

Distribución y evolución histórica de las terrazas fluviales del valle de Santa Teresa Guanajuato

Raúl Miranda-Avilés*
María Jesús Puy-Alquiza*
Yann Rene Ramos-Arroyo**
Ricardo Navarro-Barrera*

Recibido: 16 de mayo de 2006
Aceptado en versión final: 15 de agosto de 2006

Resumen. Este trabajo reporta la existencia de terrazas fluviales originadas por eventos de inundación históricos a lo largo del valle fluvial de Santa Teresa en el Río Guanajuato. Se identificaron y cartografiaron seis diferentes niveles de terrazas que corresponden a T1 (1.8 m), T2 (3.0 m), T3 (4.2 m), T4 (5.2 m), T5 (6.0 m), T6 (+ 6.8 m).

Con base en el análisis de secuencia de terrazas y apoyados con dos dataciones isotópicas de C^{14} , se comprobó que la T1 corresponde a la planicie de inundación máxima actual, las terrazas T2, T3, T4 se formaron en períodos de avenidas extraordinarias, con edades de entre 10 a 100 años en relación con el presente. La morfología actual de T5 corresponde a un evento de inundación histórica ocurrido en 1905. El proceso inicial de depósito de la terraza T6 fue seguido de un proceso de erosión que se interrumpe por un período de intenso aporte de sedimentos entre los años 1660 +/-40 a 1905 (T5) y que corresponde a la época de gran actividad minera en el distrito minero de Guanajuato. Después de 1905 el aporte de sedimentos a la cuenca disminuye sustancialmente, generando una erosión gradual que por pulsos repetitivos desciende conformando las terrazas T4 a T1.

Palabras clave: Terrazas fluviales, Guanajuato, sedimentos antropogénicos, evolución de terrazas fluviales, Mesa Central México, Río Guanajuato.

Distribution and historic evolution of the fluvial terraces from Santa Teresa valley Guanajuato

Abstract. The present work reports the fluvial terraces originated during historical floods throughout the fluvial plain of the Guanajuato river. Six different terraces levels were identified and mapped that correspond to T1 (1,8 m), T2 (3,0 m), T3 (4,2 m), T4 (5,2 m), T5 (6,0 m), T6 (+6,8 m). A sequence analysis of terraces was supported by 2 isotopic C^{14} dating. The T1 corresponds to the present floodplain, the T2, T3, T4 was formed during periods of extreme floods, between 10 to 100

*Universidad de Guanajuato, Facultad de Minas Metalurgia y Geología, Ex Hacienda de San Javier, 36020, Guanajuato, Gto., México. E-mail: rmiranda@quijote.ugto.mx; E-mail: yosune@quijote.ugto.mx; E-mail: rinabe@quijote.ugto.mx

**Universidad de Guanajuato, Facultad de Ingeniería en Geomática e Hidráulica, Av. Juárez 77, 36000, Guanajuato, México. E-mail: yannramos2004@yahoo.com.mx

years in relation to the present. The T5 morphology corresponds to 1905 historical flood. The T6 deposit was followed by a degradation process that was interrupted by a period of increasing sediment budget between 1660 +/-40 to 1905 (T5), during the great mining activity of the Guanajuato Mining District. After 1905 the sediments budget to the Guanajuato River, diminishes substantially, generating a gradual degradation by pulses conforming the T4 to T1 terraces.

Key words: Fluvial terraces, Guanajuato, anthropogenic sediments, fluvial terraces evolution, Mesa Central Mexico.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Guanajuato ha sufrido de inundaciones catastróficas en diversas ocasiones (Marmolejo, 1967), originadas por lluvias extraordinarias y con el asolvamiento del Río Guanajuato (Humboldt, 1822, Butzer y Butzer, 1997; Marmolejo, 1967; Reza, 2001). Humboldt, al igual que Butzer y Butzer, mencionan inundaciones desastrosas y numerosas muertes en 1760, 1770 y 1804, a consecuencia del vaciado indiscriminado de residuos mineros al cauce del Río Guanajuato.

El asolvamiento periódico del cauce principal del Río Guanajuato en los años 1828, 1830, 1867, 1873 y 1883 (Antunez, 1964; Reza, 2001), se reflejó en el valle fluvial de Santa Teresa con el modelado de terrazas fluviales. El objetivo de este trabajo es reportar la distribución, sedimentología y edad de las principales terrazas fluviales modeladas durante épocas históricas, que a diferencia de las terrazas relacionadas directamente con un origen climático (etapas glaciales e interglaciales), éstas tienen un origen muy reciente, fuertemente influenciado por la actividad antropogénica. El valle de Santa Teresa forma parte de la cuenca del Río Guanajuato, donde de 1556 a 1905, aproximadamente 45 haciendas de beneficio procesaban mineral en los márgenes del Río Guanajuato (Jaúregui de Cervantes, 1998; Ramos *et al.*, 2004) y al mismo tiempo vertían los residuos producto del procesamiento de mineral a las corrientes naturales sin ninguna precaución. De tal forma, existen actualmente más de 40 depósitos de residuos mineros entre jales, terreros en laderas y en el lecho del Río Guanajuato, los cuales por la actividad fluvial han conformado terrazas. Este trabajo servirá de base para estudios hi-

drológicos complementarios donde se puedan correlacionar los diferentes niveles de terrazas identificados, con inundaciones históricas en la cuenca del Río Guanajuato.

ÁREA EN ESTUDIO

El área en estudio se localiza en la Mesa Central, a 2 km al sur de la ciudad de Guanajuato, en el valle fluvial de Santa Teresa, que forma parte de la cuenca del Río Guanajuato (Figura 1).

