

6. Condiciones Hidráulicas y Sedimentológicas

Este capítulo responde al modelamiento hidráulico y de transporte de sedimentos (Modelo HEC 6), elaborado como parte del proceso de investigación y acompañamiento del componente ambiental de la central Hidroeléctrica de URRRA. En los archivos anexos se presentan las condiciones de trazado geométrico del modelo y las principales condiciones hidrológicas y sedimentológicas monitoreadas. De igual forma se anexa la cartografía completa de los resultados de velocidad, profundidad y esfuerzo cortante para el área de estudio.

6.1 Condiciones Hidráulicas

Las condiciones hidráulicas permiten interpretar y analizar la escala de mayor detalle durante la investigación, incorporando las variables de velocidad de flujo, profundidad y esfuerzo cortante a través del cauce activo que cruza longitudinalmente las propiedades expuestas en los capítulos anteriores. Estas propiedades hidráulicas permitieron caracterizar la respuesta de los procesos de conducción del flujo de agua a través del área de estudio.

El flujo sobre el cauce activo responde a las propiedades de los materiales expuestos en roca y los depósitos no consolidados. Esta investigación se fundamenta sobre las

propiedades medias del flujo, como medida de comparación e integración sobre las demás variables utilizadas en diferentes escalas. De esta manera se utiliza la probabilidad de excedencia al 50%, basado en las curvas de duración de todo el sistema de monitoreo a través del cauce activo del río. En los anexos complementarios, se presentan los análisis hidrológicos de caracterización de las series de datos y los valores del régimen utilizados en el modelamiento hidráulico, estos análisis vienen acompañados del efecto de la regulación hidrológica que ejerce la central hidroeléctrica a partir de 1999. Sin embargo los caudales medios de excedencia se han mantenido estables en el paso del sistema natural al sistema controlado, concentrando sus efectos sobre los picos extremos. De igual forma se presenta en los anexos la constitución geométrica desarrollada para este fin y sus configuraciones.

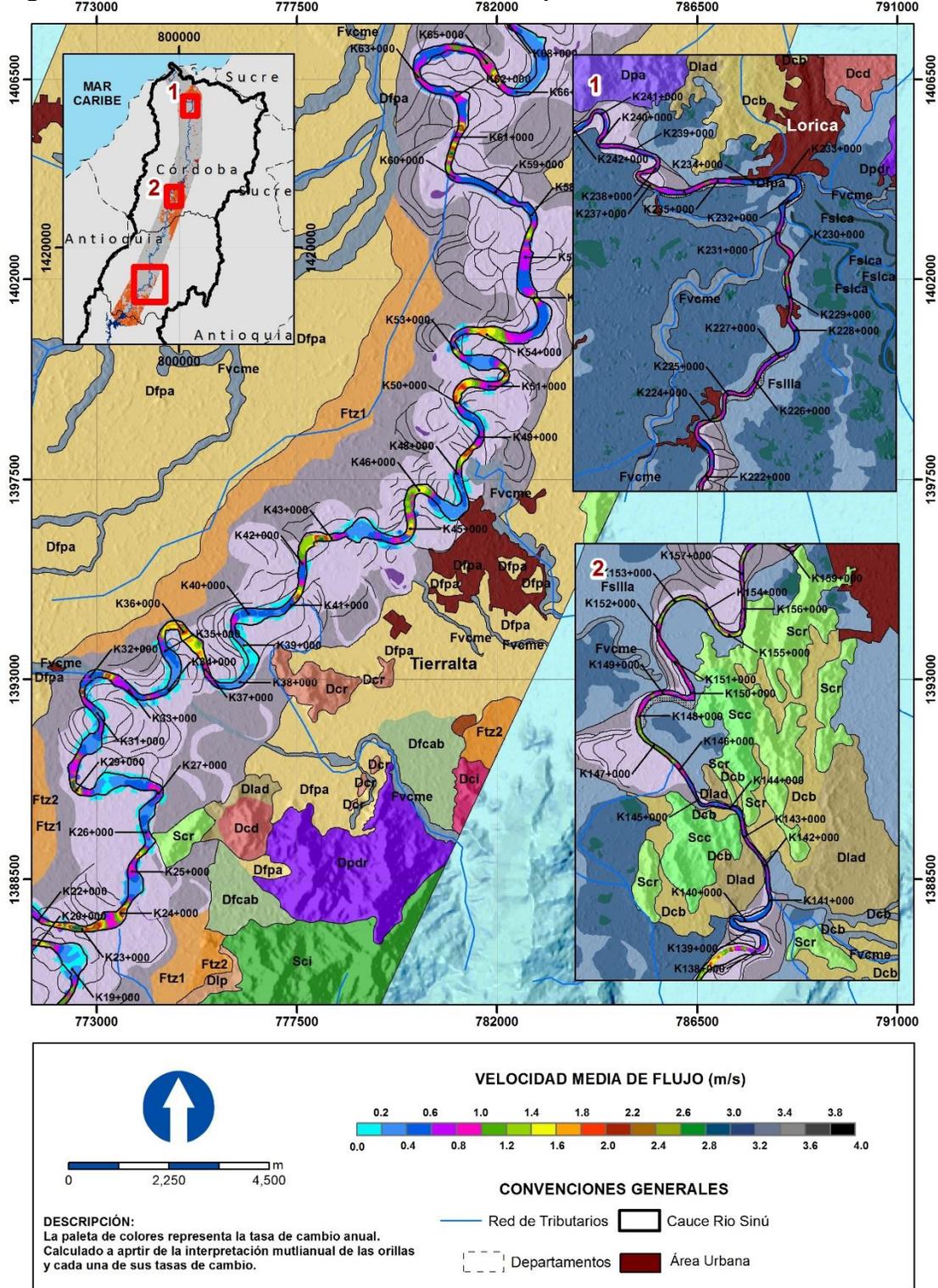
En la **Figura 6-1** se presenta la condición de flujo promedio a través del área estudio, identificando su cambio por el sistema que lo rodea en los materiales rocosos y su comportamiento variado sobre los depósitos no consolidados.

