
CAMBIOS DE CANAL DURANTE LOS ÚLTIMOS 60 AÑOS EN EL SISTEMA ANASTOMOSADO DEL CURSO MEDIO DEL RÍO APURE, VENEZUELA

ROSIRIS GUZMÁN, MAXIMILIANO BEZADA
e INMACULADA RODRÍGUEZ

RESUMEN

Se analizaron los cambios de canal en la planicie de inundación del sistema anastomosado del curso medio del Río Apure, Venezuela, con la finalidad de establecer los movimientos laterales de las márgenes del río. Además, se analizó la variación multitemporal de los cambios en la dinámica geomorfológica del patrón de canal durante un periodo de evolución de 60 años. Los datos fueron transferidos a un sistema de información geográfica (SIG) para analizar los cambios ocurridos durante cinco periodos de evolución. Se utilizó cartografías históricas y sucesiones de fotografías aéreas, y se realizó fotointerpretación detallada de fotos aéreas, ortofotomapas y mapas

topográficos a diferentes escalas y años. El tramo analizado comprende desde el sector conocido como Isla Los Padrotes hasta Caño La Rompida (19km de longitud). Los resultados muestran que el patrón arquitectónico del sistema anastomosado del Río Apure durante los últimos 60 años en general es estable en todo su conjunto de red de brazos, con pequeños cambios morfodinámicos en la posición de las barras e islas. Los desplazamientos máximos de márgenes se observan en Isla Los Padrotes, aunque en esta zona el río ha mantenido la misma morfología.

Los cambios de canal son considerados como componente natural y vital en el funcionamiento de los sistemas fluviales (Brierley y Fryirs, 2005). Los ríos, cualquiera sea el tamaño de su cuenca, experimentan cambios constantes en su forma y en las dimensiones de sus parámetros más importantes, pues constituyen sistemas muy dinámicos controlados por el régimen hidrológico y las características del transporte de sedimentos (Leopold *et al.*, 1964). Tales cambios son a veces inherentes al propio sistema, cuando la cuenca está

dominada por procesos geomorfológicos muy activos, capaces de aportar al cauce grandes cantidades de materiales gruesos (Rubio y Hernández, 1990). En tal sentido, la morfología del cauce se ajusta a largo, mediano y corto plazo a los cambios de caudales y sedimentos, manteniendo un equilibrio dinámico acorde con las condiciones impuestas por el cambio ambiental. Aunque Conesa (1999) argumenta que los cauces naturales rara vez alcanzan un perfecto estado de equilibrio, debido a que no sólo varían las características hidrodinámicas de las corrientes, sino también

los procesos y unidades geomorfológicas, los aportes sedimentarios de sus afluentes, e incluso la forma y tamaño de los depósitos del lecho, añade que el resultado de este cambio es una variación concomitante con la morfología global del cauce, pero al cabo de varios años, los efectos de excavado y relleno se compensan para mantener la estabilidad. Davidson *et al.* (2013) también concuerdan que los cambios en el comportamiento de sistemas de distribución fluvial son una respuesta a las variables de descarga y tasa de distribución de sedimentos. Sin embargo, las activida-

PALABRAS CLAVE / Anastomosis Fluvial / Cambios de Canal / Cuenca del Orinoco / Geomorfología Fluvial / Río Apure /

Recibido: 21/05/2013. Modificado: 14/10/2013. Aceptado: 21/10/2013.

Rosiris Guzmán Torres. Licenciada en Educación, Universidad de Los Andes, Venezuela. M.Sc en Geografía Física, Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas (UPEL-IPC), Venezuela. M.Sc y candidata a Doctora en Tecnologías de la Información Geográfica, Universidad de Alcalá, España. Dirección: Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. Calle Colegios 2, Alcalá de Henares, Madrid 28801, España. e-mail: rguzman_11@hotmail.com

Maximiliano Bezada. Profesor de Geografía, UPEL-IPC, Venezuela. M.Sc en Geomorfología, Universidad de Ottawa, Canadá. Doctor en Paleoeología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Postdoctorado en Geomorfología, York University, Canadá. Profesor, UPEL-IPC, Venezuela. e-mail: mbezada1919@gmail.com

Inmaculada Rodríguez. Licenciada en Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, España. Doctora en Ciencias Ambientales, Universidad de Alcalá, España. Profesora, Universidad del Rey Juan Carlos, España. Investigadora, Plan Nacional I+D+i, Ministerio de Ciencia e Innovación, España. e-mail: inmaculada.rodriguez@urjc.es

des humanas pueden modificar potencialmente los cambios (Ollero, 2010).

En el área de estudio el río se caracteriza por la formación de canales múltiples que se dividen y reúnen formando islas de gran tamaño. El río es anastomosado, de carácter sinuoso. Makaske (2001) define la anastomosis como canales interconectados que rodean cuencas de inundación y pueden formarse por avulsión de dos maneras: a) haciendo canales de atajo (*bypass*) que mantienen activos por algún tiempo los canales recortados; y b) haciendo múltiples canales simultáneamente en las planicies, por separación de los flujos de avulsión.

Muy pocos estudios han identificado cambios de canal en el curso medio del Río Apure. Guzmán (2005) plantea los cambios de la arquitectura del río con base en un estudio geomorfológico del sistema anastomosado en planta, y Bezada (2000) realizó un estudio geomorfológico del cauce del Río Apure, para el estudio de su navegabilidad. Los trabajos previamente elaborados sobre la dinámica fluvial del Río Apure no proveen explicaciones sobre desplazamientos laterales del sistema anastomosado del área. La mayoría se refieren a la construcción de obras hidráulicas, tanto para la regularización del cauce como de estabilización de márgenes, la mitigación de las inundaciones, y propuestas de una profundidad mínima para la navegación, así como estudios de impacto ambiental (MOP, 1961; Mirabal, 1996; MARN-Hidroimpacto, 2001). Aunque, trabajos previos a nivel regional han realizado estudios detallados del Río Apure, definidos con base en procesos de formación y condiciones morfogénicas con descripción de las características físicas del río (MOP, 1971; Pouyllau, 1974; MARN-JICA, 1993; MARNR-CTG, 2001).

