

FOTOINTERPRETACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL CURSO BAJO DEL RÍO GRANDE DE SANTIAGO, NAYARIT

Por *Mario Arturo Ortiz Pérez**

RESUMEN

Se analizan las principales modificaciones geomorfológicas del lecho fluvial y sus efectos en el curso bajo del río Grande de Santiago, en los últimos 37 años, mediante la fotointerpretación comparativa de imágenes aéreas tomadas en diferentes fechas.

SUMMARY

The principal geomorphologic modifications of the fluvialbed and their effects are analyzed in the low course of river Grande de Santiago, in the last 37 years, through the comparative photointerpretation of aerial images taken in different dates.

INTRODUCCIÓN

Como la mayoría de los deltas, el del río Grande de Santiago continúa acumulando sedimentos. Simultáneamente, y como consecuencia del proceso de depositación, se verifican en él rápidos y significativos cambios derivados del crecimiento y la expansión del delta. De este modo, en el área deltaica el nivel del río también se irá elevando en el transcurso del tiempo por el proceso de sedimentación. Dicho efecto se traduce, entre otros, en un incremento anual de las inundaciones en los periodos de lluvias o ciclones; de esta manera, el curso bajo del río Grande de Santiago se ha visto afectado por avenidas extraordinarias que representan un peligro latente año tras año, ya que en repetidas ocasiones ha desbordado sobre la llanura aluvial, provocando con ello vastas inundaciones en zonas agrícolas y núcleos de población, con graves

perjuicios por pérdidas económicas de gran cuantía.

El factor primordial que influye tanto en las inundaciones como en la modificante morfología aluvial de la llanura costera lo constituye, de hecho, el fluctuante curso del Santiago, río que divaga en la continua búsqueda del perfil longitudinal de mayor pendiente, con tendencia a trasladarse a un renovado lecho fluvial que permita a sus descargas reconocer un camino más fácil hacia el mar, para encontrar, así, su nivel de base. En los efectos derivados de este fenómeno se fundamenta el objetivo de este trabajo, o sea, conocer la dinámica del curso fluvial en la llanura deltaica del río Grande de Santiago en el transcurso de los últimos años, utilizando para ello fotografías aéreas tomadas, con cierto intervalo de tiempo, sobre la misma zona, con el fin de hacer no sólo un análisis cualitativo sino, también, tratar algunos aspectos cuantitativos de los cambios más significativos de su curso, así como las modificaciones más importantes que han tenido lugar en su lecho fluvial.

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

Estos antecedentes por sí solos sitúan el problema en el contexto de la investigación aplicada, puesto que de este análisis se derivan resultados de gran utilidad práctica, susceptibles de ser aprovechados para mejorar las condiciones del drenaje.

El criterio geomorfológico aunado al hidrológico proporciona una base firme en la planeación y ejecución de obras o proyectos de ingeniería en el control de ríos. Tales trabajos serían, por ejemplo, los de dragado, rectificación de cauces, construcción de canales de alivio, defensa de las riberas contra la erosión, problemas de azolves o sedimentación rápida por acarrees litorales en la desembocadura; además de localización de sitios idóneos para obras de infraestructura, y los adecuados para los asentamientos humanos, que redundarán en un mejor aprovechamiento del espacio.

Materiales y métodos de estudio

El material básico de análisis consistió en juegos de fotografías aéreas que cubrieron el área repetidas veces, en diferentes fechas de vuelo, con objeto de detectar los cambios transcurridos durante los últimos 35 años. Para tal efecto se obtuvieron fotografías aéreas tomadas en noviembre de 1940, material cuya escala, 1:10 000, permitió una fotointerpretación detallada; también se contó con fotografías a diferente escala, verticales e inclinadas, de la serie trimetrogón, tomadas en febrero de 1943, del Instituto de Geografía. En el decenio de los cincuenta, en el que no se obtuvieron fotografías, éstas se reemplazaron con el material cartográfico disponible de esos años; cartas topográficas a escala 1:100 000, del Departamento Cartográfico Militar. Del decenio de los sesenta se utilizaron fotografías tomadas en febrero de 1964, a escala 1:30 000, de la Compañía Mexicana Aerofoto. Para el resto, de los años setenta, se contó con fotografías de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, tomadas en noviembre de 1970, a escala 1:25 000, y para el análisis de los últimos años se emplearon fotografías de satélite, amplificadas a escala 1:500 000, de abril de 1973, de la serie multi-espectral del Landsat, en la que se trabajaron las imágenes de la banda 4 a la 7 y, por último, en marzo de 1977 se voló y se fotografió con cámara convencional el curso bajo del río, con

el fin de analizar las últimas modificaciones de su cauce.

Inicialmente el trabajo consistió en una fotointerpretación geomorfológica de todos los juegos de fotografías aéreas, basándose esencialmente en los métodos de fotointerpretación de Meyerink (1970), en el que se incluyen técnicas de fotoidentificación en patrones fluviales, así como la clasificación de los diversos elementos morfológicos que constituyen los lechos fluviales, en que se adoptan criterios del geomorfológico Tricart. Posteriormente la fotointerpretación se verificó y se reinterpreto a partir de los trabajos de campo.

Para el análisis de las modificaciones del curso fluvial se restituyó la configuración del cauce en los distintos juegos de fotografías aéreas, de las diferentes fechas de vuelo, aclarando que la corrección se hizo dentro de los límites de resolución del estereosketch, que es un instrumento de rectificación aproximada 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 significativo; de esta manera, en los planos así obtenidos se confió la realización de las medidas morfométricas del curso fluvial.

Paralelamente a las labores de fotointerpretación se fue formando e integrando el mapa geomorfológico, el que se elaboró utilizando como mapa base las cartas topográficas a escala 1:50 000, de la Dirección de Estudios del Territorio Nacional.

Area en estudio

Se considera al río Santiago como componente del sistema fluvial Lerma-Chapala que, en conjunto, forma una unidad geográfica solamente en cuanto constituye una cuenca hidrográfica, pues presenta caracteres geográficos de muy diferente índole, ya sea climáticos, hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, etc. Dicha heterogeneidad es consecuencia de la gran diversidad de regiones naturales que drena, por esta razón sería imposible reunir en este trabajo la descripción general de la cuenca. Sin embargo, al respecto existen diversos estudios, realizados por organismos encargados de los proyectos técnicos de la cuenca en cuestión, entre los que se puede mencionar la Comisión Lerma-Chapala-Santiago, los informes del Plan Lerma para la Asistencia Técnica, dependencia recién desa-

parecida, y los estudios del Plan Nacional Hidráulico.

Las modalidades del escurrimiento, variabilidad de las avenidas y, en general, el comportamiento hidrológico de la cuenca, son temas de gran interés para este ensayo; tales datos se resumen en el Boletín Hidrológico No. 52, Tomo I-II y III, 1973, publicado por la ahora Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. También existen otros trabajos geográficos que incluyen el área en estudio, de Funes (1968) y Jáuregui (1966).

El curso bajo del río Santiago es el colector general de una de las mayores y más importantes cuencas hidrográficas del país, tanto por los valiosos recursos naturales que comprende, como por la vasta extensión que representa (129 263 Kms² de superficie), magnitud que nos permite advertir de manera muy clara la capacidad del escurrimiento en el trayecto final del río, en el que se estima un volumen medio anual de 8 444.3 millones de m³, con un gasto medio anual de 268 m³/s aproximadamente, habiéndose llegado a registrar inusitadas avenidas hasta con un gasto máximo instantáneo de 6 850 m³/s ya que el sistema fluvial sólo se encuentra parcialmente controlado por presas y obras de derivación para riego, en la parte alta y media de la cuenca.

El curso bajo del río Grande de Santiago, al que nos referimos en este análisis, queda comprendido desde el punto en que el río abandona la Sierra Madre Occidental, para entrar y recorrer, de oriente a poniente, la llanura costera de Nayarit por la que logra su salida al Océano Pacífico, en la boca de Titiritero, que dista unos 73 kms de las estribaciones de la sierra (fig. 1).

Antecedentes

En el transcurso de la historia geomorfológica del cuaternario, el área deltaica del río Grande de Santiago se ha visto afectada por notables cambios que modifican por completo las condiciones del drenaje; según se deduce de los trabajos sistemáticos de Curray y Moore (1963), (1964 a, b.); Curray, Emmel y Crampton (1969); la llanura costera, el litoral y la plataforma continental se encuentran bajo la influencia del río Grande de Santiago, así como de los ríos San Pedro, Acaponeta, Las Cañas y

Baluarte, todos situados a unas decenas de kilómetros más al norte del río Santiago.

En el pleistoceno tardío, en los periodos de bajo nivel del mar, estos ríos edificaron un vasto y complejo sistema deltaico sobre lo que hoy es gran parte de la plataforma continental correspondiente al estado de Nayarit. El frente deltaico se ubicaba muy cerca del borde de la plataforma continental, situado a corta distancia del archipiélago de las Islas Mariás (fig. 2), pero a fines del pleistoceno y en el transcurso de los primeros milenios del holoceno tiene lugar una fase transgresiva con un ascenso del nivel del mar. La línea de costa se traslada, avanza y emigra tierra adentro, sobre lo que constituía la primitiva superficie del delta. Es evidente que, con la secuencia transgresiva se modifica totalmente el drenaje del sistema deltaico, pues éste se irá adaptando de acuerdo con el retroceso de la costa. Posteriormente el movimiento transgresivo se fue estabilizando con un lento ascenso del nivel del mar, en un periodo de tiempo que ocurre, según Curray y otros autores (1969), pp. 88-89, entre 4 750 y 3 600 años antes del presente, época a partir de la cual se verifica un importante cambio en el litoral, cuando tiene lugar un comportamiento regresivo de la costa, fenómeno que perdura durante los últimos miles de años. El avance de la línea de costa hacia el océano se verifica sin que por ello se detenga la lenta transgresión marina, lo que sucede es que la velocidad de depósito en el frente deltaico, derivada del continuo aporte de sedimentos que acarrearán los ríos, supera el lento avance transgresivo del litoral.

Ya en el mar, este material terrígeno es retrabajado por corrientes de deriva litoral, al ser movilizado y repartido a lo largo de la costa cercana a las desembocaduras. Estos sedimentos se van acumulando formando una barra bajo el fondo submarino adyacente a la playa, por la acción continua, pero débil, del oleaje y el efecto de la marea. Dichos procesos contribuyen a que la barra sumergida se vaya elevando sobre el nivel del mar, hasta formar una nueva playa con la consecuente extensión de la línea de costa hacia el mar; estos fenómenos han sido demostrados por McKee y Sterret (1961), por Keulegan (1948) y Sheppard (1950), todos citados por Curray y Moore (1963, p. 112). Una vez formada la nueva playa, la playa antecedente quedará aislada en la porción de la trascosta.