6.1.1 Velocidad de flujo

La velocidad de flujo se distribuye en el cauce activo en función del gasto evaluado y la morfometría del cauce en el punto donde se evalúa, de esta manera las fluctuaciones y respuestas de velocidad cambian de un periodo a otro. En el cauce activo del río Sinú la velocidad es variada y se modifica en función de las propiedades que el cauce ha adquirido por su génesis y propiedades de cambio de las orillas.

Este resultado del cambio de velocidad se correlaciona con los patrones identificados en propiedades como el ancho de bancas y la movilidad de orillas, donde la primera sección desde el embalse hasta los primeros 80Km corresponde al tramo de mayor movilidad, con pronunciadas fluctuaciones en el paso de esta sección, debido a tramos rectos de alta velocidad y fuertes sinuosidades que disminuyen sustancialmente la velocidad (**Figura 6-1**). Después del paso de esta sección se presenta la zona de transición de mediana

Figura 6-1 Distribución de velocidad media de flujo en el área de estudio del río Sinú



Fuente: Autor

movilidad que registra menos variaciones hasta llegar a los materiales rocosos al sur de la ciudad de Montería. En este punto el control estructural de la movilidad por roca y el ambiente fluviolacustre mantienen un control sobre la velocidad con rangos más estables.

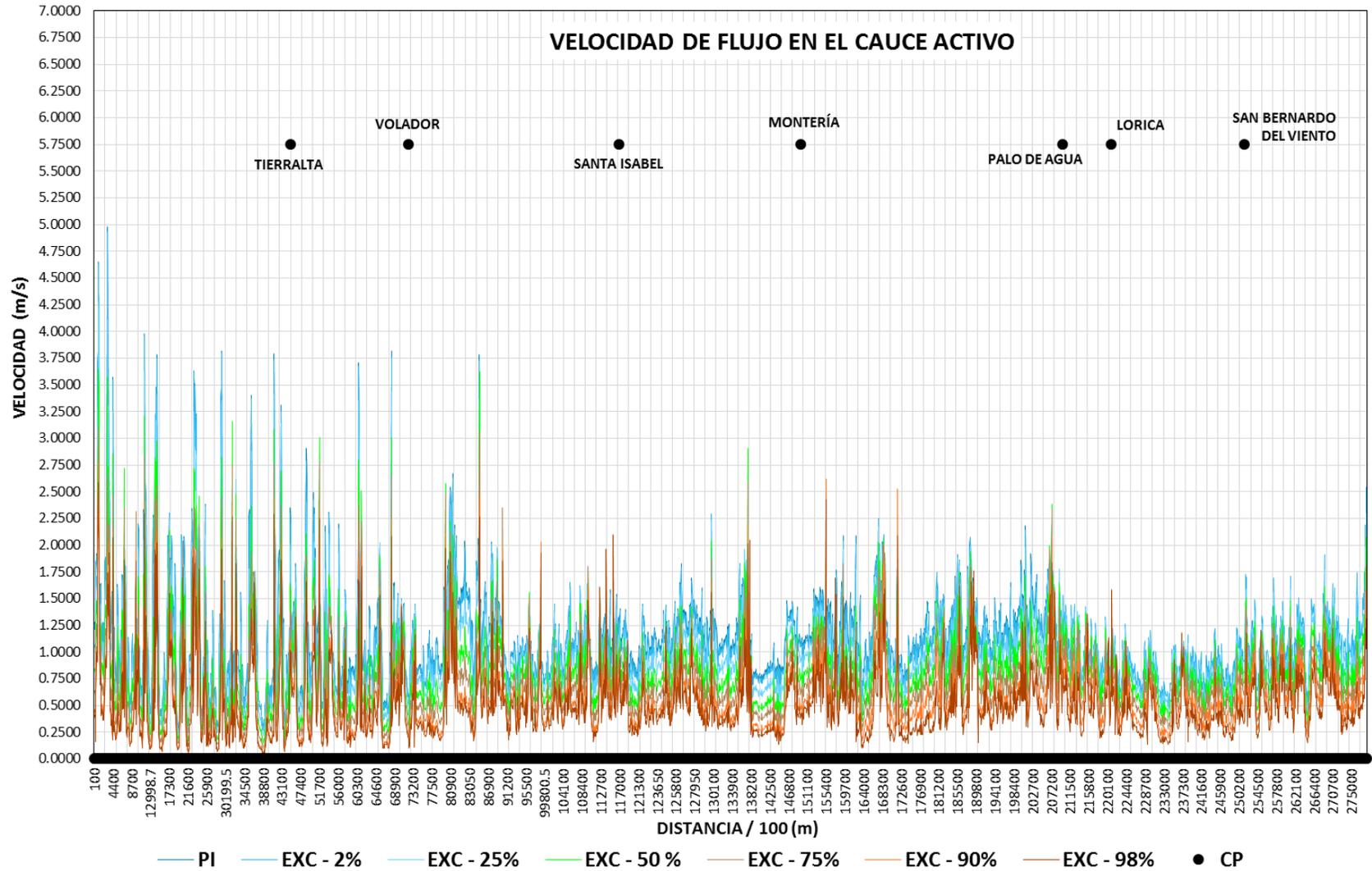
Durante el paso por los materiales rocosos que restringen el movimiento de bancas y profundidad del lecho, se presentan picos de velocidades mayores en el segundo sector del área de estudio. Con este mismo comportamiento y en este mismo tramo se evidencian picos de alta velocidad que son restringidos en zonas de control fluviolacustre con formación de diques aluviales.