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental establecer los cambios de canal y desplazamientos laterales de las márgenes del sistema anastomosado del curso medio del Río Apure entre 1948 y 2008, mediante superposición de mosaicos aerofotográficos, mapas e imágenes de saté-

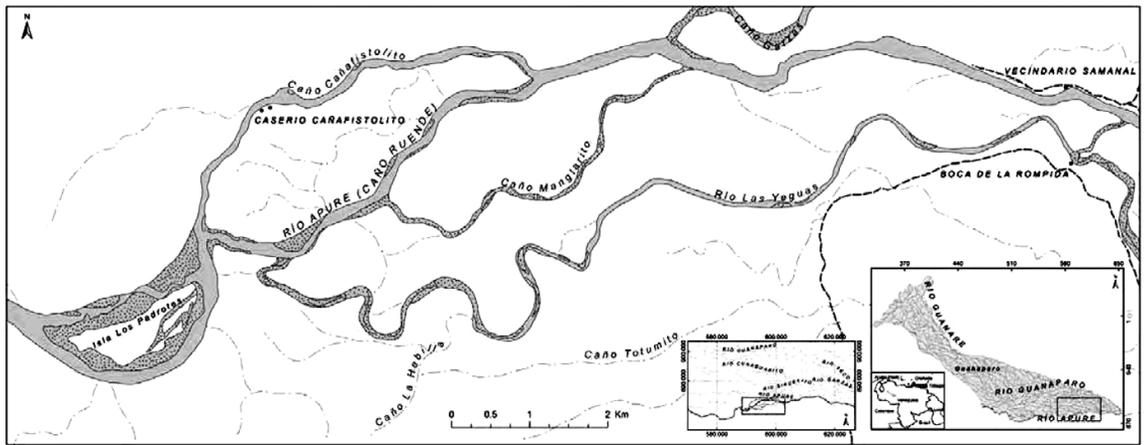


Figura 1. Localización geográfica del sistema anastomosado del curso medio del Río Apure. Fuente: Base Cartográfica del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB), año 1971.

lite y comparación de cambios de la morfología en planta. El aporte principal de este trabajo es proporcionar información cartográfica sobre la dinámica fluvial del Río Apure en el tramo comprendido entre el sector conocido como Isla Los Padrotes-La Rompida a nivel multitemporal y multiespacial. Los ambientes deposicionales que conforman la arquitectura fluvial (barras, islas, bancos, canales) del sistema anastomosado del Río Apure fueron cartografiados directamente desde fotos aéreas y transferidos a un sistema de información geográfico (SIG) para determinar la relación de cambios del canal por comparación y superposición de imágenes durante un periodo de tiempo de 60 años. La aplicación de los SIG permitió realizar mediciones de migración del canal y reveló patrones de erosión y sedimentación a lo largo del río.

Área de Estudio

El área de estudio se localiza en la región centro-occidental de Venezuela, en la llanura sureste del Estado Barinas y cubre un área de ~65km², definida geoastronómicamente por las coordenadas UTMN879000-E588000, tomadas de la hoja (6539-I-NO) de Isla Los Padrotes y N884000-E602000, de la hoja (6539-I-NE) de Samanal, escala 1:25000. En este sector el Río Apure se muestra anastomosado en su totalidad, constituido por numerosos brazos, de los cuales los cuyos principales son Caño Ruende, Caño Las Garzas y Caño Las Yeguas (Figura 1). Esta zona corresponde a una llanura formada por napas e infinidad de pequeños diques y cubetas, con meandros aflorando localmente. Se caracteriza por un paisaje bastante plano con una pendiente ge-

neral muy suave hacia el sureste, donde los ríos se desarrollan con una tendencia notable a dividirse en numerosos brazos (anastomosis), con problemas de drenaje e inundación y en algunos casos una erosión reticular difícil de controlar.

La unidad litoestratigráfica que aflora es aluvión reciente, consistente de arcillas, limos, arenas y gravas, de edad Pleistocena (Mackenzie, 1937; Feo-Codecido, 1972) aunque también se ha encontrado en el área (Feo-Codecido, 1972) algunas afloraciones de las formaciones Parangula (Oligo-Mioceno) y Río Yuca (Mio-Plioceno). Las condiciones climáticas incluyen un régimen pluviométrico con dos periodos claramente diferenciados de precipitación: uno lluvioso de mayo a noviembre y un periodo seco muy bien definido, con una duración de cuatro meses (diciembre-abril). La precipitación anual es de 1600mm y la temperatura media anual es >24°C. La vegetación que predomina en la planicie aluvial es sabana, mientras que en las márgenes del Río Apure, dominan formaciones de bosque de galería. En general los suelos son recientes: inceptisoles y entisoles, suelos de poca evolución, debido a una muy reciente sedimentación, y terrenos saturados de agua por largos periodos.

Materiales y Métodos

Datos de entrada

El análisis de cambios de canal del área de estudio se llevó a cabo mediante interpretación de fotografías aéreas pancromáticas tanto analógicas como digitales, correspondientes a diversas misiones de vuelos realizadas en distintos años durante las últimas

seis décadas. Las secuencias de fotografías aéreas utilizadas corresponden a vuelos de escala 1:30000 (1948) y 1:25000 (1976-1977 y 1987). También se utilizaron dos ortofotomapas, tanto analógicos como digitales, escala 1:25000 (1997); un mapa topográfico regional, escala 1:100000 (MOP, 1971); y dos cartas topográficas a escala 1:25000 (1970). La recopilación del material cartográfico y aerofotográfico a diferentes escalas de reconocimiento fue obtenida a través del Servicio de Geografía y Cartografía Nacional del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB). Se aplicó el sistema de proyección UTM-Venezuela, Huso 19 Datum horizontal La Canoa PSAD56, complementándose con el Datum oficial SIRGAS-REGVEN-WGS-84. Las fotos aéreas fueron escaneadas a una resolución de 600 puntos por pulgada (ppp) para obtener una resolución media $\leq 1m$ y posteriormente georreferenciadas a través del uso del software *ArcGis* versión 10.1.

Adicionalmente se trabajó con la imagen correspondiente al producto del sensor SPOT (*Système Probatoire d'Observation de la Terre* o Sistema Probatorio de Observación de la Tierra) codificada como SPOT (TS-5) de fecha 12-12-2008 en sistema de proyección UTM WGS 84, con 10m de resolución en formato digital. Este producto está disponible en la web del Laboratorio de Procesamiento Avanzado de Imágenes Satelitales (LPAIS) (<http://lpais.fii.gob.ve/>).

