

XIV SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

ADECUACIÓN AMBIENTAL DE LAS ZONAS DE PRÉSTAMO. PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO (COLOMBIA)

Lilian Posada G.¹, Javier E. Posada M.², J. Camilo Múnera E.², Jairo Herrera A.³

1. Profesora, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional, Medellín - Colombia. A: A: 1027 Medellín, Colombia lposada@perseus.unalmed.edu.co
2. Estudiante, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional, Medellín - Colombia
3. Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional, Medellín - Colombia

RESUMEN

Las zonas de material de préstamo del proyecto hidroeléctrico Hidrosogamoso están ubicadas cuatro kilómetros aguas abajo del sitio de presa, en la planicie inundable del río Sogamoso. El estudio hidrodinámico del tramo del río entre el sitio de presa y su desembocadura en el río Magdalena permitió diseñar la geometría de las fosas de excavación de tal manera que se garantizan los requerimientos de profundidad en los lagos, la velocidad de flujo a través de ellos y los tiempos de detención necesarios para preservar el hábitat de varias especies migratorias de peces, especialmente durante épocas de caudales bajos – diciembre a marzo - cuando usualmente ocurre la subienda. El esquema resultante mejorará el paisaje y facilitará actividades como la pesca, navegación deportiva, camping, entre otras. Además de reunir los requerimientos para la conservación de la fauna íctica, el canal original del río, interconectado con los lagos, mantiene su capacidad en condiciones naturales.

ABSTRACT

The borrow areas of Hidrosogamoso hydroelectric project are located four kilometers downstream of the dam site on the flood plain of Sogamoso River. The hydrodynamic study of the river reach, from the dam site to its confluence on Magdalena River, let design the geometry of the excavation pits in such a way to guarantee depth requirements at the lakes, velocity of flow through them as well as the detention times necessary to preserve the habitat for several migrating species of fish, specially during low flow conditions - December to March - when fish spawning usually occurs. The resulting scheme will enhance the landscape providing facilities for fishing, boating, camping and other outdoor activities. Besides meeting hydraulic requirements for fish conservation, the original river channel, connected to the lakes, maintains its capacity at natural conditions.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto hidroeléctrico Sogamoso (departamento de Santander), tendrá una capacidad instalada de 1035 MW, bajo la operación de cuatro turbinas con un caudal total de 800 m³/s. La presa, localizada a unos 79 km de la desembocadura del Sogamoso en el río Magdalena, tendrá una altura de 190 m y el embalse inundará un área de 69.6 millones de m³ al nivel máximo normal (cota 320 msnm). El volumen de material requerido para la construcción del llenado de la presa y obras anexas (incluido el dique de contraembalse) fue estimado en 7.15 Km³. El cambio en los regímenes de flujo debidos a la operación de la central puede crear efectos adversos sobre la fauna íctica. La vecindad del proyecto con la gran zona de humedales del río Magdalena - la depresión Momposina - exige un diseño cuidadoso para garantizar la conservación de varias especies migratorias de peces que durante la época de subienda – diciembre a marzo – remontan el río Sogamoso.

Para obtener la licencia ambiental del proyecto, la empresa consultora colombiana, INGETEC Ltda. propuso la construcción de un dique de contraembalse de 11 m de altura y 1600 m de longitud, a unos 8 kilómetros aguas abajo de la presa, el cual inundaría un área de 230 Ha. Los biólogos Mojica y Galvis [4] analizaron la información ictiológica y pesquera en todo el tramo del río hasta su desembocadura y en la zona de influencia del proyecto, revisaron experiencias mundiales de proyectos hidroeléctricos con sistemas de contraembalses similares al propuesto por INGETEC, presentaron criterios técnicos sobre la poca efectividad de la regulación de caudales en la conservación de la fauna íctica (ninguna efectividad en la mayoría de los casos como el proyecto de Aswan en Egipto) y propusieron, como medida alterna, la creación de lagunas interconectadas con el río para propiciar un albergue o sitio de refugio para los peces (Bocachico, Bagre Rayado, Dorada, Capaz, Nicuro y Arenca), compensando así la pérdida de territorio en sus rutas migratorias a través del río Sogamoso.

El objeto del presente estudio es analizar la viabilidad técnica de los esquemas propuestos por los biólogos; es decir, adecuar zona de material de préstamo (hacienda La Flor), localizada aguas debajo del sitio de presa, como lagunas favorables para la conservación de la fauna íctica. El flujo en las lagunas deberá garantizar la calidad esperada de las aguas en cuanto a aireación y circulación del flujo, de tal forma que los peces que remontan el río Sogamoso en la época de la subienda encuentren un sitio de refugio y tránsito temporal.

La información básica para el estudio comprende los informes técnicos correspondientes al diseño de la central elaborados por consultores como INGETEC para la empresa ISAGEN. La información pertinente para el diseño de las lagunas incluye la cartografía disponible de la zona del proyecto, un juego de fotografías aéreas, niveles batimétricos del río en diferentes secciones a lo largo del tramo de estudio, curvas de calibración de la estación de aforo de caudales líquidos en Puente La Paz (K0+680), las características del material en la zona de la hacienda La Flor, el estudio de agradación y degradación del río aguas abajo de la presa, el estudio hidrológico para el proyecto. Los criterios técnicos referentes a la fauna íctica se tomaron del estudio "Ictiofauna y Pesca" [4].