La geología de la región consiste en rocas Mesozoicas volcano-sedimentarias denominadas Complejo Basal (Aranda *et al.*, 2003; Ortiz *et al.*, 1992). El Complejo Basal es cubierto por el Conglomerado Guanajuato del Eoceno (Edwards 1955; Aranda-Gómez and McDowell, 1998). Tanto las rocas del Complejo Basal como el Conglomerado Guanajuato, fueron parcialmente cubiertas por rocas volcánicas del Oligoceno, genéticamente relacionadas con la provincia volcánica de la Sierra Madre Occidental. El objetivo de este trabajo es reportar la existencia de terrazas fluviales del Río Guanajuato formadas en épocas históricas, analizando la distribución, sedimentología, así como su evolución histórica. Se enfatiza en el análisis de la terraza fluvial T5 debido a su morfología, distribución y extensión en ambas riveras del Río Guanajuato.

METODOLOGÍA

Las terrazas fluviales se identificaron inicialmente por medio de la interpretación de fotografías aéreas escala 1:20 000. Con base en la interpretación fotogeológica se definieron zonas para el levantamiento de perfiles topográficos, con apoyo de un teodolito digital

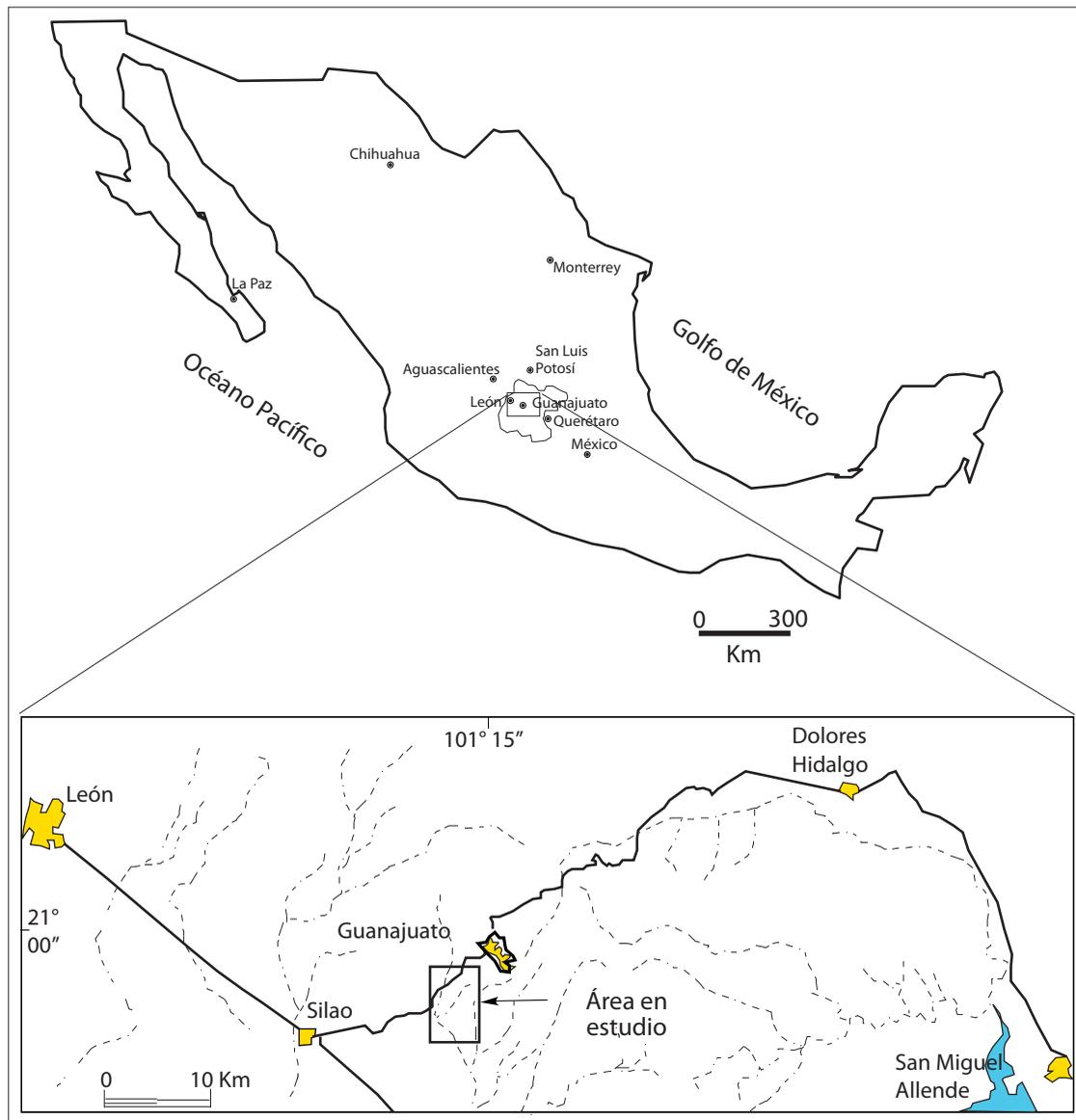


Figura 1. Localización del área en estudio.

SOKKIA DT600. Los perfiles topográficos fueron medidos en longitudes variables de entre 200 a 400 m, de tal forma que cubrieran los diferentes niveles de terrazas identificados en la foto-interpretación. Los niveles de terrazas representativos fueron identificados por medio del

análisis de alturas medidas. Una vez definidos los diferentes niveles de terrazas, se realizó la cartografía en campo, con el objeto de definir la distribución lateral de cada una de ellas.

En cada una de las terrazas identificadas se describieron sus características sedimento-

lógicas en corte, tomando en cuenta el método de análisis de facies (Miall, 1978), al mismo tiempo se obtuvieron muestras para el análisis granulométrico y mineralógico. La distribución granulométrica se obtuvo para la fracción de tamaño arena mediante tamizado en seco, utilizando una columna de 10 tamices desde -1 a $> 4 \phi$ (2 y 0.0063 mm, respectivamente). Los parámetros granulométricos determinados fueron (media, grado de selección, sesgo, curtosis) graficados siguiendo la metodología de Folk y Ward (1957) y la nomenclatura de Wentworth (1922). Las variables consideradas para dicho análisis han sido el peso de las fracciones granulométricas obtenidas del tamizado de las muestras. Las muestras se analizaron mineralógicamente por medio de una lupa estereoscópica, identificando el porcentaje de cada uno de sus constituyentes principales. La estratigrafía y secuencia de depósito de las terrazas se definió con el auxilio de dos dataciones de C^{14} practicados en restos de carbón incluidos en las terrazas y enviados a los laboratorios Beta Analytic de Miami Florida.

