

2. Área de Estudio

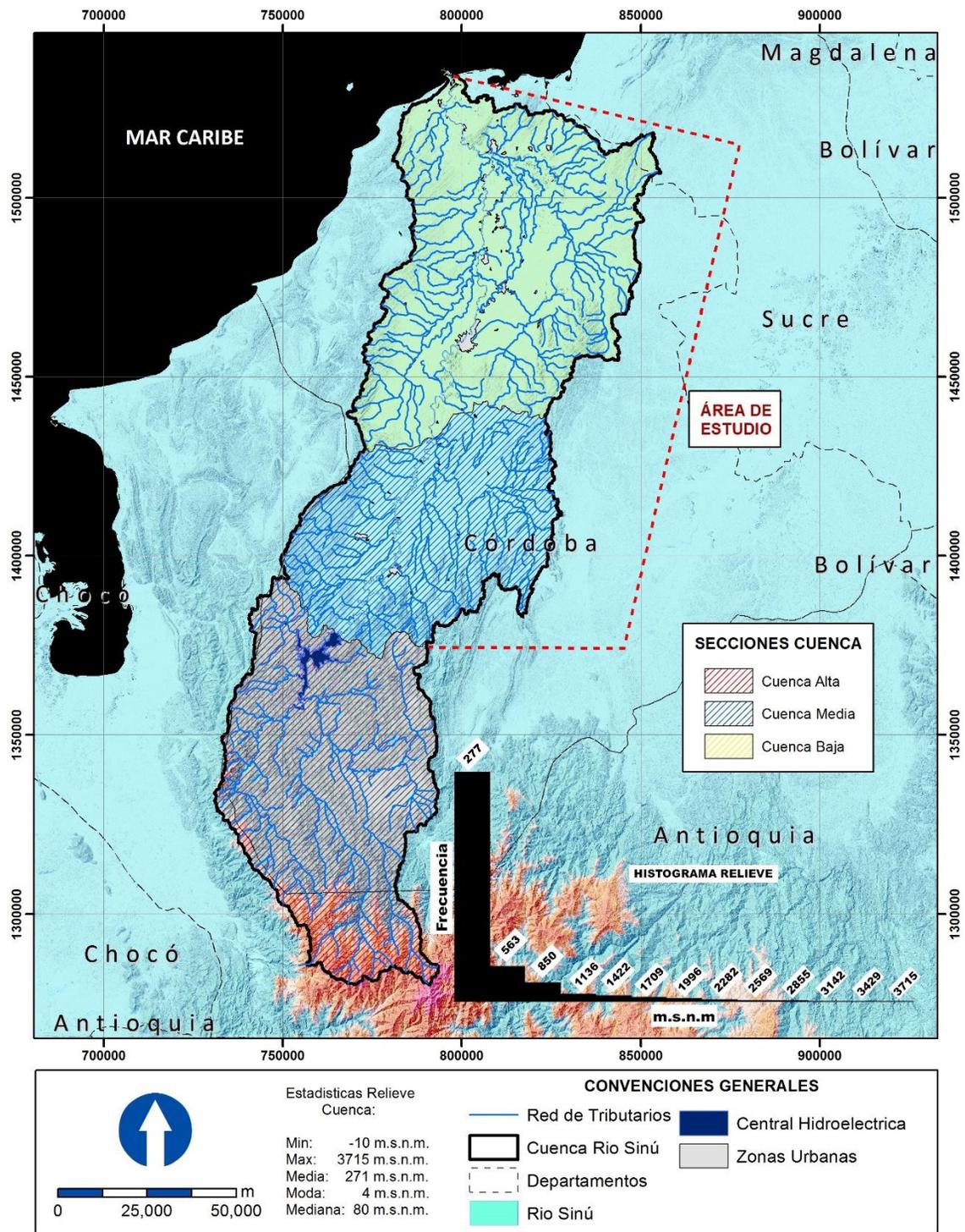
En este capítulo se presentan las condiciones generales del área de estudio, su ubicación, recorrido y estructura territorial. Se acompaña con una referencia cartográfica plegable que recopila el recorrido del área de estudio y su delimitación mediante el trabajo de campo realizado en el cauce activo, para la discriminación detallada del hidrosistema se relaciona el abscisado central de la corriente con K0+000 en la central hidroeléctrica.

El área de estudio se encuentra limitada a partir de la salida de la central hidroeléctrica URRA, hasta la formación de su delta, entregando sus aguas en el mar caribe. Siguiendo el eje central del cauce activo para el año 2016 se obtiene una longitud de: 284.312 km. Abarcando su estructura longitudinal, horizontal y vertical como un solo hidrosistema.

El Río Sinú nace en el nudo de paramillo a una altura de 3400 m.s.n.m. en la cordillera occidental colombiana, con una longitud aproximada de 350 km (Acosta, 2013). Acompañado en su nacimiento por el río San Jorge (**Figura 2-1**). La parte alta del río, anterior a la central hidroeléctrica de URRA, se caracteriza por un régimen montañoso y de mayor pendiente, cobijado por el área protegida: Parque Nacional Natural Paramillo (Martínez *et al*, 2005) el cual permite una cuenca más virgen, aguas más claras y con menor contaminación a las encontradas aguas abajo por las actividades económicas de ganadería, agricultura y desechos urbanos (Acosta, 2013).

La sección media del río Sinú se establece a partir de la central hidroeléctrica hasta mediados del centro poblado Nueva Colombia (ver referencia cartográfica del área de estudio hasta K115+0.000), donde la dinámica horizontal del cauce activo es mayor y de menor profundidad media.

Figura 2-1 Localización General - Secciones Cuenca



Fuente: Autor

Las condiciones para la parte baja del área de estudio, presenta una mayor densidad de centros poblados a borde de la banca del cauce activo (Acosta, 2013), con implicaciones sobre la gestión territorial del hidrosistema, como la contaminación directa por los centros poblados y la misma vulnerabilidad a la dinámica natural del río. San Bernardo del viento es la última población identificada sobre el cauce activo, asociada a la formación del delta, en el k269+0.000.

El comportamiento general de la cuenca hidrográfica del Río Sinú, establece en su mayoría condiciones bajas, inferiores a los 277 m.s.n.m. característica que es en su mayoría establecida en la cuenca media y baja, área de estudio de la presente investigación. Las alturas superiores a 1000 m.s.n.m. se concentran en la cuenca alta. La totalidad del área de estudio se encuentra en jurisdicción del departamento de Córdoba, mientras que parte de la cuenca alta en su nacimiento se incorporan en el departamento de Antioquia.