6.1.2 Profundidad de flujo

La incorporación de la profundidad como variable local sobre el cauce activo del río Sinú identifica variaciones en un patrón contrario al identificado en condiciones anteriores. Esto debido a que se encuentran menores profundidades medias sobre la primera región o tramo del área de estudio, definiendo una relación inversa de menor profundidad y mayores velocidades y fluctuaciones de movilidad en esta sección. Sin embargo se mantienen las fluctuaciones de velocidad que también se encuentran asociadas a las profundidades. Los comportamientos descritos se pueden observar en la **Figura 6-3** del comportamiento de las profundidades.

Las mayores profundidades regionales se asocian a los materiales rocosos que inician al sur de la ciudad de Montería, comportamiento que se correlaciona con el control de la expansión de orillas y ancho de bancas estables o más reducidas (Numeral 2, **Figura 6-1**). Después de la ciudad de Montería se observan patrones similares con profundidades más elevadas en sectores fluviolacustres de ciénagas, con el cauce controlado por variados centros poblados y diques aluviales presentes. Esta característica se desarrolla en depósitos inconsolidados pero de propiedades de mejor resistencia y cohesión a depósitos mas sueltos como las vegas de divagación y el mismo lecho mayor.

Figura 6-2 Condiciones de velocidad de flujo en el río Sinú



Fuente: Autor

El paso por la ciudad de Lórica marca una tendencia de mayores elevaciones debido al control estructural de roca de la brecha de Cispatá. En esta sección se presenta dos controles en el flujo, uno debido a la formación rocosa y el otro por el sistema fluviolacustre, sin embargo el segundo tiene menor resistencia a procesos extremos sobre el cauce activo del río Sinú.

Esta variable es incluida en el análisis por la tendencia inversa de su comportamiento a esta escala local de análisis del flujo en el cauce, incorporando patrones visibles sobre la segunda sección identificada en la investigación (desde el K80+000 hasta la formación del delta).

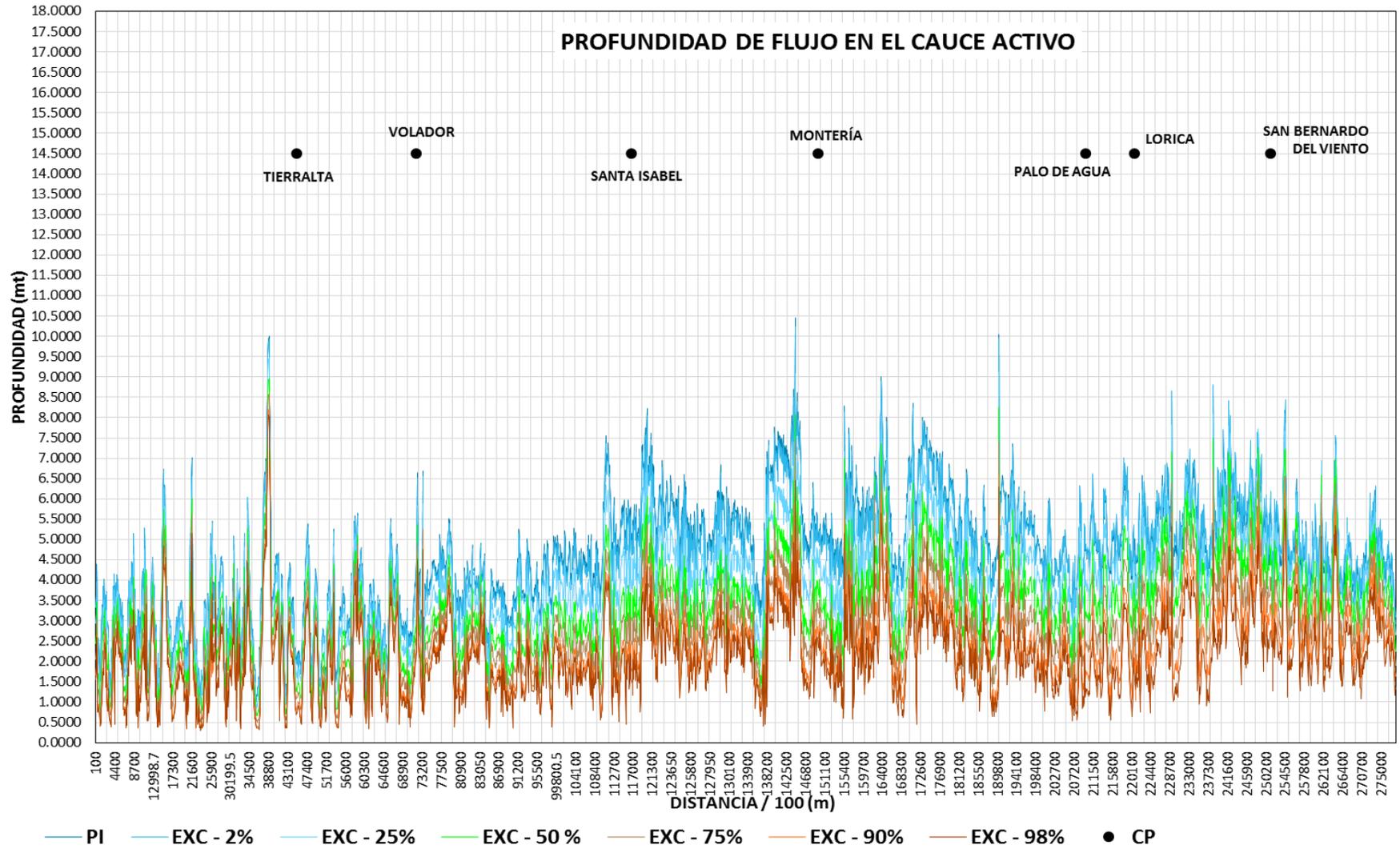
6.1.3 Esfuerzo Cortante

El esfuerzo cortante funciona como la variable de enlace entre las características del flujo mecánico del fluido y el transporte de sedimentos a través del mismo. Esta misma es la razón por la cual se ha tomado en cuenta el funcionamiento y distribución de esta variable para esta investigación.