RESULTADOS

Morfología de las terrazas fluviales

Las terrazas fluviales son depósitos sedimentarios de planicies de inundación antiguas que han quedado abandonadas por los procesos naturales de migración lateral, acumulación (depósito) o erosión de los ríos (Leopold *et al.*, 1964). Las terrazas se relacionan con cambios climáticos a lo largo del Cuaternario y generalmente están asociados a movimientos tectónicos. Las terrazas estudiadas tienen un origen muy reciente, fuertemente influenciadas por la actividad antropogénica y eventos de inundaciones históricas que depositaron o erosionaron sedimentos.

En el valle fluvial de Santa Teresa se definieron seis diferentes niveles de terrazas (Figura 2) que varían en altura de 1.8 a 6.8 m con respecto al canal actual del Río Guanajuato. Cada una

de las terrazas se codificó con una letra "T" seguida de un número consecutivo dependiendo de su altura. Las terrazas de menor altura a mayor, corresponden a T1 (1.8 m), T2 (3.0 m), T3 (4.2 m), T4 (5.2 m), T5 (6.0 m), T6 (+ 6.8 m; Figura 2).

Las terrazas fluviales pueden desarrollarse en ambas riveras del río (terrazas pares) o sólo en una de ellas (terrazas no par). Las terrazas T1, T2, T3, T4 y T6 son terrazas no pares, con un eje este-oeste de entre 10 a 100 m de ancho y un eje norte-sur entre 100 a 500 m de largo (Figura 2). La terraza T5 tiene cortes en el campo que permitieron estudiar detalladamente su estratigrafía y sedimentología, lo cual permitió enfatizar el análisis de esta terraza.

Sedimentología y estratigrafía de las terrazas

Los sedimentos de las terrazas T1, T2, T3, T4 corresponden a material arenoso de grano medio a fino, depositado sobre sedimentos más antiguos que corresponden al relleno sedimentario del valle fluvial. Un corte transversal de las terrazas T1, T2, T3, T4 presenta una superficie plana (Figura 3A), seguida de 20 a 60 cm de arena fina a media, con estratificación hamacada y oblicua, típica de canales fluviales generados durante períodos de energía variable (Figura 3B). La terraza T5 se extiende en la porción norte del área estudiada y presenta cortes naturales de hasta 2 m que permiten el análisis de su sedimentología, representada por sedimentos limo-arenosos que por su abundancia y exposición serán descritos separadamente. En lo que se refiere a la terraza T6 (más elevada), ha sido erosionada en la mayor parte del área estudiada y se encuentra constituida por sedimentos limo-arcillosos evolucionados a paleosuelos poco preservados.

Un análisis mineralógico megascópico de los sedimentos de todas las terrazas no muestra gran variación, ya que presentan predominantemente cuarzo, fragmentos de rocas volcánicas, plagioclasas, con menor proporción de micas