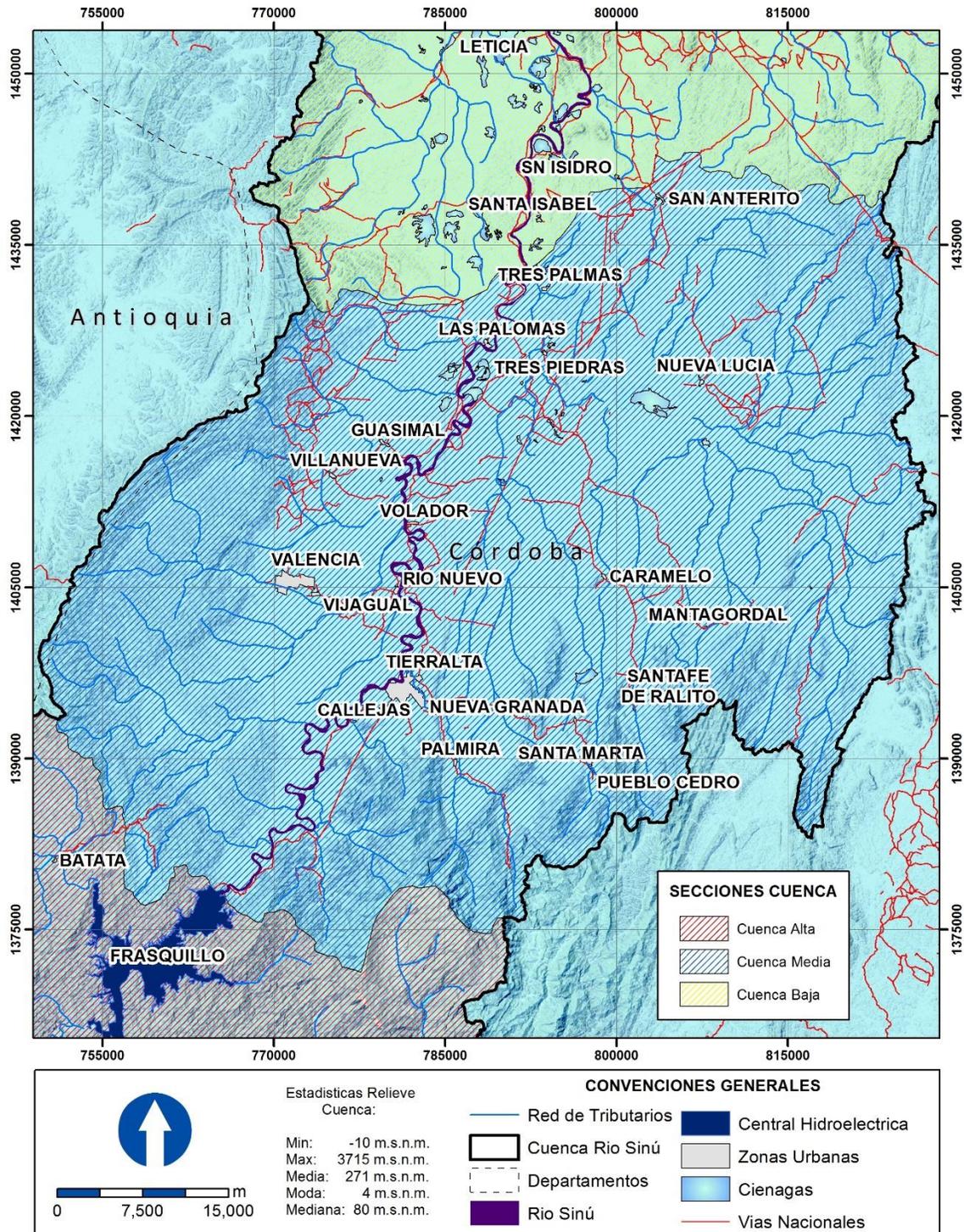
Los centros poblados de mayor tamaño se concentran sobre la cuenca media (Tierralta) y la cuenca baja (Montería capital del departamento de Córdoba), por su parte la cuenca alta no presenta un centro poblado de gran tamaño, pero su asociación con el Parque Nacional Natural Paramillo alberga en sobre posición el territorio de la comunidad indígena Embera Katio, con una población de 2266 individuos de los dos sexos para el censo realizado por el DANE en 2004 (SIIC, 2007), sobre los resguardos mayores en el alto Sinú.

2.1 Cuenca Media y Baja del Río Sinú

A partir de la salida del cauce activo de la central hidroeléctrica (K0+000 – ver referencia cartográfica), se registran los procesos de interés para la investigación, con los registros de caudales continuos diarios que la central maneja. A través del recorrido del cauce activo se encuentra con centros poblados asociados al hidrosistema, que dependen de este en su proceso productivo, social y ambiental.

A través de la cuenca media se identifican las poblaciones de Tierralta (la más grande e importante en el desarrollo del río Sinú en la cuenca media), Río Nuevo, Volador, Las

Figura 2-2 Cuenca Media - Área de Estudio



Fuente: Autor

Palomas y Tres Palmas (**Figura 2-2**) asociadas sobre el borde de la banca del cauce activo, las cuales asumen y reciben las condiciones del hidrosistema a través de todo su régimen. Sin embargo no son las únicas poblaciones que afectan de manera directa la cuenca media, destacando a Valencia como el centro poblado de mayor tamaño después de Tierralta.

Se evidencia un cambio en el patrón de la red hídrica finalizando la cuenca media del Río Sinú, caracterizada por la aparición del sistema cenagoso que se desarrolla en condiciones de baja pendiente y una fuerte relación horizontal entre las aguas del cauce activo y estos sistemas de bajos y cunetas.

El inicio de la cuenca baja del Río Sinú (**Figura 2-3**) se encuentra bien representada por el marcado aumento y desarrollo del sistema o complejo de ciénagas, que en su patrón regional evidencian un comportamiento sedimentológico de formación (Ver capítulo de geología).

La alta densidad de ciénagas y de sistemas de caños coincide con la mayor densidad de centros poblados asociados a las bancas directas del cauce activo, destacando como la más grande y la capital del departamento de Córdoba, la ciudad de Montería. A partir de esta misma (K161+000), se localizan pequeños centros poblados con dependencia económica directa del hidrosistema fluvial y a su ciudad principal, este patrón permanece aguas abajo hasta encontrar el pueblo de Lorica, con tamaño considerable y punto de intercambio del sistema fluvial al sistema deltaico de sedimentación del río Sinú.

El patrón de drenaje regional puede pasar en algunas partes de la cuenca baja de paralelo en los extremos de la cuenca sedimentaria, a dendríticos y sinuosos sobre la formación de ciénagas que acompañan el cauce activo.