El comportamiento del esfuerzo cortante a través del área de estudio, muestra los picos más altos sobre el primer tramo de alta dinámica de orillas (K80), asociado a los puntos de mayor velocidad. En esta primera sección los sedimentos se encuentran con menor compactación lo que brindaría una relación con la alta dinámica de orillas y sinuosidad descrita anteriormente, en igual medida se relaciona con anchos de banca mayores y menores profundidades encontradas. La **Figura 6-4** muestra el comportamiento del esfuerzo cortante a través del cauce activo del río Sinú

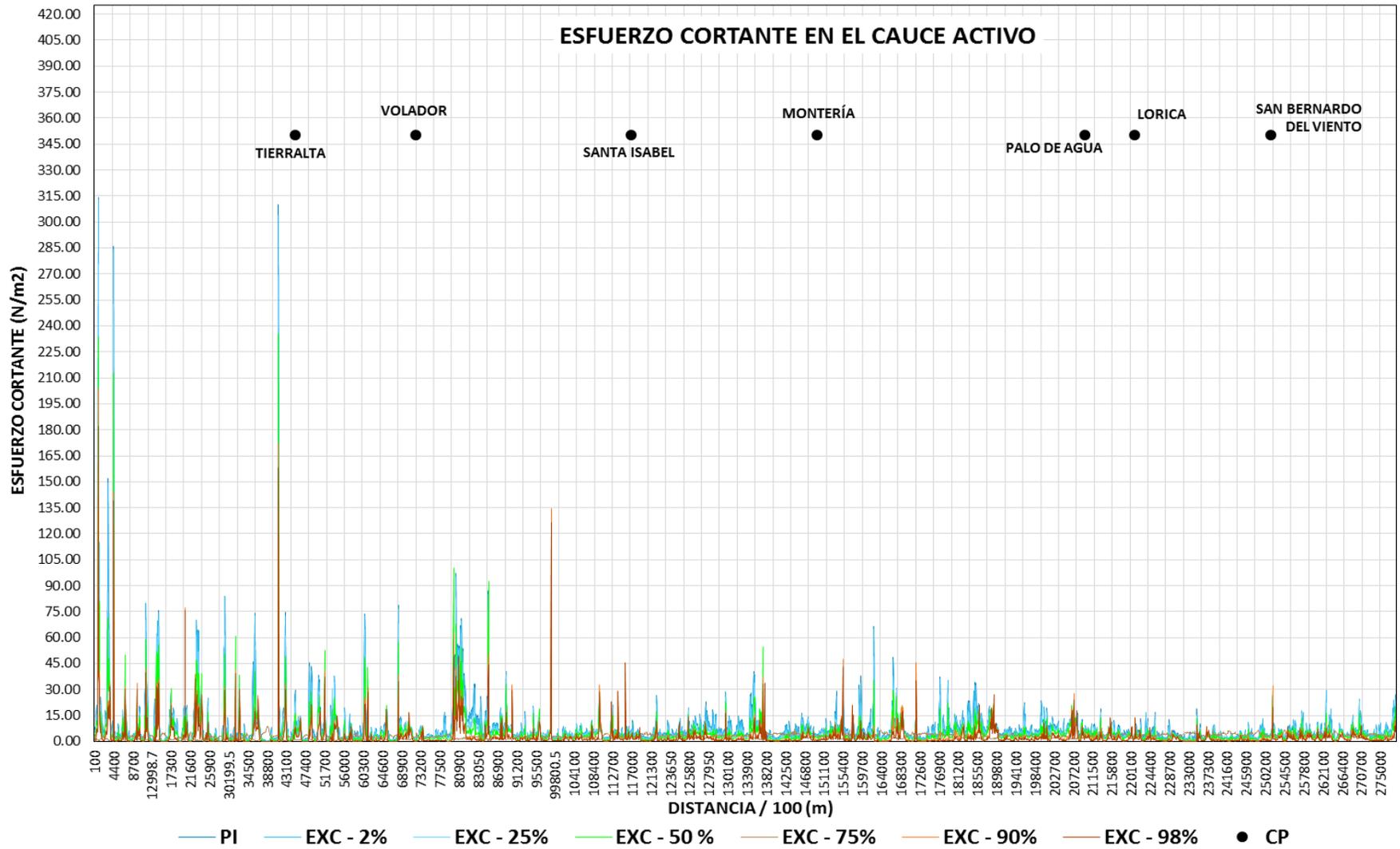
Al sur del centro poblado de Tierralta se presenta uno de los picos más fuertes de esfuerzo cortante lo cual se relaciona de manera directa con las condiciones de mayor amplitud y tasa de movimiento anual identificada durante el análisis multitemporal de orillas. Mostrando un ajuste coherente en los datos multitemporales de cambio con las condiciones locales de análisis de flujo del sistema fluvial.

