

River (Colorado), así como la transferibilidad de los resultados (como se explica más adelante). En dicho trabajo estratificaron el río en distintos mesohábitats, con el fin de realizar un esfuerzo igual en cada uno de ellos. Para obtener los datos, un equipo de buceadores recorrió todas las zonas objeto de la simulación física, en dirección aguas arriba, observando la situación de cada individuo y colocando un “marcador” numerado en su posición. En ese momento se anotaba, junto al número del marcador, los datos de la especie, etapa de desarrollo y altura focal. Tras terminar el buceo, se realizaba la medición de las variables físicas (profundidad, velocidad media, velocidad focal y refugio disponible) en cada marcador numerado.

Para describir el uso del microhábitat por los peces, (Thomas y Bovee, 1993) se basaron en la teoría de los límites de tolerancia no paramétricos ((Wilks, 1941); (Sommerville, 1958), en (Bovee, 1986)), definiendo dos intervalos que llamaron “rangos de idoneidad de hábitat” (“habitat suitability criteria”, HSC): el rango **óptimo** (50% central de la distribución de datos, al que asignaron un índice de preferencia de 1) y el rango **adecuado** (95% central, con un índice de preferencia de 0.5). A los intervalos fuera del óptimo y dentro del adecuado lo llamaron zona **usable**, y lo que se encuentra fuera del adecuado lo llamaron **inadecuado**. Por otra parte, las mediciones tomadas para la simulación hidráulica (secciones transversales para su introducción en el programa PHABSIM) fueron empleadas para estimar la distribución de la profundidad, velocidad, sustrato y refugio disponibles en el tramo de río. Utilizando estos datos, también calcularon curvas de preferencia basadas en los índices de selección, para realizar comparaciones a posteriori con las curvas de uso.

Otra forma de estudiar los individuos por separado es el seguimiento por métodos de ondas de sonido o biotelemetría. Esta técnica comenzó a estar disponible en los años 50 ((Trefethen, 1956), en (Baras y Philippart, 1989)) y se desarrolló mucho en los sesenta ((Johnson, 1969); (Cochran y Lord, 1963), en (Baras y Philippart, 1989)) con la progresiva miniaturización de los componentes electrónicos y las pilas. Desde 1956, numerosas especies piscícolas han sido objeto de estudio por medio de estas técnicas, al menos unas 97 pertenecientes a 30 familias diferentes, contando solo hasta la década de los ochenta.

5.3.2. Muestreo aleatorio de uso y disponibilidad

En este caso se seleccionan aleatoriamente una serie de puntos en la zona de estudio, que al mismo tiempo sirven para obtener datos de uso y de disponibilidad. En cada uno de ellos se miden las condiciones del hábitat, y se les asocia la presencia o no de la especie objeto del estudio.

Este método fue el usado por (Monahan, 1991). El trabajo consistía en utilizar un equipo de pesca eléctrica transportado en una barca, cuyo ánodo móvil tenía un cable de unos 15 m de largo. El equipo se acercaba desde aguas abajo a cada lugar escogido previamente, permaneciendo a cierta distancia para no molestar a los peces. Entonces se lanzaba el ánodo al punto elegido (se conectaba la electricidad mientras el ánodo estaba

en vuelo), y al caer al agua una o dos personas se dirigían rápidamente al punto para sacar los peces afectados por la corriente eléctrica. Entonces se anotaba la presencia o ausencia de la especie en estudio, y se medían las condiciones del punto de modo similar a como se explica en el método anterior.

5.4. Estudios de Preferencia río Manso

Este estudio de preferencia se realizó en dos fases, la primera fase es la realización de la curva de preferencia de **categoría I** basada en información secundaria, con la experiencia de varios profesionales que han realizado diferentes trabajos en el área de estudio y pescadores del casco urbano de San Miguel. Los cuales por medio de su experiencia profesional y experiencia en campo llegaron a un consenso en la aproximación de la curva de preferencias de la especie *Ichthyoelephas longirostris*. La segunda fase se realizó en campo para corroborar la curva de preferencia “in situ” y obtener una aproximación de la curva de preferencia **categoría III**.

5.5. Categoría I

Esta categoría se elabora gracias a la ayuda de los profesionales en Biología de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) quienes aportaron sus conocimientos adquiridos por trabajos realizados en el área de estudio con su aporte se realizaron las curvas de preferencia de velocidad y profundidad y con la comunidad de pescadores del Casco urbano de San Miguel Departamento de Antioquia aportaron sus conocimientos para generar la curva de preferencia de sustrato. Con los cuales se elaboraron diferentes técnicas Delphi para llegar a recopilar la información necesaria para la elaboración de la aproximación a la curva de preferencia de la especie objetivo. Los cuestionarios procesados arrojaron las diferentes curvas de preferencias.

5.5.1. Preferencia de Profundidad, Velocidad y Sustrato (tipo I)

Realizado el trabajo de recopilación, se estudiaron los porcentajes de cada respuesta para las distintas profundidades y velocidades ya que la preferencia del pez está en función del espectro ecológico de la especie y del hábitat disponible. Los rangos utilizados para separar clases han sido de 5 cm/s para velocidad y de 20 cm para profundidad, los tipos de sustrato se han tomado simplificando la clasificación de la American Geophysical Union.

Como es sabido, el objetivo de los cuestionarios sucesivos, es “disminuir el espacio intercuartil, esto es cuanto se desvía la opinión del experto de la opinión del conjunto, precisando la mediana”, de las respuestas obtenidas. El objetivo del primer cuestionario es

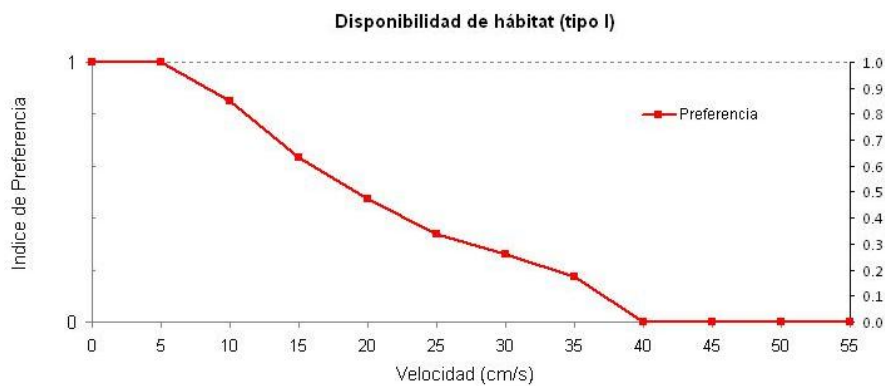


Figura 5.1: Curvas de disponibilidad de hábitat para velocidad.



Figura 5.2: Curvas de disponibilidad de hábitat para profundidad.

calcular el espacio intercuartil. El segundo suministra a cada experto las opiniones de sus colegas, y abre un debate transdisciplinario, para obtener un consenso en los resultados y una generación de conocimiento sobre el tema. Cada experto argumentará los pro y los contra de las opiniones de los demás y de la suya propia. Con la tercera consulta se espera un todavía mayor acercamiento a un consenso.

Los resultados mostraron coincidencias con otros estudios, tanto a nivel general de otras familias. Principalmente cabe mencionar que la profundidad utilizada es mayor en la fase adulta de los peces (Figura 5.2), situación que distintos autores han comprobado ((Grossman et al., 1987 (a)),(b); (Grossman y Sostoa, 1994 (a)),(b)). Otro de los resultados llamativos salió del análisis de la altura focal que ocupa el pez en la columna de agua: se observa que la especie *Ichthyoelephas longirostris* se encuentra regularmente en la parte media de la columna de agua y cerca del lecho (ISAGEN – CORPOBIOTICA, 2006), esta especie no suele ocupar la parte más alta (y mayor velocidad) de la columna de agua. (Figura 5.1).

En cuanto al sustrato (Figura 5.3), los pescadores de la región de San Miguel los cuales además de realizar la pesca con atarraya, realizan sumersiones con arpones logrando identificar los sitios preferidos por los peces y concordaron que esta especie, es encontrada

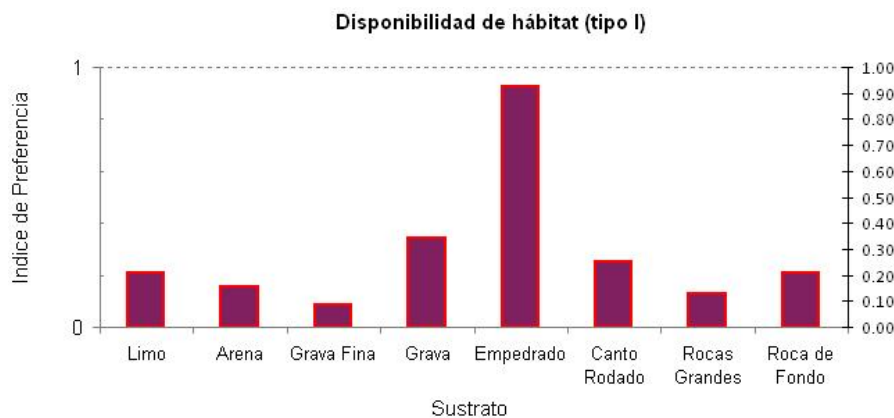


Figura 5.3: Curvas de disponibilidad de hábitat para sustrato.

en lechos empedrados a una profundidad mayor a un metro, los que concuerda con lo que se ve en la (Figura 5.2), realizada por los expertos de la Universidad Nacional.

5.6. Categoría III

El método de mayor detalle resulta ser la observación directa bajo el agua, puesto que con la captura con redes, pesca eléctrica cuenta con errores en la primera se subestima la profundidad y en la segunda los errores se presentan debido a la galvanotaxia y el espanto del pez en ciertas zonas de campo eléctrico, por lo cual la escala de trabajo es relativamente grande (mayor de 10 m²) y con las técnicas de observación directa de los peces se suele subestimar el número de peces pequeños, sobre todo en lugares de fuerte pendiente y aguas someras (Heggenes, 1994).

La técnica de observación bajo el agua permite estimar el punto donde se encuentra el pez dentro de la columna de agua (punto focal), permiten observar los peces en zonas de difícil visibilidad del río (rabiones, zonas con espuma, cornisas sumergidas, vegetación acuática, etc.) y aporta una mayor fidelidad a la hora de conocer el comportamiento del pez ((Bovee, 1986); (Heggenes, 1994)). Por estas razones se escogió para estudiar el uso del microhábitat la técnica de buceo con “snorkel” (tubo).

Para caracterizar el microhábitat se emplea las variables de velocidad, profundidad y sustrato, contando también con las variables de presencia de refugio disponible para el pez y distancia a la orilla (de las cuales se hace un análisis diferente). A pesar de que otros autores han estudiado numerosas variables físicas (ver (Jowett, 1990)) en la mayoría de los casos todas dependen de los 4 primeros factores (p.e.: (Wesche *et al.* 1987); (Jowett, 1990)), exceptuando las variables relacionadas con la temperatura

Podemos decir que el método utilizado ha sido muy similar al expuesto en el punto 5.3.2 sobre enfoques metodológicos, y que se explica mejor a continuación. La persona que bucea (en este caso 1 buceador) se dirige corriente arriba comenzando por el punto inferior

de la estación y observa a cierta distancia la situación de los individuos, ya sean aislados o en grupos, procurando no molestarles. Si se observa que el pez está siendo perturbado en su comportamiento, no se realiza el registro, lo cual hace que el muestreo no sea un censo completo, y que puedan (y deban) omitirse las medidas de un número variable de peces en un tramo de estudio.

El buceador lleva un conjunto de marcadores preparados para colocarlos donde se encuentra cada pez o conjunto observado. Primero, al observar a cierta distancia, se apunta (en una tablilla subacuática) los siguientes datos: Número de registro (chapa numerada adjunta al marcador), especie, estado de desarrollo (alevín, juvenil o adulto), altura focal (en el “morro” del pez) estimada por visulización”, elementos de refugio cercanos disponibles para el pez, número de individuos situados en dicho microhábitat y observaciones que estime oportunas (generalmente sobre su comportamiento). Entonces, se coloca sobre el lecho el marcador, que está hecho de una pequeña pieza de acero numerada y con un lazo rojo atado.

Una vez recorrida toda la estación, dos muestreadores miden las variables del microhábitat en cada uno de estos puntos: velocidad media de la columna de agua, velocidad focal, profundidad, altura focal, tipo de sustrato y distancia del punto a la orilla. Se anotan también los elementos de refugio cercanos y la existencia de sombra.

Una vez que se han registrado las condiciones de los puntos escogidos por los individuos, se pasa a realizar mediciones para conocer el hábitat disponible del tramo. Para ello se realizan una serie de transectos, en distinto número según el tamaño del tramo, situados de forma que representaran adecuadamente la heterogeneidad longitudinal del tramo (zonas de poza profunda, remansos, rápidos, etc.).

5.6.1. Resultados de campañas

Se realizaron diferentes campañas para obtener la curva de preferencia tipo III para la cuenca del río Manso. Se realizaron sumersiones en los diferentes sitios Tránsito, La Sonrisa, La Samaria, Cadenales, La Risaralda, La Punta, Remolinos y en la desembocadura de río Manso a río Miel. Los sectores del río y sus secciones fueron seleccionados en conjunto con ISAGEN y Corpobiótica en visitas previas a la realización de este trabajo, dando la posibilidad de realizar algunos cambios de dichas localizaciones en el desarrollo del trabajo de campo; adicionando algunos sitios y secciones auxiliares cumpliendo de todas maneras con las condiciones establecidas, buscando caracterizar los diferentes tramos del río y las variaciones al interior de los tramos.

Para escoger las diferentes secciones se dividió el área de estudios así:

5.6.2. Sector de confluencia del río Manso con el río La Miel

Descripción

El río fluye a través de un amplio y simétrico plano de inundación de tipo derrame, en un cauce amplio que bajo condiciones de crecientes alcanza las orillas y deposita material en su plano de inundación.

La vegetación ribereña se extiende sobre el margen derecho en grupos aislados y dispersos; sobre la margen izquierda se encuentra regularmente espaciada y compuesta principalmente por pastos (60 %) con presencia de árboles con altura mayor a 10 metros (20 %) y árboles con altura menor a 10 metros en igual porcentaje (20 %). La mayor proporción de la vegetación está conformada por especies exóticas (80 %) constituidas por especies de gramíneas para pastoreo (margen izquierda) y por cultivos de plátano (margen derecha) (Figura 5.4) y con solo un 20 % correspondiente a especies nativas. El sombreado del cauce es muy bajo (menor al 5 %).



Figura 5.4: Sitio desembocadura margen derecha arriba; margen izquierda abajo.

El flujo de agua no presenta restricciones pero se aprecia la formación de barras laterales desprovistas de vegetación y se observan depósitos ocasionados por crecidas. El sustrato está constituido principalmente por guijarros, grava, arena fina y pequeños depósitos de

arcillas en las barras laterales. La baja pendiente longitudinal (1 a 3 %) no permite la formación de caídas ni de grandes chorros. La lámina de agua discurre de manera uniforme y no se aprecian rizos sobre la superficie. La matriz de sedimentación dominante es una estructura dilatada en la que un 30 a un 60 % está conformada por sedimentos finos con baja disponibilidad de espacios intersticiales. No son apreciables aceites ni olores extraños en el agua ni sedimento.

las inmersiones se realizaron en un tramo de 500 m aproximadamente iniciando cerca a la mira ubicada en la estación La Cachaza del río La Miel hasta 450 m de la confluencia, en este sector se encuentran tres secciones transversales denotadas sección:

Sección 1. Río La Miel aguas abajo confluencia: Localizada 20 m aguas a bajo de la confluencia.

Sección 2. Río La Miel aguas arriba confluencia con el río Manso: Localizada 80 metros aguas arriba de la confluencia.

Sección 3. Río Manso antes de la confluencia con el río La Miel: Ubicada 100 metros agua arriba de la confluencia

5.6.3. Sector río Manso Remolinos

Descripción

En este punto el río corre por un valle con pendientes en ángulo agudo, es poco profundo y amplio con las laderas poco escarpadas y pendientes verticales bajas (10 a 40°) conformadas por la roca madre, no presenta un plano de inundación definido.

La vegetación en las riberas está conformada principalmente por bosque nativo en buen estado de conservación (Figura 5.5). La vegetación se distribuye de manera continua a lo largo de ambas riberas y se compone principalmente de vegetación nativa (90 %), con pequeños grupos de vegetación exótica (10 %). En la zona ribereña la vegetación está conformada principalmente por árboles con altura cercana a 10 metros (80 %), seguido por arbustos (15 %) y con una baja proporción de hierbas y helechos (5 %). A pesar que las riberas tienen una buena cobertura del dosel, el cauce es poco sombreado (entre el 6 y el 25 %) debido a su mayor amplitud. En términos generales, el grado de perturbación de la vegetación ribereña es bajo debido a que vegetación nativa se encuentra presente en ambos márgenes del río.



Figura 5.5: Río Manso en el sitio Remolinos

En este tramo el río fluye de manera uniforme, su pendiente longitudinal es baja y permite que el agua fluya lentamente, con pocas alteraciones superficiales ya que no se aprecian rizos. El lecho se encuentra conformado principalmente por rocas de pequeño tamaño (<0.1 cm), guijarros y arena. No se aprecia la formación de barras dentro el cauce y pequeñas playas de guijarros y arena gruesa emergen cuando el nivel del agua es muy bajo. Las rocas presentes en esta estación son muy redondeadas, producto del arrastre que han venido sufriendo desde la parte alta hasta esta zona en donde son depositadas.

Las inmersiones se realizaron en las inmediaciones del puente de la vía que de Norcasia conduce al corregimiento de San Miguel sobre el río Manso y sus alrededores. En este punto se encuentran dos secciones transversales:

Sección 4. Puente Remolinos: Ubicada a 100 metros aguas arriba del puente de la vía que de Norcasia conduce al corregimiento de San Miguel sobre el río Manso.

Sección 5. La Caja: Ubicada 400 metros aguas arriba de la anterior, este sector se caracteriza por tener sus márgenes conformadas por afloramientos rocosos de pendiente alta

5.6.4. Sector río Manso La Punta

Descripción

En este sector del río no existe un plano de inundación definido, el río fluye a través un valle con pendientes en ángulo agudo con riberas muy escarpadas (60 a 80°), donde aflora la roca madre en un 50% de la totalidad del tramo (Fotografía 10). La vegetación ribereña está conformada principalmente por árboles con altura mayor a 10 metros (30%), arbustos (30%), árboles menores a 10 metros (20%), hierbas (10%) y helechos (10%). Las especies nativas representan cerca del 90% de la vegetación y un 10% de gramíneas para pastoreo de ganado. La extensión de la vegetación rastrera de la ribera es moderada y se distribuye de manera continua lo largo de ambas orillas. El sombreado sobre el cauce es bueno (entre

un 25 y 50%). El grado de perturbación de la vegetación en esta estación es moderado, sobre ambos márgenes se haya un camino de herradura y el lugar es frecuentado por habitantes de la región para el desarrollo de actividades recreativas (Figura 5.6).



Figura 5.6: Río Manso en el sitio La Punta

El lecho del río está conformado principalmente por guijarros ($< 0,1$ m). La pendiente longitudinal es moderada y la velocidad del agua es baja cuando el río está con bajo caudal. Se observan grandes áreas de depósito de material fino (arenas y gravas) en las dos riberas, particularmente en la derecha en el sector de la desembocadura de la quebrada El siete que arrastra arenas y limos que forman una barra lateral en el río (Figura 5.7). La matriz del lecho es poco compacta lo que hace que la remoción de material durante eventos de crecidas sea importante.



Figura 5.7: Río Manso en el sitio La Punta

Las inmersiones solo se lograron hacer aguas a bajo del puente colgante, las secciones transversales se encuentran:

Sección 6. Puente Colgante: Localizada a 100 m aguas arriba del puente colgante del camino a las veredas de Manizalitos y San Esteban del municipio de Norcasia.

Sección 7. Aguas abajo Quebrada La Sana: Ubicada a unos 400 metros aguas arriba de la anterior.

5.6.5. Sector río Manso La Risaralda

Descripción

En este sitio se caracteriza por no presentar un plano de inundación definido, pero la presencia de troncos evidencia que el río se desborda sobre su margen derecha cuando presenta grandes crecidas. En este tramo el río discurre por un valle con pendientes en ángulo agudo y riberas fuertemente escarpadas con pendientes entre los 60° y 80° y afloramientos de roca cercanos al 20 % de la totalidad del tramo. (Figura 5.8).



Figura 5.8: Río Manso en el sitio La Risaralda

La vegetación ribereña está constituida por árboles con altura menor a 10 metros (40 %), árboles con altura mayor a 10 metros (30 %), arbustos (15 %), hierbas (10 %) y helechos (5 %). Las especies nativas representan el 50 % de la composición y conformada principalmente por vegetación rastrera con una extensión moderada. La franja de vegetación se distribuye de manera continua a lo largo de la ribera izquierda y semicontinua en la ribera derecha donde se halla la carretera de acceso al lugar. El sombreado del cauce es moderado (25 a 50 %).

Este lugar se caracteriza por presentar gran variedad de formas del lecho a lo largo del tramo, el cual está conformado principalmente por rocas de gran tamaño en donde el agua discurre con velocidad y turbulencia, promoviendo el transporte de materiales (Figura 5.9). Como se dijo anteriormente, la gran variedad de formas del lecho es debida a las rocas presentes que forman cascadas, saltos y rápidos. Las rocas son sub-angulares debido al constante accionar del agua y al continuo arrastre a lo largo del río. El lecho está conformado principalmente por rocas de tamaño moderado (0,5 m) que algunas veces logran sobresalir en la corriente. La alta velocidad del agua en este tramo dificulta la formación de zonas de deposición de sedimentos.



Figura 5.9: Río Manso en el sitio La Risaralda aguas arriba

Las sumersiones se realizan en inmediaciones del puente colgante y 100 m aguas abajo de éste, las secciones transversales son:

Sección 8. Aguas abajo Puente colgante: Localizada 150 metros aguas abajo del puente colgante.

Sección 9. Aguas arriba Puente colgante: Localizada 150 metros aguas arriba del puente a un lado de la casa al pie de la carretera.

5.6.6. Sector río Manso Cadenales:

Descripción

En este tramo el río Manso, se caracteriza por no presentar un plano de inundación definido pero la presencia de troncos hace evidente que durante las crecientes el río se desborda sobre su margen derecha. En este tramo el río discurre por un valle con pendientes agudas y riberas escarpadas, inclinaciones entre los 60° y 80° y afloramientos rocosos cercanos al 50 % de la totalidad del tramo.

La vegetación ribereña está conformada principalmente por árboles con alturas menores a los 10 m (40 %), árboles mayores de 10 m (30 %), arbustos (20 %), hierbas (10 %) y helechos (10 %) (Figura 5.10). Está compuesta por especies nativas en un 50 % y presentan una extensión de la vegetación rastrera moderada. La franja de vegetación ribereña se distribuye de manera continua lo largo de la margen izquierda y semi-continua en la margen derecha. El sombreado sobre el canal es moderado (25 a 50 %).

En este sector, el cauce del río Manso es muy heterogéneo con una gran variedad de formas del lecho. El sustrato está conformado principalmente por rocas de gran tamaño (>1 m de diámetro) y sub-angulares. A pesar de que la pendiente longitudinal no es fuerte, el agua fluye a una gran velocidad y con alta turbulencia lo que define una alta capacidad erosiva. No se aprecia la formación de barras dentro del cauce ni playas en las

orillas. La diversidad de tamaños en las rocas del sustrato ocasiona la formación de una gran variedad de hábitats como cascadas, saltos y rápidos (Figura 5.10).



Figura 5.10: Río Manso en el sitio Cadenales aguas arriba

El lecho está fuertemente compactado debido a la presencia de rocas de gran tamaño que solo pueden ser removidas por crecientes extremas y dentro de sus intersticios se encuentran rocas de mediano y pequeño tamaño. Los sedimentos finos son depositados en algunas áreas laterales y se observan depósitos a lo largo del cauce. No se apreciaron aceites ni olores en el agua ni en los sedimentos.

