

ADECUACIÓN DE LAS ZONAS DE MATERIAL DE PRÉSTAMO PARA CONSERVACIÓN DE LA FAUNA ÍCTICA.

Lilian Posada¹, Javier Eduardo Posada¹, Juan Camilo Múnica¹ y Jairo Herrera²

*1. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
2. Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de 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 Hidrosogamoso ubicado en el noreste del país, sobre el río Sogamoso, tendrá una capacidad instalada de 1035 MW; el embalse inundará un área de 69.6 km² y la presa, localizada a unos 77 km de la desembocadura del Sogamoso en el río Magdalena, tendrá una altura de 190 m. Para obtener la licencia ambiental se deben diseñar las obras necesarias que permitan mitigar los posibles efectos adversos que este tipo de proyectos impone sobre el ambiente y en especial sobre la fauna íctica. La vecindad del proyecto con la mayor zona de humedales del río Magdalena

(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.

La empresa consultora colombiana, INGETEC propuso la construcción de un dique de contraembalse a unos 8 kilómetros aguas abajo de la presa, el cual supone la construcción de una presa de 11 m de altura con una longitud de 1600 m inundando un área de 230 hectáreas. El objetivo del dique es regular diariamente los caudales turbinados y de este modo disminuir el impacto debido al cambio en los regímenes naturales del río. Los biólogos Mojica y Galvis

(1998) en su estudio "Ictiofauna y Pesca" analizan la información ictiológica y pesquera en todo el tramo del río hasta su desembocadura y en la zona de influencia del proyecto, revisan experiencias mundiales de proyectos hidroeléctricos que tienen sistemas de contraembalses similares al propuesto por INGETEC, presentan criterios técnicos sobre la poca efectividad de la regulación de caudales en la fauna íctica, señalan cómo dicha solución ha sido inútil en la mayoría de los casos como el proyecto de Aswan en Egipto y proponen 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 los pozos de excavación 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 (ubicada aguas arriba de la hacienda La Flor, en el 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 informe "Ictiofauna y Pesca".

Se analizaron varias alternativas de dis-

posición 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 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto hidroeléctrico Sogamoso se encuentra ubicado en el departamento de Santander, al nororiente de Colombia, sobre el río Sogamoso cuya cuenca de drenaje tiene 21338 km². El sitio de presa está localizado a unos 77 km de su desembocadura en el río Magdalena. La presa tendrá una altura de 190 m y será construida con gravas y revestida en su cara exterior. El embalse tendrá un volumen de 4800 Hm³ al nivel máximo normal (cota 320 msnm). La central tendrá una potencia instalada de 1035 MW, con cuatro turbinas operadas para un caudal total de 800 m³/s. El volumen de material requerido para la construcción del lleno de la presa y para la elaboración de concretos convencionales y compactados con rodillo de obras anexas fue estimado en 7.15 Hm³, de los cuales 530000 m³ son para el contraembalse. En la Figura 1 se presenta la localización del proyecto hidroeléctrico.

3 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Sogamoso 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, cárnicas, 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 ($75000 \text{ t/año/m}^3/\text{s}$) es muy superior a la carga promedio de los ríos Magdalena ($24500 \text{ t/año/m}^3/\text{s}$) y Cauca ($28100 \text{ t/año/m}^3/\text{s}$) y se acerca más a la de los ríos monzónicos del Asia (Ganges, $82900 \text{ t/año/m}^3/\text{s}$; Huang Ho, $422200 \text{ t/año/m}^3/\text{s}$) 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 2 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:

Unidad de colinas. En ambas márgenes del río Sogamoso se encuentran colinas bajas, compuestas por las rocas sedimentarias del Grupo Honda que representa la iniciación de la sedimentación detrítica gruesa del Terciario Superior, en las que predominan las pendientes de bajas a moderadas, con filos cortos. La red de drenaje sobre la margen izquierda de esta unidad es dendrítica con una densidad alta, mientras que en la margen derecha, el drenaje es tipo subparalelo.

Unidad Aluvial. La presencia de terrazas aluviales indica procesos de erosión en la llanura de inundación. Aguas abajo del caserío Tienda Nueva (k3+080) se identifican dos niveles de terrazas de superficie plana, levemente

inclinada en el sentido de la corriente que la genera: el primero, cuya altura con respecto al río no supera los 6 m, se encuentra sobre ambas márgenes del río y está compuesto por gravas y arenas; el segundo, con una altura superior a los 15 m con respecto al río, limita al sur con la unidad de colinas y sólo se observa sobre la margen izquierda.

