

5. Dinámica Fluvial

En este capítulo se recopilan los resultados de los cambios en el cauce activo del río Sinú a través de su análisis multitemporal. Se tomaron en cuenta los comportamientos de sinuosidad y cambio en las orillas de los cauces, este último con sus mecanismos de agradación y degradación en el movimiento lateral o frontal. Los cálculos y procedimientos del análisis multitemporal se obtuvieron a partir de herramientas desarrolladas en ArcGIS 10.4.1 con sus módulos geoespaciales en lenguaje Python (Arcpy). Se profundiza en los comportamientos del sistema natural sin el funcionamiento del embalse de Urra y después de la aparición de este en el sistema fluvial.

5.1 Sinuosidad del río Sinú

Este acápite contiene el comportamiento del río Sinú, a través de las dos épocas que han marcado cambio en su régimen natural. La primera etapa antes de 1999 donde entro en construcción y operación el actual embalse de Urra y la segunda a partir de la construcción de esta obra de generación de energía para el país. Se han evaluado las condiciones de sinuosidad y su cambio a través del análisis multitemporal de su cauce activo en diferentes fechas (1945 - 2016), calculando la variabilidad natural (antes de la operación del embalse) y la variabilidad obtenida después de la construcción de la obra. Los cálculos de sinuosidad entre las medidas obtenidas del cauce activo, se obtuvieron a través de una herramienta geoespacial construida específicamente para este fin (Arcpy – Python de ArcGIS 10.4.1 ESRI), donde se permite comparar entre pares de fechas los cambios de sinuosidad en los ejes centrales de los cauces activos (Anexo de herramientas geoespaciales).

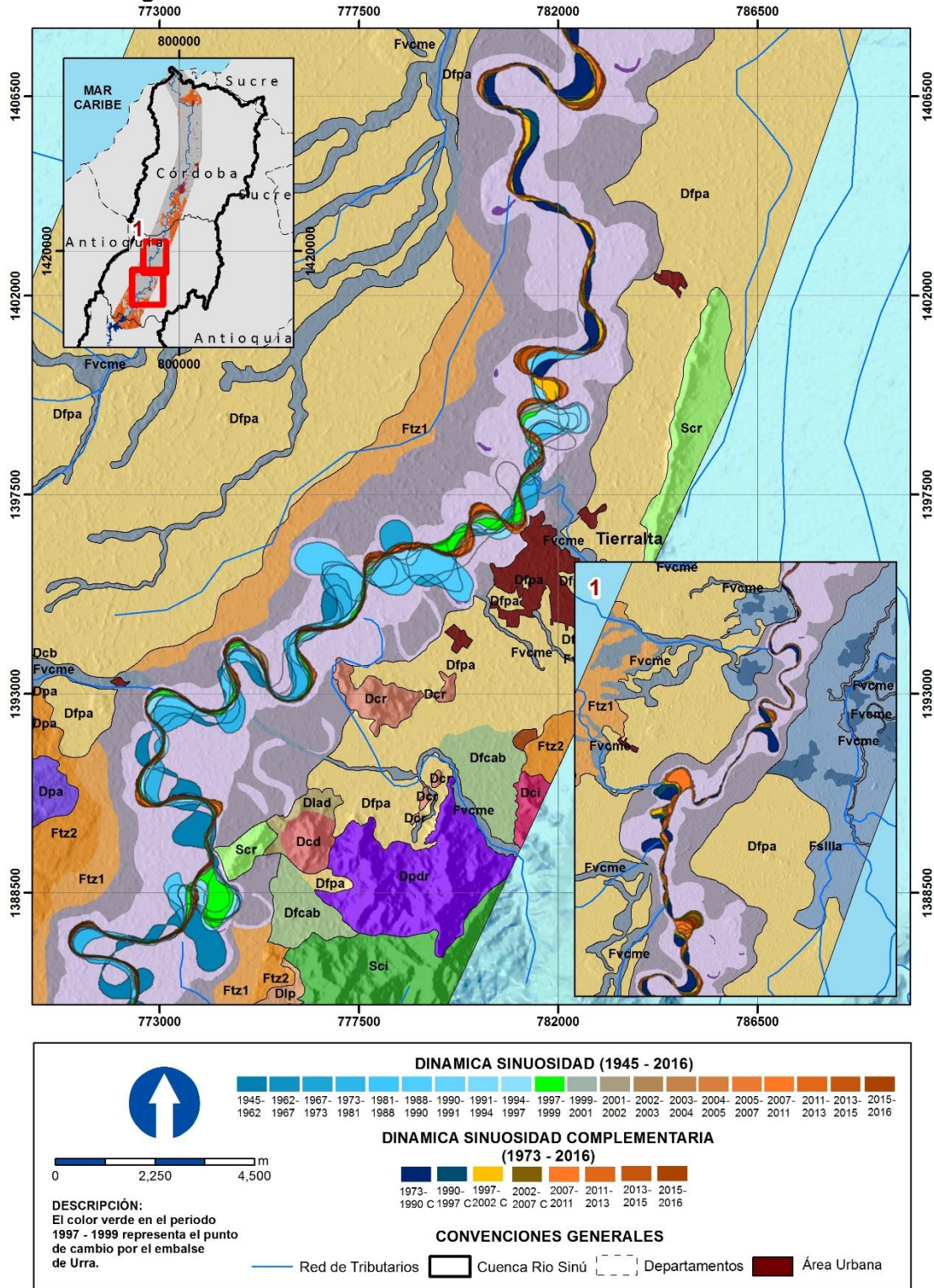
El comportamiento de la sinuosidad en el río Sinú, se tomó como medida de su dinámica a través de los periodos evaluados con su cauce activo. Se obtuvieron los cambios de comportamiento asociando al eje central del cauce activo con el que se construyó la geomorfología fluvial, año 2015, debido a que este trazado del cauce activo, representa la condición actual de mejor medida desde el embalse de Urra hasta el delta fluvial.

Se encontró una clara diferencia en la variabilidad de la sinuosidad en diferentes puntos del cauce activo del río Sinú. Los cuales se identificaron a través del análisis multitemporal del cauce activo, los resultados se obtuvieron para los cauces activos ya trazados durante el trabajo realizado en Tierralta de Geomorfología y Dinámica fluvial (Vargas 2005), con un periodo de 1945 al 2005, en sinergia con los realizados en el presente estudio desde 1973 al 2016. La mayor variabilidad de la sinuosidad se expresa en el primer tramo del área de estudio (**Figura 3-1**), donde se observa un claro cambio del cauce activo desde 1945, con movimientos laterales, que se correlacionan con los depósitos actuales del río (lecho de vegas de divagación), esta movilidad lateral se reduce en dirección norte cuando aparece en el costado oriental la formación de las llanuras de inundación (Ver numeral 1, **Figura 5-3**), sin embargo el mayor control se encuentra en los sedimentos y formaciones de roca al sur de montería (sección media del área de estudio).

En la **Figura 5-3** se representa la dinámica de la sinuosidad en el río Sinú para el primer tramo del área de estudio, se expresa la fuerte dinámica durante los años anteriores de 1999 (fecha de inicio de operación del embalse de Urra). La primera barra de colores indica los periodos analizados entre 1945 y el 2016, lo cual incluye la mezcla de trazados actualizados durante esta investigación y los ya realizados (Vargas 2005). Con esto se observa la dinámica total del río Sinú, con más datos de comparación en la sección del embalse a Tierralta. En la segunda barra de colores se expresa la comparación de los cauces activos trazados para la investigación, que cubren desde el embalse hasta el delta fluvial, con esta segunda barra se puede observar la dinámica de sinuosidad del área de estudio para el resto que no fue acogido en los primeros trazados de Tierralta.

