

# **MODIFICACIONES DE LA TRAYECTORIA MEÁNDRICA EN EL CURSO BAJO DEL RÍO GRANDE DE SANTIAGO, NAYARIT, MÉXICO\***

Mario A. Ortiz Pérez\*\*  
María de Lourdes Romo Aguilar\*\*

## **Resumen**

Se evidencia la inestable trayectoria fluvial a través de la modificación de la posición en las curvas meándricas. Se registran los diferentes cambios comparando las imágenes aéreas y satelitarias de diversas fechas. La magnitud de las modificaciones se midieron a partir de la rectificación de las imágenes en las que se incluyeron algunos elementos de morfometría de la geometría meándrica, con el fin de estimar los desplazamientos del curso bajo a través del análisis retrospectivo de los últimos 50 años.

## **Summary**

The unstable river flow is made evident by the meander change position. Different changes are registered by confronting multitemporal aerial photographs and satellite images. The modification quantity was measured from georeferenced images, considering some meander geometry morphometric features, in order to estimate the down stream displacement through the last 50 years retrospective analysis.

## **Introducción**

Este trabajo se efectuó cuando tuvieron lugar los cambios más significativos en el comportamiento fluvial del río, toda vez que en septiembre de 1992 se inició el control del escurrimiento mediante el llenado del embalse de la presa de Aguamilpa, ubicada relativamente cerca del mar, aproximadamente a unos 67 km río arriba de la desembocadura; además de este embalse se construyó la presa derivadora de San Rafael, ubicada río abajo, de esta manera las dos presas regulan el gasto del escurrimiento y constituyen eficientes receptáculos de azolves, al capturar prácticamente todos los sedimentos que se erosionan de la cuenca de la porción montañosa, alterando por completo el sistema de sedimentación en el delta. Por lo que se espera que a partir de 1993 los procesos de acumulación sedimentaria cesen y se inviertan por los de erosión tanto marina

---

\* Recibido: 20 de octubre de 1994.

\*\* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 20-850, 01000 México, D. F.

como fluvial, modificando severamente la morfología del delta y en donde, con seguridad, los cambios ocurrirán con mayor rapidez para los próximos años.

### **Antecedentes**

Efectivamente, la inestabilidad del curso en la llanura deltaica es claramente evidente; así se dio a conocer en el trabajo de Ortiz (1979), en el cual se hace un registro de las principales modificaciones geomorfológicas del río mediante el análisis de fotos aéreas de diversas fechas enmarcadas en un período de 30 años, comprendidos desde 1940 hasta 1970.

### **Objetivos**

La idea de este trabajo es actualizar ese registro con los cambios ocurridos hasta 1993, toda vez que se contó con imágenes de satélite de las últimas fechas (abril de 1990 y marzo de 1993), en las que se evidencian cambios súbitos de gran magnitud, en un lapso relativamente corto entre la toma de imágenes.

### **Materiales de estudio**

Se utilizaron fotografías aéreas a escala 1:30 000 correspondientes a los años de 1945 de la Secretaría de Marina, y de 1964, a la misma escala, de la Compañía Mexicana de Aerofoto, así como fotos a escala 1:50 000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), de 1970. En el análisis de fechas recientes se utilizaron las imágenes de satélite Landsat TM, de abril de 1990, del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y de marzo de 1993, proporcionada por el Centro de Ecología de la UNAM.

## Método de análisis

Inicialmente, el trabajo consistió en una fotointerpretación geomorfológica de la configuración del curso fluvial del conjunto de fotos aéreas, de las distintas fechas de vuelo seleccionadas del trabajo anterior, para sintetizar los cambios más sobresalientes del período de análisis y no volver a repetir todas las variaciones restantes del curso.

Para hacer el análisis de las modificaciones del curso fluvial se restituyó la configuración del cauce de los distintos vuelos, aclarando que la corrección se hizo dentro de los límites de resolución del estereosketch, que es un instrumento de rectificación aproximada de tercer orden que corrige la inclinación de las fotografías, pero no el desplazamiento debido al relieve; sin embargo, como la zona en estudio es de terreno plano, el error por relieve no es nada significativo; de esta forma en la restitución obtenida se confió la medición de los parámetros morfológicos.