La reconstrucción de cambios de la morfología en planta del sistema anastomosado del Río Apure fue estudiada mediante interpretación de fotos aéreas y observaciones en campo siguiendo las metodologías propuestas en Gilvear *et al.* (2000), Li *et al.* (2007), Ollero (2010) y Zawiejska y Wyzga (2010) para cambios de canal. La información fue procesada para la presentación final del análisis multitemporal, comparación cartográfica y cambios de canal del Río Apure, mediante mosaicos de imágenes *raster* en los que se utilizaron 33 escenas de imágenes que cubren toda el área. Se realizó comparación cartográfica de las diferentes escenas de mosaicos a diferentes años y observaciones en campo durante los años 2001, 2002, 2003 y 2004 para verificar la información obtenida de los ortofotomapas de 1997.

Correcciones geométricas

Las correcciones geométricas en las imágenes se realizaron

con el propósito de orientar la posición de los píxeles a un sistema de referencia cartográfica.

Localización de puntos de control. Para la fase de rectificación o corrección geométrica de cada fotograma se relacionaron los valores de coordenadas al sistema cartográfico de referencia señalado, se trabajó con dos ortofotomapas del año 1997 a escala 1:25000 del IGVSB con georreferencia original en Canoa PSAD56, esta referencia fue re proyectada para cumplir con la resolución del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, publicada en Gaceta Oficial N° 36653 del 03 de Marzo de 1999, donde se especifica la entrada en vigencia, desde el 01/04/1999 como Datum oficial para Venezuela el Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur (SIRGAS), del cual forma parte la Red Geodésica Venezolana (REGVEN). Este Datum se denomina SIRGAS-REGVEN en sustitución de La Canoa-Hayford o PSAD-56 (*Provisional South American 1956*). De acuerdo con Martín *et al.* (2002) REGVEN se presenta como una densificación del sistema SIRGAS en el país, adoptando el IERF (*International Earth Rotation Service*) y el ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) con parámetros del elipsoide GRS 80 (*Geodetic Reference System 1980*), en la solución ITRF 94, época 1995.

Se localizaron cerca de 30 puntos comunes o puntos de control entre las imágenes y el mapa de referencia (cartas nacionales) a escala 1:25000, se extrajeron los valores de coordenadas de las cartas para ser registrados en el sistema como valores 'ground control points' (GCP por sus siglas en inglés). Los puntos de control fueron distribuidos de manera tal que cubrieran equitativamente toda la cobertura, los cuales correspondían con intersección de vialidad, infraestructura y edificaciones.

Obtención de los parámetros de transformación de las coordenadas. Se aplicaron transformaciones polinómicas de segundo orden para obtener el error medio cuadrático (EMC) por ser el más idóneo o indicador más utilizado para este tipo de estudios (Hughes *et al.*, 2006). Se calcula para un par de coordenadas por la ecuación (Olaya, 2011):

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i')^2 + (Y_i - Y_i')^2}{N}}$$

donde X_i e Y_i : coordenadas reales de los puntos de control, X_i' e Y_i' : coordenadas estimadas de los puntos de con-

trol a partir de la aplicación de las funciones de ajuste, y N: número de puntos de control utilizados.

Como en todo análisis histórico de morfología en planta del canal los errores son inevitables a la hora de georrectificación de las fotos aéreas, Hughes *et al.* (2006) han realizado pruebas de precisión para establecer la magnitud y las implicaciones de errores de georrectificación para cuantificar los movimientos laterales de canal. Estos autores han determinado que las funciones polinómicas de segundo orden permiten obtener mejores resultados en las pruebas de precisión y una disminución de errores en la medida en que se emplean más puntos de control para la georrectificación.

Para verificar la precisión de la corrección en este estudio, se consideró el EMC como la diferencia entre la coordenada de salida deseada y la coordenada de salida real para el mismo punto, dada la medida de transformación geométrica. Por ello, tomando en cuenta la escala espacial y la resolución de las imágenes digitales en este estudio, así como la distribución equitativa en la ubicación y asignación de puntos de control, se espera que los posibles errores presentes en la georrectificación de las imágenes no afecten significativamente los resultados y conclusiones.

Clasificación del patrón de canal. En función de identificar la ubicación del patrón de canal del área de estudio dentro de las clasificaciones de cauces en planta, se siguió la metodología de clasificación geomorfológica propuesta por Miall (1977) y Rust (1978), basada en sus propiedades geométricas y en función del número de canales, pudiendo identificar canales rectos, meandriiformes, entrelazados, anastomosados; y por Rinaldi *et al.* (2011), que proponen una clasificación morfológica de canales con base en tres índices: a) de sinuosidad, b) de entrelazamiento y c) de anastomosamiento. Basado en estos parámetros, Rinaldi *et al.* (2011) incluyen siete tipos de ríos agrupados en tres categorías principales: a) canales individuales: recto, sinuoso, meandriiforme; b) canales transicionales: sinuosos con barras alternadas, divagante; y c) canales múltiples: entrelazado y anastomosado.

Se aplicó el índice de anastomosamiento propuesto por Rinaldi *et al.* (2011) por ser el que se vincula con la forma en planta. Estos autores definen el índice de anastomosamiento como el número de canales activos separados por islas vegetadas. Por su par-

TABLA I
ÍNDICE DE ANASTOMOSAMIENTO
EN EL CURSO MEDIO
DEL RÍO APURE

Año	Índice
1948	1,8
1977	1,7
1987	1,6
1997	1,5
2008	1,5

te, Ramonell (2000) señala que el grado de anastomosamiento vincula, en un sistema de cursos de agua ramificado, la superficie total emergida entre estos cauces con el área comprendida por el sistema ramificado en su totalidad. Este autor emplea el término ‘anastomosado’ para aquellos sistemas de cauces múltiples en los que se cumple que, en cada sección transversal de la planicie aluvial, la suma de los anchos de los canales es mucho menor a la suma de anchos de las islas que estos alimentan.