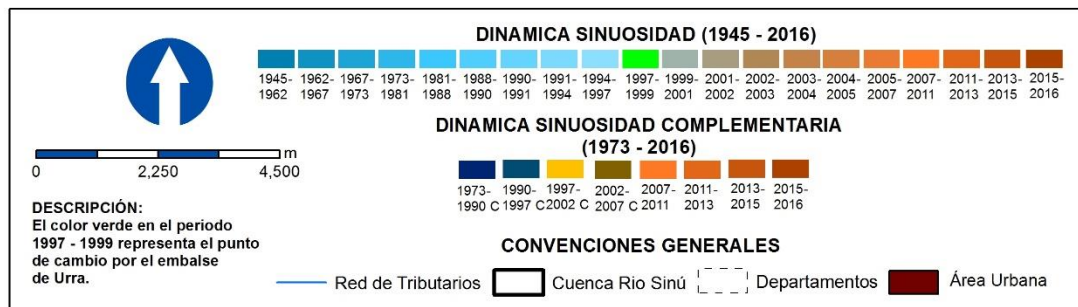
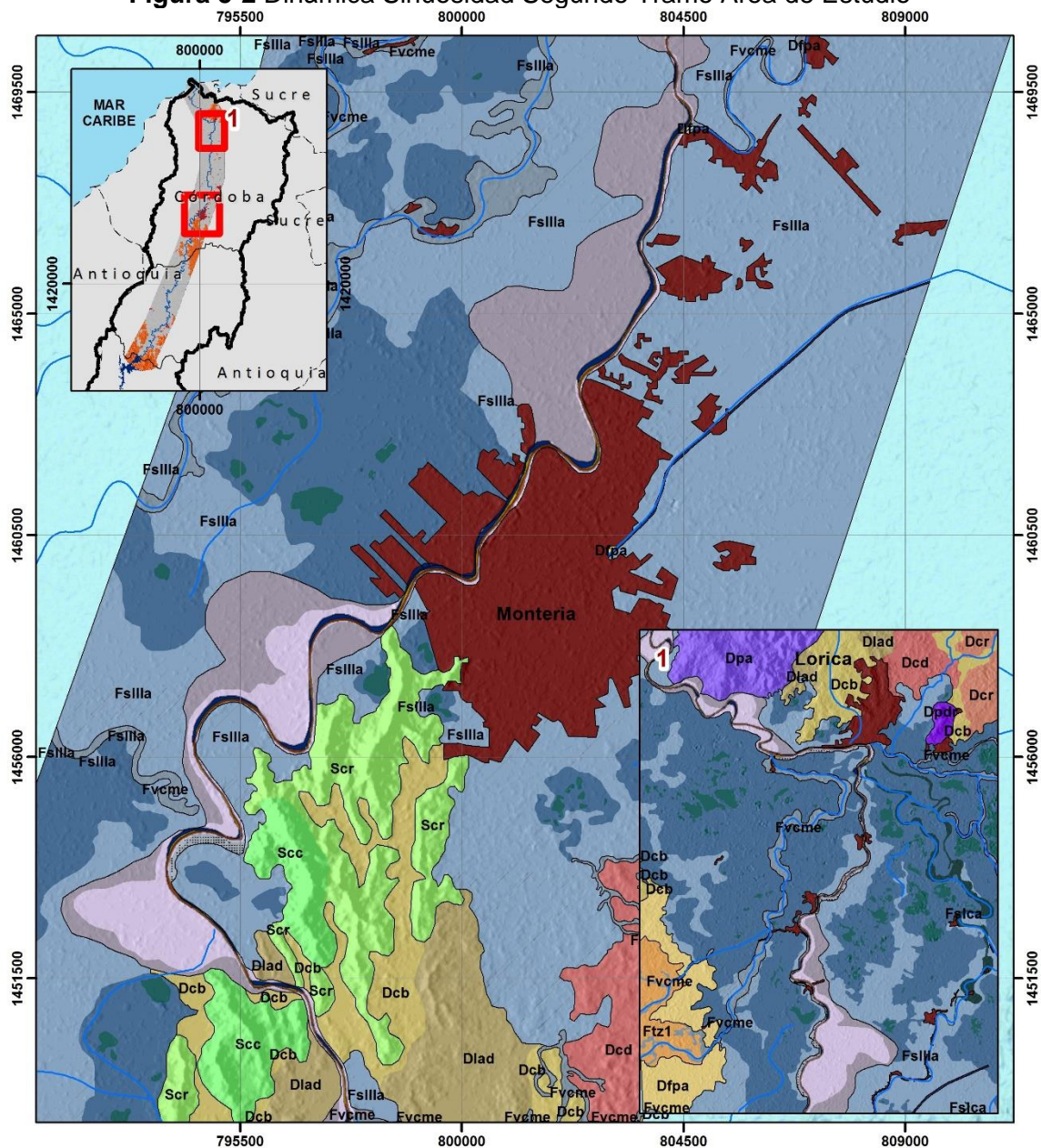
La regulación del régimen hidrológico por parte del embalse, se observa sobre los cambios posteriores a su aparición (1999 en adelante). La sinuosidad del cauce del río se disminuye

Figura 5-1 Dinámica Sinuosidad Primer Tramo Área de Estudio



Fuente: Autor

Figura 5-2 Dinámica Sinuosidad Segundo Tramo Área de Estudio



Fuente: Autor

y se restringe a la forma que actualmente presenta cauce activo, esto se observable sobre los resultados y cambios de tonalidades de la **Figura 5-3** donde los azules que esquematizan la movilidad anterior del embalse muestran su alta dinámica y los colores naranjas a pardos se centran sobre un único cauce. Después del centro poblado de Tierralta este mismo patrón se evidencia con menor variabilidad en los colores marrones que indican los cauces más actuales del río.

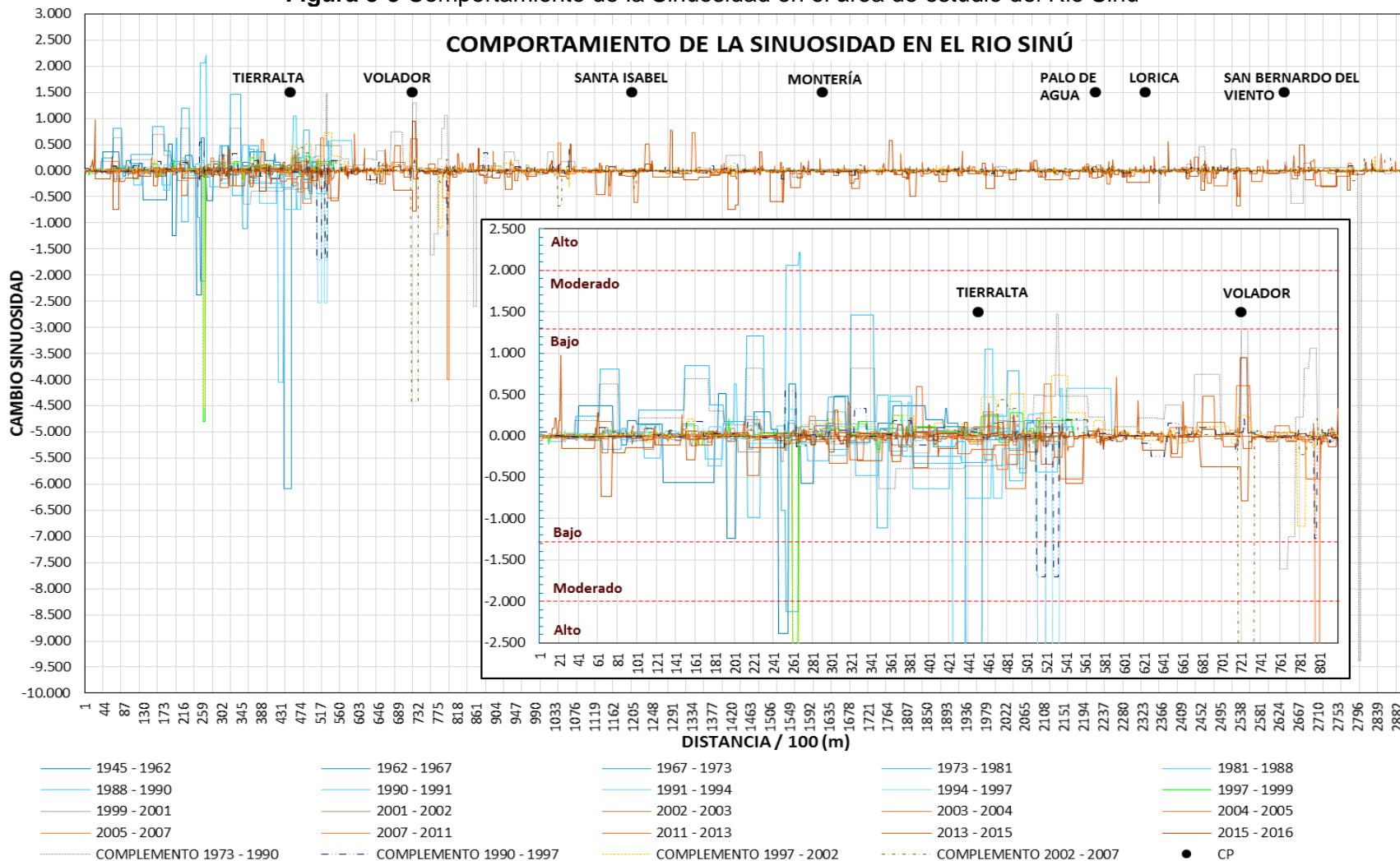
La dinámica del segundo tramo en el área de estudio se encuentra más restringida y con menor movimiento lateral o cambios en su sinuosidad, esto como una respuesta directa al mayor control de las geoformas de diques aluviales naturales, asociados a las llanuras de inundación y el control antrópico de los centros poblados y sus obras asociadas. Para este tramo del área de estudio se evalúa la sinuosidad en lapsus multitemporal desde 1973 a 2016 como se muestra en la segunda barra de colores de la **Figura 5-2**.