Islas y barras. Aguas abajo de Tienda Nueva se presenta una zona con depósitos de grava, arena y limo dentro del canal, algunos con carácter permanente. En los primeros 6.6 km del tramo trenzado, los depósitos en el canal totalizan un área de 3.0 km^2 conformando 21 islas (2.45 km^2) y barras. Se diferenciaron como islas aquellos depósitos en el canal que muestran vegetación arbórea u otros indicios de estabilidad que le dan el carácter permanente mientras que las barras son los depósitos que pueden ser fácilmente removidos

Llanura de inundación. Es una superficie topográficamente plana anegadiza en épocas de creciente, sobre la cual se pueden encontrar diques naturales y madreviejas. 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). La madrevieja mas extensa de la zona se encuentra localizada en la hacienda La Flor con un ancho constante de 30 m aproximadamente a lo largo de 2 Km; este canal antiguo por el sur de la planicie, recostado al escarpe del segundo nivel de terrazas confirma que la hacienda La Flor era antiguamente una isla del río. De hecho, al comienzo de la hacienda, el flujo cambia ligeramente de dirección en la nariz de la antigua isla.

El cauce del río Sogamoso presenta tres 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 temporales debido a la alta carga que recibe de las corrientes empinadas sobre ambas márgenes. Un segundo tramo con un patrón de alineamiento trenzado que se extiende hasta el K54+740; la planicie aluvial es bastante an-

gosta, rodeada por el sur por una unidad de colinas de poca elevación y por el norte, con el segundo nivel de terrazas; el canal tiene un ancho promedio de 500 m con depósitos temporales en el primer kilómetro y luego se expande hasta unos 1000 m depositando gran parte de la carga en el lecho, cantos rodados y gravas gruesas, que dan origen a numerosas barras e islas. Un tramo ligeramente sinuoso hasta la confluencia con el río Magdalena.

4 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 K3+080 hasta el K77+600, abscisado referido al eje de la presa (INGETEC, 1996a), las cuales fueron complementadas con secciones transversales a través de la zona de préstamo (con nomenclatura F, en la Figura 3, para hacer alusión a la hacienda La Flor). Se levantaron secciones transversales por algunas madreviejas existentes en la hacienda La Flor con el fin de evaluar su capacidad de evacuación si se utilizaran como canales de desfogue de las lagunas.

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.

Durante la visita de campo se realizó el conteo de piedras de Wolman (Wolman Peb-

ble Count) (1954) en una barra adyacente a la hacienda La Flor, aproximadamente en el K6+500, para obtener la granulometría del material; el diámetro medio resultante fue 99 mm. Para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning, se utilizó la siguiente expresión (Posada, 1998)

$$n = 0.0487 D_{50}^{1/6}$$

donde D_{50} está dado en metros. La expresión es aplicable a canales naturales de alta pendiente; se obtuvo un valor de 0.033 para el coeficiente de rugosidad n .

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: $6044 \text{ m}^3/\text{s}$

5 PERFIL DE FLUJO EN EL RÍO SOGAMOSO. CONDICIÓN INICIAL

Se estudió la condición inicial del flujo en el río Sogamoso (sin lagunas), para definir las

cotas o alturas de los tabiques o diques para las distintas alternativas estudiadas. Mediante el programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center) se transitaron los diferentes caudales seleccionados a través del canal actual, en el tramo Tienda Nueva, Bocas de Sogamoso II. Las condiciones de frontera que exige el programa se fijaron por las condiciones de flujo normal en la sección de aguas abajo, bajo régimen subcrítico. La profundidad normal en Bocas de Sogamoso II fue calculada, para cada condición de caudal, con la pendiente del tramo, 0.0095, y las secciones transversales antes descritas.

Para el caudal mínimo transitado ($60 \text{ m}^3/\text{s}$), se observa una profundidad mínima al comienzo del tramo trenzado aguas abajo de la hacienda La Flor y la máxima profundidad en una sección de pendiente suave, al final del tramo de pozos. Para las demás condiciones de caudal, la localización de las profundidades máxima y mínima coincide. Para el caudal de los 100 años se obtienen 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 3 se presentan los perfiles de flujo para el lecho original.