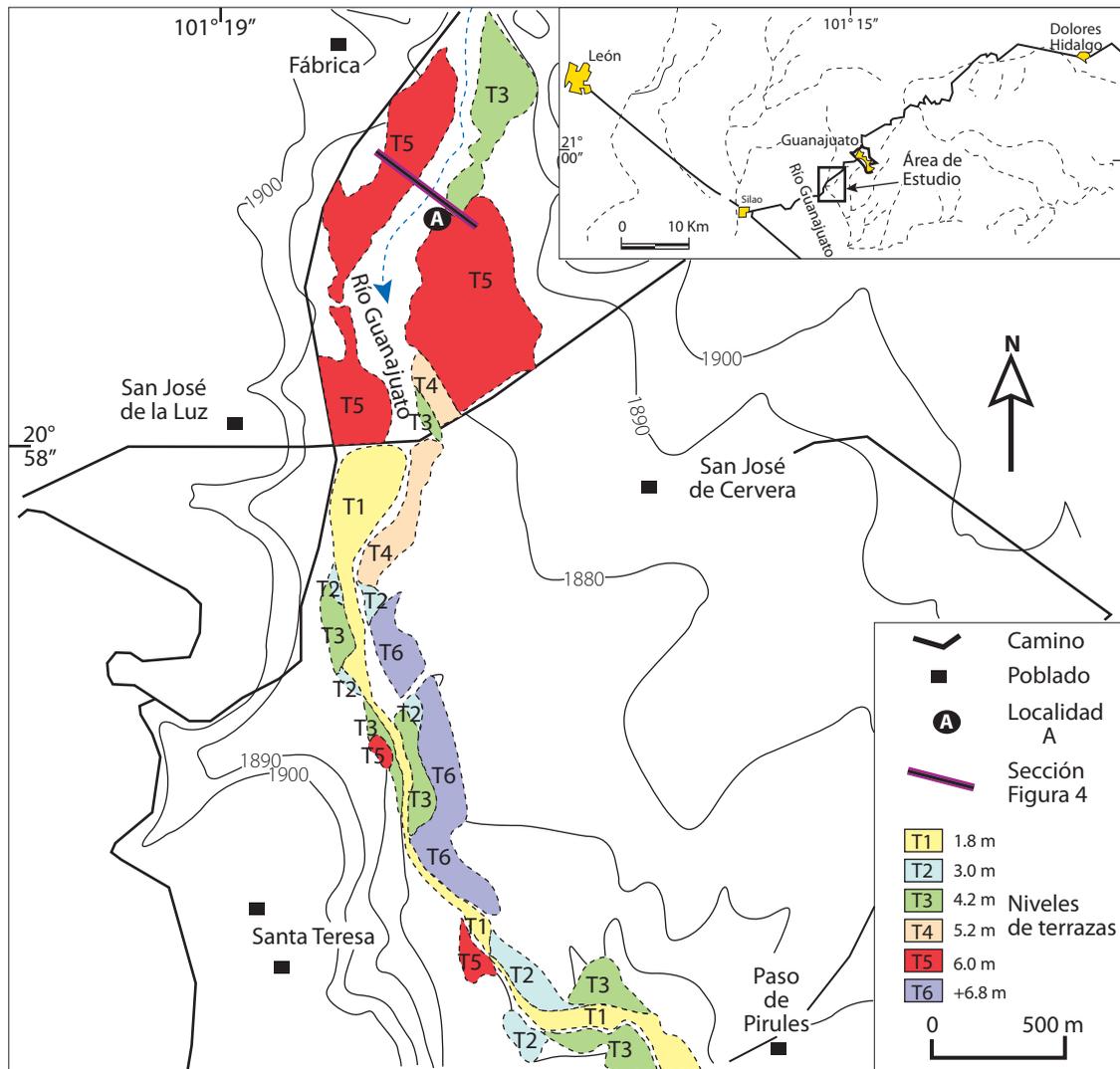


Figura 2. Carta de distribución de los diferentes niveles de terrazas fluviales en el valle fluvial de Santa Teresa Guanajuato. Las alturas indicadas en los diferentes niveles de terrazas son referidas en relación con el cauce principal del Río Guanajuato.

y óxidos de hierro en las secuencias de grano más fino. Los sedimentos de las terrazas estudiadas están constituidos por material natural y antrópico, producto de la erosión de jales vaciados en la parte alta de la cuenca durante más de 450 años en el distrito minero de Guanajuato.

La Terraza T5

Los sedimentos que constituyen la terraza T5 están excepcionalmente expuestos en la localidad A (Figura 2). La terraza T5 cubre gran parte de la porción norte del área estudiada y se presenta en ambas riveras del Río Gua-

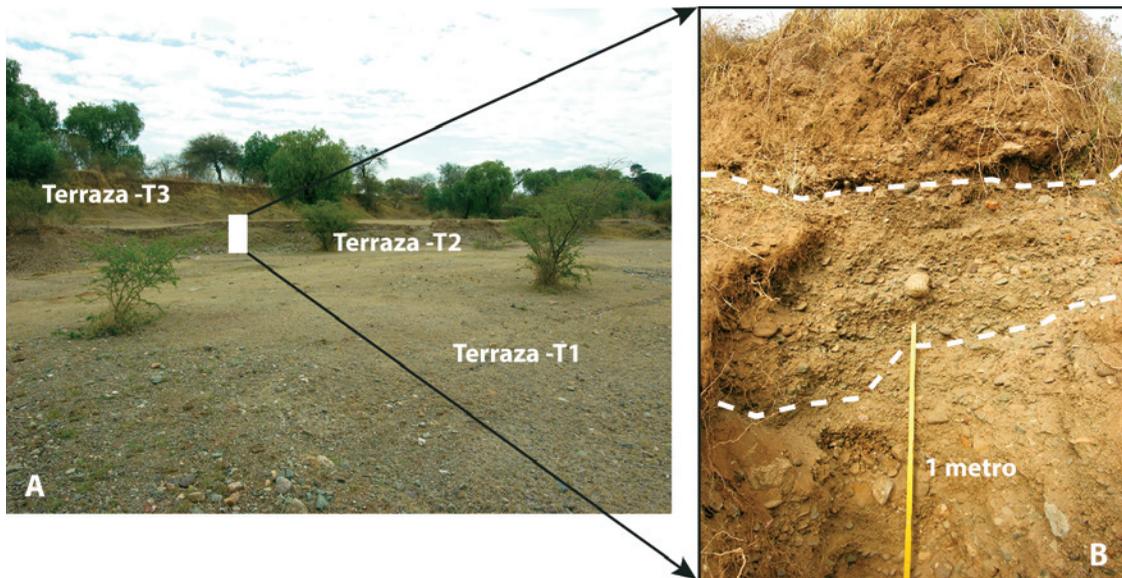


Figura 3. (A) Panorámica de las terrazas fluviales en la riberia del Río Guanajuato. La T1 (1.8 m) corresponde a la planicie de inundación actual, mientras que T2 (3.0 m) y T3 (4.2 m) son niveles antiguos. (B) Corte típico de las terrazas estudiadas donde se aprecian canales de gravas finas con arenas limosas.

najuato. La altura de la terraza T5 es variable, de entre 5.7 a 6.3 m en relación con el canal principal del río (Figura 4A). Los sedimentos que subyacen la terraza T5 están constituidos de 2 m de facies arenosas con estratificación laminada, facies gravosas y facies de grano fino de desbordamiento o inundación que incluyen 11 secuencias de depósito limo-arcillosos (Figura 4C), intercalados con suelos enterrados poco desarrollados, bioturbados y con escasas grietas de desecación, que indican exposición subaérea.

El análisis granulométrico de las unidades sedimentarias que constituyen la terraza T5, se agrupan en tres modelos de distribución representados en las gráficas de frecuencia en la Figura 4C. Las gráficas de dispersión del tamaño de grano pueden ser leptocúrticas (sedimento muy bien seleccionado), mesocúrticas (sedimento bien seleccionado) y platicúrticas (sedimento mal seleccionado), todas ellas representadas gráficamente en la Figura 4C. El tipo de curva más frecuente se caracteriza

por ser unimodal, pobre a moderadamente seleccionada, con la moda en 2.75ϕ (0.149 mm), tamaño en el que se concentra el 64% de la distribución. Su carácter es platicúrtica y ligeramente asimétrica negativa, lo que indica la presencia de una fracción minoritaria de material más grueso. Las muestras con este tipo de curvas se sitúan en el rango de arenas finas. Se distribuyen en la parte media y superior de la columna estratigráfica (Figura 4C).