El movimiento vial a través de una densa red de caminos que aumentan a medida que recorremos de aguas arriba abajo, son las principales fuentes de comunicación, sin embargo se destaca el uso fluvial del cauce activo del río Sinú, como transporte privado

Figura 2-3 Cuenca Baja - Área de Estudio



Fuente: Autor

de mercancía como productos de madera, ganadería local y minería artesanal de extracción de arena del lecho.

El recorrido del cauce activo del Río Sinú en el área de estudio, muestra un gradiente de cambios en el comportamiento hidrológico e hidráulico del río, iniciando en la salida de la central hidroeléctrica en donde los flujos son más controlados y el cauce estable, aguas abajo en los primeros 10Km, los movimientos sinuosos se encuentran controlados por el final del sistema montañoso que caracterizan la cuenca alta.

2.2 Condiciones Climáticas Generales

La caracterización climática presentada, se establece a partir de los valores medios mensuales multianuales de las estaciones oficiales IDEAM presentes en el área de la cuenca media y baja. Se utilizaron 100 estaciones entre pluviométricas, climatológicas ordinarias, principales y agrologicas para la generación de estas superficies climáticas.

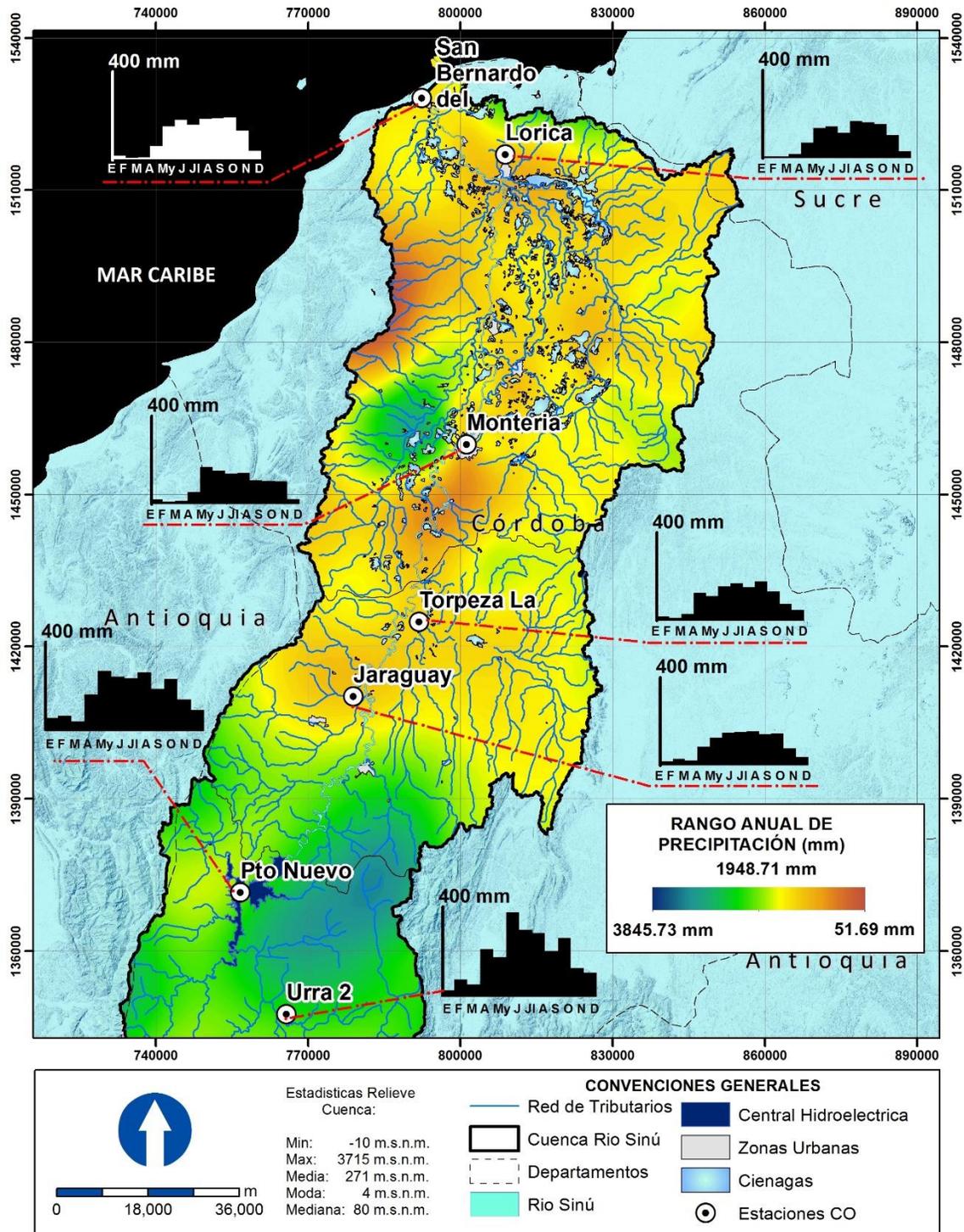
Para los análisis locales de tendencia climática se precisaron las estaciones más cercanas al cauce activo para indicar el régimen medio mensual multianual, como se presentan en los siguientes acápite.

2.2.1 Régimen de Precipitación

El rango anual de precipitación se encuentra entre los 52mm y 3195mm (**Figura 2-4**). Las zonas de más baja precipitación se localizan sobre la transición entre las cuencas media y baja y en el sector noroccidental de la cuenca baja cerca de su divisoria de aguas. Las condiciones de mayor precipitación se localizan sobre los puntos más altos y montañoso en asociación con la central hidroeléctrica, sector sur oriental de la cuenca media.

En la **Figura 2-4** se presenta la transición del régimen de precipitación a través del cauce activo del Río Sinú, con siete estaciones que representan esta variabilidad. El régimen en

Figura 2-4 Comportamiento Anual Multianual de Precipitación (mm)



Fuente: Autor

el total del área de influencia y su cuenca alta es monomodal con el mayor periodo húmedo en la parte alta en los meses de junio, julio y agosto cerca a los 400mm mensuales.

La cantidad de precipitación mensual multianual promedio disminuye a medida que se avanza por el cauce activo en dirección a su desembocadura. De esta manera pasada la descarga por la central hidroeléctrica la tendencia monomodal disminuye en aproximadamente la mitad (200mm) con lo observado sobre la cuenca alta. Se puede resaltar como el pico de máximas lluvias en el pico monomodal en montería se encuentra marcado sobre el mes de mayo, asociado a una región de fuerte precipitación media mensual, actividad que puede atribuir los fuertes eventos de encharcamiento e inundaciones en esta región del área de estudio.