Figura 6-3 Condiciones de profundidad de flujo en el río Sinú



Fuente: Autor

Figura 6-4 Condiciones del esfuerzo cortante en el flujo del río Sinú



Para el segundo tramos del río Sinú, la cual se caracteriza por menores grados de variabilidad del cauce activo, indica valores de esfuerzo cortante menores pero se relacionan picos importantes en su recorrido. El primero de ellos sobre las condiciones de roca que anteceden Montería, asociados al incremento de velocidades en los mismos puntos. Variados picos de esfuerzo cortante se relacionan con los pasos por centros poblados en el recorrido del flujo del río, de igual forma las condiciones de control del sistema fluviolacustre llegando a la ciudad de Lórica.

Las condiciones hidráulicas son incorporadas por la explicación del movimiento del flujo hídrico, principal actor en los procesos dinámicos de la geomorfología fluvial y de los movimientos que se presentan entorno a diferentes escalas de tiempo.

6.2 Condiciones Sedimentológicas

El comportamiento de los sedimentos y su expresión a través del área de estudio se convierten en la medida cuantitativa de los cambios que se desarrollan sobre el ambiente fluvial del río Sinú, de esta manera se incorpora las variables de espesor activo en el flujo de agua, concentración de sedimento y las medidas del sedimento como el promedio d50 y al 90% (d90). Con lo cual se mide e incorpora en el componente local del sistema, las unidades de cambio que pueden ser llevadas en los procesos de movimiento de orillas y los tipos de depósitos que componen el recorrido del río Sinú. Las condiciones sedimentológicas son el resultado del modelamiento hidráulico asociado al transporte de sedimentos que se llevó a cabo para el río Sinú bajo el modelo HEC-6 (HEC, 1993) antes mencionado. En el anexo complementario se presenta la distribución y asociación de medidas de sedimento que se han llevado a cabo sobre el cauce activo. Esfuerzo asociado al monitoreo constante que el embalse lleva a cabo desde su funcionamiento. El registro y monitoreo del río Sinú antes del funcionamiento del embalse se llevaba a cabo por algunas estaciones oficiales (IDEAM), que también se encuentran involucradas en el proceso de formulación del comportamiento del sedimento.

6.2.1 Espesor de sedimento activo

El espesor de sedimento activo relaciona la capacidad de transportar material asociado al cauce del río Sinú, de esta manera se involucra el potencial de movimiento asociado a los

materiales y los patrones de cambio que se han mostrado en el transcurso de esta investigación. El comportamiento del espesor para la primera sección del río, oscila en un promedio de 37mm, identificando y refinando el comportamiento del sistema fluvial, a los primeros 73K donde inicia la sección de transición del sistema, acogiendo los centros poblados de Tierralta y Volador. En este punto se empieza a disminuir el espesor activo, igual a la fuerza de arrastre del cauce. En la **Figura 6-5** se indica el comportamiento del espesor activo de sedimento.

Las condiciones de transición, disminuyendo el espesor activo, de igual forma se relacionan con la disminución de la variabilidad del cauce activo y el lecho mayor asociado. Las fluctuaciones en el comportamiento del espesor identifican como a cortos tramos del río pueden variar, debido a las variables antes interpretadas. Una de ellas es el ancho de banca que relaciona variabilidad similar en la primera sección.

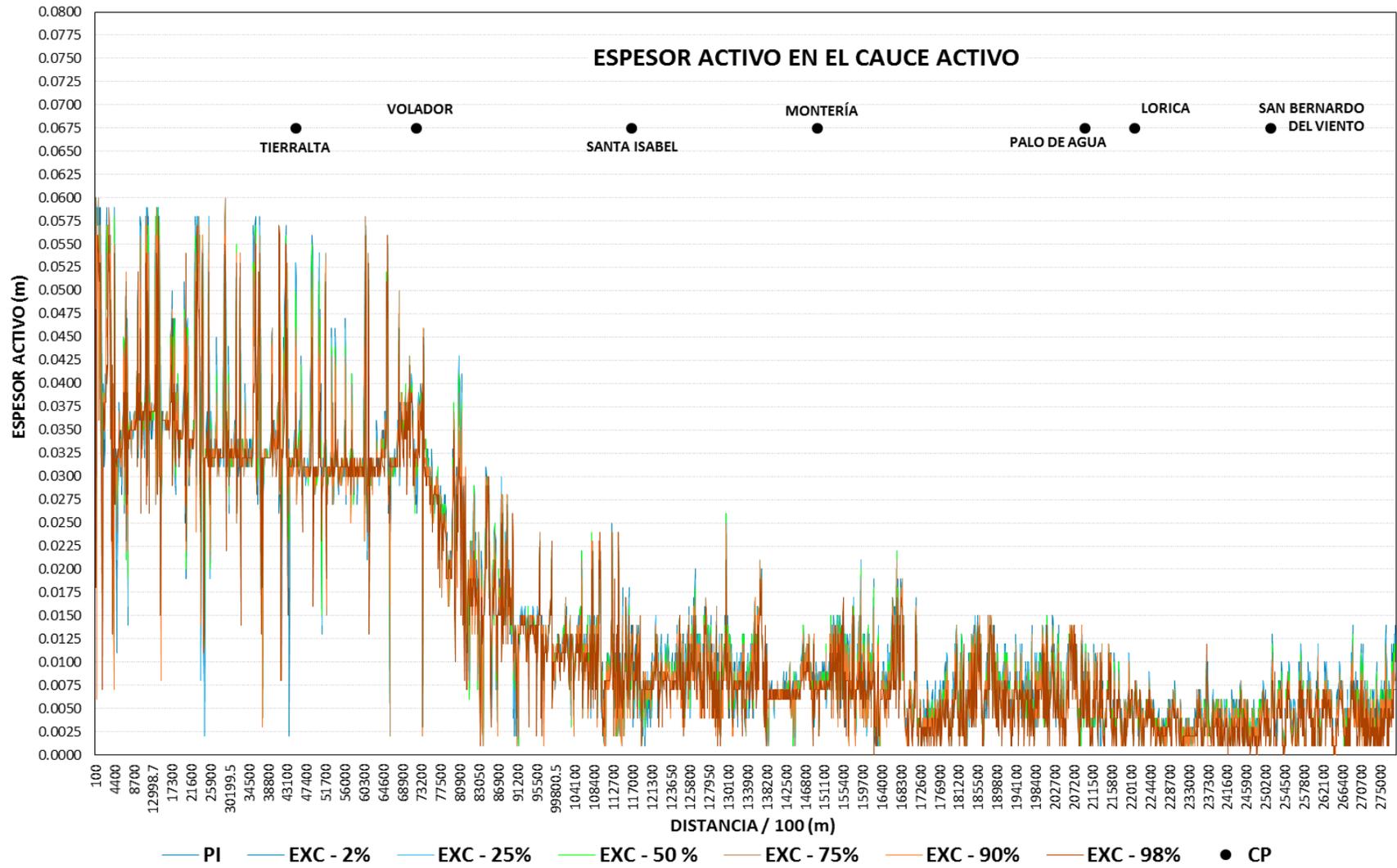
Se identificó un patrón específico de estabilidad en este espesor, debido al control estructural de la formación en roca al sur de montería con un valor medio de 7.5mm. Las condiciones medias del espesor disminuyen a la llegada de la sección más baja del recorrido del cauce activo, sobre las llanuras de inundación que se encuentran con el mar.