El otro tipo de distribución granulométrica es de tipo unimodal, con una selección de moderada a bien seleccionada. Representa una curva de tipo leptocúrtica, presenta moderada asimetría negativa lo que indica la presencia de una fracción minoritaria de material más grueso. El tamaño medio es de 2.5ϕ (0.190 mm) lo que las sitúa en el rango de arenas finas. Este tipo de curva se distribuye en la parte media y superior de la columna estratigráfica (Figura 4C).

La distribución granulométrica existente en la parte inferior y superior de la columna es-

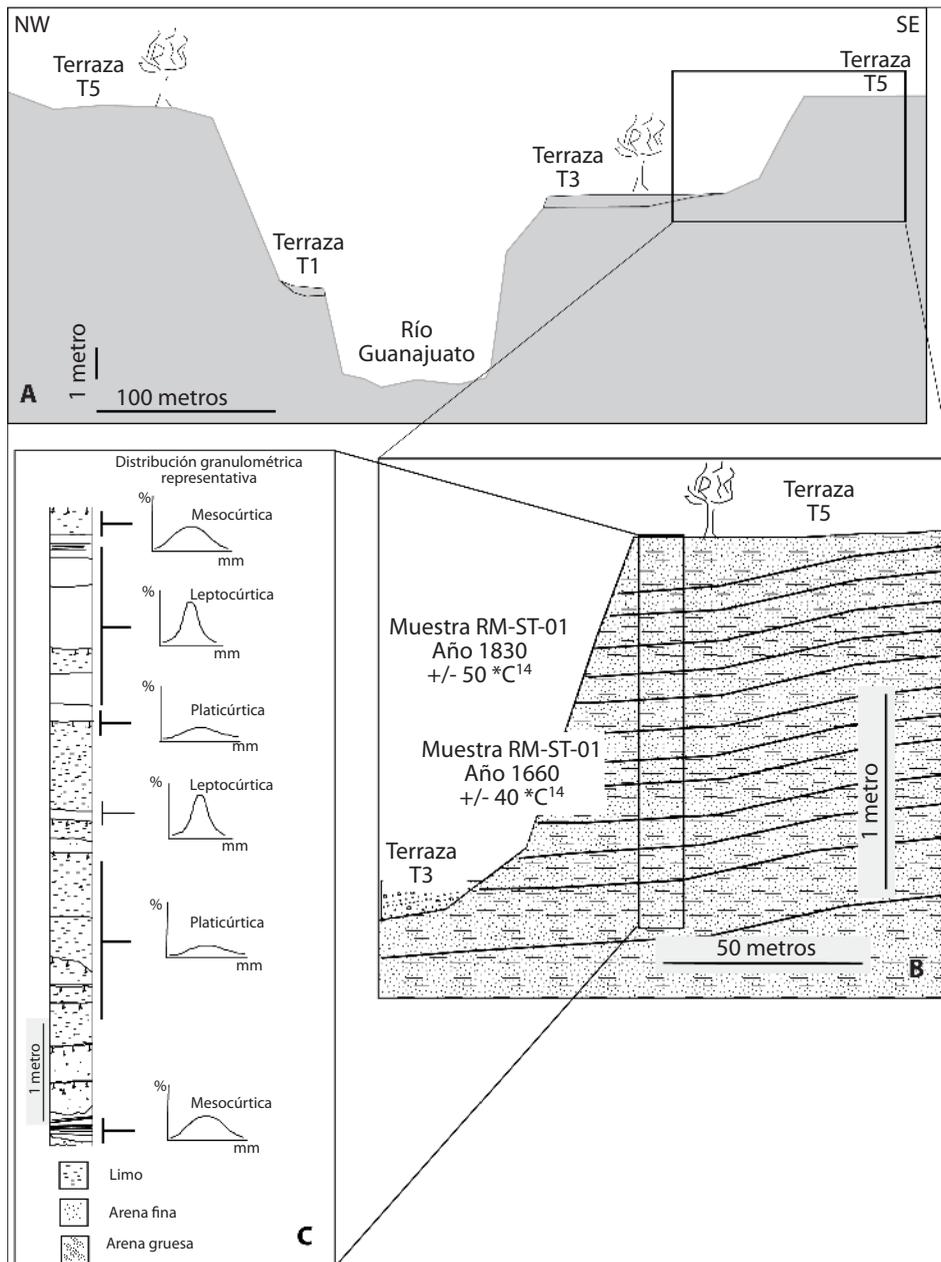


Figura 4. (A) Sección transversal al Río Guanajuato, donde se aprecian los diferentes niveles de las terrazas T1, T3 y T5. (B) Amplificación de T5, ubicando los sitios donde se tomaron muestras de fragmentos de carbón datados isotópicamente. (C) Columna estratigráfica de T5 donde se representa la granulometría por medio de la curva de frecuencia de los sedimentos a diferente profundidad. Las gráficas de frecuencia corresponden a un representación promedio del análisis granulométrico realizado.

tratigráfica (Figura 4C), es de tipo mesocúrtica, con una asimetría negativa por la presencia de una cantidad de fracción media a gruesa (15%). El grado de selección es pobre. El tamaño medio se sitúa en el rango de la arena media, el contenido de grava es relativamente bajo con valores entre (2-5%).

El análisis de los sedimentos y estructuras sedimentarias que constituyen la terraza T5 permite identificar dos niveles ricos en fragmentos de carbón de 2 a 3 mm de diámetro mezclados en horizontes limo-arenosos, que fueron datados por el método isotópico de C^{14} . Las dos muestras datadas pesaron más de 25 gramos cada una y se obtuvieron manualmente en afloramiento utilizando guantes de plástico. La muestra RM-ST-01 se tomó en la base de T5 reportando una edad de 290+/-40 años, la muestra RM-ST-02 se obtuvo de la parte media del paquete sedimentario reportando una edad de 120+/-50 años (Figura 4B).