Las inmersiones se realizaron desde el salto del pescadero, tratando en lo posible de abarcar las secciones transversales desde este sitio hasta el camino cerca a la quebrada Santa Rita, en este tramo se encuentran las secciones:

Sección 10. El Salto Pescadero: Localizada en la parte baja del salto aproximadamente 50 m.

Sección 11. El Salto aguas arriba: Localizada a 15 m de iniciarse el salto de Pescadero.

Sección 12. Aguas abajo Puente colgante: Localizada 120 m aguas abajo del puente colgante existente.

Sección 13. Aguas arriba Puente colgante: Localizada aguas arriba unos 150 m del puente existente.

Sección 14. La Bejuca: Localizada 250 m aproximadamente aguas arriba de la anterior.

Sección 15. Cadenales - 1: La primera de este sector iniciando desde aguas abajo, cerca a la casa de la finca a donde llega la carretera.

Sección 16. Cadenales - 2: Continuando aguas arriba unos 300 m por un camino en la margen derecha y que es paralelo al río.

Sección 17. Cadenales - 3: Se continua por el mismo camino aguas arriba aproximadamente 400 m hasta llegar a una garganta de unos 12 m de ancho en medio de macizos rocosos y con una profundidad de unos 5 m.

Sección 18. Cadenales - 4: Siguiendo por el mismo camino aguas arriba a 600 m.

5.6.7. Sector río Manso La Samaria

Descripción

Este tramo no tiene un plano de inundación definido, aunque en su margen izquierda se encuentra una pequeña vega que constituye una zona de desborde del río donde confluye además la quebrada La Mulata, formando un abanico de depositación de guijarros y arenas (Figura 5.11). En este tramo el río discurre por un valle con pendientes de ángulo agudo con riberas muy escarpadas, pendientes entre los 60° y 80° y con afloramientos rocosos que representan cerca del 50 % de la totalidad del tramo, particularmente sobre la margen derecha.



Figura 5.11: Río Manso en el sitio La samaria, en el área de confluencia de la quebrada La Mulata

La vegetación ribereña está conformada principalmente por árboles con alturas mayores a 10 m (30 %), arbustos (30 %), árboles menores de 10 m (20 %), hierbas (20 %) y helechos (20 %). Está constituida en un 90 % por especies nativas y un 10 % de hierbas, sobre la margen izquierda se encuentran áreas ganaderas que se extienden desde la orilla hasta la cima de la ladera donde hay pequeños cultivos de café y yuca. El sombreado sobre el canal es bueno y se encuentra entre un 25 % y 50 %.

El río Manso en esta sitio presenta un flujo uniforme pues la pendiente no es fuerte. Las rocas de gran tamaño que están cerca de las orillas forman áreas de baja velocidad, remansos y pequeños pozos de baja ocurrencia. Las barras al interior de cauce solo son apreciables cuando el nivel del agua está bajo, las rocas que conforman el lecho son redondeadas, los guijarros se encuentran semicompactados en una matriz de sedimentos finos (arenas, limos), inestables ante la acción de las corrientes. No se apreciaron aceites ni olores en el agua ni en los sedimentos.

Las inmersiones se realizaron 500 metros antes de la confluencia con la quebrada la mulata y 500 m aguas arriba de ésta, las secciones trasversales se presentan:

Sección 19. La Samaria - 1: Se localizó 30 metros aguas abajo de la quebrada Paraíso

y antes de la tarabita de la antigua estación de La Samaria.

Sección 20. La Samaria - 2: Localizada 70 metros aguas arriba de la quebrada Paraíso.

Sección 21. La Samaria - 3: Se ubicó aproximadamente a 200 metros aguas arriba de la anterior.

Sección 22. La Samaria - 4: Se localizó 200 metros aguas arriba de la anterior.

5.6.8. Sector río Manso La Sonrisa

Descripción

Este tramo no tiene un plano de inundación definido, en la su margen izquierda se encuentra una pequeña vega que constituye una zona de desborde del río donde confluye además con un caño pequeño, formando un abanico de depositación de guijarros y arenas. En este tramo el río discurre por un valle con pendientes de ángulo agudo con riberas escarpadas, pendientes entre los 60° y 80° y con afloramientos rocosos que representan cerca del 50 % de la totalidad del tramo, particularmente sobre la margen izquierda.



Figura 5.12: Río Manso en el sitio La Sonrisa

La vegetación ribereña está conformada principalmente por árboles con alturas mayores a 10 m (30 %), arbustos (30 %), árboles menores de 10 m (20 %), hierbas (20 %) y helechos (20 %). Está constituida en un 90 % por especies nativas y un 10 % de hierbas, sobre la margen izquierda se encuentran áreas ganaderas que se extienden desde la orilla hasta la cima de la ladera donde hay pequeños cultivos de café y yuca. El sombreado sobre el canal es bueno y se encuentra entre un 25 % y 50 %.

El río Manso en esta sitio presenta un flujo uniforme, pendiente no es fuerte. Rocas de gran tamaño que están cerca de las orillas forman áreas de baja velocidad, remansos y pequeños pozos de baja ocurrencia. Las rocas que conforman el lecho son redondeadas, los

guijarros se encuentran semicompactados, sedimentos finos (arenas, limos). No se apreciaron aceites ni olores en el agua ni en los sedimentos. El sombreado sobre el canal es bueno y se encuentra entre un 30 % y 60 %.

Las inmersiones se realizaron 300 m antes de la confluencia con el caño margen derecha y 100 m aguas arriba de éste, en este tramo se sacaron secciones transversales auxiliares se presentan:

Sección 22a. La Sonrisa - 1: Localizada 200 m aguas abajo del caño margen izquierda.

Sección 22b. La Sonrisa - 2: Ubicado a 100 m aguas abajo del caño margen derecha cerca a la torre de energía.

Sección 22c. La Sonrisa - 3: Se localizó 50 m aguas arriba del caño margen derecha.

5.6.9. Sector río Manso Sitio De Desvío

Descripción

En este punto, el río Manso se caracteriza por no presentar un plano de inundación definido, aunque existen algunas terrazas concentradas en una porción de la margen izquierda en inmediaciones del puente. El río discurre por un valle con pendientes en ángulo agudo con riberas muy escarpadas con pendientes entre los 60° y 80°. Es común el afloramiento de roca en las riberas, alcanzando un 50 % de la longitud del tramo (Figura 5.13).





Figura 5.13: Afloramiento rocoso imagen derecha; Barralateral de guijarros margen izquierda Puente San Diego

La vegetación ribereña está conformada principalmente por árboles con alturas menores a los 10 m (40 %) seguidos por arbustos (30 %) y en una menor proporción por árboles mayores a 10 m de altura, hierbas (10 %) y helechos (10 %). La vegetación está compuesta en su totalidad por especies nativas y se distribuye de manera continua a lo largo de ambas riberas. El sombreado del cauce es bajo (entre un 5 y 25 %).

El cauce no presenta barreras importantes que interrumpen el flujo de agua, la escasa pendiente no permite la formación de cascadas ni de grandes chorros. El lecho presenta una baja compactación y el sustrato está conformado por grandes rocas, arena y guijarros redondeados que fácilmente son removidos por la acción de la corriente. La lámina de agua se quiebra y riza debido a la presencia de rocas mayores a 1 m de diámetro. En el sector analizado, la margen derecha está formada por el lecho de roca que tapiza la orilla de forma casi vertical, en esta zona del río la profundidad y velocidad del agua es mayor, mientras que hacia la margen izquierda existe una zona de depositación de arena y guijarros que forman una barra de regular extensión (Figura 5.14), donde se pueden encontrar desechos leñosos y macrófitas acuáticas enraizadas. Hacia la porción final del tramo de monitoreo se concentran las actividades de extracción de materiales para construcción, así como las instalaciones de la obra de construcción de un nuevo puente sobre el río Manso. No son apreciables aceites ni olores en el agua ni en el sedimento, el agua en esta parte generalmente posee una buena transparencia.



Figura 5.14: Río Manso en el sitio Puente San Diego

Las sumersiones se realizaron en cercanías al Puente San Diego, en este sector se encuentran las secciones transversales:

Sección 23. Sitio Desvío - 1: En este sitio la pendiente del río es moderada.

Sección 24. Sitio Desvío - 2: Localizada a unos 100 m aguas abajo del puente, donde explotan material de río.

Sección 25. Sitio Desvío - 3: Está localizada a 70 m aguas arriba del puente.

5.6.10. Preferencia de Profundidad, Velocidad y Sustrato (tipo III)

Una vez que se han registrado las condiciones de los puntos escogidos por los individuos, se pasa a muestrear el hábitat disponible del tramo. Para ello se realizaron 28 transectos, situados de modo que representaran adecuadamente la heterogeneidad longitudinal del tramo (zonas de poza profunda, tablas, rápidos, etc.) A partir de estos datos podemos estudiar la presencia de zonas con distintas profundidades, velocidades y tipos de sustrato que existen en el tramo de estudio. Esto es muy importante, ya que la preferencia del pez está en función del espectro ecológico de la especie y del hábitat disponible (Grossman et al., 1987a,b; Heggenes et al., 1991).

En primer lugar se asignó una representatividad a cada transecto, que es el porcentaje de la longitud de río representada por el transecto respecto a la longitud total del tramo (redondeando a un número entero). Para un transecto i lo llamaríamos RT_i . A continuación se calcula una frecuencia F_j para cada clase j en que se ha dividido todo el rango de valores del parámetro (en el caso de velocidad o profundidad) o cada tipo de sustrato. El número de medidas en cada transecto se multiplica por la representatividad del mismo y se suman las frecuencias de cada clase para todos los transectos, obteniendo la suma total de frecuencias para cada clase j . Con estas frecuencias se calcula un “Índice de Disponibilidad” para cada intervalo j del parámetro. Este índice, Id_j , consiste en el cociente

entre la frecuencia ponderada de la clase F_j y la suma de las frecuencias ponderadas de todas las clases, es decir:

$$I_{dj} = \frac{F_j}{\sum_j F_j} \tag{5.4}$$

Su representación gráfica, normalizando la curva entre 0 y 1, es la que se ha llamado curva de disponibilidad de microhábitat de cada variable.

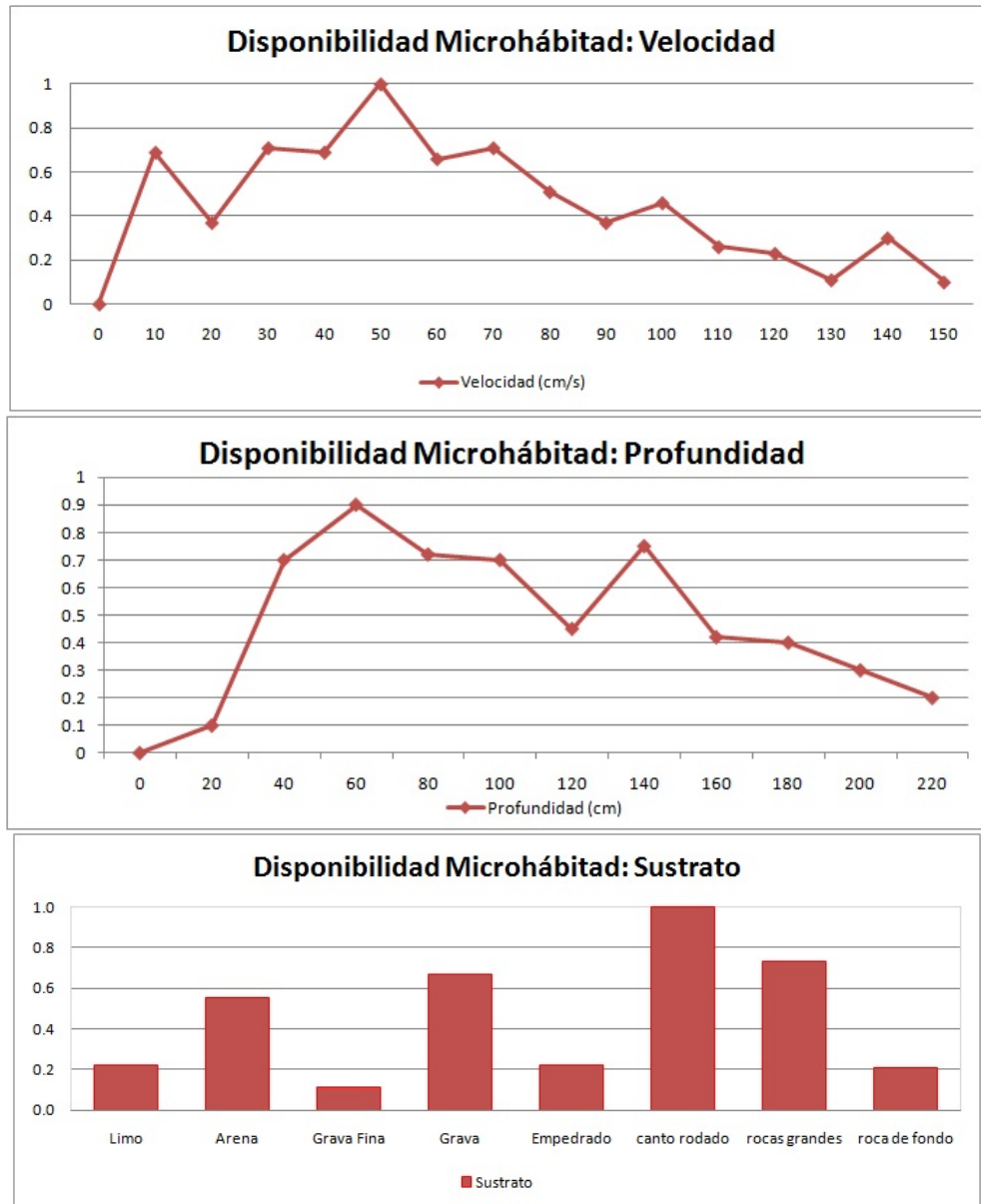


Figura 5.15: Curvas de disponibilidad de microhábitat para velocidad, profundidad y sustrato de río Manso.

Por otra parte, refiriéndonos al uso del microhábitat por parte de los peces, utilizamos un Índice de Uso para cada clase j del parámetro, definido como:

$$I_{uj} = \frac{N^\circ \text{ individuos asociados a la clase } j}{N^\circ \text{ total de individuos}} \tag{5.5}$$

La representación gráfica de este índice, normalizado a 1, es la que se ha llamado curva de uso de microhábitat de cada variable, para una especie y etapa de desarrollo determinada. Para obtener una curva de preferencia de categoría III se pondera el uso del hábitat con el hábitat disponible en el tramo. Esto se hace dividiendo la primera serie de datos (uso del hábitat) por la segunda (hábitat disponible), obteniendo así un índice de selección, es decir:

$$I_j = \frac{I_{uj}}{I_{dj}} \quad (5.6)$$

Por último, los índices obtenidos se representan por una curva normalizada entre 0 y 1. Obtenemos así la curva de preferencia buscada para el parámetro, especie y etapa de desarrollo de que se trate. Las curvas resultantes han sido suavizadas para los parámetros continuos, de modo que se presentan las curvas envolventes. El parámetro sustrato se presenta en forma de diagrama de barras.

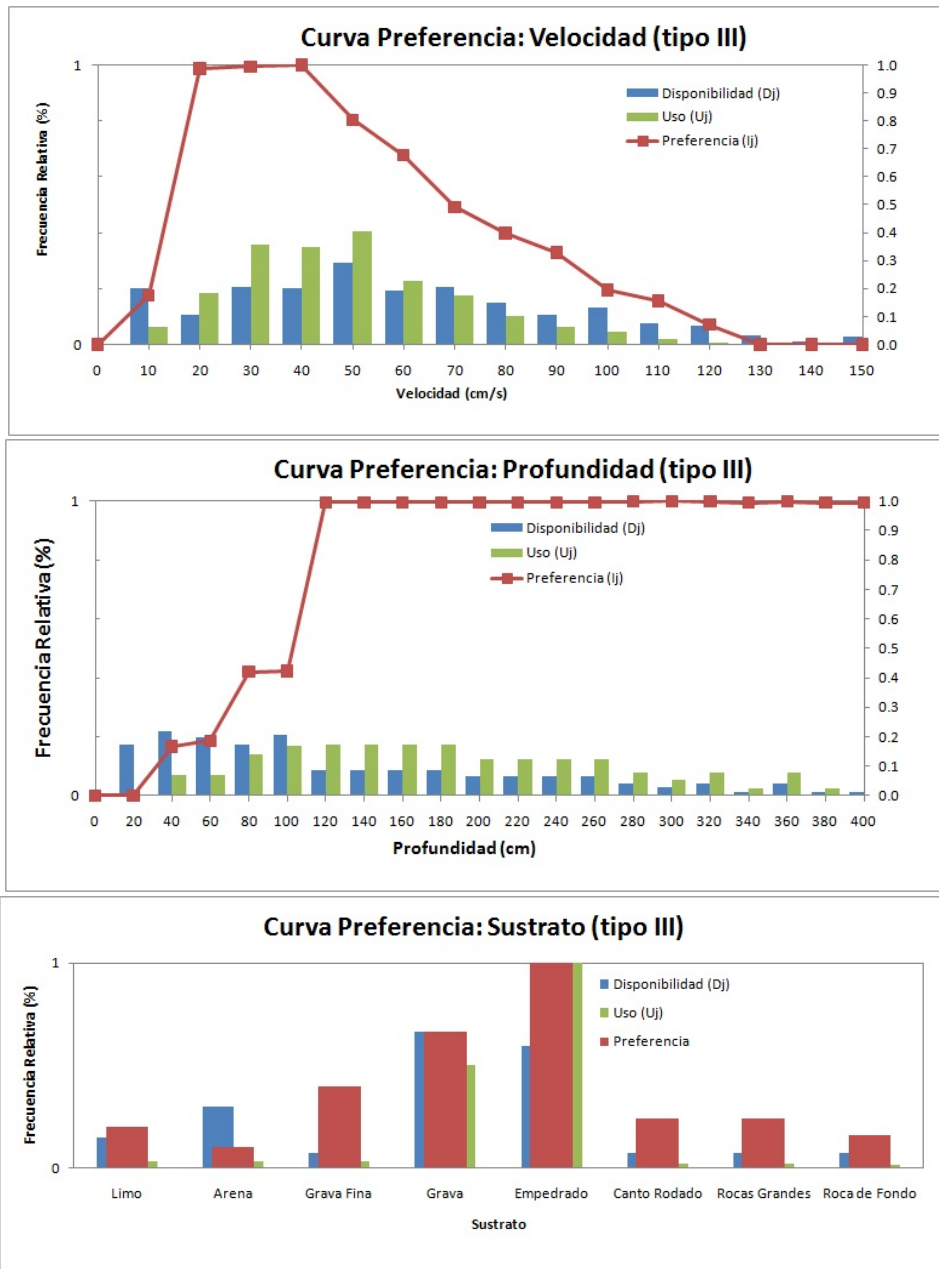


Figura 5.16: Curvas de preferencia de microhábitat para velocidad, profundidad y sustrato de río Manso.

Al estudiar el microhábitat disponible, se realizaron las curvas de disponibilidad para las variables de velocidad, profundidad y sustrato, que se muestran en la figura 5.15. En cuanto a la velocidad, predominaban las zonas moderadas, midiéndose un gran número de puntos (67%) con velocidad menor de 90 cm/s, y con un máximo de 150 cm/s. El análisis de las profundidades reveló que un gran porcentaje del hábitat (65%) presentaba profundidades iguales o menores a 60 cm, habiéndose encontrado una zona de poza donde se alcanzó el máximo de 220 cm de profundidad. Por último, para el sustrato se observa que los cantos rodados representan un porcentaje muy importante (53.6%) y las rocas grandes aparece como segunda en abundancia (41%).



Figura 5.17: *Ichthyoelephas longirostris* (arriba) y *Prochilodus magdalenae* (abajo)

En el muestreo subacuático del uso del hábitat se realizaron en total 76 registros, registrando la preferencia mostrada por 378 individuos. Las especies encontradas fueron (por orden de interés): El pataló (*Ichthyoelephas longirostris*) contaban 169 (169 adultos), bocachico (*Prochilodus magdalenae*) 130 adultos y 79 ejemplares de otras especies. Ninguno de ellos mostraba un comportamiento migratorio ni reproductivo y no se detectó ningún nido. Las curvas de preferencia (para velocidad, profundidad y sustrato) se calcularon para cada especie, en este informe solo se muestran las relacionadas con la especie (*Ichthyoelephas longirostris*).

Velocidad media (Figura 5.16). En el caso del pataló, los adultos mostraron máximos de velocidad de permanencia en 130 cm/s, el óptimo es menor de 50 cm/s. Esta especie es de aguas poco rápidas, aunque al hacer sus desplazamientos superan rápidos de hasta 130 cm/s, los individuos se encontraban muy cerca del lecho.

Profundidad total Estos individuos han sido encontrados cerca del sustrato, y las curvas de preferencia no reflejan un máximo debido a que se observaron a grandes profundidades y reportado capturas en profundidades más altas que las encontradas en río Manso. En general el rango observado de permanencia ha sido mayor a 60 cm en adelante.

Sustrato El pataló adulto presenta una preferencia máxima por rocas de tamaños moderados o empedrados (64-256 mm) seguida de la grava (8- 64 mm).

Capítulo 6

Modelo PHABSIM

6.1. Introducción

La compleja relación entre el régimen de caudales, la estructura del hábitat físico, la calidad físico-química del agua, la entrada de energía al sistema y las interacciones bióticas, determinan la producción primaria, la producción secundaria y finalmente el estado de la ictiofauna. PHABSIM es el procedimiento que se emplea en IFIM, es un conjunto de modelos matemáticos cuyo propósito fundamental es calcular un índice de la cantidad de hábitat disponible en un cauce, para diferentes estados de vida de las especies y para distintos caudales en el río. Para cumplir con su objetivo técnico PHABSIM posee dos componentes analíticos principales: programas de simulación hidráulica y criterios de habitabilidad para diversas especies, expresados generalmente como Superficie Ponderada Útil (SPU).

PHABSIM presupone que la disponibilidad de hábitat físico es el principal condicionante de la actividad vital de la dinámica poblacional de la especie objetivo. Aunque esta premisa se ha comprobado válida en numerosas ocasiones (p.ej. (Jowett, 1992);(Gippel & Stewardson, 1995), no siempre es cierta (Kraft, 1972), ya que existen otros factores que pueden regular una población, como la: disponibilidad de alimento (Einseg *et al.*, 1990), proximidad de las zonas de freza (Beard Carline, 1991), calidad del agua (Degeman *et al.* 1986), competencia (Hegge *et al.*, 1993) predación (Gotceitas Godin, 1993). No obstante, como el hábitat físico es una condición necesaria pero no suficiente para la supervivencia producción de la mayoría de los organismos acuáticos (Milhous, 1999), el Hábitat Físico Total (HT) puede utilizarse como un indicador de la potencialidad de la población en ese tramo de río. PHABSIM también supone que la especie objetivo reacciona directamente ante cambios en las variables que determinan el microhábitat físico (velocidad, profundidad sustrato, entre otras).

Si bien PHABSIM puede predecir el hábitat potencial generado bajo una alternativa, no es capaz de predecir la biomasa ni el tamaño de la población de peces en esas condiciones. PHABSIM se basa en los métodos de (Collings *et al.* , 1972) (Waters, 1976), pero

tiene la capacidad de simular condiciones hidráulicas diferentes las observadas en campo.