EL espesor activo como parámetro cuantitativo en el ambiente local del sistema fluvial, permite identificar con mejor claridad elementos de variabilidad a través del recorrido del área de estudio.

6.2.2 Concentración de sedimento

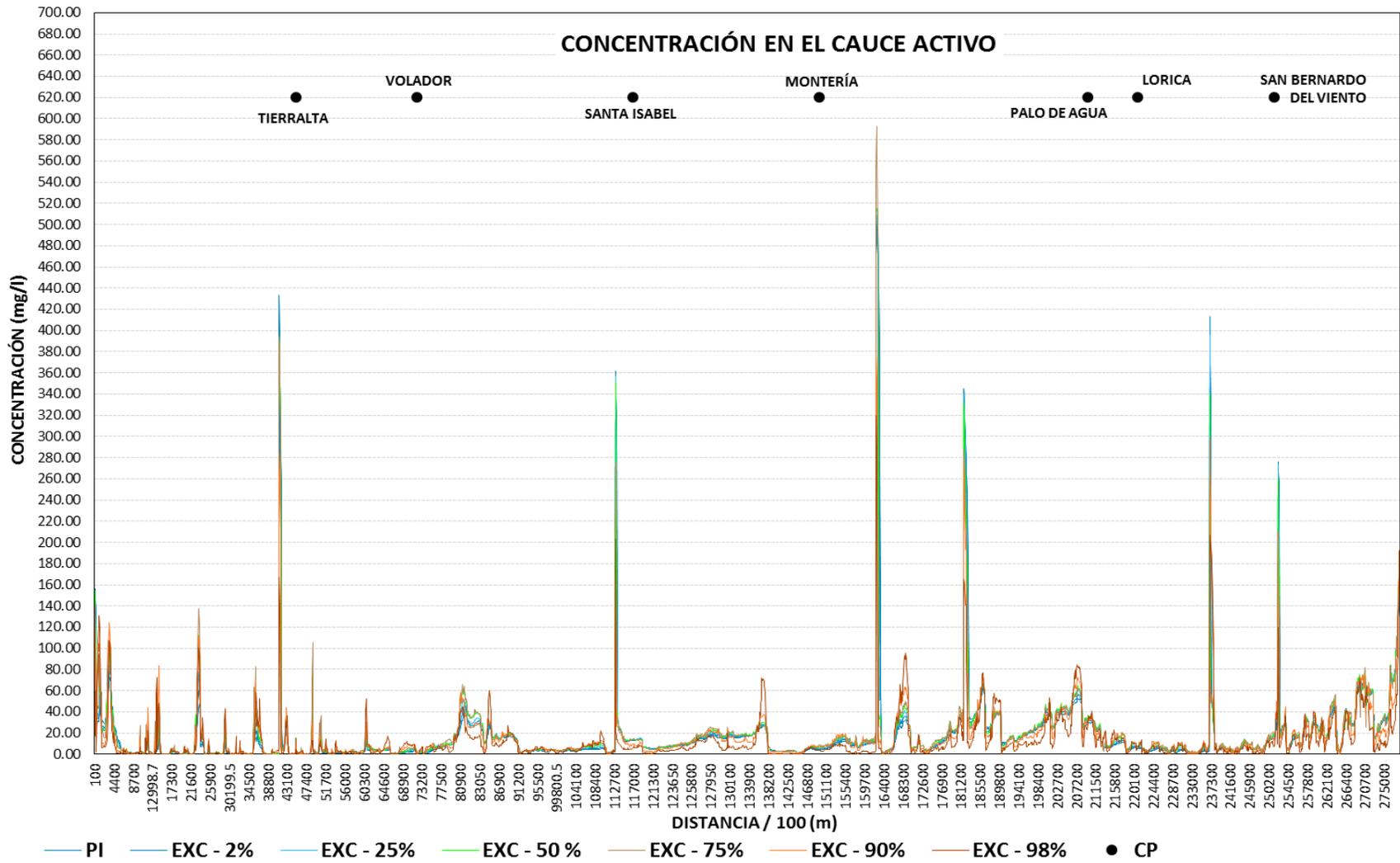
El comportamiento de la concentración de sedimentos sobre el cauce activo, manifiesta patrones y consideraciones diferentes a la mayoría de análisis presentados anteriormente. Los incrementos de concentración sobre algunos tramos del sistema fluvial proporcionan la información de cauces menores que ingresan en el flujo del cauce principal. Esta condición de influencia externa es deseada en el análisis de las categorías posibles que describen el sistema fluvial. En la **Figura 6-6** se presenta el comportamiento de la concentración de sedimentos para el río Sinú.