Con base en los resultados de C^{14} , se puede afirmar que los sedimentos que constituyen la terraza T5 se depositaron entre 1 660 +/-40 años (parte inferior) y 1 830 +/- 50 años (parte media). Lo anterior confirma que los sedimentos que constituyen la terraza T5 se depositaron en el período de gran actividad minera y aporte de jales mineros al Río Guanajuato (Ramos-Arroyo *et al.*, 2004).

Arquitectura interna de las terrazas

Las secuencias de depósito que formaron las seis terrazas identificadas en el valle fluvial de Santa Teresa permiten interpretar la arquitectura interna del relleno sedimentario. De acuerdo con la clasificación de elementos arquitecturales propuesta por Miall (1985) para depósitos fluviales, la arquitectura interna del valle fluvial está constituido por canales menores de erosión y relleno, intercalados con capas arenosas laminadas y con depósitos finos de inundación. Estos depósitos se presentan de forma elongada y sobrepuestos en diferentes niveles (terrazas 1, 2, 3, 4, 5,6).

Dichos depósitos se formaron fuera del canal principal (avulsión) debido probablemente a episodios de inundación efímeros, siendo el ambiente de baja energía. La presencia de bioturbación, raíces y escasas grietas de desecación sugieren una exposición subaérea. Con base en el análisis sedimentológico, estratigráfico y secuencial, se propone un modelo conceptual de facies sedimentarias (Figura 5) donde los sedimentos finos del valle fluvial se interdigitan con los sedimentos más gruesos del canal principal de un río tipo trenzado (Río Guanajuato).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Edad de las terrazas

Con base en el análisis de secuencia de terrazas, la cartografía de los diferentes niveles de las mismas y apoyados con las dos dataciones de C^{14} , se deduce que la terraza elevada (T6) es más antigua y la de menos elevación (T1) corresponde a la terraza más joven. Según los resultados de dataciones C^{14} en conjunto con el análisis de las secuencias de depósito de la T5, se estima una edad relativa para cada una de las terrazas según la Tabla 1 y que se explica a continuación: la T1 corresponde a la planicie de inundación máxima actual, con una altura de 1.8 m en relación con el canal principal y que en épocas de lluvia es inundada. Las terrazas T2, T3, T4 contienen mezclados en sus sedimentos, envases de plástico, hierro y aluminio, que evidencian haberse depositado en períodos de avenidas extraordinarias, de entre 10 a 100 años en relación con el presente. La parte superior de la T5 no se ha datado isotópicamente, sin embargo, de acuerdo con las edades anteriormente reportadas y los eventos históricos de inundación posteriores a 1830, se infiere que la morfología actual de T5 puede corresponder a la inundación de 1905. Tomando en cuenta el registro histórico de inundaciones ocurridas en la ciudad de Guanajuato y considerando que el evento de inundación de mayor elevación

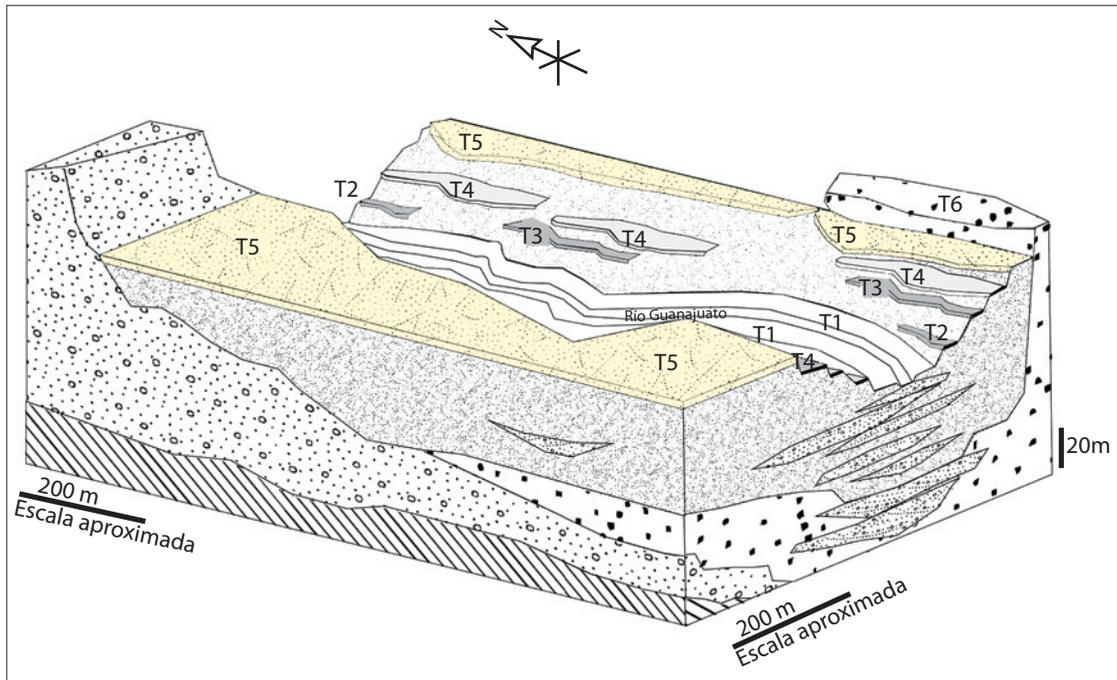


Figura 5. Modelo conceptual del relleno sedimentario y secuencias de terrazas de la planicie fluvial de Santa Teresa Guanajuato.

durante ese período fue el de 1905 (Miranda *et al.*, 2005); los sedimentos del límite superior de la terraza T5 están relacionados genéticamente con dicho evento. En relación con T6 su formación está ligada a variaciones climáticas o geodinámicas Cuaternarias, ya que se cree se formó hace cientos o miles de años, tomando en cuenta la presencia de paleosuelos en su superficie, los cuales necesitaron de cientos a miles de años para desarrollar el proceso de pedogénesis.