Para las imágenes de satélite, y con referencia a la que se tuvo de 1990, se hizo un compuesto de falso color en RGB con las bandas 4, 5 y 1, mientras que en la imagen de 1993 solo se usó la banda tres por ser ésta la única disponible. De esta manera, las imágenes proporcionaron la información actual y, para que ésta fuera precisa, se recurrió a la referenciación geográfica y a su corrección geométrica, la cual se imprimió a escala 1:100 000, cuya información se pasó a un mapa base topográfico de INEGI, escala 1:50 000.

Las evidencias de los cambios a las que se ha hecho referencia son de carácter morfométrico y morfográfico, evaluando los constantes cambios del patrón meándrico, es decir, de aquéllos que se derivan de la estrangulación de meandros, los cuales al recortar su trayectoria o longitud pierden sinuosidad, por lo que se eleva la pendiente del lecho o, por el contrario, cuando incrementa la amplitud y longitud de las curvas éstas se extienden,

migran lateralmente elevando la sinuosidad y con ello aseguran una mayor longitud de recorrido y, por tanto, declina la pendiente de su cauce.

### Área en estudio

El curso bajo del Río Grande de Santiago, al que se refiere este análisis, comprende desde la desembocadura hasta la localidad de Villa Hidalgo, donde el río adquiere el arreglo de curso meándrico, que cubre los últimos 42 km de su trayectoria por la llanura deltaica (**figura 1**).

### Arreglo del patrón meándrico

Las primeras observaciones arrojan aparentemente un comportamiento cíclico de los cambios en los valores de la longitud del curso fluvial, tal como se puede visualizar en la gráfica de la **figura 2**. Para cada examen de las imágenes se muestran desplazamientos muy importantes sin que por esto se quiera dar a entender que exista una relación con lapsos regulares de tiempo. Tal es el caso, por ejemplo, si se compara el lapso que transcurre entre los años de 1945 a 1964, en el cual la longitud del río se recorta en 5.6 km en cerca de 20 años, mientras que para el período corto, entre 1990 y 1993, la longitud del río se incrementa de 37.75 a 42 km en solo cuatro años, o sea, que en promedio el río se extendió en más de un kilómetro de longitud por año. Con la pendiente del lecho se observa algo parecido en cuanto a su tendencia, aunque el valor de los desniveles es minúsculo, sin que representen en realidad un elemento de análisis, por lo que su registro simplemente da prueba de los cambios. En la **tabla 1** se resumen los datos para los diversos años de análisis.