La variabilidad de la sinuosidad, indica un cauce mayor más estable, con procesos de alteración de bancas reducidas y condicionadas a procesos más extremos como rompimiento de diques o fuertes inundaciones. Sin embargo se observa un cambio en el cauce desde 1973 a 1999 (cambio color azul oscuro, **Figura 5-2**), donde no se encontraba en operación el embalse de Urra. En el tiempo de análisis posterior a la construcción del embalse, se identifica la estabilidad del cauce (colores marrones, **Figura 5-2**).

Como objetivo específico de esta investigación es entender y evaluar el comportamiento de la sinuosidad del río Sinú, en toda su extensión, se definió en conjunto el comportamiento multitemporal de cada uno de los cauces y sectores de cauce evaluados. En la **Figura 5-3** se indica la variabilidad del cauce del río Sinú en toda su extensión para el área de estudio, llevado a una condición homogénea para cada periodo de análisis evaluado (cauce activo año 2015). Los colores que se presentan corresponden a los mismo utilizados en las **Figura 5-1** y **Figura 5-2**.

El sector de mayor movilidad se encuentra entre el embalse de Urra y el inicio de las llanuras de inundación (**Figura 5-1**), lo cual corresponde a los K0+000 a K80+000 (Anexo, Mapa de Geomorfología), evidenciado en la **Figura 5-3** por los mayores picos de cambio en la sinuosidad, involucrando los centros poblados de Tierralta y Volador en esta sección.

Figura 5-3 Comportamiento de la Sinuosidad en el área de estudio del Río Sinú



Fuente: Autor

Los valores de cambio en la sinuosidad negativos indica la pérdida de curvatura del cauce activo, mientras los positivos ganancia en su curvatura. Estos picos se valoran como: bajos < 1.3, moderados 1.3 – 2.0 y altos > 2.0 (Sánchez & Maza, 2002). Los valores más altos de cambio en el tramo uno se relacionan con la pérdida de curvatura, en los K26+000, K44+000 (Tierralta), K52+000, K72+000 (Volador) y K80+000. Esta tendencia de cambio permite una relación con los centros poblados y en el caso del K26+000 responde de manera simultánea al cambio por la construcción del embalse (Línea verde, **Figura 5-3**)

Los registros de dinámica en aumento de la sinuosidad para esta sección solo registran un paso alto, en el mismo tramo del K24+000 al K27+000, asignando la mayor movilidad multitemporal registrada. Los cambios de aumento en la sinuosidad se establecen de moderados a bajos para esta sección de alta movilidad en el cauce del río Sinú.

A partir del K80+000 se restringen los cambios de sinuosidad del río, valorados en su totalidad en bajo, esto coincide con la formación de las unidades de llanuras de inundación y sus geoformas asociadas (Ver, capítulo de Geomorfología).

La variabilidad Natural del cauce se identifica hasta el registro del periodo que involucra el año de 1999 (Línea verde, **Figura 5-3**), con las curvas de color azul se caracterizan los cambios de sinuosidad para el sector del embalse a Tierralta, del estudio complementario recopilado en esta investigación (Vargas 2005) y con colores naranjas y marrones los trazados para todo el área es estudio. Las condiciones después de entrar en operación por parte del embalse registran un cambio en la sinuosidad por bajo de las condiciones naturales medidas, en valores de bajos cambios para todo el cauce activo en el área de estudio.

5.1.1 Cambio de Sinuosidad en el periodo 1945 – 1999

En este periodo se registraron los cambios naturales de sinuosidad del cauce activo del río Sinú sin influencia del embalse de Urra, lo cual permitió una clara identificación de los sectores puntuales de cambio en el cauce activo del río, valorando elementos singulares, que pueden ser obviados en el análisis de dinámicas. Se obtuvieron valores de cambio promedio de -0.068 para el sector No1 del río Sinú (K0+000 – K80+000) y -0.001 para el sector No 2 (K80+000 – K280+100). La tendencia en el cambio a partir del valor promedio,

indica una disminución en la curvatura de los dos sectores diferenciados, con valores picos notorios en disminución de la curvatura. En la **Tabla 5-1** y **Tabla 5-2** se observan las estadísticas para cada sector analizado, indicando sus valores extremos y su variabilidad.

En el sector No 1, la mayor dinámica de la sinuosidad se registra en el periodo de 1967 a 1973 (6 años), con disminución de la sinuosidad, este valor representa un promedio en su dinámica cercano al de todo el análisis multitemporal en su periodo natural. Este comportamiento se observa en el tramo comprendido entre el K42+500 y K43+500 como se registra en la **Figura 5-4**. Por su parte la mayor ganancia de curvatura se evalúa en el periodo de 1981 – 1988, seguido por el periodo de evaluación anterior 1973 – 1981, aumentando las formas sinuosas en el cauce del río Sinú, condiciones de menor velocidad en su flujo y del régimen hidrológico durante este periodo de tiempo.

Tabla 5-1 Estadísticas cambio de sinuosidad periodo 1945 – 1999 Sector No 1
(K0+000 – k80+000)

PERIODO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV
1945 - 1962	-0.039	0.624	-2.381	0.551
1962 - 1967	0.081	0.329	-0.069	0.065
1967 - 1973	-0.665	0.185	-6.085	1.874
1973 - 1981	0.180	1.461	-2.119	0.630
1981 - 1988	-0.057	2.217	-0.980	0.497
1988 - 1990	-0.141	0.577	-4.054	0.679
1990 - 1991	0.053	0.260	-0.061	0.063
1991 - 1994	0.011	0.323	-0.106	0.090
1994 - 1997	-0.109	0.187	-2.532	0.501
1997 - 1999	0.011	0.276	-4.799	0.470
PROMEDIO MULTITEMPORAL	-0.068	0.644	-2.319	0.542

Fuente: Autor

Los cambios en el sector No 2, son de picos de valor menor, en los cuales se resalta el periodo de 1973 a 1990, con una clara tendencia a la disminución de la sinuosidad, en este mismo lapso de tiempo se registra el valor de mayor ganancia de sinuosidad.

Tabla 5-2 Estadísticas cambio de sinuosidad periodo 1945 – 1999 Sector No 2
(K80+000 – K280+100)

PERIODO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV
1973 - 1990	-0.015	0.452	-9.380	0.573
1990 - 1997	0.005	0.405	-0.152	0.040
1997 - 2002	0.008	0.270	-0.313	0.031
PROMEDIO MULTITEMPORAL	-0.001	0.376	-3.282	0.214

Fuente: Autor

El comportamiento de mayor movilidad para el sector No 2 (con disminución de la sinuosidad) se registra en la **Figura 5-4**, entre los K260+500 - K261+000 y K274+500 – K275+000, llegando a la formación del delta, desaparece en este periodo de tiempo lóbulos de la corriente del río Sinú, en un proceso de cierre de meandro.

5.1.2 Cambio de Sinuosidad en el periodo 1999 - 2016

Para este periodo de tiempo se registra la variabilidad en la sinuosidad del río Sinú, con la influencia del embalse de Urra. Los cambios en el sistema fluvial determinados a través de la sinuosidad evidenciaron cambios conspicuos en el sistema, otorgando una validez al uso de esta medida sobre el cauce activo de manera multitemporal.

El valor promedio total del primer sector se encuentra en -0.027 y el promedio total para el segundo sector registra un valor de -0.024 en los cambios de la sinuosidad. La tendencia general para los dos sectores indica pérdida de sinuosidad con valores muy aproximados entre sí, a diferencia de los promedios evidenciados en el periodo de régimen natural. En la **Tabla 5-3** y **Tabla 5-4** se encuentran las estadísticas de los sectores analizados.

Para el primer sector, se encuentran valores de menor magnitud en su dinámica de ganancia y pérdida. De esta manera en los valores máximos registrados en este periodo tiempo no se evidencian cambios que superen un valor de 1.3 como el límite de la condición de cambio bajo (máximo cambio registrado 0.971). Las condiciones mínimas comprenden

el mayor cambio con respecto a los valores sin control del embalse, los picos de pérdida de sinuosidad se encuentran por debajo de 1, mientras en el periodo anterior se registran cambios de categorías moderadas y altas para más del 50% de los periodos analizados. Sin embargo en el periodo de 2007 – 2011, existe un registro de pérdida de sinuosidad con categoría alta, presente en el K69+500 + K70+500.

Los valores de desviación (DESV) en las medidas se presentan en tendencia más bajas a los registrados en el periodo anterior, por presentar menor diferencia en los datos mínimos y máximos en los periodos analizados.

