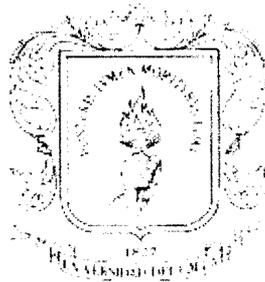


**ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL DEL RÍO OVEJAS PARA SU  
TRASVASE AL EMBALSE LA SALVAJINA EN SUÁREZ, CAUCA**



**DIANA JIMENA MONSALVE HERRERA  
LUIS ALBERTO BURBANO LUNA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2010**

**ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL DEL RÍO OVEJAS PARA SU  
TRASVASE AL EMBALSE LA SALVAJINA EN SUÁREZ, CAUCA**

**DIANA JIMENA MONSALVE HERRERA  
LUIS ALBERTO BURBANO LUNA**

**Proyecto de grado para aspirar al título de Ingeniero Ambiental**

**Director del trabajo:  
ING. LUIS JORGE GONZALEZ MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2010**

Nota de aceptación

---

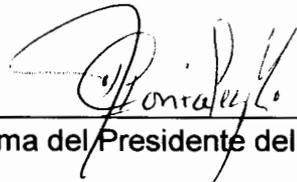
---

---

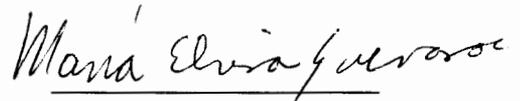
---

---

---



Firma del Presidente del Jurado



Firma del Jurado



Firma del Jurado

Popayán 5 de Marzo de 2010

## DEDICATORIA

A mis padres Martha Lucia Herrera y Álvaro Antonio Monsalve Solarte por su amor incondicional, apoyo y por ser las personas que hicieron posible este logro.

A mi hermano Fabián Andrés Monsalve por sus consejos, su amor y por querer siempre lo mejor para mí; a mi hermanito Nicolás Monsalve por su ternura y su inmenso amor.

A mi grupo GEIA (Grupo de Estudiantes de Ingeniería Ambiental), por su amistad, apoyo, enseñanzas y porque gracias a ellos pude vivir la ingeniería de otra manera.

A mis amigos: Aura Luz Molano, Lilly Posso, Astrid Aguilar, Laura Olarte, Gabriela Arteaga, Katherine Huetio por las largas jornadas de risas, estudios y experiencias.

A mis amigos Alex Audivert y Harold Ordoñez por su amistad incondicional, por creer en mí y por ayudarme a mantener mi mente abierta y el gusto por las artes

Al "Inge Gonzalez", por ser como un padre que me guio y cuidó durante todo este tiempo de trabajo.

Al ingeniero Javier Fernández y Julio Cesar Gil por sus enseñanzas y porque gracias a sus clases pude entender y sentir el gusto por la ingeniería ambiental.

A mi compañero Luchito por alegrar los momentos tristes, por cuidarme todo el tiempo como una hermanita, por entenderme y apoyarme en los momentos difíciles, porque gracias a él logre siempre dar pasos hacia adelante cuando todo parecía estancarse. Por ser mi amigo y compañero incondicional... Gracias Luchito!!!

Diana Jimena Monsalve Herrera

## DEDICATORIA

A Dios por estar presente todo el tiempo

A mis padres María Emir Luna y Hermes Burbano por su comprensión, amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos Leidy Dayana Burbano y Carlos Mario Burbano por ser las personas que siempre me apoyaron y con quien quiero compartir todos mis triunfos.

A mi sobrina Stephania Bolaños por ser la personita por la que quiero seguir luchando

A mi amigo Juan Faber Imbachi quien está en el cielo apoyándome y guiándome por el camino correcto.

A ingeniero Javier Fernández quien fuera la primera persona que me motivo para seguir con mi carrera.

Al ingeniero Julio Cesar Gil por ser un gran profesor y un apoyo para seguir siendo cada día un mejor profesional.

A Juan Pablo Serna quien más que ser un compañero es un amigo incondicional.

A Maritza Cortez quien fue un apoyo en mi carrera y además lleno mi vida de mucha alegría.

Al ingeniero Luis Jorge González quien fue un apoyo en la elaboración de este trabajo y por ser un gran amigo y maestro.

Al Biologo Jhan Sandoval quien ha sido un gran amigo, un apoyo y quien siempre compartió sus conocimientos y sus experiencias, para lograr ser siempre un mejor profesional.

A toda mi familia por apoyarme a seguir adelante con mis estudios.

Y para mi compañera y amiga Diana Jimena Monsalve "La Monza" quien estuvo siempre a mi lado para apoyarme desde que iniciamos nuestra carrera, por ser la persona que compartió todos sus triunfos y derrotas, por ser mi apoyo para sacar adelante este trabajo y por llenar mi vida de alegría.

Luis Alberto Burbano Luna

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por estar junto a nosotros en los buenos y malos momentos.

A nuestros padres y amigos por confiar en nosotros y ser nuestro apoyo incondicional.

A nuestro director, Ingeniero Luis Jorge González, por guiarnos y brindarnos su amistad, apoyo y confianza en nuestro trabajo de grado y nuestras vidas.

Al grupo de estudios hidrobiológicos continentales de la Universidad del Cauca, especialmente a los biólogos: Gerardo Ignacio Naundorf Sanz, Hildier Zamora González, Guillermo León Vásquez Zapata, Leonidas Zambrano Polanco, Jhan Alejandro Sandoval, por darnos la oportunidad de ser parte de un proyecto que nos aportó nuevos conocimientos y experiencias.

A nuestros compañeros de trabajo: Alejandro López, Eliana Andrea Ante Macca, Federico Mosquera, Mirtha Amanda Angulo Valencia, quienes nos apoyaron en la realización de nuestro trabajo.

A la docente Ana Milena Plaza, por su colaboración e interés.

A la ingeniera María Elvira Guevara y el Ingeniero Carlos Alberto Caldas, por sus asesorías y conocimientos.

A la Empresa de Energía del Pacífico, S.A. – EPSA, por creer en el talento de la Universidad del Cauca para ejecutar sus proyectos.

A la Universidad del Cauca, por ser la institución que nos ofreció una formación integral para nuestro futuro.

Gracias

## CONTENIDO

|  | Pág |
|--|-----|
| INTRODUCCION   | 1   |
| 1.JUSTIFICACIÓN  | 3   |
| 2.OBJETIVOS  | 5   |
| 2.1 GENERAL  | 5   |
| 2.2 ESPECÍFICOS  | 5   |
| 3.MARCO TEÓRICO  | 6   |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDIO                                      | 6   |
| 3.2 CAUDAL AMBIENTAL                                     | 7   |
| 3.2.1 Metodologías para el cálculo del caudal ambiental  | 8   |
| 3.2.1.1 Metodología hidrológica                          | 8   |
| 3.2.1.2 Metodología de valoración hidráulica             | 8   |
| 3.2.1.3 Metodología de los transectos o perímetro mojado | 8   |
| 3.2.1.4 Metodología de simulación hidráulica             | 10  |
| 3.2.1.5 Metodología holística                            | 10  |
| 4. MARCO LEGAL   | 14  |
| 4.1 Proyecto de ley N° 365 – cámara de 2005. Capítulo I  | 14  |
| 4.2 Ley 99/93 Decreto No.1729 de 2002. Capítulo I        | 14  |
| 4.3 Ley 99 /93 Título VIII                               | 15  |
| 4.4 Resolución número 0865 (Julio 22 de 2004)            | 15  |
| 5. METODOLOGÍA   | 17  |
| 5.1 TRABAJO DE CAMPO                                     | 17  |

|  |    |
|--|----|
| 5.2 PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL           | 17 |
| 5.2.1 Determinación de la calidad del agua del río ovejas        | 17 |
| 5.2.1.1 Índice de Calidad Fisicoquímico (ICO-ICA)                | 17 |
| 5.2.1.2 Índice de Calidad BMWP/Colombia                          | 19 |
| 5.3 MEDICIÓN DE CAUDALES POR CORRENTÓMETROS O MOLINETES          | 20 |
| 5.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL CON LA CURVA DE GASTOS              | 20 |
| 5.5 DETERMINACIÓN DE VARIABLES HIDRÁULICAS                       | 21 |
| 5.6 CÁLCULO DEL CAUDAL AMBIENTAL                                 | 22 |
| 5.6.1 Metodología realizada por Grecco (2004)                    | 22 |
| 5.6.2 Método de los transectos                                   | 23 |
| 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS   | 25 |
| 6.1 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OVEJAS          | 25 |
| 6.1.1 Índice de Calidad Fisicoquímica ICA                        | 25 |
| 6.1.2 Índice de contaminación (ICO)                              | 25 |
| 6.1.2.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)       | 25 |
| 6.1.2.2.Índice de contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)     | 26 |
| 6.1.2.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) | 26 |
| 6.1.3 Índice biológico de calidad BMWP/Col                       | 28 |
| 6.2 MEDICIÓN DE CAUDALES POR CORRENTÓMETROS O MOLINETES          | 33 |
| 6.2.1 Caudales instantáneos quebrada Los Cafés                   | 35 |
| 6.3 CURVA DE GASTOS  | 36 |
| 6.4 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC-RAS 4.0                      | 37 |
| 6.4.1 Modelación sin presa.                                      | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 6.4.2 Modelación del tramo con la presa.   | 44 |
| 6.5 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL   | 51 |
| 6.5.1 Metodología de las Empresas Públicas de Medellín.  | 51 |
| 6.5.1.1 Aspectos importantes a tener en cuenta en la aplicación de la metodología de las Empresas Públicas de Medellín | 52 |
| 6.5.2 Metodología de los transectos.   | 53 |
| 6.5.2.1 Determinación de curvatura máxima  | 54 |
| 7. CONCLUSIONES  | 62 |
| 8.RECOMENDACIONES  | 63 |
| BIBLIOGRAFIA   | 64 |
| ANEXOS   | 67 |

## LISTA DE CUADROS

|  | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el BMWP (Zamora H, 1999).   | 12   |
| Cuadro 2. Valoración de parámetros fisicoquímicos para ICA.  | 18   |
| Cuadro 3. Índice de Calidad de agua (ICA) propuesta por Grecco, A, 2004 para las Empresas públicas de Medellín-EE.PP.M.  | 25   |
| Cuadro 4. Resultados de ICOMI.   | 25   |
| Cuadro 5. Resultados ICOMO   | 26   |
| Cuadro 6. Resumen de Índices de contaminación.   | 26   |
| Cuadro 7. Comunidad de MAE, durante el periodo de estudio (oct 08 – sep 09).   | 28   |
| Cuadro 8. Distribución de familias para la época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales.   | 29   |
| Cuadro 9. Distribución de familias para la época de alta intensidad de lluvias con altos caudales.   | 30   |
| Cuadro 10. Calidad biológica del río Ovejas según BMWP, por mes durante el periodo de estudio.   | 31   |
| Cuadro 11. Caracterización del río Ovejas, según la calidad biológica BMWP (Zamora 2007) y BMWP hoja de cálculo EE.PP.M. cada mes durante el periodo de estudio. | 32   |
| Cuadro 12. Calidad biológica BMWP (Zamora 2007) y hoja de cálculo EE.PP.M. según el régimen pluviométrico de la zona.  | 33   |
| Cuadro 13. Caudales instantáneos del río Ovejas obtenidos en campo.  | 34   |
| Cuadro 14. Resumen de aforos en la quebrada Los Cafés.   | 35   |

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 15. Parámetros hidráulicos de la sección 14, con caudal de calibración.   | 40 |
| Cuadro 16. Parámetros hidráulicos de la sección 14, con caudal medio.  | 41 |
| Cuadro 17. Parámetros hidráulicos de la sección 14, con caudal mínimo.   | 41 |
| Cuadro 18. Parámetros hidráulicos de la sección 4, aguas abajo de la quebrada Los Cafés, con caudal aforado.   | 42 |
| Cuadro 19. Parámetros hidráulicos de la sección 4, aguas abajo de la quebrada Los Cafés, con caudal medio.   | 43 |
| Cuadro 20. Parámetros hidráulicos de la sección 4, aguas abajo de la quebrada Los Cafés, con caudal mínimo.  | 43 |
| Cuadro 21. Caudal ambiental obtenido mediante la hoja de cálculo de las Empresas Públicas de Medellín.   | 51 |
| Cuadro 22. Parámetros hidráulicos de la sección 7 del río Ovejas, aguas abajo de la quebrada Los Cafés con el caudal ambiental mínimo de EE.PP.M.  | 59 |
| Cuadro 23. Parámetros hidráulicos de la sección 4 del río Ovejas, aguas abajo de la quebrada Los Cafés con el caudal ambiental mínimo de EE.PP.M   | 60 |
| Cuadro 24. Parámetros hidráulicos de la sección 7 del río Ovejas, aguas abajo de la presa con el caudal ambiental calculado por la metodología de los transectos.                                  | 60 |
| Cuadro 24. Parámetros hidráulicos de la sección 4 del río Ovejas, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Los Cafés con el caudal ambiental calculado por la metodología de los transectos. | 61 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Sitio de ubicación de la presa para el trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina.  | 7    |
| Figura 2. Perímetro mojado de un canal.  | 9    |
| Figura 3. Medición en campo por correntómetro.   | 20   |
| Figura 4. Zona de aforo y estación limnimétrica Los Cámbulos, del río Ovejas   | 21   |
| Figura 5. Pantalla principal programa HEC-RAS 4.0.   | 21   |
| Figura 6. Hoja de cálculo elaborada para las Empresas Públicas de Medellín EE.PP.M, para la determinación del caudal ambiental (Grecco A, 2004). | 22   |
| Figura 7. Relación perímetro mojado – caudal – curvatura.  | 23   |
| Figura 8. Diferencia entre turbiedades Río Ovejas y Quebrada los Cafés, presencia de extracción minera en la zona.                               | 27   |
| Figura 9. Fuertes pendientes y deforestación en la zona.   | 27   |
| Figura 10. Caudales instantáneos del río Ovejas.   | 34   |
| Figura 11. Caudales medios aforados. Quebrada Los Cafés.   | 36   |
| Figura 12. Curva de gastos estación Los Cámbulos, río Ovejas.  | 37   |
| Figura 13. Vista en planta de las secciones transversales del río Ovejas y la quebrada Los Cafés.  | 39   |
| Figura 14. Perfiles con caudales de modelación sección 14, río Ovejas.   | 40   |

|  |    |
|--|----|
| Figura 15. Sección transversal 4 del río Ovejas sin presa, ubicada aguas abajo de la quebrada Los Cafés.   | 42 |
| Figura 16. Vista 3D del río Ovejas y la quebrada Los Cafés.  | 44 |
| Figura 17. Sitio proyectado para la construcción de la presa   | 45 |
| Figura 18. Vista en planta de el tramo del rio Ovejas y la ubicación de la presa.  | 45 |
| Figura 19. Proyecto trasvase del rio ovejas al embalse La Salvajina. Vista en planta de las obras.   | 46 |
| Figura 20. Visualización de la sección 9.1 S y la presa con el programa HEC-RAS 4.0.   | 47 |
| Figura 21. Perfil de la presa y el embalse, con caudal ambiental de transectos, EPM máximo y EPM mínimo.   | 48 |
| Figura 22. Perfiles de caudales ambientales calculados.  | 48 |
| Figura 23. Perspectiva del tramo de estudio con caudales ambientales de diseño.  | 49 |
| Figura 24. Nivel del caudal ambiental según método de transectos y EE.PP.M en la sección 7 del río Ovejas, aguas abajo de la presa.                                  | 50 |
| Figura 25. Nivel del caudal ambiental según método de transectos y EE.PP.M en la sección 4 del río Ovejas, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Los Cafés. | 50 |
| Figura 26. Variación del caudal ambiental para los 12 meses del año.   | 52 |
| Figura 27. Uso del río Ovejas para extracción de materiales, transporte ocasional y pesca artesanal.   | 53 |
| Figura 28. Vista en planta del levantamiento topográfico en Autocad 2009.  | 53 |
| Figura 29. Sección transversal 6, ubicada aguas abajo de la sección de construcción de la presa.   | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 30. Determinación del punto de máxima curvatura gráficamente para calcular el caudal ambiental.                           | 56 |
| Figura 31. Curva para la determinación del caudal ambiental por el método de los transectos, sección 6, aguas abajo de la presa. | 57 |
| Figura 32. Geometría de la sección transversal 6, en Autocad 2009.   | 58 |

## ABREVIATURAS

**BMWP/Col:** Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP) o Sistema para la determinación del índice biológico. Adaptado para Colombia.

**CVC:** Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.

**DBO:** Demanda bioquímica de oxígeno.

**DQO:** Demanda química de oxígeno.

**EE.PP.M:** Empresas Públicas de Medellín.

**EPSA:** Empresa de Energía del Pacífico. S.A. E.S.P.

**HEC - RAS:** Hydrologic Engineering Center - River analysis system.

**I:** Índice.

**ICA:** Índice de calidad de agua.

**ICOMI:** Índice de contaminación por mineralización.

**ICOMO:** Índice de contaminación por materia orgánica.

**ICOSUS:** Índice de contaminación por sólidos suspendidos.

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

**MAE:** Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales.

**NSF:** National Sanitation Foundation.

**PIB:** Producto interno bruto

**UNICAUCA:** Universidad del Cauca.

**UNT:** Unidades Nefelométricas de Turbidez.

**USACE:** United States Army Corps of Engineers

## INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para la vida, ya que en él se basan todos los sistemas bióticos y abióticos del planeta convirtiéndose, también, en la fuente principal para el desarrollo de actividades domésticas, industriales, económicas, sociales y de ingeniería que realiza el ser humano; dichas actividades han conllevado a la disminución de los caudales de las fuentes hídricas, encendiendo una alerta para condicionar el uso de este recurso.

El desarrollo en las últimas décadas, ha aumentado la utilización de dicho recurso en actividades como la acuicultura, recreación e hidroeléctricas entre otras, las cuales se han constituido en la base fundamental para brindar mejores condiciones de vida y económicas a una región.

Las hidroeléctricas son el sistema más importante para la generación de energía en Colombia, debido a que el país cuenta con suficientes fuentes hídricas para su abastecimiento y producción. Estos sistemas están clasificados como fuentes limpias de energía, debido a que sustituyen a los combustibles fósiles, disminuyendo la contaminación ambiental que generan los residuos de los sistemas convencionales de energía.

Sin embargo, la producción de energía hidroeléctrica tiene algunos problemas, debido a que se puede provocar una sobreexplotación del recurso hídrico para cubrir la demanda energética de la población, generando así un desequilibrio de los procesos naturales en los ecosistemas que se abastecen de él.

Este desequilibrio hace un llamado a las instituciones para que realicen actividades de recuperación en zonas afectadas a lo largo de las laderas y riberas de los ríos y de ésta manera proteger los hábitats naturales. Dichas actividades de mitigación crean dificultades, debido a los intereses económicos y políticos de las empresas que explotan los recursos; es por ésto que para mitigar los conflictos relacionados con el agua y las fuentes de captación, es fundamental que los planes de ordenamiento del uso y ocupación del territorio se hagan tratando de respetar al máximo las condiciones naturales de captación y flujo de agua en la cuenca (Dourojeanni, Jouravlev, Chávez, 2002), buscando llegar a un equilibrio

entre las necesidades de la población alrededor del agua y los ecosistemas naturales que también requieren de éste recurso.

Para no alterar de una manera drástica las condiciones óptimas de los ecosistemas ribereños con la ejecución de proyectos hidroeléctricos, se han desarrollado diferentes metodologías encaminadas a la determinación de la cantidad mínima del recurso agua, que se necesita para la subsistencia de los sistemas bióticos y que no afecten de forma significativa las actividades socioeconómicas de la región. Dichas metodologías estiman el caudal ambiental teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, bióticas, hidráulicas, hidrológicas, socioeconómicas, entre otras, dependiendo de la zona de estudio y de las condiciones que ésta presente. Para el cálculo del caudal ambiental es importante contar con herramientas especializadas, para obtener resultados confiables que reflejen las condiciones reales que se presentan en la zona, desde un punto de vista holístico.

El caudal ambiental es un parámetro importante en la toma de decisiones al realizar los diseños y construcciones para el aprovechamiento del agua en general, ya que éste no solo permite cumplir con la legislación requerida, si no que también ayuda a la conservación del recurso hídrico, beneficiando tanto a los ecosistemas como a las empresas que utilizan dicho recurso, al no agotar su materia prima.