2.2.2 Régimen de Temperaturas

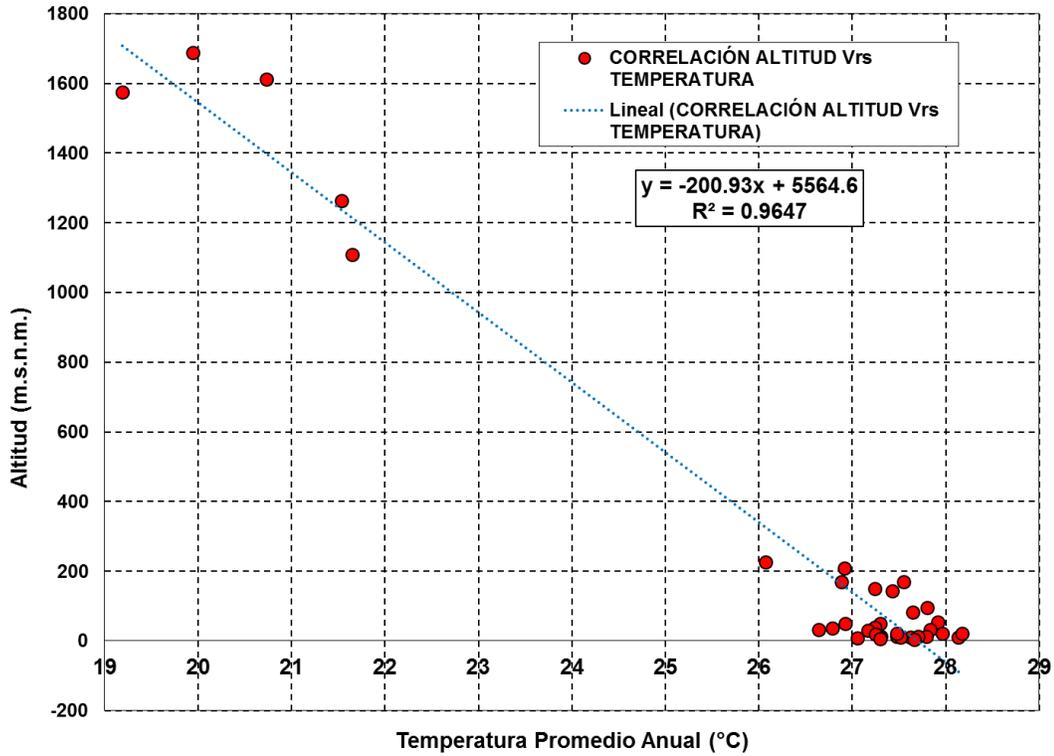
La caracterización de temperaturas se obtuvo de la correlación lineal entre la altitud sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y la temperatura media (°C) anual del área de estudio (Strahler & Strahler 1994), con un resultado de linealidad que supera el 0.9 en su índice de r^2 (**Figura 2-5**).

El rango de temperatura para el área de estudio oscila entre los 21.30 °C y 27.71 °C. Donde las menores temperaturas se asocian a la formación montañosa de la cuenca alta he inicio de la cuenca media que hace parte del área de estudio (**Figura 2-6**). En la cuenca media ya se encuentran temperaturas que se presentan por el orden de los 27.17 °C, con una clara tendencia a aumentar a medida que se pasa a la cuenca baja sobre el sistema cenagoso, llegando a los niveles superiores con 27.29 °C. La condición tropical del territorio permite definir una muy baja variación en temperatura a través del régimen de todo el año no superando cambios entre los 1 y 2 °C.

Bajo las condiciones de temperatura constante y las precipitaciones que pueden ser moderadas a altas, se establece un régimen de humedad tropical con un valor por encima

del 80% para todo el año. La evaporación relacionada se distribuye de norte a sur con valores de 1200 mm a 2200 mm respectivamente (Gobernación de Córdoba, 2012).

Figura 2-5 Correlación Altitud (m.s.n.m.) - Temperatura (°C)