Resultados y Discusión

Análisis multitemporal de fotointerpretación. Cambios de canal

En el área de estudio el río se caracteriza por la formación de canales múltiples que se dividen y reúnen formando islas de gran tamaño (Figura 1). El río presenta un diseño en planta que se enmarca regionalmente en las propuestas de clasificación geomorfológica de Miall (1977), Rust (1978) y Rinaldi *et al.* (2011) dentro del modelo ‘anastomosado’, y en el tipo 1 de clasificación de Nanson y Knighton (1996) identificado como sistemas de muy baja energía con márgenes cohesivos, definido como sistemas múltiples separados por islas que son relativamente grandes comparadas con el tamaño del canal, y en el sentido de Makaske (2001) “compuesto por dos o más canales interconectados que encierran cuencas de inundación”.

El análisis multitemporal permitió determinar que en el transcurso de los últimos 60 años el río ha tenido algunas modificaciones en planta, y el índice de anastomosamiento aplicado para las diferentes etapas estudiadas (1948-2008) indica variaciones que se ubican en el rango de 1,8 a 1,5 (Tabla I), es decir una disminución en el número de brazos o canales activos durante los últimos treinta años, que se refleja en la tendencia de canales abandonados hacia el sur como Caño Manglarito, La Hebi-

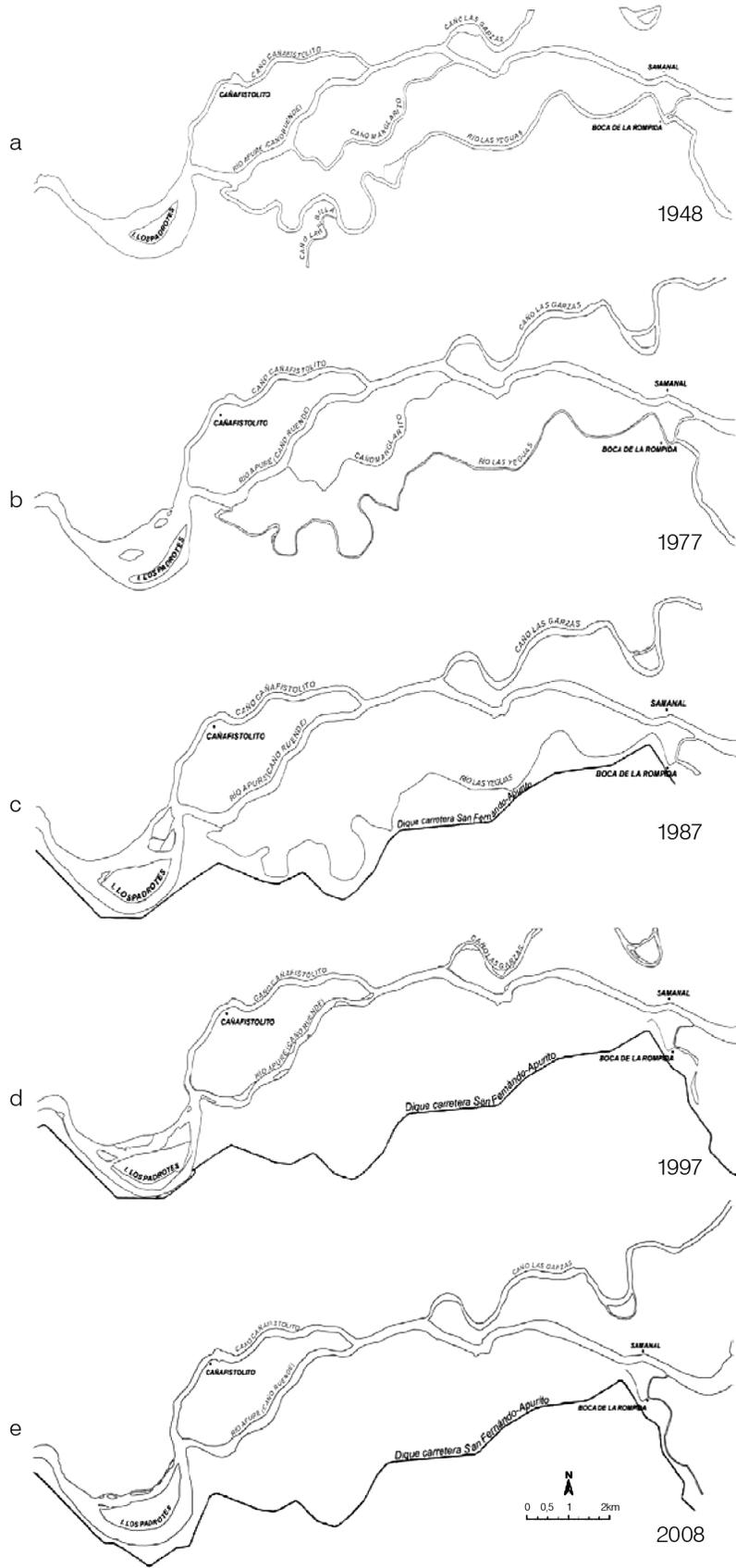


Figura 2. Comparación cartográfica de los cambios de canal ocurridos durante los últimos 60 años en el cauce del Río Apure (Caño Ruende), sector Isla Los Padrotes-La Rompida. Se muestran los años 1948 (a), 1977 (b), 1987 (c), 1997 (d), y 2008 (e). El dique carretera San Fernando-Apurito fue construido en 1981.

lla y Río Las Yeguas, que para el año 1977-78 permanecían activos y ahora han dejado de funcionar (Figura 2a-e) conservando el río solo difluencias en Caño Cañafistolito y Las Garzas. Esta disminución en el índice de anastomosamiento que a su vez se refleja en una disminución en el número de canales activos ocurre, de acuerdo con Elliott (2010), por abandono de los canales menos eficientes para concentrar el flujo en un solo cauce, en este caso el Río Apure que constituye el canal principal. A este proceso le ha seguido la colmatación progresiva de los cursos abandonados, con material suministrado por las aguas de inundación.