Teniendo en cuenta la importancia de estos caudales, en el presente estudio se estima el caudal ambiental del río Ovejas como complemento del proyecto que realizó el Grupo de Recursos Hidrobiológicos Continentales de la Universidad del Cauca en convenio con la Empresa de Energía del Pacífico, S.A. – EPSA, llamado “Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del río Ovejas en el área de influencia del trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales”.

Este proyecto cuenta con un equipo de trabajo multidisciplinario, entre profesionales y estudiantes, el cual pretende realizar un estudio de actualización completo en la zona para garantizar que la ejecución del trasvase del río, tenga en cuenta los efectos que se pueden producir en los elementos bióticos y socioeconómicos del lugar.

## 1. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, según la Unidad de Planeamiento Energético (UPME), la demanda energética mensual entre junio de 2008 y abril de 2009 fue de 4490.69 GWh, la cual se cubre por sistemas hidroeléctricos, térmicos a carbón y térmicos a gas natural, siendo las hidroeléctricas las principales fuentes con una producción de 3746.67 GWh (UPME, 2009) cubriendo un 83% de la demanda. Por esta razón, las hidroeléctricas colombianas se han visto en la necesidad de aumentar su producción y por ende, aumentar la cantidad de agua utilizada para tal fin.

La Empresa de Energía del Pacífico, S.A. – EPSA, dada la disminución de los caudales en épocas de bajos regímenes pluviométricos, pretende desviar parte del caudal medio del río Ovejas al embalse La Salvajina, para aumentar la producción de energía eléctrica en un 15 % aproximadamente e igualmente contribuir con el programa de control de inundaciones del río Cauca, en épocas de altos regímenes pluviométricos, puesto que la desviación reducirá el pico de crecientes en  $62 \text{ m}^3/\text{s}$  durante 12 horas. La derivación del río se ubicará aproximadamente a 4.5 Km al Este del embalse y a 0.5 Km, aguas abajo de la desembocadura del río Pescador al río Ovejas, la descarga del caudal desviado se hará en el cauce de la quebrada El Plural, 1 Km al occidente del asentamiento humano de El Hato (UNICAUCA, 1993).

Para la ejecución del proyecto de trasvase del río Ovejas, se requiere un estudio completo de todos los componentes ambientales. Es así como el Grupo de Recursos Hidrobiológicos Continentales de la Universidad del Cauca en convenio con la empresa prestadora de energía EPSA realizaron el estudio de “Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del río Ovejas en el área de influencia del trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales”.

Dentro de los estudios hidrológicos e hidráulicos de este proyecto, se hace necesario el cálculo del caudal ambiental del río Ovejas, para determinar la cantidad de agua que se deberá utilizar en el transvase y el caudal a conservar en el cauce para garantizar el sustento de los ecosistemas que se desarrollan en el río y las actividades socio-económicas que dependan de él. Igualmente la estimación del caudal ambiental es un factor importante para el cumplimiento de la legislación Colombiana en el Proyecto de ley N° 365 – cámara de 2005, Capítulo I

“Por el cual se establecen medidas para orientar la planificación y administración del recurso hídrico en el territorio nacional” y la Ley 99 /93 Título VIII de las licencias ambientales, reglamentado por el Decreto 1180 de 2003 y 1220 de 2005.

El presente trabajo desarrolla un estudio que integra los componentes relacionados con la ingeniería y el ambiente, dando como resultado la estimación del caudal ambiental, el cual será utilizado como parámetro fundamental para la ejecución del proyecto del trasvase del río Ovejas y así mitigar los futuros impactos que las actividades antrópicas podrían generar en la cuenca.

Para la estimación del caudal ambiental se hace necesario tener en cuenta parámetros fisicoquímicos, estudio de macroinvertebrados, aspectos socioeconómicos, variables hídricas e hidráulicas, levantamiento topográfico y uso de un software que permita integrar la información y así obtener el caudal mínimo a conservar. La utilización de dicha información en una situación real, permite al ingeniero ambiental desenvolverse en el campo laboral, poniendo en práctica los conocimientos obtenidos durante su formación profesional e igualmente dar a conocer diferentes puntos de vista, que permitan mejorar los procesos de investigación en este campo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 GENERAL

- ✓ Estimar el caudal ambiental del río Ovejas para su trasvase al embalse La Salvajina en Suárez, Cauca.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la calidad del agua según sus características fisicoquímicas y biológicas.
- ✓ Establecer los parámetros hidráulicos de la fuente mediante el modelamiento del río Ovejas con el software libre HEC-RAS 4.0. (USACE, 2008) para las condiciones del caudal ambiental.
- ✓ Calcular el caudal ambiental mediante el método de los transectos y el método desarrollado por las Empresas Públicas de Medellín – EE.PP.M.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Ovejas está localizada entre los 2° 36' y 3° 00' Latitud Norte y entre los 76° 20' y 76° 44' Longitud Oeste, comprendiendo un área de 105,756 Hectáreas, que incluye los ríos Ovejas (49,765 Has), Mondomo (25,416 Has) y Pescador (19,525 Has); igualmente existen numerosas quebradas tales como Los Cafés y La Laja que aportan agua a la cuenca. Desde el punto de vista administrativo ambiental se encuentra en el área de jurisdicción de la C. V. C. y constituye una de las unidades de manejo de cuenca (UMC). Los límites naturales de la cuenca son: por el Norte, el divorcio de aguas de los ríos Teta y Quinamayó, por el Sur el divorcio de aguas del río Piendamó, por el Este el divorcio de aguas del río Jambaló y por el Oeste el río Cauca (UNICAUCA - CVC, 1993).

La cuenca corresponde a la Región Fisiográfica de las Depresiones Interandinas, particularmente a la del valle del Cauca, caracterizado por mesetas disectadas y colinas de piedemonte con modelado de erosión diferencial.

El río Ovejas nace en el sitio denominado Piedramesa, en el municipio de Silvia, a 2,950 m.s.n.m. presenta un sistema de drenaje dendrítico, con un cauce de longitud aproximado a 71.5 kilómetros, Figura 1.

La zona de estudio consta de una longitud de 800 metros, comenzando 80 metros aguas arriba de la estación Limnimétrica Los Cámbulos y 50 metros aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Los Cafés, cuya confluencia con el río Ovejas se encuentra a 300 m aguas abajo del sitio proyectado para la presa que permitirá la desviación del Río Ovejas al Embalse de La Salvajina. El sitio tiene una altitud de 1173 m.s.n.m. y está localizado geográficamente a 2° 52' 262" latitud Norte y los 76° 38' 044" longitud Oeste.

Este tramo no cuenta con vertimientos significativos provenientes de poblaciones grandes, ya que la morfología que presenta la cuenca es encañonada con fuertes pendientes que no permite el asentamiento de poblaciones; sin embargo, se encuentran cultivos de yuca y caña.

### 3.2 CAUDAL AMBIENTAL

Los diferentes estudios realizados alrededor de los caudales de los ríos y el cálculo del caudal mínimo a conservar, al realizar algún tipo de aprovechamiento, han creado una discusión alrededor del concepto de “Caudal Ecológico” o “Caudal Ambiental”, en este caso se adoptará el último término, y se acogerá la definición dada por DYSON M, BERGKAMP G, SCANLON; 2003:

“Régimen hídrico que se establece en un río, humedal o zona costera para sustentar ecosistemas y sus beneficios donde hay empleos del agua que compiten entre sí y donde los caudales están regulados”.

*Figura 1. Sitio de ubicación de la presa para el trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina.*



Fuente EPSA<sup>1</sup>, 2009

<sup>1</sup> En la realización del proyecto, EPSA brinda información cartográfica e hidrológica, para complementar el estudio.

Pese a esta definición, también es necesario analizar los requerimiento mínimos de flujo de la biocenosis<sup>2</sup> acuática y también las condiciones hidráulicas máximas soportables (p. ej., aguas abajo de un aporte de caudal trasvasado). Además, es necesario que integre otras especificaciones de flujo puntuales para preservar la dinámica fluvial (“caudal generador”), asegurar la conexión periódica multifuncional entre el cauce y las márgenes (“caudal de inundación”), y mantener una potencialidad adecuada del medio intersticial (“caudal de lavado”). (DIEZ, J y Burbano, L. 2006).

### 3.2.1 Metodologías para el cálculo del caudal ambiental

Existen diferentes metodologías para el cálculo del caudal ambiental, entre ellas se encuentran:

#### 3.2.1.1 Metodología hidrológica

Se trata de una metodología basada en registros históricos de caudal (mensuales o diarios) a partir de los cuales se obtiene un caudal mínimo. Algunos métodos propios de esta metodología son: Porcentaje fijo del caudal medio interanual, método de Tennant [1976], método de Hoppe, método del caudal medio base (Average Base Flow Method - ABF), método del rango de variabilidad (Range Variability Approach - RVA) (Castro, L. *et al* 2006).

#### 3.2.1.2 Metodología de valoración hidráulica

Esta metodología usa relaciones entre el caudal del río y alguna característica del cauce (velocidad, profundidad, perímetro mojado, entre otros). Es una mejora de la metodología hidrológica, que involucra medidas específicas del cauce afectadas directamente por la variación de caudal y que constituyen un factor limitante para las especies piscícolas u otras especies (*Op.cit.*, 2006).

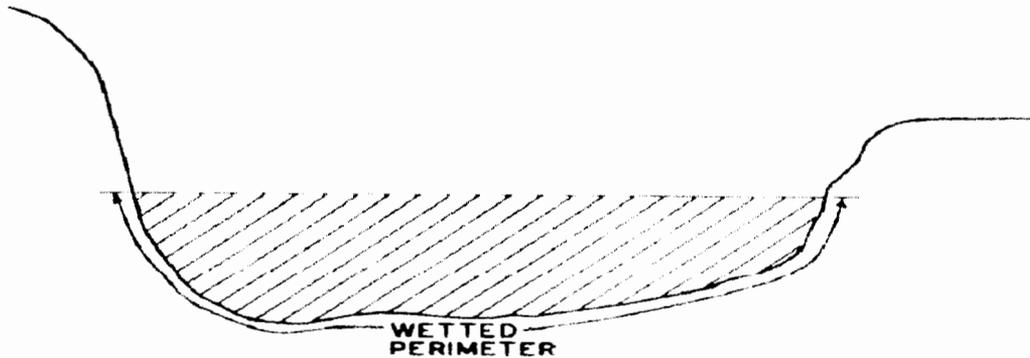
#### 3.2.1.3 Metodología de los transectos o perímetro mojado

El perímetro mojado es la distancia a lo largo de la parte inferior y de los lados de una sección representativa del canal en contacto con el agua (Leathe S y Nelson, F. 1986).

---

<sup>2</sup> Conjunto de organismos de cualquier especie sea vegetal o animal coexistentes en un espacio definido llamado biotopo que ofrece las condiciones exteriores necesarias para su supervivencia.

Figura 2. Perímetro mojado de un canal.



Fuente: Leathe S y Nelson, F. 1986

Esta metodología fue propuesta por Nelson en 1980, la cual relaciona el perímetro mojado con el caudal para una o más secciones transversales. Al aumentar el caudal en el canal, el perímetro mojado también aumenta hasta alcanzar la anchura máxima, siendo este suceso el punto de inflexión entre el perímetro mojado y la descarga. A partir del punto de inflexión de la gráfica de perímetro mojado vs. Caudal, se determina el caudal ambiental.

Este método se centra en la suposición de que el suministro de alimentos puede ser el factor principal que influye en la capacidad de carga<sup>3</sup> de la corriente durante los meses de bajo régimen pluviométrico. El principal alimento de muchos peces juveniles y adultos son los invertebrados acuáticos. El método asume que la capacidad de carga del conjunto de peces, se relacionaron con la producción alimentaria, y a su vez con el perímetro mojado.

Benetti, Lanna y Salette en 2003, también describen el método del perímetro mojado como una necesidad de generar el desove y el paso de los peces de un río, garantizando y manteniendo una descarga mínima que se determina en una curva, relacionando el perímetro mojado con el caudal.

---

<sup>3</sup> Nivel de población que puede soportar un medio ambiente dado, sin sufrir un impacto negativo significativo.

En general, el método de valoración hidráulica examina la variación de algunas variables del flujo (profundidad, velocidad, sustrato, perímetro) con el caudal en secciones transversales críticas de un tramo fluvial, con la finalidad de evaluar de forma aproximada el hábitat acuático generado dentro del rango de caudales normales. (DIEZ, J y Burbano, L. 2006).

#### 3.2.1.4 Metodología de simulación hidráulica

Es una metodología de escritorio y de campo que se fundamenta en la relación entre el caudal y la hidráulica, pero que ofrece un análisis más detallado de la cantidad y conveniencia del hábitat físico disponible para una biota objeto y para diferentes regímenes de flujo, además de vincular información hidrológica, hidráulica y biológica. Dentro de este tipo de metodología se encuentra la metodología incremental para la asignación de caudales (Instream Flow Incremental Methodology – IFIM), la cual fue desarrollada en el servicio de pesca y vida silvestre de los Estados Unidos. Esta metodología es usada para evaluar los efectos de cambio del caudal en la estructura del canal, calidad del agua, temperatura y disponibilidad de micro hábitat para algunas especies acuáticas (Castro, L. *et al* 2006).

#### 3.2.1.5 Metodología holística

Es un enfoque que requiere información extensa y de muy alta calidad, registros históricos de caudales, variables hidráulicas y modelos que relacionen el caudal con los requerimientos de todos o algunos componentes del ecosistema y de la biota acuática, además de información económica y social. La metodología más usada en este enfoque es la de los bloques de construcción (Building Block Methodology – BBM), bajo la premisa básica de que las especies fluviales dependen de elementos básicos del régimen de caudal, incluyendo caudales mínimos e inundaciones, para conservar la dinámica de sedimentos y la estructura geomorfológica del río (Castro, L. *et al* 2006).

La metodología desarrollada por Grecco para las Empresas Públicas de Medellín (EE.PP.M), hace parte de la metodología holística, dado que tiene en cuenta componentes hidráulicos, hidrológicos, bióticos, sociales, entre otros.

Para el cálculo del caudal ambiental también es necesario tener en cuenta diferentes variables; entre ellas están:

✓ La calidad del agua, la cual corresponde a la evaluación de la naturaleza química, física y biológica, en relación con su calidad natural y uso pretendido, incluidos: consumo, recreación, irrigación y pesca; y particularmente, usos que puedan afectar la salud pública o la “salud” de los sistemas acuáticos (Fernández, N y Solano, F. 2007).

✓ El Índice de calidad (INSF - ICA), que fue desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos de América. Este índice consiste en la asignación de factores de ponderación a parámetros físicos, químicos y biológicos y por la sumatoria de los valores de los subíndices en un valor final que expresa el valor total del índice (*Op. cit.*, 2007).

✓ Índice de contaminación (ICO), el cual fue desarrollado por Ramírez y Viña en 1997, con base en análisis de resultados de variables de común utilización en monitoreos de la industria petrolera Colombiana. La formulación de estos índices tiene en cuenta (*Op. cit.*, 2007):

- Asignación de valores de contaminación entre cero y uno a la escala de las variables.
- Selección de la ecuación que permita relacionar el valor de la variable y su incidencia en contaminación
- Aplicación del análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios a la relación entre el índice y el parámetro
- Ajuste de la ecuación estimada

Existen diferentes índices de contaminación según el análisis que requiera la fuente y los parámetros fisicoquímicos que se tengan. Algunos índices de contaminación (Ramírez y Viña. 1998), son:

- Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI): expresado en numerosas variables, de ellas elegidas la conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por los cationes calcio y magnesio y alcalinidad por los aniones.
- Índice de Calidad por Materia Orgánica (ICOMO): se expresa con diferentes variables que incluyen: nitrógeno amoniacal, nitritos fósforo, oxígeno, DBO, DQO y coliformes totales y fecales principalmente. Algunas otras variables cuya medición es menos frecuente como materia orgánica, dióxido de carbono, metano y ácido sulfhídrico, también pertenecen a este grupo. Se

tiene en cuenta DBO y coliformes totales, ya que éstas reflejan fuentes diferentes de contaminación por materia orgánica, así como el porcentaje de saturación de oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del sistema ante este tipo de polución.

- Índice de calidad por sólidos suspendidos (ICOSUS), determinado mediante la concentración de los sólidos suspendidos.

✓ El Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP) o Sistema para la Determinación del Índice Biológico, adaptado para Colombia por Zamora en 1991, consiste en la ordenación de los macroinvertebrados acuáticos al nivel taxonómico de familia en diez grupos, Anexo A, según una escala de mayor a menor tolerancia a las alteraciones de las condiciones normales naturales de los cuerpos de agua asignando valores entre uno y diez puntos respectivamente (Zamora, H. 2007).

*Cuadro 1. Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el BMWP (Zamora H, 2007).*

| Clase | Rango     | Calidad     | Características                 | Color Cartográfico |
|-------|-----------|-------------|---------------------------------|--------------------|
| I     | ≥ 121     | Muy buena   | Aguas muy limpias               | Azul oscuro        |
| II    | 101 - 120 | Buena       | Aguas limpias                   | Azul claro         |
| III   | 61 – 100  | Aceptable   | Aguas medianamente contaminadas | Verde              |
| IV    | 36 – 60   | Dudosa      | Aguas contaminadas              | Amarillo           |
| V     | 16 -35    | Crítica     | Aguas muy contaminadas          | Naranja            |
| VI    | ≤ 15      | Muy crítica | Aguas fuertemente contaminadas  | Rojo               |

✓ Los métodos de aforo, los cuales consisten en determinar a través de mediciones el caudal que pasa por una sección dada en un momento determinado. Existen diferentes métodos para aforar una corriente de agua, un canal y en general una conducción a flujo libre (González L., 2008):

- Relación Área-Velocidad: molinete, tubo Pitot.
- Área-Pendiente: método indirecto.

- Secciones de control: vertederos, canaleta Parshall.
  - Otros métodos: flotadores, trazadores, volumétricos.
- ✓ Curvas de Gastos: la curva denominada de descarga, calibración o gastos de una estación hidrométrica determinada, es la expresión de la relación existente entre los niveles del agua y los caudales correspondientes de la corriente (González L. 2008).
- ✓ Modelaciones hidráulicas: presentan un análisis de la interrelación entre la topografía del cauce de un río, los volúmenes del agua y sedimentos transportados, así como la manera en que las obstrucciones u obras hidráulicas que se presentan en los cauces influyen en el nivel del agua (Mori, M, 2009).

Dada la importancia de los modelos matemáticos e hidráulicos para el manejo de cuencas, el United States Army Corps of Engineers (USACE) desarrolló el modelo HEC-RAS, el cual es una herramienta para darle solución a problemas planteados en el manejo de cauces naturales, debido a los diferentes análisis hidráulicos que son representados de manera grafica para tener una mejor perspectiva del comportamiento de las fuentes hídricas.

El programa requiere de datos geométricos del cauce, que son representados en secciones transversales a lo largo de la fuente y pueden determinarse mediante levantamiento topográfico o haciendo uso de mediciones con GPS, las cuales pueden ser integradas en sistemas de información geográfica; igualmente, el programa requiere la determinación de los flujos de agua y otros datos específicos como coeficientes de rugosidad, pendientes y si es el caso, las condiciones iniciales para la representación de una estructura ubicada en la zona de estudio.

## 4. MARCO LEGAL

4.1 Proyecto de ley N° 365 – cámara de 2005. Capítulo I “Por el cual se establecen medidas para orientar la planificación y administración del recurso hídrico en el territorio nacional”.

**Artículo 21.** Caudal ecológico de las corrientes superficiales. Entiéndase por caudal ecológico de las corrientes superficiales los caudales mínimos que, de acuerdo con los regímenes hidrológicos, deberán mantener las corrientes superficiales en sus diferentes tramos, a fin de garantizar la conservación de los recursos hidrobiológicos y de los ecosistemas asociados.

El caudal ecológico para cada corriente superficial o tramo de la misma, será establecido por las autoridades ambientales competentes, de acuerdo con los lineamientos técnicos que para el efecto establezca el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM -. Hasta tanto se establezcan los lineamientos a que se refiere este artículo, se considerará como tal el caudal de permanencia en la fuente durante el 90% del tiempo, sin perjuicio de que se respeten los derechos adquiridos mediante concesiones vigentes.