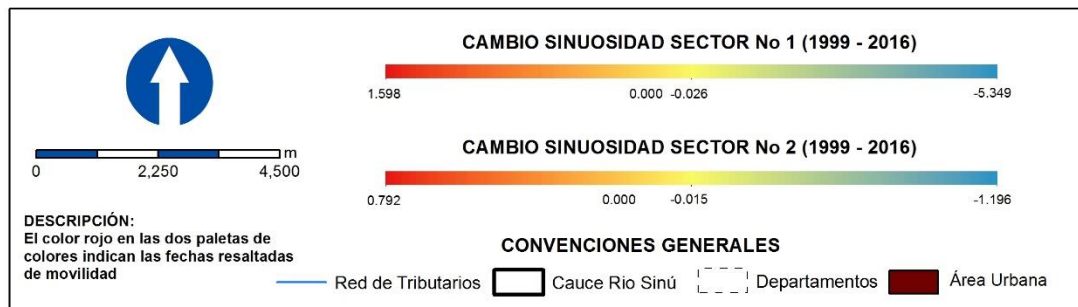
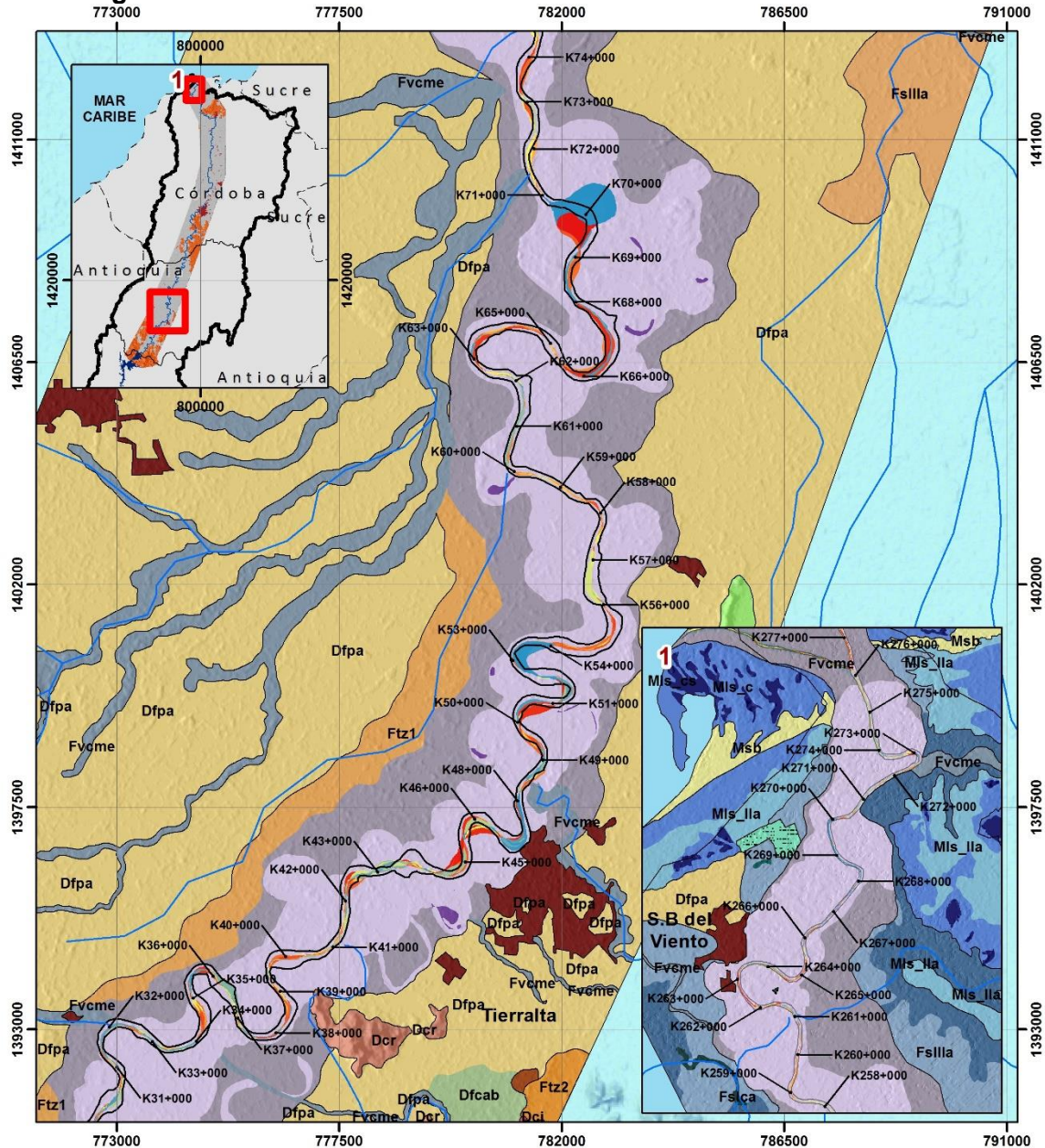
Tabla 5-3 Estadísticas cambio de sinuosidad periodo 1999 – 2016 Sector No 1
(K0+000 – K80+000)

PERIODO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV
1999 - 2001	0.035	0.187	-0.119	0.055
2001 - 2002	-0.003	0.288	-0.192	0.076
2002 - 2003	-0.007	0.194	-0.292	0.082
2003 – 2004	-0.002	0.124	-0.106	0.030
2004 – 2005	-0.039	0.262	-0.341	0.200
2005 – 2007	-0.069	0.628	-0.633	0.351
2007 – 2011	-0.023	0.611	-3.992	0.319
2011 – 2013	-0.057	0.713	-0.521	0.162
2013 – 2015	-0.121	0.971	-0.780	0.184
2015 – 2016	0.018	0.947	-0.161	0.107
PROMEDIO MULTITEMPORAL	-0.027	0.492	-0.714	0.157

Fuente: Autor

El segundo sector, registra valores de desviación variables entre sus periodos de análisis, con valores superiores a los registrados en el periodo de condiciones naturales, pero no superiores al máximo de ese mismo periodo. En este sector se destaca el periodo de 2013 a 2015 con su promedio más elevado en función de disminuir la sinuosidad, al igual que registra el valor máximo y desviación máxima de todos los periodos. Este periodo en particular ubica sus cambios en el K269+000 como se observa en la **Figura 5-5**, donde un lóbulo visible desaparece para establecer el cauce actual.

Figura 5-5 Picos de Cambio de Sinuosidad en el Periodo de 1999 - 2016



Fuente: Autor

Tabla 5-4 Estadísticas cambio de sinuosidad periodo 1999 – 2016 Sector No 2
(K80+000 – K280+100)

PERIODO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV
2002 - 2007	-0.001	0.241	-0.673	0.061
2007 - 2011	-0.002	0.524	-3.992	0.095
2011 - 2013	-0.038	0.724	-0.677	0.128
2013 - 2015	-0.076	0.784	-0.741	0.170
2015 - 2016	-0.005	0.078	-0.110	0.019
PROMEDIO MULTITEMPORAL	-0.024	0.470	-1.239	0.095

Fuente: Autor

5.2 Dinámica de Orillas

El comportamiento del sistema fluvial del río Sinú responde a la dinámica horizontal de sus orillas, con procesos de agradación y degradación de los sedimentos de menor constitución, que se encuentran sobre el lecho de divagación. La variación y medida de estos procesos fueron determinadas para cada periodo de medición, constituyendo un análisis multitemporal de estas condiciones. Este capítulo muestra la variabilidad en las orillas interpretadas desde 1945 hasta el 2016 y sus diferentes cambios antes y después de la operación del embalse de Urra. Se encuentra soportado bajo un algoritmo de comparación de orillas construido en ArcGIS (10.4.1) y sus módulos Arcpy y Python (Anexo herramientas geoespaciales), que genero el cálculo de área desplazada en sus diferentes procesos de agradación y degradación.