Evolución de las terrazas fluviales

La evolución del valle fluvial de Santa Teresa ha sufrido un proceso de acumulación y erosión en épocas históricas, influenciada por procesos antropogénicos como la minería (Figura 6). El análisis sedimentológico por medio de las curvas de distribución granulométrica indican

variaciones periódicas de nivel de energía, interpretados como episodios alternados de avenidas extraordinarias (inundaciones). El proceso inicial de depósito o acumulación de la terraza más elevada T6, fue seguido de un proceso de erosión que se interrumpe por un período de intenso aporte de sedimentos depositados entre los años 1660 +/-40 a 1905 (T5), según las dataciones de C^{14} y nuestra interpretación con base en datos históricos. Después de 1905 el aporte de sedimentos a la cuenca disminuye sustancialmente, generando una erosión gradual que por pulsos repetitivos desciende conformando las terrazas T4 a T1. Es importante mencionar que el factor climático jugó un papel fundamental en la construcción de las terrazas estudiadas, sin embargo, el factor antrópico relacionado al aporte de sedimento (jales mineros) al ser discontinuo a lo largo del tiempo, hace difícil identificar

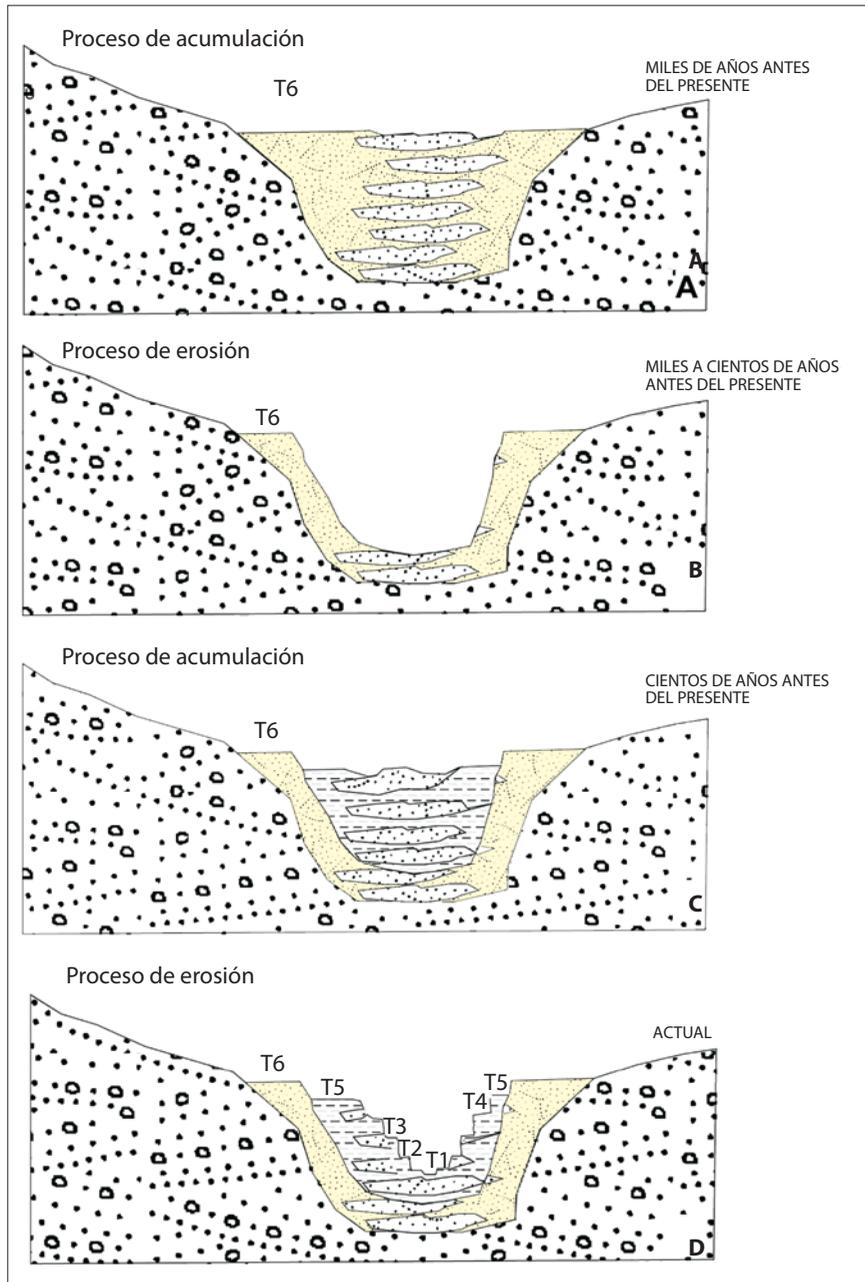


Figura 6. Evolución de las terrazas fluviales de la planicie fluvial de Santa Teresa Guanajuato. (A) Proceso de acumulación (depósito) de T6. (B) Los sedimentos del valle fluvial de Santa Teresa inician un proceso de erosión. (C) El valle fluvial se reactiva con un proceso de acumulación generado por el incremento de aporte de sedimentos probablemente anterior a 1660 (datación C^{14}) y hasta 1905. (D) después de 1905 inicia un proceso de erosión, donde se construye gradualmente la morfología actual de T4, T3, T2 y T1.