**Artículo 11.** Modos de acceder al uso y aprovechamiento del recurso hídrico. El agua podrá utilizarse o aprovecharse, en forma eficiente y beneficiosa, en cualquier actividad debidamente autorizada. El derecho al uso y aprovechamiento del agua sólo se puede obtener por ministerio de la ley, por concesión o por permiso para el estudio del recurso hídrico emanados de la autoridad ambiental competente. Al contrato de concesión a que hacen referencia los artículos 25 y 39.1 de la Ley 142 de 1994 – Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios, se le aplicará, en lo pertinente, lo establecido en la presente ley para las concesiones.

4.2 Ley 99/93 Decreto No.1729 de 2002. Capítulo 1. Disposiciones generales:

**Artículo 1.** Definición de cuenca. Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un

curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

**Artículo 2.** Delimitación de la cuenca. Una cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Se entiende por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas.

4.3 Ley 99 /93 Título VIII de las licencias ambientales, reglamentado por el Decreto 1180 de 2003 y 1220 de 2005:

**Artículo 52.** Competencias del Ministerio del Medio Ambiente. El Ministerio del Medio Ambiente otorgará de manera privativa la licencia ambiental, en los siguientes casos: Reglamentado Decreto Nacional 1753 de 1994. Trata sobre las licencias ambientales. Adicionado en un artículo 136 decreto nacional 2150 de 1995. Licencia Ambiental y Global.

N° 3. Construcción de presas, represas o embalses con capacidad superior a doscientos millones de metros cúbicos, y construcción de centrales generadoras de energía eléctrica que excedan de 100,000 KW de capacidad instalada así como el tendido de las líneas de transmisión del sistema nacional de interconexión eléctrica y proyectos de explotación y uso de fuentes de energía virtualmente contaminantes.

N° 11. Trasvase de una cuenca a corrientes de agua que exceden de 2 m<sup>3</sup>/s durante los períodos de mínimo caudal.

4.4 Resolución número 0865 (Julio 22 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. Citado en la sección 3.4.2, donde se dicta el concepto de reducción por caudal ecológico, el cual se cita a continuación:

El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua.

Existen diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos:

- ✓ Hidrológicas. Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales.
- ✓ Hidráulicas. Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.
- ✓ Simulación de los hábitats. Estiman el caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo.
- ✓ Mínimo histórico: el Estudio Nacional del Agua (2.000) a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97.5% del tiempo y cuyo período de recurrencia es de 2.33 años.
- ✓ Porcentaje de Descuento: el IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

La autoridad ambiental debe escoger entre las anteriores metodologías de acuerdo con la información disponible y las características regionales particulares.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de investigación hizo parte del proyecto “Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del río Ovejas en el área de influencia del trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales” realizado por el convenio entre la Universidad del Cauca y la Empresa de Energía del Pacífico, S.A. – EPSA.

Para la toma de datos se programaron salidas mensuales durante un año, empezando en el mes de Octubre de 2008 hasta septiembre de 2009. En dichas salidas se realizaron muestreos fisicoquímicos y biológicos por parte del equipo de trabajo del proyecto Unicauca – EPSA, el levantamiento topográfico fue realizado por parte del topógrafo contratado para el proyecto y las mediciones de caudales requeridas para la estimación del caudal ambiental fueron ejecutadas por parte de los tesisistas; éstos caudales fueron medidos a partir de un correntómetro y una curva de gastos, la cual fue suministrada por la CVC.

El equipo de trabajo del proyecto fue conformado por el grupo de recursos hidrobiológicos continentales de la Universidad del Cauca, los tesisistas y colaboradores.

### 5.2 PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL

#### 5.2.1 Determinación de la calidad del agua del río ovejas

La calidad del agua se determinó mediante dos metodologías:

##### 5.2.1.1 Índice de Calidad Fisicoquímico (ICO-ICA)

Este índice se calculó a partir de los muestreos fisicoquímicos y microbiológicos de oxígeno disuelto, pH, DBO<sub>5</sub>, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad, sólidos totales, conductividad, dureza, alcalinidad y coliformes fecales.

Los sólidos totales, la DBO<sub>5</sub> y los coliformes fecales fueron determinados en la ciudad de Cali por el laboratorio Ecoquímica; los demás parámetros fueron

determinados en campo por el equipo de trabajo, mediante métodos colorimétricos y potenciométricos haciendo uso de kits como el Aquamerck e igualmente utilizando la sonda multiparamétrica, entre otras herramientas de medición según el parámetro fisicoquímico a determinar .

El ICA (NSF)<sup>4</sup> se realizó mediante la hoja de cálculo propuesta por Grecco, A, en el año 2004 para las Empresas públicas de Medellín - EE.PP.M. teniendo en cuenta los valores que muestra el Cuadro 2.

*Cuadro 2. Valoración de parámetros fisicoquímicos para ICA.*

| <b>Variable</b>                | <b>Valor relativo (Vi)</b> |
|--------------------------------|----------------------------|
| Oxígeno disuelto (mg/L)        | 0.17                       |
| Coliformes fecales (NMP/100mL) | 0.15                       |
| pH                             | 0.12                       |
| DBO (mg/L)                     | 0.10                       |
| Nitratos (mg/L)                | 0.10                       |
| Fosfatos (mg/L)                | 0.10                       |
| Temperatura (°C)               | 0.10                       |
| Turbiedad (UI)                 | 0.08                       |
| Sólidos totales (mg/L)         | 0.08                       |
| <b>Total</b>                   | <b>1.00</b>                |

Fuente: (Grecco A, 2004)

Índice de contaminación (ICO): para su determinación se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones:

✓ Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}) \quad (5.1)$$

Para el cálculo de cada una de las variables se tiene:

➤ Índice de conductividad:

$$\text{Log}_{10}(I_{Conductividad}) = -3.26 + 1.34 \text{Log}_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm}) \quad (5.2)$$

<sup>4</sup> El ICA fue desarrollado por "The National Sanitation Foundation" (NSF), este índice considera factores de ponderación físicos, químicos y biológicos.

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{(-3.26 + 1.34 \log_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm}))} \quad (5.3)$$

➤ Índice de dureza:

$$I_{\text{Dureza}} = 10^{(-9.09 + 4.40 (\log_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm})))} \quad (5.4)$$

➤ Índice de alcalinidad:

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \quad (5.5)$$

✓ Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{\text{DBO}} + I_{\text{Coliformes totales}} + I_{\text{Oxígeno \%}}) \quad (5.6)$$

➤ Índice de DBO:

$$I_{\text{DBO}} = -0.05 + 0.70 \log_{10} \text{DBO } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \quad (5.7)$$

➤ Índice de coliformes totales:

$$I_{\text{Col,tot}} = -1.44 + 0.56 \log_{10} \text{Col totales } \left(\frac{\text{NMP}}{100\text{mL}}\right) \quad (5.8)$$

➤ Índice saturación de oxígeno (%):

$$I_{\text{Oxígeno \%}} = 1 - 0.01 \text{Oxígeno \%} \quad (5.9)$$

✓ Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{Solidos suspendidos } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \quad (5.10)$$

### 5.2.1.2 Índice de Calidad BMWP/Colombia

Se utilizó el índice adoptado por Zamora H, en 1991 y actualizado en el 2007, el cual se basa en la identificación de macro invertebrados a nivel de familias. Dichos especímenes fueron colectados en la zona de estudio, para su posterior clasificación y determinación del índice BMWP por parte del equipo de trabajo.

Este índice también fue calculado por la metodología de caudal de garantía ambiental propuesto por Grecco para las Empresas Publicas de Medellín EE.PP.M., haciendo posible la confrontación de los resultados y la verificación de los mismos.

### 5.3 MEDICIÓN DE CAUDALES POR CORRENTÓMETROS O MOLINETES

En épocas donde el nivel del agua lo permitía se midió el caudal del río Ovejas y la quebrada Los Cafés, mediante la utilización de un molinete OTT alemán con una hélice número 6 que pertenece a la Universidad del Cauca.

*Figura 3. Medición en campo por correntómetro.*



Igualmente se utilizó la curva de gastos obtenida a partir de datos suministrados por la CVC, de la estación limnimétrica Los Cámbulos, ubicada en el río Ovejas cerca al sitio del trasvase.

### 5.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL CON LA CURVA DE GASTOS

Dada la dificultad de los aforos con molinete en el sitio de estudio en épocas de altos niveles de precipitación, por la magnitud de los caudales y la profundidad del río, para algunos meses se determinó el caudal mediante los datos de la estación limnimétrica Los Cámbulos, ubicada en el río Ovejas, Figura 4. Además, se compararon las alturas del nivel del río y los correspondientes caudales, con la curva de gastos suministrada, habiéndose encontrado una buena aproximación. Anexo B.

Figura 4. Zona de aforo y estación limnimétrica Los Cámbulos, del río Ovejas.



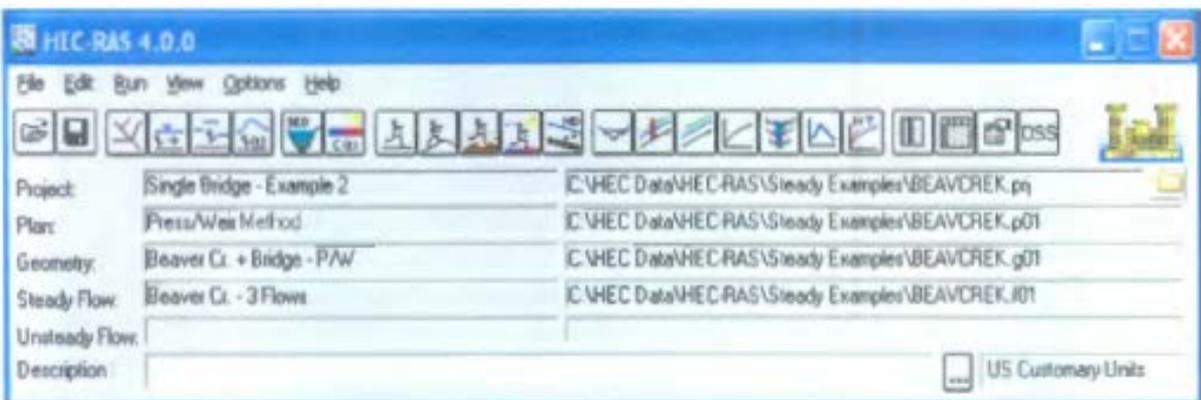
## 5.5 DETERMINACIÓN DE VARIABLES HIDRÁULICAS

Se utilizó el programa HEC RAS 4.0 (USACE, 2008), Figura 5, con el cual se desarrolló un modelo hidráulico, teniendo en cuenta secciones transversales del río, las mediciones de caudal mensuales, pendientes, el caudal ambiental obtenido y las condiciones de frontera del canal del río.

Para aplicar el modelo fue necesario realizar un levantamiento topográfico del tramo de estudio, en este caso con una longitud de 799.752 metros a lo largo del río Ovejas, e igualmente se requirió de mediciones topográficas para la quebrada Los Cafés, principal afluente de éste río.

Las mediciones topográficas fueron realizadas por un topógrafo contratado por el convenio Universidad del Cauca – EPSA.

Figura 5. Pantalla principal programa HEC-RAS 4.0.



Mediante el modelamiento, se pudieron obtener los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones transversales, tales como profundidad del agua, velocidad y perímetro mojado, necesarios para el cálculo del caudal ambiental mediante la metodología de los transectos y la metodología de las Empresas Públicas de Medellín.

## 5.6 CÁLCULO DEL CAUDAL AMBIENTAL

El caudal ambiental se determinó mediante la metodología realizada por Grecco para las Empresas Públicas de Medellín, y la metodología de los transectos, puesto que su aplicación es sencilla y la información que se requiere se puede obtener en el transcurso de al menos un año, frente a otros métodos que requieren información histórica mucho mayor. Además, estos métodos permiten una correlación entre la información hidráulica y ambiental de la zona.

### 5.6.1 Metodología realizada por Grecco (2004)

Desarrollada para las Empresas Públicas de Medellín EE.PP.M, Figura 6, relaciona parámetros fisicoquímicos, biológicos, socioeconómicos e hidráulicos.

El software en Excel creado por Grecco, tiene tres pasos de cálculo:

- Primer paso: cálculo de caudales mínimos instantáneos o mínimos promedios diarios.
- Segundo paso: cálculos de índices de calidad, fisicoquímico y biológico.
- Tercer paso: cálculo de caudal ambiental.

Esta metodología no solo ha sido empleada en Las Empresas Públicas de Medellín, sino también en hidroeléctricas a nivel nacional e internacional.

*Figura 6. Hoja de cálculo elaborada para las Empresas Públicas de Medellín EE.PP.M, para la determinación del caudal ambiental (Grecco A, 2004).*

| ASPECTO AMBIENTAL CALIFICADO                                      |            | DESCRIPTOR            | VALOR      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|---|------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Cantidad del agua del río (litros)                                |            | Litros/m <sup>3</sup> |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Longitud de cauce con caudales drásticamente reducidos            |            | Km.                   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Promedio de DQO afluentes que ingresa en el sector afectado       |            | mg/l                  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Importancia de la actividad pesquera municipal                    |            | % PIB                 |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Migración de peces  |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Especies acuáticas amenazadas o en peligro de extinción           |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Calidad biológica del agua (BMWP/Col)                             |            | Calcular el BMWP      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Transporte fluvial  |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Modificación del paisaje (Longitud del cauce seco visible en mts) |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos               |            | (L/s) %               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>Caudales</b>   | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>            | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| Q <sub>min</sub>  |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| QGA Total   |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Vertimientos  |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Afluentes   |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Filtraciones  |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>QGA Final</b>  |            |                       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

Ver gráfica

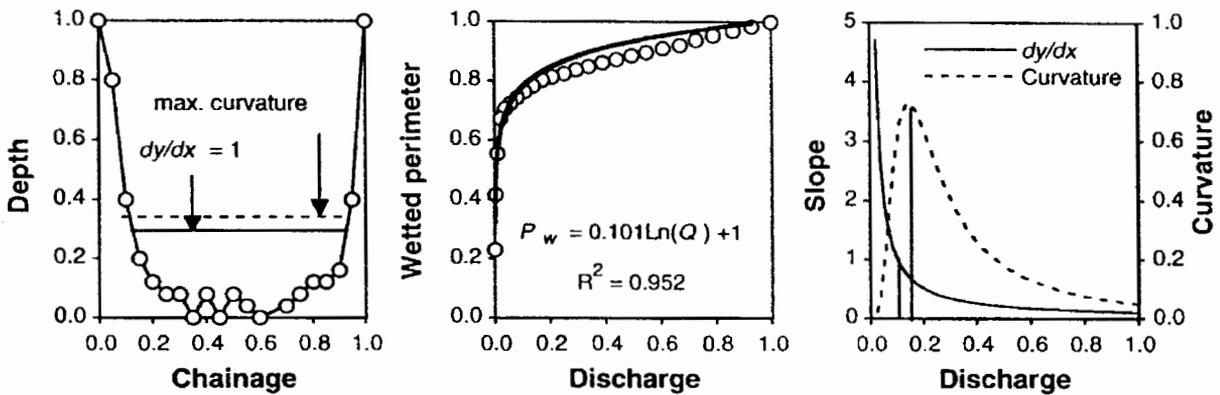
### 5.6.2 Método de los transectos

En esta metodología se relaciona el perímetro mojado de la sección transversal del río Ovejas con su correspondiente caudal; esta relación da como resultado una gráfica donde se determina el caudal ambiental como el punto de curvatura máximo, de esta manera, el mayor perímetro mojado corresponde a la mayor capacidad biogénica<sup>5</sup> del río. Esta metodología relaciona variables hidráulicas con las características del ecosistema acuático.

Para la determinación de la máxima curvatura, se utilizó el procedimiento propuesto por C.J Gippel y M.J Stewardson quienes trabajaron con funciones logarítmicas y potenciales dependiendo de la geometría del canal y la pendiente.

Las expresiones utilizadas para la determinación de la curvatura son:

Figura 7. Relación perímetro mojado – caudal – curvatura.



Fuente: Gippel, C.J; Stewardson, M.J. 1998.

La ecuación para la función logarítmica es:

$$P_w = a \ln(Q) + b \quad (5.11)$$

$P_w$ : perímetro mojado.

$Q$ : caudal.

Ecuación de la pendiente para la función logarítmica:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{a}{Q} \quad (5.12)$$

<sup>5</sup> Disponibilidad, o posibilidad de suministro de alimentos a los peces de un curso de agua.

La ecuación de la curvatura es (Edwards y Penney. 1987):

$$k = \frac{\left| \frac{d^2y}{dx^2} \right|}{\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}} \quad (5.13)$$

$k$ : curvatura.

Reemplazando se tiene:

$$k = \frac{\left| \frac{-a}{Q^2} \right|}{\left[ 1 + \left( \frac{a}{Q} \right)^2 \right]^{3/2}} \quad (5.14)$$

Luego se deriva la ecuación de curvatura y se iguala a cero para obtener el perímetro mojado.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OVEJAS

#### 6.1.1 Índice de Calidad Fisicoquímica ICA

*Cuadro 3. Índice de Calidad de agua (ICA) propuesta por Grecco, A, 2004 para las Empresas Públicas de Medellín-EE.PP.M.*

| VARIABLE                        | VALOR DE CAMPO | VALOR RELATIVO (Vi) | Li    | L'Vi         | <b>INSTRUCCIONES:</b><br>En la columna que corresponde a Valor de Campo, debe diligenciar los valores obtenidos en las muestras realizadas para cada parámetro en trabajos de campo respectivos.<br><br>$IFSNI = \sum_{i=1}^n V_i l_i$ Excelente 91-100 Buena 71-90<br>Regular 51-70 Mala 26-50<br>Pesima 0 - 25 |
|---------------------------------|----------------|---------------------|-------|--------------|--|
| Oxígeno disuelto (mg/l)         | 8.24           | 0.17                | 85.00 | 14.450       |  |
| Coliformes fecales (NMP/100 ml) | 47.67          | 0.15                | 53.38 | 8.01         |  |
| pH                              | 7.48           | 0.12                | 92.60 | 11.11        |  |
| DBO (mg/l)                      | 6.96           | 0.1                 | 47.60 | 4.760        |  |
| Nitratos (mg/l)                 | 36.08          | 0.1                 | 20.00 | 2.000        |  |
| Fosfatos (mg/l)                 | 0.2358         | 0.1                 | 84.00 | 8.400        |  |
| Temperatura (°C)                | 19.71          | 0.1                 | 5.00  | 0.500        |  |
| Turbiedad (UI)                  | 102.83         | 0.08                | 5.00  | 0.40         |  |
| Sólidos totales (mg/l)          | 171.96         | 0.08                | 77.90 | 6.23         |  |
| Altura (msnm)                   | 1135           |                     |       |              |  |
| <b>Total</b>                    |                | <b>1</b>            |       | <b>55.86</b> | <b>REGULAR CALIDAD</b>   |

#### 6.1.2 Índice de contaminación (ICO)

##### 6.1.2.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

*Cuadro 4. Resultados de ICOMI.*

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| I Conductividad | 0.09348592        |
| I Dureza        | 0                 |
| I Alcalinidad   | 0                 |
| <b>ICOMI</b>    | <b>0.03116197</b> |

### 6.1.2.2. Índice de contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

*Cuadro 5. Resultados ICOMO*

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| <b>I<sub>DBO</sub></b>                | 0.53938936 |
| <b>I<sub>Coliformes Totales</sub></b> | 0.28836151 |
| <b>I<sub>Oxígeno % sat</sub></b>      | 0.0306     |
| <b>ICOMO</b>                          | 0.28611696 |

### 6.1.2.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

$$\text{ICOSUS} = 0.4639$$

*Cuadro 6. Resumen de Índices de contaminación.*

| <b>Índice</b> | <b>Valor</b> |
|---------------|--------------|
| <b>ICOMI</b>  | 0.03116197   |
| <b>ICOMO</b>  | 0.28611696   |
| <b>ICOSUS</b> | 0.4639       |

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro 3, donde se realiza el cálculo del índice de calidad de aguas (ICA) en la metodología de las Empresas Publicas de Medellín, la calidad que presenta el agua es regular. En este sistema en particular la variable que más afecta la calidad son los sólidos totales; ésto se puede ver reflejado en los índices de contaminación (ICO) donde el mayor problema se presenta en el aporte de sólidos suspendidos al río por la explotación minera, especialmente de bauxita y oro, que representa la principal fuente de ingresos de los habitantes de la zona. Este fenómeno también se presenta por la morfología de la cuenca, la cual posee fuertes pendientes y junto con la deforestación, facilitan el arrastre de materiales por escorrentía, Figura 8 y Figura 9.