Se analizaron varias alternativas de disposición de las lagunas considerando distintas condiciones de flujo y finalmente se presenta la alternativa óptima con algunas

recomendaciones para realizar la excavación de tal forma que se garantice la geometría y estabilidad de las lagunas.

2. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Sogamoso, cuya cuenca de drenaje tiene 21338 km², se forma de la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha; el primero, proveniente de la laguna de Fúquene - Cundinamarca, es un río de aguas claras con poco material en suspensión y ricas por el aporte de fosfatos y carbonatos de las rocas calcáreas marinas que atraviesa; por otro lado, el río Chicamocha, con origen en la Sierra Nevada del Cocuy, cruza en su parte alta una extensa zona de fuentes hidrotermales por lo que las aguas son caracterizadas como salinas, bicarbonatadas sódicas, cálcicas, sulfatadas y poco aptas para riego por los contenidos muy altos de esas sustancias. El curso restante del Chicamocha recorre una zona árida con fuertes pendientes y una cubierta vegetal escasa y xerofítica sometida a una intensa erosión que aporta al río una carga muy alta de material en suspensión. Aunque el río Suárez diluye en parte esa carga tan alta de sales en solución y material en suspensión, la carga de sedimentos del río Sogamoso (75000 t/año/m³/s) es muy superior a la carga promedio de los ríos Magdalena (24500 t/año/m³/s) y Cauca (28100 t/año/m³/s) y se acerca más a la de los ríos monzónicos del Asia (Ganges, 82900 t/año/m³/s; Huang Ho, 422200 t/año/m³/s) los cuales están sujetos a una extrema estacionalidad en su régimen de lluvias.

El análisis geomorfológico de la zona de estudio a partir de fotografías aéreas de diferentes años permite identificar cambios en el alineamiento del río, antiguos canales de flujo - especialmente en la zona de la hacienda La Flor, para definir la ubicación más apropiada de las lagunas y de sus canales de acceso o de interconexión con el río - y analizar los posibles cambios que se presentarían en el canal bajo la operación regulada de la central y con la presencia de las lagunas en el canal activo. En la Figura 1 se ilustran las unidades geomorfológicas identificadas en el tramo de estudio, (aproximadamente 55 Km aguas abajo de la confluencia de los ríos Chicamocha y Suárez), las cuales se describen a continuación:

La llanura de inundación, más amplia en la margen izquierda, está compuesta por depósitos de bloques redondeados de arenisca de grano medio a fino (hasta 50 cm); se identifican en ella dos niveles de terrazas levemente inclinadas en el sentido de la corriente: el primero, con una altura de 6 m respecto al río se encuentra sobre ambas márgenes mientras que el segundo nivel, con una altura superior a los 15 m respecto al río, sólo se observa en la margen izquierda. La madreveja más extensa de la zona se encuentra localizada en la hacienda La Flor con un ancho constante de 30 m aproximadamente a lo largo 2 Km; este canal antiguo confirma que la hacienda La Flor era antiguamente una isla del río. En los primeros 6.6 km del primer tramo trenzado, los depósitos en el canal totalizan un área de 3.0 km² conformando 21 islas y barras. En ambas márgenes del río Sogamoso se encuentran colinas bajas, compuestas por las rocas sedimentarias del Grupo Honda, en las que predominan las pendientes de bajas a moderadas, con filos cortos