Tabla 1. Edad relativa de las terrazas fluviales del valle fluvial de Santa Teresa

Terraza	Altura ^a	Edad numérica	Edad relativa aproximada	Observaciones
T1	1,8	Actual	Actual	Plástico en sedimentos
T2	3		Decenas de años	Plástico en sedimentos
T3	4,2		Decenas de años	Plástico en sedimentos
T4	5,2		Decenas de año	Plástico en sedimentos
T5	6	120+/-50 C ¹⁴ * ^b	Dato histórico 1905	Cerámica, huesos y carbón incluidos en 11 secuencias de depósito. La superficie de la terraza es correlacionable probablemente con la inundación de 1905
		290+/-40 C ¹⁴ * ^c		
T6	6,8		Más de 1000 años	Desarrollo de paleosuelos

^a Altura en referencia al canal principal actual del Río Guanajuato.

^b Muestra tomada a 1.0 m debajo de superficie de terraza T5. Edad calibrada con base en Stuiver *et al.* (1998). Clave Beta Analytic- Beta205000.

^c Muestra tomada a 2.0 m debajo de superficie de terraza T5. Edad calibrada con base en Stuiver *et al.* (1998). Clave Beta Analytic- Beta205001.

períodos más secos o húmedos controlados por variación climática.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló con apoyo de la Universidad de Guanajuato por medio del proyecto UG-MIN-10-04. Agradecemos la colaboración en el trabajo de campo de la M. en C. Tania Frías Guerrero, M. en C. Adriana Lira Mares y la Ing. Valeria Villafuerte Cortés. Se agradece también los comentarios y sugerencias de los dos revisores anónimos.

REFERENCIAS

Antúnez E. F. (1964), *Monografía histórica y minera del Distrito Minero de Guanajuato, México*, Consejo Nacional de Recursos Naturales no Renovables, publicación 17-E, México.

Aranda-Gómez, J. J. and F. W., McDowell (1998), "Paleogene extension in the southern Basin and Range province of Mexico; syndepositional tilting of Eocene red beds and Oligocene volcanic rocks in the Guanajuato Mining distrito", *Internacional Geology Review*, vol. 40, pp. 116-134.

Aranda-Gómez, J. J. M. M. Godchaux, G. J. Aguirre-Díaz, B. Bonnicksen and J. Martínez-Reyes (2003), "Three superimposed volcanic arcs in the southern Cordillera from the early Cretaceous to the Miocene, Guanajuato, Mexico", in *Geologic transects across Cordilleran Mexico, Guidebook for field trips of the 99th Annual Meeting of the Cordilleran Section of the Geological Society of America*, Instituto de Geología, UNAM, Publicación Especial 1, Field trip 6, pp. 123-168.

Butzer, K. and E. Butzer (1997), "The "natural" vegetation of the Mexican Bajío: archival documentation of the 16th Century savanna environment", *Quaternary International*, vol. 43/44, pp. 161-172.

- Edwards, D. J. (1955), "Studies of some early Tertiary red conglomerates of central Mexico: U.S.", *Geological Survey*, Professional Paper 264-H, pp. 153-185.
- Folk, R. L. and W. C. Ward (1957), "Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters", *Journal Sedimentary Petrology*, vol. 23 (1), pp. 3-26.
- Humboldt, A. (1822), *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España*, Porrúa (1991), México.
- Jáuregui de Cervantes, A. (1998), *Relato histórico de Guanajuato*, Ediciones La Rana, Instituto de Cultura del Estado de Guanajuato, Guanajuato, México.
- Leopold L. B., M. G. Colman and J. P. Millar (1964), *Fluvial processes in geomorphology*, W. H. Freeman, San Francisco, EUA.
- Marmolejo, L. (1967), *Efemérides guanajuatenses o datos para formar la historia de la ciudad de Guanajuato. Obra escrita con los más auténticos e interesantes documentos por el presbítero Lucio Marmolejo*, 4 tomos, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- Miall, A. D. (1978), "Lithofacies types and vertical profile models of braided river deposits, a summary", in Miall, A. D. (ed), *Fluvial sedimentology*, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, pp. 597-604.
- Miall, A. D. (1985), "Architectural element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits", *Earth-Science*, vol. 22, pp. 261-308.
- Miranda-Avilés R., M. J. Puy-Alquiza, Y. R. Ramos-Arroyo, R. Navarro-Barrera, T. Frías-Guerrero y A. Lira-Mares (2005), "Terrazas fluviales del Río Guanajuato y su relación con jales mineros e inundaciones históricas en la ciudad de Guanajuato", *Reunión anual de la Unión Geofísica Mexicana*, Abstracts con programas, vol. 25, no. 1, pp. 165-166.
- Ortiz-Hernández, L. E., M. Chiodi, H. Lapierre, O. Monod and P. Calvet (1992), "El arco intraoceánico alóctono (Cretácico Inferior) de Guanajuato—Características petrográficas, geoquímicas, estructurales e isotópicas del complejo filoniano y de las lavas basálticas asociadas; implicaciones geodinámicas", *Revista del Instituto de Geología*, UNAM, vol. 9, no. 2, pp. 125-145.
- Ramos Arroyo, Y. R., R. M. Prol Ledesma y C. Siebe Crabach (2004), "Características geológicas y mineralógicas e historia de extracción del Distrito de Guanajuato, México, Posibles escenarios geoquímicos para los residuos mineros", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 21, no. 2, pp. 268-284.
- Reza A. L. (2001), *Guanajuato y sus miasmas: higiene urbana y salud pública, 1792-1804*, Dirección de Cultura y Educación de la Presidencia Municipal de Guanajuato, Guanajuato, México.
- Stuiver, M. and P. J. Reimer (1993), "Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program", *Radiocarbon*, vol. 35, no. 1, p. 215.
- Stuiver, M., P. J. Reimer, E. Bard, J. W. Beck, G. S. Burr, K.A. Hughen, G. McCormac, J. van der Plicht and M. Spurk (1998), "INTCAL98 radiocarbon age calibration", 24-000-0 cal BP, *Radiocarbon*, vol. 40, no. 3, pp. 1041-1083.
- Wentworth, C. K. (1922), "A scale of grade and class terms for clastic sediments", *Journal of Geology*, vol. 30, pp. 377-392.