En la Figura 8, se diferencia la turbiedad entre el río Ovejas y la quebrada Los Cafés, lo que se puede observar por la coloración que presenta el agua y por los valores obtenidos en campo, Anexo C. En esta fotografía, tomada el 17 de septiembre de 2009, se muestra dicha diferencia de turbiedades, las cuales presentaron un valor de 296 UNT para el río Ovejas y 15 UNT para la quebrada Los Cafés, con caudales de 12.38 y 0.753 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

*Figura 8. Diferencia entre turbiedades Río Ovejas y Quebrada los Cafés, presencia de extracción minera en la zona.*



*Figura 9. Fuertes pendientes y deforestación en la zona.*



6.1.3 Índice biológico de calidad BMWP/Col: según datos obtenidos por el equipo de trabajo, se tiene (UNICAUCA - EPSA, 2009).

Cuadro 7. Comunidad de MAE, durante el periodo de estudio (Oct 08 – Sep 09).

| ORDEN              | FAMILIA          | GÉNERO          | SITIO DE PRESA |        |        |        |        |        |        |        |        | TOT  |     |
|--------------------|------------------|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-----|
|                    |                  |                 | oct-08         | nov-08 | dic-08 | ene-09 | mar-09 | may-09 | jun-09 | jul-09 | sep-09 |      |     |
| Diptera            | Simuliidae       | Simulium        |                |        |        |        | 7      |        | 2      |        | 6      | 15   |     |
|                    | Chironomidae     | Chironomus Mf 1 |                |        |        |        | 27     | 3      |        | 15     | 10     | 55   |     |
|                    |                  | Dolichopodidae  | Rhaphium       |        |        |        |        |        | 2      |        |        |      | 2   |
| Tricoptera         | Hydropsychidae   | Leptonema       | 9              | 2      | 10     | 15     | 20     | 5      | 7      | 4      | 14     | 86   |     |
|                    |                  | Smicridea       | 3              |        |        | 1      | 2      | 36     | 12     | 23     | 18     | 95   |     |
|                    | Helicopsychidae  | Helicopsyche    |                |        |        |        | 2      |        |        |        |        | 2    |     |
|                    | Leptoceridae     | Atanatolica     |                |        |        |        | 1      | 14     |        |        |        | 15   |     |
|                    | Hydrobiosidae    | Atopsyche       |                |        |        | 1      |        | 1      |        |        |        | 2    |     |
|                    | Glossosomatidae  | Mortoniella     |                |        |        |        |        |        | 1      |        |        | 1    |     |
| Plecoptera         | Perlidae         | Anacroneuria    | 6              | 2      |        | 5      | 8      | 5      | 14     | 8      | 12     | 60   |     |
| Efemeroptera       | Baetidae         | Baetis          |                |        |        | 1      |        |        |        | 2      | 6      | 9    |     |
|                    |                  | Baetodes        |                |        |        |        |        |        |        | 2      |        | 2    |     |
|                    | Leptophlebiidae  | Thraulodes      | 5              |        |        | 1      |        | 7      | 12     | 26     | 28     | 79   |     |
|                    |                  | Travelera       | 3              |        |        |        |        |        |        | 2      | 5      | 7    | 17  |
|                    |                  | Terpides        |                |        |        | 3      | 6      | 3      | 8      | 5      | 4      | 29   |     |
|                    |                  | nn              |                |        | 1      | 1      |        | 20     | 43     |        |        | 65   |     |
|                    |                  | Tricorythidae   | Tricorytodes   |        |        | 3      | 27     |        |        | 18     | 49     | 38   | 135 |
|                    |                  | Leptohyphidae   | Leptohyphes    | 74     |        | 3      |        | 4      |        | 22     | 7      | 9    | 119 |
|                    |                  | Oligoneuridae   | Lachlania      |        |        | 2      |        |        |        |        |        |      | 2   |
|                    | Hemiptera        | Veliidae        | Rhagovelia     |        | 5      |        |        | 1      | 7      | 16     |        |      | 29  |
| Naucoridae         |                  | Cryphocricos    | 1              |        | 1      | 3      | 3      |        |        | 2      | 4      | 14   |     |
|                    |                  | Heleocoris      |                |        |        | 2      |        |        |        |        |        |      | 2   |
|                    |                  | Limnocoris      |                |        |        |        | 8      |        |        |        |        | 8    |     |
| Coleoptera         | Psephenidae      | Psephenops      |                |        |        |        |        |        | 2      | 2      | 2      | 6    |     |
|                    | Dryopidae        | Macrelmis       | 2              |        |        |        | 3      | 4      | 1      | 2      | 3      | 15   |     |
|                    |                  | Heterelmis      |                |        |        |        |        |        |        | 1      | 1      | 2    |     |
|                    |                  | Microcylloepus  | 1              |        |        |        |        |        |        |        |        |      | 1   |
|                    |                  | Nn              |                |        |        |        |        |        |        | 40     | 40     | 80   |     |
|                    | Ptilodactylidae  | Anchytarsus     |                | 1      |        |        | 1      |        |        |        |        | 2    |     |
| Neuroptera         | Corydalidae      | Corydalus       | 2              | 1      | 1      | 4      | 1      | 3      | 4      | 7      | 14     | 37   |     |
| Odonata            | Libellulidae     | Macrothemis     |                | 3      |        |        |        | 2      |        |        |        | 5    |     |
|                    | Calopterygidae   | Hetaerina       |                |        |        | 1      | 1      |        |        |        |        | 2    |     |
|                    | Gomphidae        | Progomphus      |                |        |        | 10     | 11     |        |        |        |        | 21   |     |
| Haplontaxida       | Glossoscolécidae | Aelosoma        |                | 1      |        | 1      | 2      |        | 3      |        | 7      |      |     |
| Glossiphoniiformes | Glossiphoniidae  | Nn              |                |        |        | 1      |        |        | 1      | 1      | 3      |      |     |
| Tricladida         | Planariidae      | Dugesia         |                |        |        |        |        |        |        |        | 3      | 3    |     |
| 11                 | 26               | 36              | 106            | 15     | 21     | 77     | 108    | 112    | 170    | 199    | 219    |      |     |
|                    |                  |                 |                |        |        |        |        |        |        |        | N=     | 1027 |     |

*Cuadro 8. Distribución de familias para la época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales (UNICAUCA - EPSA, 2009).*

| <b>FAMILIA</b>   | <b>TOTAL</b> | <b>ABUNDANCIA PORCENTUAL (%)</b> |
|------------------|--------------|----------------------------------|
| Leptophlebiidae  | 623          | 27,23                            |
| Hydropsychidae   | 461          | 20,15                            |
| Perlidae         | 296          | 12,94                            |
| Tricorythidae    | 246          | 10,75                            |
| Leptohyphidae    | 189          | 8,26                             |
| Dryopidae        | 115          | 5,03                             |
| Corydalidae      | 101          | 4,41                             |
| Baetidae         | 47           | 2,05                             |
| Chironomidae     | 42           | 1,84                             |
| Naucoridae       | 37           | 1,62                             |
| Glossosomatidae  | 34           | 1,49                             |
| Veliidae         | 25           | 1,09                             |
| Libellulidae     | 16           | 0,70                             |
| Simullidae       | 15           | 0,66                             |
| Leptoceridae     | 14           | 0,61                             |
| Psephenidae      | 7            | 0,31                             |
| Oligoneuridae    | 4            | 0,17                             |
| Glossoscolécidae | 4            | 0,17                             |
| Ptilodactylidae  | 3            | 0,13                             |
| Planariidae      | 3            | 0,13                             |
| Dolichopodidae   | 2            | 0,09                             |
| Glossiphoniidae  | 2            | 0,09                             |
| Tipulidae        | 1            | 0,04                             |
| Hydrobiosidae    | 1            | 0,04                             |
| <b>TOTAL</b>     | <b>24</b>    | <b>2288</b>                      |
|                  |              | <b>100%</b>                      |

**Cuadro 9. Distribución de familias para la época de alta intensidad de lluvias con altos caudales (UNICAUCA - EPSA, 2009).**

| <b>FAMILIA</b>   | <b>TOTAL</b> | <b>ABUNDANCIA PORCENTUAL (%)</b> |
|------------------|--------------|----------------------------------|
| Perlidae         | 121          | 21,30                            |
| Hydropsychidae   | 87           | 15,32                            |
| Leptophlebiidae  | 71           | 12,50                            |
| Leptohyphidae    | 61           | 10,74                            |
| Tricorythidae    | 33           | 5,81                             |
| Naucoridae       | 29           | 5,11                             |
| Chironomidae     | 27           | 4,75                             |
| Veliidae         | 23           | 4,05                             |
| Gomphidae        | 22           | 3,87                             |
| Dryopidae        | 21           | 3,70                             |
| Corydalidae      | 21           | 3,70                             |
| Simuliidae       | 11           | 1,94                             |
| Libellulidae     | 7            | 1,23                             |
| Glossoscolécidae | 7            | 1,23                             |
| Leptoceridae     | 3            | 0,53                             |
| Oligoneuridae    | 3            | 0,53                             |
| Ptilodactylidae  | 3            | 0,53                             |
| Naididae         | 3            | 0,53                             |
| Helicopsychidae  | 2            | 0,35                             |
| Baetidae         | 2            | 0,35                             |
| Psephenidae      | 2            | 0,35                             |
| Lutrochidae      | 2            | 0,35                             |
| Calopterygidae   | 2            | 0,35                             |
| Glossiphoniidae  | 2            | 0,35                             |
| Hydrobiosidae    | 1            | 0,18                             |
| Glossosomatidae  | 1            | 0,18                             |
| Lampyridae       | 1            | 0,18                             |
| <b>TOTAL</b>     | <b>27</b>    | <b>568</b>                       |
|                  |              | <b>100%</b>                      |

*Cuadro 10. Calidad biológica del río Ovejas según BMWP, por mes durante el periodo de estudio (UNICAUCA - EPSA, 2009).*

| FECHA              | NIVEL DE CAUDAL | PROMEDIO BMWP | CALIDAD DE AGUA | CARACTERÍSTICAS                 |
|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------------------------|
| Octubre 23/2008    | BAJO            | 39,5          | DUDOSA          | Aguas Contaminadas              |
| Noviembre 21/2008  | ALTO            | 48            | DUDOSA          | Aguas Contaminadas              |
| Diciembre 11/2008  | ALTO            | 66            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Enero 29/2009      | ALTO            | 84            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Febrero 26/2009    | ALTO            | 73            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Marzo 26/2009      | ALTO            | 109           | BUENA           | Aguas limpias                   |
| Abril 23/2009      | ALTO            | 74            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Mayo 28/2009       | BAJO            | 80,5          | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Junio 25/2009      | BAJO            | 64,5          | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Julio 23/2009      | BAJO            | 74,6          | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Agosto 27/2009     | BAJO            | 99            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |
| Septiembre 17/2009 | BAJO            | 86            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas |

**Cuadro 11. Caracterización del río Ovejas, según la calidad biológica BMWP (Zamora 2007) y BMWP hoja de cálculo EE.PP.M. cada mes durante el periodo de estudio (UNICAUCA - EPSA, 2009).**

| FECHA              | NIVEL DE CAUDAL | PROMEDIO BMWP | CALIDAD DE AGUA | CARACTERÍSTICAS                 | PROMEDIO BMWP (HOJA EPM) | CALIDAD DE AGUA QGA | CARACTERÍSTICAS                 |
|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Octubre 23/2008    | BAJO            | 40            | DUDOSA          | Aguas Contaminadas              | 31                       | CRÍTICA             | Aguas muy contaminadas          |
| Noviembre 21/2008  | ALTO            | 48            | DUDOSA          | Aguas Contaminadas              | 47                       | DUDOSA              | Aguas Contaminadas              |
| Diciembre 11/2008  | ALTO            | 66            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 62                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Enero 29/2009      | ALTO            | 84            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 75                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Febrero 26/2009    | ALTO            | 73            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 68                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Marzo 26/2009      | ALTO            | 109           | BUENA           | Aguas limpias                   | 99                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Abril 23/2009      | ALTO            | 74            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 72                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Mayo 28/2009       | BAJO            | 81            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 78                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Junio 25/2009      | BAJO            | 65            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 61                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Julio 23/2009      | BAJO            | 75            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 67                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Agosto 27/2009     | BAJO            | 99            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 93                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |
| Septiembre 17/2009 | BAJO            | 86            | ACEPTABLE       | Aguas medianamente contaminadas | 84                       | ACEPTABLE           | Aguas medianamente contaminadas |

**Cuadro 12. Calidad biológica BMWP (Zamora 2007) y hoja de cálculo EE.PP.M. según el régimen pluviométrico de la zona (UNICAUCA - EPSA, 2009).**

| EPOCA   | BMWP | CALIDAD   | CARACTERISTICA                  | BMWP (HOJA CALCULO EPM) | CALIDAD   | CARACTERISTICA                  |
|---|------|-----------|---------------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------------|
| PROMEDIO ANUAL  | 75   | ACEPTABLE | Aguas medianamente contaminadas | 70                      | ACEPTABLE | Aguas medianamente contaminadas |
| ÉPOCA DE BAJO REGIMEN PLUVIOMÉTRICO /PROMEDIO CAUDAL BAJO | 74   | ACEPTABLE | Aguas medianamente contaminadas | 69                      | ACEPTABLE | Aguas medianamente contaminadas |
| ÉPOCA DE ALTO REGIMEN PLUVIOMÉTRICO/ PROMEDIO CAUDAL ALTO | 76   | ACEPTABLE | Aguas medianamente contaminadas | 70                      | ACEPTABLE | Aguas medianamente contaminadas |

De acuerdo a los resultados obtenidos en el BMWP/Col, Cuadros 11 y 12, la calidad del agua es aceptable, presentándose aguas medianamente contaminadas. Estos datos se complementan con la caracterización fisicoquímica de la cuenca, dado que dichos parámetros permiten identificar las condiciones en las cuales se desarrollan los macroinvertebrados en la zona de estudio. Así mismo el BMWP, ICA e ICOs dan una visión general de las condiciones en que se encuentra el sistema.

A pesar de que la calidad fisicoquímica y biológica, presenta características de aguas medianamente contaminadas, esto no afectará directamente la ejecución del trasvase, ya que el uso del agua será netamente para producción de energía y no para potabilización. Sin embargo, es necesario tener en cuenta la cantidad de sólidos que llegarán al futuro embalse, ya que esto podría afectar la vida útil de la presa.

## 6.2 MEDICIÓN DE CAUDALES POR CORRENTÓMETROS O MOLINETES

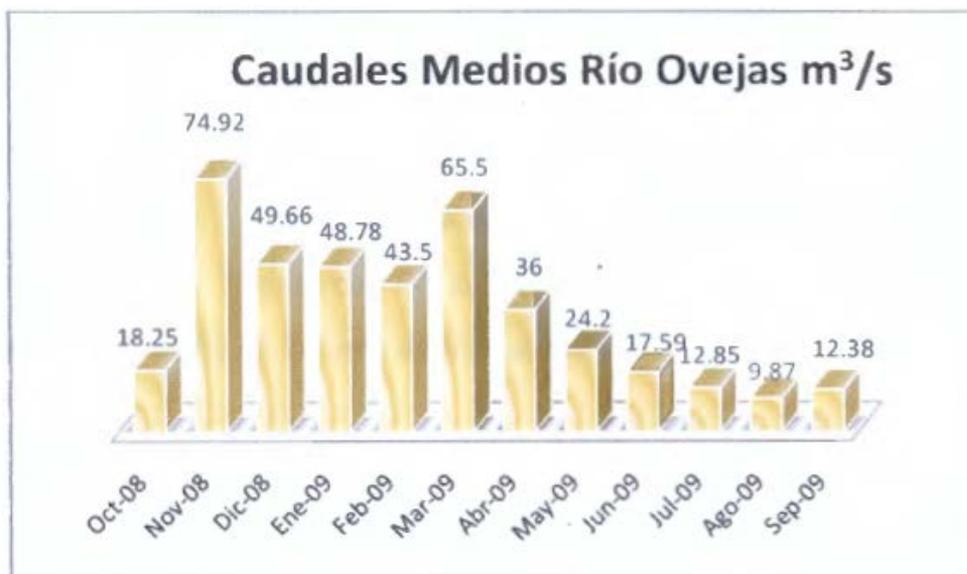
La medición de caudales en el río Ovejas se realizó para correlacionar estos datos con los parámetros fisicoquímicos y biológicos y de esta manera tener mejores

resultados en la determinación de la calidad del agua. Además, para determinar la frecuencia de los caudales obtenidos, se hizo uso de la curva de frecuencia y duración de caudales la cual fue construida a partir de datos suministrados por CVC como parte del convenio Unicauca-EP SA. Anexo D.

*Cuadro 13. Caudales instantáneos del río Ovejas obtenidos en campo.*

| No. | Meses                | Caudales (m <sup>3</sup> /s) | Profundidad del agua (m) | Frecuencia |
|-----|----------------------|------------------------------|--------------------------|------------|
| 1   | Octubre 23 / 2008    | 18.25                        | 0.86                     | Bajo       |
| 2   | Noviembre 21 / 2008  | 74.92                        | 1.66                     | Alto       |
| 3   | Diciembre 11 / 2008  | 49.66                        | 1.37                     | Alto       |
| 4   | Enero 29 / 2009      | 48.78                        | 1.36                     | Alto       |
| 5   | Febrero 26 / 2009    | 43.5                         | 1.3                      | Alto       |
| 6   | Marzo 26 / 2009      | 65.5                         | 1.56                     | Alto       |
| 7   | Abril 23 / 2009      | 36                           | 1.2                      | Alto       |
| 8   | Mayo 28 / 2009       | 24.2                         | 1.0                      | Intermedio |
| 9   | Junio 25 / 2009      | 17.59                        | 0.93                     | Bajo       |
| 10  | Julio 23 / 2009      | 12.85                        | 0.87                     | Bajo       |
| 11  | Agosto 27 / 2009     | 9.87                         | 0.73                     | Bajo       |
| 12  | Septiembre 17 / 2009 | 12.38                        | 0.63                     | Bajo       |

*Figura 10. Caudales instantáneos del río Ovejas.*



### 6.2.1 Caudales instantáneos quebrada Los Cafés

En las visitas, además de realizar los aforos del río Ovejas, también se midió el caudal de la quebrada Los Cafés, principal afluente del río Ovejas, ubicado aguas abajo del sitio de presa, debido a que no se tenían registros de ésta fuente, la cual fue importante en el cálculo del caudal ambiental

*Cuadro 14. Resumen de aforos en la quebrada Los Cafés.*

| <b>FECHA</b>        | <b>CAUDAL m<sup>3</sup>/s</b> |
|---------------------|-------------------------------|
| Octubre 23/ 2008    | 2.07                          |
| Noviembre 21/ 2008  | 4.306                         |
| Diciembre 11 /2008  | 2.479                         |
| Enero 29 /2009      | 4.699                         |
| Febrero 26/ 2009    | 3.42                          |
| Marzo 26 /2009      | 5.82                          |
| Abril 23 /2009      | 2.701                         |
| Mayo 28 /2009       | 1.695                         |
| Junio 12 /2009 *    | 1.136                         |
| Junio 25 /2009      | 0.893                         |
| Julio 23 /2009      | 0.694                         |
| Agosto 27 /2009     | 0.434                         |
| Septiembre 17/ 2009 | 0.753                         |

\* Caudal aforado el día de la toma de topografía.

Figura 11. Caudales medios aforados. Quebrada Los Cafés.