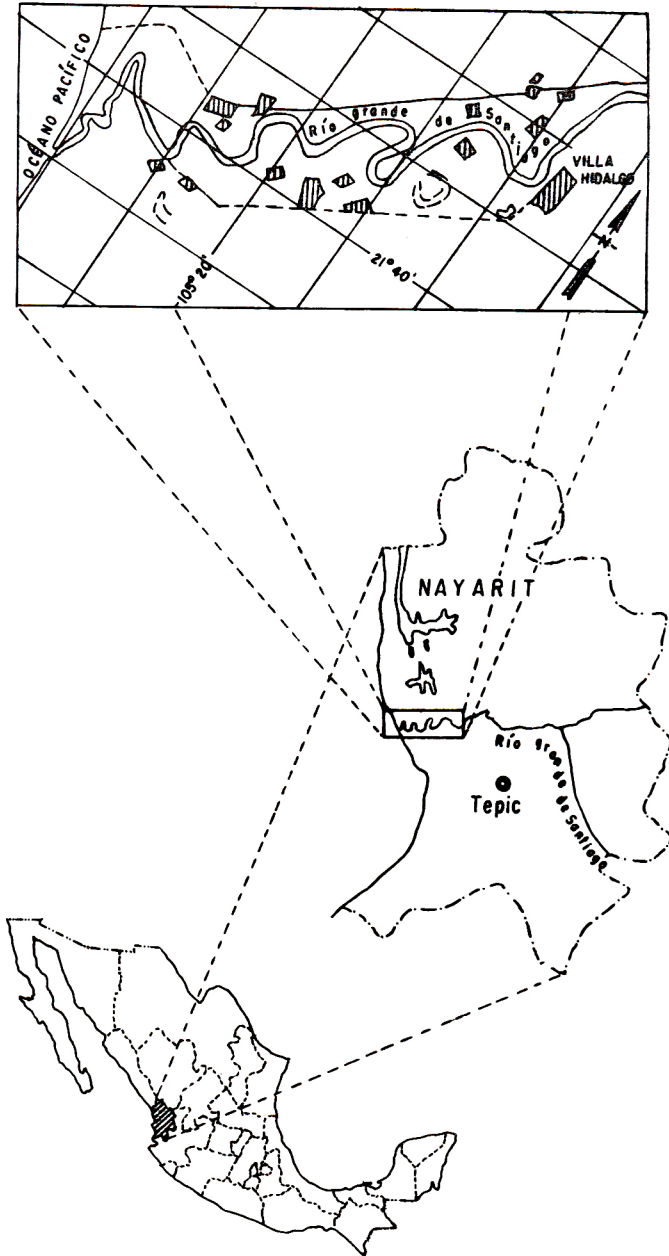


Figura 1. Área en estudio.

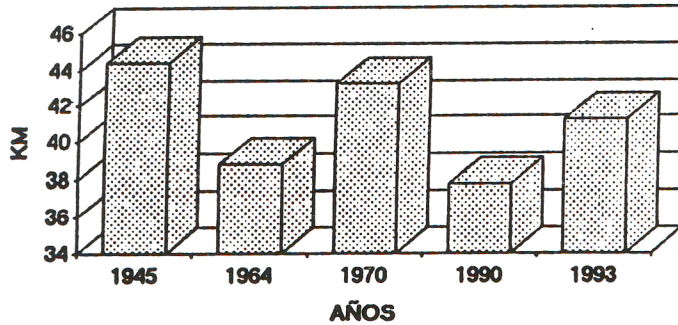


Figura 2. Cambios en la longitud del curso para diversos años.

En cambio, el coeficiente de sinuosidad propuesto por Leopold *et al.* (1964) es el resultado de la íntima relación existente en la dinámica de los meandros, entre la excavación (erosión), transporte y acumulación de sedimentos en el curso de su migración o desarrollo evolutivo. El coeficiente de sinuosidad se obtiene midiendo la longitud de un tramo de curso meándrico, dividido por la línea media que se obtiene entre los puntos extremos que contienen al mismo trecho del curso en cuestión. Tal coeficiente indica que por cada kilómetro o tramo de desarrollo longitudinal se agrega al recorrido la extensión de curvas que se proyectan como un superávit de la trayectoria que se traduce en un curso sinuoso. De esta manera, y de acuerdo con Brice (1964) (citado en Morisawa 1985), se establece un orden para separar al patrón de configuración fluvial, usando el coeficiente de sinuosidad: Si el valor de sinuosidad es menor de 1.05 el curso será recto, si se encuentra entre 1.05 y 1.5 es sinuoso, si sobrepasa este último coeficiente es entonces un patrón meándrico.

A medida que el coeficiente de sinuosidad es más grande, mayor será la inestabilidad del curso, toda vez que la amplitud de trayectoria se hace a costa de la erosión por socavación lateral de los meandros, ganando extensión en amplitud horizontal y en el sentido tangencial

**Tabla 1.** Cuadro de datos morfométricos, mediciones obtenidas a partir de la restitución de fotografías aéreas e imágenes de satélite de diferentes fechas, realizadas sobre una carta base topográfica a escala 1:50 000 de INEGI, del año de 1970

Años	1945	1964	1970	1990	1993	Valores promedio
<b>Parámetros</b>						
Longitud del curso en km	44.4	38.8	43.25	37.75	42	41.24
Pendiente media en m/km	0.22	0.25	0.23	0.26	0.24	0.234
Relación de sinuosidad	1.64	1.47	1.63	1.36	1.68	1.538
Meandros activos	15	13	13	16	17	14.2
Meandros estrangulados		2	1	2	2	2.25

respecto a la inclinación general de la llanura. En términos generales la dirección del curso se dispone en aparente contraposición sobre el declive de la superficie por la cual escurre, al no seguir la pendiente que reconoce directamente hacia el nivel base, condicionando con ello una mayor inestabilidad en la medida que el curso se alargue con curvas meándricas (figura 3).