6.1.1. Información hidráulica

La componente hidráulica de PHABSIM (Programas para Simulación Hidráulica) está diseñada para predecir profundidades y velocidades del agua en secciones transversales del cauce en estudio para distintos caudales pasantes por la sección. Además del PHABSIM se utiliza el HEC-RAS versión 4.1.0 de 2010 (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System, del US Army Corps of Engineers de los Estados Unidos) también de libre acceso al público, para la etapa de calibración en la cual diversos parámetros hidráulicos (por ejemplo rugosidad del lecho) son modificados de tal manera que los resultados del modelo sean capaces de reproducir variables de tipo global medidas en distintas secciones transversales del cauce. Algunos de los datos medidos son la profundidad y velocidad media del agua en verticales repartidas uniformemente a través de la sección transversal, así como el material que compone el fondo o lecho del cauce. Los puntos de muestreo utilizados para la fase de calibración se seleccionan tratando de representar sectores del cauce en el cual se observan condiciones hidráulicas o de hábitat homogéneos. En la calibración se utilizó la información de las estaciones de caudal trasvase en la tabla 4.2, de esta manera es posible verificar que los niveles obtenidos por el modelo, estén de acuerdo a las curvas de descarga de la estación. De este modo, en el modelo HEC-RAS se simuló un año de caudales medios diarios (2005) en un estado de flujo no permanente de caudal, calibrado bajo diferentes aforos realizados en ese mismo año. El caudal va aumentando hacia aguas abajo, por cada uno de los tramos (Trasvase unido con la Sonrisa, La Samaria, Cadenales, La Risaralda, La Punta y Remolinos unido con Desembocadura) en régimen de flujo mixto, con esta opción el programa supervisa el número de Froude en todos los lugares de la secciones transversal de cada paso de tiempo, a medida que el número de Froude se acerca a 1, el programa automáticamente reduce la magnitud de los términos de inercia de la ecuación de momento, en caso contrario el modelo se reduce esencialmente a un procedimiento de difusión de onda de enrutamiento. Todas las secciones transversales de estos sitios están georeferenciadas mediante coordenadas y cotas en el sistema geodésico con origen Bogotá.

Las condiciones de frontera pueden expresarse mediante el valor de la pendiente del lecho, las condiciones de frontera para cada uno de los tramos ver Tabla 6.1.

Para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning se calibró el modelo hidráulico por tramos utilizando la información obtenida en campo de las campañas de aforo, se establecieron diferente Manning para cada uno de los tramos en la Tabla 6.2 se observan los resultados obtenidos en el fondo y en las bancas.

Los perfiles del flujo mostrados en la Figura 6.1, en 3D y 2D corresponden a la simulación realizada en el modelo HEC-RAS para el tramo Trasvase, las demás figuras correspondientes a los sitio faltantes se mostraran en el anexo hidráulica completa. La simulación en HEC-RAS se realiza para obtener una base que permita comparar los re-

Pendiente/Sitio	Aguas arriba	Aguas abajo
Trasvase	0.005	0.002
La Samaria	0.006	0.002
Cadenales	0.003	0.001
La Risaralda	0.002	0.002
La Punta	0.002	0.001
Remolinos	0.008	0.009

Tabla 6.1: Condiciones de frontera aguas arriba y aguas abajo para cada uno de los tramos simulados en HEC-RAS

Manning/Sitio	Fondo	Bancas
Trasvase	0.05	0.053
La Samaria	0.07	0.072
Cadenales	0.05	0.06
La Risaralda	0.06	0.065
La Punta	0.024	0.025
Remolinos	0.07	0.06

Tabla 6.2: Coeficiente de rugosidad de Manning para cada uno de los tramos simulados en HEC-RAS

sultados de la simulación en PHABSIM y así disminuir el nivel de incertidumbre que un software como éste genera en cuanto a simulación hidráulica.

A continuación se presentará la simulación realizada por el software PHABSIM para el sitio trasvase, Se presentan las secciones evaluadas bajo diferentes escenarios de caudal, desde el caudal ecológico propuesto en trabajos anteriores por (ISAGEN PROYECTO MANSO, 2010) de $2 \text{ m}^3/\text{s}$, el caudal mínimo obtenido por el análisis de frecuencia de series históricas $3.25 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta el caudal medio obtenido por el método de Cenicafé de $12.6 \text{ m}^3/\text{s}$, además de estos se toma un caudal de 5 y otro de $8.6 \text{ m}^3/\text{s}$ para comparar los resultados del modelo, con los resultados obtenidos en la simulación en (ISAGEN PROYECTO MANSO, 2010). En total cinco caudales simulados 2.0; 3.25; 5.0; 8.6 y $12.6 \text{ m}^3/\text{s}$ en el sitio de derivación y considerando los incrementos de caudal que se presentan por recargas a lo largo del tramo del río Manso comprendido entre este sitio y la confluencia con el río la Miel. La modelación se realizó teniendo en cuenta el incremento de los caudales hacia aguas abajo en cada tramo, en relación con los caudales medios de recarga que presenta el río, de acuerdo con los resultado en el balance a largo plazo, método cenicafé en el río Manso.

Para la modelación hidráulica en PHABSIM las secciones comprendidas en cada tramo deben tener el mismo caudal para garantizar régimen permanente. Por tal motivo se asumió un caudal constante por tramo. En relación con la modelación de las velocidades,

se tomaron como plantilla aquellas levantadas en las campañas de aforos de cada sección. La distribución de las velocidades, pendientes, rugosidad, coordenadas X, Y y Z y otros insumos importantes para la modelación en PHABSIM se tomaron de la información de los estudios hidráulicos de SEDIC (2006), campañas de aforo realizadas con corrientómetro (2010) y secciones levantadas con ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers, 2011).

Caracterización fluvial sitio Trasvase

Longitud: 620 m; Pendiente media: 0.0128 m/m; Anchura media: 20.6 m; Secciones transversales: 11; Espaciamiento medio: 54 m. Información de la hidrometría y de la calibración del modelo hidráulico con los caudales tomados con el ADCP, en las secciones S24.3 y S23.3 aguas arriba y aguas abajo del trasvase Manso, respectivamente. Tabla 6.3

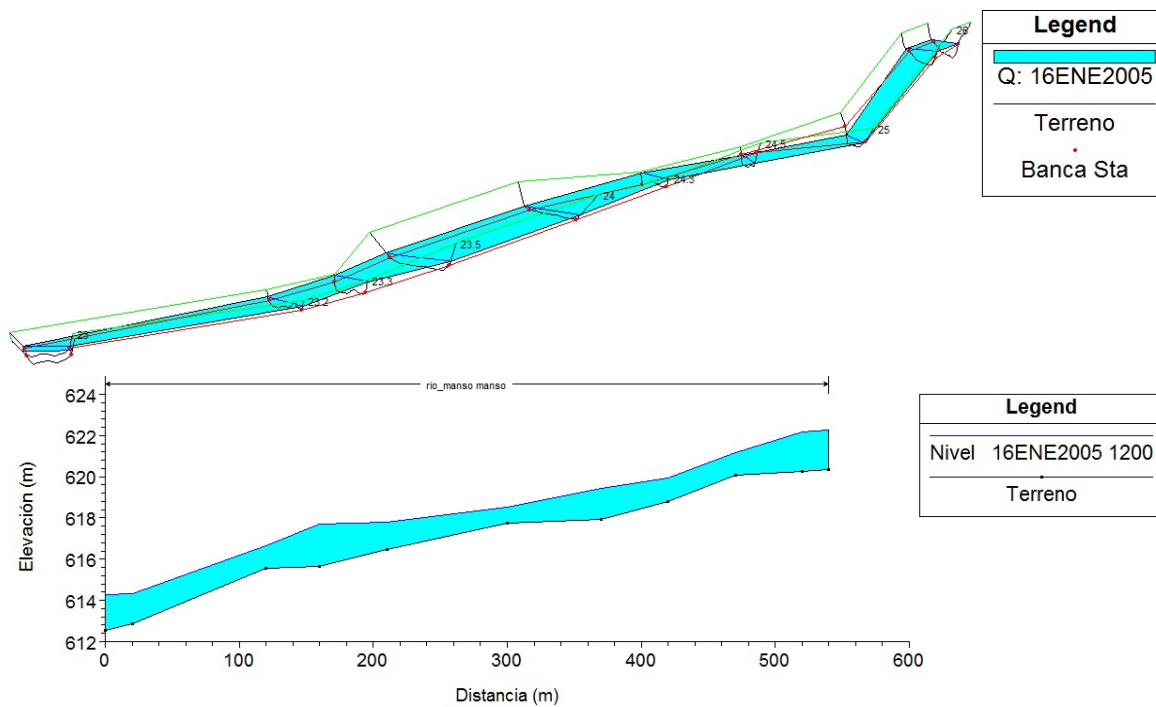


Figura 6.1: perfil en 3D y 2D del sitio Traslase

Hidrometría	
Método aforo	Vadeo - ADCP
Espaciamiento medio de celda	0.8 m
Caudales observados (Qobs)	(2) - 13.6 m ³ /s y 20 m ³ /s

Tabla 6.3: Hidrometría sección Traslase

Sección	Tipo hábitat	Abscisa	Cota fondo	Lámina	V media	Area	R	Froude	Sf	Esfuerzo	Potencia	AR ^{2/3}
		m	m	m	m/s	m ²	m			N /m ²	N/ms	
S27	Poz	K0+020	620.34	1.18	0.46	7.84	0.72	0.17	0.000621	4.38	2.02	6.30
S26	Tab	K0+070	620.24	1.27	0.4	8.94	0.82	0.14	0.001599	12.85	5.14	7.83
S25	Cor	K0+120	620.09	0.39	1.02	3.53	0.24	0.66	0.020188	47.48	48.43	1.36
S24.5	Rap	K0+170	618.79	0.45	1.03	3.5	0.31	0.58	0.002211	6.72	6.92	1.60
S24.3	Cor	K0+240	617.95	1.04	0.41	9.03	0.56	0.17	0.002631	14.44	5.92	6.13
S24	Rap	K0+330	617.76	0.31	1.02	3.55	0.16	0.81	0.004769	7.48	7.63	1.05
S23.5	Rap	K0+380	616.45	0.48	0.42	8.5	0.32	0.24	0.000477	1.50	0.63	3.98
S23.3	Poz	K0+420	615.63	1.26	0.23	16.1	0.89	0.07	0.000744	6.49	1.49	14.90
S23.2	Rap	K0+520	615.55	0.47	1.08	3.34	0.27	0.65	0.021093	55.81	60.28	1.40
S23	Tab	K0+540	612.85	0.53	0.94	3.85	0.25	0.59	0.004155	10.18	9.57	1.53
S22	Poz	K0+545	612.55	0.72	0.52	6.92	0.41	0.26	0.002	8.04	4.18	3.82

Tabla 6.4: Descripción de las caracterización fluvial del tramo.

Método	Configuración
Modelo de hábitat	HABTAE
Índices de hábitat	WUA (m ² /m)
Velocidad en celda	Media
Preferencia biológica	Adultos - Juveniles
Intervalo de caudal	2-12.6 m ³ /s

Tabla 6.5: Evaluación de hábitat para el sector trasvase

6.1.2. Clasificación de Meso-Hábitats

Se clasifica el meso-hábitat de acuerdo a la definición de las unidades hidromorfológicas (UHM), empleadas en PHABSIM, la UHM refleja la interacción entre las características hidráulicas y la topografía del lecho, es decir: una UHM es una poza, una corriente rápida, un rápido, una tabla, un remanso o un salto en la Figura 6.2 se muestra un ejemplo de la caracterización. Igualmente, se muestra los resultados de la modelación en el software HEC-RAS para un caudal de 3.6 m³/s uno de los más bajos en el periodo de tiempo de simulación, Tabla 6.4. El sustrato del canal, varía entre limo, arena grava fina, grava, empedrado, canto rodado, roca grande y roca de fondo. En este sitio predominan los cantos (27%), empedrado (17%) y roca (14%). La forma como se corrió el modelo PHASIM se muestra en la Tabla 6.5. La información biológica se toma de los resultados obtenidos en la aproximación a la curva de preferencia (tipo III) para la especie *Ichthyoelephas longirostris* (pataló) generada en este informe figura 5.16. Estas curvas indican la preferencia del pataló en relación con la distribución de profundidades y velocidades en la corriente de agua. Se selecciona esta especie, por ser una especie permanente tanto en el río Miel como en río Manso, por encontrarse en peligro y por ser una especie de valor comercial.

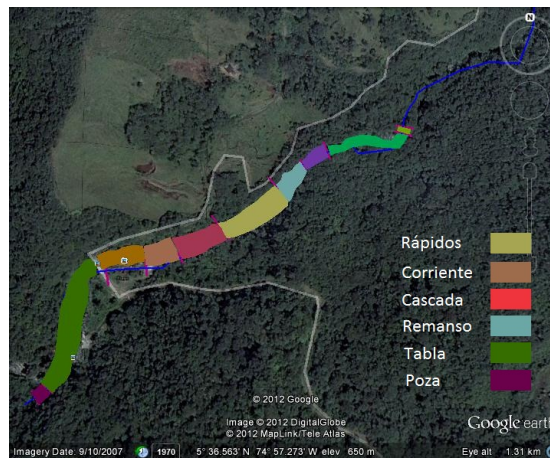


Figura 6.2: Mapa del hábitat característico para el tramo trasvase

6.1.3. Resultados del modelo PHABSIM

El caudal mínimo óptimo o caudal ecológico se podría definir como aquel en el que la pendiente ascendente de la curva WUA-Caudal disminuye sensiblemente. A partir de este punto de inflexión, caudales mayores no incrementan apreciablemente el hábitat físico útil.

Es importante enfatizar que la base de la relación WUA-Caudal obtenida de la modelación en PHABSIM representa sólo la variación instantánea del hábitat físico con un caudal específico y no debería ser interpretado en la ausencia de uno o más regímenes de flujo de la zona de estudio.

En las Figuras 6.3 se presenta solo los resultados de la modelación para el tramo trasvase para cada caudal de simulación. Se establece el área ponderada útil expresada en metros cuadrados (m^2) por kilómetro lineal (1000 m) requerido para el estadio de desarrollo de los peces, Adulto y juveniles con los distintos caudales modelados. Se aprecia que, los caudales ideales arrojados por el modelo son los mayores a $4 m^3/s$, el mayor valor es $5 m^3$ y luego desciende lo que significa que a mayor caudal no siempre es beneficio para los organismos objetivo, ésto teniendo en cuenta todo el tramo en la modelación. Para las secciones y los dos estadios estudiados, $2,0 m^3/s$ ofrece condiciones no tan favorables en términos de hábitat disponible, evaluado como área ponderada útil (WUA) pero el pez tendría condiciones de hábitat bajo algún grado de estrés en algunas secciones, que con caudales menores a $2,0 m^3/s$. El conocimiento de la disponibilidad del hábitat en relación con el caudal no necesariamente implica el conocimiento de la población de los organismos en el río. La suposición básica es que una población de animales acuáticos debe tener un requerimiento de condiciones de hábitat físico adecuadas, pero la existencia de dichas condiciones no garantiza la presencia de dicho organismo en la corriente, o sea que el hábitat físico es necesario pero no suficiente.

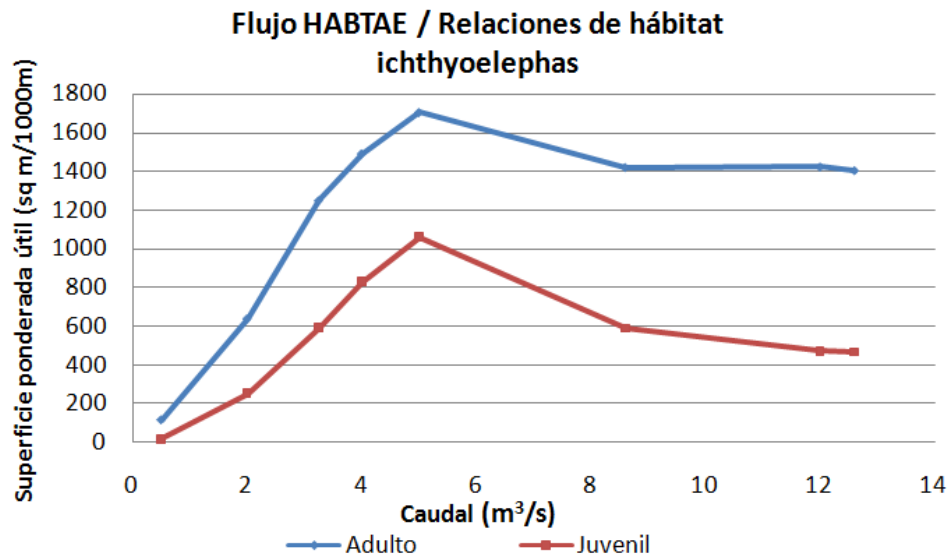


Figura 6.3: WUA-Tramo Trasvase

En conclusión, es posible afirmar que se logró obtener un buen acercamiento al comportamiento de la disponibilidad de hábitat para el pataló. Debido a la división por tramos que se realizó, se obtuvieron diferentes caudales, los cuales variaron en su gran mayoría entre 2 y 7 m³/s a partir del sitio de desviación. Para caudales inferiores a 2,0 m³/s no se garantizaría buena disponibilidad de hábitats físicos y para caudales superiores a 5 m³/s no siempre aumenta el área ponderada útil y cuando es así no se presentan grandes diferencias en relación con los caudales menores. En anexos se presentan los otros resultados del modelo.

Limitaciones del modelo PHABSIM

En el desarrollo de la presente modelación se presentaron las siguientes limitaciones en la relación con la información disponible:

- Las secciones están separadas distancias considerables entre sí, en relación con lo pretende el modelo PHABSIM; no obstante, con los datos obtenidos en campo se corrió adecuadamente el modelo.
- La distribución de las velocidades en las secciones transversales están ligadas a campañas de aforo realizadas en días diferentes y por lo tanto presentan diferencias en los caudales. Esto representa un problema menor para la modelación de dichas velocidades

No obstante estas limitaciones, los datos para realizar esta modelación fueron suficientes y sus resultados son confiables y aportan suficiente información para la toma de decisión frente a la evaluación del caudal ecológico propuesto para el Proyecto Manso.

Capítulo 7

Economía de la región Manso

7.1. Introducción

Los graves problemas de generación de energía que vivió el país a principios de los años noventa, que produjeron el famoso “apagón”, obligaron al Gobierno a hacer grandes reformas estructurales al sector eléctrico. El nacimiento de ISAGEN es producto de tales reformas, que marcaron un cambio ostensible, tanto para las empresas del sector eléctrico como para los usuarios. La primera se dio durante el racionamiento de energía que vivió el país por 13 meses, entre 1992 y 1993. Debido a esto el gobierno expidió el Decreto de Ley 700 de 1992, que permitió la participación del sector privado en la generación de electricidad, mediante la figura de generadores independientes, Independent Power Purchases, IPPs.

7.1.1. Capacidad instalada

La presa Miel I, fue una de las presas más altas en el mundo con la técnica CCR (Concreto compactado con rodillo), esta localizada en el municipio de Norcasia, forma parte del potencial hídrico del oriente del departamento de Caldas, región conformada por las cuencas de los ríos Guarinó, La Miel, Moro, Manso, Samaná Sur y afluentes menores como los ríos Pensilvania y Tenerife. La Central tiene una capacidad instalada de 396 MWh en tres unidades, la cual, en operación aislada, puede generar una energía firme de 1.135 GWh/año y promedio de 1.638 GWh/año al adicionarle el Trasvase de Guarinó y Manso a los caudales naturales del río. Es de tipo gravedad, con rebosadero incorporado. Está situada sobre el río La Miel, aguas abajo de la desembocadura del río Moro. Forma el embalse Amaní de 1.220 ha y con una capacidad de almacenamiento de 571 Mm³. La corona de la presa tiene 340 m de longitud, corresponde a la cota 454 m .s.n.m. y el nivel máximo normal del embalse está a la cota 445,5 m .s.n.m. La presa tiene un volumen de 1,73 millones de m³ aproximadamente.

Trasvase Manso, espera incrementar la producción de energía media de la central Miel I en 104 GWh/año, Manso aporta un 9 % del 30 % total que aportan los trasvase a Miel I. El trasvase se terminó en diciembre de 2011 y esta adelantado un año con respecto al compromiso con el mercado, comenzando a operar en diciembre de 2012 de acuerdo con las declaraciones del gerente general de ISAGEN "Dr. Luis Fernando Rico Pinzón", también mencionó que la inversión en el proyecto fue de 90 mil millones de pesos y se estimaron sobre-costos por 6 mil millones más por adquisición de 500 ha. por afectación de corrientes de agua por la construcción del túnel.

Las obras están conformadas por una pequeña presa en concreto sobre el río Manso, las estructuras de la bocatoma, canal de aducción, canal de limpia, estructura de derivación del caudal ecológico y un túnel con una longitud de 4.015 m, para conducir las aguas trasvasadas del río Manso hasta la quebrada Santa Bárbara donde se instalará una central con una capacidad de 27 MWh previamente a su descarga para generar energía adicional y luego al embalse Amaní de la Central Miel I. La generación propia esta estimada en 128 GW/año.

La capacidad instalada de la central Miel I como puede observarse en la Figura 7.1, a mostrado un promedio de 1450 GWh, desde su inicio en el 2002 y desde el 2003 a sido la segunda que más generación hidráulica le aporta a la empresa. Con la adición de las aguas trasvasadas esperan generar entre 1850 y 1900 GWh. La generación de energía de ISAGEN durante el 2011 fue de 10.671,55 GWh, de los cuales 96,99 % corresponden a generación hidráulica, con este aumento del 15.11 % respecto al 2010, la generación del 2011 ha sido la mayor en toda su historia, debido principalmente a las condiciones hidrológicas que se presentaron en el país.

Evolución de la generación neta (GWh) 2001 - 2010

Centrales	Años										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
San Carlos	4312,08	4718,31	5331,72	6091,37	6065,34	5929,88	7216,39	7396,19	6422,25	6448,81	
Jaguas	500,23	573,65	724,35	717,97	681,59	716,75	848,16	978,63	769,09	813,75	
Miel I	0,0	265,51	1227,12	1021,86	1576,69	1492,2	1461,81	1600,48	1420,43	1720,08	
Calderas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,83	92,32	98,52	83,49	90,35	
Total Hidráulicas	4812,31	5557,47	7283,19	7831,2	8323,62	8186,7	9618,7	10073,82	8695,26	9072,99	
Termocentro	30,33	40,94	119,36	200,69	356,6	229,28	408,88	31,27	564,56	485,59	
Total Térmica	30,33	40,94	119,36	200,69	356,6	229,28	408,88	31,27	564,56	485,59	
Venezuela	40,31	732	1,78	13,46	20,91	27,02	1,15	0,00	0,00	0,00	
TOTAL ISAGEN	4882,95	5605,73	7404,33	8045,35	8701,13	8442,96	10028,71	10105,09	9259,82	9558,58	

Figura 7.1: Evolución de la generación de ISAGEN y la participación en la generación neta de cada una de sus centrales.

7.1.2. Operación comercial

Tanto el fenómeno El Niño como el fenómeno La Niña tienen un notorio impacto en la evolución del nivel de precios del mercado spot (mercado de corto plazo), en la oferta y en la demanda. Como ejemplo se cita, lo ocurrido en el año 2010 en el informe anual

publicado por la empresa: La disminución en el nivel del embalse agregado del Sistema, los altos precios registrados en el mercado de corto plazo y los ajustes regulatorios del primer semestre del año, dentro de los cuales se destaca el embalsamiento de energía de la Resolución CREG 010 de 2010, tuvieron como efecto una alta generación térmica y el consecuente incremento en la demanda de gas natural. Esta situación que llevó al Ministerio de Minas y Energía a establecer un racionamiento programado de gas natural en el país por más de ocho meses, finalizando en junio de 2010, lo que dificultó las entregas de gas natural a la planta térmica Termocentro, a los clientes finales y mayoristas. En el

Evolución del Precio de Bolsa 2006 - 2010

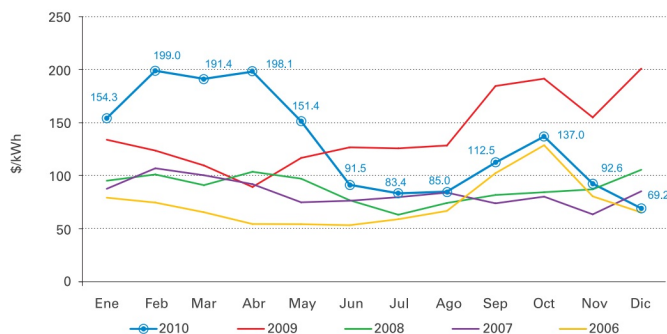


Figura 7.2: Evolución del precio de bolsa 2006 - 2010

segundo semestre del año los aportes hidrológicos comenzaron a incrementar en todas las zonas del Sistema Interconectado Nacional, con lo que el nivel del embalse agregado tuvo una rápida recuperación y la generación térmica disminuyó de manera notable. Para el último trimestre del año los aportes hidrológicos en el país fueron tan altos que el nivel de precios fue de \$69,25 kWh en el mes de diciembre, siendo el precio promedio mensual más bajo en veinticuatro meses en el mercado de corto plazo, adicionalmente se presentaron vertimientos en todas las zonas del país. El precio más alto alcanzado fue de \$198,43 por kWh, mientras que el precio promedio del mercado spot en período es de \$164,15 por kWh.