5.1 Tiempos de detención en las lagunas

El tiempo de detención o residencia (T_{det}) es un parámetro ampliamente usado para describir el comportamiento en embalses, lagunas, estuarios y otros; no hay un consenso general sobre su definición y es inherente al método utilizado para su evaluación. El tiempo de detención tiene gran variabilidad espacial dentro de las lagunas, pero se puede sintetizar mediante una aproximación gruesa a un único valor representativo del sistema. Para una aproximación integral, el tiempo de detención nominal se define como la relación entre la masa total de agua en el sistema de control (V) y el caudal (Q) que ingresa al mismo, y se expresa como:

$$T_{det} = \frac{\int \int \int dx dy dz}{\int Q dl}$$

o en una forma simplificada, $T_{det} = \frac{V}{Q}$

6 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 (Lane, 1953). 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:

- (i) Una laguna en todo el ancho de la zona de explotación incluyendo el canal, 3.5 m bajo el nivel del lecho.

- (ii) Una laguna con profundidad media de 5 m bajo el nivel del lecho del río, permitiendo el vertimiento directo del flujo hacia las lagunas.
- (iii) Una laguna con profundidad media de 5 m con respecto al nivel del lecho del río, con dique direccional al comienzo de la excavación.
- (iv) 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.
- (v) 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.
- (vi) 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.
- (vii) 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.

7 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.

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 madrevieja 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.

8 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

(Posada, 1994) 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 (1996b) que estima un descenso en el lecho de 0.45 m los primeros 5 años y 0.53 m al transcurrir los 20 años.

REFERENCIAS

- INGETEC. Fuentes de Materiales y Botaderos,
SOG.2966-D-1-30-400.035, Santafé de Bogotá. 36 p,
1996a.
- INGETEC. Estudio de agradación y degradación,
SOG.2966-D-1-30-400.038, Santafé de Bogotá, 1996b.
- Lane, E. W. Progress report on studies on the design of
stable channels by the Bureau of Reclamation. Proc.
ASCE, No. 280, 1953.
- Mojica, J.I. y Galvis, G. 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, 1998.
- Posada, L. Hidráulica Fluvial. Universidad Nacional de
Colombia, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos
Hidráulicos, Sede Medellín, 189 p, 1994.
- Posada, J. E. Determinación del Coeficiente de Rugosidad
en Canales Naturales. Trabajo Dirigido de Grado.
Universidad Nacional de Colombia, 70 p, 1998.
- Wolman, M. G. A Method of Sampling Coarse River-Bed
Material. Transactions, American Geophysical Union,
vol. 35, No. 6, pp. 951-956, 1954.

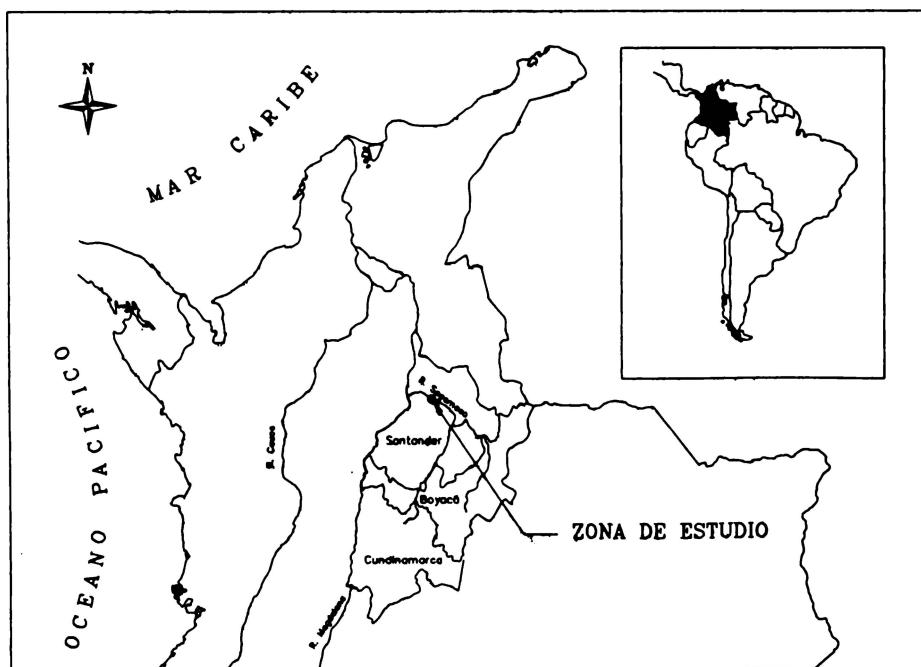


Figura 1. Localización del área de estudio.