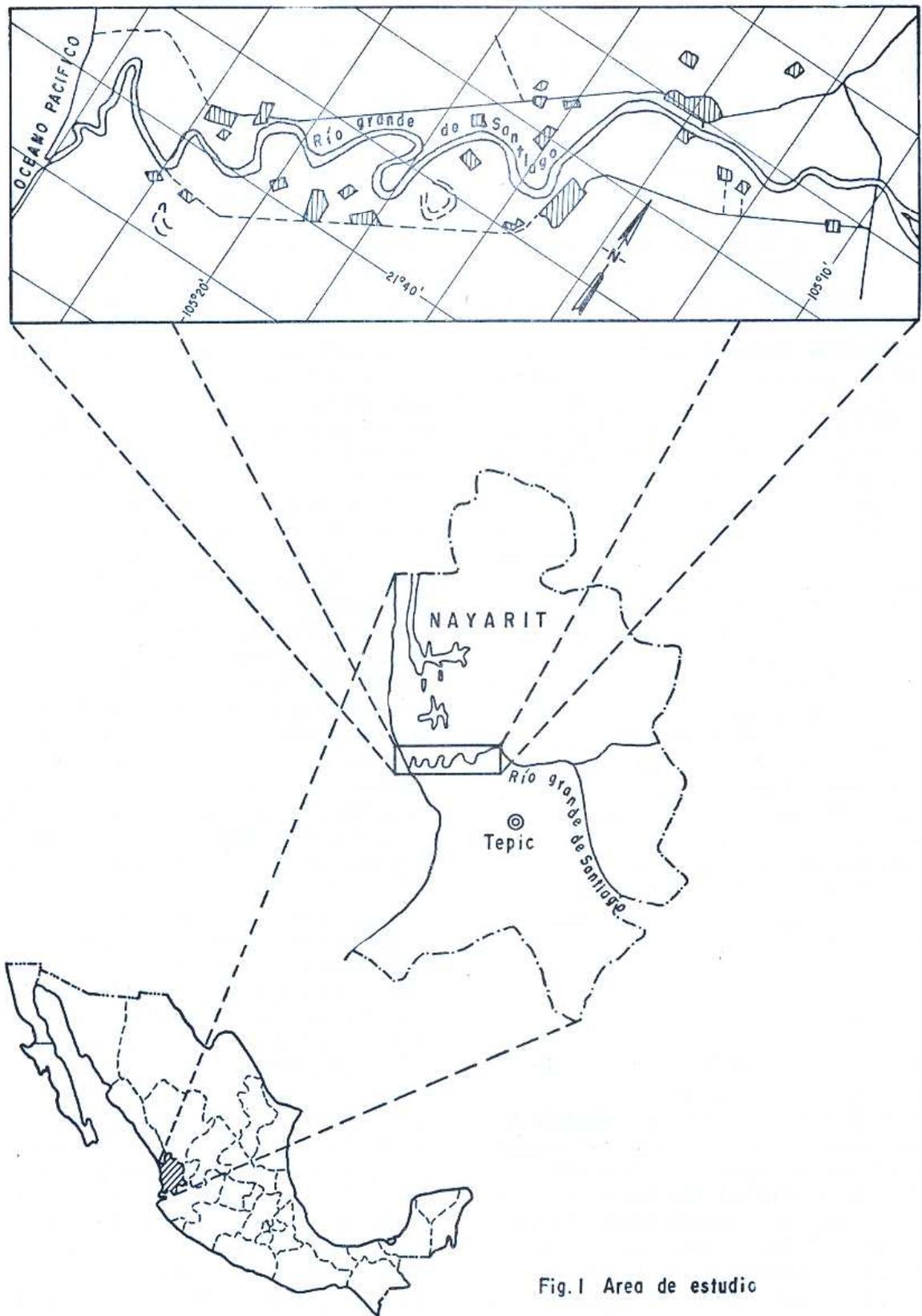


Fig.1 Area de estudio

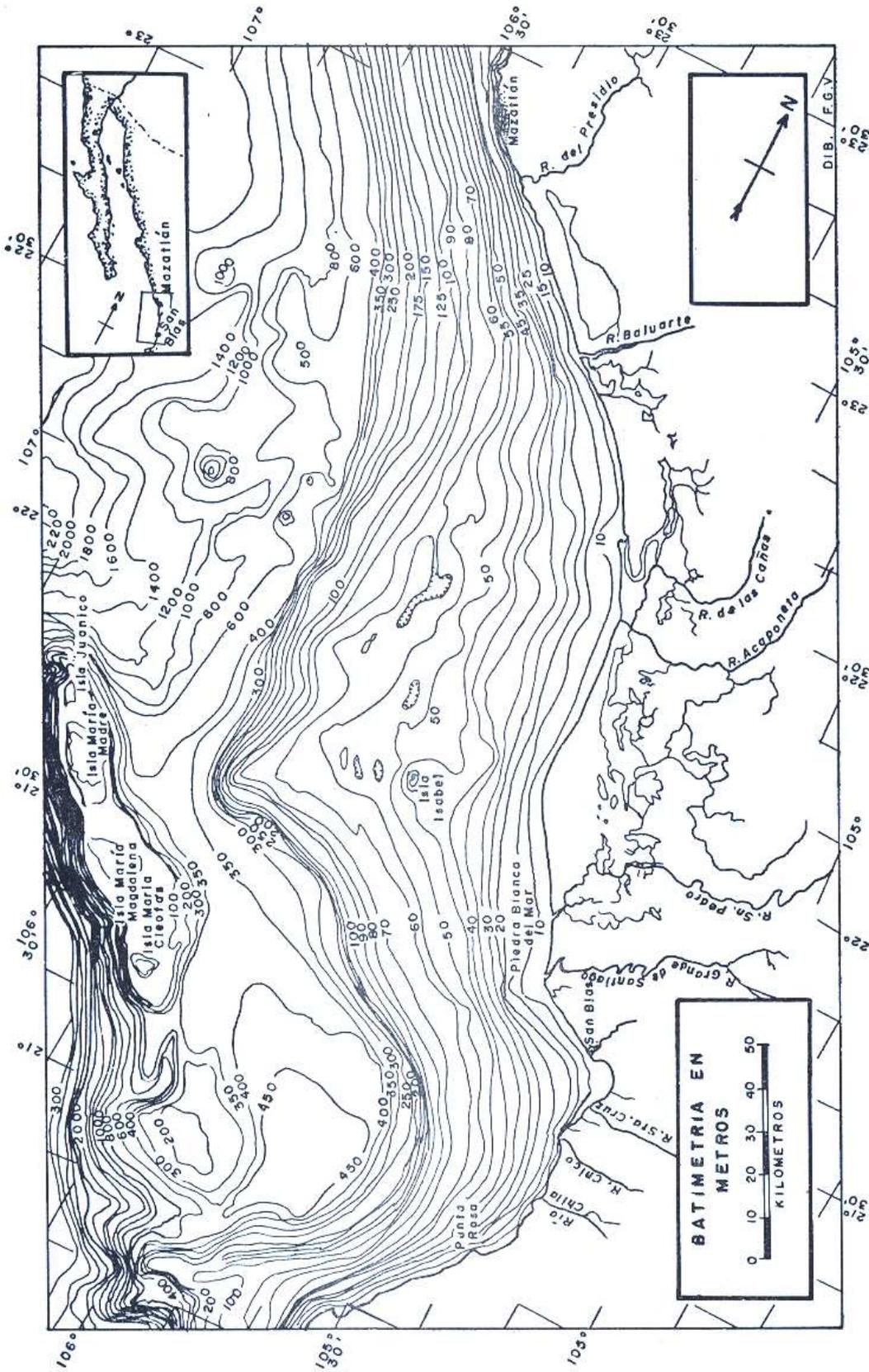


Fig. 2. Mapa batimétrico de la plataforma continental correspondiente a la llanura costera de Nayarit, la isobata de 100 metros marca el contorno aproximado del máximo avance del delta en el pleistoceno. Mapa tomado del de Curray, *et al* (1969, fig. 1).

Este proceso se ha repetido en forma más o menos continua hasta el presente, lo que ha permitido reconstruir los sucesivos avances del litoral hacia el mar, en el transcurso de la regresión, pues sobre la llanura costera quedan como relictos o testigos de los desplazamientos del litoral, las playas que han sido aisladas o abandonadas y que ahora se encuentran formando depósitos en forma de cordones litorales que se disponen surcando la llanura de manera uniforme.

Asimismo, Curray y otros (1969) interpretan las principales modificaciones del drenaje en la llanura costera, mediante los cortes que muestran los cordones litorales al ser truncados por la erosión del drenaje antecedente; dichos autores deducen las modificaciones que se indican en la figura 3.

1. En los inicios del fenómeno regresivo, el drenaje se presenta en la siguiente forma: el río Santiago y el río San Pedro confluyen antes de desembocar en el océano, a la altura del paralelo $21^{\circ}48'$ latitud norte (flecha 1).

Cabe mencionar que, todavía en la última fase del fenómeno transgresivo y durante el proceso de estabilización de la costa, estos ríos entraban juntos al Océano Pacífico, al norte, muy cerca del paralelo $22^{\circ}00'$ latitud norte, no muy lejos de la actual desembocadura del río Santiago.

2. El siguiente cambio más importante ocurre hace unos 1 000 años, cuando se desprende del río Santiago un distributario que se abre paso hacia el sur, cuya desembocadura se ubicaba aproximadamente en los $21^{\circ}35'$ latitud norte y los $105^{\circ}20'$ longitud oeste, muy cerca del puerto de San Blas (flecha 2).

3. Posteriormente, hace unos 500 años, el río Santiago abandona su curso y se separa del río San Pedro, cambiando su flujo en la dirección actual de la corriente, en donde desde entonces ha formado el nuevo delta (flecha 3).

4. En el transcurso de los últimos 500 años, sobre la porción terminal del delta se forman nuevas y subsecuentes desembocaduras. El río Santiago abandona el distributario del sur (flecha 2), cegando la actividad de este brazo, formándose un nuevo distributario (flecha 4) que posteriormente es abandonado, quedando en actividad la actual desembocadura (punto 5).

Como resultado de las modificaciones de la red fluvial se trastornaron los patrones de descarga provocando, por ello, fluctuaciones en el balance de la sedimentación y causando, por esto, reorientaciones de la línea de costa, debido a que los centros de depósito cambiaron de lugar; por tal motivo, en ciertas áreas hubo una reducción del flujo de sedimentos, que propició la erosión de la playa o la interrupción de la secuencia regular de la fase regresiva. En cambio, en otros sitios del litoral, los cercanos a las desembocaduras, donde hubo rápida y permanente contribución de sedimentos, estos permitieron un movimiento muy activo de la línea de playa hacia el mar.

Morfología deltaica

Por su configuración, el delta del río Grande de Santiago se clasifica dentro de los deltas de forma triangular, con 33 kms de base por 25 kms de altura y superficie aproximada de 367 km². El ápice del frente deltaico coincide con la actual desembocadura, misma que se proyecta en el mar en una distancia de casi 2 kms, fuera de la traza general de la costa.

La llanura deltaica consiste esencialmente en dos unidades geomórficas bien diferenciadas, una corresponde a la llanura de antiguas playas abandonadas, y otra a la llanura aluvial del río Santiago. La ubicación de ambas se ilustra también en la figura 3.

Llanura de playas

Como se mencionó, los procesos morfogenéticos que dieron lugar a la llanura de playas abandonadas son exclusivos de la acción marina, como producto de la acumulación sedimentaria de la costa deltaica. Cada cordón litoral representa el depósito contemporáneo a la formación de cada playa. Estos depósitos constituyen cuerpos de arena continuos, poco consolidados, bien clasificados, de grano medio y fino, en los que localmente, se mezclan fragmentos de conchas marinas. Tales acumulaciones se expresan en el modelado por una llanura ligeramente ondulada, formada por cordones casi paralelos, de playas abandonadas, sucesivas, entre las cuales se disponen depresiones o canales naturales que son inundados en la época de lluvias; las depresiones conectadas al mar o cercanas al litoral funcionan como canales de marea o esteros.

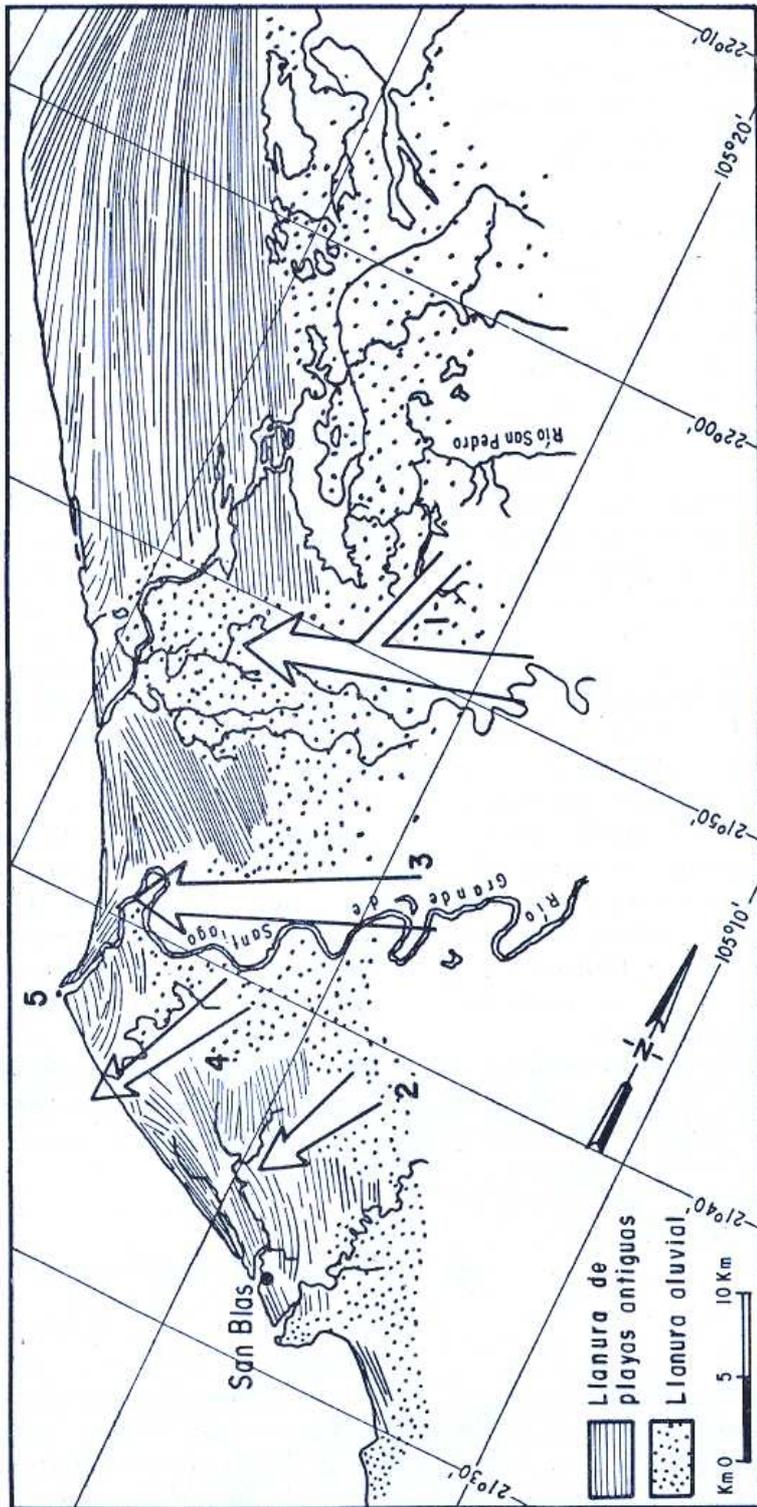


Fig. 3. Las flechas ilustran la dirección en que fluyeron las corrientes durante la fase regresiva, la punta de flecha marca la posición relativa de las desembocaduras durante este lapso. Mapa basado en el de Curray y otros (1969, fig. 19).

Llanura fluvial

La llanura fluvial del río Santiago se extiende en dirección NE-SW (Fig. 2), con un declive muy suave hacia el mar, entre 0 y 2° de pendiente como máximo, con una topografía llana comprendida desde el nivel del mar hasta una altitud máxima de 20 metros, al pie de las estribaciones de la Sierra Madre Occidental.