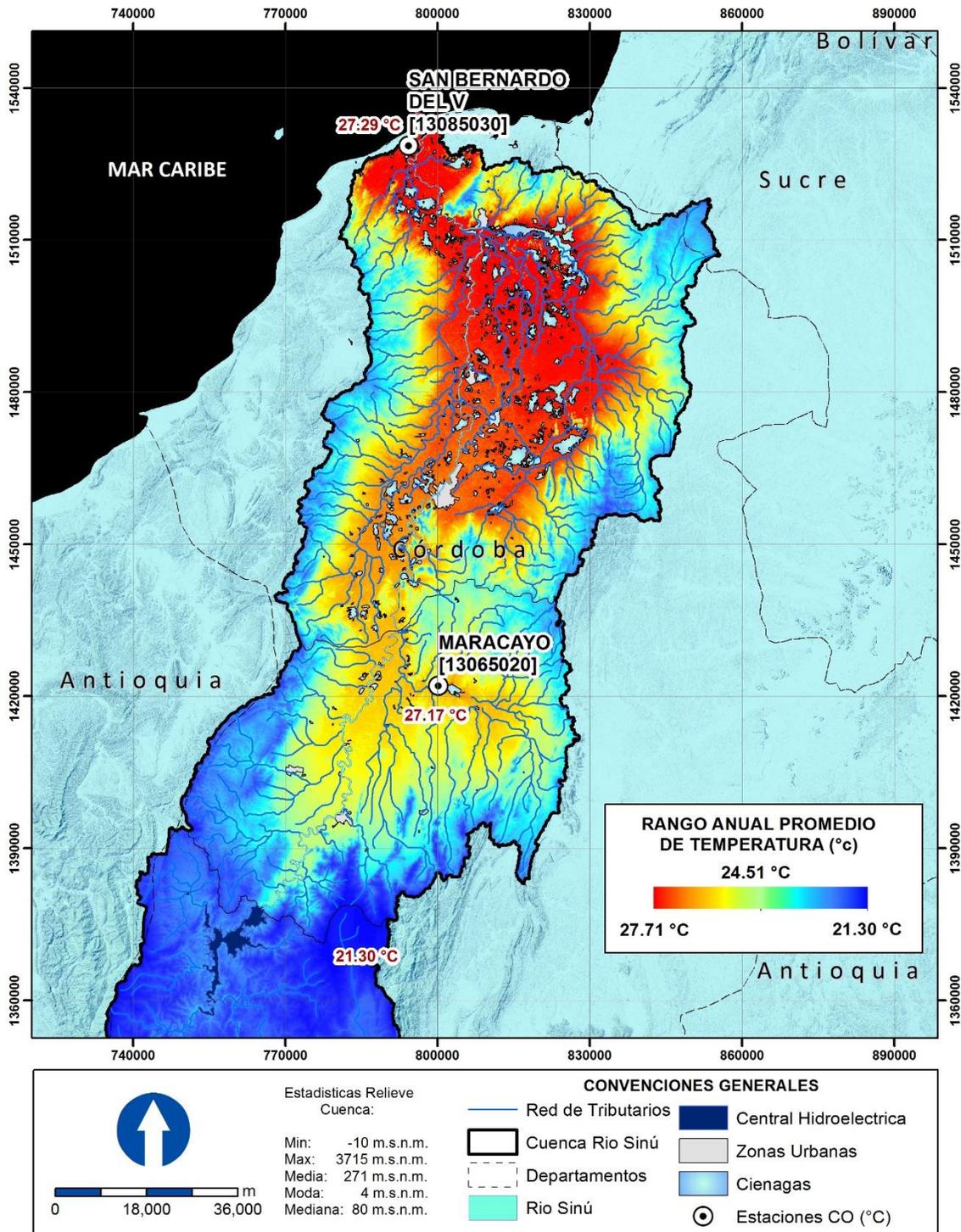


Fuente: Autor

2.2.3 Coberturas Vegetales Predominantes

Las coberturas que predominan en el área de estudio, se caracterizan por su alta relación a las actividades económicas y productivas de la región. Los pastos arbolados y pastos limpios predominan en el área de estudio, debido a la fuerte actividad ganadera predominante (Acosta, 2013). La alta transformación de las coberturas naturales han reducido por completo las unidades de mayor porte o estructura a través del paisaje del área de estudio, llevando a encontrar pequeños relictos de bosque a las partes más altas

Figura 2-6 Comportamiento Anual Multianual de Temperatura (°C)



Fuente: Autor

de sus divisorias de agua y las coberturas boscosas que cubren algunos drenajes o quebradas que se convierten en cercas vivas para diferenciar los predios. Esta transformación fue inducida principalmente por la influencia europea (Españoles y Franceses), quien trajo grandes fuerzas de trabajo para la explotación de maderas finas tropicales, que termino en la ampliación de la cultura ganadera, como se conoce actualmente en el valle del Sinú (Acosta, 2013).

Las coberturas naturales asociadas al comportamiento de las ciénagas, resulta ser la más representativa de su clase, con bajo porte y bordeando los cuerpos de agua y sistemas poco profundos de las cubetas cenagosas (**Figura 2-7**). Los centros poblados concentran las actividades económicas y políticas en el área de estudio, como su capital Montería, al borde del cauce activo del Rio Sinú.

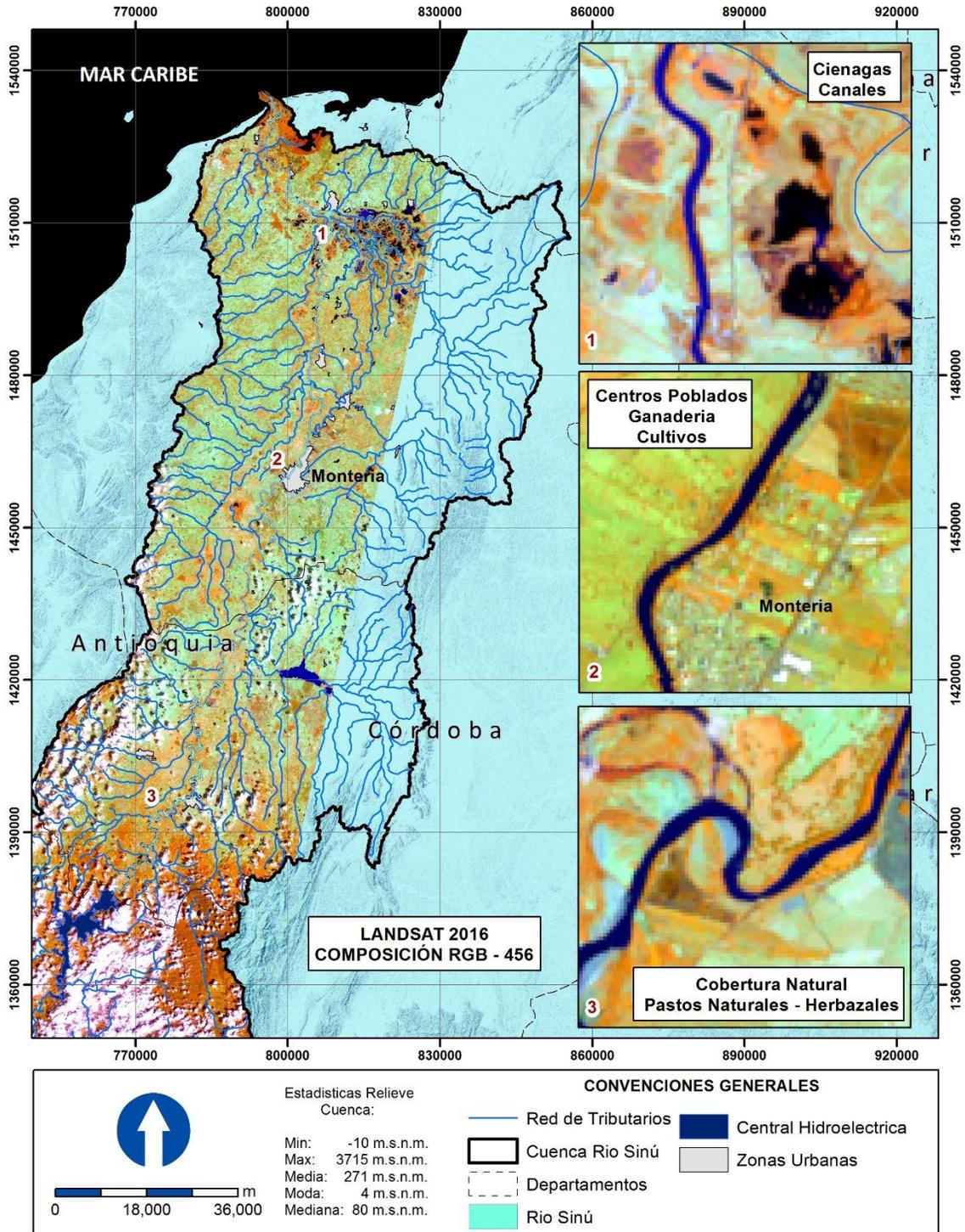
La principal vocación de uso del suelo para el área de estudio en el departamento de Córdoba (cuencas media y baja del rio Sinú), es la producción agrícola, seguido de la ganadera y forestal. Sin embargo los cultivos agrícolas representan el 6% del territorio (Acosta, 2013).