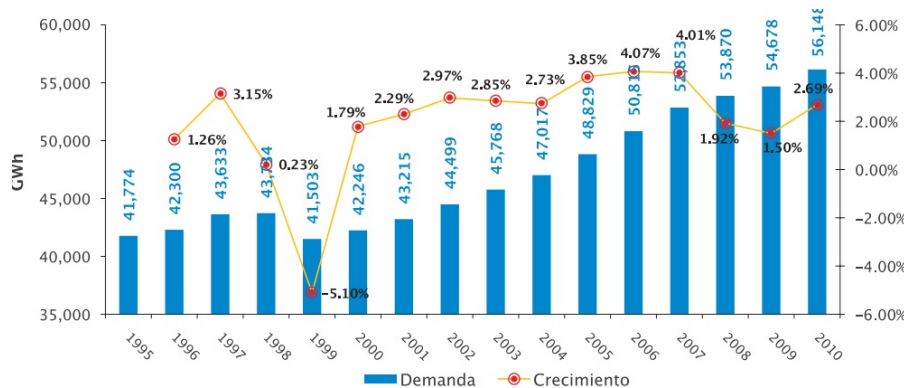


Figura 7.3: Evolución de la demanda doméstica de electricidad en GWh/año 1995 - 2010.

También se cita de éste informe que: El clima también influyó sobre el crecimiento de la demanda de electricidad Figura 7.3. La demanda doméstica de electricidad en Colombia

en 2010 fue de 56.147,7 GWh, lo que representa un crecimiento de 2,7% frente a la demanda del año anterior. Este crecimiento es un poco menor al 2,8% de crecimiento proyectado por la UPME en su escenario bajo de noviembre de 2010 y se explica en gran medida por la disminución del consumo de los clientes regulados en el segundo semestre del año, como resultado de las menores temperaturas registradas en el país por el alto nivel de lluvias de este período y a las inundaciones presentadas en varios departamentos del país. Sin embargo, es importante destacar que en 2010 se revirtió la tendencia a la caída en el ritmo de crecimiento de la demanda que se venía presentando desde 2008. Adicionalmente, la demanda no regulada presentó un crecimiento anual de 3,75%, el cual es bastante positivo si se tiene en cuenta que en 2008 y 2009 este tipo de demanda creció el 0,3% y 1,3% respectivamente. Esta tasa de crecimiento habla del impulso que experimentó la industria nacional en 2010.

7.1.3. Variación anual del caudal

A partir de los datos de caudal medios se obtuvo el ciclo anual de caudales para años normales, años niño y años niña Figura 7.4, el cual se puede observar un comportamiento bimodal, con caudales de alta magnitud en los periodos comprendidos entre abril a junio y octubre a diciembre. se utilizó un registro de 25 años, debido a tan pocos datos se interponen algunas de los datos mensuales. El pico más bajo de los años niño, se presenta

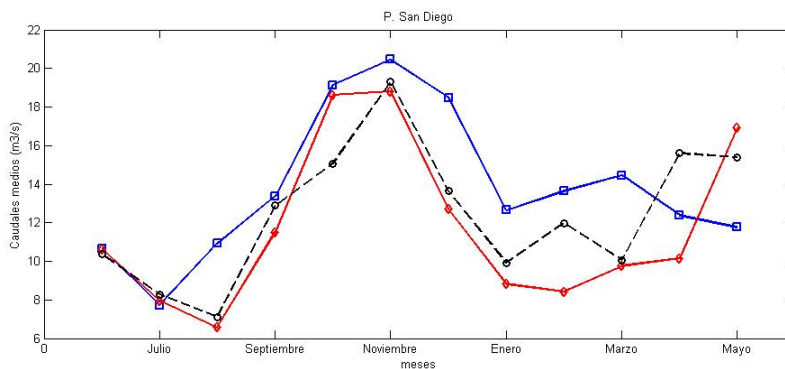


Figura 7.4: Ciclo anual de caudales de la zona de estudio.

en los meses de Agosto con un caudal medio de 6.2 m³/s lo que representaría 5.4 MW/h producido por la central Miel I, dejando un caudal de 3 m³/s en el trasvase Manso.

Teniendo en cuenta que diversos fenómenos macroclimáticos ejercen gran influencia sobre la hidroclimatología de Colombia, en especial el evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), que es responsable de la variabilidad climática en escalas de tiempo que van desde meses hasta décadas. Se toman los coeficientes de correlación los cuales indican que las variables que presentan mayor asociación lineal en la región andina en su orden son: El índice medido y/o estimado sobre el pacífico, Índice de Oscilación del Sur (SOI; 0.47 con un valor de confianza de 95%), Índice Oceánico NIÑO (ONI; -0.36 con una confiabilidad

del 95 %) y el Índice Multivariado del ENSO (MEI; 0.2 con intervalo de confianza de 95 %). Valores de 0.62 y -0.61 para el rezado cero, respectivamente para correlaciones cruzadas, (Parra, E. y Poveda, G., 2009). Lo que indica gran sensibilidad de los caudales con estas dos variables macroclimáticas con el variable SOI es proporcional al aumento o disminución del índice y con la variable ONI es inversamente proporcional.

7.1.4. Aspectos pesqueros

A continuación se presentan los principales aspectos pesqueros conocidos de la cuenca del río Manso, a partir de la información de entrevistas informales con pescadores de la zona, visita a la Asociación de pescadores de La Miel (ASOPESMIEL) y el análisis de los trabajos realizados por la empresa ISAGEN S.A. (Estudio de la subienda 2005-2006.)

Pescadores

Dependiendo del tiempo dedicado a la pesca, se identifican cuatro tipos de pescadores: Permanentes, ocasionales, deportivos y visitantes. Como permanentes se consideran aquellos dedicados exclusivamente a esta actividad, de la cual devengan todo su ingreso anual. Los ocasionales recurren a la pesca sólo en momentos particulares de abundancia, principalmente durante subienda o bajanza, y sus ingresos económicos no dependen de ésta, y los deportivos la utilizan como actividad meramente recreativa. Los visitantes pueden ser pescadores de oficio, ocasionales o deportivos que se desplazan temporalmente fuera de sus zonas habituales de pesca.

Como resultado de las evaluaciones de subienda realizadas por CORPOBIOTICA, se establece que los únicos pescadores de oficio conocidos aguas arriba del municipio de San Miguel son los hermanos Guillermo y Hernando Naranjo, Edgar y Antonio Cupitra, José Cedeño y dos más conocidos como Julio Cesar y el “Indio Miguel”. Los cinco primeros viven en un caserío cercano a La Habana y pescan generalmente desde el sector de La Habana en el río La Miel hasta Remolinos por el río Manso.

En la cuenca del río Manso no se desarrollan pesquerías importantes para el consumo y la economía regional y son pocas las personas que se dedican a la pesca como oficio permanente. Los resultados preliminares de las evaluaciones de subienda que actualmente realiza CORPOBIOTICA han permitido establecer que hay tan solo cuatro pescadores permanentes, que centran su actividad en la parte baja de la cuenca. Los sitios más frecuentados por ellos son El Playón, La Moya, La Punta y El Salto, El Puente y Remolinos, todos localizados aguas abajo del Salto Pescadero. Una minoría de personas tipo visitante, perteneciente a fincas aledañas, pesca ocasionalmente cerca al sector La Sonrisa.

La unidad económica de pesca (UEP) en la cuenca está definida por dos pescadores, en ocasiones, los pescadores hacen grupos de 4 ó 5 personas y uno o dos aparejos de pesca (generalmente anzuelo, arpón y atarraya). Las embarcaciones sólo pueden navegar hasta

el sector de Remolinos, punto a partir del cual las condiciones de torrencialidad y saltos impiden el acceso. La pesca es una actividad de muy baja intensidad, en su mayoría aprovechada para consumo familiar, y ocasionalmente para venta en las localidades de San Miguel e Isaza.

Artes de pesca

En la cuenca del río La Miel los artes de pesca utilizados son: atarrayas, trasmallos, barrederas, anzuelos (individuales o en línea) y arpones. La atarraya se utiliza para la captura de bocachico y pataló y el anzuelo para la pesca de mueluda, picuda, sabaleta, capaz, nicuro y mohino. El arpón es un arte que requiere mucha destreza, su uso es frecuente en la parte media de río Manso, en sitios de poza. Existe además un método de pesca denominado “tapaderas”, observado en una pequeña quebrada afluente de la parte baja de la cuenca del río Manso.

Comercialización

Las capturas de la pesca artesanal del río La Miel y Manso son comercializadas principalmente en el corregimiento de San Miguel y ocasionalmente en el corregimiento Isaza (“El Treinta”), y en los municipios de Norcasia o La Dorada. Los precios de venta son variables, dependen de la especie y de la oferta y demanda del día. En el “Estudio de la subienda 2005-2006”, el valor total de las capturas fueron estimadas en cerca de 18 millones de pesos, y son el producto de la captura efectuada por tres UEP (Unidades Económicas de Pesca), conformadas cada una de ellas por dos pescadores, para un total de 6 personas, las cuales obtuvieron una biomasa total de 3.744 kg. Cerca del 67% de los ingresos derivados de la pesca fue aportados por las especies de subienda (\$12´293.149), especialmente por bocachico, seguido por mueluda y picuda. El 23% restantes correspondió a las especies permanentes (\$5´645.647), debidas casi exclusivamente al pataló. Las diferencias en el valor de la pesca por jornada entre los sectores La Habana-Manso y San Miguel se deben a que en el primero se capturan más ejemplares de pataló, una de las especies de mayor valor (\$7.000 kilo), mientras que en San Miguel la mayor parte de las capturas son de bocachico, que se comercializa a bajos precios (\$3.000 kilo). Actualmente el precio del pataló varía entre \$8.000 y \$10.000 kilo.

Consumo humano, doméstico y agropecuario de agua

Desde el punto de vista del consumo humano, las viviendas de la zona se surten de pequeños acueductos rurales y en la mayoría de los casos, cada vivienda tiene su propia conexión desde un jagüey o nacedero, localizado a mayor altura de la vivienda; desde estos sitios transportan el agua hasta sus casas, a través de mangueras y con ayuda de la fuerza de gravedad. Estas aguas son utilizadas para la preparación de alimentos y demás

necesidades domésticas. La zona objeto de estudio cuenta con la existencia de abundantes cursos de agua menores, que nacen en lugares con buena conservación de la vegetación protectora de los mismos y a lo cual se le suma el régimen de altas precipitaciones y la calidad físico-química de esta agua. Parte de esta agua de los nacedores es utilizada para abrevadero de aves de corral y para llevarles al ganado a los potreros. Salvo tres o cuatro predios en el sector de Puente San Diego, Cadenales y aguas arriba de El Salto, que mantienen potreros hasta la margen del río, facilitando el acceso del ganado al río para beber agua en épocas de sequía; todos los propietarios cuentan con abrevaderos para el ganado, que son llenados con agua conducida por mangueras desde pequeños cursos de agua. Si se consideran las características geomorfológicas dominantes a lo largo de todo este sector, como son la alta pendiente y la dificultad de acceder al agua por la cobertura vegetal que aun se conserva y la diferencia de nivel entre la orilla del cauce y la superficie del agua, en muy contados lugares el recurso hídrico del río Manso es fuente para consumo humano o agropecuario. A partir del sector de Remolinos, cuando el río ha alcanzado su nivel base, es decir que alcanza una pendiente mínima y un flujo muy lento, el Manso presenta contacto en buena parte con los potreros, por lo tanto, el uso para abrevadero de ganado es mucho mayor. Hacia la parte baja de la cuenca y antes que el río drene sus aguas a La Miel, se desarrolla la cría y levante de búfalos, que requieren de agua, para lo cual usan directamente los grandes charcones presentes en este tramo, en los cuales el caudal no es un factor de relevancia, porque por la mínima pendiente estos charcones se mantienen llenos, cumpliendo con la función de suministrar agua para este ganado.

Navegación fluvial

La importancia que tiene la navegación por el río Manso para los habitantes de la zona está relacionada con los pobladores que tienen sus viviendas en las márgenes de la cuenca baja del río y para quienes la única vía de entrada y salida es por medio acuático (canoas). Las únicas familias que pueden utilizar el río como medio de transporte son las localizadas en el sector entre Remolinos y el río La Miel, como es el caso de los pocos asentamientos ubicados en las bocas del Manso y La Miel. En este sector, en época de invierno, los habitantes cuentan con suficiente profundidad en el cauce, que permite la navegación en canoas o canoas con motor; no obstante, los caudales de verano normalmente no permiten esta actividad o la restringen de manera muy significativa. En el caso de la cuenca media y baja alta del río Manso, desde el sitio de trasvase hasta unos dos (2) km aguas arriba del sector conocido como Remolinos, el uso del río como medio de transporte no se presenta porque, tal como se mencionó anteriormente, la mayoría de las viviendas se ubican en la parte alta y muy alejadas del río, y también porque las características topográficas del cauce no permiten las condiciones para la navegación. Las características del cauce de río Manso, entre el sitio de desvío en Puente San Diego y Remolinos, en donde domina un alto caudal, flujo rápido determinado por pendientes moderadas del río, la existencia de rápidos o “chisperos”, la presencia de grandes bloques dentro de la corriente y lo estrecho y encañonado del cauce, es casi imposible su uso para la navegación tradicional en canoas.

Capítulo 8

Análisis conjunto de la información

A continuación se procede a desarrollar la metodología holística propuesta.

Indicadores de los sistemas

Hidrología: Cantidad de agua m³

Ecología: Adecuación del hábitat para especies objetivo (área ponderada útil WUA)

Economía: Generación de energía MWh central hidroeléctrica Miel I y Pesca (unidades económicas de pesca UEP)

Atributos de estrés

Hidrología: Caudal máximo, Caudal medio y Caudal mínimo

Ecología: Especies en peligro (libro rojo) *Ichthyoelephas longirostris*, Sitios de refugio y Paisaje

Economía: Oferta energética, Tasas de extracción de pesca y Precio de generación proyecto Miel I.

Identificación relación funcional

Este proceso requirió de personas expertas en biología, ictiología, aspectos económicos y ambientales, tanto profesionales como personas aledañas a la zona de estudio permitieron desde su experiencia generar, modificar y sugerir diferentes indicadores de rendimiento o idoneidad.

Los cuales se muestran en la Figura 8.1, en ésta se observa el índice (A) corresponde al formulado para el refugio de los peces objetivo, fue analizado por los pescadores del

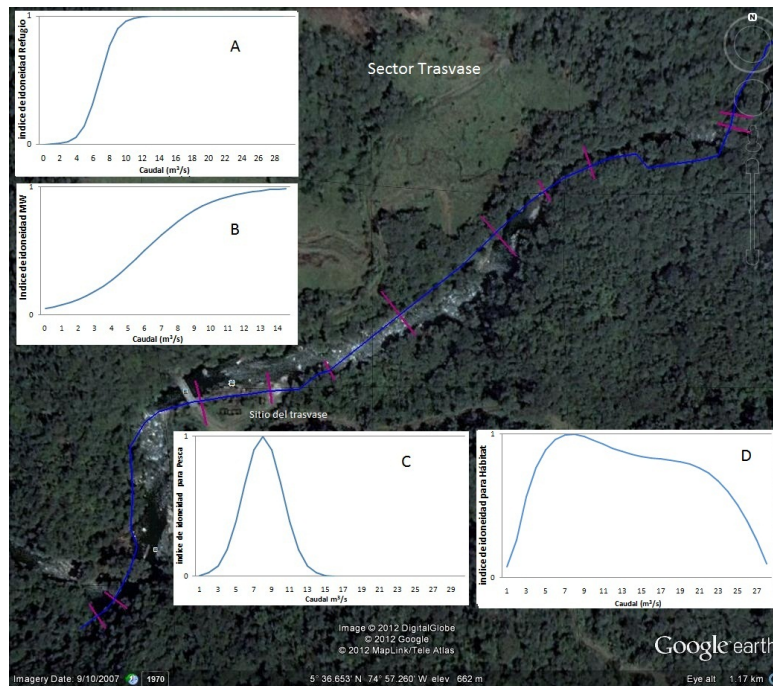


Figura 8.1: Índices de idoneidad para el sitio Trasvase

complejo Manso-Miel, como pescadores de otros sitios, donde habita la especie objetivo y confirmado por las salidas de campo utilizadas para la generación de las curvas de preferencia, en el se constata que sobre $10 \text{ m}^3/\text{s}$ es el pez tiene mayores probabilidades de protegerse, encontrar empalizadas y sitios profundos para refugiarse. Índice (B) corresponde a la generación de energía en megavattios/hora, el índice muestra que la generación aumenta en función del caudal desde $1 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $13 \text{ m}^3/\text{s}$ la mayor captación que posee el trasvase Manso. El índice (C) corresponde a la idoneidad de la pesca, éste índice de pesca fue analizado por los pescadores de este sector, afirmando que la captura de peces se realiza mejor cuando el caudal se encuentra entre $3 \text{ m}^3/\text{s}$, $6 \text{ m}^3/\text{s}$ y $12 \text{ m}^3/\text{s}$, encontrando mayor comodidad cuando el río tiene 7 y $9 \text{ m}^3/\text{s}$ debido a que la embarcación tiene mayor estabilidad, hay mejor visibilidad y se consume menos combustible para desplazarse al sitio de pesca. El índice (D), muestra el resultado de la simulación del hábitat para el *Ichthyoelephas* en el software PHABSIM, donde el pez tiene una idoneidad en caudales superiores a $4 \text{ m}^3/\text{s}$ pero puede tolerar caudales tan bajos como $2 \text{ m}^3/\text{s}$. otros índices como oferta energética, paisaje y precio de generación de la hidroeléctrica Miel I fueron generados para éste y los otros sitios de interés.

Series de tiempo

Las series de tiempo obtenidas en la (Figura 8.2) se muestra un año 2005 de los veintitrés años de la serie original)son el resultado de evaluar cada uno de los índices de idoneidad del paso anterior con la serie de caudales en el sector Trasvase.

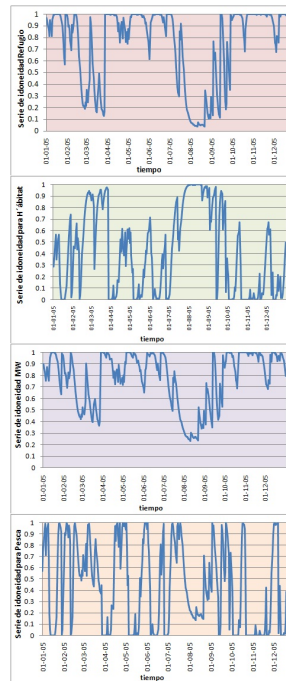


Figura 8.2: Series de tiempo realizadas con las funciones de idoneidad

indicadores en tiempo y espacio

Para la realización de este índice de idoneidad se pondera por la media geométrica las series de tiempo generadas en el paso anterior, como resultado se genera la serie índice de idoneidad sector Tránsito. Figura 8.3. Las series de tiempo se evaluaron también con ponderación multiplicativa, ponderación del valor mínimo y ponderación variable. En la ponderación variable 8.1, se le asumen pesos a cada una de las series índice, para algunas ponderaciones el valor más alto se le dio a la componente hábitat.

$$IIP = (SI_h \cdot A + SI_r \cdot B + SI_g \cdot C) / (A + B + C) \quad (8.1)$$

donde A , B y C son los pesos asignados, que pueden variar en cada caso.

SI_h serie índice para hábitat. SI_r , serie índice para refugio. SI_g serie índice para precio de generación.

Recopilación gráfica

Esta labor se realizó, convirtiendo la ponderación de series de tiempo del paso anterior en una agregación de excedencia

Se establecen umbrales para identificar las zonas con valores máximos, medios, mínimos y valores intermedios en éstos en cada variable, luego se ponderan varias o todas las variables mediante diferentes métodos como valor mínimo, media geométrica, ponderación variable y multiplicativa y se le asigna un color a cada zona, como en la Figura 8.4. El

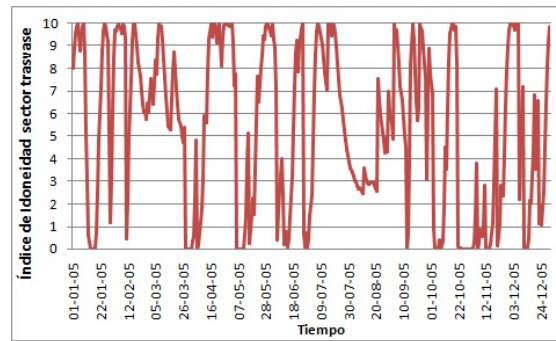


Figura 8.3: Serie de tiempo ponderada por media geométrica

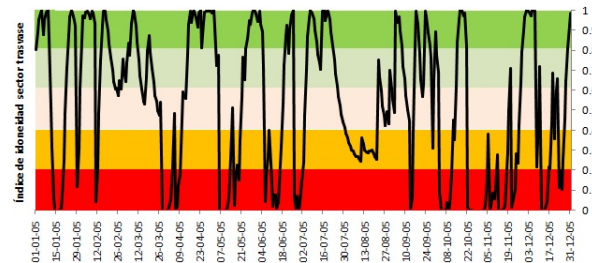


Figura 8.4: Serie de tiempo ponderada asignando colores a valores medios, máximos, mínimos e intermedios

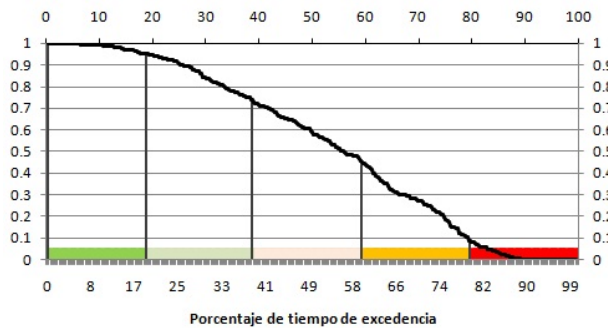


Figura 8.5: Código de colores en los valores máximos, medios, mínimos e intermedios para el análisis estadístico posterior

mapa con los códigos de color muestran los valores mínimos a 0.12 en rojo los cuales se consideran por los expertos como inapropiados y la Figura 8.5 se utilizan para resumir y mostrar los datos en una gráfica de excedencia, para el valor de 0.2 se tiene una excedencia del 78%. Este mapa de colores codificados es dinámico, mostrando cambios a lo largo del tiempo. Como la medida de la fiabilidad, resistencia y vulnerabilidad de algunos o todos los indicadores de las funciones, estos cambios pueden ser calculados y mostrados.