Figura 6-5 Condición de espesor activo de sedimento en el río Sinú



Fuente: Autor

Figura 6-6 Condición de concentración de sedimentos en el río Sinú



Fuente: Autor

A la distancia de 77K+0000 a 91K+000 se evidencia un incremento importante de a concentración que viene de los cauces menores que desembocan en el río Sinú, simultáneamente se relacionan con el punto de inflexión de disminución de la variabilidad, espesor activo y la aparición de las llanuras de inundación fluviolacustre que se convierten de manera transicional en la estructura de contención del cauce activo del río Sinú.

En la sección de transición a partir del K77, varios cauces menores entregan sus aguas al cauce activo del río Sinú, con variados aporte de sedimentos de las vertientes lateral de la cuenca a la que pertenece el área de estudio. En la misma sección la Ciénaga Betanci presenta conexión hidráulica con el cauce activo (K113+000). Seguida su transición hasta la formación rocosa que inicia en el K138, se observa un corte abrupto de la concentración respuesta al material rocoso a donde se encuentra el flujo.

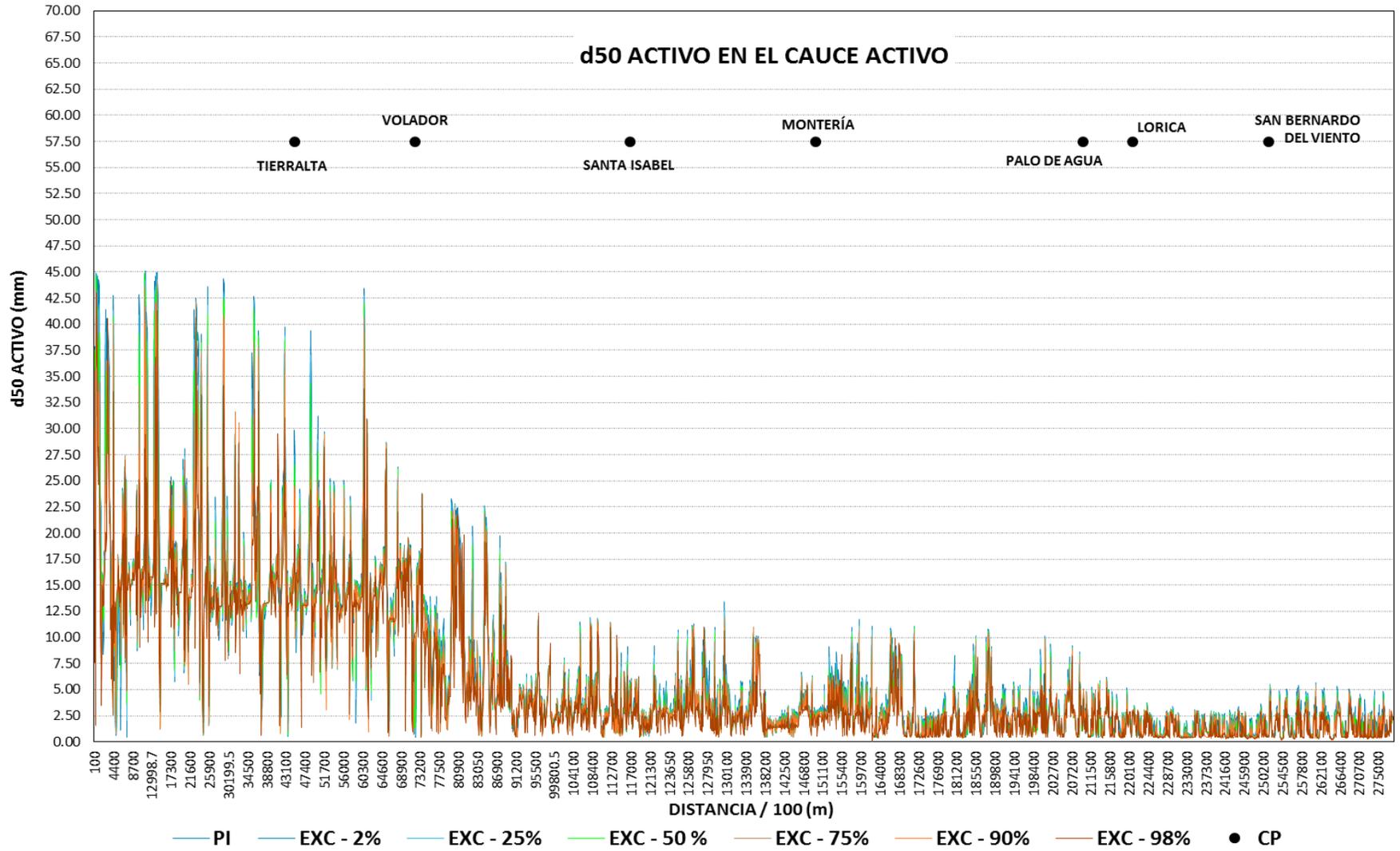
El ingreso del río a la ciudad de Montería, marca el incremento de nuevos aportes a la concentración de sedimentos y se lleva esa tendencia hasta el KM220. En esta sección los cauces menores se relacionan de manera directa con los aumentos de concentración, llevando a inferencias del buen arrastre y valores altos de sedimentos que estas corrientes pueden entregar al sistema fluvial. La llegada del cauce activo a la ciudad de Lorica donde la segunda formación rocosa importante se eleva en la superficie, se genera una concentración baja de los sedimentos hasta la formación de las llanuras de inundación que limitan con la formación del delta.