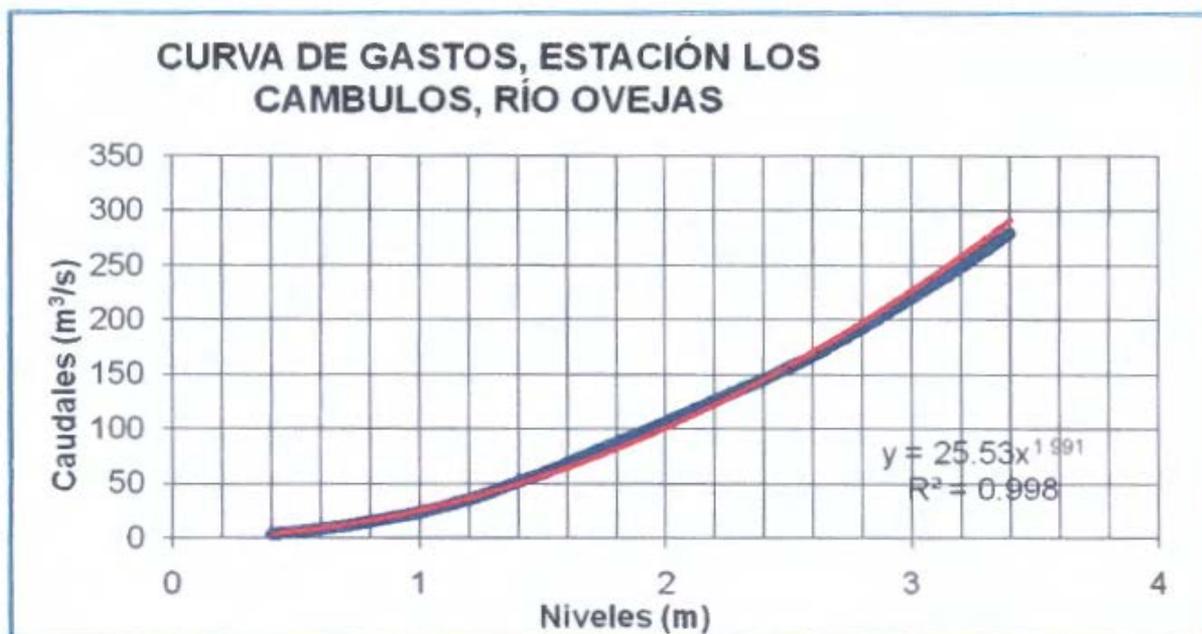


En la quebrada Los Cafés, se consideró una longitud de 210.46 m aguas arriba de la desembocadura en el río Ovejas; en este tramo también se realizó un levantamiento topográfico donde se trazaron secciones transversales de longitudes variables. Los caudales instantáneos se midieron con molinete debido a que el nivel del agua de la quebrada lo permitía.

### 6.3 CURVA DE GASTOS

Para poder determinar el caudal en época de alto régimen pluviométrico, se llevó a cabo la lectura del nivel del agua en la mira o limnómetro y mediante la curva de gastos de esta estación llamada Los Cábulos, Figura 4, se pudo obtener el caudal del río. De acuerdo a los datos de la tabulación de la curva de gastos suministrados por la CVC, Anexo B, se construyó la siguiente curva de gastos, Figura 12.

Figura 12. Curva de gastos estación Los Cábulos, río Ovejas (UNICAUCA-EPISA, 2009).



Fuente CVC.

#### 6.4 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC-RAS 4.0

El programa HEC RAS 4.0 del Us Army Corps of Engineers, permite realizar el modelamiento hidráulico de un cauce y una estructura sobre el mismo.

##### 6.4.1 Modelación sin presa.

Para modelar el río Ovejas, se utilizó la topografía del terreno con 15 secciones transversales, las cuales fueron interpoladas cada 20 metros, Figura 13; luego se procedió a introducir los datos hidráulicos e hidrológicos basados en los caudales mínimos, medios y aforado, siendo este último el caudal obtenido en la realización del levantamiento topográfico del área de estudio; esto permitió construir tres perfiles para mostrar el comportamiento actual del cauce, el cual sirvió como punto de referencia en el análisis de reducción de caudales en el sitio de presa, Figuras 14 y 15.

Los caudales utilizados para la modelación del río sin la presa son: 21.26 m<sup>3</sup>/s para el caudal aforado el día en que se realizó el levantamiento topográfico, 33.4 m<sup>3</sup>/s para el caudal medio y 11.6 m<sup>3</sup>/s para caudal mínimo; estos dos últimos caudales fueron suministrados por EPISA.

Se calculó la pendiente del fondo del cauce según los datos topográficos suministrados, la que se usó como condición de frontera aguas abajo pues el flujo resultó subcrítico.

Los coeficientes de Manning que finalmente se utilizaron, fueron calibrados para condiciones de banca llena y los resultados fueron: el tramo izquierdo con  $n = 0.030$ , principal con  $n = 0.40$  y derecho con  $n = 0.035$  del río Ovejas y para la quebrada Los Cafés  $n = 0.035$  para los tres tramos de cada sección. También se tuvieron en cuenta las características de pendiente, cobertura, sustrato y velocidades del canal encontradas en las mediciones de campo.

Figura 13. Vista en planta de las secciones transversales del río Ovejas y la quebrada Los Cafés.

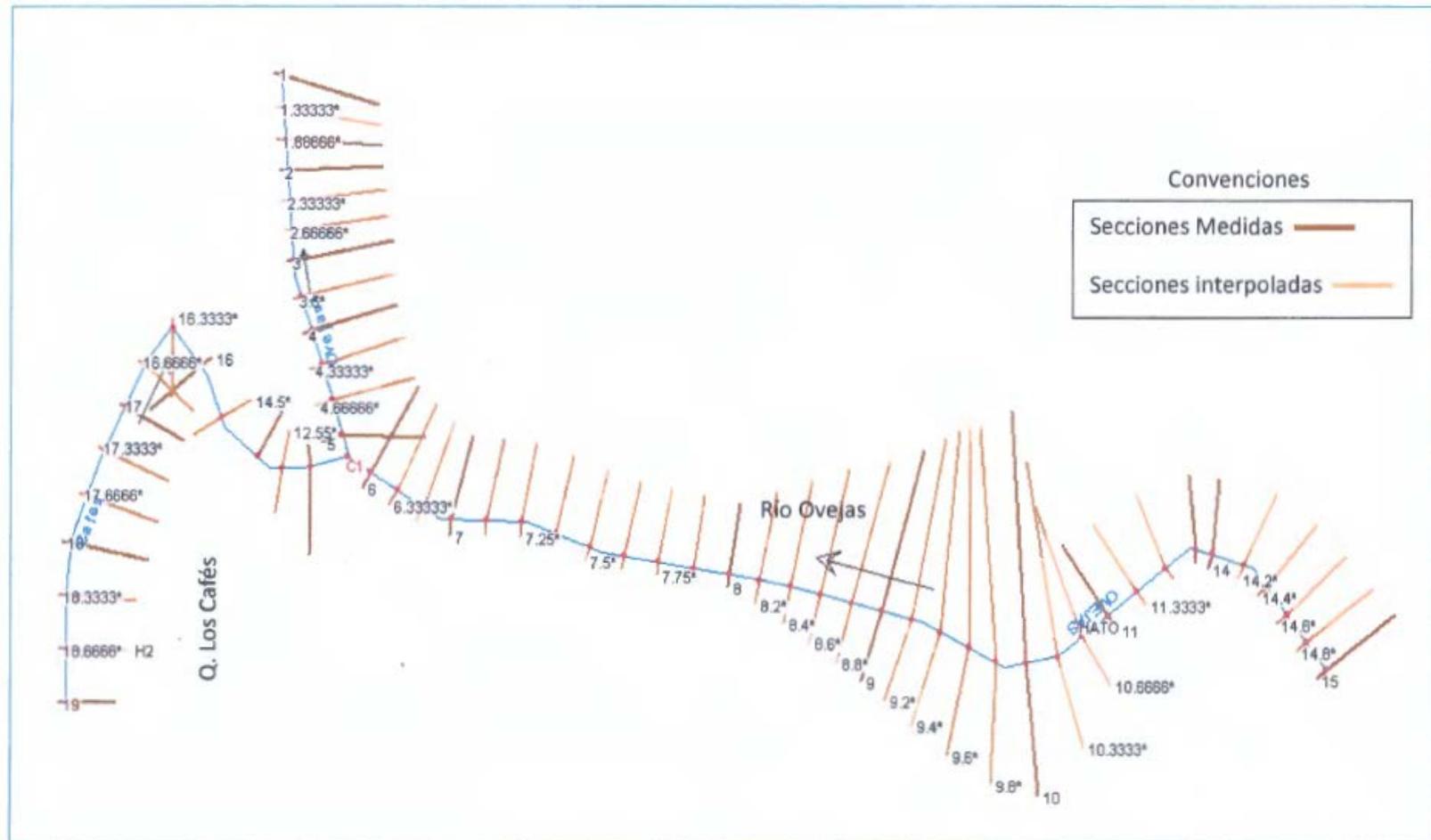
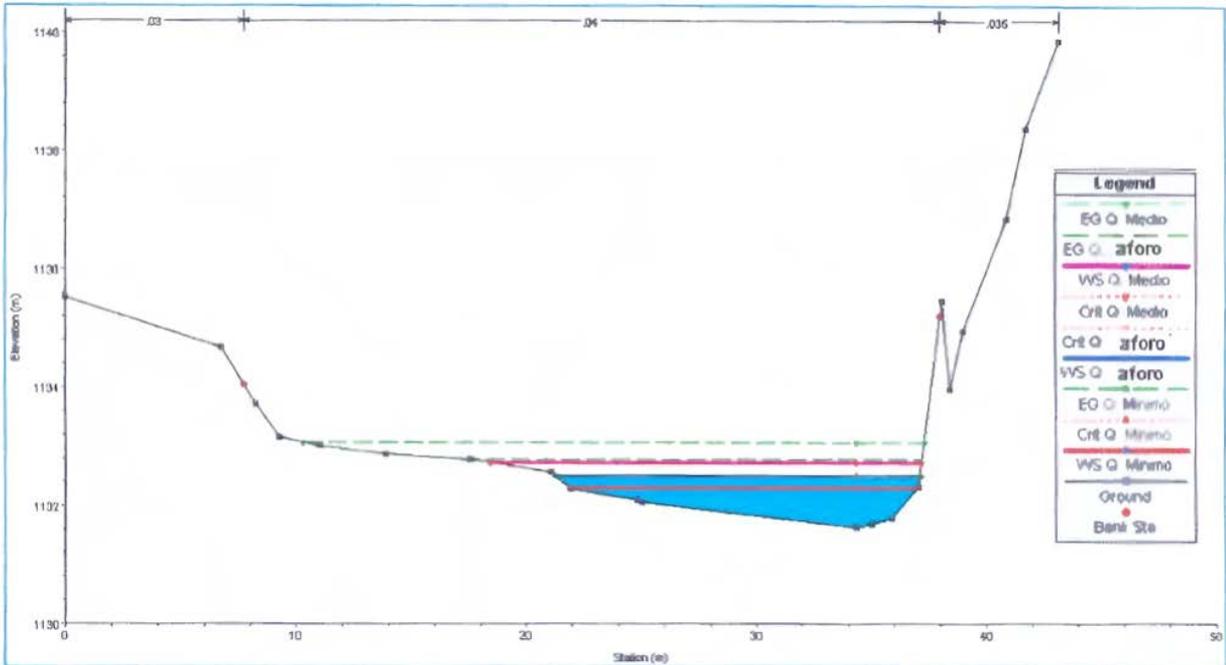


Figura 14. Perfiles con caudales de modelación sección 14, río Ovejas.



Como se muestra en los cuadros 15, 16 y 17, el software permite obtener un resumen de las variables hidráulicas de modelación de los tramos de estudio para cada sección transversal, teniendo en cuenta el canal principal y las márgenes derechas e izquierda.

Cuadro 15. Parámetros hidráulicos de la sección 14, con caudal de aforo.

| Plan: lyd OVEJAS HATO RS: 14 Profile: Q. Aforo |          |                                   |         |         |          |
|--|----------|-----------------------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                  | 1132.78  | Element                           | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                   | 0.29     | Wt. n-Val.                        | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                  | 1132.5   | Reach Len. (m)                    | 3.68    | 8.27    | 12.46    |
| Crit W.S. (m)                                  | 1132.5   | Flow Area (m <sup>2</sup> )       |         | 8.96    |          |
| E.G. Slope (m/m)                               | 0.019786 | Area (m <sup>2</sup> )            |         | 8.96    |          |
| Q Total (m <sup>3</sup> /s)                    | 21.26    | Flow (m <sup>3</sup> /s)          |         | 21.26   |          |
| Top Width (m)                                  | 15.85    | Top Width (m)                     |         | 15.85   |          |
| Vel Total (m/s)                                | 2.37     | Avg. Vel. (m/s)                   |         | 2.37    |          |
| Max Chl Dpth (m)                               | 0.87     | Hydr. Depth (m)                   |         | 0.57    |          |
| Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)                | 151.1    | Conv. (m <sup>3</sup> /s)         |         | 151.1   |          |
| Length Wtd. (m)                                | 8.27     | Wetted Per. (m)                   |         | 16.16   |          |
| Min Ch El (m)                                  | 1131.62  | Shear (N/m <sup>2</sup> )         |         | 107.55  |          |
| Alpha  | 1        | Stream Power (N/m s)              |         | 255.21  |          |
| Frctn Loss (m)                                 |          | Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> ) |         | 4.59    |          |
| C & E Loss (m)                                 |          | Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )     |         | 8.75    |          |

Cuadro 16. Parámetros hidráulicos de la sección 14, con caudal medio.

| Plan: lyd OVEJAS HATO RS: 14 Profile: Q. Medio |          |                                   |         |         |          |
|--|----------|-----------------------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                  | 1133.07  | Element                           | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                   | 0.35     | Wt. n-Val.                        | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                  | 1132.72  | Reach Len. (m)                    | 3.68    | 8.27    | 12.46    |
| Crit W.S. (m)                                  | 1132.72  | Flow Area (m <sup>2</sup> )       |         | 12.79   |          |
| E.G. Slope (m/m)                               | 0.018841 | Area (m <sup>2</sup> )            |         | 12.79   |          |
| Q Total (m <sup>3</sup> /s)                    | 33.4     | Flow (m <sup>3</sup> /s)          |         | 33.4    |          |
| Top Width (m)                                  | 18.78    | Top Width (m)                     |         | 18.78   |          |
| Vel Total (m/s)                                | 2.61     | Avg. Vel. (m/s)                   |         | 2.61    |          |
| Max Chl Dpth (m)                               | 1.1      | Hydr. Depth (m)                   |         | 0.68    |          |
| Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)                | 243.3    | Conv. (m <sup>3</sup> /s)         |         | 243.3   |          |
| Length Wtd. (m)                                | 8.27     | Wetted Per. (m)                   |         | 19.27   |          |
| Min Ch El (m)                                  | 1131.62  | Shear (N/m <sup>2</sup> )         |         | 122.65  |          |
| Alpha  | 1        | Stream Power (N/m s)              |         | 320.28  |          |
| Frctn Loss (m)                                 |          | Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> ) | 0       | 6.61    |          |
| C & E Loss (m)                                 |          | Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )     | 0       | 10.37   |          |

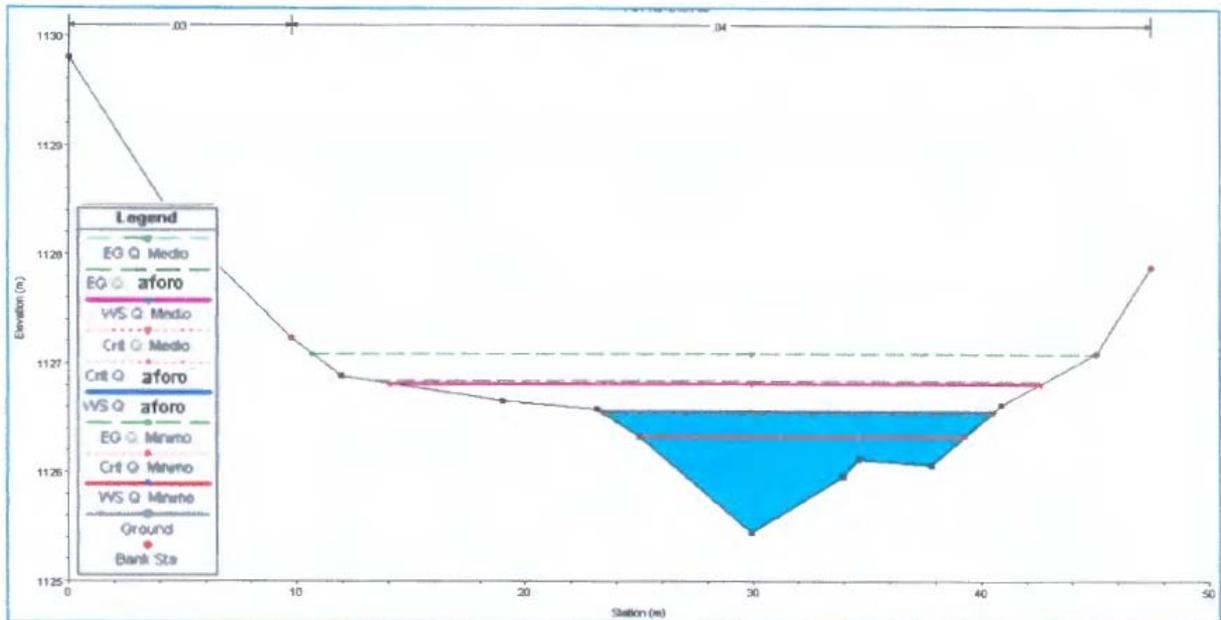
Cuadro 17. Parámetros hidráulicos de la sección 14, con caudal mínimo.

| Plan: lyd OVEJAS HATO RS: 14 Profile: Q. Minimo |          |                                   |         |         |          |
|---|----------|-----------------------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                   | 1132.49  | Element                           | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                    | 0.2      | Wt. n-Val.                        | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                   | 1132.3   | Reach Len. (m)                    | 3.68    | 8.27    | 12.46    |
| Crit W.S. (m)                                   | 1132.3   | Flow Area (m <sup>2</sup> )       |         | 5.87    |          |
| E.G. Slope (m/m)                                | 0.022291 | Area (m <sup>2</sup> )            |         | 5.87    |          |
| Q Total (m <sup>3</sup> /s)                     | 11.6     | Flow (m <sup>3</sup> /s)          |         | 11.6    |          |
| Top Width (m)                                   | 15.12    | Top Width (m)                     |         | 15.12   |          |
| Vel Total (m/s)                                 | 1.97     | Avg. Vel. (m/s)                   |         | 1.97    |          |
| Max Chl Dpth (m)                                | 0.67     | Hydr. Depth (m)                   |         | 0.39    |          |
| Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)                 | 77.7     | Conv. (m <sup>3</sup> /s)         |         | 77.7    |          |
| Length Wtd. (m)                                 | 8.27     | Wetted Per. (m)                   |         | 15.27   |          |
| Min Ch El (m)                                   | 1131.62  | Shear (N/m <sup>2</sup> )         |         | 84.11   |          |
| Alpha   | 1        | Stream Power (N/m s)              |         | 166.08  |          |
| Frctn Loss (m)                                  |          | Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> ) |         | 2.87    |          |
| C & E Loss (m)                                  |          | Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )     |         | 7.09    |          |

En la realización de la modelación hidráulica se tuvo en cuenta la quebrada Los Cafés, principal afluente del río Ovejas, el cual aporta un caudal significativo al caudal ambiental; éste puede visualizarse claramente en la sección 4, Figura 15 y los cuadros 18, 19 y 20 que presentan los variables hidráulicas calculadas para los

diferentes perfiles, incluyendo el perímetro mojado que aumenta proporcionalmente con el caudal.

Figura 15. Sección transversal 4 del río Ovejas sin presa, ubicada aguas abajo de la quebrada Los Cafés.