Se realizan varias ponderaciones teniendo en cuenta un efecto sinérgico donde todas las variables son óptimas, otro suponiendo un efecto compensador donde si dos variables tienen valores cercanos al óptimo la tercera variable tiene menor influencia, otro suponiendo que óptimo esta limitado por la menor variable, otro donde se le da diferentes pesos a

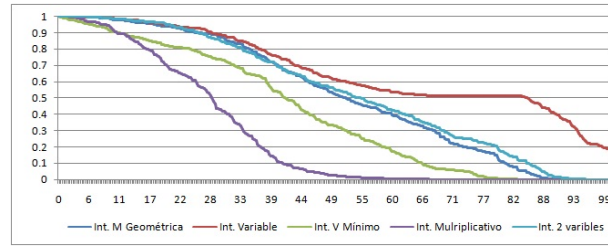


Figura 8.6: Función de excedencia para indicadores de idoneidad particulares bajo diferentes políticas de manejo del agua y varias ponderaciones.

variables siendo las más importantes con altos pesos. Figura 8.6.

Sensibilidad e incertidumbre

La clave para el perfeccionamiento y la aplicación de cualquier política de gestión del agua, es la evaluación de los diferentes indicadores de idoneidad y medidas derivadas de los pasos anteriores.

La incertidumbre se fue reduciendo desde la toma de datos para la calibración de los modelos hidráulicos y de hábitat, los datos en campo, tales como repetibilidad de las mediciones y lecturas, se tomo en cuenta la variaciones de las condiciones ambientales, variación de las magnitudes de influencia, entre otras.

La resiliencia incrementa la probabilidad de evitar cambios a “dominios de estabilidad” no deseados, además provee flexibilidad y oportunidad para desarrollar un sistema sustentable. Debido a que el resultado depende de distintas fuentes se puede medir como una probabilidad. De acuerdo a esto se le realizó resiliencia a cada indice de idoneidad, a cada ponderación y a cada resultado de dichas ponderaciones entre sí. Los datos se analizaron determinando la probabilidad en cada indice, de sobrepasar el límite inferior propuesto por los expertos en cada una de las serie indice y en cada ponderación realizada, mediante la ecuación 8.2.

$$\psi = \frac{p(X_t \in S + X_{t+1} \in F)}{p(X_t \in F)} \tag{8.2}$$

donde; S supera el limite y F esta fuera de éste. 8.6.

Límites de confianza. se calculan los intervalos de confianza para hallar la banda para toda la serie índice en cada caso y determinar cual es la mejor con la ecuación 8.3 .

$$I_t \pm Z_{1-\alpha/2} S_t \tag{8.3}$$

siendo, $Z_{1-\alpha/2}$ nivel de confiabilidad de 95 %, S_t es la desviación típica.

Observando los resultados del test de resiliencia se puede constatar que los valores más altos se denotaron con la ponderación media geométrica y ponderación multiplicativa, con

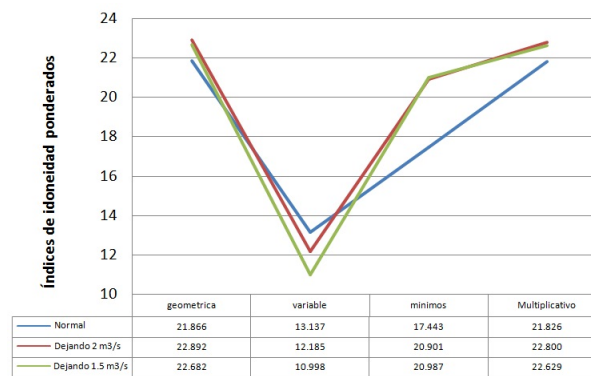


Figura 8.7: Probabilidad de resiliencia.

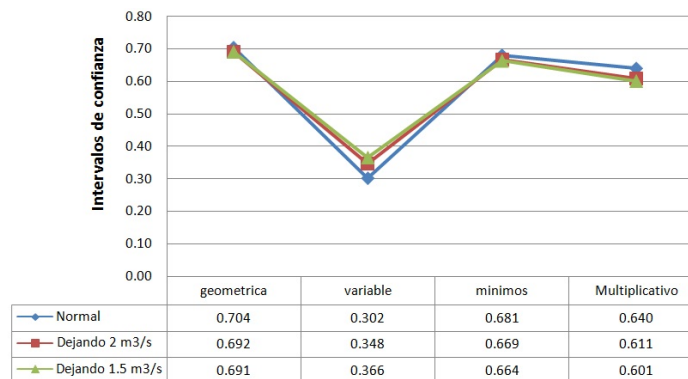


Figura 8.8: Delta del intervalo de confianza, $Z_{1-\alpha/2}S_t$.

valores de 22.48 y 22.41 respectivamente.

Para la prueba de intervalos de confianza, se destaca con menor incertidumbre la ponderación variable, a la cual se le incorporan diferentes pesos a cada variable, en este caso, para el índice de hábitat se le asume un mayor peso, seguido de el índice refugio, generación de energía Mw/h, pesca, paisaje y por último un peso menor al índice precio de generación en el proyecto Miel I.

Teniendo en cuenta los datos de intervalos de confianza, resiliencia, entre otros, para cada una de las series de tiempo y cada una de las ponderaciones. Se genera la función de excedencia para las políticas ambientales tomando como referencia la serie ponderada para el caudal mínimo calculado en el análisis de frecuencias históricas en el capítulo 4.5.2 de $3.25 \text{ m}^3/\text{s}$, y dejando $2 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ respecto a la caudal mínimo. Con estas políticas mostradas en la Figura 8.9 con las cuales se muestra que, para un valor de 0.12 y porcentaje de excedencia del 78 % y que considerado para los expertos como inapropiado. No presenta diferencias significativas entre las políticas ambientales, lo que muestra que el caudal ecológico debería de establecerse, sobre éste umbral, que corresponde a $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

También se generaron políticas ambientales, teniendo en cuenta hipotéticamente planes de generación en la hidroeléctrica Manso. Se ponderan series mediante la media geométrica para planes de generación dejando $6 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal ecológico y captando $6 \text{ m}^3/\text{s}$;

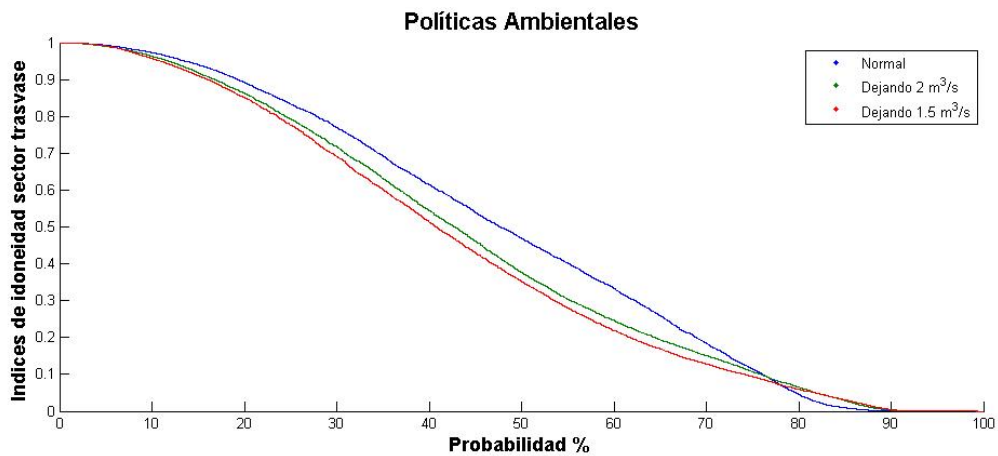


Figura 8.9: Políticas ambientales para dejando 3.25, 2 y 1.5 m³/s .

dejando 5 m³/s como caudal ambiental y derivando 7 m³/s; otra dejando 3.25 m³/s y captando 8.25 m³/s y por último dejando 2 m³/s y derivando 10 m³/s. Esto se realizó teniendo en cuenta que el máximo de caudal derivado por el proyecto sería igual al caudal medio 12.6 m³/s.

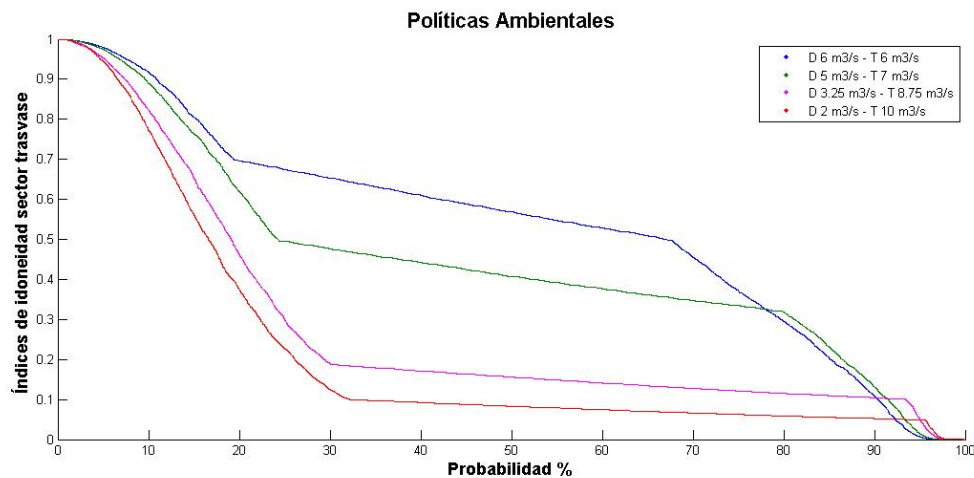


Figura 8.10: Planes de generación evaluados.

Estas políticas medioambientales de generación, se pueden interpretar de la siguiente manera. Para el caso “D 6 m³/s - T 6 m³/s” correspondiente a la primera opción, ésta se asemeja a la situación que impone el MAVDT al proyecto Manso, Dejando 6 m³/s lo cual es bueno para el hábitat de los organismos acuático, para la probabilidad de pesca y alterando muy poco la belleza del paisaje, en contra parte, derivar 6 m³/s se consideraría poco para la generación de energía y por ende el aumento en las ventas de energía se considerarían bajas para la empresa ISAGEN. Para el último caso “D 2 m³/s - T 10 m³/s”, se asemeja a lo planteado por la empresa ISAGEN S.A. en la Revisión del caudal ecológico río Manso, donde sugiere que el caudal ecológico sea 2 m³/s lo cual, de acuerdo con los resultados del software PHABSIM y en opinión de los expertos, es el

umbral para el hábitat acuático, generaría bajas probabilidades de pesca y degradaría el paisaje. Por el contrario, en este caso de planes de generación captar $10 \text{ m}^3/\text{s}$ aumentaría considerablemente la generación de energía y por ende las ganancias en la ventas de energía.

Los demás casos tanto “D $3.25 \text{ m}^3/\text{s}$ - T $8.75 \text{ m}^3/\text{s}$ ”, como “D $5 \text{ m}^3/\text{s}$ - T $7 \text{ m}^3/\text{s}$ ” podrían ser una opción de conciliación entre las partes que están en pro de la generación y en contra del detrimento ecológico. Siendo, el primer caso detrimento para el hábitat de los peces y notable aumento en la capacidad de generación de energía para la empresa. En un segundo caso se dejaría como caudal ecológico el estimado mediante el software PHAMSIM el cual es el óptimo para los organismos acuáticos y estaría un metro cúbico por encima del caudal impuesto por el ministerio.

Con esta metodología de 7 pasos, con la ayuda de los modelos de simulación y con la información obtenida mediante los expertos, es posible que se llegue a un acuerdo entre las partes, la cual beneficiaría tanto a la biota acuática como a las expectativas económicas de la empresa ISAGEN S.A e inclusive al beneficio social de implementar una política ambiental “D $4 \text{ m}^3/\text{s}$ - T $8 \text{ m}^3/\text{s}$ ” con la cual, no se afectaría el hábitat del organismo objetivo debido a que a partir de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ inicia ese hábitat óptimo para el pez (organismo que como se menciona se encuentra en peligro de extinción, es de valor comercial, se encuentra a lo largo de todo el cauce desplazándose longitudinal y verticalmente en el río y el cual ofrece un efecto tipo sombrilla sobre las demás especies por su tamaño, este efecto consiste en que sí se mejora el hábitat para el pez más grande las demás especies menores también se benefician) y dejando este caudal de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ la empresa ganaría 2 metros cúbicos más del caudal impuesto por el MAVDT, este aumento es un beneficio importante para la generación de energía. También se tendría un caudal con el que se obtendría buenas oportunidades de pesca y no habría un deterioro del paisaje en este tramo del río.

Capítulo 9

Conclusiones, Limitaciones y Recomendaciones

Esta metodología espera contribuir, a aclarar dudas sobre la incidencia que tiene dejar un caudal ecológico de 3.25 y 2 m³/s los cuales son caudal mínimo calculado y el caudal que la empresa ISAGEN S.A. sugiere como caudal ambiental respectivamente. Estos caudales en cada uno de los test como resiliencia, como en límites de confianza y en las pruebas de significancia estadística no mostraron mayores diferencias significativas comparando estas políticas ambientales en el porcentaje hallado de 78 % (porcentaje mínimo para las políticas ambientales, determinado con ésta metodología de 7 pasos), debido a que los requerimientos de caudal sugeridos tanto por los pescadores, software PHABSIM y expertos en ictiología, sugieren caudales mayores a 3.25 y 2 m³/s para la conservación del hábitat, la pesca y el deterioro del paisaje en el tramo donde se encuentra el sitio de derivación.

A la pregunta ¿es posible dejar 2 m³/s?, la respuesta es: si es posible dejar 2 m³/s, se recomienda dejar más en época de bajo caudal, debido a que en la simulación realizada en el tramo trasvase analizado con el software PHABSIM con éste caudal, posee algunas secciones que le brindan hábitat idónea al organismo objetivo, sin embargo el área ponderada útil es algo pequeña, lo que sugiere que el pez se encontraría bajo algún grado de estrés en estas épocas de bajo caudal. Debido a esto, dejar menos de 2 m³/s no es recomendable ya que se afecta considerablemente el hábitat del pez en este transecto trasvase.

El procedimiento de 7 pasos que se presenta guía la investigación para identificar las mejores políticas de gestión del agua. La investigación debe ser necesaria y exhaustiva para identificar de forma clara y concisa los indicadores de desempeño y sus factores de estrés hidrológico. Las partes interesadas deben de aceptar la validez de la simulación, los modelos con los cuales se determinaron los caudales y el hábitat de los organismos objetivo y las relaciones funcionales de los índices de idoneidad. La mejor política se encontrará realizando series de simulaciones mejorando con la ayuda de los interesados los índices de idoneidad y determinando que no hacer. En este caso se hizo énfasis en el

caso de un caudal remanente al determinado por el caudal medio $3.25 \text{ m}^3/\text{s}$, un caudal ecológico propuesto de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ y con la pregunta de que pasaría con un caudal de $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Los cuales no presentan diferencias significativas entre las políticas ambientales, lo que muestra que el caudal ecológico debería de establecerse, sobre éste umbral, que corresponde a $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se mostraron con la metodología de siete pasos, los dos casos inherentes al proyecto Manso, el primero en donde el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en la resolución número(1673) del 1 de septiembre de 2009, determinó un caudal de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ para el proyecto Manso y el segundo, donde la empresa ISAGEN S.A.S E.S.P. en la revisión del caudal ecológico en río Manso, manifiesta un caudal ecológico de $2 \text{ m}^3/\text{s}$. El resultado del mejor plan de generación esta dado por la conciliación de las partes interesadas. En la aceptación de cada uno de los datos y pasos aquí mostrados.

Una etapa importante es hacer un análisis multiobjetivo de los planes de operación. Una toma de decisiones más rigurosa requiere de estimar los costos asociados a cada plan de operación, se puede definir una región factible de solución, para establecer mediante alguna métrica cual es el mejor plan. En este caso la falta de información de costos asociados a los planes no hizo posible esta etapa.

Una de las limitaciones del modelo PHABSIM se debió a que las secciones estaban separadas a distancias considerables entre sí, en relación con lo que pretende el modelo PHABSIM; no obstante, con los datos obtenidos en campo se corrió adecuadamente el modelo. La distribución de las velocidades en las secciones transversales están ligadas a campañas de aforo realizadas en días diferentes y por lo tanto presentan diferencias en los caudales. Esto representa un problema menor para la modelación de dichas velocidades. No obstante a estas limitaciones, los datos para realizar esta modelación fueron suficientes y sus resultados son confiables y aportan suficiente información para la toma de decisión frente a la evaluación del caudal ecológico propuesto para el Proyecto Manso.

Es necesario hacer un riguroso estudio y calculo de las curvas de preferencia para obtener de forma significativa la disponibilidad y el uso del entorno ecológico del organismo objetivo. Para desarrollar cada una de las preferencias del hábitat físico, velocidad, profundidad, sustrato y refugio. En fuentes hídricas con buena visibilidad se lograría hacer inmersiones para observar el comportamiento del organismo y documentar sus preferencias para obtener bancos de datos donde pueda haber discusiones y aprobaciones de nuevas curvas de preferencias en el país. En cuencas donde la visibilidad no es posible, se obtendrían datos realizando muestreos con aparejos de pesca, tomando como dato importante el sitio de captura, velocidad del agua, profundidad, muestras de fondo y abundancia y captura por unidad de esfuerzo CPUE (g/h). Ésto más la opinión de expertos generarían las curvas de preferencias en este caso.

Anexo A

Hidrología

A.1. Hietogramas

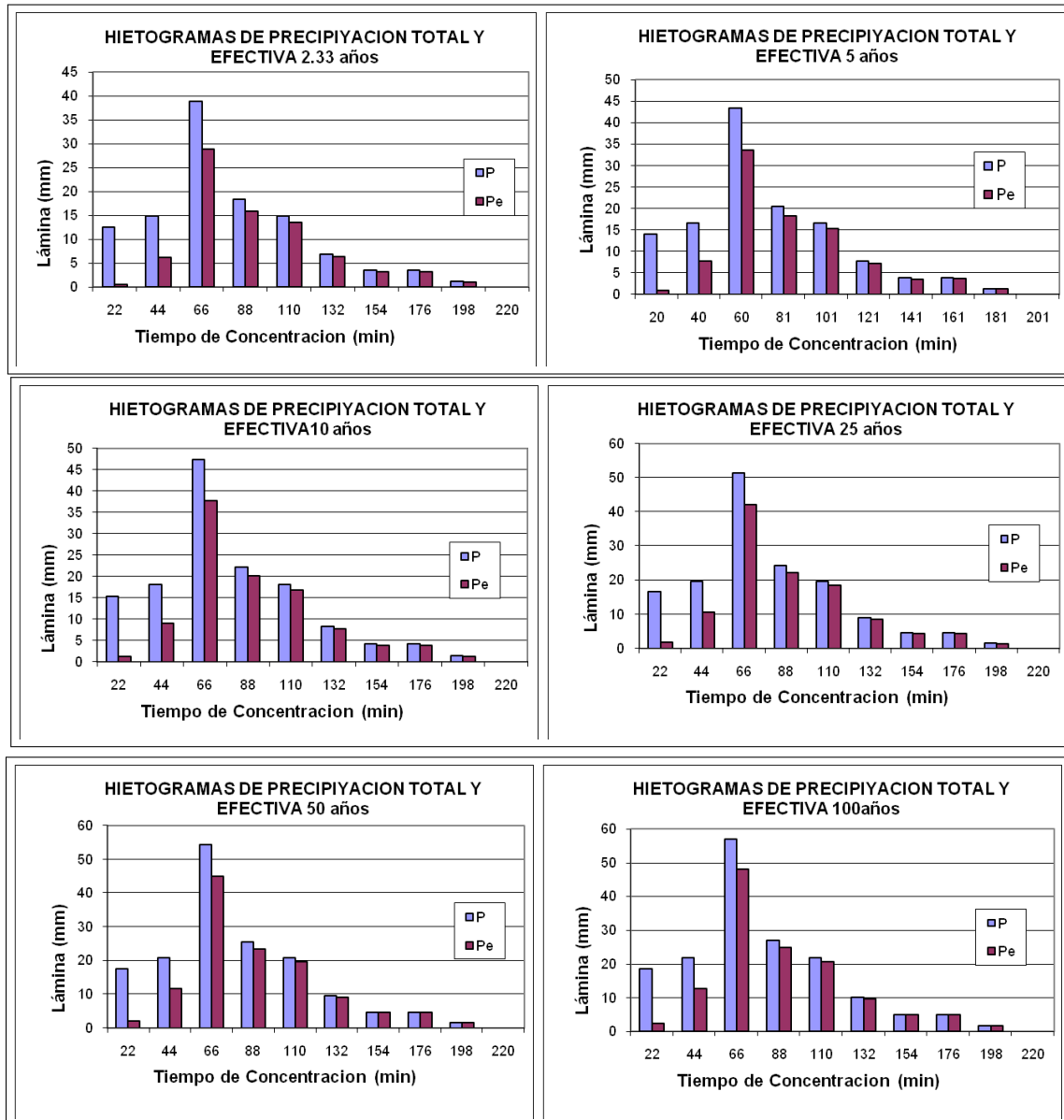


Figura A.1: Hietograma precipitación total y efectiva para la subcuenca Trasvase.

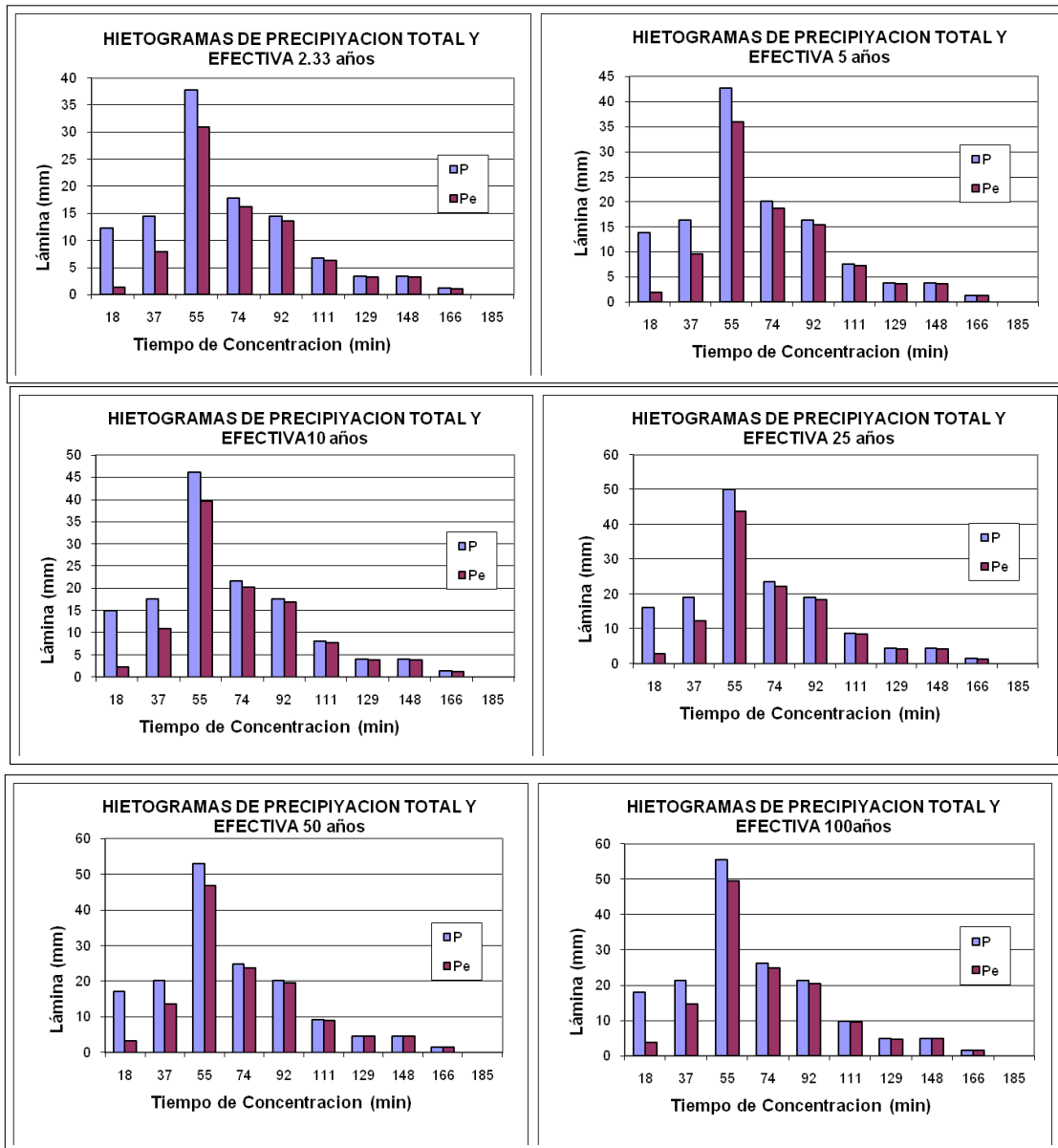


Figura A.2: Hietograma precipitación total y efectiva para la subcuenca La Sonrisa.