Smith *et al.* (1989) y Knighton y Nanson (1993) presentan un diagrama conceptual que ilustra un modelo de evolución fluvial que relaciona el número de canales activos en función de los procesos de avulsión inicial y comprende cuatro estados: a) estado de avulsión inicial, b) anastomosado, c) de reversión del canal, y d) estado de canal individual. Ello implica que en algunos casos la anastomosis podría ser una forma de transición de patrón de canal que puede ser mantenida por largos periodos. De acuerdo con esto, se podría interpretar que en el área de estudio los cambios en la dinámica del canal y la disminución en el índice de anastomosamiento se deben a que el río se encuentra en un estado de evolución que posiblemente se ubicaría en el tercer estado del diagrama de evolución fluvial de Knighton y Nanson (1993), que corresponde al estado de reversión de canal anastomosado, para posteriormente avanzar hacia un estado de canal individual. Esto se explica de acuerdo con Kleinhans *et al.* (2012), quienes realizan un estudio sobre el origen y dinámica de ríos anastomosados en el Río Columbia, en Norteamérica, debido a que en ausencia de avulsión los sistemas de canales múltiples inevitablemente evolucionan hacia sistemas de canales individuales con el paso del tiempo. Como en el Río Dunajec, en Polonia, que pasó de un sistema de canales múltiples a canal individual (Zawiejska y Wyzga, 2010) y en el Río Gállego, en

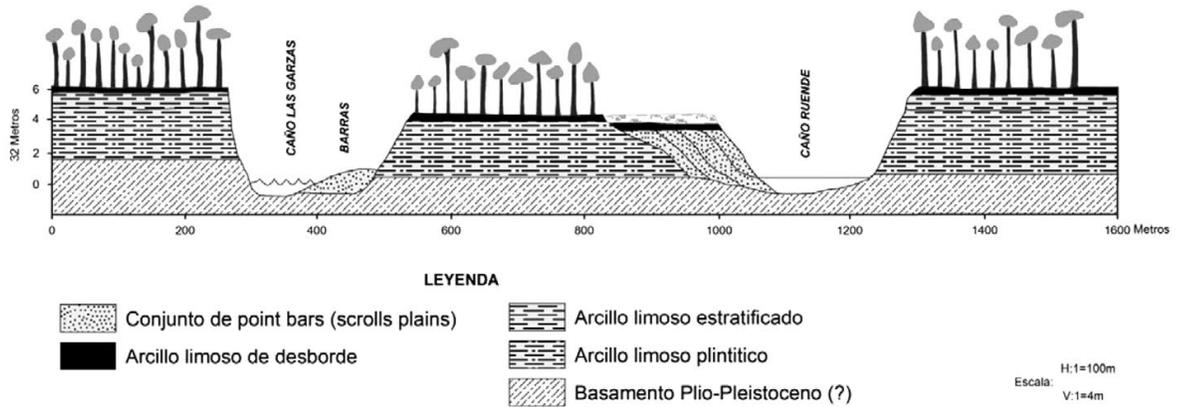


Figura 3. Transecto topográfico-geológico a través de los Caños Las Garzas y Ruende. Obsérvese la presencia de material arcilloso plintítico en Caño Las Garzas, responsable del retardo en la migración del canal. Nota: perfil levantado durante época de mínimo caudal. Tomado de Bezada (2000).

España, donde se observaron cambios de patrón de canal que pasó de *braided* a canal individual (Martín-Videot *et al.*, 2010). Otros cambios han sido observados en los ríos Hemington y Colwick, en el Reino Unido, que muestran un modelo de evolución cíclico y de metamorfosis de patrones de canales, que inicia con canal individual meandriforme a canal *braided* para convertirse posteriormente en anastomosado y pasar nuevamente a canal individual, con periodos intermedios de inundaciones y avulsiones, como señalan Brown *et al.* (2001).

Actualmente el Río Apure, en el sector que comprende el área de estudio, presenta diques que alcanzan espesores de hasta 2,80m de alto, los cuales a su vez han sido colonizados por vegetación. Este efecto también ha repercutido en Caño La Hebilla, que para el año 1948 interconectaba con Río Las Yeguas (Figura 2a) y ahora se presenta abandonado, habiéndose producido relleno (*backfilling*) del cauce. En este caso el *backfilling* pudo haberse producido por una elevación del nivel de base o por una alta producción de sedimentos del área madre que tapó o relleno el canal y produjo la sedimentación aguas arriba; aunque poco se sabe sobre la formación y acumulación sedimentaria de procesos de rellenos de canal, Toonen *et al.* (2012) proponen un esquema descriptivo de arquitectura sedimentaria de relleno de canal con base en ejemplos de campo en los Países Bajos, que comprende dos etapas de desarrollo de relleno del canal: a) estado inicial de abandono de canal con relleno proximal, y b) estado posterior con relleno distal.

Cabe destacar que este efecto de relleno de canal se repite actualmente en el inicio del Río Las Yeguas, por lo que éste podría ser el co-

mienzo de un nuevo proceso de *backfilling* del canal. También es muy común encontrar esta tendencia de rellamamiento en brazos de ríos o meandros que hacia el año 1987 se mostraban como cauces abandonados y que ahora aparecen formando lagunas alargadas, cuyo tamaño se encuentra muy reducido en período seco, pero en período lluvioso ocupan una superficie mayor. Estos meandros abandonados presentan forma característica de herradura y son conocidos en el paisaje de los llanos venezolanos con el término vernáculo de madre vieja (lagos *oxbow* para los angloparlantes).

Para el año 1948 (Figura 2a) a la altura del Samanal destaca la existencia de un brazo de salida por ruptura del Ruende, en dirección sur con inclinación oeste, al Río Las Yeguas, ocasionando pérdida del flujo, y 50 años más tarde abandono del cauce aguas arriba. Actualmente, el mencionado brazo sólo alimenta el cauce del Río Las Yeguas aguas abajo; aunque éste ha disminuido su flujo significativamente y en consecuencia se ha reducido su cauce, dejando ver en Boca La Rompida taludes de hasta 3,50m de alto. Se estima que de continuar esta tendencia, en la sección aguas abajo del Río Las Yeguas, podría tener lugar abandono del cauce.