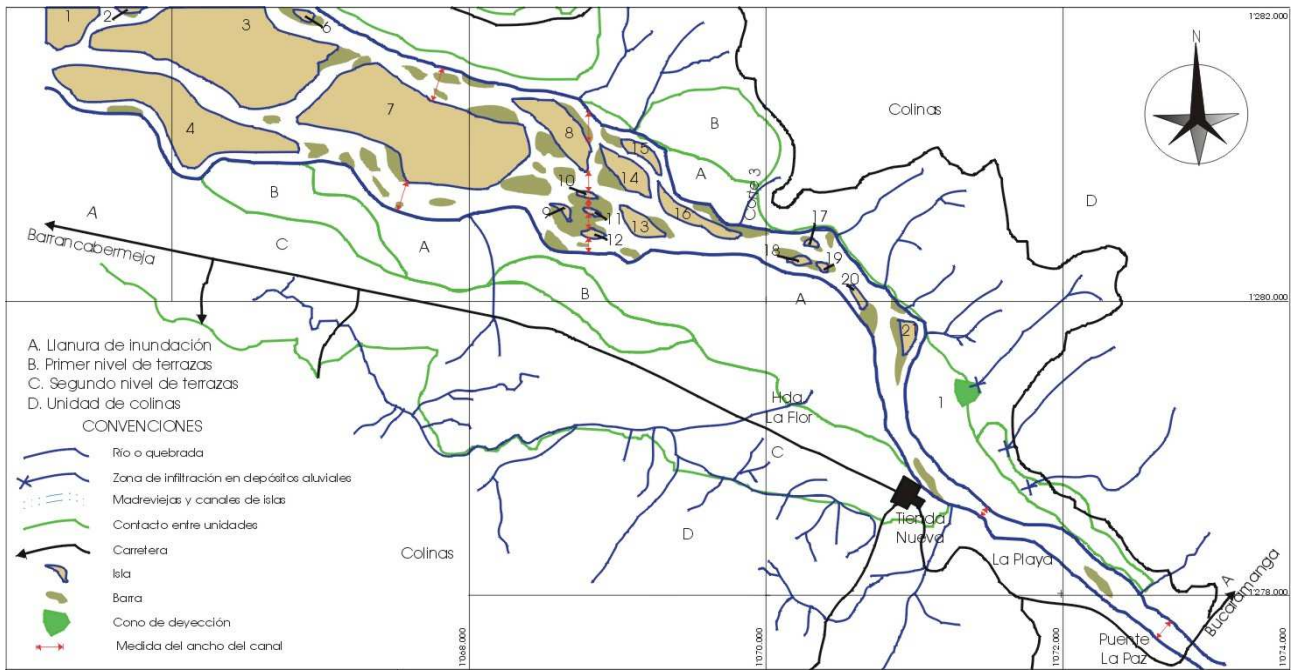


Figura 1. Unidades geomorfológicas en la zona aledaña a la hacienda La Flor.

El cauce del río Sogamoso presenta cuatro tramos morfológicamente bien diferenciados. Un primer tramo de 4.5 km desde el sitio de presa donde el canal es recto y encañonado, con un ancho de unos 120 -150 m. A partir de Puente La Paz (K0+680) empiezan a aparecer depósitos conformando algunas barras temporales debido a la alta carga que recibe de las corrientes empinadas. Un segundo tramo con un patrón de alineamiento trenzado que se extiende hasta el K54+740 (Bocas de Sogamoso I); la planicie aluvial es bastante angosta, rodeada hacia el sur por una unidad de colinas de poca elevación y al norte, con el segundo nivel de terrazas; el canal tiene un ancho promedio de 500 m con depósitos temporales en el primer kilómetro (K5+500) y luego se expande hasta unos 1000 m depositando gran parte de la carga en numerosas barras e islas. El tercer tramo es sinuoso en una longitud aproximada de 16 km para finalmente volverse trenzado hasta la confluencia con el río Magdalena.

3. ANÁLISIS HIDRÁULICO

El diseño de las lagunas debe asegurar una buena circulación del flujo para garantizar aireación e impedir estratificación de densidades en el cuerpo de agua, las velocidades de flujo deben ser tales que permitan que la masa de agua fría que proviene del embalse induzca difusión y mezclado con las aguas más tibias de las lagunas, produciendo así, permanentemente, una mejor calidad del agua aparentemente detenida en las lagunas. Además de la estabilidad de las paredes de dichas lagunas, se debe evitar el flujo excesivo de sedimentos a ellas para aumentar la vida útil de las mismas.

Para analizar el perfil de flujo a través de las lagunas artificiales se usaron 17 secciones batimétricas sobre el río, en el tramo comprendido entre el K0+680 (Puente La Paz) y el K79+560 (Bocas de Sogamoso II), abscisado referido al eje de la presa [1], las cuales fueron complementadas con secciones transversales a través de la zona de préstamo. El

coeficiente de rugosidad de Manning se evaluó mediante la expresión $n = 0.0487 D_{50}^{1/6}$ (con D_{50} en metros), a partir de la granulometría de muestras del material obtenidas durante la visita de campo (Wolman Pebble Count) en una barra adyacente a la hacienda La Flor, aproximadamente en el K6+500. donde. La expresión es aplicable a canales naturales de alta pendiente; se obtuvo un valor de 0.033 para el coeficiente de rugosidad n [5].

La pendiente del río en el tramo de la hacienda La Flor es $S = 0.0024$ y se mantiene hasta el K8+205. Este valor fue obtenido a partir de la información cartográfica (planos con curvas de nivel cada dos metros) y batimétrica disponible.

Selección de Caudales de Diseño. Del estudio hidrológico del proyecto hidroeléctrico se tomaron los caudales para diferentes períodos de retorno y diferentes condiciones de operación de la central. Para el cálculo de los perfiles de flujo se tuvieron en cuenta los caudales que revisten interés en el análisis del comportamiento del flujo en las lagunas bajo diversas condiciones y son:

- El mínimo de los caudales medios mensuales en el período de registro. 1959-1993, ocurrió en Febrero de 1959 con un valor de $62.85 \text{ m}^3/\text{s}$, aunque el mínimo diario histórico fue de $28.05 \text{ m}^3/\text{s}$. Se asumió un caudal mínimo de $60 \text{ m}^3/\text{s}$.
- El caudal turbinado por una unidad generadora: $200 \text{ m}^3/\text{s}$
- El caudal turbinado en las horas pico con 4 unidades: $800 \text{ m}^3/\text{s}$
- Los caudales turbinados con dos y tres unidades: $400 \text{ m}^3/\text{s}$, $600 \text{ m}^3/\text{s}$
- El caudal evacuado por una compuerta del vertedero: $2424 \text{ m}^3/\text{s}$
- El caudal asociado a un período de retorno de 2.33 años: $2730 \text{ m}^3/\text{s}$
- El Caudal asociado a un período de retorno de 100 años: $6044 \text{ m}^3/\text{s}$

3.1 Perfil de flujo en el río Sogamoso. Condición inicial

El análisis de los perfiles del flujo a lo largo de 79 km (Puente La Paz - Bocas de Sogamoso II) permite determinar los niveles de flujo, en la zona donde se ubicarán las lagunas y definir la altura de los diques para las distintas alternativas analizadas. Mediante el programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center) se transitaron los diferentes caudales seleccionados a través del canal actual, considerando una pendiente promedia del río de 0.0095 y las secciones transversales disponibles. Las condiciones de frontera que exige el programa se fijaron por las condiciones de flujo normal, bajo régimen subcrítico, en la sección inferior del tramo.