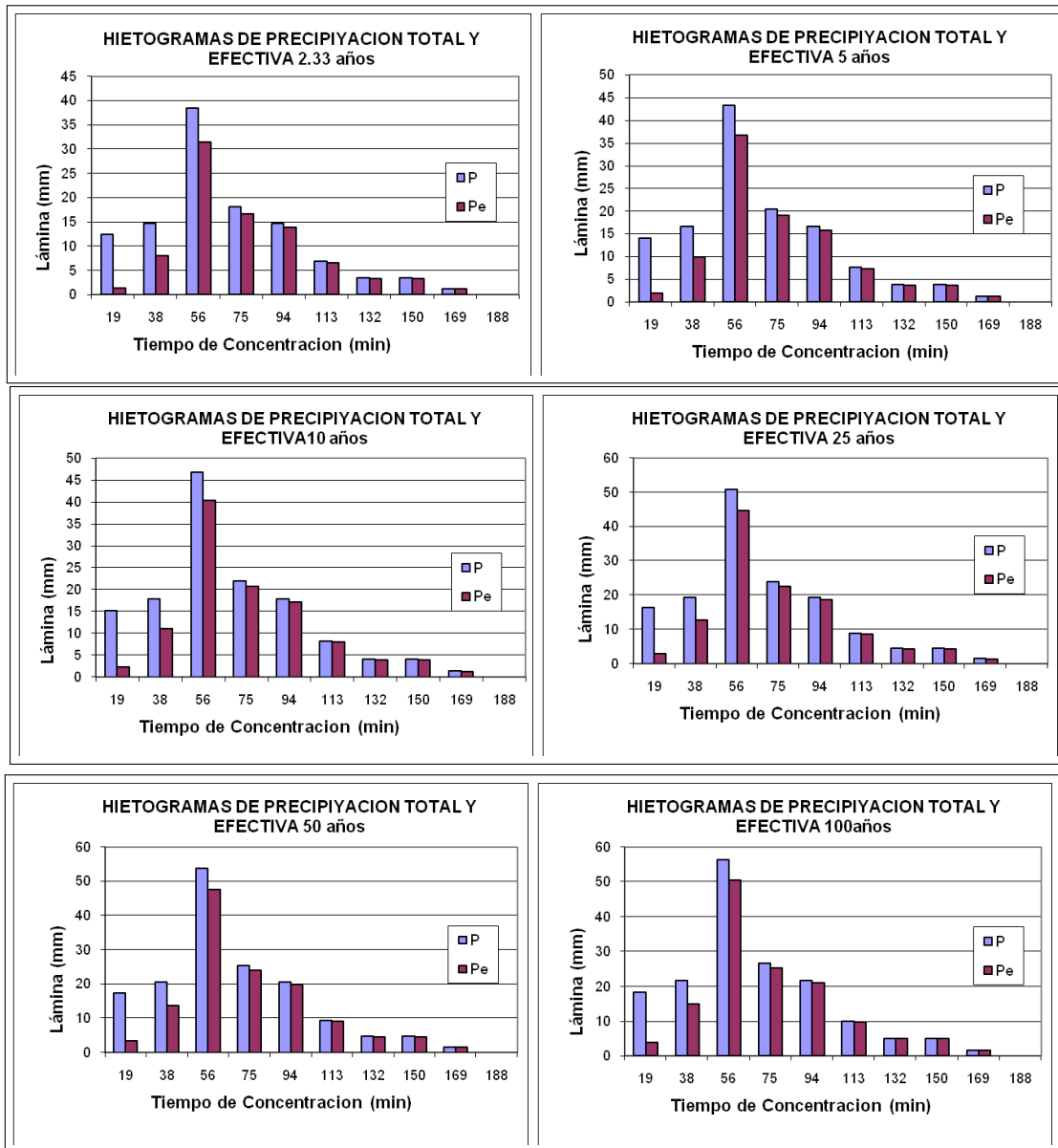


Figura A.3: Hietograma precipitación total y efectiva para la subcuenca La Samaria.

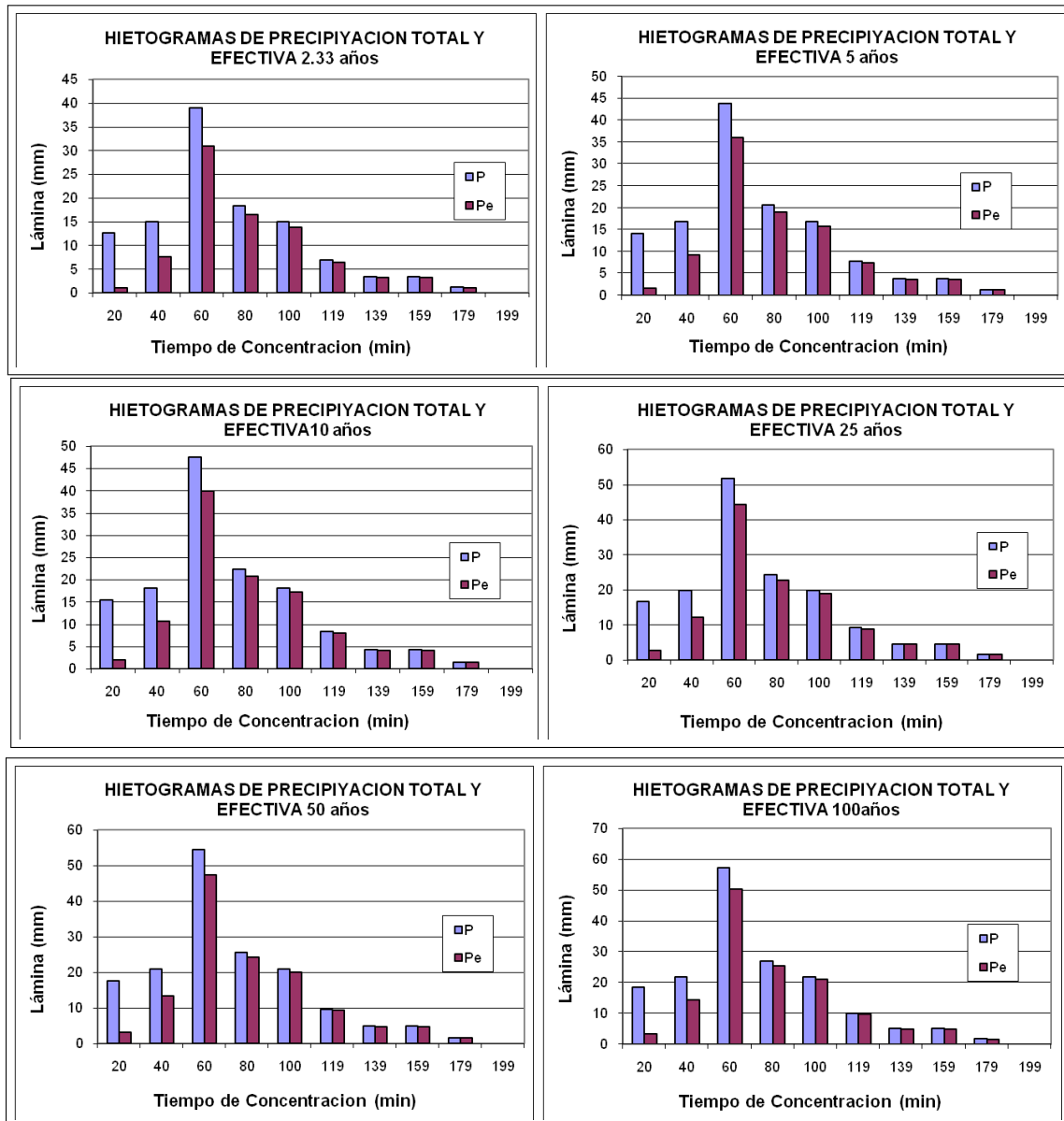


Figura A.4: Hietograma precipitación total y efectiva para la subcuenca Cadenales.

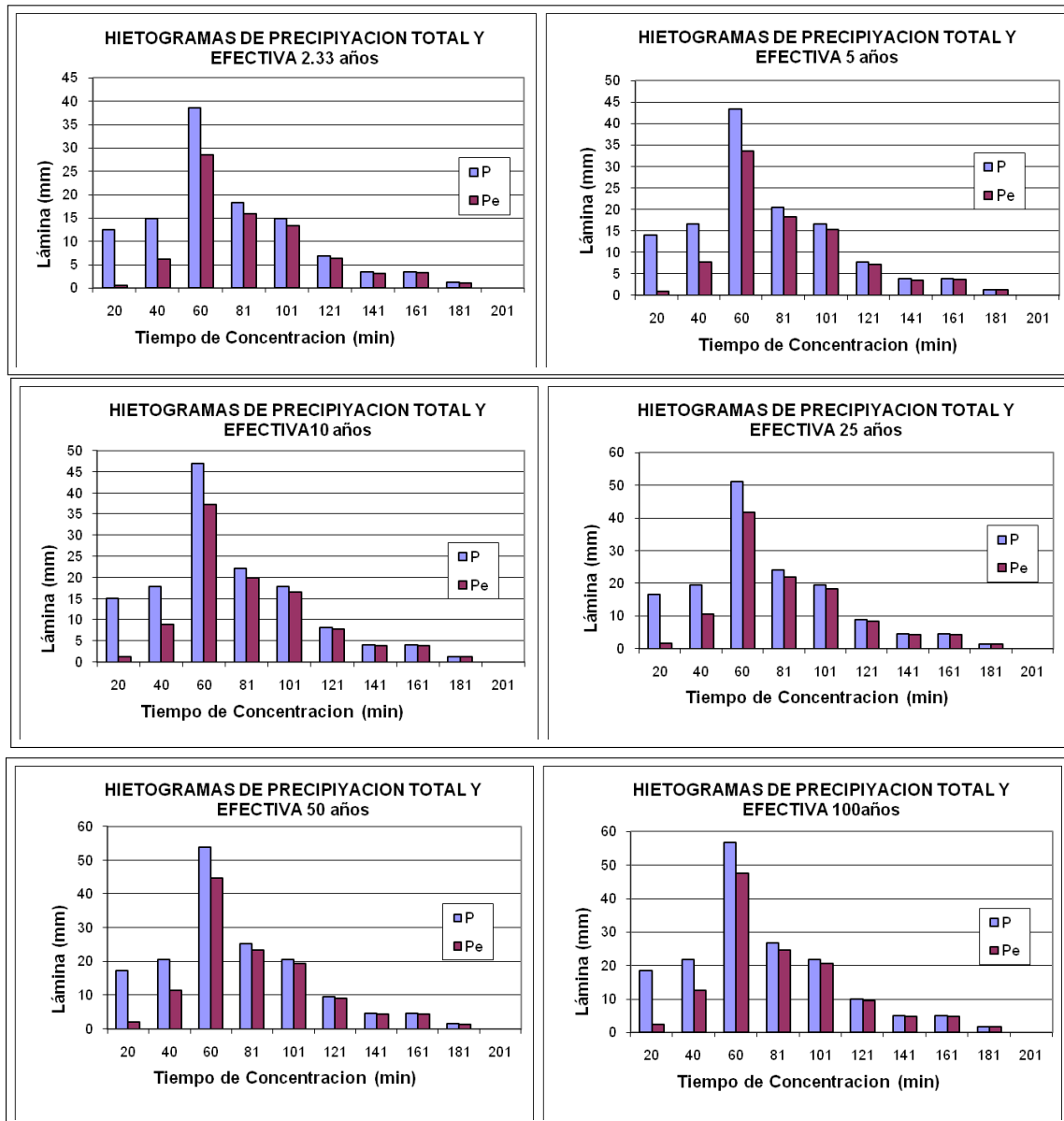


Figura A.5: Hietograma precipitación total y efectiva para la subcuenca La Risaralda.

A.2. Hidrográmas

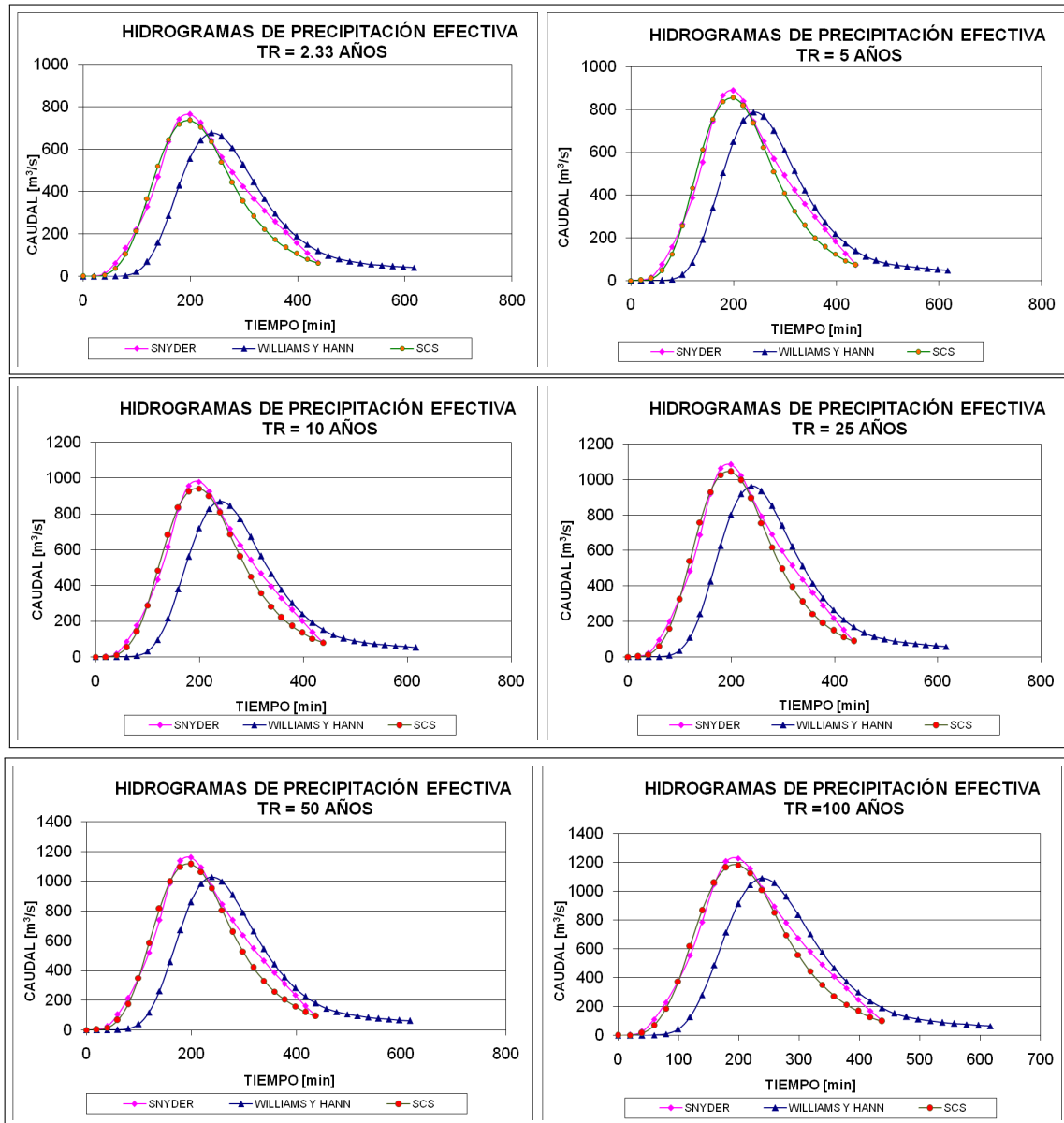


Figura A.6: Hidrogramas de precipitación efectiva para la subcuenca Trasvase.

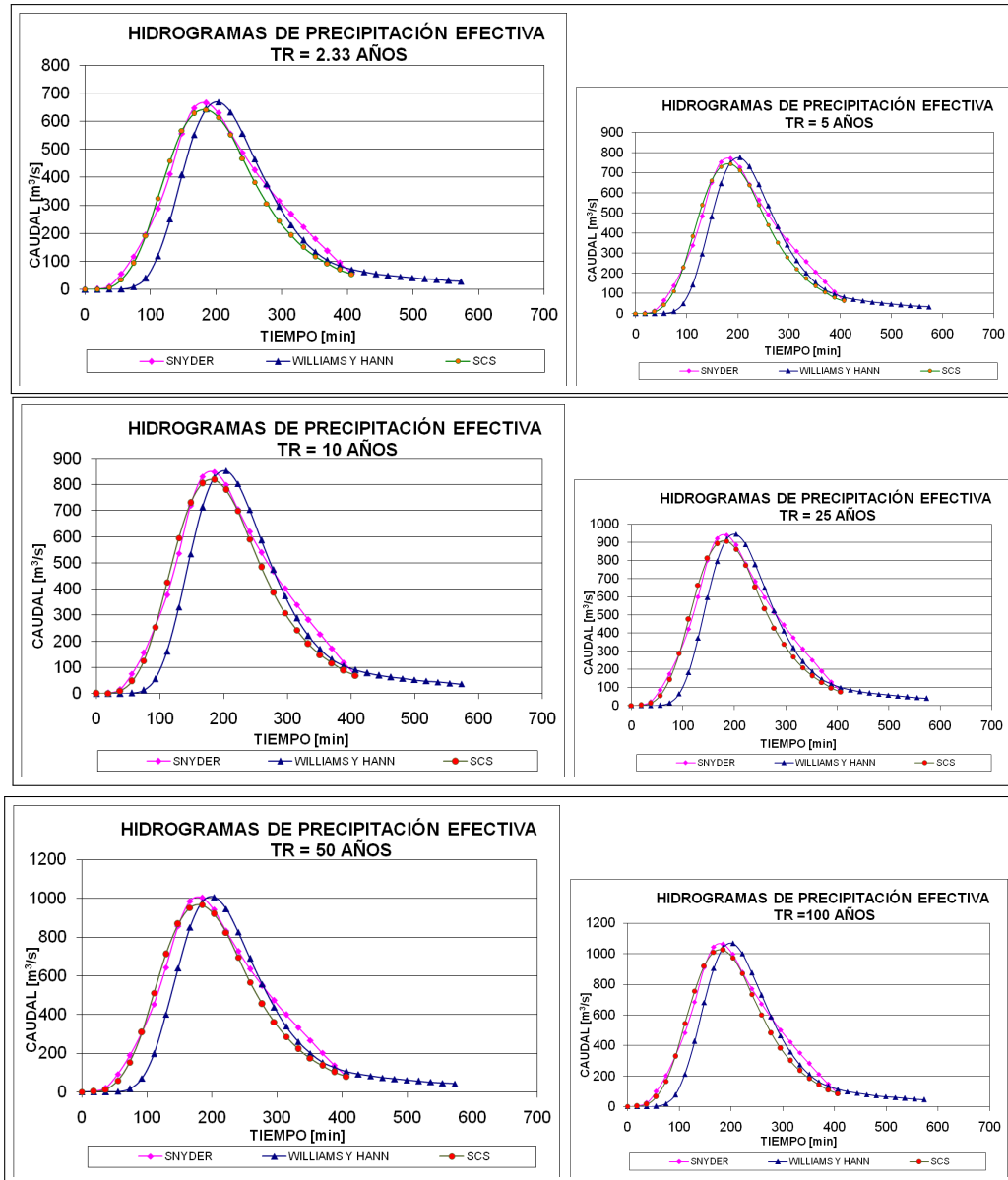


Figura A.7: Hidrogramas de precipitación efectiva para la subcuenca La Sonrisa.

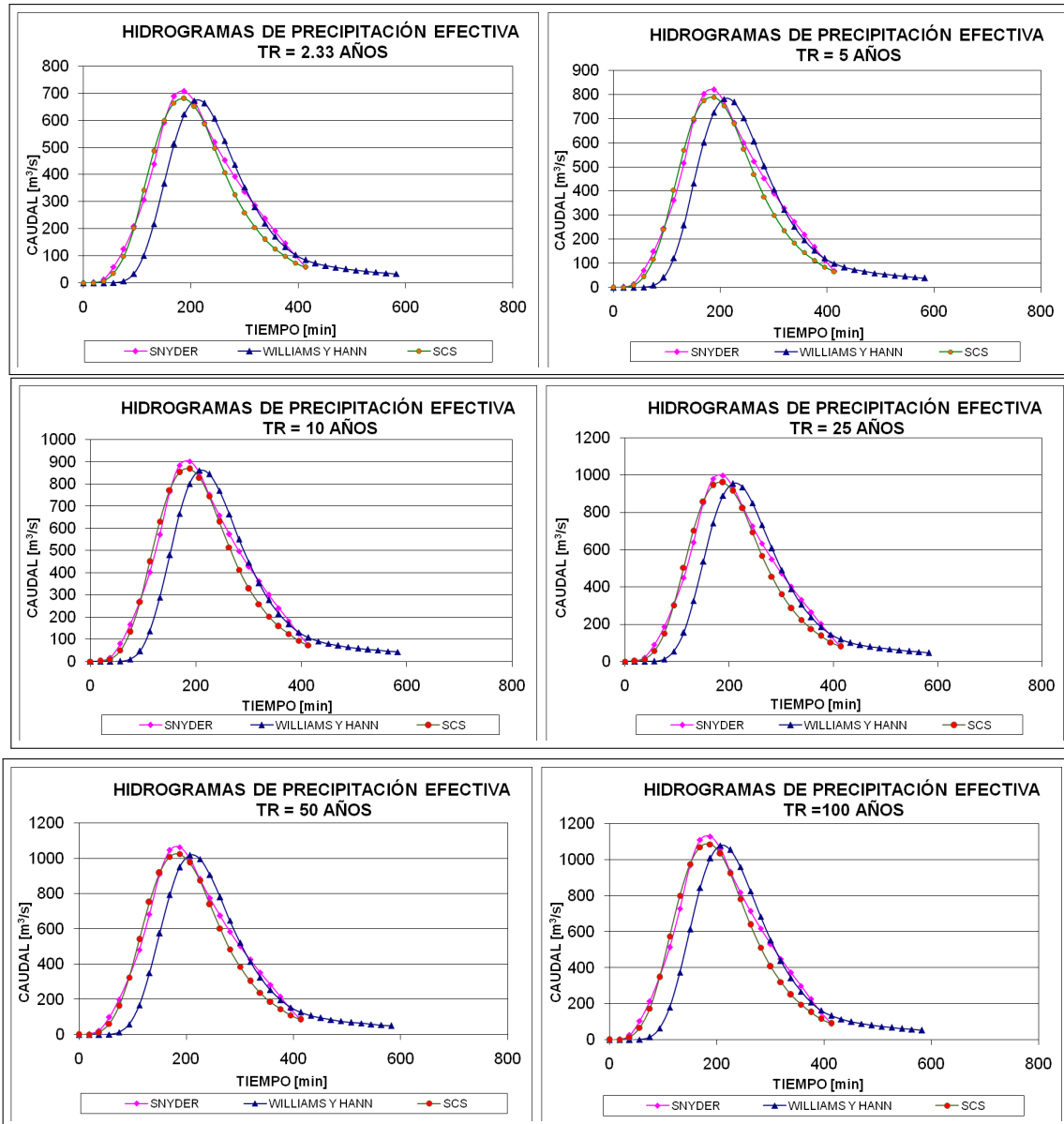


Figura A.8: Hidrogramas de precipitación efectiva para la subcuenca La Samaria.