Los principales cultivos son maíz, arroz, plátano, yuca y algodón, donde el primero representa la mayor cantidad y se cultiva en todos sus tipos de grano amarillo y blanco. Para esta actividad ya se encuentran algunas producciones tecnificadas y persisten las cosechas artesanales.

Se encuentran algunos de menor desarrollo en el área de estudio como el cacao, la papaya, maracuyá y la berenjena, asociado a proyectos particulares, con una periodicidad no anual, sembrados en su mayoría en las cuenca media y baja del Sinú (acosta, 2013).

Los rastros del movimiento y dinámica del hidrosistema fluvial del Sinú, es evidente (**Figura 2-7**), dejando sus huellas del comportamiento sinuoso que lo caracteriza en algunas de sus condiciones. Esta dinámica se encuentra asociada de herbazales y pastos que permiten pastoreo temporal. De igual forma los cultivos transitorios son aprovechados por estos movimientos, cambios y crecidas que enriquecen los suelos.

Figura 2-7 Coberturas Vegetales Predominantes



Fuente: Autor

2.3 Regulación hidrológica por la central hidroeléctrica

La central hidroeléctrica URRRA, inicio su funcionamiento de generación de energía con base en el flujo del río Sinú a partir de diciembre de 1999, fecha desde la cual se tienen los valores de descarga que la central efectúa sobre el cauce natural. El régimen hidrológico presenta algunos cambios debido a la interacción de las condiciones naturales con la presencia de la central hidroeléctrica.

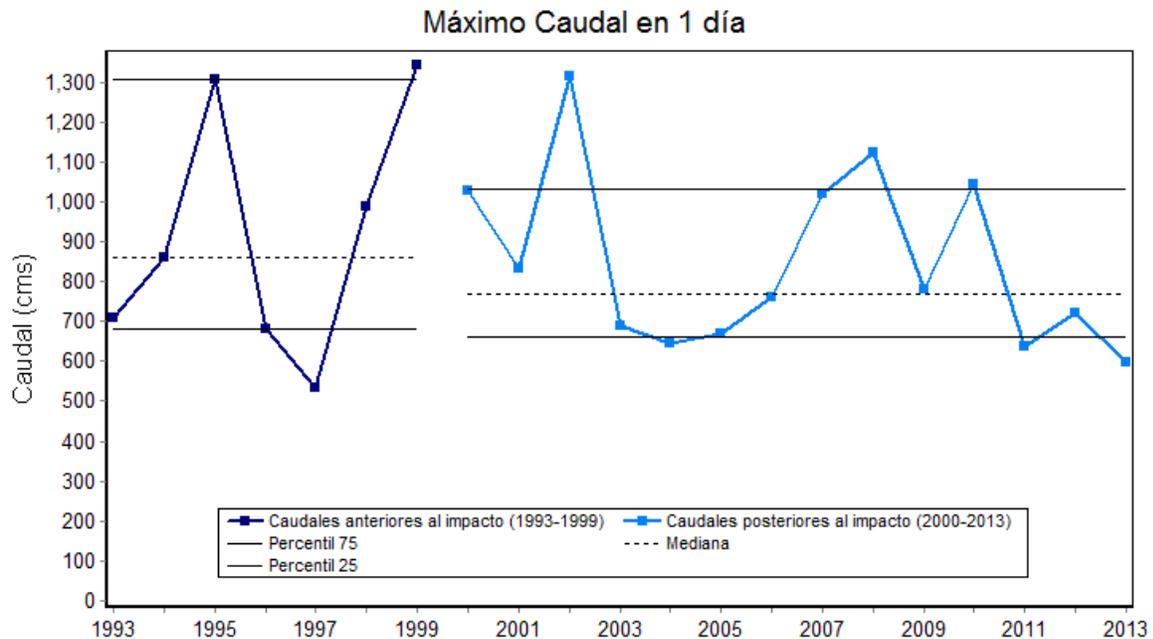
Con motivo de una descripción general y no como objetivo de esta investigación se analizan algunos cambios evidentes. Se ha utilizado la estación Carrizola Automática ubicada aguas abajo de las descargas de la central (Ver detalle en cartografía asociada capítulo hidrología, K41+000), de carácter oficial y con registros de caudal desde 1993, siete años antes de entrar en funcionamiento la central hidroeléctrica.

Con esta información se puede comparar una parte de los comportamientos naturales antes de entrar en funcionamiento la central hidroeléctrica. La variabilidad en las condiciones de mayor flujo, es una de las principales consecuencias del cambio del régimen, con una atenuación de los picos máximos que se presentan por eventos de temporadas lluviosas y húmedas en el área estudio. En la **Figura 2-8** se presentan los comportamientos de caudal máximo en un día a través de la serie de caudales, con ellos se puede evidenciar la reducción en los percentiles 25 y 75% de los dos periodos comparados, inclusive el caudal que proporciona la mediana disminuye para los años después de entrar en funcionamiento la central hidroeléctrica, 850 m³/s antes y 750 m³/s después.

El rango de regulación se evidencia con mejor medida en la comparación de caudales con periodos más extensos. En la **Figura 2-9** se relaciona el comportamiento del caudal máximo en 30 días, con lo cual se evidencia caudales menores en la escala de valores, pero sus diferencias en la variabilidad son mayores, obteniendo un rango de caudales después de la operación de la central hidroeléctrica de 520 m³/s a 650 m³/s mensuales, en comparación con el rango de 420 m³/s a 820 m³/s en las condiciones naturales del río Sinú.

Estas diferencias tienen implicaciones sobre el estado y comportamiento del hidrosistema fluvial, disminuyendo los periodos de crecidas y avenidas que provocan los desbordamientos naturales del cauce.