Una vista general al trayecto del Río Apure permite apreciar que existe una tendencia a cambiar su cauce hacia el Norte; sin embargo, este proceso de desplazamiento del río no se ha completado todavía debido a la estabilidad en algunas zonas. Esta estabilidad se explica debido a que los márgenes están constituidos de material muy cohesivo, que genera mayor resistencia a la erosión, tal como en el sector Las Garzas, conformado por un banco arcilloso duro y difícilmente

erosionable donde se aprecia un retardo en la migración del canal por la estabilidad del banco que ofrece la cohesividad del sedimento de grano fino (Figura 3). Esto se debe al hecho que el río ha excavado su cauce en el basamento arcilloso plintítico (Pleistoceno), lo que le confiere un carácter estable y resistente. Se explica entonces la razón de que haya mayor estabilidad de la esperada, además de representar un hecho importante en el mantenimiento de este patrón anastomosado. Maza y García (1995) también concuerdan en que la estabilidad es un condicionante de los ríos de planicie con orillas formadas por arcilla que tienen

alta cohesión, lo que hace que sean muy resistentes a la erosión y que casi no sufran desplazamientos laterales. Otro hecho que también explica la estabilidad del río, aparte de las márgenes cohesivas, es que los canales anastomosados son sistemas de muy baja energía (Nanson y Knighton, 1996). Por otra parte, también se ha considerado la importancia de la vegetación en la estabilidad de los bancos y diques naturales, debido a que retarda la migración del canal y contribuye al mantenimiento de diferentes patrones de canales fluviales (por ejemplo, Rust, 1981; Comiti *et al.*, 2011). En este sentido, la vegetación acuática y ribereña puede ocasionar ajustes que contribuyen a la estabilidad del canal, pues el desarrollo arbustivo tiende a estabilizar



Figura 4. Zona afectada por socavación en la margen derecha del talud del dique holocénico en Isla Los Padrotes. Se evidencia el proceso destructivo que ha sufrido parcialmente el dique carretera San Fernando-Apurito, donde el flujo del río ha venido erosionando sobre la orilla cóncava de su margen derecha, llegando a destruir parte de la construcción del dique carretera (área encerrada por el círculo), el cual ha tenido que ser rectificad. a: posición del dique carretera en 1981 (a) y en el 2000 (b). Vista Sureste-Noreste. Foto: Bezada (2000).

los substratos (Elliott, 2010). Desde el punto de vista morfológico, para Maza y García (1995) todos los ríos son estables, excepto aquellos tramos en los que un movimiento telúrico o el corte natural de algún meandro muy desarrollado haya alterado bruscamente el curso o cambiado la pendiente; sin embargo, inmediatamente después que ha ocurrido el corte o cambio de lugar del cauce, se inicia el proceso de estabilización.

Es necesario mencionar que en el área de estudio el factor antrópico no es predominante, debido que la presencia humana es escasa. Los únicos elementos antrópicos que destacan son el terraplén-dique San Fernando-Apurito y la construcción de presas aguas arriba. Para Maza y García

(1995) la construcción de presas puede ocasionar que los tramos inmediatos aguas abajo tiendan a tener estabilidad estática por haber interrumpido el paso de sedimentos y reducir el gasto máximo de las avenidas, por lo que se puede interpretar que la influencia de factores antrópicos en el tramo Los Padrotes-La Rompida no es determinante en la modificación de la morfología del cauce.

Los desplazamientos máximos de márgenes se observan en Isla Los Padrotes, aunque en esta zona el río ha mantenido la misma morfología. Sin embargo, la isla ha avanzado desde el año 1948 hasta el

presente cerca de 388m sobre la orilla cóncava del meandro del brazo Sur. En la Figura 4 se aprecia el proceso destructivo que ha sufrido parcialmente el dique San Fernando-Apurito a la altura de Isla Los Padrotes, donde el flujo del río ha venido erosionando violentamente sobre la orilla cóncava de su margen derecha, llegando incluso a destruir parte de la construcción del dique carretera, el cual ha tenido que ser rectificad. Este proceso evolutivo del área permite interpretar que la tendencia del río es de acentuar su concavidad, trasladando la margen derecha del meandro en sentido sur, debido al fenómeno típico en las curvas: sedimentación en la parte interna y erosión en la parte externa; además esto se explica porque esta orilla cóncava no

está excavada sobre el sustrato arcillosos plintítico, sino que erosiona un complejo orillar Holocénico; en cambio, el brazo norte del Caño Ruende, en la Isla Los Padrotes, no experimenta cambios de erosión, debido a que esta margen está excavada sobre el sustrato arcilloso que le confiere estabilidad (Bezada, 2000; MARN-Hidromet, 2001).

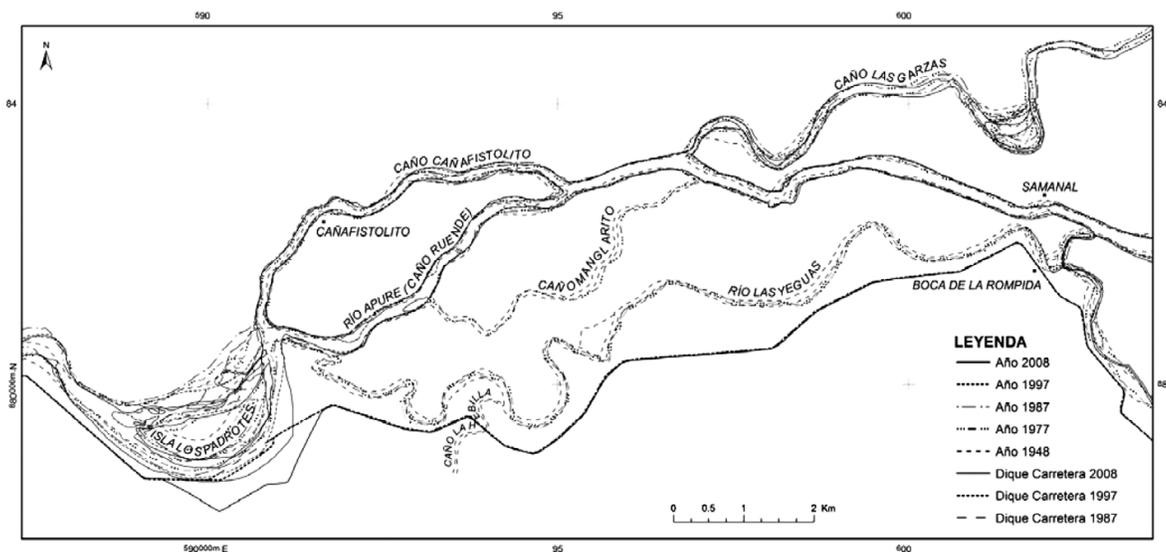


Figura 5. Desplazamientos laterales de las márgenes en el sistema anastomosado del curso medio del Río Apure (años 1948-2008).