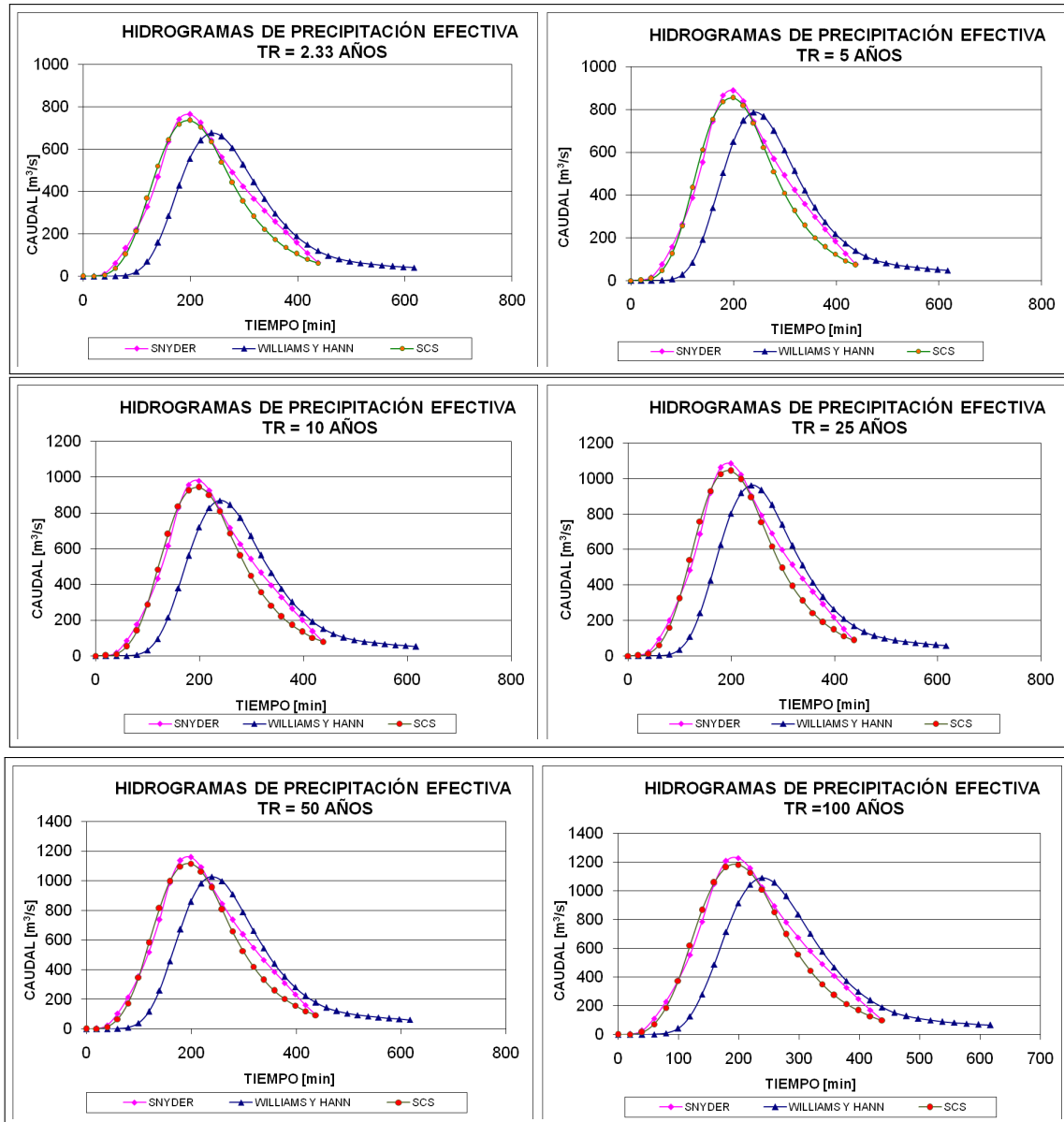


Figura A.9: Hidrogramas de precipitación efectiva para la subcuenca Cadenales.

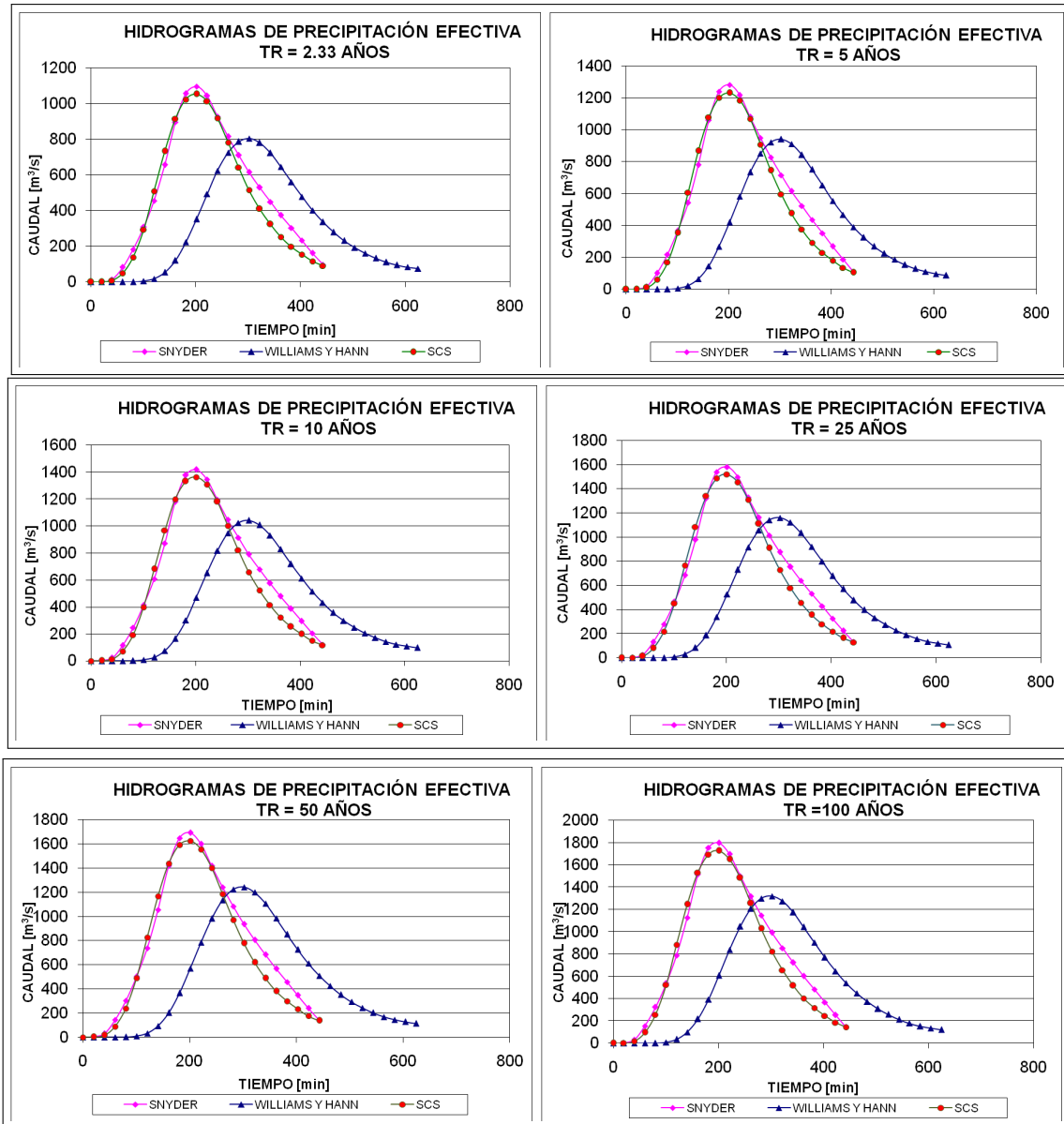


Figura A.10: Hidrogramas de precipitación efectiva para la subcuenca La Risaralda.

Anexo B

Hidráulica

B.0.1. Sitio Trasvase

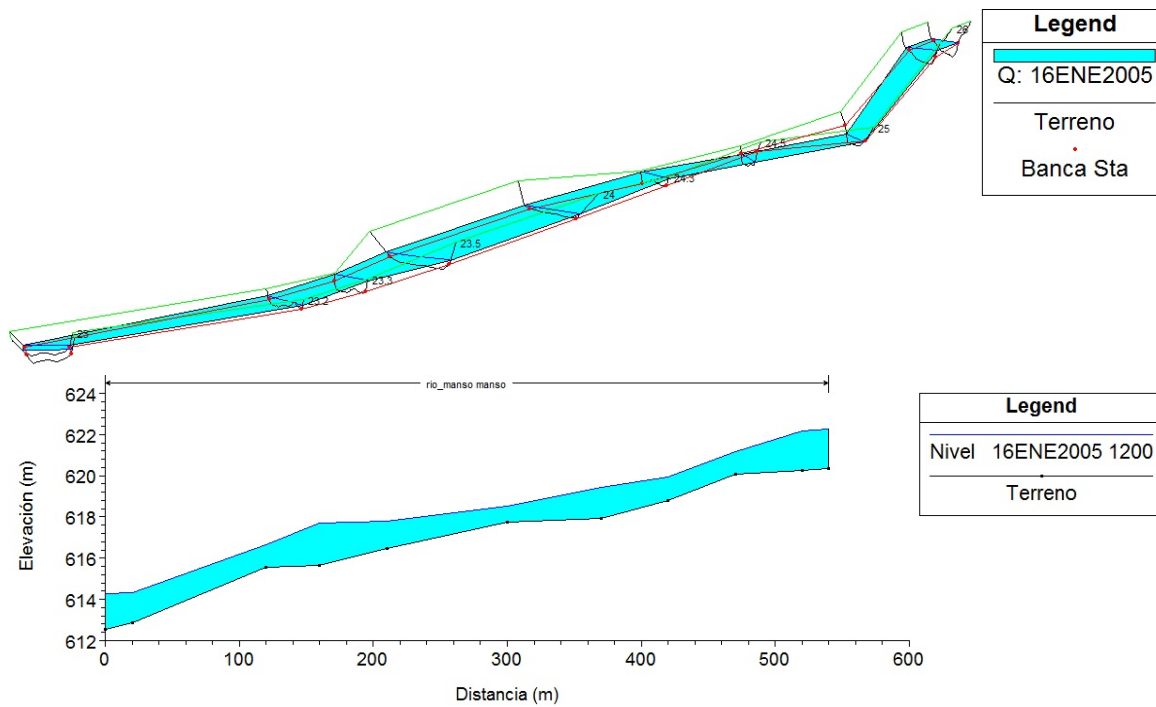


Figura B.1: perfil en 3D y 2D del sitio Trasvase

En la tabla B.1 mostrada a continuación, se presentan algunas características hidráulicas, de la modelación del río Manso en función del abscisado propuesto en el sector Trasvase.

Q(28.6 m ³ /s) río Manso. Sector Trasvase										
Abscisa	Cota fondo	Lámina	Vmedia	Área	R	Froude	Sf	Esfuerzo	Potencia	AR ^{2/3}
	m	m	m/s	m ²	m			N /m ²	N / ms	
K0+000	620.34	1.94	1.7	16.95	1.24	0.47	0.004877	59.27	100.75	19.56
K0+020	620.24	1.94	1.72	17.1	1.39	0.46	0.009601	130.78	224.95	21.30
K0+070	620.09	1.07	1.95	14.71	0.76	0.7	0.020828	155.13	302.50	12.25
K0+120	618.79	1.13	2.09	13.72	0.79	0.74	0.010078	78.02	163.07	11.72
K0+170	617.95	1.5	1.77	16.7	1.01	0.56	0.011364	112.48	199.09	16.81
K0+240	617.76	0.77	1.92	15.49	0.59	0.79	0.003638	21.03	40.39	10.90
K0+330	616.45	1.33	0.87	33.31	1.12	0.26	0.001588	17.43	15.16	35.92
K0+380	615.63	2.06	0.95	30.49	1.65	0.23	0.00471	76.16	72.35	42.57
K0+420	615.55	1.08	2.02	14.34	0.67	0.78	0.010008	65.71	132.74	10.98
K0+520	612.85	1.46	1.42	20.31	1.06	0.43	0.002833	29.43	41.79	21.11
K0+540	612.55	1.73	1.13	25.88	1.33	0.31	0.002	26.07	29.46	31.30

Tabla B.1: Características hidráulicas del tramo Trasvase

B.0.2. Sitio La Samaria

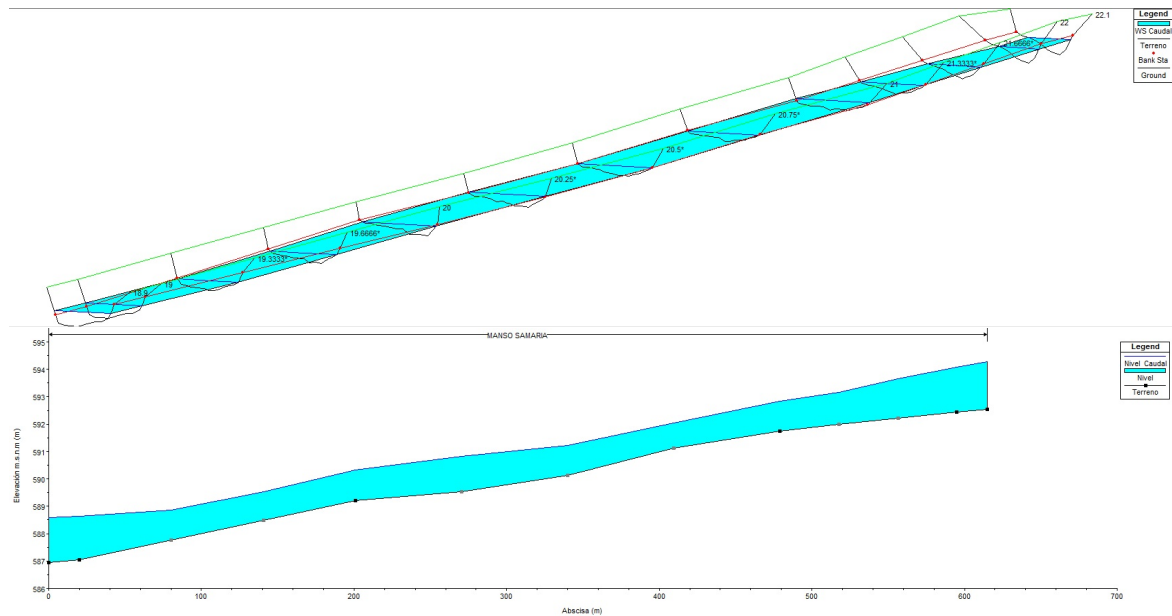


Figura B.2: perfil en 3D y 2D del sitio La Samaria

En la tabla B.2 mostrada a continuación, se presentan algunas características hidráulicas, de la modelación del río Manso en función del abscisado propuesto en el sector La Samaria.

Q(15.6 m ³ /s) río Manso . Sector Samaria										
Abscisa	Cota fondo	Lámina	Vmedia	Área	R	Froude	Sf	Esfuerzo	Potencia	AR ^{2/3}
	m	m	m/s	m ²	m			N /m ²	N / ms	
K0+000	592.55	1.74	1.2	12.96	0.89	0.4	0.009449	82.41	98.90	11.99
K0+020	592.45	1.63	1.36	11.5	0.87	0.45	0.011384	97.06	132.00	10.48
K0+059	592.22	1.43	1.25	12.48	0.72	0.47	0.012692	89.55	111.94	10.03
K0+097	591.98	1.17	1.22	12.78	0.63	0.49	0.009106	56.22	68.59	9.39
K0+136	591.75	1.08	0.93	16.75	0.73	0.35	0.01078	77.12	71.72	13.58
K0+206	591.11	0.92	1.33	11.77	0.51	0.59	0.012205	61.00	81.13	7.51
K0+275	590.12	1.1	0.97	16.02	0.67	0.38	0.005645	37.07	35.95	12.27
K0+345	589.54	1.29	0.8	19.59	0.8	0.28	0.00679	53.23	42.59	16.88
K0+414	589.2	1.12	1.12	13.89	0.58	0.47	0.012896	73.30	82.10	9.66
K0+474	588.48	1.05	1.18	13.17	0.62	0.48	0.011249	68.35	80.65	9.58
K0+535	587.77	1.1	1.13	13.82	0.71	0.42	0.004217	29.34	33.16	11.00
K0+595	587.05	1.58	0.75	20.79	1.14	0.22	0.002159	24.12	18.09	22.69
K0+615	586.95	1.64	0.72	21.85	1.19	0.21	0.002	23.32	16.79	24.54

Tabla B.2: Características hidráulicas del tramo La Samaria

B.0.3. Sitio Cadenales

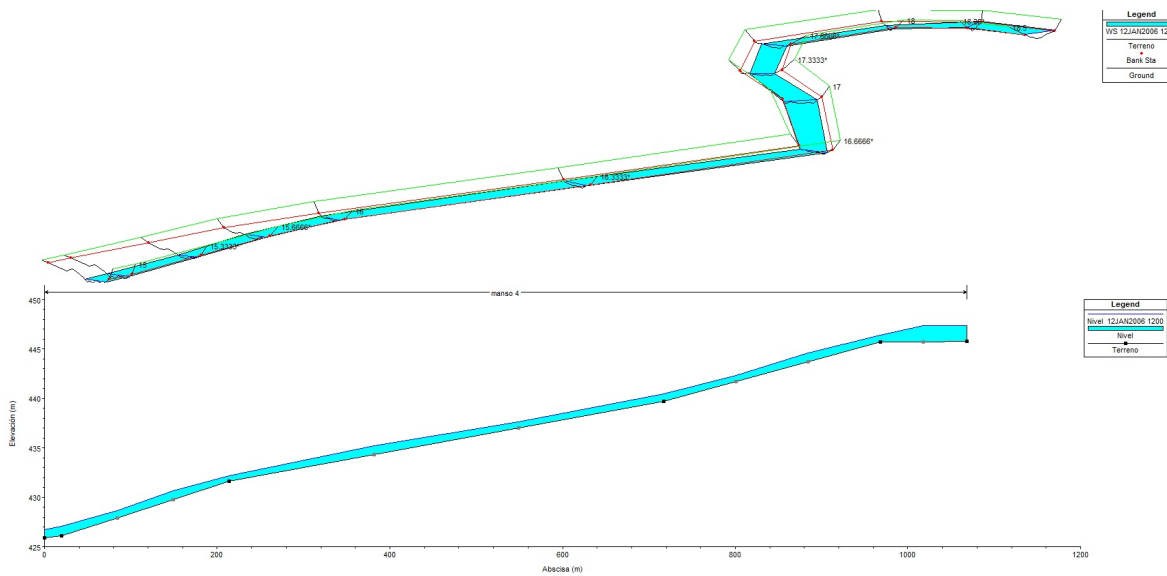


Figura B.3: perfil en 3D y 2D del sitio Cadenales

En la tabla B.3 mostrada a continuación, se presentan algunas características hidráulicas, de la modelación del río Manso en función del abscisado propuesto en el sector Cadenales.

Q(9.8 m ³ /s) río Manso. Cadenales										
Abscisa	Cota fondo	Lámina	Vmedia	Área	R	Froude	Sf	Esfuerzo	Potencia	AR ^{2/3}
	m	m	m/s	m ²	m			N /m ²	N / ms	
K0+000	445.8	1.6	0.44	22.31	0.92	0.15	0.00078	7.03	3.09	21.10
K0+050	445.75	1.61	0.44	22.6	0.93	0.14	0.002335	21.28	9.36	21.53
K0+100	445.7	0.73	1.8	5.47	0.42	0.88	0.019684	81.02	145.83	3.07
K0+184	443.7	0.91	1.17	8.41	0.51	0.52	0.020154	100.73	117.85	5.37
K0+267	441.7	0.65	1.77	5.56	0.39	0.9	0.015116	57.77	102.26	2.97
K0+351	439.7	0.78	0.94	10.49	0.5	0.42	0.0134	65.66	61.72	6.61
K0+519	437	0.62	1.37	7.17	0.35	0.74	0.007334	25.16	34.46	3.56
K0+686	434.3	0.94	0.69	14.18	0.61	0.28	0.007686	45.95	31.70	10.20
K0+854	431.6	0.57	1.49	6.59	0.35	0.81	0.021858	74.97	111.71	3.27
K0+919	429.77	0.89	1.25	7.86	0.47	0.58	0.025189	116.02	145.03	4.75
K0+983	427.93	0.74	1.84	5.35	0.36	0.97	0.017927	63.25	116.37	2.71
K1+048	426.1	0.98	1.07	9.24	0.54	0.46	0.013275	70.25	75.17	6.13
K1+068	425.9	0.86	1.38	7.16	0.44	0.65	0.0023	9.92	13.69	4.14

Tabla B.3: Características hidráulicas del tramo Cadenales

B.0.4. Sitio Risaralda

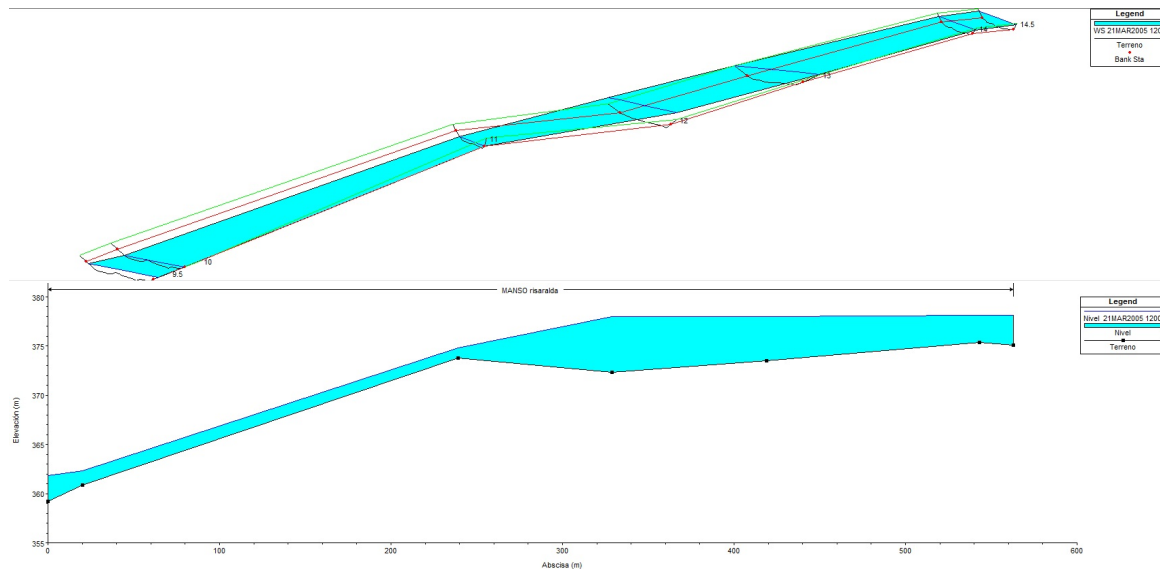


Figura B.4: perfil en 3D y 2D del sitio La Risaralda

En la tabla B.4 mostrada a continuación, se presentan algunas características hidráulicas, de la modelación del río Manso en función del abscisado propuesto en el sector La Risaralda.