**Tabla 1.** Cuadro de datos morfométricos, mediciones obtenidas a partir de la restitución de fotografías aéreas e imágenes de satélite de diferentes fechas, realizadas sobre una carta base topográfica a escala 1:50 000 de INEGI, del año de 1970

<b>Años</b>	<b>1945</b>	<b>1964</b>	<b>1970</b>	<b>1990</b>	<b>1993</b>	<b>Valores promedio</b>
<b>Parámetros</b>						
Longitud del curso en km	44.4	38.8	43.25	37.75	42	41.24
Pendiente media en m/km	0.22	0.25	0.23	0.26	0.24	0.234
Relación de sinuosidad	1.64	1.47	1.63	1.36	1.68	1.538
Meandros activos	15	13	13	16	17	14.2
Meandros estrangulados		2	1	2	2	2.25

respecto a la inclinación general de la llanura. En términos generales la dirección del curso se dispone en aparente contraposición sobre el declive de la superficie por la cual escurre, al no seguir la pendiente que reconoce directamente hacia el nivel base, condicionando con ello una mayor inestabilidad en la medida que el curso se alargue con curvas meándricas (figura 3).



del desplazamiento de las curvas atendiendo a otros elementos de análisis que ofrece la geometría de su morfología, derivada de la relación existente entre la amplitud y la longitud de la onda, pues si la amplitud lateral excede al valor de la longitud, el meandro tenderá a estrangularse (Leopold *et al.*, 1964).

De esta forma, de los meandros que constituían el tramo final del río en el año de 1945, dos de ellos mostraban mayor amplitud de onda y en ambos casos rebasaban el valor de la longitud en más de mil metros. En el examen de las imágenes aéreas de 1964 estos meandros ya habían sido estrangulados (**figura 6**).

En el lapso de inspección comprendido entre 1964 y 1970 se pronuncia la amplitud de todos los meandros y se estrangula el lóbulo frontal del meandro de mayor amplitud que sobrepasa la longitud en más de 1.4 km, quedando todavía en relativa comunicación al ser cercenado por su cuello y casi colmatar con aluviones los brazos del meandro recién estrangulado.

Cabe hacer notar que en los últimos 15 km del río, la amplitud de los meandros se incrementa en el momento en que la corriente entra en contacto con el cuerpo arenoso de la estructura de los cordones costeros, pues éstos ejercen cierto control estructural sobre el patrón meándrico. Los cordones de playas abandonadas forman barreras naturales que obstaculizan el libre flujo de la corriente, pues los cordones forman un sistema de disposición paralela a la línea de costa y constituyen una franja de barreras transversales a la trayectoria del río, de ahí que el escurrimiento del río tienda a reconocer hacia las largas depresiones que se forman entre los cordones, facilitando con ello los desplazamientos laterales extremos del curso. En esta zona la faja de curvaturas meándricas surcan la llanura, huellas de antiguos lechos fluviales que sirvieron para deducir las modificaciones antiguas del oscilante curso fluvial registrando hasta 7 km de amplitud o anchura extrema.

Los cambios de configuración de los sucesivos emplazamientos del río ocurridos entre 1970, 1990 y 1993 se verifican sobre los meandros que previamente presentaron una mayor amplitud; conviene mencionar que no todos los meandros se trasladaron libremente, ya que algunos de ellos se han visto frenados en forma relativa por el obstáculo que representa la acción protectora de los bordos de defensa que han retardado el crecimiento de los meandros (figuras 4, 5 y 6).

Es interesante notar que entre el período de 1970 y 1990 el río se recorta en la longitud por cerca de 5.5 km con la estrangulación de dos meandros, pero más notorio aún es la magnitud de los cambios ocurridos en el lapso corto de 1990 a 1993, en donde se estrangulan también dos meandros, uno de los cuales es muy amplio puesto que la longitud del lóbulo del meandro mide 6.1 km (figuras 5 y 6). Estos cambios son extremadamente rápidos, pues en el vuelo de levantamiento aéreo fotográfico realizado en marzo de 1992, todavía el meandro en cuestión continuaba con la trayectoria aproximada a la de 1990.

En enero de 1993 se registra una crecida extraordinaria que origina dicha estrangulación, pero inesperadamente recupera una gran parte de la longitud del tramo perdido, ya que se incrementa el valor de la longitud en 5.25 km, aproximándose a la antigua condición (figuras 5 y 6).