Figura 2-8 Serie de caudal máximo en 1 día

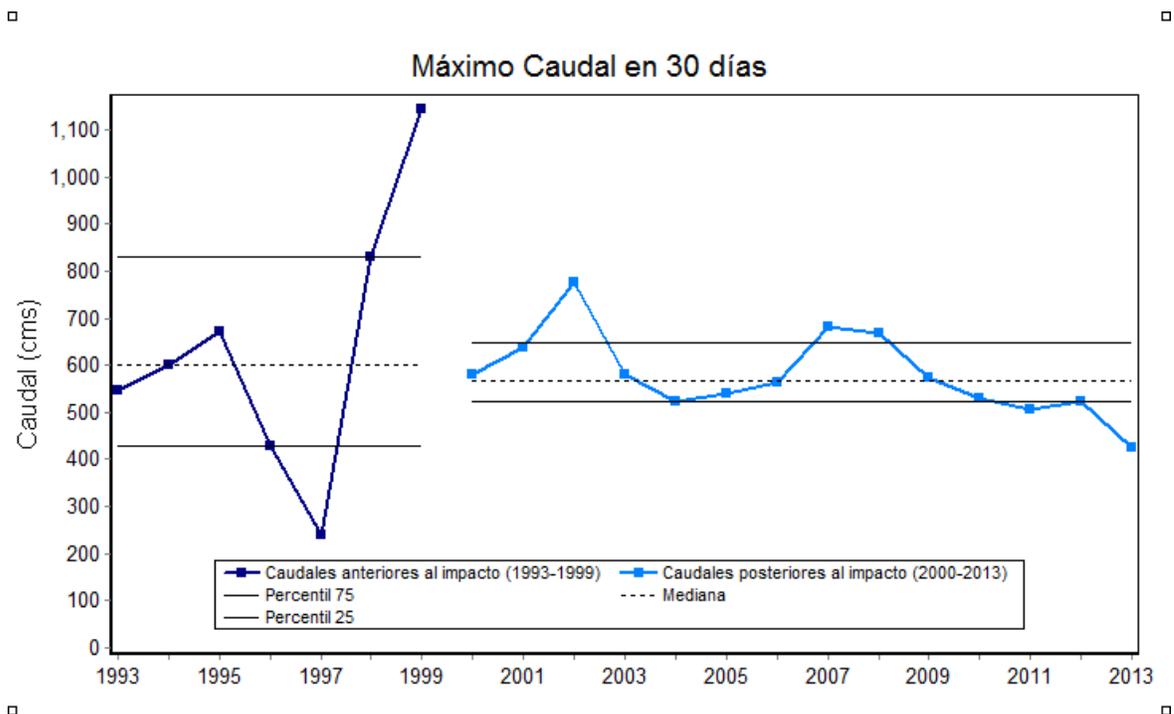


Fuente: Autor

El control de los desbordamientos presenta efectos positivos, como la mayor protección sobre los centros poblados que se ubican sobre las bancas del cauce activo, la regulación permanente del caudal. Sin embargo las dinámicas naturales de desbordamiento proporcionan enriquecimientos de los suelos que las reciben, además de conexión y enriquecimiento de los sistemas cenagosos y los ecosistemas que estos sustentan (Newson, 2002).

La operación de la central hidroeléctrica en el río Sinú evidencia, un claro control sobre los procesos de avenidas y crecidas en el cauce activo, protegiendo los centros poblados de los fenómenos de inundación. También se registra el cuidado y patrón de régimen natural monomodal que se venía teniendo antes de la operación de la central hidroeléctrica (**Figura 2-10**).

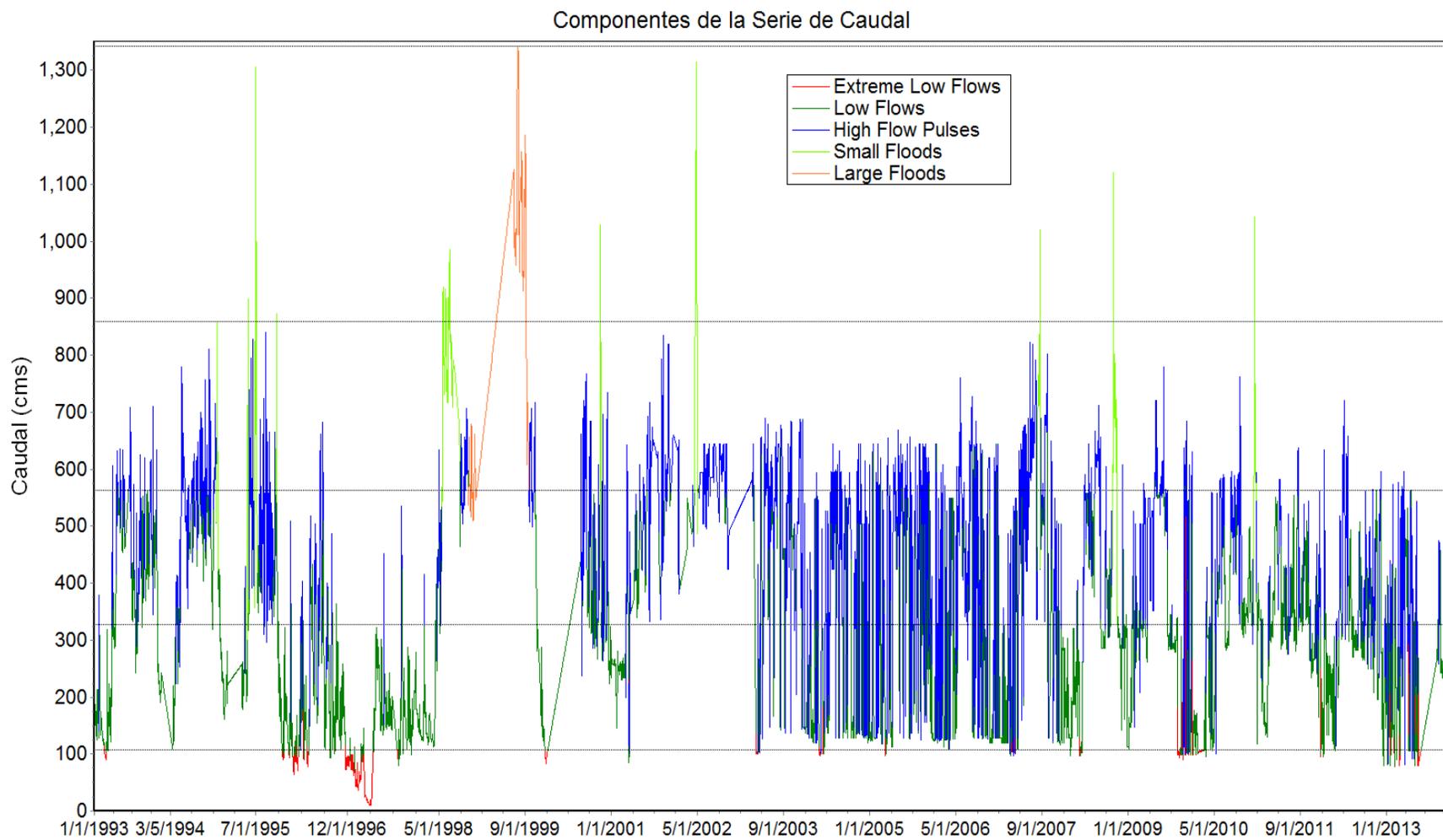
Figura 2-9 Serie de caudal máximo en 30 días



Fuente: Autor

Durante el periodo de mediados de 1998 a 1999, antes de entrar en operación la central hidroeléctrica se registra el periodo de fenómeno del niño, con una crecida de caudal que supera los 1200 m³/s (**Figura 2-10** Componentes del Comportamiento de la Serie de Caudales antes y después de la Central Hidroeléctrica), provocando unos de los periodos húmedos y de desbordamientos más fuertes en el país (Montealegre, 2007). Después del funcionamiento de la central hidroeléctrica se regulan estos picos periódicos de influencias climáticas globales con variabilidad más homogénea en todo el rango evaluado.