Q(8.7 m ³ /s) río Manso. La Risaralda										
Abscisa	Cota fondo	Lámina	Vmedia	Área	R	Froude	Sf	Esfuerzo	Potencia	AR ^{2/3}
	m	m	m/s	m ²	m			N /m ²	N / ms	
K0+000	375.11	3.04	0.12	74.78	2.63	0.02	0.001242	32.01	3.84	142.48
K0+020	375.4	2.72	0.14	65	2.32	0.03	0.000439	9.98	1.40	113.91
K0+144	373.5	4.51	0.07	132.33	4.08	0.01	0.000107	4.28	0.30	337.88
K0+234	372.3	5.7	0.05	197.37	5.15	0.01	0.000247	12.47	0.62	588.60
K0+324	373.8	1.05	0.47	18.51	0.83	0.16	0.056468	459.31	215.88	16.35
K0+543	360.84	1.46	0.35	25.15	0.72	0.13	0.00548	38.67	13.53	20.20
K0+563	359.22	2.62	0.13	68.02	1.74	0.03	0.002	34.10	4.43	98.40

Tabla B.4: Características hidráulicas del tramo La Risaralda

B.0.5. Sitio La Punta

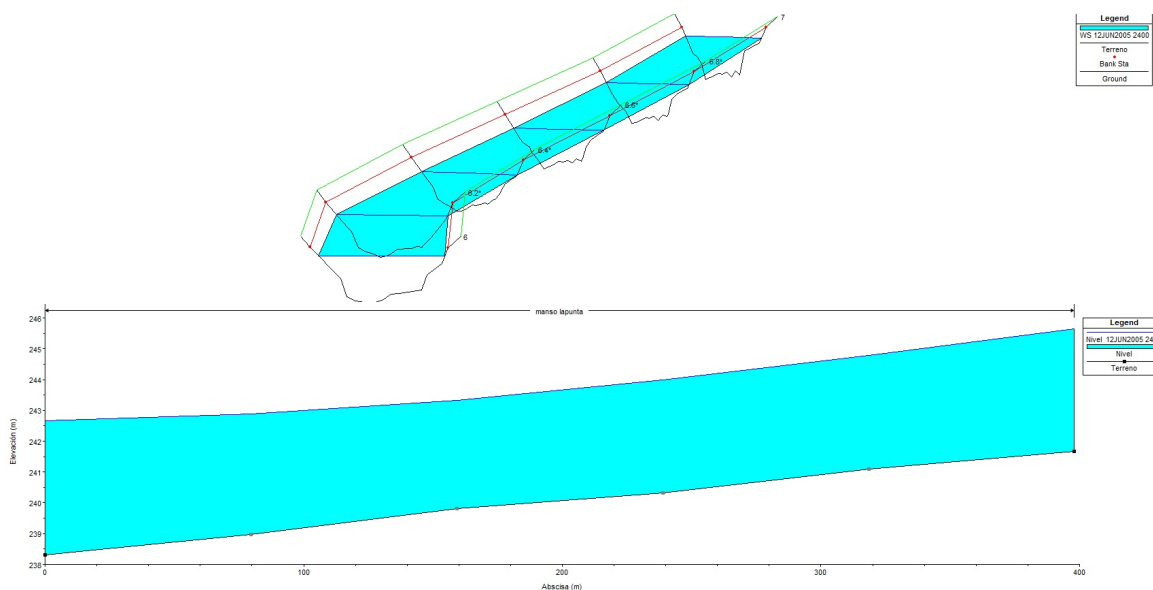


Figura B.5: Perfil en 3D y 2D del sitio La Risaralda

En la tabla B.5 mostrada a continuación, se presentan algunas características hidráulicas, de la modelación del río Manso en función del abscisado propuesto en el sector La Punta.

Q(29.0 m ³ /s) río Manso . La Punta										
Abscisa	Cota fondo	Lámina	Vmedia	Área	R	Froude	Sf	Esfuerzo	Potencia	AR ^{2/3}
	m	m	m/s	m ²	m			N /m ²	N / ms	
K0+000	241.67	3.97	0.69	42.16	1.96	0.14	0.01076	206.68	142.61	66.03
K0+080	241.09	3.7	0.67	43.4	1.98	0.14	0.010027	194.56	130.36	68.43
K0+160	240.33	3.67	0.64	45.24	1.96	0.14	0.008381	160.98	103.03	70.85
K0+239	239.81	3.51	0.58	50.41	2.06	0.12	0.005104	103.04	59.76	81.61
K0+319	238.98	3.91	0.45	64.36	2.35	0.09	0.002677	61.65	27.74	113.76
K0+398	238.31	4.36	0.35	82.15	2.62	0.07	0.002	51.35	17.97	156.13

Tabla B.5: Características hidráulicas del tramo La Punta

B.0.6. Sitio Remolinos

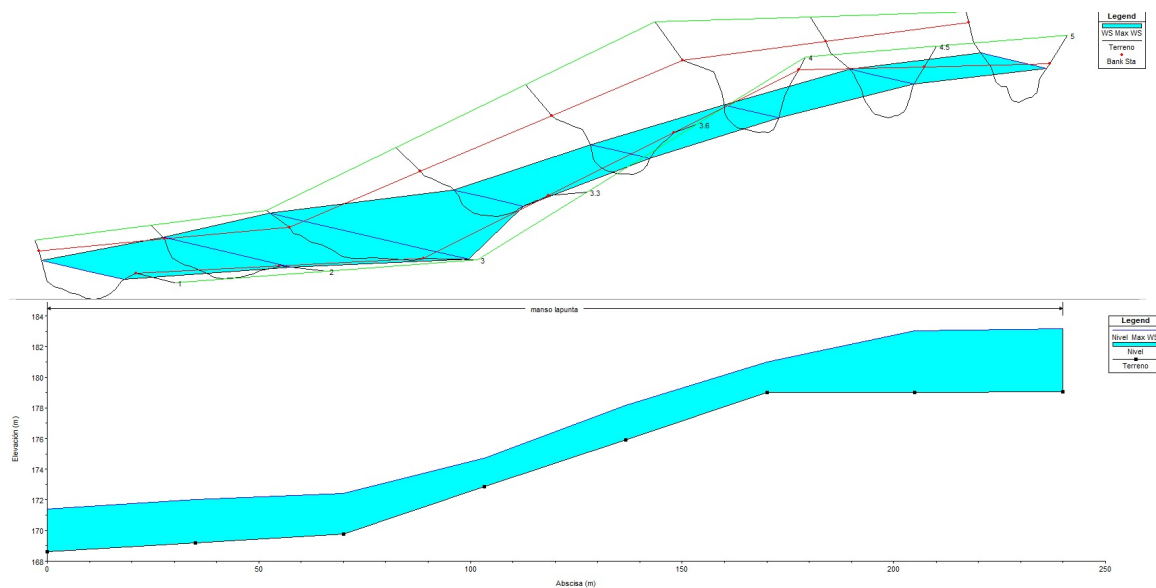


Figura B.6: Perfil en 3D y 2D del sitio Remolinos

En la tabla B.6 mostrada a continuación, se presentan algunas características hidráulicas, de la modelación del río Manso en función del abscisado propuesto en el sector Remolinos.

Q(60 m ³ /s) río Manso . Remolinos										
Abscisa	Cota fondo	Lámina	Vmedia	Área	R	Froude	Sf	Esfuerzo	Potencia	AR ^{2/3}
	m	m	m/s	m ²	m			N /m ²	N / ms	
K0+000	179.04	4.11	1	64.36	2.3	0.2	0.00278	62.66	62.66	112.14
K0+035	179.02	4.01	0.93	69.83	2.58	0.18	0.015202	384.37	357.46	131.36
K0+070	179	1.99	1.82	35.5	1.57	0.45	0.082787	1273.76	2318.24	47.95
K0+113	175.92	2.26	1.55	41.78	1.71	0.37	0.092902	1556.85	2413.12	59.74
K0+146	172.84	1.9	1.81	35.64	1.28	0.51	0.022252	279.13	505.22	42.02
K0+180	169.76	2.66	0.61	114.4	1.94	0.14	0.01082	205.71	125.48	177.95
K0+215	169.18	2.83	0.75	86.95	1.89	0.17	0.016447	304.63	228.47	132.92
K0+250	168.6	2.8	0.95	68.14	2.04	0.21	0.002	39.98	37.98	109.60

Tabla B.6: Características hidráulicas del tramo Remolinos

Bibliografía

- Agualimpia, Y., Castro, C., 2006. “*Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos*”. Revista Tecnogestion vol 3 (1) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
- Agualimpia. Y. y C.E. Castro. 2008. “*Caudal ecológico: Una herramienta en la gestión integral del recurso hídrico*”. I Congreso internacional del agua y el ambiente.
- Álvarez, O. 2007. “*Cuantificación de la incertidumbre en la estimación de campos hidrológicos : aplicación al balance hídrico de largo plazo*”. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 219 p.
- APROMA (Asoc. Profesionales del Medio Ambiente)., 2000. *Primer Congreso sobre Caudales Ecológicos. Ponencias y conclusiones. Barcelona.* p. 407.
- Arnaud, P. y Lavabre, J. 1996. “*Simulation du fonctionnement hydrologique d’une retenue d’eau*”. Cemagref.
- Bain, M. B., Finn, J. T., Booke, H. E., 1988. “*Streamflow regulation and fish community structure*”, Ecology, 69(2), pp 382-392.
- Beard, T.D Carline, R.F. 1991. “*Influence of spawning and other stream habitat features on spatial variability of wild brown trout.*” Transactions of American Fisheries Society, 120: 711-722.
- Baras, E. y J. C. Philippart, 1989. “*Application du radio-pistage à l’étude écoéthologique du barbeau fluviatile (Barbus barbus) problèmes, stratégies et premiers résultats.*” Cahiers d’Ethologie appliquée. 9(4): 467-494
- BID. 1998. Banco Iberoamericano de Desarrollo. “*Estrategia para el manejo integrado de los recursos hídricos*”. Washington, D.C.
- Bovee, K. D., 1982. “*A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology.*” U.S. Fish and Wildlife Service, Cooperative Instream Flow Group. Instream flow information paper 12. 248 pp.

- Bovee, K. D., 1986. *“Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow Incremental methodology.”* U.S. Fish and Wildlife Service, Cooperative Instream Flow Group. Instream Flow Information Paper 21. 235 pp.
- Bovee, K. D., B. L. Lamb, J. M. Bartholow, C. B. Stalnaker, J. Taylor, & J. Henriksen., 1998. *“Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology.”* U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998-0004. 131pp.
- Brotons, P. A., 1988. *“Condicionamientos hidráulicos sobre la microdistribución en densidad de las poblaciones de macroinvertebrados de bentos. Condicionamientos hidráulicos sobre la microdistribución en densidad de las poblaciones de macroinvertebrados de bentos. Estudio en un tramo del río Jarama (Madrid).”* Proyecto fin de carrera. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Madrid.
- Canavos, G.C, 1988. *“Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos”*. Ed, McGraw-Hill. México, 362p.
- Cantera. J.R., Y. Carvajal., y L.M. Castro. 2009. *“Caudal ambiental. Conceptos, experiencias y desafíos”*. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Carvajal Escobar, Yesid., 2007. *El régimen de caudal ambiental en el marco de la gestión integrada del recurso hídrico para adaptarse al cambio climático*. Universidad del Valle, Colombia.
- Carreño F., y Martínez F. 2008. *“Indicadores bibliográficos para la valoración de las metodologías de determinación de los caudales ambientales”* . Fundación nueva cultura del agua, Vol. 1, 1-13. España
- Chow, Ven te., 1954. *“The log-probability law and its engineering applications”*. Proceedings American Society of Civil Engineers.
- Collings, M. R; R. W. Smith y G. T. Higgins., 1972. *The hydrology of four streams in western Washington as related to several Pacific salmon species*. U.S. Geological survey Water Supply Paper 1968. 109 pp.
- Costa, M. J., J. M. Gomes, A. Bruxelas & M. I. Domingos., 1988. *“Efeitos previsíveis da construção da barragem de Alqueva sobre a ictiofauna do rio Guadiana.”* Revista de Ciências Agrarias, XI (4): 143-163.
- Daniel P. Loucks., 2006. *“Modeling and managing the interactions between hydrology, ecology and economics”*. Journal of Hydrology. Volume 328, Issues 3-4, 15 September 2006, Pages 408-416. The ICWRER - Symposium in Dresden, Germany
- Davis R., y Hirji. R., 1999. *“Environmental flows: concepts and methods”*. Water resources and environment technical note C. 1. The world bank, Series editors.

- Declaración de Brisbane. 2007. Online en: [http :
//www.nature.org/initiatives/freshwater/files/brisbane
_declaration_with_organizations_final.pdf](http://www.nature.org/initiatives/freshwater/files/brisbane_declaration_with_organizations_final.pdf)
- Degeman, E., Fogelgren, J.E., Tengelin, B. Thornelof, E. 1986. "Occurrence of salmonid parr and eel in relation to water quality in small streams on the West Coast of Sweden." *Water Air Soil Pollution*, 30: 665-671.
- Diez J.M. y Burbano L., 2006. Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. *Ingeniería e Investigación* 26(1): 58-68.
- Dyson M., Bergkamp G. y Scanlon J., 2003. *Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales*. Tr. José María Blanch. San José, C.R. UICN-ORMA, pp.125
- Einseg, W., Strange, R.J. Moore, S.E. 1990. "Summer food limitation reduces brook and rainbow trout biomass in southern Appalachian stream." *Transactions of American Fisheries Society*, 119: 894-901.
- Erasmó, A., et al., 2007. *Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados*. Universidad Nacional de Colombia - Grupo GIREH. Bogotá: Contrato No. 0076-08 del Convenio Interadministrativo OEI-MAVDT No 004/07 de 2007.
- Fausch, K. D. y R. J. White, 1981. "Competition between brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmon trutta*) for a positions in a Michigan stream." *Canadian journal of fish and aquatic sciences*. 38: 1220-1227
- Francisca, M., et al., 2008. "Indicadores bibliográficos para la valoración de las metodologías de determinación de los caudales ambientales". Congreso Ibérico sobre gestión y planificación del agua febrero de 2011 Toledo. Documento c01015.
- García de Jalón, D., B. Gutierrez, F. Martínez, M. Morillo, S. Baselga & D. Baeza., 1997. "Realización de la metodología de cálculo de aportaciones ambientales y caudales ecológicos mínimos en la cuenca hidrográfica del río Tajo" . Informe técnico CEDEX. Madrid.
- Gippel, C.G. Stewardson, M.J. 1995. "Development of an environmental flow management strategy for the Thomson River (Victoria, Australia)". *Regulated Rivers: Research and Management*, 10: 121-136.
- Grossman, G. D., A. DE Sostoa, M. C. Freeman & J. Lobon-Cervia. 1987 a. "Microhabitat use in a Mediterranean riverine fish assemblage: I. Fishes of the lower Matarrana. *Oecologia*", 73: 490-500.
- Grossman, G. D., A. DE Sostoa, M. C. Freeman & J. Lobon-Cervia. 1987 a. "Mi-

- crohabitat use in a Mediterranean riverine fish assemblage: II. Fishes of the upper Matarrana. Oecologia*, 73: 490-500.
- Grossman, G. D. & M. C. Freeman. 1987. "Microhabitat use in a mediterranean fish assemblage. *J. Zool*" , 212: 151-176.
- Grossman, G. D. & A. DE Sostoa. 1994 a. "Microhabitat use by fishes in the lower rio Matarraña, Spain: 1984-1987." *Ecol. Freshwat. Fish.*, 3: 123-136.
- Grossman, G. D. & A. DE Sostoa. 1994 a. "Microhabitat use by fishes in the upper rio Matarraña, Spain: 1984-1987." *Ecol. Freshwat. Fish.*, 3: 123-136.
- Hegge, O., Hesthagen, T. Skurdal, J. 1993. "Juvenile competitive bottlenecks in the production of brown trout in hydroelectric reservoirs due to intraspecific habitat segregation". *Regulated Rivers*, 8: 41-48.
- Heggenes, J., 1994. "Physical habitat selection and behaviour by Brown trout (*Salmon trutta*) and young atlantic salmon (*Salmo salar*) in spatially and temporally heterogeneous streams: implications for hydraulic modelling." En: Poceedings of the first international symposium on habitat hydraulics. Pp: 12-30. Trondheim (Norway).
- Hirji R. & Davis R., 2009. "Environmental Flows in water resources, policies, plans and projects. Findings and recommendations. *Environment and Development*". World Bank Publications. 189 pg.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2000. "Estudio Nacional del Agua".
- ISAGEN S.A. y Corporación para el Desarrollo, Investigación y Aplicación de la Biología (CORPOBIOTICA), 2006. "Estudios Ictiológicos complementarios en el Río Manso." Informe final" Bogotá. Colombia
- ISAGEN S.A., 2010. "Revisión del Caudal Ecológico Río Manso". Proyecto Manso.
- Jacobs, J., 1974. "Quantitative measurements of food selection: a modifcaition of the forage ratio and Ivlev's electivity index". *Oecologia* 14: 413-417.
- Johnson, D.H., 1980. "The comparisson of usage and availability measurement for evaluating resource preference. *Ecology*," 61(1): 65-71.
- Jowett, I. G., 1990. "Factors related to the distribution and abundance of brown and rainbow trout in New Zealand clear-water rivers." *N. Z. J. Mar. Fresh. Res.* 24: 429-440
- Jowett, I. G. 1992. "Models of the abundance of large brown trout in New Zealand rivers." *North American Journal of Fisheries Management*, 12: 417-432.

- Keenleyside, M. H. A., 1992. “*Skin diving observations of atlantic salmon and brook trout in the Miramichi River, New Brunswick.*” Journal of the fisheries research board of Canada, 19:625-634. Canada
- King, J., Tharme, R., and Brown, C., 1999. *Definition and Implementation of Instream flows Southern Waters*, University of Cape Town, South Africa. Prepared for Thematic: Review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration. Available in: <http://www.dams.org/>
- King J. y Louw D., 1998. “*Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology*”. Aquatic Ecosystem Health and Management 1(2): 109-124.
- King, J., Brown, C., Sabet, H., 2003. “*A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers*”, River Research and Applications, 19(5-6), pp 619-639.
- Kraft, M.E. 1972. “*Effects of controlled flow reduction on trout stream.*” J. Fish. Res. Board Can., 29: 1405-1420.
- Li, S. K., 1988. “*Measuring microhabitat in swift water.*” Proceedings of a workshop on the development and evaluation of habitat suitability criteria. K.D. Bovee y J.R. Zuboy, ed. EEUU fish and Wildlife Service Biological Report 88 (11). pp 183-193. Washington, DC.
- Manly, B. F. J., L. L. Mc Donald & D. L. Thomas., 1993. “*Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies*”. London: Chapman and Hall.
- MAVDT, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2004. “*Resolución 865 de 2004: Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones*”. Bogotá D.C.
- Mayo, M., B. Gallgo, D. García de Jalón & P. A. Brotons., 1995. “*Preferencias de hábitat de la trucha común en la época de freza. Río Dulce, Guadalajara.*” Limnetica, 11 (1): 49-54.
- Mesa, O. J., G. Poveda, y L. F. Carvajal, 1997. “*Introducción al Clima de Colombia*”. Imprenta Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Milhou, R.T. 1999. “*History, Theory, use, and limitations of the Physical Habitat Simulation System.*” Proceedings of the 3rd International Symposium on Ecohydraulics. Salt Lake City, Utah.
- Monahan, J. T., 1991. “*Development of habitat suitability data for smallmouth bass (Mi-*

- cropterus dolomieu*) and rock bass (*Ambloplites rupestris*) in the Huron River, Michigan.” Master’s thesis. East Lansing: Michigan State University.
- Moyle P. B. y B. Vondracek, 1985. “Persistence and structure of the fish assemblage in a small California stream.” *Ecology*. 66: 1-13.
- Northcote, T. G. y D. W. Wilkie, 1963. “Comparison of habitat suitability criteria for smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*) from three west Virginia rivers.” *Rivers*. 5(3): 170-183.
- Ormazabal, C., 2004. *El caso del proyecto RALCO. Presentado en el Seminario: “Caudal ecológico: metodologías y casos aplicados”*. 28 de abril de 2004. Santiago de Chile. Chile
- Orth, D. J., Maughan, O. E., 1981. “Evaluation of the Montana method for recommending instream flows in Oklahoma streams”, *Proceedings of Oklahoma the Academy Science*, 61, pp 62-66.
- Palau, A., 2003. “Régimen ambiental de caudales: estado del arte. En: *Régimen Ambiental de Caudales*”. Del 29 de septiembre al 3 de octubre de 2003. Unidad
- Palau, A., 1994. “Los mal llamados caudales “ecológicos”. Bases para una propuesta de cálculo. *Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*”. N° 28. Ríos, II. p. 84 – 95. OP (Obras Públicas).
- Palmer, C. G., 1999. “Application of ecological research to the development of a new South African water law” , *Journal of the North American Benthological Society*, 18(1), pp 132-142.
- Parra, E., Poveda, G., 2009. “Relaciones estadísticas entre caudales medios mensuales de ríos colombianos y variables macro-climáticas”. Medellín [s.n], pp 7-8. Nota: Trabajo presentado en la materia de posgrado hidrometeorología.
- Pouilly, M. & Y. Souchon. 1994. “Simulation de l’habitat physique du barbeau fluviatile (*Barbus barbus*, L. 1758): Choix des modèles biologiques et sensibilité de la réponse”. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 334: 213-225.
- Reiser, D. W., Wesche, T. A., Estes, C., 1989. “Status of instream flow legislation and practices in North America”, *Fisheries*, 14(2), pp 22-29.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R., Braun, D. P., 1997. “How much water does a river need?” , *Freshwater Biology*, 37, pp 231-249.
- Rincón, P. A. y J. Lobón-Cerviá, 1993. “Microhabitat use by stream-resident brown trout: bionergetic consequences.” *Transactions of the American Fisheries Society*. 122: 575-587

- Salazar, A. & IDEAM. 2009. “*Análisis de la experiencia de la aplicación de la propuesta metodológica de cálculo de caudal ecológico en las 5 cuencas piloto. Propuesta metodológica de cálculo de caudal ambiental para pequeños ríos y quebradas*”.
- Scheele, D.S., 1975. “*Reality construction as a product of Delphi interaction.*” En: H.A. Listone y M. Turoff, editores. *The delphy method: techniques and applicarions.* Addison-Wesley, Reading. Mass. Pp..37-71
- SECAB, Secretaria Ejecutiva del Convenio Andrés Bello. 2005. “*Metodología propuesta para la estimación del caudal ecológico*”.
- Smith, R. A., G. Poveda, O. J. Mesa, C. A. Pérez, y C. Ruiz, 1996. “*En Búsqueda de Señales de Cambio Climático en Colombia*”. IV Congreso Colombiano de Meteorología, Sociedad Colombiana de Meteorología, Bogotá.
- Tharme R. 1996. *Review of international methodologies for the quantification of the instream flow requirements of rivers. Water law review final report for policy development for the Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria.* Freshwater Research Unit, University of Cape Town. 116 pp.
- Thomas, J. A. y K. D. Bovee, 1993. “*Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria.*” *Regulated Rivers.* 8: 285-294
- Thoms M.C. y Sheldon F., 2002. “*An ecosystem approach for determining environmental water allocations in Australian dryland river systems: the role of geomorphology*”. *Geomorphology* 47: 153–168. Australia.
- Universidad Nacional de Colombia sede Medellín (UNAL), 2003. “*Manual de Usuario de HidroSIG - Versión 3.0 Beta*”. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia. 109p.
- Universidad Nacional de Colombia (UNAL) y Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), 2001. “*Balances Hidrológicos y Atlas Digital de Antioquia*”. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín.
- Universidad Nacional de Colombia (UNAL) y Unidad de Planeación Minero - Energética (UPME), 2000. “*Atlas Hidrológico de Colombia*”. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín.
- Vélez, J. I., 2001. “*Desarrollo de un Modelo Hidrológico Conceptual y Distribuido Orientado a la Simulación de las Crecidas*”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos y Puertos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia.

- Waters, B. F., 1976. “*A methodology for evaluating the effects of different streamflows on salmonid habitat.*” Proceedings of the symposium and specialty conference on instream flow needs. Am. Fish. Soc. Bethesda. ; Maryland. Vol. II pp. 334-343. EEUU
- Wesche, T. A.;Goertler, C. M. y Hubert, W. A. 1987. “*Modified habitat suitability index model for brown trout in southeastern Wyoming.*” N. Am. J. Fish. Mgmt. 7: 232-237
- Wilches, S. Y., 2001. “*Estudio de las propiedades de invarianza de las precipitaciones máximas puntuales en el departamento de antioquia*” Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos. Tesis de grado.
- Zuboy, J.R., 1981. “*A new tool for fisheries managers: the Delphi technique*”. N. Am. J. Fish Mgmt, 1: 55-59