La variación de las orillas se relaciona con los cambios de sedimentos a través de su cauce activo y la agradación o degradación que se hacen de estos mismos. Se obtuvieron las tasas de cambio anual en cada periodo analizado, permitiendo la cuantificación de sus cambios y el espacio utilizado por dicha dinámica. Se marca de nuevo el primer tramo identificado en el análisis anterior, que comprende entre la salida del embalse y el K80+000 (inicio de la llanuras de inundación, ver **Figura 5-6**), su verdadero alcance se observa con la dinámica de sus orillas con registros de variabilidad a lado y lado del cauce actual que

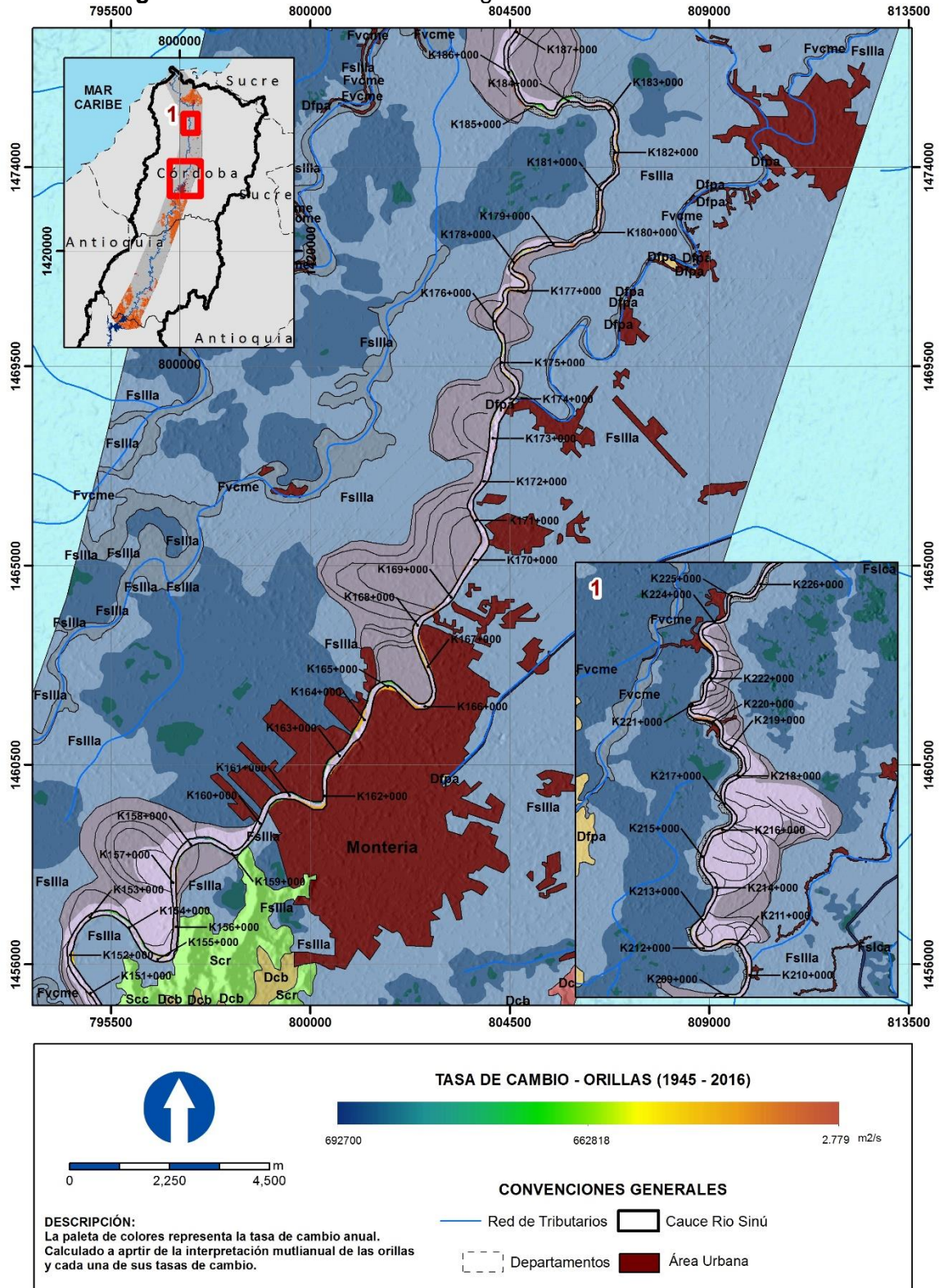
superan los dos kilómetros, ante de llegar al centro poblado de Tierralta (1981 – 1988). El alcance de la movilidad de las orillas, aguas arriba de Tierralta se mantiene entre 1 – 2 km de lado a lado en los rastros de los cauces activos registrados. Para el final de este tramo (hasta el K80+000), la movilidad de las orillas se mantiene en un rango de 1 Km.

Para el segundo tramo del área de estudio, terminando en la formación del delta del río Sinú, los alcances son menores con una movilidad reducida en control estructural (formaciones rocosas) y por los principales centros poblados (**Figura 5-7**), su alcance no supera los 600m entre los rastros de los cauces trazados desde 1973 hasta el 2016. Con este análisis no se identificó en este periodo de tiempo las dinámicas de los cauces evidenciados en el K211+000 – K218+000, antes de llegar a la población de Lorica, donde el lecho de divagación y el lecho mayor se abren un lóbulo importante sobre la llanura de inundación, volviéndose a estrechar al llegar a los centros poblados de Palo de Agua y Nariño.

El proceso de agradación de las orillas comprende el depósito de sedimentos a través del flujo y los movimientos de las bancas del cauce activo (**Figura 5-8**). Las mayores superficies de movilidad se obtuvieron para los periodos de 1945 a 1999, con un valor de 325.000 m²/ año. Como el movimiento de las bancas es simultaneo para su movilidad natural, el patrón de degradación resulta similar (**Figura 5-10**), con valor medio menor de 225 m²/año. Se conserva el patrón claramente identificado de los primeros 80Km en esta investigación. Sin embargo en el segundo tramo del área de estudio se identificó un incremento de la degradación de las orillas en el periodo después de la operación del embalse (1999 – 2016, **Figura 5-10**) que supera el proceso de agradación.

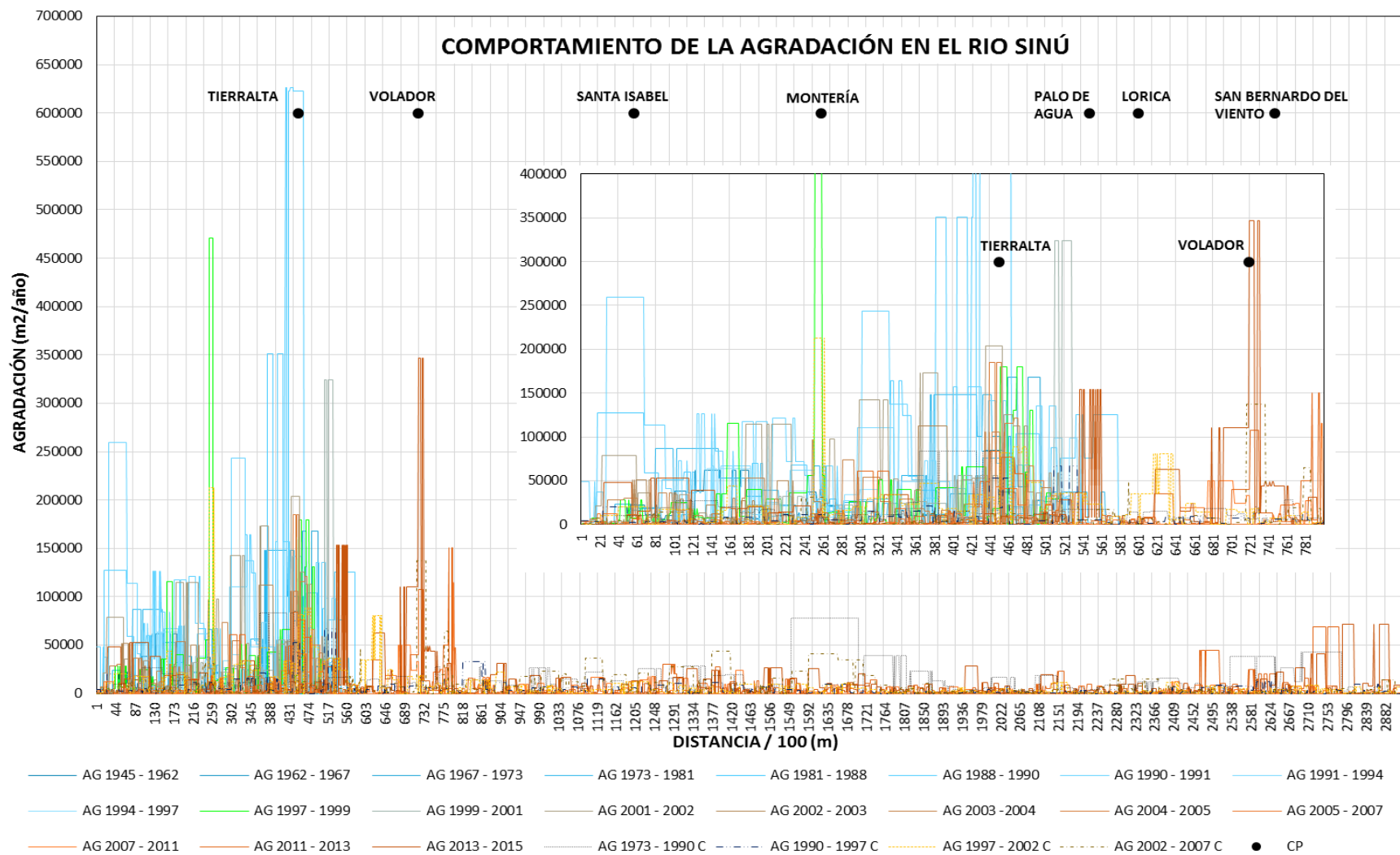
Durante el movimiento de las orillas, se puede presentar un fenómeno de agradación de manera contraria al proceso de degradación. Esto sucede cuando la posición inicial de la orilla que está degradando es alcanzada por la orilla que agrada, correlacionado por un fuerte movimiento lateral, en esta investigación ese proceso se denominó balance, presentado en la **Figura 5-9**, la cual presenta un buen identificador de procesos intermedios en los tramos ya identificados. Para el primer tramo se observa un menor patrón de movilidad entre los centros poblados de Tierralta y Volador, ya que su dinámica