### Conclusiones

En resumen, el desarrollo de la trayectoria meándrica se acrecienta a lo largo de ciertos tramos, es decir, se lleva a cabo por impulsos a partir de los cuales los meandros de mayor amplitud se estrangulan, propiciando una expansión acelerada de las curvaturas inmediatas río abajo, hasta el umbral límite a partir del cual los meandros se estrangulan, extendiéndose el fenómeno de acrecentamiento a una renovada sección o tramo río abajo, a la manera de pulsos secuenciales, sin que ello implique que el curso pase de un estado evolutivo a otro,



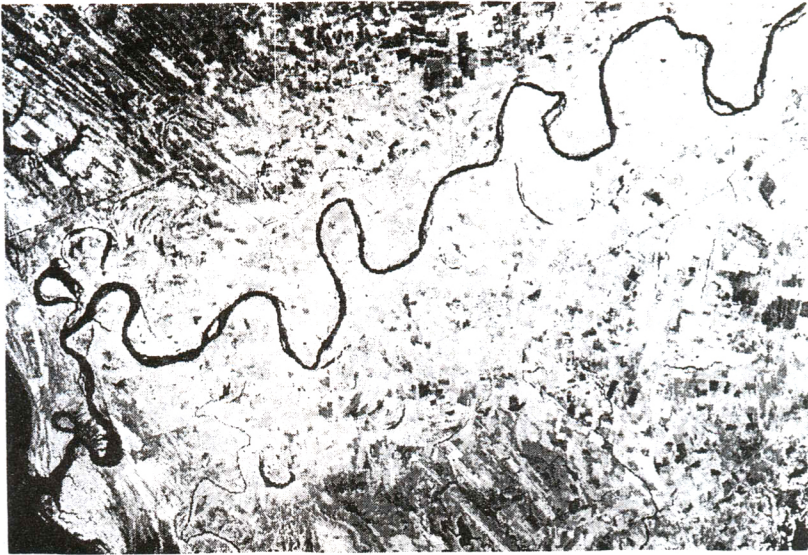
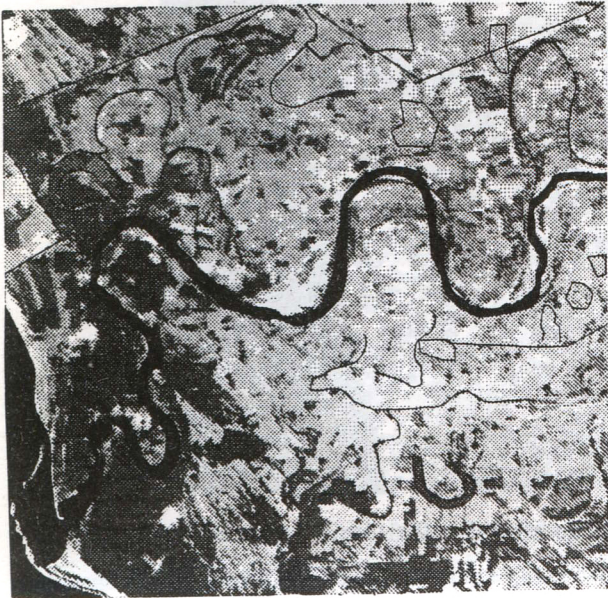


Figura 4. Imágenes de satélite Landsat de abril de 1990 (arriba) y de marzo de 1993 (abajo).





Abril de 1990



Marzo de 1993

**Figura 5.** Imágenes correspondientes al curso bajo del Río Grande de Santiago con patrón meándrico, sobre las cuales se evidencian los cambios de trayectoria ocurridos en el transcurso del período comprendido entre abril de 1990 y marzo de 1993. Las modificaciones se llevan a cabo prácticamente a todo lo largo del trecho en cuestión, toda vez que son decapitados dos meandros y se pronuncian por desplazamiento de expansión, rotación y traslación para el resto de las curvas. Los rasgos de brazos segados, bordos y caminos carreteros sirven de referencia para el análisis visual comparativo entre ambas imágenes. Recuadro derecho, un acercamiento para la mejor visualización de las modificaciones en el curso final.



toda vez que en la misma corriente hay trechos representativos de intensidades diferentes en el valor de la sinuosidad del patrón meándrico.