La morfología de la llanura aluvial ha sido modelada por la corriente del río Grande de Santiago que ha divagado a través de toda su extensión, dejando tras de sí numerosas formas meándricas que ponen de manifiesto el cambio continuo de su curso. Como remanentes de la acción de tales desplazamientos quedan surcando la llanura los rastros de antiguos cauces y meandros abandonados que temporalmente se inundan en el periodo de lluvias o crecidas, pues el drenaje es generalmente muy malo y la red fluvial adyacente al río se encuentra desorganizada por la falta de integración con el río Santiago, ya que en las márgenes del cauce se han formado cortos albardones o diques naturales bajos que impiden la libre comunicación entre la llanura de inundación y el cauce. El avenamiento anárquico del drenaje es favorecido en la porción de llanura porque ahí se presentan con mayor frecuencia los desbordes que propician condiciones lacustres y palustres que se evidencian en las charcas y lagunetas temporales formadas generalmente en las cavidades de los meandros abandonados (carta geomorfológica).

Sobre la parte alta y media de la llanura aluvial el modelado adquiere la fisonomía del paisaje agrícola y es, además, asiento de importantes núcleos de población derivados de la actividad agrícola organizada del distrito de riego del río Grande de Santiago.

Morfología fluvial

Una vez que la corriente del río Santiago entra en la llanura costera y deja aguas arriba el control estructural que le imparte el relieve de la Sierra Madre Occidental, desciende sensiblemente la pendiente del perfil longitudinal del río, registrando un desnivel medio de 0.19 m. por cada kilómetro de desarrollo longitudinal que tiene el cauce.

Ya en la llanura, la escasa pendiente de la corriente y la elevada carga de sedimentos que trae consigo, además de los materiales finos no consolidados y homogéneos sobre los cuales se establece el lecho, y la poca resistencia que ofrecen las márgenes del río, propician el comportamiento divagante de su curso.

La morfología del patrón fluvial se analiza de acuerdo con los coeficientes de sinuosidad propuestos por Leopold y otros (1964, p. 296). Las mediciones realizadas al respecto reportan que la trayectoria del curso registra un índice de sinuosidad mayor de 1.5 correspondiendo, por tanto, a la de una corriente meándrica; sin embargo, esta relación de sinuosidad no se ajusta a todo su recorrido, toda vez que en los primeros 20.5 kms por los que atraviesa la llanura, la relación de sinuosidad es de 1.19, identificándose de este modo con el dominio del patrón rectilíneo sobre el cual, por cortos trechos, se intercala el patrón anastomosado; por tanto, puede deducirse que la parte alta del curso bajo del río Santiago guarda un comportamiento propio del sistema recto-anastomosado, que se diferencia del resto de su porción baja que tiene un patrón meándrico, ya que el desarrollo longitudinal del río en el trayecto sinuoso es de 52.5 kms que, calculado sobre la base de 27 kms de tramos rectos, tomados entre los puntos de inflexión de cada una de las curvas meándricas, dan una sinuosidad de 1.94; o sea que, el curso tiene un desarrollo longitudinal de 1 940 metros por cada 1 000 metros de distancia en línea recta, debido a la alta sinuosidad de su trayectoria. De esta manera, los valores morfométricos están indicando la presencia de los dos patrones fluviales que van a dominar en la morfología del río Santiago.

Patrón recto-anastomosado

Como ya se mencionó, este patrón fluvial se reconoce por la existencia de largos tramos rectos en el curso de la corriente; la configuración rectilínea domina claramente sobre la morfología de las sinuosidades meándricas a través de los primeros 20 kms de recorrido del río en la llanura costera (mapa geomorfológico).

Con excepción de un corto trayecto sinuoso, ubicado en la porción inicial del curso en estudio, la dirección general de la corriente se

proyecta siguiendo un rumbo de oriente a poniente, por una distancia casi recta de 9 kms, para después desviarse hacia el sur, a lo largo de 5 kms, para terminar la configuración de este patrón, coincidiendo con la cota de 10 metros sobre el nivel del mar.

Es poco común encontrar trayectos o cursos rectilíneos como el que se extiende en esta parte del río Santiago, puesto que, generalmente, los cauces rectos no sobrepasan una distancia más grande que diez veces su anchura, Soeters (1974, p. 53); en tanto, la anchura media de esta parte del río Santiago es de aproximadamente 500 m, y la distancia longitudinal rectilínea más grande tiene 9 kms, o sea, 18 veces su anchura. Es muy probable que la existencia de este patrón se explique por la presencia de fallas o fracturas, lo que no es extraño toda vez que el trazado del valle de Santiago en el área montañosa cercana a la llanura se encuentra regido por un marcado control estructural impuesto por un sistema de fallas que guían la

trayectoria del curso hasta la misma planicie costera.

Esta parte del río no ha cambiado su curso, la persistencia de su trayectoria se puede confirmar, al menos durante los últimos 200 años, al quedar revelada su posición en los mapas antiguos hechos desde el año de 1763, Curray y otros (1969, p. 93). Si bien la dirección general del curso se ha conservado estable a lo largo de este periodo, no puede decirse lo mismo de las riberas, pues tanto la margen derecha como la izquierda han derivado continuamente, repetidas ocasiones, a uno y otro lado de las márgenes actuales; la traslación lateral de las orillas es el reflejo de los efectos del proceso de socavación natural de las riberas. La migración de las márgenes se advierte claramente en las imágenes aéreas, por medio de resaltes de poca altura, entre 1 y 2 metros, que se alinean casi paralelamente al cauce actual, que se han interpretado en el modelado como albardones abandonados que se alternan esca-

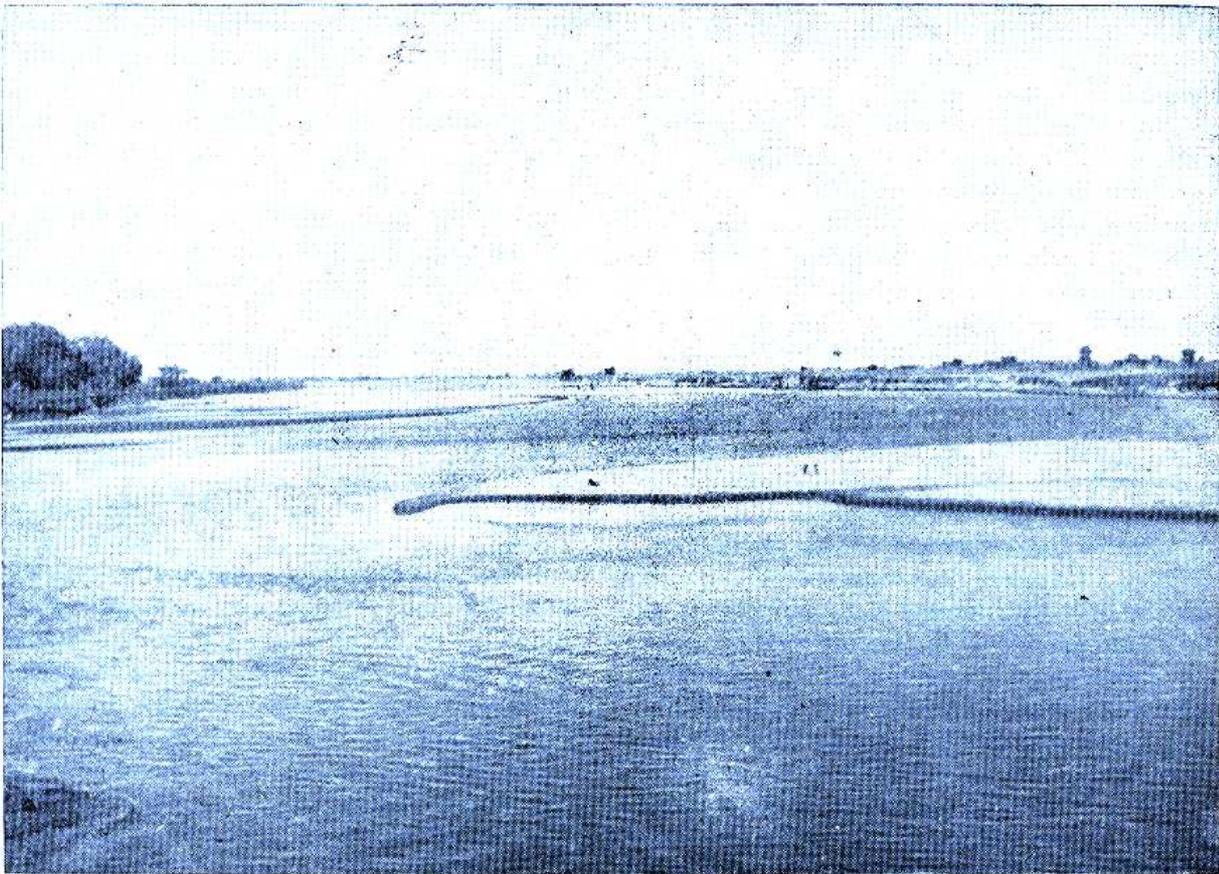


FIG. 4. Vista parcial de un sector anastomosado del río, que ilustra los extensos bancos aluviales que dividen el flujo de la corriente.

lonadamente formando terrazas sobre la llanura de inundación.

A las características mencionadas se añade también el proceso de anastomosis; este patrón se manifiesta a través de cortos trechos a lo largo del cauce, y se le reconoce por la presencia de amplios bancos aluviales que cortan la corriente en varios canales interconectados; sin embargo, en ningún sitio del río se observó que la red anastomosada dividiera el flujo en más de cuatro canales, correspondiendo, por tanto, a un proceso de trenzado incipiente (Fig. 4).

En ningún juego de fotografías aéreas, de las distintas fechas de vuelo, se observaron bancos aluviales inmóviles, a pesar de que algunos de ellos parecían haberse edificado en forma muy sólida, pues incluso la vegetación arbórea de jóvenes sauces ya se había instalado. Aunque, si bien, los depósitos aluviales mostraron en cada toma aérea gran movilidad, se volvían a presentar concentrados en las mismas áreas donde originalmente se había detectado el sistema anastomosado, coincidiendo siempre con una agrupación de bancos y bajos; sin embargo, en cada época de toma siempre se presentaron en forma distinta: unos emigraron por cortas distancias aguas abajo, otros simplemente crecieron, unos más se dismantelaron cambiando de configuración, otros más desaparecieron, se formaron nuevos, etcétera. Hay que tener en cuenta que el arreglo de canales y bancos aluviales no se hubiera observado de no contar con la siguiente situación: casi todas las series de fotografías aéreas aprovechadas para este trabajo se tomaron en la época de sequía o estiaje; este hecho facilitó la interpretación de una gran parte del lecho menor en los diferentes periodos de inspección; también se relacionaron las fechas de vuelo con los registros de escala existentes de la estación hidrométrica de Capomal, que tiene por objeto conocer las modalidades del escurrimiento en el tramo final del río; de tal manera se pudo saber con relativa precisión el nivel del agua correspondiente a cada fecha de vuelo, coincidiendo generalmente con alturas de escala muy baja, entre 0.80 y 1.50 metros.

La red anastomosada modifica su drenaje aun cuando no cambie de manera sensible la morfología de los bancos aluviales, ya que la configuración del diseño anatomosado se irá modificando de acuerdo con el nivel del agua

en el cauce; en la época de estiaje se conservarán activos sólo los canales más profundos quedando cegados temporalmente los secundarios, los bancos aluviales acrecentarán su tamaño y quedarán al descubierto playas y bajos que de otra manera sería imposible detectar en la fotografía en los niveles altos; además de que la poca turbidez del agua, que se presenta en esta época, permitió detectar los bancos sumergidos de escasa profundidad. Con un incremento en el nivel del agua se reduce el tamaño de los bancos que afloran sobre la superficie del agua y se pondrán en funcionamiento los canales secundarios; con los niveles altos del agua se ensanchan los canales, reduciendo sensiblemente la superficie expuesta de los bancos. Con las crecidas desaparecen de la vista los depósitos aluviales, destruyéndose la red anastomosada original.

Patrón meándrico

Al igual que la mayoría de los ríos con patrones meándricos, el curso bajo del río Santiago cumple ciertas características del trazado meandriforme. Para interpretar la disposición de su trazado, se recurre al análisis geométrico de los meandros, adoptando la nomenclatura propuesta por Leopold y otros (1964, pp. 295-298), que se resume en la Fig. 5.

Las propiedades geométricas de los meandros se relacionan entre sí de acuerdo con algunas de sus características. Por ejemplo, en los meandros libres o no encajados, como en el caso de esta porción del río, se puede relacionar la anchura del cauce y el radio de curvatura de los meandros, en los que la longitud del radio es entre dos y tres veces la anchura del cauce; así, los valores de dicha proporción fueron, para esta parte del río Santiago, de 607.7 m como radio promedio de las curvaturas y de 262.2 m de anchura media del cauce ordinario. Dicho orden de magnitud se ajusta a una de las relaciones que normalmente se observa en el trazado de la configuración meándrica; sin embargo, para nuestro cometido, más importante es la información derivada de la relación existente entre la amplitud del meandro y la longitud de la relación existente entre la amplitud del meandro y la longitud de su onda, pues si la amplitud excede al valor de la relación, el río generalmente tenderá a estrangular el meandro.