Figura 5-7 Dinámica de Orillas Segundo Tramo - Área de Estudio



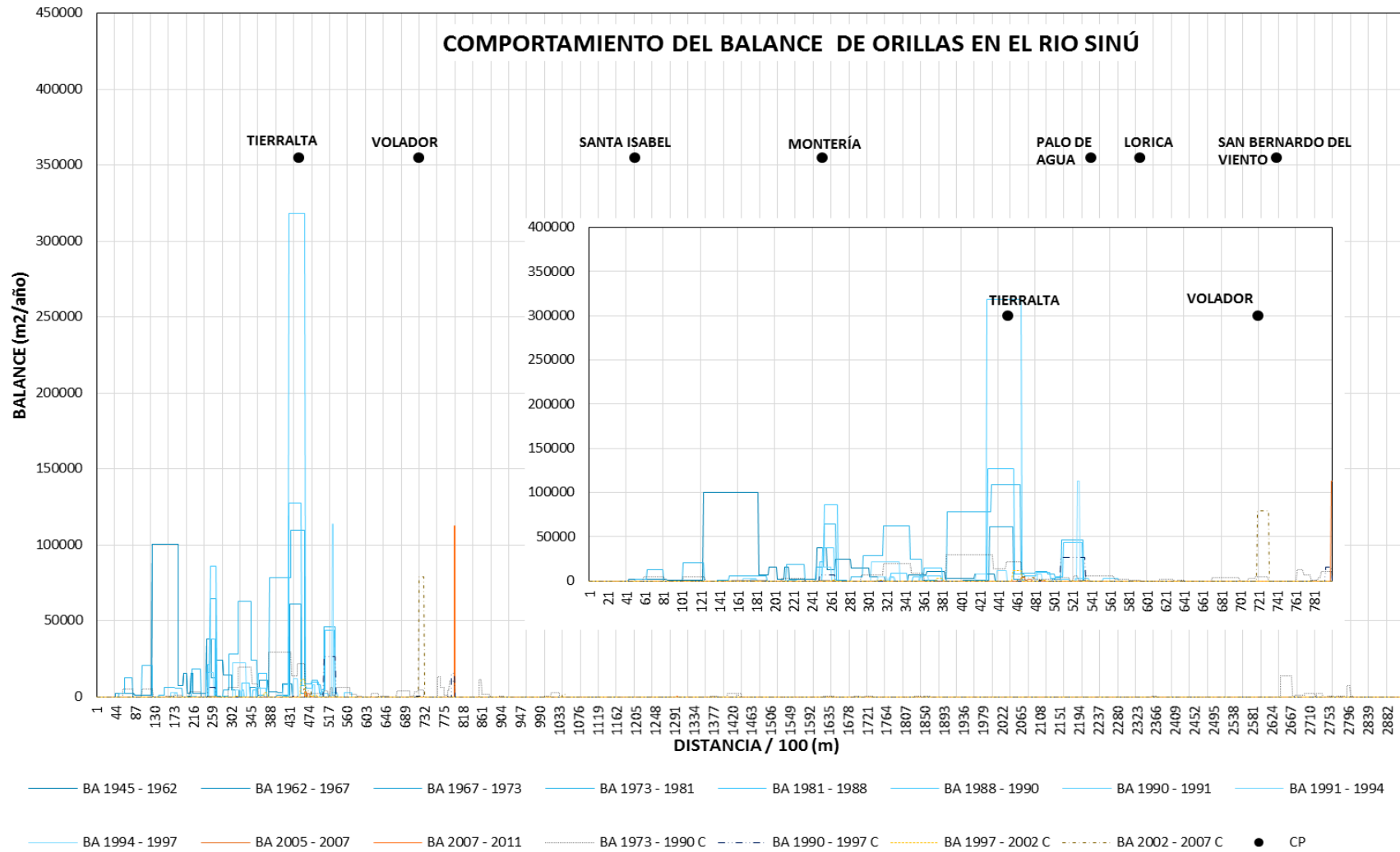
Fuente: Auto

Figura 5-8 Agradación Multitemporal Rio Sinú



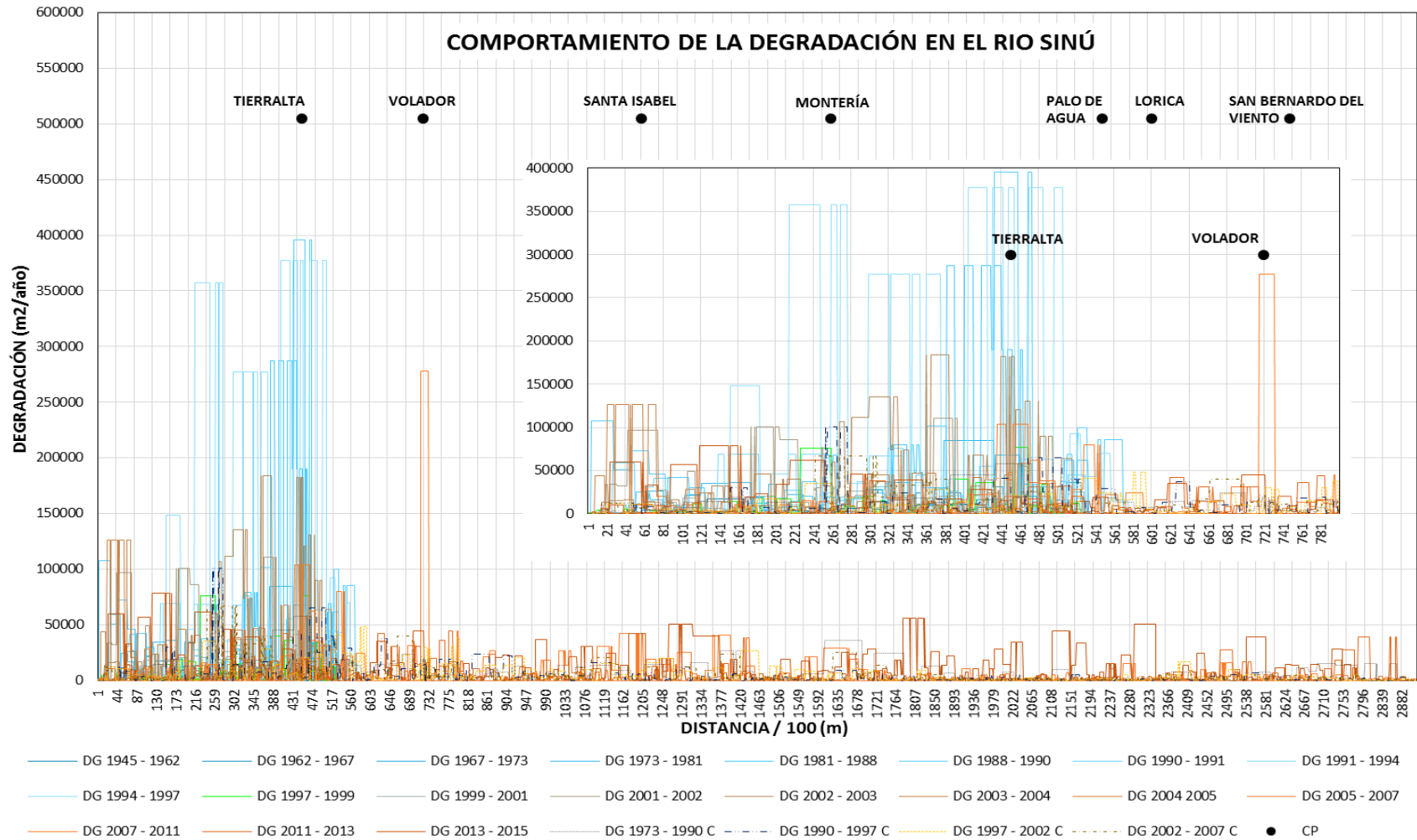
Fuente: Autor

Figura 5-9 Balance Orillas Multitemporal Rio Sinú



Fuente: Autor

Figura 5-10 Degradación Orillas Multitemporal Río Sinú



Fuente: Autor

es alta, pero no se encuentra un fuerte predominio de balance por movilidad entre sus orillas. Para el segundo sector cerca de la ciudad de San Bernardo del Viento, la actividad de movilidad de las bancas se intensifica, apareciendo valores de balance entre el movimiento de las orillas. Para este último sector cerca al delta del río Sinú se correlaciona mayor agradación (**Figura 5-8**) como patrón dominante a la degradación (**Figura 5-10**).