La ubicación de las profundidades máximas y mínimas se mantiene para los distintos caudales transitados; la mínima profundidad se obtuvo en la zona de pozos al comienzo del tramo trezado (aguas abajo de la hacienda La Flor) y la máxima, al final de la zona de pozos en un tramo de pendiente suave. Para el caudal de los 100 años se obtuvieron velocidades hasta de 8.14 m/s ; para los caudales regulados, 200 a $800 \text{ m}^3/\text{s}$, las velocidades que adquiere el flujo en el canal, sin que existan las lagunas, puede llegar a 4.66 m/s . Como se verá en el análisis de alternativas, estas velocidades de flujo disminuyen con la presencia de las lagunas. En la Figura 2 se presentan los perfiles de flujo para el lecho original (antes de la excavación), en el tramo de influencia de las lagunas.

La localización de las profundidades máxima y mínima coinciden para todas las condiciones de caudal analizadas. Para el caudal de los 100 años se obtienen velocidades hasta de

8.14 m/s; para los caudales regulados, 200 a 800 m³/s, las velocidades que adquiere el flujo en el canal, sin que existan las lagunas, puede llegar a 4.66 m/s. Como se verá en el análisis de alternativas, estas velocidades de flujo disminuyen con la presencia de las lagunas.

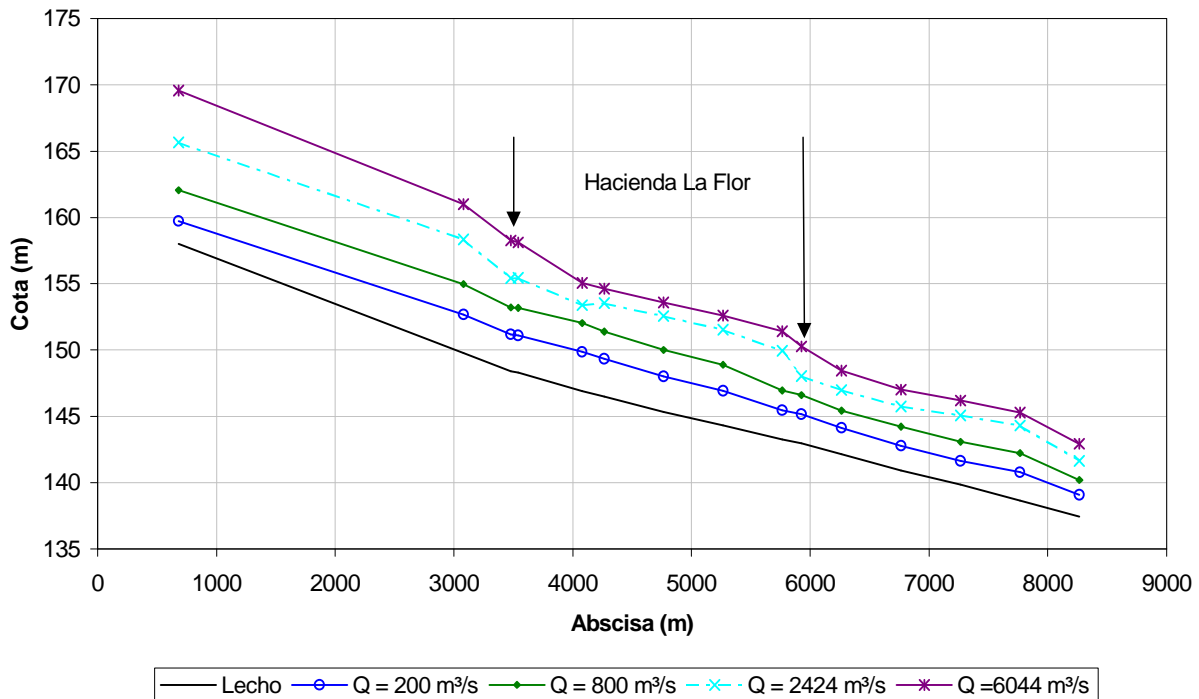


Figura 2. Perfiles de flujo en el río Sogamoso. Hacienda La Flor.

3.2 Análisis del factor de transporte para el tramo

Después de transitar diferentes caudales a lo largo del canal, se analizó el comportamiento del factor de transporte hidráulico en las secciones transversales disponibles. En un canal prismático, el factor de transporte ($ARH^{2/3}$) exhibe un comportamiento lineal creciente con incrementos de caudal para una misma sección y, a lo largo del canal es aproximadamente constante para un mismo caudal. En canales trenzados o anastomosados, este factor tiene un comportamiento diferente que explica la presencia de islas o barras en el canal restringiendo el flujo.

En la Figura 3 se aprecia la estabilidad del factor de transporte en las secciones ubicadas en el tramo donde se encuentra ubicada la Hacienda La Flor (K4 a K8) y la fuerte variabilidad del mismo factor en los tramos trenzados; se resalta el alto valor alcanzado en la sección K39+000 para caudales superiores a 800 m³/s y en la sección K43+960 para el caudal de 6044 m³/s.