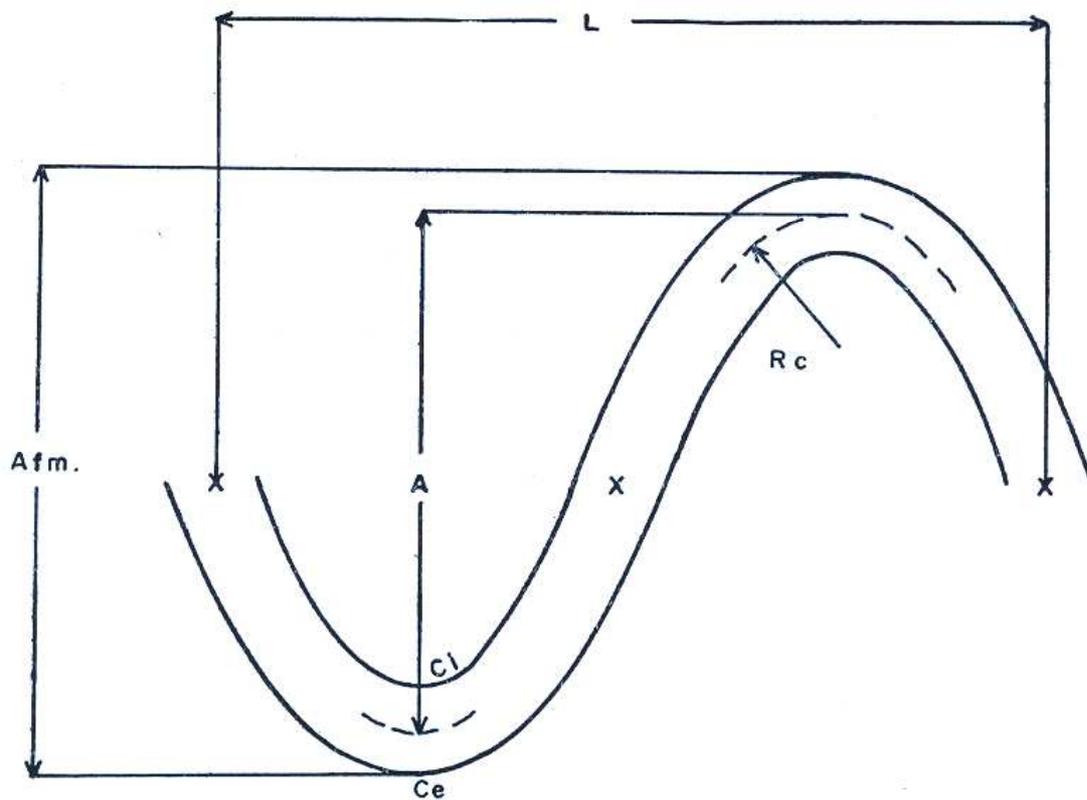


fig.5 Nomenclatura geométrica de los meandros

L= Longitud del meandro (Longitud de onda)

A= Amplitud del meandro (Amplitud de onda)

R_c= Radio de curvatura

X= Puntos de inflexión

Afm= Anchura de la faja de meandros

C_i= Curva interna (margen convexa)

C_e= Curva externa (margen cóncava)

De los 13 meandros principales que constituían el tramo final del río en el año de 1970, tres de ellos sobrepasan en 667 m el valor de la longitud de los meandros, de los cuales dos de ellos terminaron por estrangularse en la crecida de octubre de 1973, y el restante está a punto de hacerlo, ya que el cuello del meandro se ha estrechado a tal grado que sólo faltan unos 290 m para que las riberas altas se fusionen y se efectúe la estrangulación (carta geomorfológica).

En efecto, la actividad de estos meandros es efímera, pues a medida que se extiende la am-

plitud del meandro tiende a disminuir el gradiente del río, propiciando por esto que la corriente propenda a buscar su perfil de equilibrio mediante el proceso de estrangulación.

Hay que hacer notar que la amplitud de los meandros se incrementa en el momento que la corriente entra en contacto con el modelado de cordones litorales, pues estos ejercen cierto control estructural sobre el patrón meándrico; los cordones litorales de playas antiguas o abandonadas se distribuyen alineándose casi paralelamente a la línea de costa y, por tanto, son perpendiculares a la dirección de la co-

rriente; así, los cordones de playas abandonadas forman barreras naturales que impiden el libre flujo de la corriente, al tropezar con la estructura transversal de las bermas o cordones litorales, pues la corriente tiende a reconocer hacia las largas depresiones que se forman entre cada uno de los cuerpos de arena de playas abandonadas, facilitando, con ello, desplazamientos laterales extremos del curso, que se traducen en mayor amplitud de los meandros y, por tanto, en mayor extensión de la faja de meandros que llega a alcanzar hasta 7 kms de ancho.

Referente a los meandros donde existe un dominio de la longitud de onda, estos se muestran con segmentos de curvaturas más amplias que se ajustan a longitudes de radios más largos; dicha disposición es en gran parte resultado de las constantes rectificaciones del curso fluvial, pues cuando menos la tercera parte de los meandros se han estrangulado recientemente reduciendo sensiblemente su amplitud al

regular o acortar la trayectoria de los desplazamientos en dirección lateral.

Como resultado del carácter divagante y de las constantes modificaciones del curso fluvial, quedan, como relictos de estos procesos, numerosos meandros abandonados que forman lagunetas en forma de herradura, o de media luna (Fig. 6).

La estrangulación de meandros recientes se caracteriza porque los cuerpos de agua así formados guardan aún comunicación temporal con el río, por medio de estrecho canal que se sitúa a través del lecho remanente del meandro recién abandonado, o sea, que el azolve aún no alcanza a colmar los extremos del cauce en los meandros recién estrangulados; además se les reconoce porque generalmente se disponen muy cerca de la porción exterior de las orillas cóncavas de los meandros activos.

Los meandros abandonados quedan surcando la llanura aluvial y a través de una amplia faja de aproximadamente 12 kms de an-



FIG. 6. Vista oblicua de la trayectoria del último sector meándrico hasta su desembocadura, en el que se ilustran los numerosos meandros abandonados.

chura, sobre ella se observan las huellas de antiguos lechos fluviales que servirán, hasta cierto punto, para asociar o deducir las modificaciones del oscilante curso fluvial.

Morfología del lecho fluvial

El análisis sistemático a lo largo del cauce permite establecer la clasificación morfológica del mismo, este método conduce a adoptar otro punto de vista diferente, pero íntimamente relacionado: el criterio hidrológico. La morfología del lecho fluvial es el reflejo de las condiciones del escurrimiento, toda vez que las variaciones del caudal y las de la velocidad de la corriente y los diferentes niveles o tirantes de la superficie del agua determinarán en gran medida la forma del cauce.

Con base en estos conceptos podemos distinguir cuatro fases críticas en el comportamiento del lecho fluvial, que pueden ser reconocidas por medio del modelado y que de acuerdo con la clasificación de Trestman (1964) y Tricart (1960) enunciadas por Meyerink (1970), se adoptan estas clasificaciones, aunque algo modificadas, para aplicarlas al río Santiago:

1) Fase de niveles bajos, correspondientes al escurrimiento de recesión o estiaje en los periodos secos. La corriente ocupará sólo el talweg del río o el canal de estiaje en el lecho menor.

2) Fase de niveles medios, o sea los que coinciden o se aproximan al valor del escurrimiento medio anual. Por ser sólo un valor numérico del caudal, al ponderar tanto los valores altos y bajos del gasto no podemos esperar una clara indicación del escurrimiento medio en las características del canal; sin embargo, se ha observado que en la mayoría de los ríos los caudales medios, en general, tienden a cubrir un tercio del lecho menor, Leopold y otros (1964, p. 220). Cabe aclarar que para el río Santiago no fue posible hacer la distinción entre los niveles bajos y medios, debido a la regularidad o persistencia del caudal aún en época de estiaje.

3) Fase de niveles altos, correspondiente a las crecidas ordinarias, en la que se distinguen dos niveles:

a) Escurrimientos con flujos a pleno bordo o muy cerca del límite del nivel máximo de contención del lecho menor.

b) Niveles altos de desborde que sobrepasan las riberas bajas del lecho menor e inundan periódicamente el lecho mayor.

4) Fase de desbordes o inundaciones, en la que la avenida rebasa el nivel de las riberas altas, como resultado de las crecidas extraordinarias que inundan esporádicamente el lecho mayor excepcional o llanura alta de inundación.

Los periodos con niveles bajos y medios corresponden a fases de estabilidad del cauce, debido fundamentalmente a la ineficacia de los flujos moderados para modificar sensiblemente el lecho del río; en cambio, en los niveles altos el gasto se incrementa rápidamente, obteniendo las máximas velocidades de flujo, elevando el esfuerzo cortante ejercido sobre el lecho del canal, que se manifiesta por excavación acelerada de la erosión lineal en el fondo, con la consecuente movilización de la carga de fondo y la rápida socavación de las riberas.

Los efectos derivados de la dinámica fluvial en los niveles altos se reflejan a lo largo del curso del río Santiago a través de las diversas unidades morfológicas fundamentales que constituyen su cauce: lecho menor, lecho mayor y lechos de inundación; sin embargo, muchas veces los límites del lecho mayor o de la llanura de inundación no se distinguen claramente en el campo o en la fotografía aérea, a pesar de que han sido modelados en función de cierta frecuencia de gastos correspondientes a periodos críticos, y es que su presencia no puede definirse de una manera absoluta toda vez que, en ocasiones, no existe un límite topográfico o morfológico bien marcado, tal como ocurre con el lecho ordinario en el cual las riberas se definen fácilmente debido a la mayor frecuencia y persistencia del escurrimiento; por otra parte, concurren otros factores que complican el reconocimiento de los límites de las riberas altas; por ejemplo, la existencia de áreas cultivadas hasta las mismas márgenes del río, colonización de vegetación arbustiva y de manglar, obras de infraestructura o poblados que se disponen por cortos trechos en ambas márgenes del río.

En la porción cercana a la desembocadura, el río se encuentra sujeto a la acción de las corrientes de marea, correspondiendo prácticamente a las características de un estuario; por tanto, no es posible reconocer los mismos ele-

mentos del modelado fluvial que imperan a lo largo del río; por ello, en esta parte y en ambas márgenes del río se forman planicies de inundación permanentes que se manifiestan en el paisaje a través de amplias marismas o ciénagas pobladas de mangle.

Para precisar los principales mecanismos que animan el comportamiento del lecho, se analiza la fisonomía del modelado fluvial.

La presencia del patrón anastomosado permite deducir gran parte del comportamiento del cauce en los primeros kilómetros de recorrido que tiene el río al entrar en la llanura fluvial. El diseño anastomosado del cauce está indicando una excesiva carga de sedimentos gruesos incapaces de ser transportados con las descargas normales o en los flujos bajos y moderados del caudal; la pérdida de la capacidad de transporte se explica por una disminución de la velocidad de la corriente debido al brusco cambio de gradiente al dejar la montaña y entrar en la llanura aluvial; la abundante carga oblitera parcialmente el lecho fluvial, por acreción vertical que forma bajos o bancos aluviales que obstaculizan el libre flujo de las descargas, motivando una diseminación del escurrimiento a través de una incipiente red de canales trenzados; los obstáculos y la disgregación del escurrimiento conducen a mayor pérdida de energía debilitando aún más la capacidad de transporte, haciéndola insuficiente para provocar la remoción de la carga de fondo constituido en su mayor parte por clastos gruesos: cantos rodados, gravas y arenas gruesas.

Según Wolman y Brush (1961) citados por Meyerink (1970, p. 39), en este tipo de patrones la agradación sedimentaria del lecho reduce sensiblemente la profundidad del cauce; el fenómeno se contrarresta con una ampliación en la anchura del lecho, guardando, así, equilibrio entre las relaciones del caudal, anchura y profundidad. Como la corriente no ocupa más que una porción de la sección transversal del lecho, el diseño de los canales de descarga se arregla o se adapta con un incremento en el volumen, mediante el ensanchamiento de cada uno de los canales individuales, los cuales pueden unirse o combinarse ampliando el perímetro mojado de la sección transversal del lecho ordinario.

En las crecidas ordinarias los obstáculos formados por los bajos y bancos de aluvión axia-

les acentuarán aún más el nivel ascendente de la cresta de crecida, pronunciando la pendiente hidráulica, pudiendo provocar con ello posibles desbordamientos; mientras tanto, en el lecho puede tener lugar la remoción de la carga de fondo si la competencia es lo suficientemente alta para desplazar los aluviones gruesos. Según Strahler (1974, p. 481)... "La capacidad para mover la carga de fondo equivale a la velocidad del agua elevada aproximadamente a la tercera o la cuarta potencia".

Con las crecidas extraordinarias se profundiza el lecho, desplazando aguas abajo gran parte de los depósitos aluviales, pero posteriormente, al decaer el nivel en la etapa de descenso, se restauran las condiciones de aluvionamiento dando lugar a un nuevo diseño anastomosado.

Hay evidencias para pensar que el proceso de anastomosis se ha incrementado a últimas fechas, pues la estación hidrométrica de Yago, que tenía por objeto conocer las modalidades del escurrimiento en la llanura fluvial, tuvo que ser suspendida en el año de 1955, después de estar en servicio durante 15 años, para ser trasladada su estación de aforos 5 kms aguas abajo, debido precisamente a que la sección de aforo venía presentando problemas en su funcionamiento como resultado del diseño anastomosado del cauce, pues la inestabilidad del lecho y la presencia de bancos aluviales, así como los frecuentes cambios y bifurcaciones de la corriente, dificultan las observaciones hidrométricas.

Es factible que la consecuencia de estos cambios tenga su origen o relación a partir de las rupturas del equilibrio morfoclimático de la cuenca, provocadas por el hombre mediante la deforestación irracional o el cultivo sin emplear técnicas de conservación de suelos; factores que probablemente han repercutido en las modalidades del escurrimiento.