Cuadro 18. Parámetros hidráulicos de la sección 4, aguas abajo de la quebrada Los Cafés, con caudal aforado.

| Plan: lyd Ovejas1 Hato RS: 4 Profile: Q. Aforado |          |                                   |         |         |          |
|--|----------|-----------------------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                    | 1126.84  | Element                           | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                     | 0.28     | Wt. n-Val.                        | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                    | 1126.56  | Reach Len. (m)                    | 18.79   | 16.4    | 13.84    |
| Crit W.S. (m)                                    | 1126.56  | Flow Area (m <sup>2</sup> )       |         | 9.51    |          |
| E.G. Slope (m/m)                                 | 0.019844 | Area (m <sup>2</sup> )            |         | 9.51    |          |
| Q Total (m <sup>3</sup> /s)                      | 22.4     | Flow (m <sup>3</sup> /s)          |         | 22.4    |          |
| Top Width (m)                                    | 17.22    | Top Width (m)                     |         | 17.22   |          |
| Vel Total (m/s)                                  | 2.35     | Avg. Vel. (m/s)                   |         | 2.35    |          |
| Max Chl Dpth (m)                                 | 1.12     | Hydr. Depth (m)                   |         | 0.55    |          |
| Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)                  | 159      | Conv. (m <sup>3</sup> /s)         |         | 159     |          |
| Length Wtd. (m)                                  | 16.4     | Wetted Per. (m)                   |         | 17.41   |          |
| Min Ch El (m)                                    | 1125.44  | Shear (N/m <sup>2</sup> )         |         | 106.34  |          |
| Alpha  | 1        | Stream Power (N/m s)              |         | 250.3   |          |
| Frctn Loss (m)                                   | 0.32     | Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> ) |         | 1.31    |          |
| C & E Loss (m)                                   | 0        | Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )     |         | 3.3     |          |

**Cuadro 19. Parámetros hidráulicos de la sección 4, aguas abajo de la quebrada Los Cafés, con caudal medio.**

| Plan: lyd Ovejas1 Hato RS: 4 Profile: Q. Medio |          |                                   |         |         |          |
|--|----------|-----------------------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                  | 1127.09  | Element                           | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                   | 0.28     | Wt. n-Val.                        | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                  | 1126.82  | Reach Len. (m)                    | 18.79   | 16.4    | 13.84    |
| Crit W.S. (m)                                  | 1126.82  | Flow Area (m <sup>2</sup> )       |         | 15.45   |          |
| E.G. Slope (m/m)                               | 0.019845 | Area (m <sup>2</sup> )            |         | 15.45   |          |
| Q Total (m <sup>3</sup> /s)                    | 35.92    | Flow (m <sup>3</sup> /s)          |         | 35.92   |          |
| Top Width (m)                                  | 28.57    | Top Width (m)                     |         | 28.57   |          |
| Vel Total (m/s)                                | 2.33     | Avg. Vel. (m/s)                   |         | 2.33    |          |
| Max Chl Dpth (m)                               | 1.38     | Hydr. Depth (m)                   |         | 0.54    |          |
| Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)                | 255      | Conv. (m <sup>3</sup> /s)         |         | 255     |          |
| Length Wtd. (m)                                | 16.4     | Wetted Per. (m)                   |         | 28.79   |          |
| Min Ch El (m)                                  | 1125.44  | Shear (N/m <sup>2</sup> )         |         | 104.42  |          |
| Alpha  | 1        | Stream Power (N/m s)              |         | 242.83  |          |
| Frctn Loss (m)                                 | 0.33     | Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> ) |         | 1.86    |          |
| C & E Loss (m)                                 | 0        | Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )     |         | 3.67    |          |

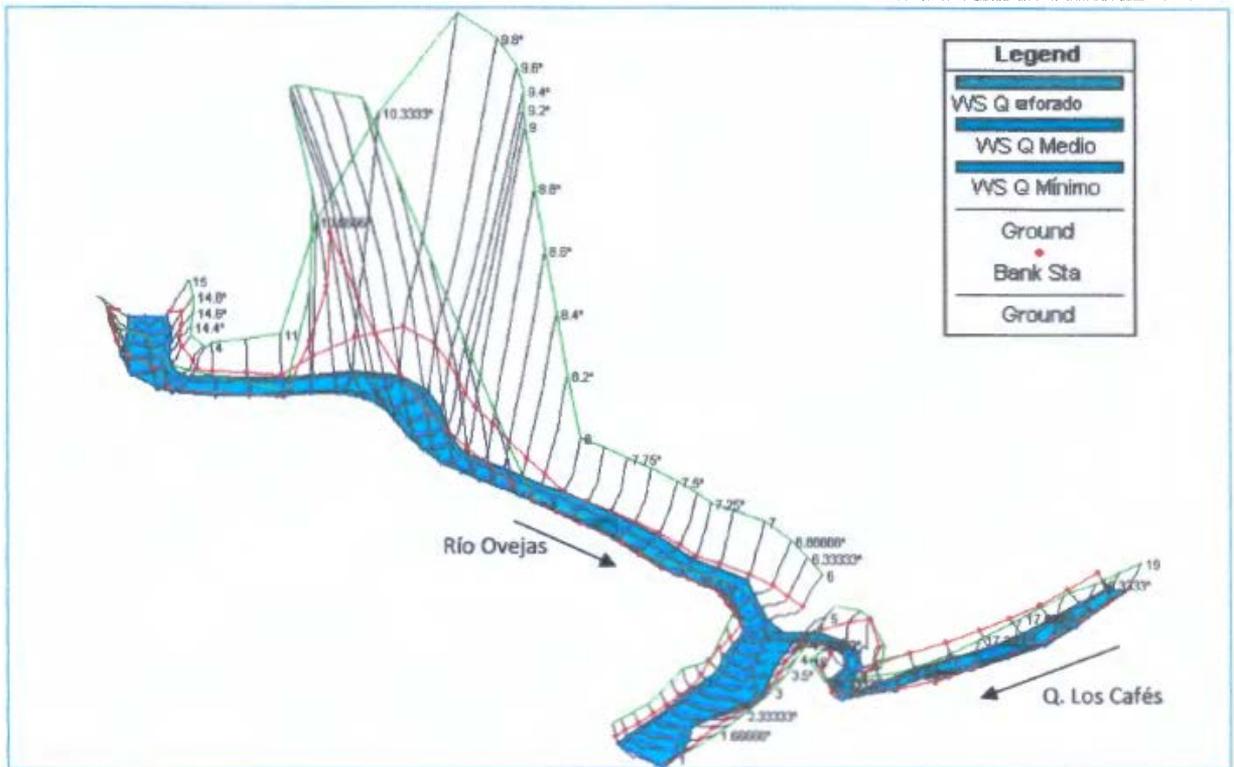
**Cuadro 20. Parámetros hidráulicos de la sección 4, aguas abajo de la quebrada Los Cafés, con caudal mínimo.**

| Plan: lyd Ovejas1 Hato RS: 4 Profile: Q. Minimo |         |                                   |         |         |          |
|---|---------|-----------------------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                   | 1126.54 | Element                           | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                    | 0.21    | Wt. n-Val.                        | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                   | 1126.33 | Reach Len. (m)                    | 18.79   | 16.4    | 13.84    |
| Crit W.S. (m)                                   | 1126.33 | Flow Area (m <sup>2</sup> )       |         | 5.89    |          |
| E.G. Slope (m/m)                                | 0.02208 | Area (m <sup>2</sup> )            |         | 5.89    |          |
| Q Total (m <sup>3</sup> /s)                     | 12.03   | Flow (m <sup>3</sup> /s)          |         | 12.03   |          |
| Top Width (m)                                   | 14.3    | Top Width (m)                     |         | 14.3    |          |
| Vel Total (m/s)                                 | 2.04    | Avg. Vel. (m/s)                   |         | 2.04    |          |
| Max Chl Dpth (m)                                | 0.89    | Hydr. Depth (m)                   |         | 0.41    |          |
| Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)                 | 81      | Conv. (m <sup>3</sup> /s)         |         | 81      |          |
| Length Wtd. (m)                                 | 16.4    | Wetted Per. (m)                   |         | 14.45   |          |
| Min Ch El (m)                                   | 1125.44 | Shear (N/m <sup>2</sup> )         |         | 88.27   |          |
| Alpha   | 1       | Stream Power (N/m s)              |         | 180.28  |          |
| Frctn Loss (m)                                  | 0.36    | Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> ) |         | 0.81    |          |
| C & E Loss (m)                                  | 0       | Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )     |         | 2.79    |          |

Una vez compilados todos los datos correspondientes a la modelación, el programa HEC RAS 4.0, muestra el tramo de estudio con los perfiles utilizados en

tres dimensiones Figura 16, para simular el comportamiento del cauce y brindar resultados que se adecuan a las condiciones reales de la zona.

Figura 16. Vista 3D del río Ovejas y la quebrada Los Cafés.



#### 6.4.2 Modelación del tramo con la presa.

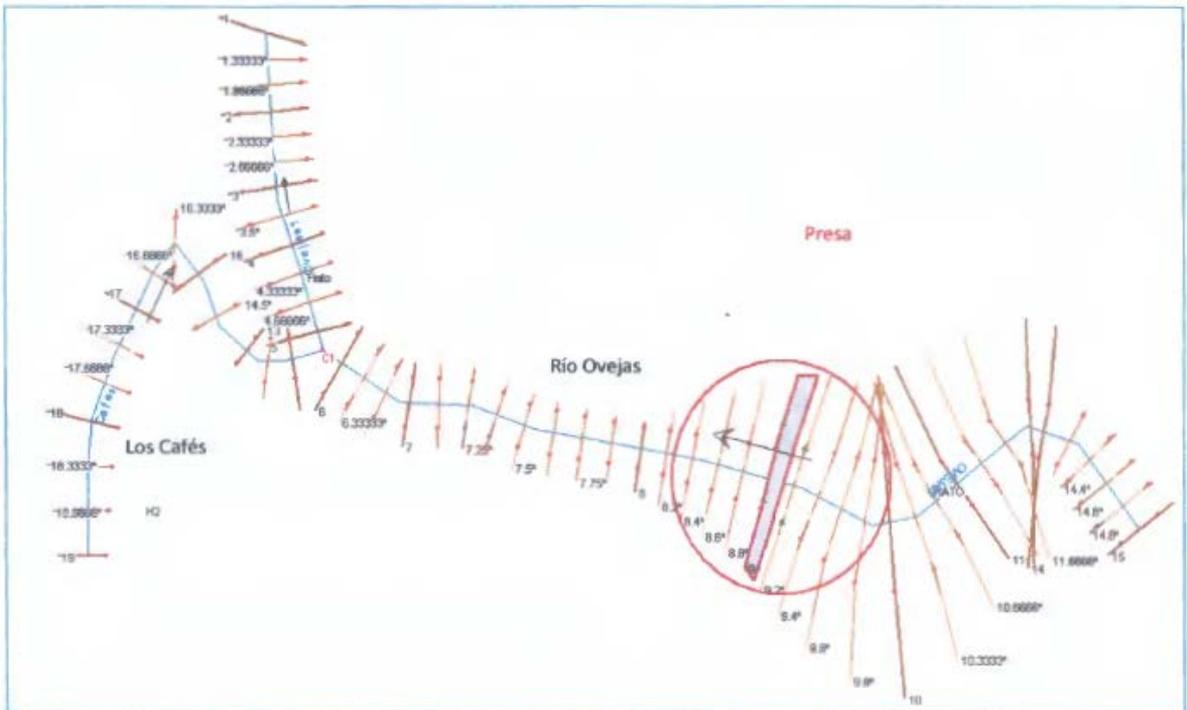
Para la modelación de la presa fue necesario tener en cuenta los datos de diseño proporcionados por la Empresa de Energía del Pacífico, S.A. – EPSA, e igualmente se trabajó con los caudales ambientales calculados para el río Ovejas, que se calcularán en el numeral 6.5.

La presa cuenta con un rebosadero y una descarga de fondo, diseñada para garantizar el caudal ambiental; esta estructura se ubicó en la sección transversal 9.1, dado que la empresa proyectó las obras en este lugar, Figuras 17, 18 y 19.

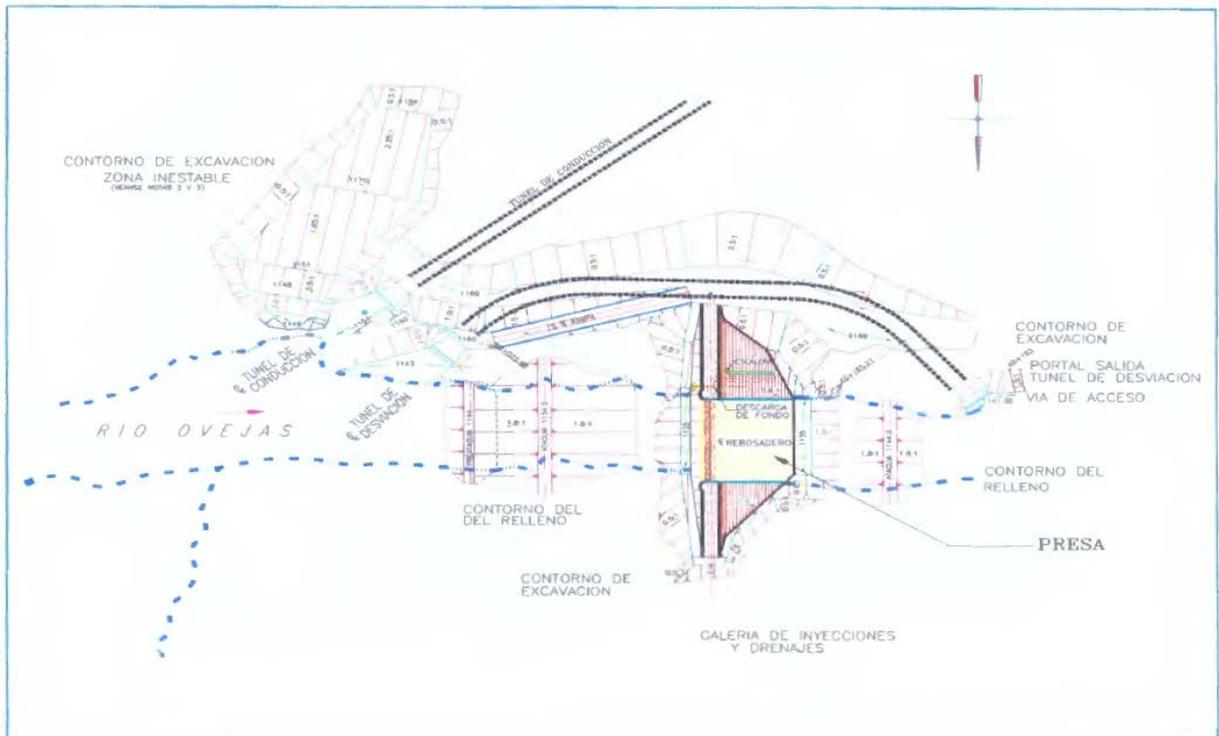
Figura 17. Sitio proyectado para la construcción de la presa.



Figura 18. Vista en planta de el tramo del río Ovejas y la ubicación de la presa.



**Figura 19. Proyecto trasvase del río ovejas al embalse La Salvajina. Vista en planta de las obras.**



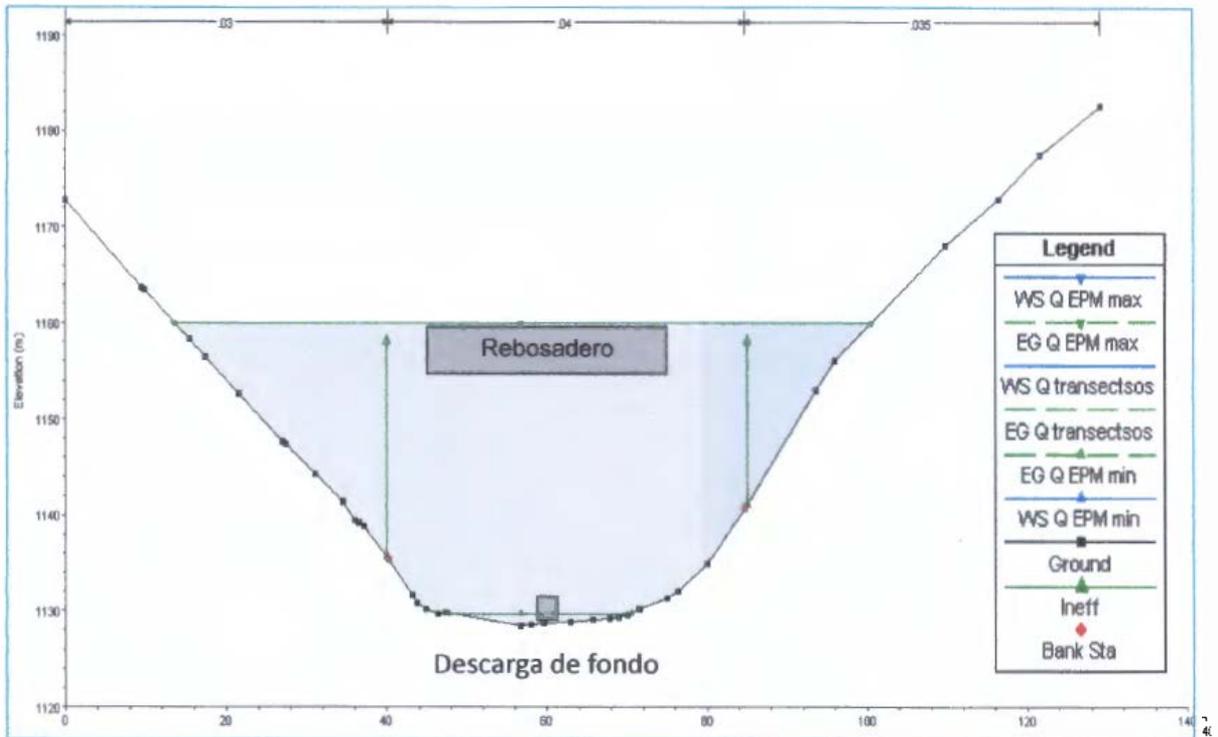
Fuente EPSA.

La Figura 20, muestra la sección transversal del cauce con la presa, la Figura 21 ilustra el perfil longitudinal del cauce con la presa. La presa tendrá 32 metros de altura y 80 metros de ancho y un borde libre de 1 m.

La Figura 22, muestra el comportamiento del río Ovejas en 3 dimensiones, aguas abajo de la presa mostrando los tres perfiles especificados.

La Figura 23, muestra las secciones transversales del cauce en 3 dimensiones, en donde estará ubicada la presa con el rebosadero, el cual tendrá una compuerta deslizante que permanecerá cerrada hasta que el nivel del agua llegue a la cota máxima. Igualmente la presa contará con una descarga de fondo regulada por una compuerta radial, que debe permanecer abierta para permitir el paso del caudal ambiental, calculado en el Numeral 6.5.

Figura 20. Visualización de la sección 9.1 S y la presa con el programa HEC-RAS 4.0.



Con la modelación se obtuvo un perfil de la zona de inundación y el tramo crítico aguas abajo de la presa, por donde pasa el caudal ambiental, Figura 21. El nivel máximo de la superficie del agua en el embalse está 1 metro por encima de la cresta del rebosadero.

Para obtener el comportamiento del río en el tramo de estudio, junto con la presa y el caudal ambiental, se realizó la modelación con los valores máximos, medios y mínimos del caudal ambiental obtenidos mediante las metodologías de las EE.PP.M y de los transectos.

Figura 21. Perfil de la presa y el embalse, con caudal ambiental de transectos, EPM máximo y EPM mínimo.