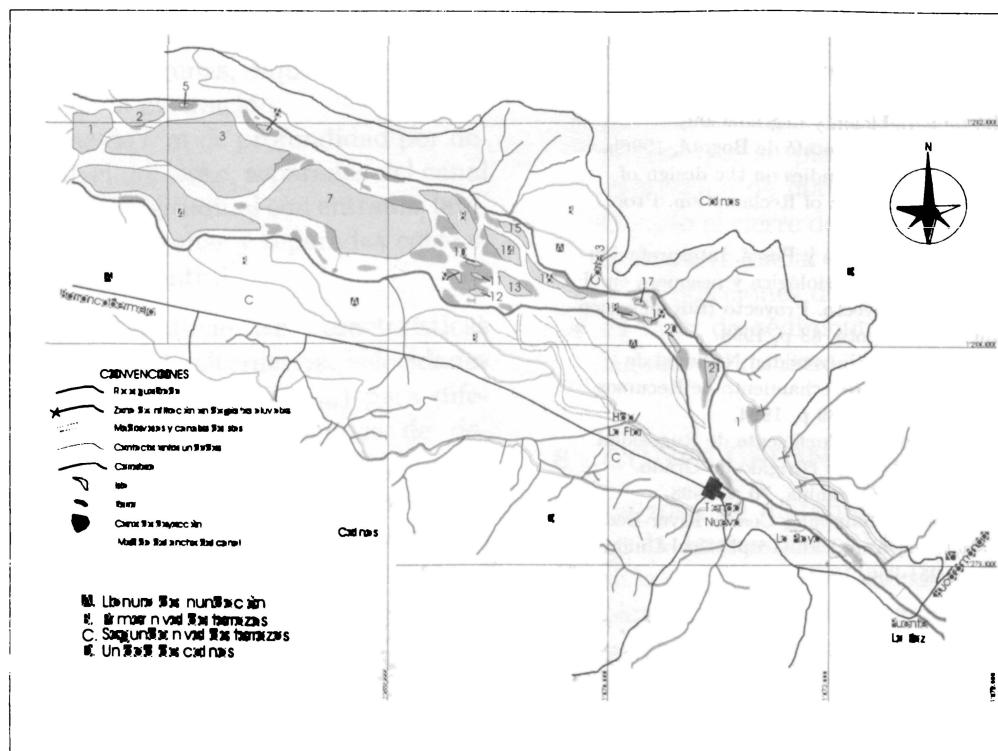


Figura 2 Unidades geomorfológicas en la zona aledaña a la hacienda La Flor.

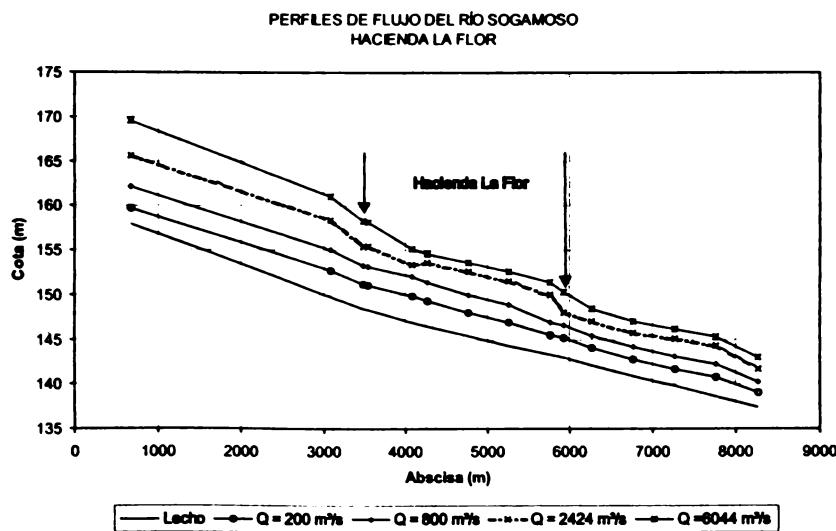


Figura 3 Perfiles de flujo en el río Sogamoso. Hacienda La Flor.