En el patrón meándrico las condiciones fluviales son muy distintas a las del sistema anastomosado, ya que la corriente al circular por las curvaturas meándricas adoptará condiciones especiales de flujo que se manifiestan principalmente por la variabilidad de cambios en la velocidad de la corriente, según se ha demostrado en los diversos estudios experimentales de hidráulica fluvial. Meyerink (1970, pág. 37), los sintetiza diciendo que, "la energía cinética de la masa de agua al entrar en la curva

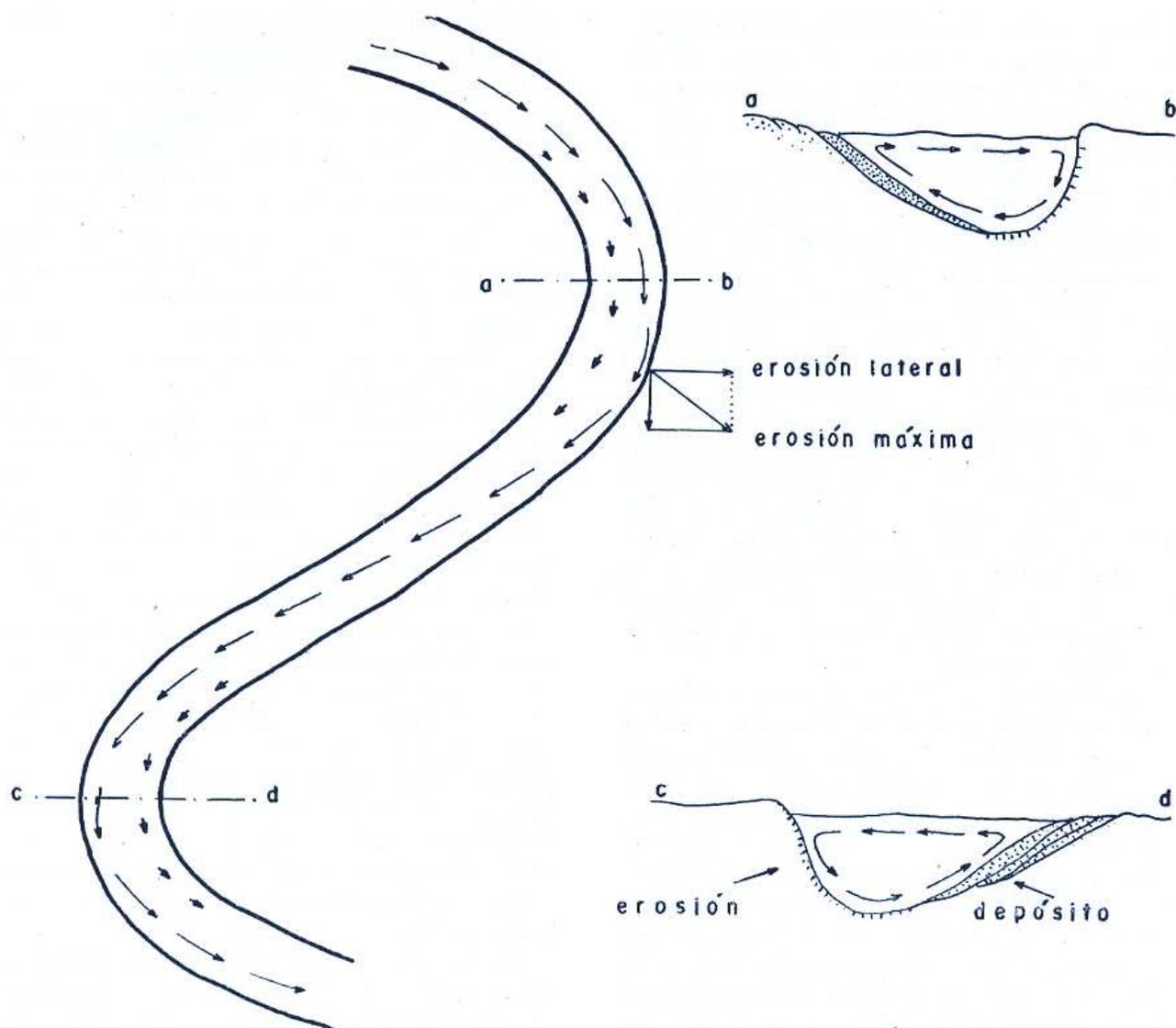


FIG. 7. Esquema que muestra la disposición del flujo en los meandros; las flechas largas indican la trayectoria de la corriente con mayor velocidad, y en perfil el efecto del flujo en las riberas. Figura basada en la de Soeters (1974, p. 54).

de un río, eleva ligeramente la superficie de agua en la curva exterior del meandro, iniciándose una clase de corriente rotacional, conocida como flujo helicoidal” (a manera de sacacorchos o desplazamiento en espiral) “responsable de la erosión en la ribera de la curva exterior y una acumulación en la porción interior de la curva”, o sea que, el flujo de la corriente con mayor velocidad se desvía de la trayectoria axial del lecho y se concentra en la curva externa debido a la propia fuerza centrífuga del flujo (Fig. 7). Esta es la razón de la acelerada erosión de las riberas que forman la curva exterior.

También, aunque con menor energía y frecuencia, la erosión se hará sentir en los niveles

bajos del caudal, pues la socavación tiene lugar al pie o en la parte baja de talud que constituye la ribera, provocando desprendimiento de las orillas al perder su base de sustentación.

El desplazamiento del flujo hacia la curva externa trae consigo una reducción de la velocidad hacia la parte de la curva interna y, por tanto, una acumulación de la carga sobre la porción convexa, al disminuir la capacidad de transporte (Fig. 7). La corriente rotacional, al fluir en espiral río abajo, girando alrededor del flujo de mayor velocidad, erosiona las riberas externas o cóncavas y transporta los materiales arrancados, desplazándolos sobre el fondo del lecho, por efecto de la misma circula-

ción giratoria, hacia las márgenes opuestas o internas del meandro aguas abajo (fig. 7). De esta manera, la erosión y sedimentación se asocian en un proceso continuo bastante complejo, que constituye el reflejo de cierto estado de equilibrio entre estas dos acciones, procesos muy importantes ya que la trayectoria del curso meándrico es guiado a través de esta relación.

La acción de estos procesos parece cumplirse sin objeción alguna en los meandros del río Santiago, pues se observa con toda claridad los efectos de la dinámica fluvial, tanto en las márgenes sujetas a acelerada erosión, como aquellas expuestas a activa acumulación; incluso se les reconoce fácilmente por medio de la fotografía aérea, ya que las riberas de erosión se identifican porque sus márgenes están bien definidas, sus bordos forman taludes rectos y altos; en cambio las riberas de acumulación no están bien delimitadas, son bajas y yacen formando playas y bancos aluviales a lo largo de las orillas convexas.

La continuidad de los procesos erosivos y de acumulación, a través del tiempo se traducen en mayor desplazamiento lateral de los meandros que se lleva a cabo mediante un retroceso de las orillas cóncavas y un avance de las márgenes convexas, cuyo resultado es una exageración pronunciada de las curvaturas meándricas que tarde o temprano se han de estrangular. Simultáneamente con el desplazamiento lateral se verifica la migración del meandro río abajo, toda vez que el efecto erosivo resultante de la concentración del flujo hacia la curva externa no se efectúa exactamente en fase con el centro de la curvatura; por tanto, la excavación tiene lugar un poco más adelante, corriente abajo, sobre la ribera externa del meandro (fig. 7). Con base en estos conceptos se estará en posición de deducir, más adelante, los efectos derivados de los procesos fluviales en la migración de los meandros del río Santiago.

Morfología de los lechos de inundación

Si bien son notorios los efectos de la dinámica fluvial en el cauce del río Santiago, igualmente notables son los que se efectúan sobre los lechos de inundación, puesto que ponen en evidencia la mayor eficacia de los procesos fluviales durante las fases críticas con niveles altos del caudal, al revelar por medio de su mode-

lado tanto la inestabilidad del cauce como la energía o magnitud de las avenidas.

Los lechos de inundación se disponen en ambas márgenes del río Santiago; su presencia está caracterizada, en primer lugar, por el lecho mayor o llanura baja de inundación, que se sitúa a través de una estrecha franja que se extiende hasta quedar limitada por la ribera alta. Su morfogénesis está íntimamente relacionada con las inundaciones periódicas de las crecidas ordinarias, o con flujos a pleno bordo que llegan a desbordar abriéndose paso por medio de brechas o vertederos naturales que rompen y cortan el albardón de las márgenes por cualquier punto de debilidad de las riberas, causando frecuentes desplazamientos en los depósitos o bancos que forman los diques naturales; sin embargo, los diques no se encuentran bien desarrollados, son bajos y de escasa pendiente sobre el flanco de la llanura de inundación, pero lo suficientemente altos para no permitir la integración del drenaje de la llanura de desbordes y el cauce. También se llegan a formar barras de meandro, pero sólo en muy pocas ocasiones se alcanzan a advertir claramente debido a que se encuentran disecadas por las huellas de corrientes de crecida; este hecho pone en evidencia la presencia de crecidas extraordinarias que erosionan e inundan hasta los mismos lóbulos de los meandros (carta geomorfológica).

La llanura de inundación correspondiente al lecho mayor excepcional, se caracteriza porque en ella tienen lugar, aunque esporádicamente, crecidas excepcionales que inundan la superficie de la llanura deltaica del río; su morfología se distingue por el establecimiento de innumerables meandros abandonados que dejan tras de sí numerosas formas relictas tales como: bancos aluviales, diques o albardones abandonados que forman resaltos a manera de terrazas dispuestas irregularmente de acuerdo con las antiguas trayectorias del río, barras de meandros, brazos cegados de crecida, e incluso antiguos cordones litorales. Esta numerosa variedad de formas relictas se entrecruza entre umbrales y depresiones que se disponen a través de toda la llanura fluvial. La superficie irregular y de poca pendiente de la planicie de inundación causa el estancamiento de las aguas pluviales o el de las inundaciones, permitiendo la existencia de cientos de cuerpos de agua que se instalan en las depresiones o zonas bajas que fun-

cionan a manera de cubetas de decantación durante el abatimiento o descenso de las inundaciones, acción que implica un entarquinamiento natural de las tierras bajas, al frenar y represar parcialmente la lámina de agua en áreas donde el drenaje es muy malo dada la irregularidad topográfica de la llanura de desbordes; favoreciendo de esta manera el desarrollo de condiciones palustres en las que la densa vegetación de tules y mangles reducen aún más la velocidad de la escorrentía laminar, permitiendo la acumulación de sedimentos finos.

La erosión en la planicie de inundación prevalece sobre la sedimentación mientras permanezca el aporte de agua de los desbordes en los que intervienen de manera preponderante los brazos de crecida; incluso entran en actividad temporal los brazos muertos o cegados que, por ser los más retirados del río y estar invadidos por densa vegetación palustre, frenarán hasta cierto punto el poder erosivo de la corriente.

De mayor significado por la eficacia erosiva son los brazos de crecidas, al canalizar o concentrar el flujo cuando la corriente tiende a seguir por el trayecto más corto y recto sobre el lóbulo del meandro, erosionando los depósitos de la curvatura interna (mapa geomorfológico), acelerando simultáneamente la migración progresiva de los meandros ríos abajo. Estos fenómenos revisten gran importancia porque son los causantes directos de las estrangulaciones por desbordes, efecto que se traduce en breves rupturas del equilibrio dinámico de los meandros, pues al acortar la longitud del río y aumentar la pendiente del cauce, se incrementa la potencia de la corriente y disipa la energía del flujo sobre los meandros más próximos río abajo.

La erosión y sedimentación concurren a modelar los lechos de inundación en una relación muy compleja, operando en forma semejante al del patrón meándrico en el que los procesos tienen su desarrollo dentro de un sistema de equilibrio que es sumamente difícil de analizar para poder llegar a definir o establecer tal balance. Al respecto, Soeters (1974, pp. 60-61) indica que, dentro de este estado de equilibrio puede dominar un ambiente de erosión o de depósito. El dominio de estos dos procesos se refleja en la llanura de inundación, por medio del desarrollo alcanzado por las formas de erosión o acumulación. "Cuando la erosión domina sobre la sedimentación se encontrarán bien

representados los complejos de orillares" (barras de meandro) "que corresponden a una sedimentación en el lecho del río relacionada con la erosión lateral. En el mismo caso se observará, debido a la erosión lateral pronunciada, una exageración de los meandros que dará por resultado la estrangulación de los mismos y la formación de cauces abandonados. Por tanto, la ocurrencia de muchos cauces abandonados indica, también, predominio de la erosión. Los diques naturales que se originan por una sedimentación activa durante los desbordes se desarrollarán menos"; por otra parte, "La continuidad de este régimen de erosión dispondrá que el río se encuentre en un nivel topográfico más bajo en relación con su llanura aluvial"; por consiguiente, los desbordes, generalmente, se limitarán a inundar la llanura baja o lecho mayor. Tales características corresponden en su totalidad a las de la llanura fluvial del Santiago.

En cambio, "de la misma manera, se entenderá que en un régimen de sedimentación se desarrollarán sobre todo los diques naturales y sus vertederos de displayamiento. Este proceso puede llegar a elevar de manera considerable el lecho del río por encima de su llanura de desbordes, propiciando extensas inundaciones", características que no se ajustan a la expresión morfológica de la llanura fluvial en cuestión, aunque sabemos que tanto las formas de erosión como las de acumulación se encuentran frecuentemente representadas en la llanura aluvial del Santiago; la presencia de estos dos procesos quizá nos esté indicando condiciones diferentes en el régimen del río. "El predominio de la erosión o sedimentación dependen de la relación compleja entre el caudal, carga del material, pendiente del río, magnitud y frecuencia de las crecientes. Cambios en estos parámetros resultarán en cambios del régimen del río, de este modo se observarán fenómenos que se relacionan con ambos sistemas", Soeters (1974, p. 61).

Modificaciones del curso meándrico

Con el propósito de conocer los cambios del curso fluvial en los últimos 37 años, se analizaron de manera comparativa las imágenes de las diferentes fechas de vuelo, a fin de observar y medir algunas de las modificaciones más importantes del río.