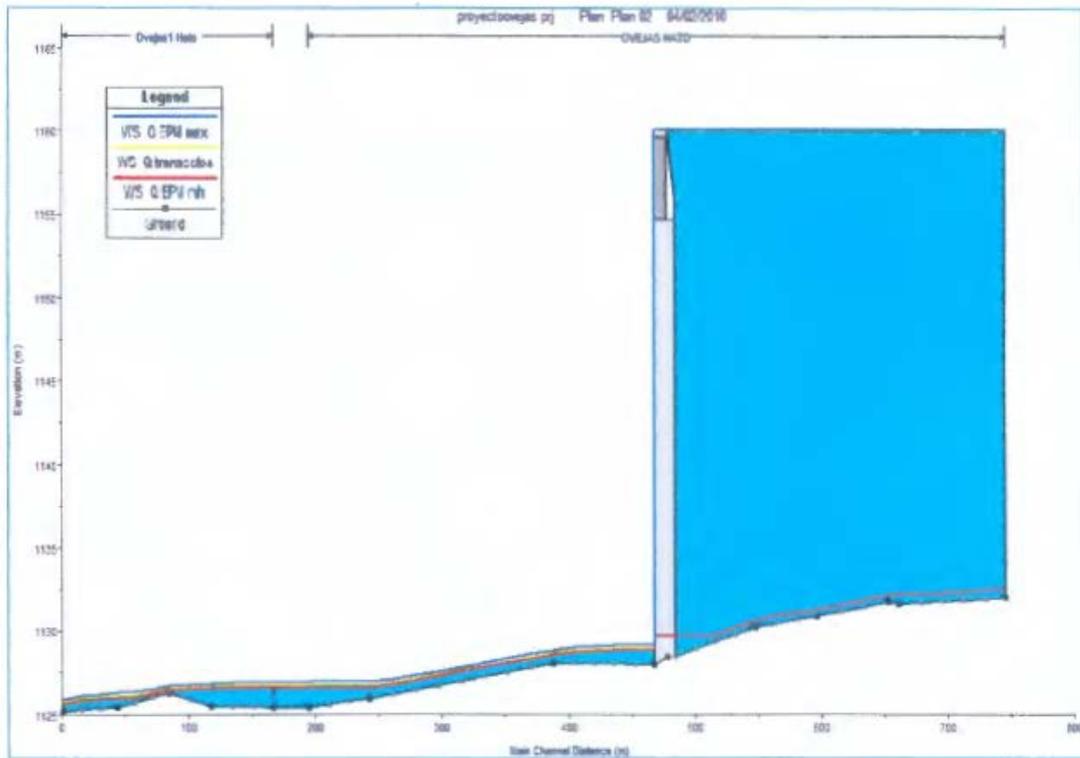
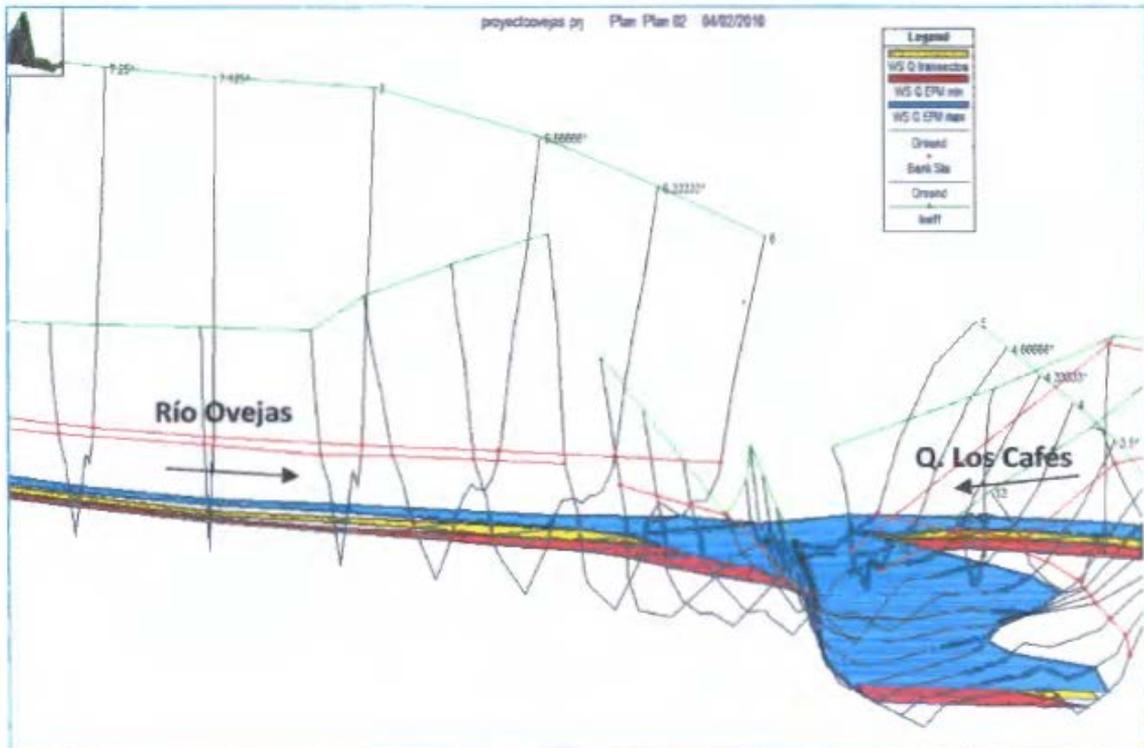
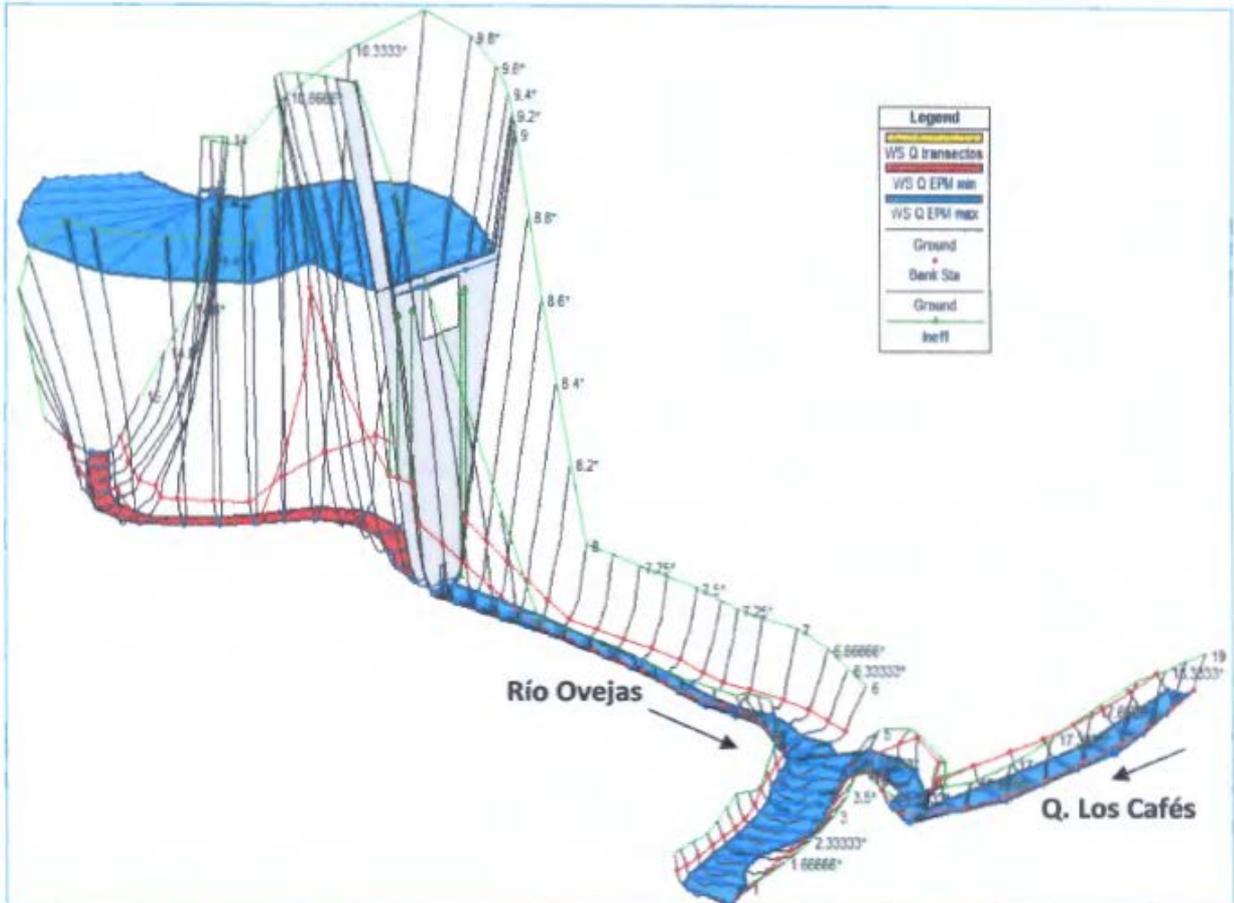


Figura 22. Perfiles de caudales ambientales calculados.



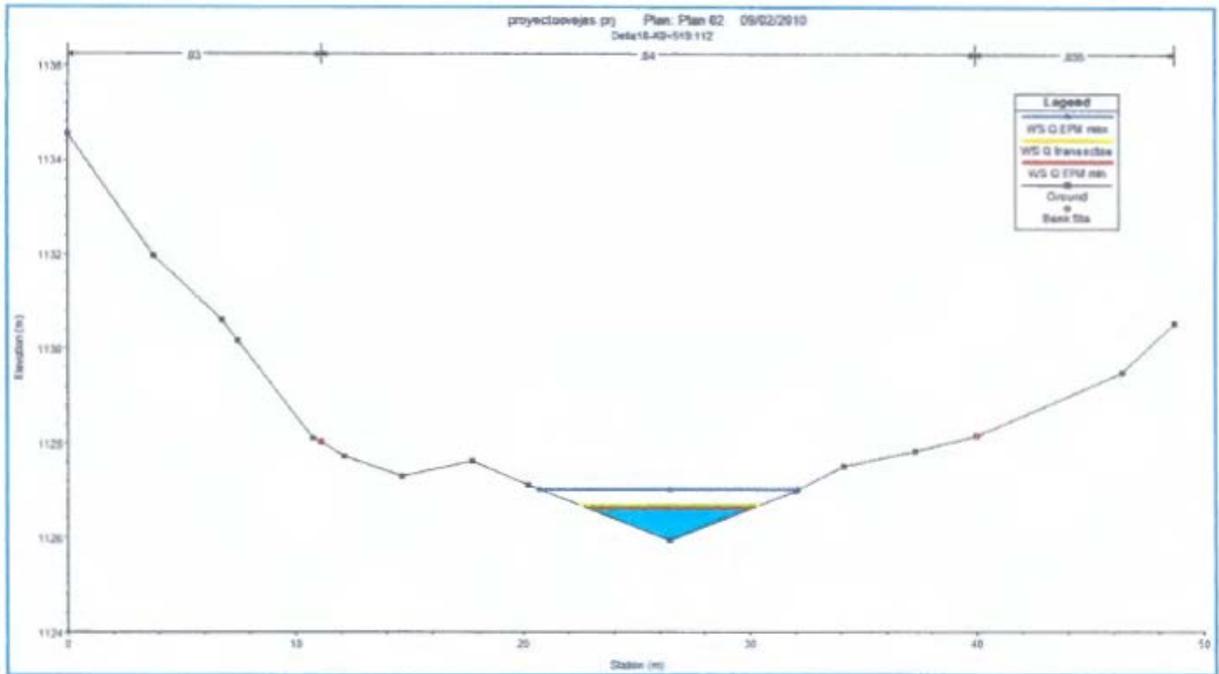
En la perspectiva se puede visualizar el caudal ambiental aguas arriba de la presa y su paso por la descarga de fondo.

Figura 23. Perspectiva del tramo de estudio con caudales ambientales de diseño.

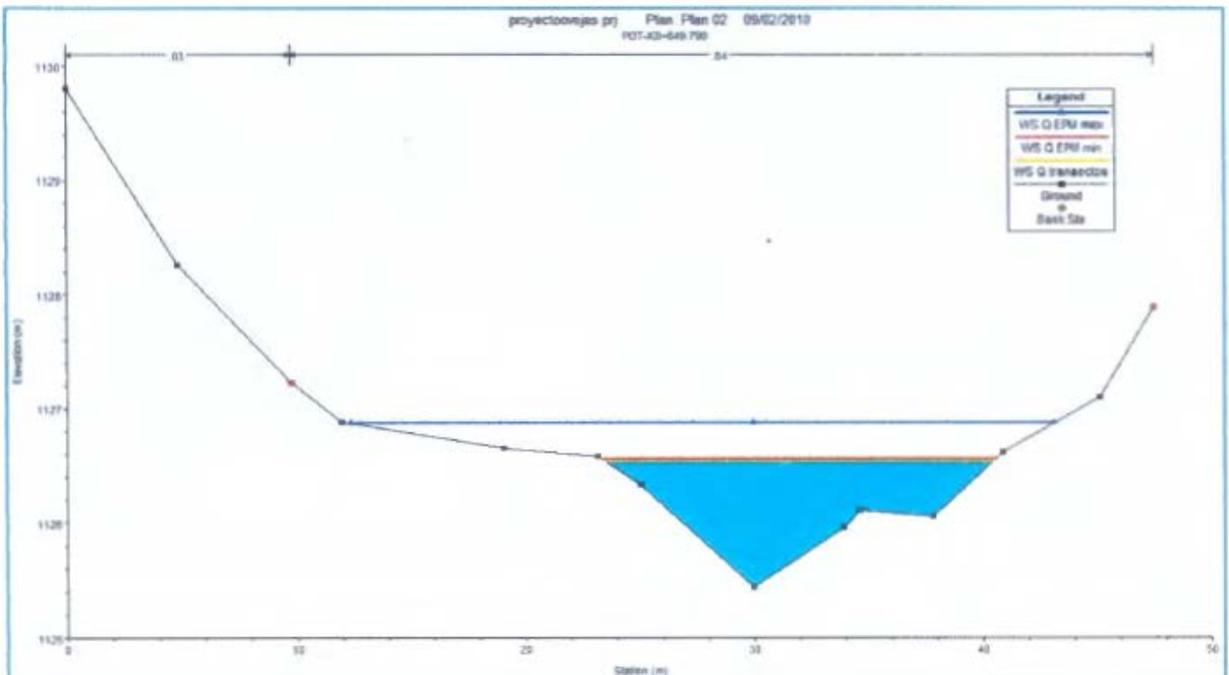


La sección 7 aguas abajo de la presa y la sección 4 aguas abajo de la quebrada Los Cafés, Figuras 24 y 25, permiten observar la disminución del nivel del agua que produce la estructura, al presentarse el almacenamiento del caudal y trasvase; sin embargo, debido a la presencia de la quebrada Los Cafés, cuya confluencia se encuentra a 300 m aguas debajo de la presa, este caudal aumenta su nivel de manera significativa con un valor de 0.5 metros de altura de lámina de agua y  $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$  de caudal, ayudando a restablecer parcialmente las condiciones ambientales e hidrológicas del río Ovejas.

**Figura 24. Nivel del caudal ambiental según método de transectos y EE.PP.M en la sección 7 del río Ovejas, aguas abajo de la presa.**



**Figura 25. Nivel del caudal ambiental según método de transectos y EE.PP.M en la sección 4 del río Ovejas, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Los Cafés.**



## 6.5 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL

### 6.5.1 Metodología de las Empresas Públicas de Medellín.

Para la aplicación de esta metodología, se utilizaron datos hidráulicos, biológicos, económicos, sociales y fisicoquímicos, e igualmente, caudales medios mínimos mensuales, generados por el equipo de trabajo, a partir de información hidrológica facilitada por EPSA. En esta metodología se obtuvo como resultado un caudal ambiental mensual, el cual variaba dependiendo del régimen pluviométrico presentado en cada mes.

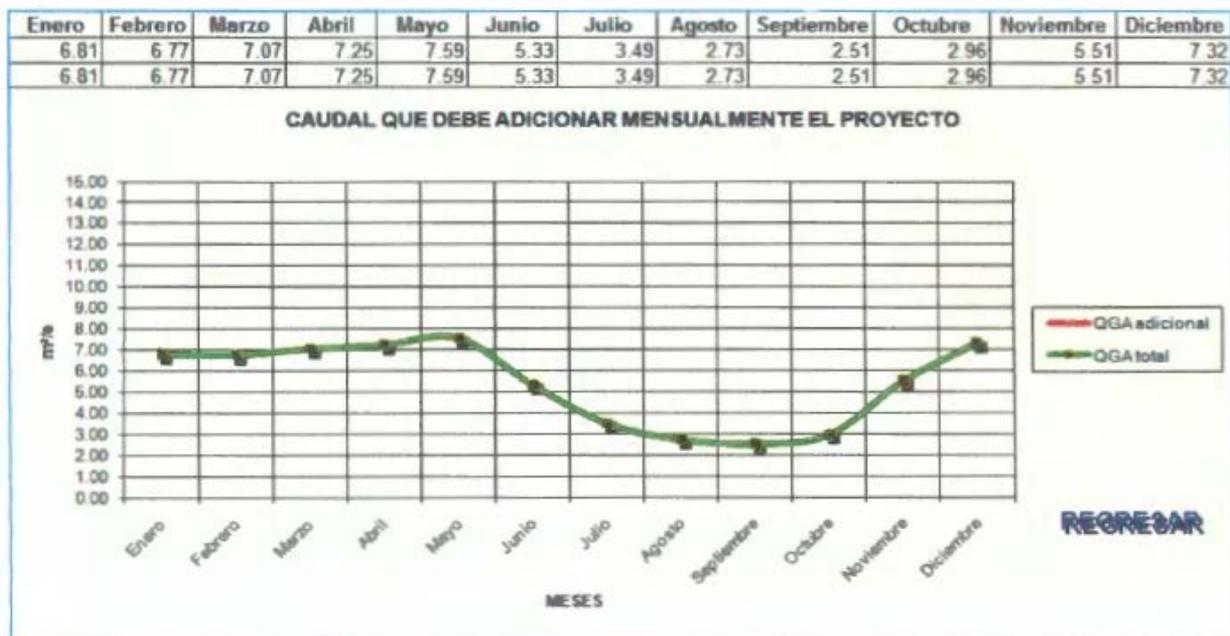
En el Cuadro 21 se puede observar que el caudal ambiental mínimo es de 2.51 m<sup>3</sup>/s para el mes de septiembre, el más crítico, donde se presentan mínimas precipitaciones; por esto, es necesario garantizar que el caudal ambiental no sea menor al valor mínimo calculado, para conservar los ecosistemas que dependan de él.

*Cuadro 21. Caudal ambiental obtenido mediante la hoja de cálculo de las Empresas Públicas de Medellín.*

| CÁLCULO DEL CAUDAL DE GARANTÍA AMBIENTAL                          |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | ASPECTO AMBIENTAL CALIFICADO     |                | DESCRIPTOR | VALOR |
|---|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------------------------|----------------|------------|-------|
|   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | Calidad del agua del río (IF-SN) | Caudal (L/s) = |            | 55.96 |
| Longitud de cauce con caudales drásticamente reducidos            | Km. =         |            | 0.3        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Promedio de DQO afluentes que ingresa en el sector afectado       | mg/l =        |            | 25         |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Importancia de la actividad pesquera municipal                    | % PIB =       |            | 0.1        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Migración de peces  | Local         |            | 1          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Especies acuáticas amenazadas o en peligro de extinción           | Sin problemas |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Calidad biológica del agua (BMWP/Col)                             | "Excelente"   |            | 222        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Transporte fluvial  | Ocasional     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Modificación del paisaje (Longitud del cauce seco visible en mts) | Presente (m)  |            | 298        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos               | (L/s) = 0     |            | %          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| <b>Caudales</b>   | <b>ENE</b>    | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |                                  |                |            |       |
| <i>Q<sub>mmm</sub></i>  | 21.28         | 21.17      | 22.09      | 22.65      | 23.71      | 16.66      | 10.92      | 8.54       | 7.85       | 9.24       | 17.23      | 22.87      |                                  |                |            |       |
| <b>QGA Total</b>  | 6.81          | 6.77       | 7.07       | 7.25       | 7.59       | 5.33       | 3.49       | 2.73       | 2.51       | 2.96       | 5.51       | 7.32       |                                  |                |            |       |
| Vertimientos  |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Afluentes   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| Filtraciones  |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                                  |                |            |       |
| <b>QGA Final</b>  | 6.81          | 6.77       | 7.07       | 7.25       | 7.59       | 5.33       | 3.49       | 2.73       | 2.51       | 2.96       | 5.51       | 7.32       |                                  |                |            |       |

[Ver gráfica](#)

Figura 26. Variación del caudal ambiental para los 12 meses del año.



#### 6.5.1.1 Aspectos importantes a tener en cuenta en la aplicación de la metodología de las Empresas Públicas de Medellín

A pesar de que en la zona el transporte fluvial no es constante ni es utilizado por embarcaciones grandes, la comunidad hace uso del río ocasionalmente para transportarse en pequeñas barcas o canoas y ejercer actividades de pesca esporádica y extracción de materiales para la construcción, Figura 27.

La pesca no tiene un valor significativo en el PIB de la región, dado que en su mayoría se realiza para consumo personal y no representa una actividad comercial.

La migración de peces en esta zona es poca, presentándose en 1 o 2 especies, dado que la presa de generación de energía hidroeléctrica Gelima ubicada cerca a la desembocadura del río Ovejas al río Cauca, se convierte en un obstáculo para el libre tránsito de especies migratorias desde el río Cauca.

*Figura 27. Uso del río Ovejas para extracción de materiales, transporte ocasional y pesca artesanal.*



#### 6.5.2. Metodología de los transectos.

Para la aplicación de esta metodología se utilizó el levantamiento topográfico anteriormente mencionado Figura 28, para trabajar con cada una de las secciones transversales a lo largo del cauce y determinar la relación entre el perímetro mojado y el caudal.