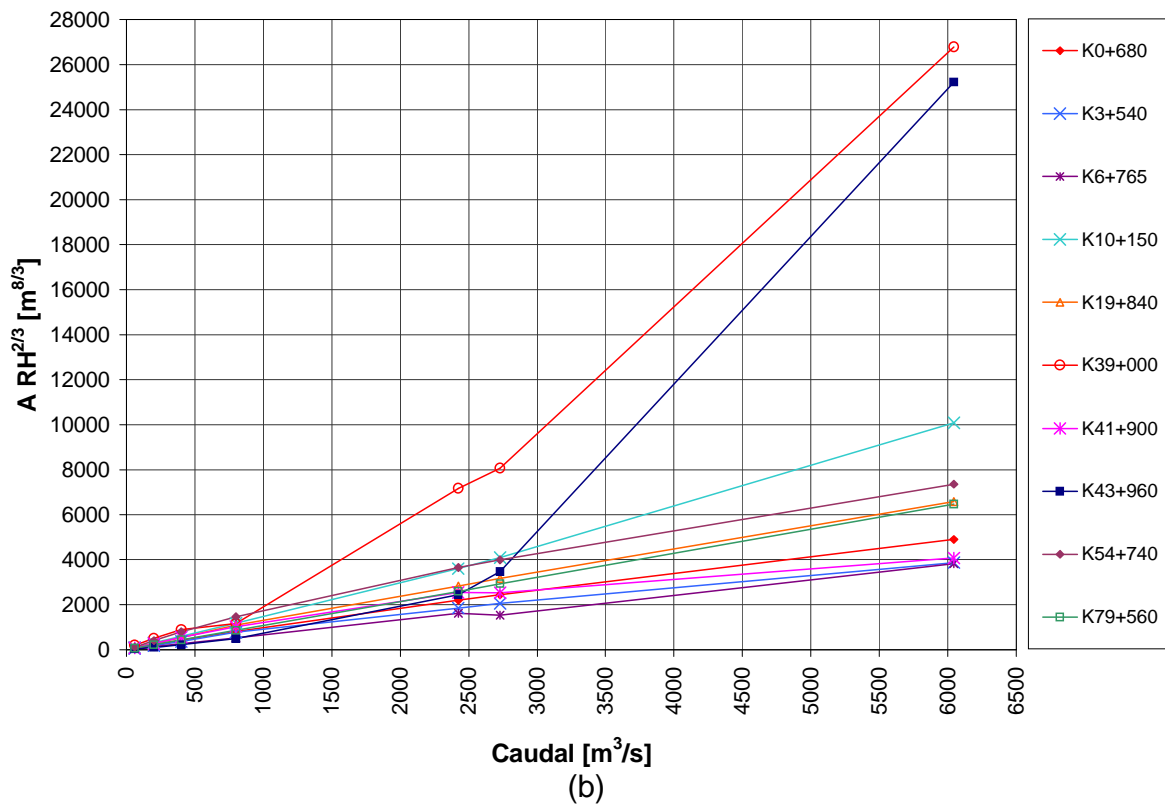
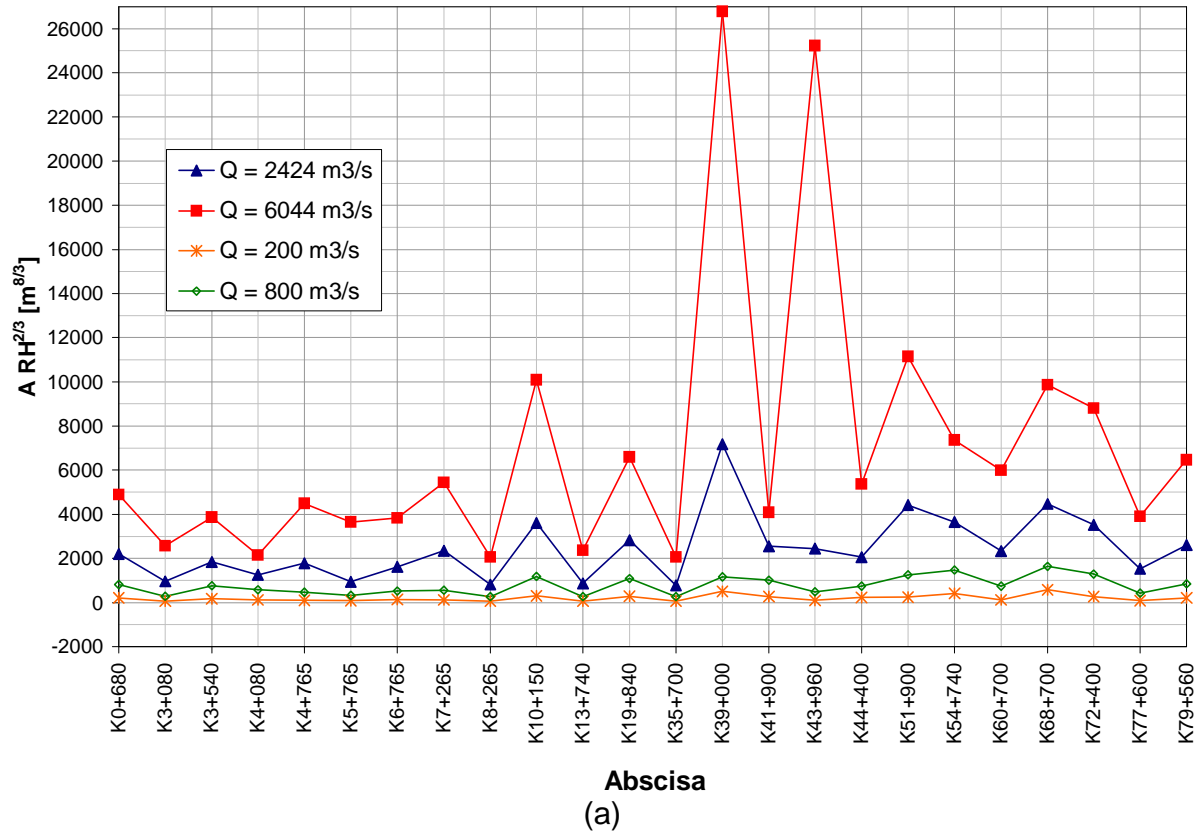