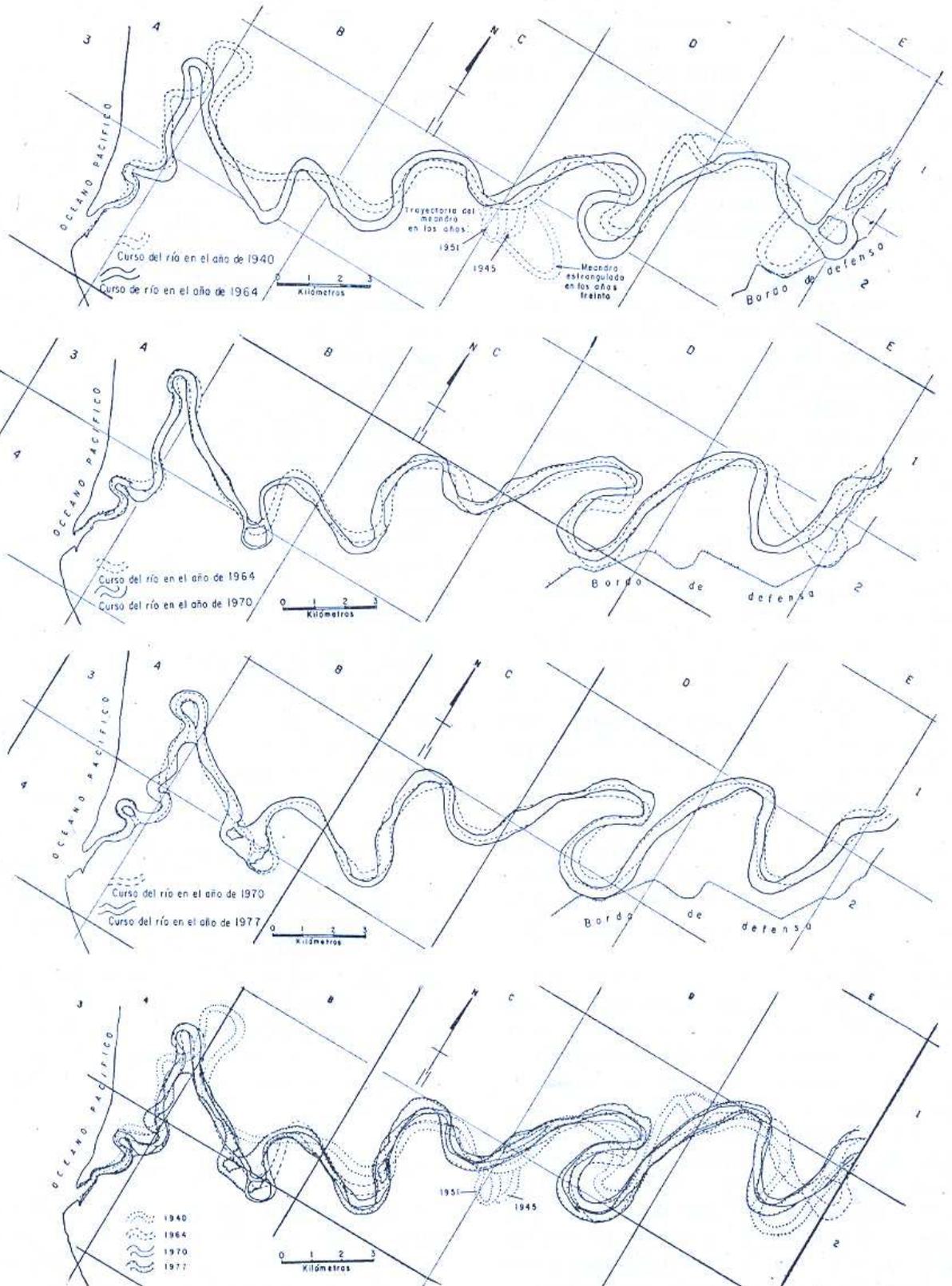


FIG. 8. Modificaciones del curso meándrico observadas en diferentes años.

En el mapa (fig. 8), se observa la configuración de los sucesivos emplazamientos del río en la llanura fluvial, en el que las modificaciones del curso meándrico se aprecian fácilmente.

Los cambios detectados dentro de la relación espacio-tiempo permiten observar y estimar la magnitud de los desplazamientos laterales y río abajo; sin embargo, hay que tener presente que no todos los meandros se trasladaron libremente, ya que algunos se han visto afectados en su desarrollo por la acción defensiva de los bordos que han retardado su crecimiento, además de haber modificado la trayectoria de las curvaturas; por esta razón, no es posible promediar el desplazamiento general de todas las curvaturas. En cuanto a los meandros libres que han persistido activos durante el lapso comprendido en este análisis, se han desplazado lateralmente entre 1 000 y 1 500 metros; a su vez, los movimientos río abajo han variado entre los 500 y los 1 000 metros. También se ha tenido oportunidad de seguir la secuencia completa de algunas curvaturas; es decir, desde el inicio de la formación de los meandros hasta su estrangulación, según se puede seguir en las trayectorias del curso mostradas en las secuencias de la figura 8.

Antes de valorar las diferentes fases de inestabilidad del cauce es conveniente retroceder en el tiempo unos cuantos años, a fin de que se puedan inferir algunos cambios efectuados con anterioridad a los del año de 1940; recurriendo, para ello, a los datos obtenidos de las encuestas de campo y a fuentes informativas de la prensa, toda vez que no hay registros sistemáticos para estas fechas, sino sólo vagos antecedentes que hablan del comportamiento fluvial del Santiago.

La noticia más lejana data del 1o. de enero de 1926, fecha en que ocurre una fuerte avenida que se recuerda por los vastos daños que tuvieron lugar; todo parece indicar que la población ribereña estaba desprevenida dada la fecha en que se presentó la creciente, fuera de la temporada de lluvias o crecientes y a que entonces no existía el servicio de previsión de avenidas; para nosotros es importante consignar este evento debido a que los efectos de la creciente se hicieron sentir en los esteros Del Rey y Pericos, ubicados muy cerca del puerto de San Blas (fig. 11), alterando local y parcialmente el drenaje de estos esteros, por el paso

de una corriente distributaria que tuvo que estar en actividad temporal durante corto tiempo, toda vez que ahora ya resulta imposible detectar los rastros del tal distributario en las fotografías aéreas, dada la densidad del manglar; en cualquier forma, el hecho es que un brazo distributario del Santiago se abrió paso, desviándose de la traza general del curso inferior, en una distancia de cerca de 10 kilómetros.

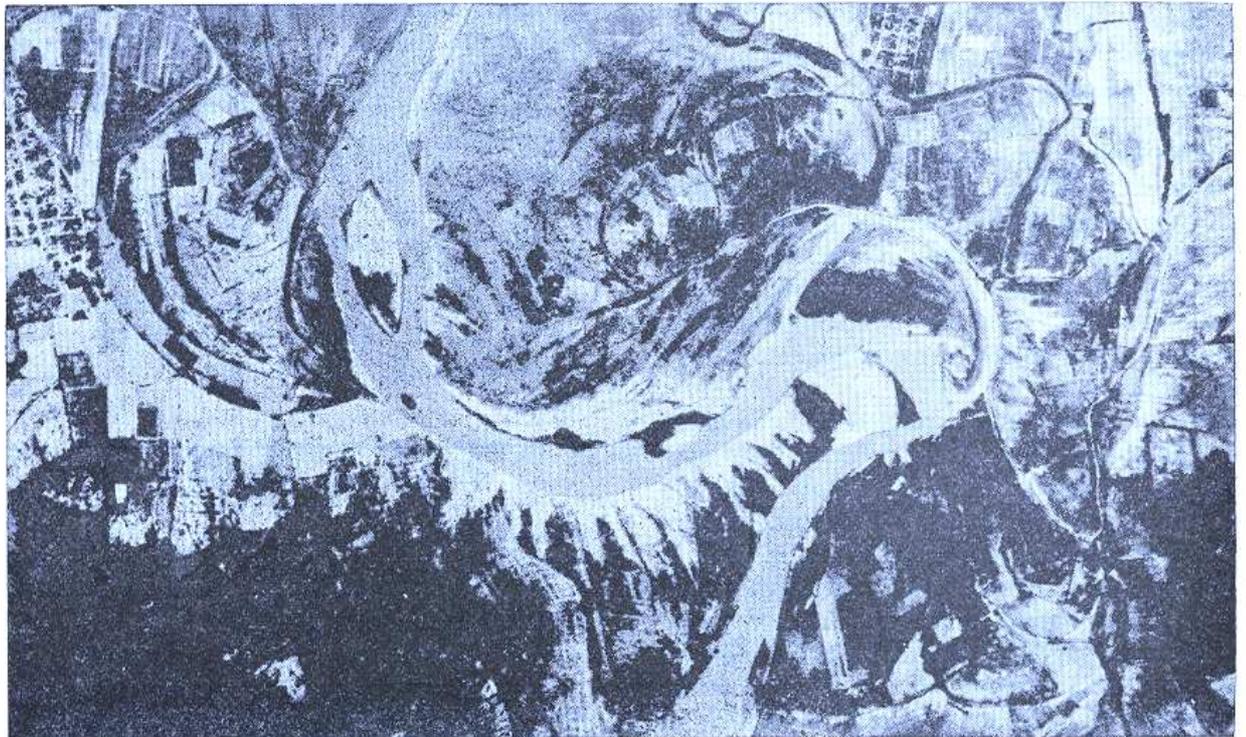
Otro elemento de análisis es la fotointerpretación de cauces y meandros abandonados; de éstos sólo fue posible seguir la trayectoria de unos cuantos cauces remanentes a través de cortas distancias, sin poder llegar a integrar con veracidad las trayectorias meándricas abandonadas, que estuvieron en actividad con anterioridad a las del año de 1940; no obstante, en ese periodo precedente hay numerosos rastros de meandros abandonados que atestiguan lapsos en los que el cauce estuvo sujeto a fuerte inestabilidad; sin embargo, también hay evidencias que permiten deducir largos periodos de relativa estabilidad, aun con caudales elevados, según se puede advertir por la morfología de algunas curvaturas abandonadas, a través de la formación sucesiva de barras de meandro, secuencia acumulativa que es posible seguir por decenas de metros, en las márgenes convexas; además, sobre los lóbulos de algunos meandros no hay huellas de brazos de crecidas, ni se presentan otros rasgos erosivos y sí, en cambio, se conservan las barras de meandro.

El análisis de las principales modificaciones del río, en los últimos 37 años se hace con base en la evaluación morfométrica del sinuoso curso fluvial, empleando para ello el material fotográfico de las diferentes inspecciones aéreas, cuyos resultados se sintetizan en la siguiente tabla:

AÑOS	1940	1964	1970	1977
Longitud del curso en Kms	45.6	46	52.5	48.4
Pendiente media en m/Km	0.21	0.20	0.19	0.20
Relación de sinuosidad	1.50	1.65	1.94	17.7
Meandros activos	14	13	13	12
Mendros estrangulados		5	1	3



1964



1970

FIG. 9. Evidencia de la dinámica geomorfológica de los meandros, fotografías tomadas con 6 años de diferencia. El meandro llegó a desplazarse lateralmente, una distancia de más de 650 metros.

Tales datos se interpretan de la siguiente manera: al comparar el trazado del curso meándrico en el año de 1940 (fig. 8), y los registros del mismo año consignados en la tabla anterior, podemos notar que la relación de sinuosidad llega a la mínima expresión, toda vez que el coeficiente de sinuosidad es de 1.5, o sea el valor límite inferior para seguir considerando a un río dentro del patrón meándrico, Leopold y otros (1964, p. 296) Este fenómeno se advierte en forma muy clara en la mayoría de los meandros que se disponen formando curvaturas muy amplias y poco pronunciadas: tal diseño nos conduce a deducir que el río rectificó su curso en varias ocasiones durante el decenio de los años treinta, elevando su pendiente y acortando la trayectoria de su recorrido mediante la estrangulación de un grupo de meandros ubicados en su mayoría en el sector B3 y C3 de la retícula de la figura 8, correspondiente al año de 1940, o sea a la parte media del curso, pues en los extremos del sinuoso curso se disponen meandros cuya amplitud de onda supera en ocasiones la longitud del meandro. Por otra parte, tal disposición lleva a conocer con cierta exactitud los cambios comprendidos entre los años de 1940 y 1964, pues este periodo es más que suficiente para que gran parte de los meandros de mayor amplitud se estrangulen propiciando un crecimiento acelerado de las curvaturas inmediatas de río abajo, algunas de las cuales tuvieron una vida efímera, puesto que ya en el segundo examen de las imágenes aéreas del año de 1964, estos meandros se encuentran estrangulados (sector D2, D3 y A3, fig. 8). A pesar de que en este lapso se estrangulan cinco meandros, el río se conserva en estado de equilibrio, pues para el año de 1964 se han formado cuatro meandros más y el valor de la sinuosidad se incrementa en los persistentes meandros activos, contrarrestando o regulando los efectos de las estrangulaciones, mediante amplios desplazamientos laterales.

Para el periodo de los años de 1964-1970, la magnitud de los cambios considerados se incrementa de manera notable, toda vez que en el corto lapso de la temporada de lluvias de este periodo persistieron frecuentes avenidas entre las que destacan las crecidas extraordinarias acaecidas en agosto y septiembre de

1967, provocando con ello importantes modificaciones en la morfología de los meandros, como puede apreciarse en el ejemplo de la figura 9.

En efecto, los cambios que acontecen en sólo 6 años son considerables, pues para el año de 1970 se registra la más alta sinuosidad del cauce, que se expresa por mayor amplitud lateral de todas las curvaturas (fig. 8), con una consecuente disminución de la pendiente y un incremento notable de la longitud del curso, en más de 6.5 Kms, o sea 1 083 m por año.