Los grandes picos de sedimentos obedecen a las curvas de calibración de caudal – sedimentos en donde se ubican las estaciones de control oficiales IDEAM, estas curvas de sedimentos teóricas, se representan solo para el ajuste valores bajos de caudal (Ver anexo de información complementaria sobre condiciones hidrológicas y sedimentológicas).

6.2.3 Diámetro de sedimento d50 y d90

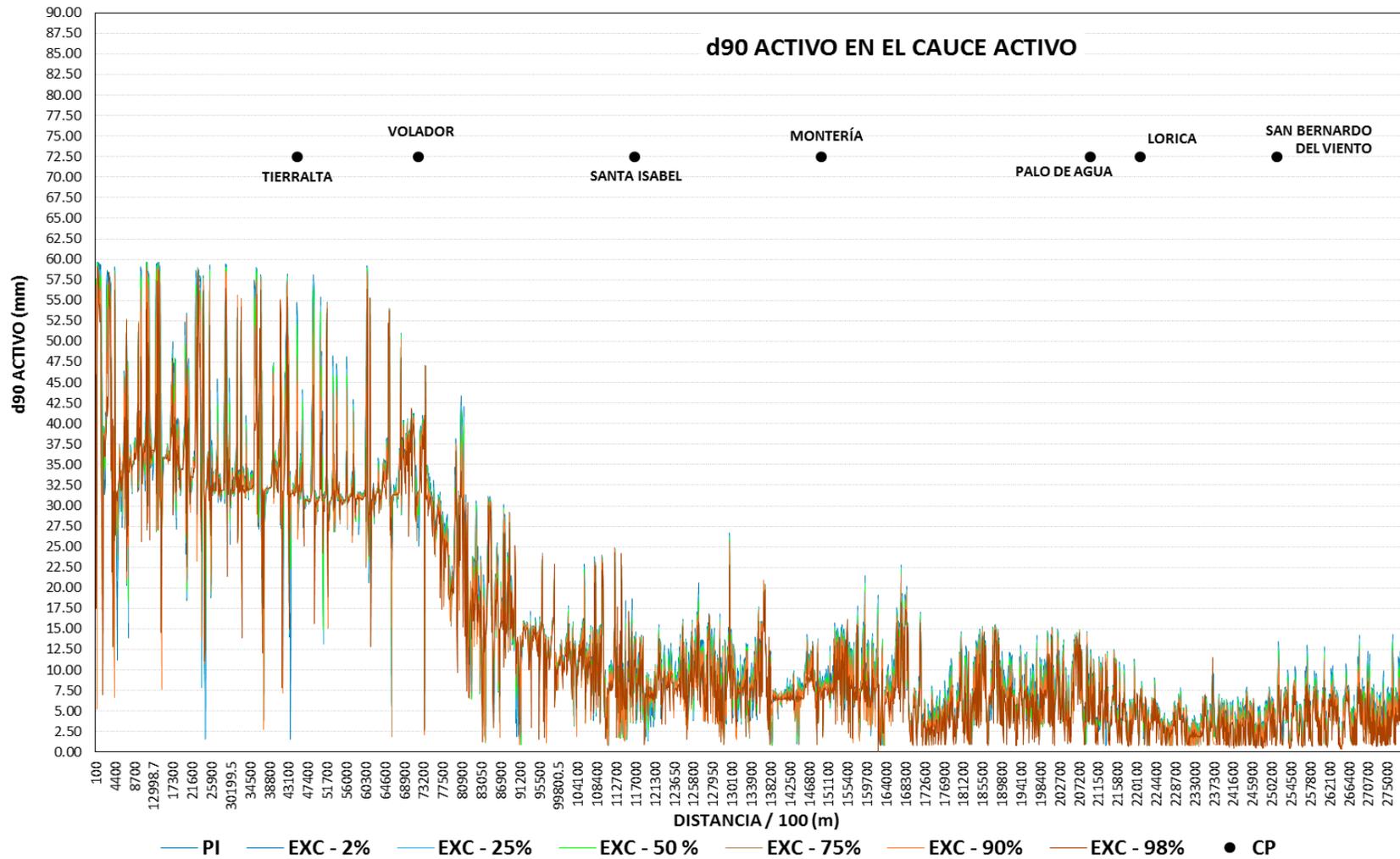
La caracterización del diámetro de sedimento complemento las condiciones del sistema natural del río Sinú (**Figura 6-7** y **Figura 6-8**). Su medición se corresponde de manera directa con el espesor activo

Figura 6-7 Condición del d50 en el río Sinú



Fuente: Autor

Figura 6-8 Condición del d90 en el río Sinú



Fuente: Autor

ya mencionado, sin embargo permite la interpretación y caracterización de las unidades de respuesta formadas, por los materiales posibles a ser transportados en el flujo medio.

De esta manera los depósitos medios desplazados en el tramo de mayor de dinámica se ubican en el orden de los 15mm de diámetro hasta el punto de transición o cambio de sinuosidad del sistema fluvial. Los diámetros medios de semiento activo para las zonas de material rocoso disminuyen hasta valores de 1.5mm. Los valores de menor diámetro se ubican en la sección final de la corriente.

La caracterización a partir de los valores d_{90} , indican que las propiedades de los materiales en el primer sector, con mayor potencia y dinámica llegan a los 35mm en promedio. Seguido por la condición de transición del sistema que baja de 35mm a 5 – 7.5mm. El patrón de comportamiento se ajusta en mejor medida al espesor activo, sin embargo estos valores proporcionan un rango en la explicación de las categorías de respuesta homogéneas.