Figura 3. Variación del factor de transporte. (a) a lo largo del río Sogamoso, (b) en algunas secciones seleccionadas.

La variación del factor de transporte a lo largo del canal del río Sogamoso, Figura 3 (a) es aproximadamente constante para caudales bajos donde el flujo puede optar por un solo canal aún en los tramos trenzados; sin embargo, se aprecian fluctuaciones debidas a los depósitos en el canal (barras e islas en los tramos trenzados). Estas fluctuaciones se magnifican en los tramos trenzados (K10 al K54 y en los 10 kilómetros finales) indicando la susceptibilidad que tiene la sección transversal a presentar desbordamientos debido a la alta resistencia que genera sobre el flujo la acumulación de material, obligándolo a aumentar el área mojada y el radio hidráulico para compensar la fuerte disminución de la pendiente de la línea de energía. Este mismo comportamiento fue reportado en un estudio del tramo anastomosado del río Magdalena en el sector de Barrancabermeja [6]. La Figura 3 (b) muestra la variación del factor de transporte con el caudal para distintos tramos del río, en la que resalta la variación irregular de dicho factor en los tramos trenzados (K39+000 y K43+960).

4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS - DISPOSICIÓN DE LAS LAGUNAS

Se analizaron siete alternativas para la disposición de las lagunas en la zona de material de préstamo de la hacienda La Flor que consideran desde una excavación general en todo el ancho de la zona, incluyendo el canal, hasta una excavación restringida sólo a la hacienda (antiguamente una isla), con profundidades proporcionales al área excavada hasta conseguir el material necesario para las obras y con taludes estables en las fosas.

El criterio general para el diseño de los taludes en las lagunas fue el ángulo de reposo del material. Se consideran gravas y cantos ligeramente redondeados que permiten un ángulo de reposo de 37 a 40°, con lo cual se estableció un talud para las paredes 1V:1.5H [3]. En los canales de ingreso y salida del flujo (hacia y desde las lagunas), se diseñó un talud 1V:5H con un enrocado de protección. En cada alternativa se especifican los taludes de diseño y para la alternativa seleccionada se diseña el enrocado de protección y las estructuras necesarias para conducir el flujo adecuadamente.

En todas las alternativas consideradas, con excepción de la primera y sexta, se mantuvo el lecho del canal natural, limitando la excavación a la zona de la hacienda, buscando que los niveles de degradación esperados por la retención de sedimentos en el embalse no afectaran las lagunas. La nariz de la antigua isla ocupada hoy por la hacienda La Flor, que ocasiona el leve cambio de dirección del flujo, se ha aprovechado como dique direccional en las alternativas 3, 5 y 6 para forzar al flujo a ocupar siempre el canal natural del río, a pesar de la presencia de las lagunas. Un resumen de las alternativas consideradas es el siguiente:

- 1) Una laguna en todo el ancho de la zona de explotación incluyendo el canal, 3.5 m bajo el nivel del lecho.
- 2) Una laguna con profundidad media de 5 m bajo el nivel del lecho del río, permitiendo el vertimiento directo del flujo hacia las lagunas.
- 3) Una laguna con profundidad media de 5 m con respecto al nivel del lecho del río, con dique direccional al comienzo de la excavación.
- 4) Dos lagunas con profundidad media de 5 m con respecto al nivel del lecho del río, separadas por un tabique central al nivel del lecho original.

- 5) Dos lagunas con profundidad media de 5 m con respecto al nivel del lecho del río, separadas por un tabique central al nivel actual de la hacienda La Flor y dique direccional al comienzo de la excavación.
- 6) Dos lagunas en toda la zona de explotación con profundidad media de 4.0 m bajo el nivel actual del lecho del río, separadas por un tabique central cuya altura conserva el nivel actual de la hacienda La Flor y en la zona del canal, conserva el nivel actual del lecho del río para facilitar el ingreso y salida del flujo de las lagunas, dique direccional al comienzo de la excavación.
- 7) Dos lagunas de 6 m de profundidad por debajo del nivel del lecho, separadas del canal por un dique longitudinal con entradas laterales hacia las lagunas y separadas entre si por un tabique central.

La Tabla 1 contiene las características más relevantes de cada alternativa: velocidades máximas (V_{max}) y mínimas (V_{min}) para diferentes caudales (en m^3/s), tiempos de detención del flujo en las lagunas (T_{det}) y los volúmenes de excavación. La alternativa 0 se refiere a la condición natural del canal antes de la excavación en la hacienda La Flor.