La tendencia a incrementar el valor de la sinuosidad probablemente prosigue hasta octubre de 1973, cuando ocurre la mayor crecida extraordinaria, registrada desde que empezó a operar la medición de aforos, en el año de 1940, con un gasto máximo instantáneo de 6 850 m³/s; tal avenida origina la estrangulación de 3 meandros que se agrupan en el tramo del curso abajo (A3, A4 y B4, fig. 8), acortando sensiblemente la longitud del curso y la sinuosidad del cauce (carta geomorfológica). Los efectos de este fenómeno todavía pueden observarse en los valores morfométricos del año de 1977.

El desarrollo geomorfológico de los meandros del río Santiago permite definir ciertas propiedades de su trazado. Por principio, se ha observado que el proceso de estrangulación se verifica generalmente por la presencia de las avenidas, cuando los desbordes pasan y cortan el cuello de los meandros, y no por el desplazamiento continuo de las riberas. Con respecto a su comportamiento dinámico, se ha visto que en cualquier sector del curso meándrico pueden reunirse curvaturas muy activas en su expansión, propiciadas porque inmediatamente río arriba de estos meandros predominaron los fenómenos de estrangulación, mismos que tienen lugar sobre los meandros donde generalmente domina la amplitud de onda; una vez estrangulados se acorta la longitud del curso y pierde sinuosidad, por lo que se eleva la pendiente de su lecho con el consiguiente aumento en la velocidad de la corriente y continúa erosionando y exagerando de manera más rápida y renovada las curvaturas que se ubican río abajo; a su vez, estos meandros posteriormente tenderán a estrangularse al ir perdiendo pendiente por la migración lateral de las riberas.

Efectos de la dinámica fluvial en la agricultura y núcleos de población

Universalmente conocidas son las graves pérdidas derivadas de las crecientes e inundaciones, de aquí que no se ponga mayor énfasis en este ensayo; sólo, y a manera de información, se mencionan algunos datos con el fin de dar idea de los daños causados por las avenidas.

Aproximadamente en el 80% de la superficie total adoptada para fines agrícolas se cultiva tabaco, pero éste se encuentra a salvo de las inundaciones porque su cosecha se recoge antes de la temporada de lluvias o crecientes; sin embargo, las plantaciones de plátano, mango, aguacate y cítricos, así como algunos cultivos de maíz, sorgo, frijol, jitomate, ajonjolí y chile se pierden en proporciones de gran cuantía, mermando sensiblemente la producción agrícola; por ejemplo, en la crecida de octubre de 1971 se calcularon daños, sólo por concepto de las plantaciones plataneras, de 28 millones de pesos, y se reportaron 24 000 damnificados. Anteriormente, en septiembre de 1967, hay una crecida con carácter de extraordinaria, que inunda 50 000 hectáreas, se reportan 20 poblaciones dañadas y más de 45 000 damnificados, cifras que tienen proporciones de catástrofe. Datos tomados de los archivos de impresores de periódicos locales, "El Sol de Tepic" y "El Tiempo de Nayarit", de diversas fechas.

Otro problema realmente grave son los efectos de la dinámica fluvial en los núcleos de población, dada la inadecuada ubicación de los asentamientos humanos. En ambas márgenes del río se distribuyen dos ciudades y 24 poblaciones ribereñas que suman más de 55 000 habitantes; y dichas localidades, además de estar expuestas a la amenaza constante de las inundaciones, están en constante peligro como consecuencia de la inestabilidad del cauce; son muy numerosos los casos en que los habitantes se han visto forzados a huir, porque sus propiedades han quedado al paso de la corriente, debido a una rápida migración de los meandros o como resultado de los brazos de crecidas al canalizar los caudales extraordinarios; aun con esto sus habitantes vuelven a establecerse en las márgenes del río, invirtiendo fuertes erogaciones en la construcción y mantenimiento de bordos de defensa construidos no con el fin de controlar o contener el agua en su propio cauce, sino sólo como un remedio para atenuar o dis-

minuir los daños a la población. En efecto, generalmente los diques o bordos de protección se construyen circundando parcialmente a ciudades y localidades menores (carta geomorfológica); por supuesto, su efectividad es transitoria puesto que los bordos resisten temporalmente la erosión del socavamiento; otras veces, con frecuencia, las aguas se trasminan y se opta por reforzar el terraplén del bordo; en los casos extremos, cuando la presión del agua causa cuarteaduras o cuando las filtraciones son importantes, se opta por dinamitar el bordo en la parte que representa el menor peligro posible, para evitar mayores desgracias. El caso más afortunado es cuando se han construido los diques cercanos a la curvatura exterior y el meandro se estrangula abandonando su cauce, alejándose de los bordos y siguiendo una renovada trayectoria; otra práctica común es proteger las orillas a base de espigones, con el objeto de reforzar los bordos a fin de amortiguar el impacto de los socavamientos y provocar la sedimentación atrás de estos obstáculos (fig. 10).

Sin embargo, los espigones son de eficacia relativa, ya que dichas estructuras, al obstruir el flujo de la corriente, ocasionan la reducción de la velocidad del agua en áreas adyacentes a las riberas, propiciando la acumulación de sedimentos a la vez que el amontonamiento y concentración de troncos, ramas y desperdicios, entre otros; dichos escombros, al ceder en las crecidas, se han de precipitar con gran violencia, pudiendo ser muy peligrosos para las zonas habitadas; por otra parte, los bordos y espigones de defensa permiten que se incremente la velocidad de la corriente en el centro del cauce y se eleve el tirante de agua en las avenidas, por lo que la creciente tendrá que desbordar, río abajo, en las orillas desprovistas de bordos, al disminuir la capacidad de contención del lecho.

Al evocar algunos de estos ejemplos podemos valorar la magnitud de los problemas a los que se tiene que enfrentar la población y que, en términos generales, se refleja en doble pérdida económica; por un lado las onerosas erogaciones que hay que invertir en la construcción y mantenimiento de bordos y, por otra parte, directamente los daños producidos por las avenidas; en este sentido, el caso más notable lo constituye el puente de la ciudad de Santiago Ixcuintla, administrado por una sociedad cooperativa que cobra peaje para el constante mantenimiento, ya que cada año se reconstruye el



FIG. 10. Vista de un espigón construido para proteger de la erosión las márgenes del río.

puede ser destruido por las avenidas o se vuelve a construir totalmente en las crecidas máximas.

Sin embargo, el problema que realmente parece inquietar a la población ribereña es el de la tenencia de la tierra, derivada de la trayectoria divagante del curso. Las tierras de labor adyacentes a las riberas son las más valiosas en cuanto a su ubicación, pues ésta permite que sean fácilmente regadas por bombeo. Una vez que el curso del río se desvía y desplaza sobre las parcelas, queda ocupando su lugar el cauce o parte de él, originando problemas en la tenencia de la tierra, ya que las tierras comprendidas dentro de la curvatura interna van ganando nuevos terrenos al ir emigrando el meandro; en cambio en las riberas de erosión las van perdiendo; surgen reclamaciones y disputas por las tierras ganadas en la porción interior del meandro, incluso hay casos en los cuales los campesinos pierden totalmente sus tierras mientras perdura el río en determinada trayectoria. El problema se complica, máxime que la fisonomía del modelado del patrón meándrico

es variante y no hay puntos fijos naturales o artificiales perdurables, de referencia, en ambos márgenes del río, pues la mayoría tienen una posición efímera; por esto, muchas veces los campesinos se ven imposibilitados para delimitar sus parcelas de manera segura una vez que pasa la creciente o el período de avenidas.

Por consiguiente, es necesario que el Estado aplique con mayor eficacia los reglamentos que se derivan de la Ley General de Asentamientos Humanos, regularizando las localidades existentes y las que están por crearse a lo largo de los ríos, no sin antes hacer los correspondientes estudios que lleven a una mejor organización del espacio.

Conclusiones y sugerencias

Una vez conocidos los principales mecanismos que animan el comportamiento del río Santiago en su tramo final, el planteamiento del problema se restringe a proponer soluciones que lleven a mejorar las condiciones del drenaje,

con el propósito de evitar mayores daños, y a fin de elevar la utilidad de los terrenos en la llanura de inundación, mediante el control de avenidas, con obras destinadas a estabilizar el cauce.

Si observamos que las obras de control de avenidas son diseñadas en su mayor parte con el fin de contener las aguas de la creciente en un sector dado del curso fluvial, ya sea por medio de bordos o para represar los volúmenes extraordinarios con el objeto de reducir sensiblemente el escurrimiento río abajo, o bien por obras que faciliten el mejor drenaje, tales como: dragados, cortes o rectificación de cauces, drenes o canales de alivio, etc., se comprenderá la envergadura de los trabajos que se deben emprender y los enormes gastos que ello representaría; por eso, las posibilidades de que se apliquen obras de control de avenidas se limitan generalmente a países ricos, ávidos de seguridad absoluta. De aquí que cualquier sugerencia deberá estar apegada a la realidad del contexto social y económico del país o de la región; por ejemplo, sería muy deseable atacar desde sus orígenes el problema de las crecientes, o sea, eliminando las causas que propician rápida concentración del agua; claro que esto implica un estudio previo con vías a la ordenación integral de la cuenca hidrográfica, lo que, a su vez, necesariamente involucra: programas de reforestación y una política que conduzca al aprovechamiento racional de los bosques, rehabilitación de tierras erosionadas, corrección de torrentes, nivelación de terrenos, o prácticas de conservación de suelos, así como la regeneración de pastizales, entre otros. Se trata, pues, de una realización global de múltiples tareas tendientes a restablecer el equilibrio natural, logrando simultáneamente aumentar los valores de la infiltración reduciendo el volumen de los escurrimientos superficiales, además de retardar la circulación del agua en la cuenca, evitando, de este modo, los pronunciados ascensos de la onda o cresta de crecida y restringiendo la frecuencia de las oscilaciones del caudal; en esta forma la población de río abajo estaría en mejor posición para hacer frente a las avenidas ordinarias. Claro está que estas medidas no son sólo de particular interés para la cuenca que nos ocupa, sino deseables en todas, a nivel nacional; por supuesto, esta tarea, aun para la cuenca en cuestión, es por ahora altamente improbable de realizar dado el

nivel económico y la falta de orientación o instrucción de nuestra población y, en particular, la del campesino. De aquí que cualquier obra para el control de avenidas se realice casi siempre en función de la prioridad o urgencia del problema, como mero paliativo, al no corregir los errores que desencadenan este tipo de fenómenos y, consecuentemente, sin conseguir llevar a la práctica tareas conservacionistas y de prevención.

La complejidad del problema lleva a optar, de acuerdo con las circunstancias, por las alternativas más viables, sin que por esto se quiera entender renunciar a los objetivos más deseables.

El programa de obras destinadas al control de avenidas deberá estar justificado económicamente en razón directa de los beneficios que con ello obtendrá la población; o sea, mediante el incentivo económico las personas actúan una vez convencidas de las ventajas o beneficios que obtendrán en sus tierras y cuando disponen de los medios para ello. Este sería el punto de partida vital para cualquier programa de obras encaminadas a resolver los problemas.

Por su importancia, las obras deben ser planeadas y destinadas de acuerdo con un orden de prioridades, es decir, las primeras serían aquellas que conduzcan a resolver los problemas más inmediatos o de emergencia que, de hecho, son los que se presentan año con año en la temporada de crecientes. Dichas obras, como ya se ha referido, son de protección más que de control.

En segundo lugar, por orden de prioridad, estarían las obras a corto plazo, las destinadas a controlar las avenidas estabilizando el cauce en el curso bajo, que son las tendientes a redituar beneficios inmediatos al evitar los daños y elevar la rentabilidad de los terrenos.

Por último, las obras futuras o de largo plazo, las tareas conservacionistas o de prevención encaminadas a la ordenación integral de la cuenca, las cuales, por su misma naturaleza, son las que reditúan beneficios a largo plazo y ameritan un estudio integral de la cuenca, por lo que escapan al cometido de este trabajo; por tal motivo, sólo nos limitaremos a sugerir las obras de mayor prioridad.

Obras de emergencia

El sector del río que requiere de atención inmediata en la próxima temporada de crecien-

tes, por el peligro potencial que presenta el desplazamiento del meandro que se ubica frente a la población de Aután (carta geomorfológica), en donde el estrecho cuello del meandro, de sólo 290 metros de ancho, se estrechará aun más durante las próximas avenidas; a esto hay que agregar que, por ahora, la amplitud del meandro excede a su longitud en 160 metros. En consecuencia, es casi seguro que el meandro se estrangule en un lapso no muy largo; incluso pudiera suceder en la próxima temporada de lluvias, y de llevarse a cabo, la corriente recortaría la trayectoria del río en casi cinco Km.

Una vez abandonado el meandro con esta captura, la corriente adquiriría una potencia inusitada cuyas repercusiones se harían sentir en los próximos meandros de río abajo, afectando sobre todo a las siguientes poblaciones ribereñas; Puerta de Mangos, Cañada del Tabaco y Los Otates; en esta última población las condiciones son críticas, sólo faltan unos 75 metros para que el río se canalice sobre las propiedades existentes. En el lugar se han hecho mediciones en el transcurso del año 1976; la corriente socavó las orillas cóncavas del meandro en más de 100 metros. Con anterioridad (período 1971-1976), el meandro de Los Otates se ha desplazado lateralmente afectando las instalaciones tabacaleras, siendo necesario trasladar los hornos de tabaco a lugares más retirados; además, el río terminó por encauzarse y llevarse a su paso las plantaciones de mango de esta población. Los bordos de defensa, si es que todavía pueden llamarse así, dadas las condiciones en que se encuentran, son rápidamente socavados y presentan frecuentes desprendimientos. La ribera de la curva exterior del meandro se encuentra amenazado a menos de 100 metros la carretera Corchos-Santiago Ixcuintla, columna vertebral de las comunicaciones de la región (mapa geomorfológico); por tanto, es urgente la construcción de nuevos bordos a los que hay que reforzar con espigones a fin de disminuir, hasta donde sea posible, la acción acelerada de la socavación. En semejantes circunstancias se encuentran los bordos que defienden dicha carretera, en el trayecto cercano a la población de Amapa, y no mucho menos importantes son las obras tendientes a reforzar los diques de las siguientes poblaciones: Puerta de Mangos, Cañada del Tabaco, Aután, Playa Ramírez, Isla del Conde y Lares y Góngora número 2.