Del análisis multitemporal realizado se puede estimar que el área de estudio en general es estable, como se aprecia en la Figura 5, sobre los desplazamientos laterales de las márgenes del río. Es necesario precisar que en este análisis, que abarca un período de evolución de 60 años, se observan tan sólo modificaciones del cauce y de sus márgenes en el dique que bordea el meandro en el sector Los Padrotes, que ha sido socavado a un promedio de 4m por año y en Río Las Yeguas, ubicado a 1644m de Isla Los Padrotes, con una longitud de 29259m. Este río permanecía activo durante los períodos de análisis correspondientes a los años 1948-77-87 y no es sino a partir de los últimos años (1997 y 2008) que se observa que su cauce ha sido abandonado como uno de los canales activos del sistema anastomosado del río.

Conclusiones

En este trabajo se realizó un estudio de los cambios de canal y desplazamientos laterales de las márgenes del sistema anastomosado del curso medio del Río Apure, mediante utilización de fotos aéreas, mapas, ortofotomapas e imágenes de satélite.

El patrón arquitectónico del sistema anastomosado del Río Apure durante los últimos 60 años, en general es estable en todo su conjunto de red de brazos, con pequeños cambios morfodinámicos en la posición de las barras e islas. Los desplazamientos máximos de márgenes se observaron en Isla Los Padrotes, aunque en esta zona el río ha mantenido la misma morfología.

A lo largo de este trabajo se observó una geomorfología de caños abandonados, que dejaron como testigos un mosaico de bosques de galería, con una configuración indicativa de la gran dinámica del Río Ruende (actual Río Apure), donde algunos brazos del río que permanecían activos ahora se observan abandonados y/o inactivos, como Caño Manglarito, La Hebillá y Río Las Yeguas. Esto puede ser indicativo que el río se encuentra en un proceso de metamorfosis de canal o de tránsito inverso de patrón de canal anastomosado a individual, ocasionado por ausencia de avulsiones y el abandono de brazos menos eficientes para concentrar el flujo en el canal principal.

Los trabajos futuros sobre cambios de canal en el área de estudio podrían explorar variaciones espaciales específicas sobre los proce-

dos evolutivos en la dinámica fluvial y analizar las relaciones entre variables humanas y físicas a escala regional para obtener un análisis más integrado que permita evaluar los impactos en la arquitectura fluvial de este complejo sistema anastomosado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Alexis Flores por la asistencia técnica, a Gregorio Hurtado por su invaluable Aporte, a Edgardo Latrubesse (University of Austin Texas, EEUU) y JoseStevaux (Universidade de Maringá, Brasil) por acompañarnos en una de las salidas de campo. A la Fundación Gran Mariscal de Ayacucho (FUNDA-YACUCHO) por la beca estudio de maestría otorgada a la primera autora, a la Dirección General Sectorial Programa Apure Orinoco (DGS-PRAO) y la Dirección de Cuencas Hidrográficas del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN) por la información aportada del Río Apure, y al Vicerrectorado de Investigación y Postgrado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) por el apoyo financiero.

REFERENCIAS

- Bezada M (2000) *Estudio Geomorfológico del Cauce del Río Apure, para el Estudio de su Navegabilidad*. Informe Técnico elaborado para HIDROMET C.A. Caracas, Venezuela. 70 pp.
- Brierley GJ, Fryirs KA (2005) *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell, Oxford, RU. 398 pp.
- Brown AG, Cooper L, Salistury CR, Smith DN (2001) Late Holocene channel changes of the Middle Trent: channel response to a thousand-year flood record. *Geomorphology* 39: 69-82.
- Comiti F, Da Canal M, Surian N, Mao L, Picco L, Lenzi MA (2011) Channel adjustments and vegetation cover dynamics in a large gravel bed river over the last 200 years. *Geomorphology* 125: 147-159.
- Conesa C (1999) Cambio ambiental y equilibrio dinámico de los cauces. *Papeles de Geografía* 30: 31-46
- Davidson SK, Hartley AJ, Weissmann GS, Nichols GJ, Scuderi LA (2013) Geomorphic elements on modern distributive fluvial systems. *Geomorphology* 180-181: 82-95.
- Elliott S (2010) *El río y la Forma. Introducción a la Geomorfología Fluvial*. Ril, Santiago, Chile. 179 pp.
- Feo-Codecido G (1972) Contribución a la estratigrafía de la Cuenca Barinas-Apure. *Mem. IV Cong. Geol. Venez.*, Caracas, Venezuela, 1969: *Bol. Geol. Pub. Esp.* 5, 2. pp. 773-782
- Gilvear D, Winterbotton S, Sichingabula H (2000) Character of channel platform

change and meander development: Luan-gwa River, Zambia. *Earth Surf. Proc. Landf.* 25: 421-436.

- Guzmán R (2005) *Estudio Geomorfológico del Sistema Anastomosado del Río Apure, Sector Los Padrotes-La Rompida, Estado Barinas-Venezuela*. Tesis. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela. 274 pp.
- Hughes M, McDowell PF, Marcus WA (2006) Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology* 74: 1-16.
- Kleinhaus MG, De Haas T, Lavooi E, Makaske B (2012) Evaluating competing hypotheses for the origin and dynamics of river anastomosis. *Earth Surf. Proc. Landf.* 37: 1337-1351.
- Knighton AD, Nanson G (1993) Anastomosing and the continuum of channel pattern. *Earth Surf. Proc. Landf.* 18: 613-625.
- Leopold LB, Wolman MG, Miller JP (1964) *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman. San Francisco, CA, EEUU. 521 pp.
- Li L, Lu X, Chen Z (2007) River channel change during the last 50 years in the middle Yangtze River, the Jianli reach. *Geomorphology* 85: 185-196.
- Mackenzie AN (1937) Sección geológica de la región de Barinas: distritos Barinas, Bolívar y Obispos del Estado Barinas, Venezuela. *Bol. Geol. y Min. I.* 269-283.
- Makaske B (2001) Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth Sci. Rev.* 53: 149-196.
- MARN-CTG (2001) *Evaluación Ambiental del Plan Maestro para el Desarrollo de la Navegación Fluvial en el Eje Orinoco-Apure y su Área de Influencia Hidrográfica Inmediata. Modelo Ambiental del Ciclo I Fase II. Modelo Ambiental de los Ciclos II y III Fase I. Años 2000-2001*. Primer Informe de Avance. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales / Consultores Técnicos Geográficos. Caracas, Venezuela. 18 pp.
- MARN-Hidroimpacto (2001) Estudio de impacto ambiental de control de fondo Caño Bravo, Río Apure. Informe Final. Hidroimpacto C.A. Caracas, Venezuela. 158 pp.
- MARN-Hidromet (2001) *Estudio Geomorfológico con Énfasis en la Dinámica Fluvial del Río Apure*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas, Venezuela 265 pp.
- MARNR-JICA (1993) *Estudio sobre el Mejoramiento Integral de la Cuenca del Río Apure*. Informe Final, Vol. II. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables / Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Caracas, Venezuela 83 pp.
- Martín A, Rodríguez Y, Hoyer M, Borrego J, Hurtado E (2002) *Impacto de la implantación del nuevo Datum oficial de Venezuela (SIRGAS-REGVEN) en las actividades geodésicas de PDVSA EPM*. Laboratorio de Geodesia Física y Satelital. Universidad del Zulia, Venezuela. 9 pp.
- Martín-Vide JP, Ferrer-Boix C, Ollero A (2010) Incisión due to gravel mining:

- Modeling a case study from the Gállego River, Spain. *Geomorphology* 117: 261-271.
- Maza J, García M (1995) Estabilidad de Cauces. Cap. 12 en *Manual de Ingeniería de Ríos*. Instituto de Ingeniería. UNAM. México. 115 pp.
- Miall AD (1977) A review of the braided river depositional environment. *Earth Sci. Rev.* 13: 1-62.
- Mirabal OJ (1996) Anteproyecto de infraestructura fluvial de acondicionamiento del cauce del Río Apure en la Isla Cañafistolito. Informe a PROA, Contrato N° 96-47. Caracas.
- MOP (1961) *Regularización del Río Apure a San Fernando*. Informe. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela. 10 pp.
- MOP (1971) *Estudio de las Actuales Obras de Encauzamiento del Río Apure y Proyecto de Obras de Estabilización. Regularización del Río Apure en la Proximidad de San Fernando*. Informe Final. Dirección de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela. 15 pp.
- Nanson GC, Knighton AD (1996) Anabranching rivers: their cause, character and classification. *Earth Surf. Proc. Landf.* 21: 217-239.
- Olaya V (2011) *Sistemas de Información Geográfica*. http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG. (Cons. 04/2013).
- Ollero A (2010) Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology* 117: 247-260.
- Pouyllau M (1974) *Estudio Geomorfológico del Río Apure y Zonas Adyacentes*. HIDROMET. Caracas, Venezuela. 125 pp.
- Ramonell CG (2000) *Geomorfología de Cauces Aluviales*. Universidad Nacional del Litoral. Argentina. 24 pp.
- Rinaldi M, Surian N, Comiti F, Bussetini F (2011) *Guidebook for the Evaluation of Stream Morphological Conditions by the Morphological Quality Index (IQM)*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Roma, Italia. 84 pp.
- Rubio V, Hernández C (1990) La evolución reciente del cauce del Río Ara. *Cuadernos I. Geográfica* 16: 99-108.
- Rust BR (1978) A classification of alluvial channel systems. In Miall AD (Ed.) *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5: 187-198.
- Rust BR (1981) Sedimentation in an arid-zone anastomosing fluvial system: Cooper's Creek, Central Australia. *J. Sedim. Petrol.* 51: 745-755.
- Smith ND, Cross TA, Dufficy JP, Clough SR (1989) Anatomy of an avulsion. *Sedimentology* 36: 1-23.
- Toonen WHJ, Kleinans MG, Cohen KM (2012) Sedimentary architecture of abandoned channel fills. *Earth Surf. Proc. Landf.* 37: 459-472.
- Zawiejaska J, Wyzga B (2010) Twentieth-century channel change on the Dunajec River, southern Poland. Patterns, causes and controls. *Geomorphology* 117: 234-246.

CHANNEL CHANGES DURING THE LAST 60 YEARS IN THE ANASTOMOSING SYSTEM IN THE MIDDLE SECTION OF THE APURE RIVER, VENEZUELA

Rosiris Guzmán, Maximiliano Bezada and Inmaculada Rodríguez

SUMMARY

The channel changes in the flooding plain of the anastomosing system of the middle section of the Apure River, Venezuela, was analyzed in order to establish the lateral movements of the river margins. Also, the multi-temporal variation of the changes in the geo-morphological dynamics of the channel pattern was analyzed for an evolution period of 60 years. The data was transferred to a geographic information system (GIS) to analyze the changes that took place in five periods of evolution. Historical cartographies and aerial photography series were used, and detailed photo-interpretation of aerial photos, ortho-photo

maps and topographic maps at different scales and years was performed. The river section analyzed extends from the sector known as Isla Los Padrotes to Caño la Rompida (19km in length). Results show that the architectonic pattern of the anastomosing system of the Apure River during the last 60 years is in general stable in all its network of branches, with small morpho-dynamic changes in the position of the banks and islands. The maximal margin displacements are observed at Isla Los Padrotes, although the river has maintained the same morphology in this area.

MUDANÇAS DE CANAL DURANTE OS ÚLTIMOS 60 ANOS NO SISTEMA ANASTOMOSADO DO CURSO MÉDIO DO RIO APURE, VENEZUELA

Rosiris Guzmán, Maximiliano Bezada e Inmaculada Rodríguez

Analisaram-se as mudanças de canal na planície de inundação do sistema anastomosado do curso médio do Rio Apure, Venezuela, com a finalidade de estabelecer os movimentos laterais das margens do rio. Além disso, se analisou a variação multitemporal das mudanças na dinâmica geomorfológica do padrão de canal durante um período de evolução de 60 anos. Os dados foram transferidos a um sistema de informação geográfica (SIG) para analisar as mudanças ocorridas durante cinco períodos de evolução. Utilizaram-se cartografias históricas e sucessões de fotografias aéreas, e se realizou fotointerpretação

detalhada de fotos aéreas, ortofotomapas e mapas topográficos em diferentes escalas e anos. O trecho analisado compreende desde o sector conhecido como Isla Los Padrotes até Caño La Rompida (19km de longitude). Os resultados mostram que o padrão arquitetônico do sistema anastomosado do Rio Apure durante os últimos 60 anos em geral é estável em todo seu conjunto de rede de braços, com pequenas mudanças morfodinâmicas na posição das barras e ilhas. Os deslocamentos máximos de margens se observam em Ilha Los Padrotes, ainda que nesta zona o rio tenha mantido a mesma morfologia.