Tabla 1. Parámetros hidráulicos de las lagunas para las 7 alternativas analizadas.

| Variable | Unidad | Alternativa | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|-------------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $V_{max} Q = 200 [m^3/s]$ | m/s | 3.26 | 2.90 | 2.79 | 3.20 | 3.26 | 2.99 | 2.99 | 1.69 |
| $V_{max} Q = 800 [m^3/s]$ | m/s | 4.66 | 4.21 | 3.92 | 4.70 | 4.66 | 4.10 | 4.10 | 2.35 |
| $V_{max} Q = 2424 [m^3/s]$ | m/s | 6.24 | 5.29 | 5.02 | 6.20 | 6.20 | 5.02 | 5.29 | 1.69 |
| $V_{min} Q = 200 [m^3/s]$ | m/s | 0.51 | 0.13 | 0.07 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 1.69 |
| $V_{min} Q = 800 [m^3/s]$ | m/s | 0.59 | 0.33 | 0.20 | 0.24 | 0.18 | 0.11 | 0.13 | 2.35 |
| $V_{min} Q = 2424 [m^3/s]$ | m/s | 0.52 | 0.70 | 0.40 | 0.52 | 0.47 | 0.26 | 0.30 | 1.69 |
| $T_{det} Q = 200 [m^3/s]$ | h | - | 3.30 | 4.87 | 4.70 | 2.91 | 3.16 | 2.94 | 88.3 |
| $T_{det} Q = 800 [m^3/s]$ | h | - | 0.96 | 1.48 | 1.40 | 0.77 | 0.79 | 0.73 | 4.6 |
| $T_{det} Q = 2424 [m^3/s]$ | h | - | 0.46 | 0.58 | 0.56 | 0.27 | 0.26 | 0.24 | 1.9 |
| Vol. Total | Hm ³ | - | 9.04 | 10.01 | 9.75 | 9.75 | 9.10 | 9.50 | 9.37 |
| Vol. Descapote | Hm ³ | - | 2.26 | 2.40 | 2.34 | 2.34 | 2.34 | 2.26 | 2.18 |
| Vol. Dique central | Hm ³ | - | - | - | - | 0.22 | - | 0.60 | |
| Vol. Útil | Hm ³ | - | 7.78 | 7.61 | 7.41 | 7.19 | 6.76 | 6.71 | 7.2 |

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se seleccionó la alternativa 7 (ver Figura 4) porque presenta mejores condiciones ambientales, constructivas, un comportamiento hidráulico más adecuado desde el punto de vista de velocidades de flujo y tiempos de detención satisfactorios; el esquema seleccionado conserva intacto el canal actual y mantiene las lagunas relativamente aisladas del flujo de sedimentos y de los problemas de degradación natural del canal. Por otra parte, el esquema seleccionado ofrece la facilidad para actividades recreativas como la pesca, navegación, camping y otras actividades al aire libre.