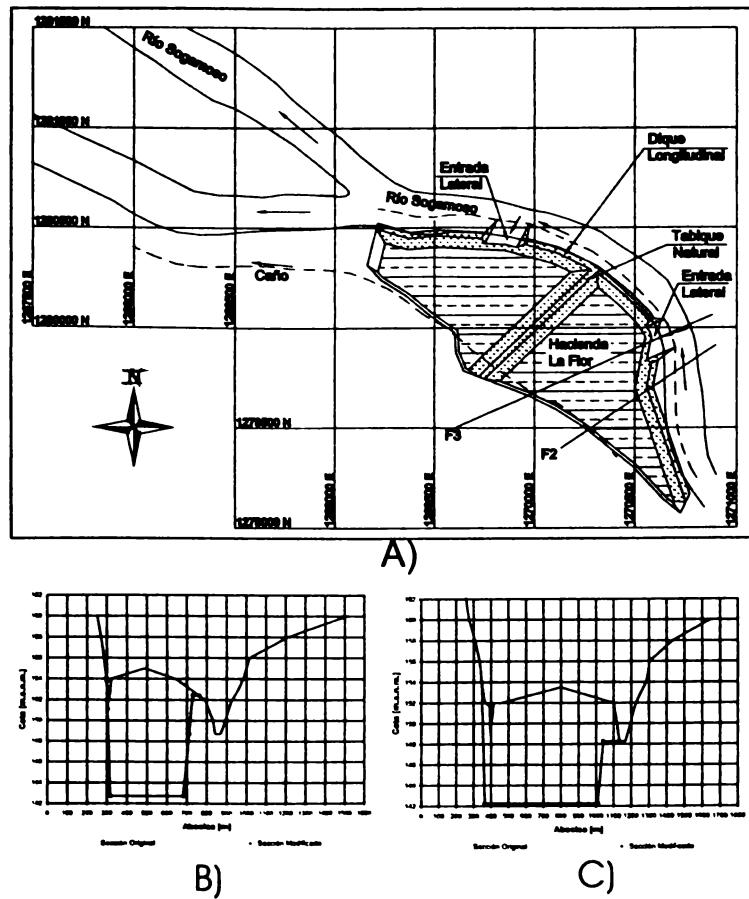


Figura 4. Alternativa seleccionada para disposición de lagunas en la hacienda La Flor. (a) Planta. (b) Sección transversal F2, Km 4+080. (c) Sección transversal F3, Km 4+265.

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

Variable	Unidad	Alternativa							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Vmax Q = 200	m/s	3.26	2.9	2.79	3.2	3.26	2.99	2.99	1.69
Vmax Q = 800	m/s	4.66	4.21	3.92	4.7	4.66	4.1	4.1	2.35
Vmax Q = 2424 [m ³ /s]	m/s	6.24	5.29	5.02	6.2	6.2	5.02	5.29	1.69
Vmin Q = 200	m/s	0.51	0.13	0.07	0.09	0.05	0.04	0.04	1.69
Vmin Q = 800	m/s	0.59	0.33	0.2	0.24	0.18	0.11	0.13	2.35
Vmin Q = 2424 [m ³ /s]	m/s	0.52	0.7	0.4	0.52	0.47	0.26	0.3	1.69
Tdet Q = 200	h	-	3.3	4.87	4.7	2.91	3.16	2.94	88.3
Tdet Q = 800	h	-	0.96	1.48	1.4	0.77	0.79	0.73	4.6
Tdet Q = 2424 [m ³ /s]	h	-	0.46	0.58	0.56	0.27	0.26	0.24	1.3
Vol. Total	Hm ³	-	9.04	10.01	9.75	9.75	9.1	9.5	9.37
Vol. Descapote	Hm ³	-	2.26	2.4	2.34	2.34	2.34	2.26	2.18
Vol. Dique central	Hm ³	-	-	-	-	0.22	-	0.6	
Vol. Útil	Hm ³	-	7.78	7.61	7.41	7.19	6.76	6.71	7.2