubs.usgs.gov/of/1977/0794/report.pdf>. Date: November 19, 2012
- Blair, T. C. and McPherson, J. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on Morphology, Hydraulic processes, sedimentary processes and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research*, A64, 450-489.
- Cole, J. C., Mahan, S. A., Stone, B. D., and Shroba, R. R., 2007 Ages of Quaternary Rio Grande terrace fill deposits, Albuquerque area New Mexico. *New Mexico Geology*, v. 29, no 4, pp. 122-132.
- Connell, S. D., Allen, B. D. and Hawley, J. W. 1998. Subsurface stratigraphy of Santa Fe Group from borehole geophysical logs, Albuquerque Area, New Mexico: *New Mexico Geology*, 20(1), 2-7.
- Connell, S.D. 2004. Geology of the Albuquerque basin and tectonic development of the Rio Grande rift in North central New Mexico. *New Mex. Geological Society, Special Publication*, 11, 359-398.
- Drewes, H. and Dyer, R. 1993. Geological map and structure sections of the Sierra Juárez, Chihuahua, México scale 1:12,500 MAP 1-2287. U.S. Geological Survey miscellaneous investigations.
- Gile, L. H., Peterson, F. F. and Grossman, R. B. 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils: *Soil Science*, 101(5), 347-360.
- Hall, S. A., Goble, R. J., and Raymond G. R., 2008 OSL ages of upper Quaternary eolian sand and paleosols, northwest Albuquerque Basin, New Mexico. *New Mexico Geology*, v. 30 no. 2, pp. 39-49.
- Haug and Tiedemann, 1998; Cande and Kent, 1995 (Marine Oxigene Isotope curve from the equatorial Pacific ODP site 846
- Hawley, J. W., Bachman, G.O. and Manley, K. 1976. Quaternary stratigraphy in the Basin and Range and Great Plains provinces, New Mexico and western Texas; in
- Hawley, J. W., Kottlowski, F. E., Seager, W. R., King, W. E., Strain, W. S. and LeMone, D. V. 1969. The Santa Fe Group in the south-central New Mexico border region: in *Border stratigraphy symposium: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Circular 104*, 52-76.
- Hawley, J.W., Kottlowsky, F.E. 1969. Quaternary geology of the south-central New Mexico border region. *New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Circular 104*, 89-115.
- Lambert, P.W. 1968. Quaternary stratigraphy of the Albuquerque area, New Mexico [PhD. Dissertation]. Albuquerque University of New Mexico, 329 p.
- Lambert., P. W., 1968. Quaternary stratigraphy of the Albuquerque area, New Mexico unpublished Ph.D dissertation University of New Mexico Albuquerque, 329 pp.

Lecce, A.S. 1990. The alluvial Fan Problem. Chapter 1. Alluvial Fans: A Field Approach edited by A.H. Rachocki and Church. John Wiley & Sons Ltd.

Machette, M.N., 1985, Calcic soils of the southwestern United States, in: Weide, D.L., ed., Quaternary soils and Geomorphology of the American southwest: Geological Society of America Special Paper 203, p.1-42.

Machette, M.N., Long, T., Bachman, G.O. and Timbel, N.R. 1997. Laboratory data for calcic soils in Central New Mexico: Background information for mapping Quaternary deposits in the Albuquerque basin: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Circular 205, 63p.

Mack, G.H. and Seager, W.R. 1990. Tectonic control on facies distribution of the Camp Rice and Palomas Formations (Plio-Pleistocene) in the southern Rio Grande rift. Geological Society of America Bulletin, 102, 45-53.

Mack, G.H. and Seager, W.R., 1995. Transfer zones in the southern Rio Grande rift. Journal of the Geological Society of London, 152, 551-560,

Nodeland, S. 1977. Cenozoic Tectonic of Cretaceous rocks in the Northeast Sierra de Juárez, Chihuahua, México. The University of Texas at El Paso (UTEP). Master's Thesis: Available in http://proquest.umi.com/dissertations/Previous_ALL_EPOO877.

Personius, S. F., and Mahan, S. A., 2000. Paleoearthquakes recurrence on the East Paradise fault zone Metropolitan Albuquerque New Mexico. Seismological Society of America, Bulletin, v. 90, pp. 357-369.

Personius, S. F., and Mahan, S. A., 2003. Paleoearthquakes and aeolian-dominated fault sedimentation along the Hubbel spring

fault zone near Albuquerque New Mexico. Seismological Society of America, Bulletin, v. 93, pp. 1355-1369.

Strain, W.S. 1966. Blancan mammalian fauna and Pleistocene formations, Hudspeth County, Texas. Texas Memorial Museum Bulletin 10 (55 pp.).stratigraphy, Animas Valley, New Mexico, Quaternary Research, v. 50, p. 283-289.

Strain, W.S., 1968, Cerro de Muleros (Cerro Cristo Rey): West Texas Geological Society, Delaware Basin exploration Guide, Publication 68-55, p.82.

Strain, W.S., 1976, New formation names in the Cretaceous at Cerro de Cristo Rey Doña Ana County, New Mexico in: Lovejoy, E.M.P., Geology of Cerro de Cristo Rey uplift, Chihuahua and New Mexico: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Memory 31, pp. 77-82.

UACJ (2011) Countour levels offset every 1m using Lidar Technology provided by Juárez University Mexico.

Vanderhill, J. B. 1986. Lithostratigraphy, vertebrate paleontology, and magnetostratigraphy of Plio-Pleistocene sediments in the Mesilla Basin, New Mexico. PhD dissertation, Austin, University of Texas, 305 pp.

Wacker, H. 1972. The stratigraphy and structure of Cretaceous rocks in north-central Sierra de Juárez Chihuahua, México. The University of Texas at El Paso (UTEP). Master's Thesis: Available in http://proquest.umi.com/dissertations/Previous_ALL_EPOO877