La definición del movimiento de las orilla permitió identificar y valorar los cambios cuantitativos con los procesos de transporte de sedimentos, resaltando la menor resistencia y compactación antes identificada en el lecho de vegas de divagación. La mayor resistencia de los materiales asociados a los diques aluviales y llanuras de inundación controlan la dinámica del cauce activo, como se observa en la tendencia del segundo tramo hasta el delta.

5.2.1 Cambio de Orillas en el periodo 1945 - 1999

En este periodo se identificaron las mayores tasas de cambio anuales, en las **Tabla 5-5** y **Tabla 5-6** se relacionan los valores de tasa anual para cada uno de los tramos identificados respectivamente a través de la investigación.

En el primer sector, el proceso de agradación sobre el río Sinú es mayor en los 17 años iniciales de análisis (1945 -1962), con una degradación menor, con lo que se puede identificar procesos sobre este sector de estrechamiento del cauce activo para este periodo. Este mismo patrón se observa en el periodo de 1988 a 1990 donde se presenta la mayor tasa promedio de agradación, correspondiente con el proceso de cambio más fuerte y evidente al sur de Tierralta (**Figura 5-6**), debido a la contracción de las bancas. Para el periodo de 1994 a 1997 se destaca la mayor tasa de degradación a la de agradación, iniciando el periodo de construcción del embalse de URRRA esto se observa de 1997 a 1999 donde no se registra el proceso denominado balance, el cual relaciona fuertes movimientos entre las orillas del cauce activo.

El proceso de balance se determinó como un indicador de cambio fuerte, para las orillas que logran sobreponerse una a la otra durante su dinámica, de esta manera su valor muy ligado al proceso de agradación, muestra como la tasa de agradación y degradación

disminuye a partir de la construcción del embalse desde 1997 (entrada en operación finales de 1999).

Tabla 5-5 Estadísticas cambio de orillas (m²/año) periodo 1945 – 1999 Sector No 1
(K0+000 – K80+00)

PERIODO	PROCESO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV	CV
1945 - 1962	AGRADACIÓN	11,553.98	61,972.80	0.18	13,627.42	117.95
	BALANCE	13,435.02	100,288.70	0.98	23,042.61	171.51
	DEGRADACIÓN	4,513.71	17,260.13	0.00	4,247.98	94.11
1962 - 1967	AGRADACIÓN	1,068.23	5,073.22	4.65	1,834.01	171.69
	BALANCE	34.88	34.88	34.88	0.00	0.00
	DEGRADACIÓN	4,971.50	23,847.12	0.21	8,068.32	162.29
1967 - 1973	AGRADACIÓN	26,583.51	167,653.48	19.47	47,099.27	177.17
	BALANCE	16,090.64	61,160.12	159.00	30,058.72	186.81
	DEGRADACIÓN	15,941.18	59,136.66	0.50	16,311.20	102.32
1973 - 1981	AGRADACIÓN	26,793.48	148,357.98	0.00	32,372.01	120.82
	BALANCE	23,106.68	109,376.27	271.30	29,317.81	126.88
	DEGRADACIÓN	17,424.13	84,460.84	0.12	18,877.17	108.34
1981 - 1988	AGRADACIÓN	5,544.38	75,563.36	0.00	11,209.49	202.18
	BALANCE	22,455.59	127,259.74	0.04	36,777.20	163.78
	DEGRADACIÓN	13,393.23	286,863.69	0.00	38,725.83	289.14
1988 - 1990	AGRADACIÓN	43,117.77	626,104.88	3.33	111,926.71	259.58
	BALANCE	52,924.86	318,417.97	1,815.87	117,796.65	222.57
	DEGRADACIÓN	21,216.96	395,662.88	0.24	50,526.28	238.14
1990 - 1991	AGRADACIÓN	28,761.57	259,872.70	0.02	49,163.42	170.93
	BALANCE	4,557.76	4,557.76	4,557.76	0.00	0.00
	DEGRADACIÓN	6,332.78	75,954.25	0.09	12,307.90	194.35
1991 - 1994	AGRADACIÓN	15,059.08	141,646.38	0.02	27,735.75	184.18
	BALANCE	6,839.16	22,008.53	5.27	6,568.78	96.05
	DEGRADACIÓN	9,950.17	68,830.94	0.00	17,614.06	177.02
1994 - 1997	AGRADACIÓN	8,758.55	98,832.23	0.40	18,200.03	207.80
	BALANCE	30,951.39	113,372.73	2,083.14	54,956.60	177.56
	DEGRADACIÓN	36,213.68	377,580.28	0.15	83,301.48	230.03
1997 - 1999	AGRADACIÓN	17,594.12	470,602.78	0.24	52,931.75	300.85
	DEGRADACIÓN	5,544.78	76,323.19	0.00	12,290.04	221.65
PROMEDIO		16,921.820	150,968.154	308.891	31,961.672	

Fuente: Autor

El sector dos, se caracteriza por una movilidad notoriamente reducida con respecto a los primeros kilómetros del área de estudio, su tasa promedio de movilidad general se encuentra 1751.8 m²/año, mientras la anterior se encuentra en 16921.8 m²/año. Sin embargo se conserva la evidencia del patrón de mayor movilidad en condiciones naturales (1973 - 1990) y su reducción durante la planificación, construcción y operación del embalse (se registra a partir de 1990, por los periodos largos de comparación).

La presencia del proceso de balance, evidencia movimiento de orillas importantes, que se reducen durante la aparición del embalse.

Tabla 5-6 Estadísticas cambio de orillas (m²/anual) periodo 1945 – 1999 Sector No 2
(K80+000 – K280+100)

PERIODO	PROCESO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV	CV
1973 - 1990	AGRADACIÓN	4744.79653	77991.125	0.0018445	9375.47907	197.59
	BALANCE	1946.51425	13322.0215	2.82022905	3721.90674	191.21
	DEGRADACIÓN	2574.02894	35865.1016	0.07302582	4989.92122	193.86
1990 - 1997	AGRADACIÓN	140.216613	251.217941	29.2152843	156.979584	111.96
	BALANCE	1127.89656	14990.0977	0.00417866	2145.53652	190.22
	DEGRADACIÓN	992.826816	23576.3555	5.0094E-05	2269.14834	228.55
1997 - 2002	AGRADACIÓN	1262.31865	21694.9512	0.0018354	2425.33362	192.13
	DEGRADACIÓN	1225.45886	26576.3027	0.00048483	2824.3946	230.48
PROMEDIO		1,751.757	26,783.397	4.015	3,488.587	

Fuente: Autor

5.2.2 Cambio de Orillas en el Periodo 1999 - 2016

Como ya se ha presentado en las evidencias anteriores, este periodo de movilidad y cambio en orillas es reducido y controlado por la operación del embalse, sin embargo se mantienen los patrones de sinuosidad (acápite anterior), con procesos de agradación y degradación activa con tasas que permiten mantener un cauce activo más fijo en el tiempo. Los procesos más fuertes de movilidad registran e identifican procesos de balance (**Tabla**

5-7) que presentan tasas reducidas significativamente a los procesos que se registran en condiciones naturales.