Sin embargo, conviene aclarar que este tipo de descripción seguramente será la última que se haga del río en cuestión, puesto que se modificará el comportamiento del escurrimiento al quedar controlado el régimen del río por dos represas construidas en el curso bajo o muy cercanas al mar, reteniendo prácticamente todos los sedimentos en los embalses; por otro lado, el escurrimiento estará en función de la demanda de agua derivada de la necesidad de generación hidroeléctrica y de la derivación para cubrir los requerimientos del riego, satisfactores que son totalmente distintos a los del funcionamiento natural de los ecosistemas del delta del Río Grande de Santiago.

Las repercusiones que se esperan derivadas del impacto de las presas son evidentes al cesar la actividad deltaica, situación que implica un cambio irreversible, ya que al quedar anulado el patrón de sedimentación se modificará éste a un arreglo exclusivamente de erosión, con el consecuente retroceso de la línea de costa y la pérdida de tierras. La erosión se hará sentir sobre las dos márgenes del río al ir desapareciendo el equilibrio existente del patrón meándrico caracterizada por la acumulación y la socavación alternante de las riberas. El papel del corte erosivo de la disección trae como consecuencia la profundización del lecho fluvial permitiendo condiciones muy propias a la penetración de la intrusión salina migrando río arriba, encadenándose con ello nuevos fenómenos derivados de la influencia salina como el de la aridez fisiológica de las comunidades costeras al ser reemplazadas por la expansión de nuevos espacios para las marismas a costa de terrenos de uso agrícola y selvas; modificándose rápidamente los hábitat naturales, heredados de una historia de miles de años, cuyos efectos son todavía imprevisibles en toda su dimensión.

toda vez que en la misma corriente hay trechos representativos de intensidades diferentes en el valor de la sinuosidad del patrón meándrico.

Sin embargo, conviene aclarar que este tipo de descripción seguramente será la última que se haga del río en cuestión, puesto que se modificará el comportamiento del escurrimiento al quedar controlado el régimen del río por dos represas construidas en el curso bajo o muy cercanas al mar, reteniendo prácticamente todos los sedimentos en los embalses; por otro lado, el escurrimiento estará en función de la demanda de agua derivada de la necesidad de generación hidroeléctrica y de la derivación para cubrir los requerimientos del riego, satisfactores que son totalmente distintos a los del funcionamiento natural de los ecosistemas del delta del Río Grande de Santiago.

Las repercusiones que se esperan derivadas del impacto de las presas son evidentes al cesar la actividad deltaica, situación que implica un cambio irreversible, ya que al quedar anulado el patrón de sedimentación se modificará éste a un arreglo exclusivamente de erosión, con el consecuente retroceso de la línea de costa y la pérdida de tierras. La erosión se hará sentir sobre las dos márgenes del río al ir desapareciendo el equilibrio existente del patrón meándrico caracterizada por la acumulación y la socavación alternante de las riberas. El papel del corte erosivo de la disección trae como consecuencia la profundización del lecho fluvial permitiendo condiciones muy propias a la penetración de la intrusión salina migrando río arriba, encadenándose con ello nuevos fenómenos derivados de la influencia salina como el de la aridez fisiológica de las comunidades costeras al ser reemplazadas por la expansión de nuevos espacios para las marismas a costa de terrenos de uso agrícola y selvas; modificándose rápidamente los hábitat naturales, heredados de una historia de miles de años, cuyos efectos son todavía imprevisibles en toda su dimensión.

### **Reconocimiento**

Este análisis se llevó a cabo como parte del programa de investigación "Cambio de uso de suelo y bioconservación en Marismas Nacionales, Nayarit", apoyado y financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

### **Agradecimiento**

Se reconoce la eficaz colaboración de José Manuel Figueroa, por su labor en la confección cartográfica.

### **Referencias**

- Leopold, L. B., M. G. Wolman y J. P. Miller (1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*, W. H. Freeman.
- Morisawa, M. (1985), *Rivers (form and process)*, Logman.
- Ortiz Pérez, M. A. (1979), Fotointerpretación geomorfológica del curso bajo del Río Grande de Santiago, Nayarit, *Boletín*, Instituto de Geografía, UNAM, núm. 9, pp. 65-92.