Obras a corto plazo

Existen diversos proyectos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, para el control efectivo de las inundaciones, que no han sido susceptibles de aplicación debido precisamente al alto costo de las obras; una de ellas es la construcción de la gigantesca presa hidroeléctrica de Aguamilpa, que se equipararía en magnitud con las más importantes presas del país, que, además de la generación eléctrica tiene el propósito de controlar las avenidas; sin embargo, a cambio de ello se correrían otros riesgos que a nuestro juicio no deben dejarse de mencionar. La depositación de sedimentos en el delta se reduciría a su mínima expresión como consecuencia de su retención en la presa, toda vez que la obra se construiría muy cerca de la desembocadura del río Santiago, a menos de 140 kms río arriba; máxime que en los primeros 73 kms correspondientes al trayecto del río en la llanura costera no recibe ningún tributario. En los restantes 67 kms de recorrido del río en la sierra, hasta la boquilla de Aguamilpa, tampoco recibe afluentes que provengan de cuencas importantes, por ser éstas de corta extensión y no contar con un relieve acentuado, de lo que se infiere un bajo aporte de sedimentos; por eso, una parte importante de la reducida carga que aportaría el río tendría su fuente de sedimentos a partir de las propias vertientes y paredes del cañón que tiene el río en su trayecto por la sierra. En esta forma, la reducida cantidad de sedimentos que aportaría el Santiago alteraría por completo el sistema de sedimentación en el delta.

Relacionando este problema con los trabajos de Curray y otros (1963, 1964 y 1969), se ha establecido que el comportamiento regresivo de las costas bajas arenosas del Estado de Nayarit se deben primordialmente a la alta carga de sedimentos del río Santiago que, al depositarse en el mar, propicia una rápida sedimentación en el litoral, superior a la lenta transgresión marina actual. La regresión no es uniforme a todo lo largo de la costa, sino tiene lugar a partir de los centros de depósito o desembocaduras; pero, como las bocas varían de lugar debido a los cambios del curso fluvial, se redujo drásticamente el flujo de sedimentos en las bocas abandonadas y áreas adyacentes, iniciándose de inmediato una erosión en esta porción de la costa; en cambio, en las desem-

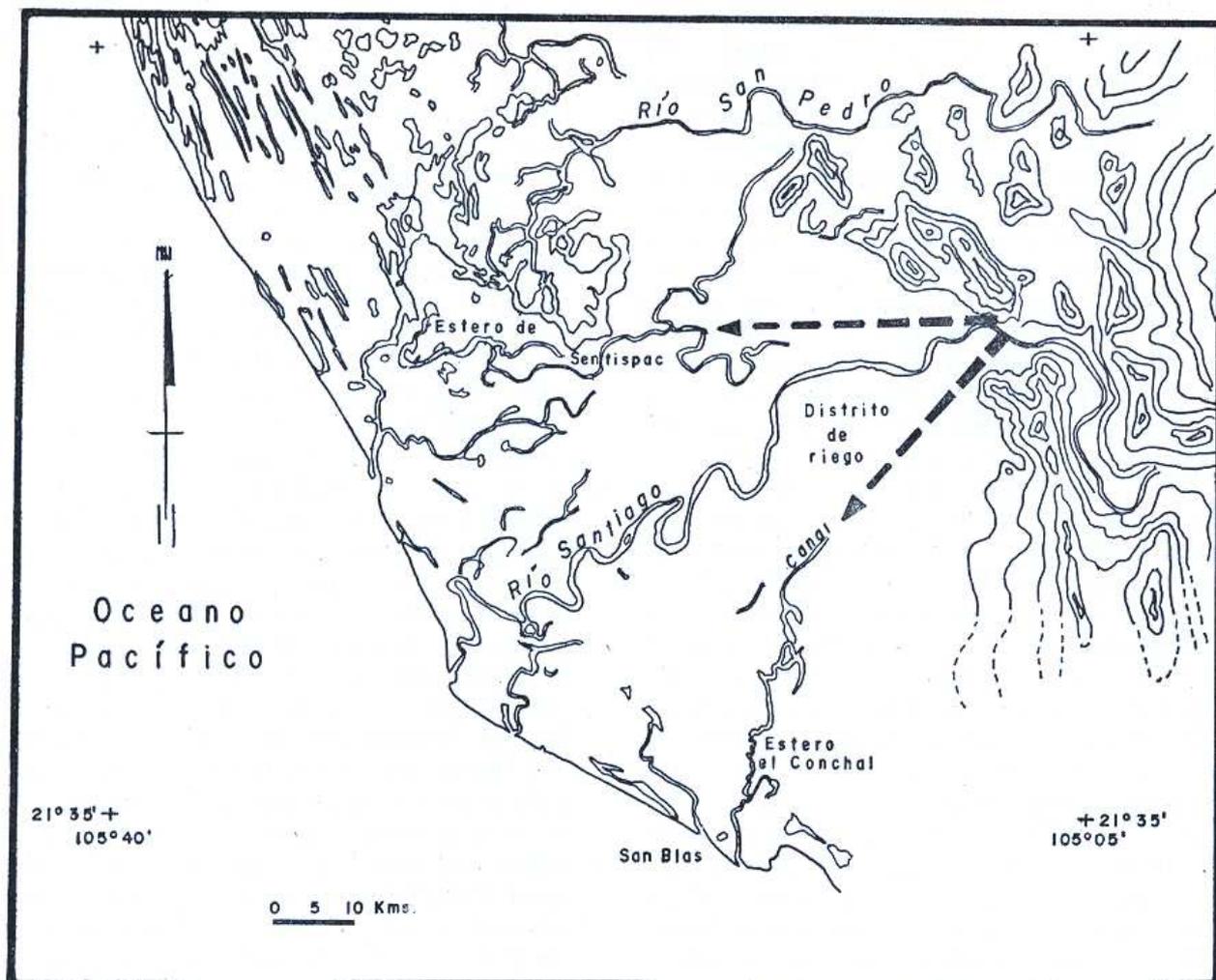


Fig. 11. Mapa del delta, en el que se muestra la posible ubicación de los canales derivadores.

bocaduras donde hubo alta contribución de sedimentos se favoreció activa regresión.

En el estudio del delta del río Balsas, Gutiérrez (1971) comprueba el proceso erosivo de la costa, que se manifiesta por un acelerado retroceso del frente deltaico, debido a la construcción de dos grandes presas muy cercanas al mar, la del Infiernillo y La Villita que han impedido cuando menos el aporte de sedimentos gruesos. Semejante situación podría esperarse en la llanura deltaica del río Santiago, con la construcción de tal presa.

Los problemas derivados de este tipo de solución no se limitan al proceso erosivo de la costa deltaica, puesto que se altera todo el sistema fluvio-marino; por ejemplo: la condición de equilibrio existente entre la erosión y la sedimentación se trastornaría totalmente en

la llanura fluvial y sobre todo en el curso bajo del río, siendo reemplazada por un dominio o ambiente de erosión, al cambiar el régimen del río, puesto que la presa, al operar como una trampa de azolves muy eficiente, suspende la disponibilidad de sedimentos aguas abajo; por tanto, la energía de la corriente se limitará a excavar su propio lecho alterando, de este modo, la condición de equilibrio anterior. El perfil longitudinal del río se modificará al producirse la incisión del lecho por erosión, permitiendo en su curso más bajo mayor penetración río arriba de la cuña salada de marea; además, al disminuir el volumen de las descargas, existe el peligro de favorecer las intrusiones salinas al descender los niveles freáticos, afectando porciones de la llanura próximas al litoral. Las consecuencias de tales modificacio-

nes repercutirán en el medio ambiente, alterando los suelos, la vegetación y cultivos. Los bajos volúmenes de las descargas, aunados a los cambios de la calidad del agua, tendrían que afectar la productividad biótica en pantanos, manglares, lagunas litorales y áreas marinas adyacentes de gran producción pesquera.

Otra de las medidas proyectadas por las autoridades es la de construir paralelamente, en ambos márgenes del río, drenes a fin de derivar las aguas excedentes, facilitando el desalojo de las aguas de avenida. Apoyándonos en la idea de esta medida y para evitar soluciones onerosas, se propone, al igual que los deltas con brazos distributarios, emular el diseño de su drenaje por medio de las derivaciones de corrientes distributarias, aprovechando para ello la existencia de cursos de cauces antiguos que se comunicarían al río por medio de la construcción de cortos canales derivadores para las demasías; ya que existe el desnivel o condiciones topográficas favorables que posibilitan el funcionamiento hidráulico correcto de los drenes; para ello, los canales deberán construirse en la parte alta de la llanura aluvial; asimismo, se aprovecha la mayor estabilidad del curso fluvial en el patrón recto. Ahora bien, la nueva red distributaria podría integrarse al distrito de riego del río Santiago con algunas obras complementarias, por ejemplo, por medio de tomas directas y la construcción de vertederos o compuertas hechos en las riberas especialmente consolidadas y acondicionadas, con el propósito de regular el gasto, obteniendo un control absoluto de los volúmenes que se vayan a utilizar, si se juzga necesario. Para tales efectos se utilizarían dos de los brazos remanentes del San-

tiago (fig. 11): para la porción noroccidental de la llanura, el antiguo cauce de los ríos San Pedro-Santiago hoy llamado estero de Amapa y Sentispac, que desagua en las extensas marismas y esteros de Camichín; hacia el sur, por el brazo cegado del Santiago, hoy llamado río del Aguacate, que desemboca en las marismas de Soquipa que, a su vez, comunican a las marismas de San Blas por el estero El Conchal (fig. 11). Por supuesto, para el óptimo funcionamiento de los nuevos distributarios es necesario hacer cortes o pequeñas rectificaciones, a fin de elevar el gradiente de los anegados cauces, con objeto de incrementar la velocidad de la corriente; en esta forma y de manera simultánea, la erosión lineal se encargaría de excavar el fondo para ahondar los lechos inactivos, evitando azolves y aumentando la capacidad volumétrica para que los cauces estén en condiciones de desalojar de manera rápida los excedentes.

Los beneficios de estas obras no se reducen sólo a resolver el problema en los niveles altos del caudal; la afluencia de renovados escurrimientos en las áreas litorales rehabilitaría el ecosistema de albuferas y marismas ya que, controlando el adecuado aporte de volúmenes se eliminaría el eterno problema de falta de oxígeno disuelto en las aguas, y su alta salinidad en la temporada de secas, además de permitir y mantener la apertura de bocas en el litoral, con el consiguiente intercambio de aguas marinas y dulces, aun en el periodo de sequía, condiciones que contribuirían a mejorar las pesquerías, en especial a las poblaciones de camarón y ostión, en los más importantes distritos acuícolas del país.

BIBLIOGRAFÍA

- Curray, J., Emmel, F. y Crampton, P. 1969. "Holocene history of a strand plain, lagoonal coast, Nayarit", México. *Memorias del Simposio Internacional de Lagunas Costeras*, UNAM-UNESCO, p. 63-100. México, D. F.
- Curray, J., Moore, D. 1963. "Sedimentos e Historia de la costa de Nayarit, México", *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, tomo XXVI No. 2. p. 107-116.
- Curray, J. "Pleistocene deltaic progradation of Continental terrace, costa de Nayarit, México", en *Memoir 3, a Symposium, Marine Geology of the Gulf California*, pp. 193, 215. Edit. Van Andel y Shor George Jr., American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- Gutiérrez, E. 1971. "Fisiografía y Sedimentación del delta del río Balsas, Michoacán, México". *Boletín* No. 93, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Koopmans, B. 1971. *Interpretación de fotografías aéreas en la morfología costera* (relacionada con proyectos de ingeniería). Centro Interamericano de Fotointerpretación, Bogotá, Colombia.

- Leopold, L., Wolman, M. y Miller, J. 1964. *Fluvial processes in geomorphology*, Ed. W. H. Freedman. San Francisco.
- Mayerink, A. 1970. "Photo-interpretation in hydrology, a geomorphological approach", en *I. T. C. Textbook of photo-interpretation*. Capítulo 3, Vol. VII. *Use of aerial photographs in geomorphology*. Delft, Holanda.
- Moore, D., Curray, J. 1964. "Sedimentary framework of the drowned pleistocene delta del rio Grande de Santiago, Nayarit, México." Sobretiro de *Delta and Shallow Marine Deposits*. Vol. I, pp. 275-281. *Developments in Sedimentology*. Ed. por Van Straaten Elsevier Publishing Company. Amsterdam.
- Ruhe, R. 1975. *Geomorphology*. Houghton Mifflin Company, Boston.
- Russell, R. 1976. *River and delta Morphology*. Louisiana State University Press. Coastal Studies No. 20.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1973. *Boletín Hidrológico* No. 52, Tomos I-II-III.
- Soeters, R. 1974. *Apuntes sobre la clase de geomorfología*. Centro Interamericano de Fotointerpretación. Bogotá, D. E.
- Strahler, A. 1974. "Morfología fluvial" en: *Geografía física*, p. 477-495. Omega, Barcelona.
- Verstappen Hth. 1968. *Geomorphology in deltas studies*. The International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC) series B. No. 24 Delft, Holanda.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la eficaz colaboración del geógrafo Omar Moncada Maya, por su valiosa ayuda en los trabajos de campo; de los maestros

Gilberto Hernández Corzo y Alberto López Santoyo, por sus valiosas sugerencias, y del profesor Carlos Jaso Vega, corrector y revisor del manuscrito.