Figura 2-10 Componentes del Comportamiento de la Serie de Caudales antes y después de la Central Hidroeléctrica



Fuente: Autor

2.4 Condiciones de monitoreo sobre el cauce activo

Una vez consolidado la construcción de la Central Hidroeléctrica Urra I, se llevó a cabo el llenado del embalse (18 de noviembre de 1999) y el 15 de febrero del 2000 entro en operación la primera unidad (Consultoría B & G – URRRA, 2016). Como requerimiento para la debida operación de la central hidroeléctrica, el Ministerio del Medio Ambiente en sus resoluciones 838 y 965 de 1999, establecen el monitoreo continuo del hidrosistema fluvial en sus componentes hidrológicos e hidráulicos con el fin de medir y cuantificar los posibles impactos atribuibles a la operación de la Central.

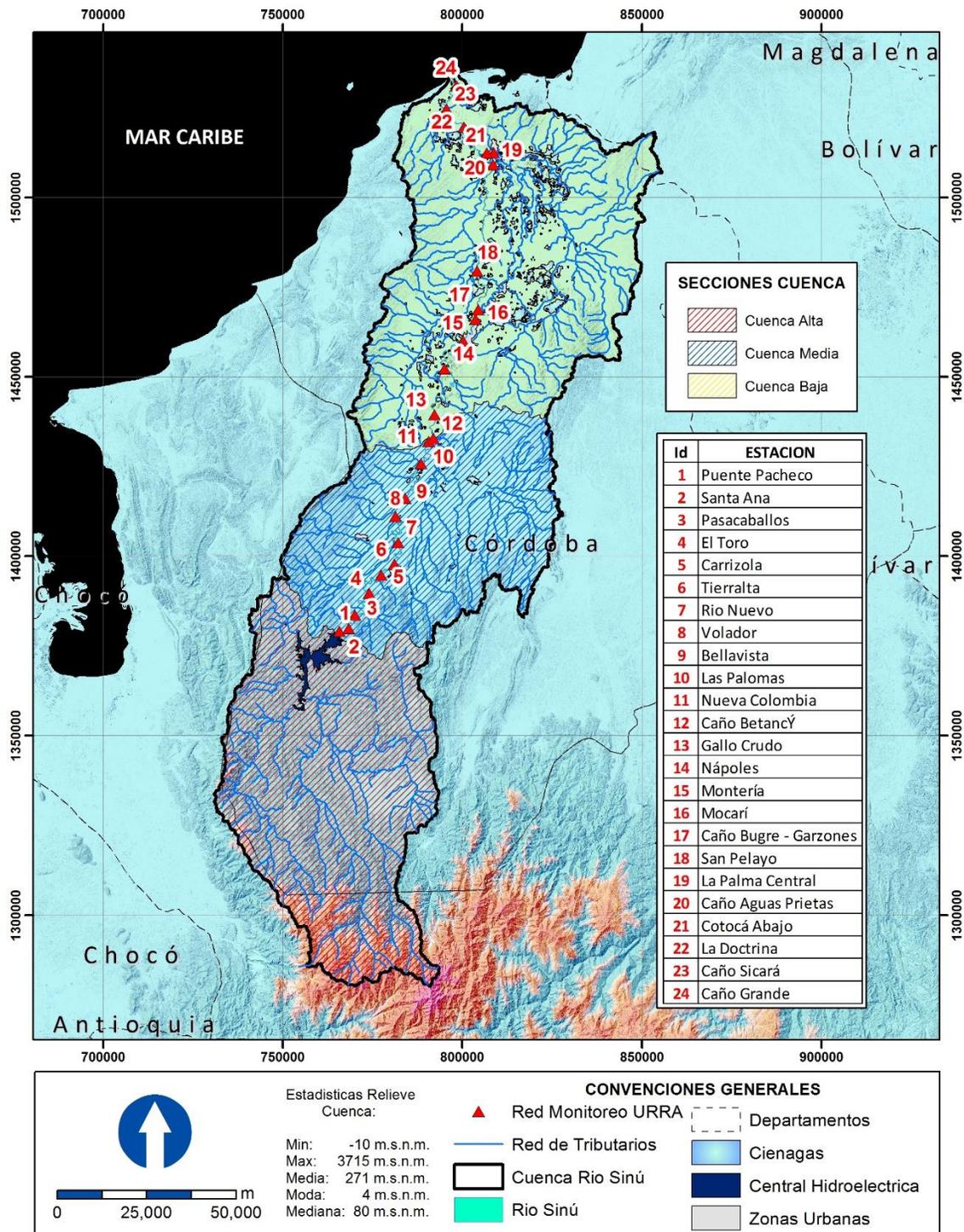
Como respuesta a estos requerimientos sobre el Rio Sinú, se diseña el programa de monitoreo de caudales líquidos y sólidos a través del cauce activo. Liderado por la Central Hidroeléctrica, desde el 18 de noviembre de 1999 hasta la actualidad, con campañas intercaladas de medición de caudales sólidos y líquidos en cada una de ellas.

La red de monitoreo planteada por la central hidroeléctrica cuenta con 19 puntos sobre el cauce activo y 5 sobre los principales caños de conexión hidráulica al sistema cenagoso del Rio Sinú (**Figura 2-11**). Los primeros catorce puntos de monitoreo sobre el cauce activo, se concentran sobre la cuenca media e inicios de la cuenca baja, por la mayor dinámica fluvial que se presenta en esta sección del hidrosistema.

El cauce activo en la cuenca baja, presenta una menor variabilidad, asociado al sistema de diques naturales conformados sobre el sistema cenagoso, este último con la disposición de liberar las condiciones de mayor flujo hídrico. Las conexiones hidráulicas de las ciénagas se presentan desde la cuenca baja, iniciando por el caño betanci, caño bugre – garzones y caño aguas prietas. Sobre la estructura geomorfológica del delta del Sinú se encuentran los puntos de monitoreo en los caños sicará y grande.

Las condiciones utilizadas por la presente investigación corresponden a las series de datos completas de los puntos sobre el cauce activo del Rio Sinú. La información sobre los caños se tiene como referencia pero no presenta la misma longitud en las series planteadas.

Figura 2-11 Estaciones de Monitoreo - Central Hidroeléctrica



Fuente: Autor