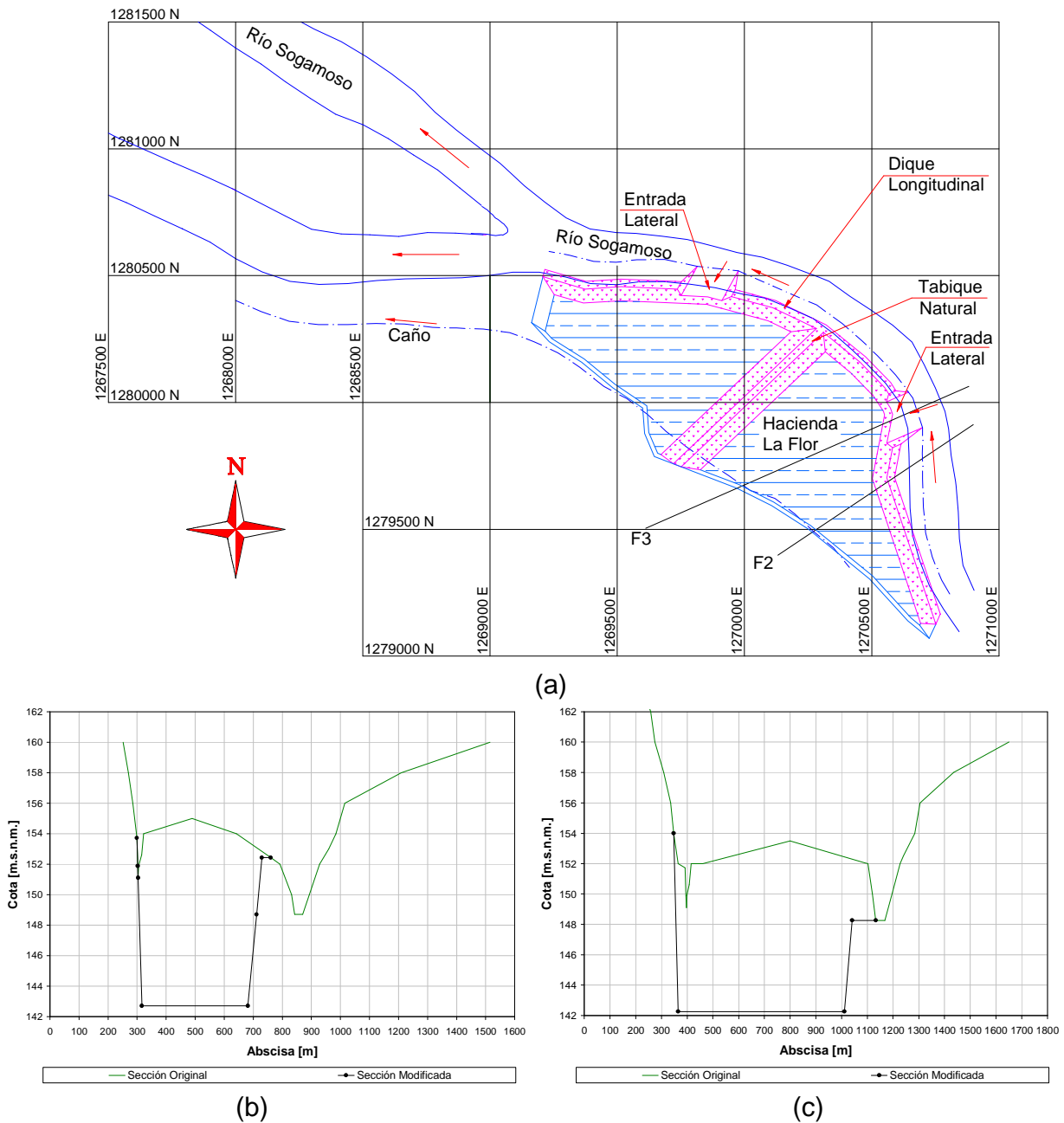


Figura 4. Alternativa seleccionada para disposición de lagunas en la hacienda La Flor. (a) Planta. (b) Sección transversal F2, Km 4+080. (c) Sección transversal F3, Km 4+265.

Las características de la alternativa seleccionada se pueden resumir así:

- ✓ Ofrece un hábitat favorable para los peces: circulación del flujo en las lagunas, áreas de remanso, corrientes de densidad que impiden la estratificación de densidades, etc.
- ✓ Debido a la disposición de los diques y a su geometría, se puede acondicionar un área recreativa en la corona del dique central ya que ofrece una panorámica excelente.
- ✓ Los taludes son estables tanto dentro de las lagunas como en el corredor del río.

- ✓ No se interviene el lecho original del canal, se conservan su alineamiento y características naturales provocando un impacto ambiental nulo.
- ✓ Las obras de protección (enrocados) son mínimas.
- ✓ Requiere obras de infraestructura menores puesto que se plantea adecuar la zona de excavación de material de préstamo garantizando el cierre de la boca de la madreveja en la parte inicial de la hacienda, además de las protecciones del dique longitudinal.
- ✓ El flujo de sedimentos de fondo hacia las lagunas es mínimo.

6. CONCLUSIONES

- ✓ La zona de material de préstamo ubicada en la hacienda La Flor, aguas abajo del sitio de presa se ha adecuado técnicamente para minimizar el impacto ambiental que, sobre la fauna íctica, ocasiona un desarrollo hidroeléctrico como el descrito en los párrafos anteriores. La solución contempla el establecimiento de dos lagunas interconectadas cada una con el canal principal mediante canales laterales.
- ✓ El agua libre de sedimentos que sale del embalse tendrá mucha capacidad erosiva [5] por lo cual se espera que los depósitos temporales, barras (más recientes que los anteriores) e islas, sean erosionados y posiblemente barridos del canal; cuando esto suceda, el flujo iniciará un proceso de degradación del lecho hasta lograr una pendiente de equilibrio (o un lecho acorazado).
- ✓ Se buscó que los problemas de degradación del lecho no se magnificaran induciendo velocidades mayores a las previstas a la salida de las lagunas. Según esto, la alternativa recomendada ofrece menor riesgo a posibles problemas de inestabilidad.
- ✓ La estabilidad de las alternativas estudiadas depende de la confiabilidad de las simulaciones de variación del lecho del río Sogamoso que realizó la firma consultora INGETEC [2] que estima un descenso en el lecho de 0.45 m los primeros 5 años y 0.53 m al transcurrir los 20 años.
- ✓ El factor de transporte líquido, $AR^{2/3}$ en un canal anastomosado o trenzado tienen un comportamiento que refleja la presencia de los depósitos de material en el canal activo. Aunque la tendencia es creciente con el caudal, la variación no es constante a lo largo del canal. El análisis de este factor permite detectar zonas más propensas a desbordamientos del flujo en los tramos trenzados.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INGETEC, 1996. "Fuentes de Materiales y Botaderos", SOG.2966-D-1-30-400.035, Santafé de Bogotá. 36 p.
- [2] INGETEC, 1996. " Estudio de agradación y degradación", SOG.2966-D-1-30-400.038, Santafé de Bogotá.

- [3] Lane, E. W., 1953. Progress report on studies on the design of stable channels by the Bureau of Reclamation. Proc. ASCE, No. 280.
- [4] Mojica, J.I. y Galvis, G., 1998. Ictiofauna y Pesca. Interpretación y análisis de la información ictiológica y pesquera en el área de influencia del Proyecto. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Santafé de Bogotá, 83 p.
- [5] Posada M., J. E., 1998. Determinación del Coeficiente de Rugosidad en Canales Naturales. Trabajo Dirigido de Grado. Universidad Nacional de Colombia, 70 p.
- [6] Posada, L., Arbeláez, A., Posada, J. y Herrera, J., 2000. Dinámica del río Magdalena asociada a procesos de subsidencia. Sector Barrancabermeja - Colombia. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Córdoba 2000, Córdoba, Argentina.