Tabla 5-7 Estadísticas cambio de orillas (m²/año) periodo 1999 – 2016 Sector No 1 (K0+000 – K80+00)

PERIODO	PROCESO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV	CV
1999 - 2001	AGRADACIÓN	7,935.06	324,357.91	0.27	31,189.49	393.06
	DEGRADACIÓN	4,095.83	25,669.91	3.55	5,963.01	145.59
2001 - 2002	AGRADACIÓN	19,720.84	204,101.16	0.10	38,840.65	196.95
	BALANCE	10.10	10.10	10.10	0.00	0.00
	DEGRADACIÓN	13,942.06	110,467.12	0.04	22,819.96	163.68
2002 - 2003	AGRADACIÓN	7,027.74	112,000.16	4.46	15,383.77	218.90
	DEGRADACIÓN	15,669.11	183,864.41	0.03	34,894.43	222.70
2003 - 2004	AGRADACIÓN	6,591.78	105,876.18	14.03	14,127.63	214.32
	DEGRADACIÓN	6,291.61	126,233.34	0.62	14,494.44	230.38
2004 - 2005	AGRADACIÓN	25,689.20	185,072.59	9.70	50,380.75	196.12
	DEGRADACIÓN	6,409.45	48,402.01	14.64	11,379.80	177.55
2005 - 2007	AGRADACIÓN	18,035.09	49,975.42	5.04	19,713.26	109.30
	BALANCE	2,730.24	3,273.19	2,187.29	767.84	28.12
	DEGRADACIÓN	20,911.23	62,061.78	1.81	23,120.04	110.56
2007 - 2011	AGRADACIÓN	2,991.14	115,052.10	0.03	10,035.53	335.51
	BALANCE	37,523.84	112,509.11	0.03	64,939.16	173.06
	DEGRADACIÓN	6,093.75	277,585.91	0.03	22,924.24	376.19
2011 - 2013	AGRADACIÓN	5,569.59	150,322.02	0.02	16,270.81	292.14
	DEGRADACIÓN	3,455.30	43,975.49	0.03	7,488.91	216.74
2013 - 2015	AGRADACIÓN	8,059.55	346,835.63	0.00	30,844.72	382.71
	DEGRADACIÓN	5,757.48	78,260.13	0.01	12,258.78	212.92
2015 - 2016	AGRADACIÓN	8,369.29	115,250.05	0.05	18,938.98	226.29
	DEGRADACIÓN	7,529.61	692,699.63	0.01	47,803.03	634.87
PROMEDIO		10452.561	151037.188	97.909	22373.010	

Fuente: Autor

En el sector dos, para las condiciones con operación del embalse se observa un incremento en las tasas de degradación comparadas con su comportamiento como sistema natural (**Tabla 5-8**), a partir del periodo de análisis 2007 – 2011, acompañado de

registros de procesos de balance muy bajos y nulos para los últimos periodos, indicador de movilidad menor al ancho de su banca.

Tabla 5-8 Estadísticas cambio de orillas (m²/anual) periodo 1999 – 2016 Sector No 1 (K80+000 – K280+100)

PERIODO	PROCESO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV	CV
2002 - 2007	AGRADACIÓN	1519.6416	43815.1133	0.00160955	4488.63997	295.37
	BALANCE	1580.96997	1580.96997	1580.96997	0	0.00
	DEGRADACIÓN	936.132051	25350.5391	0.00086851	2314.61474	247.25
2007 - 2011	AGRADACIÓN	1092.51991	23728.4258	4.6856E-05	2453.71542	224.59
	BALANCE	213.031549	417.684845	8.37825298	289.423467	135.86
	DEGRADACIÓN	1622.43356	41786.8789	0.00155829	4250.34704	261.97
2011 - 2013	AGRADACIÓN	1928.98703	68919.8594	0.0007214	4599.2074	238.43
	DEGRADACIÓN	1179.07051	38707.1484	0.00123754	3201.66513	271.54
2013 - 2015	AGRADACIÓN	2474.82522	71659.6484	0.00212479	5900.39112	238.42
	DEGRADACIÓN	3791.69168	55830.5547	0.00156082	8015.82768	211.41
2015 - 2016	AGRADACIÓN	7560.75691	177116.313	0.00078545	17797.5244	235.39
	DEGRADACIÓN	4432.54287	112225.156	0.00152751	10083.4195	227.49
PROMEDIO		2361.050	55094.858	132.447	5282.898	

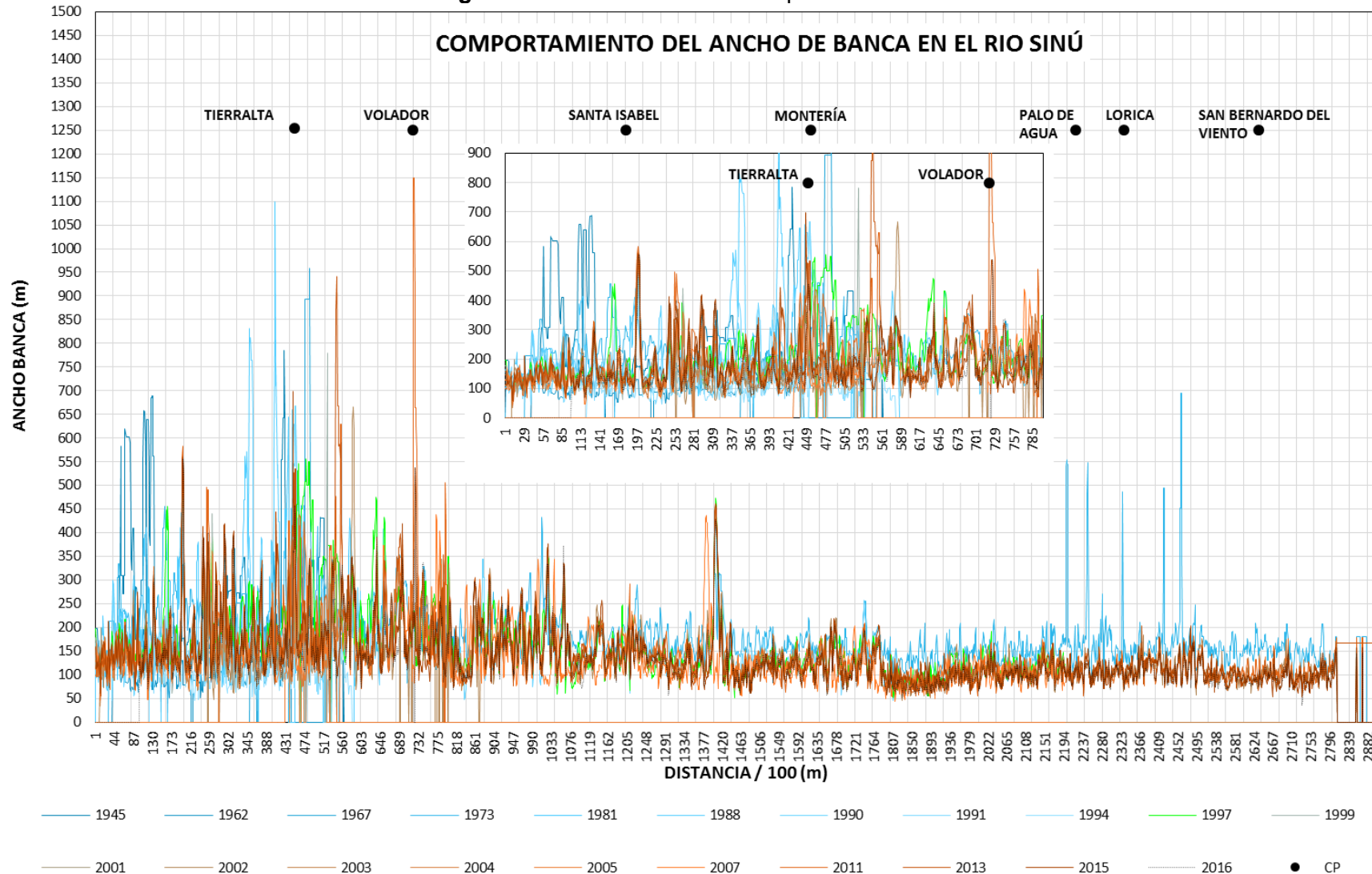
Fuente: Autor

Las evidencias de movilidad de orillas, complementan los resultados de sinuosidad obtenidos, otorgando medidas cuantitativas de los cambios. De manera inversa la sinuosidad apoya la forma del cauce a medida que se desarrollan los procesos de agradación y degradación.

5.3 Morfometría del Cauce – Variabilidad del ancho de banca

El ancho de banca responde al patrón identificado en las propiedades anteriores, con un cauce más ancho en los primeros 80 Km de recorrido desde el embalse. En la **Figura 5-11** se presenta el comportamiento multitemporal del ancho de banca.

Figura 5-11 Variabilidad multitemporal de bancas



Fuente: Autor

Sin embargo en su comportamiento longitudinal, a la altura del K138+200 se identifica la formación de una isla permanente, que forma un pico constante a través de todo el análisis multitemporal.

El comportamiento del cauce para el periodo de 1945 a 1999 refleja anchos con valores que superan los 600m, debido a la variabilidad activa de sus orillas. En las condiciones de operación de embalse (1999 - 2016), se redujo la dinámica y media de estos anchos de bancas alrededor de los 300m para las zonas de mayor movilidad. Esto se puede relacionar con las **Figura 5-6** y **Figura 5-7**.

Un cambio regional en el cauce activo se observa en el periodo de 1973 donde las bancas presentan un trazado que supera en promedio entre 20 y 40m el trazado de las bancas posteriores. Este patrón es más observable hacia la segunda sección del área de estudio, indicando una modificación además de horizontal en la morfometría, en la curva base de fondo para el mismo flujo de caudal (No se tiene evidencia topográfica de este año).

La vinculación del comportamiento del ancho de banca en los análisis del sistema fluvial permite iniciar el paso a la escala más puntual y detallada del sistema, que parte del comportamiento propio del cauce activo pasando al flujo local y transporte de sedimentos.