Para desarrollar esta metodología se recurrió a los parámetros hidráulicos obtenidos mediante la modelación del río sin presa, y las secciones cuyo caudal será drásticamente reducido al ejecutar el proyecto, en éste caso desde la sección 1 hasta la sección 9.

*Figura 28. Vista en planta del levantamiento topográfico en Autocad 2009.*

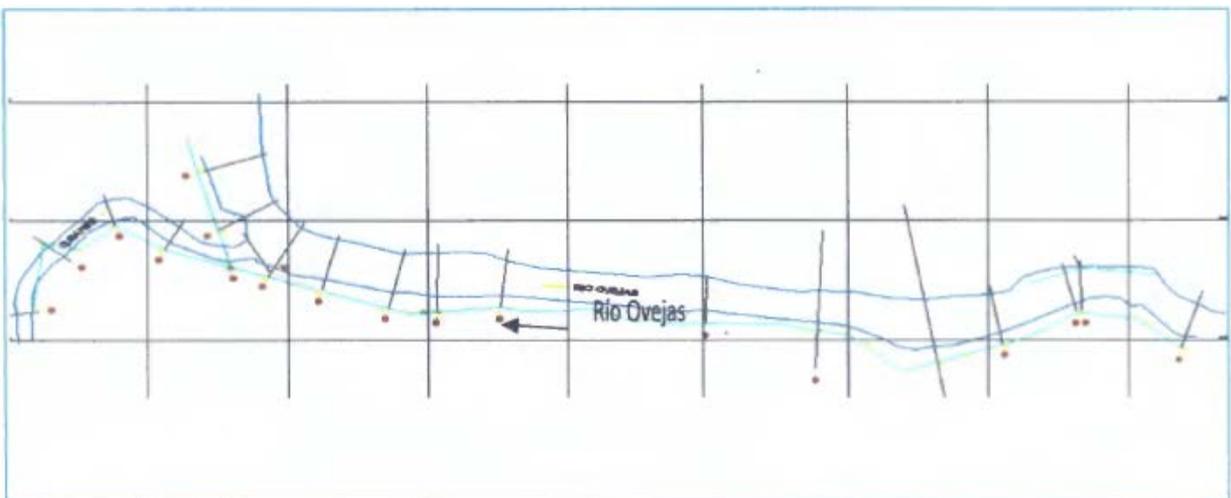
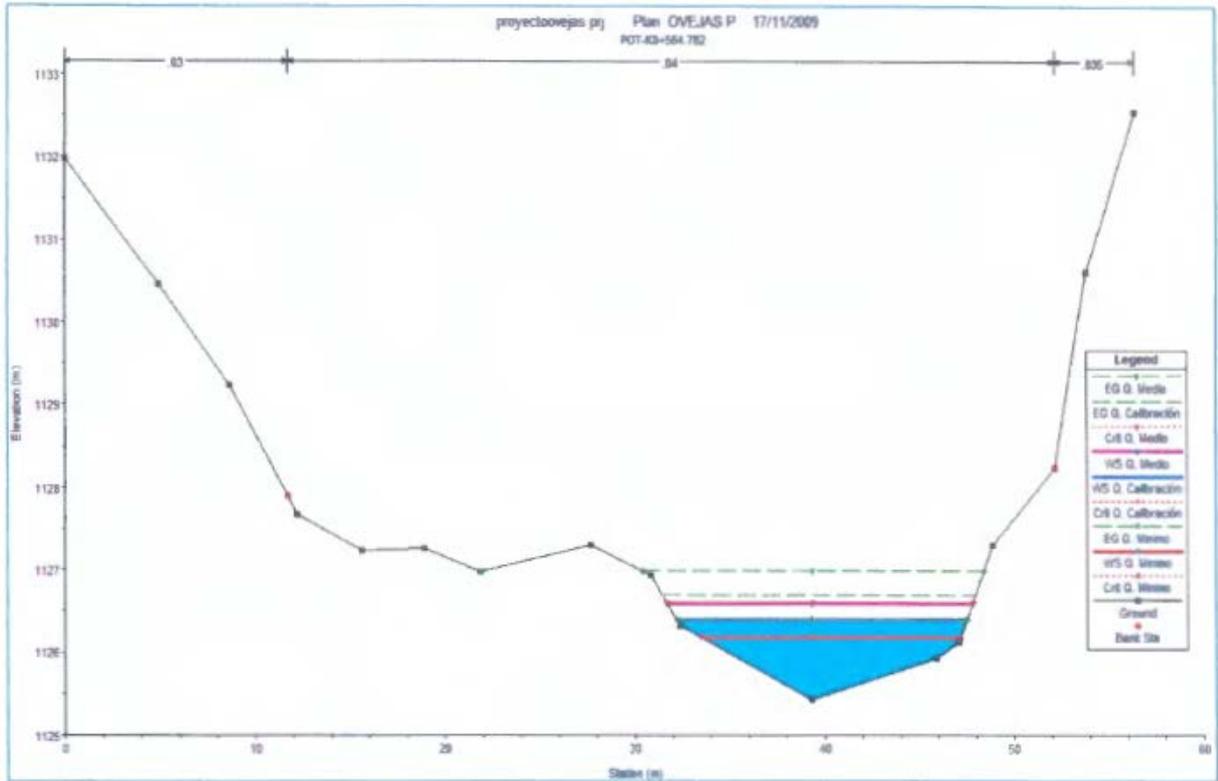


Figura 29. Sección transversal 6, ubicada aguas abajo de la sección de construcción de la presa.



### 6.5.2.1 Determinación de curvatura máxima

La curvatura máxima, permite determinar el punto equivalente al perímetro mojado que corresponde al caudal ambiental, esta determinación depende de la geometría del canal y la pendiente.

Para el presente estudio, se trabajó con una geometría que se asemeja a la rectangular, ajustando el modelo a una función logarítmica, cuya ecuación dio como resultado:

$$y = 3.2898 \ln(x) + 5.6507 \tag{6.1}$$

Reemplazando esta ecuación en la fórmula de curvatura se tiene:

$$k = \frac{\left| \frac{-3.2898}{Q^2} \right|}{\left[ 1 + \left( \frac{3.2898}{Q} \right)^2 \right]^{3/2}}, k = \text{curvatura} \tag{6.2}$$

Luego, derivando la ecuación 5.14 con respecto al caudal e igualando a cero se obtiene la curvatura máxima:

$$\left( \frac{\left| \left( \frac{2a}{Q^3} \right) \left[ 1 + \left( \frac{a}{Q} \right)^2 \right]^{3/2} - \left( \frac{3a^3}{Q^5} \right) \left[ 1 + \left( \frac{a}{Q} \right)^2 \right]^{1/2} \right|}{\left( \left[ 1 + \left( \frac{a}{Q} \right)^2 \right]^{3/2} \right)^2} \right) = 0 \quad (6.3)$$

$$\left( \frac{\left| \left( \frac{2a}{Q^3} \right) \left[ 1 + \left( \frac{a}{Q} \right)^2 \right] - \left( \frac{3a^3}{Q^5} \right) \right|}{\left[ 1 + \left( \frac{a}{Q} \right)^2 \right]^{5/2}} \right) = 0 \quad (6.4)$$

$$\frac{2a}{Q^3} + \frac{2a^3}{Q^5} - \frac{3a^3}{Q^5} = 0 \quad (6.5)$$

$$2aQ^2 - a^3 = 0 \quad (6.6)$$

Donde se obtiene que:  $Q = \frac{\sqrt{2}}{2} * a$ , Siendo:  $a = 3.2898$  (6.7)

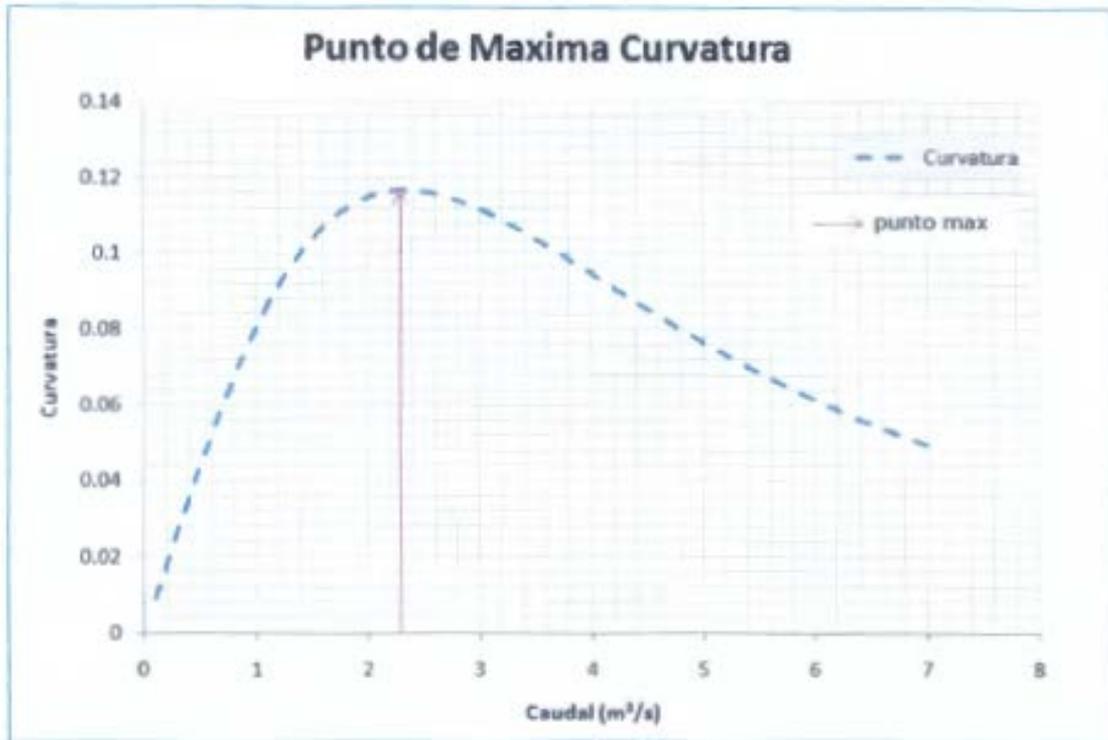
Luego  $Q = 2.3 \left( m^3/s \right)$

Para determinar la curvatura máxima gráficamente, se tabulan los valores del caudal, y se reemplazan en la fórmula (6.7), como se muestra a continuación:

$$k = \frac{\left| \frac{-3.2898}{(2.3)^2} \right|}{\left[ 1 + \left( \frac{3.2898}{2.3} \right)^2 \right]^{3/2}} \quad (6.8)$$

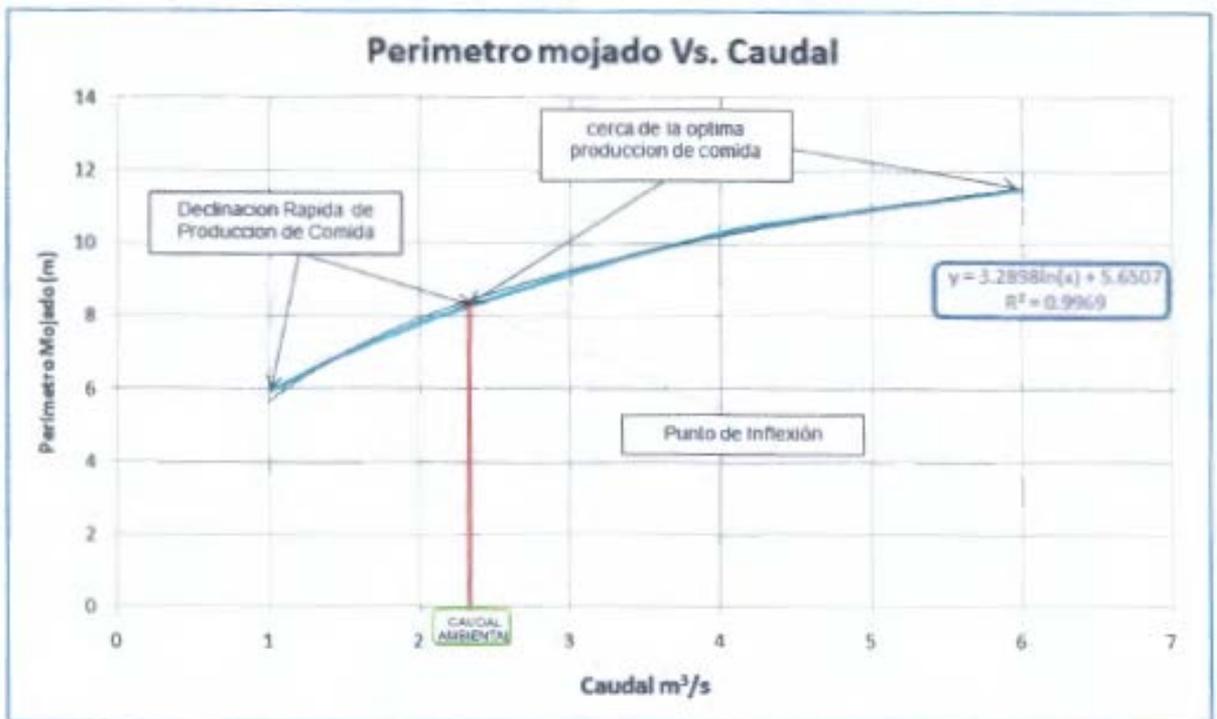
$$k = 0.116988$$

Figura 30. Determinación del punto de máxima curvatura gráficamente para calcular el caudal ambiental.



Basados en el rango de valores de caudales obtenidos por la metodología de EE.PP.M y el programa HEC-RAS 4.0, se realizó la gráfica perímetro mojado vs. caudal en la sección 6, Figura 31, la cual se encuentra en el tramo donde el caudal será drásticamente reducido al construir la presa.

Figura 31. Curva para la determinación del caudal ambiental por el método de los transectos, sección 6, aguas abajo de la presa.

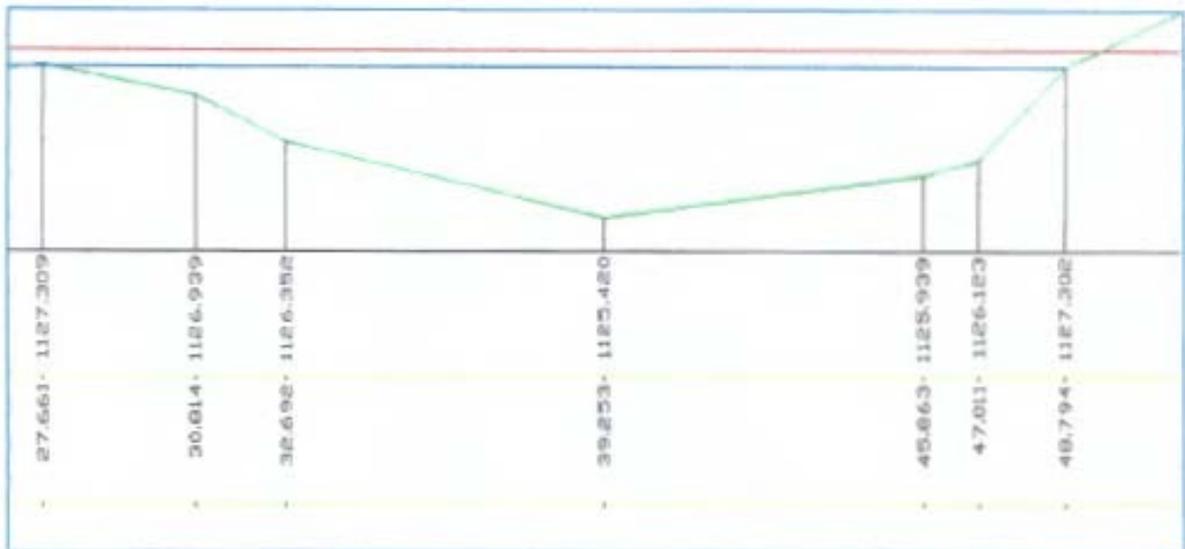


El caudal ambiental encontrado en esta sección fue de 2.3 m<sup>3</sup>/s con un perímetro mojado de 8.25 m; éste valor representa las condiciones mínimas que el ecosistema debe mantener, una vez ejecutado el proyecto de desviación y así garantizar las necesidades alimenticias y de hábitat del tramo afectado. Este caudal es cercano al valor mínimo encontrado con la metodología de las Empresas Públicas de Medellín, Cuadro 21, el cual fue de 2.51 m<sup>3</sup>/s y se encuentra en el tramo de la grafica, donde la producción de comida es óptima y asciende constantemente hasta su punto de máxima producción. Además hay que tener en cuenta que los valores mensuales de caudal ambiental encontrado por la metodología de las EE.PP.M, Figura 26, son mayores al punto de inflexión de la gráfica, garantizando el desarrollo de las especies ícticas.

Dada la similitud de los resultados en condiciones críticas, es posible establecer un rango de los valores mínimos a tener en cuenta, para la estimación del caudal ambiental en la zona de estudio.

El canal del río, Figura 32, se ajustó a una geometría rectangular, teniendo en cuenta el levantamiento topográfico en la sección transversal 6 del río Ovejas, haciendo referencia a la Figura 7 propuesta por el método de Gippel y Stewardson.

Figura 32. Geometría de la sección transversal 6, en Autocad 2009.



La Figura 31, presenta el caudal mínimo que debe permanecer en el río al construir la presa, puesto que valores menores a  $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , no ofrecerían las condiciones óptimas para la biota acuática, presentándose una declinación rápida de la producción de comida, donde el régimen de flujo solamente abastecería a pocas poblaciones de especie ícticas presentes (Leathe S y Nelson, F. 1986).

La calidad del agua también es un factor a tener en cuenta cuando exista la reducción de caudales, dado que una disminución del perímetro mojado y del caudal, aumentaría la DBO y disminuiría la cantidad de OD surgiendo algunas familias de macroinvertebrados, indicadoras de mala calidad, igualmente éstas variaciones afectarían notablemente las poblaciones ícticas del tramo de estudio.

Los cuadros 22, 23, 24 y 25, permiten realizar una comparación de forma cuantitativa de los niveles de agua después de la presa y de la desembocadura de la quebrada Los Cafés para el caudal ambiental de  $2.51 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si el proyecto se ejecutara con  $2.51 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor calculado por la metodología de las Empresas Públicas de Medellín, el río tendría una recuperación del perímetro mojado de 10.16 m, así como un aumento de  $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$  en el caudal, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Los Cafés. También se puede observar que si el caudal ambiental fuera de  $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor calculado por la metodología de los transectos, el río presentaría una recuperación del perímetro mojado de 10.19 m, en esta misma sección.

Teniendo en cuenta el concepto de la metodología de los transectos, se puede afirmar que el perímetro mojado mínimo que debe tener el río para garantizar las condiciones biogénicas del mismo es de 8.25 m. En estas condiciones, el río

tendría la capacidad de generar el alimento suficiente para el sustento y desarrollo de las poblaciones ícticas que habitan el tramo crítico; por esta razón, el valor mínimo de caudal ambiental a estimar para la ejecución del trasvase se encontraría entre 2.3 y 2.51 m<sup>3</sup>/s.

En este estudio, el aporte de agua por parte de la quebrada Los Cafés es fundamental para la recuperación del ecosistema, ya que ésta contribuye a que se generen perímetros mojados mayores a 8.25 m. Estos datos podrían variar, ya que el río Ovejas cuenta con drenajes permanentes e intermitentes de pequeñas micro cuencas, que aportan caudal al río hasta llegar a la desembocadura en el río Cauca, además la geomorfología de la cuenca, permite el aporte de agua por escorrentía.

En el proyecto de “Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del río Ovejas en el área de influencia del trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales”, se realizó el cálculo del caudal ambiental según el criterio del IDEAM, el cual está definido como el 25% del caudal medio mensual mínimo, a partir de datos de precipitación de los últimos 20 años suministrados por EPSA, el equipo de trabajo realizó la generación de caudales, encontrando un caudal mínimo de 10.3 m<sup>3</sup>/s, equivalente a un caudal ambiental de 2.58 m<sup>3</sup>/s; este valor se acerca a los caudales calculados por las metodologías anteriormente planteadas, complementando los estudios realizados.

*Cuadro 22. Parámetros hidráulicos de la sección 7 del río Ovejas, aguas abajo de la presa con el caudal ambiental mínimo de EE.PP.M.*

| Plan: plan3 OVEJAS HATO RS: 7 Profile: Q EPM min |          |                      |         |         |          |
|--|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                    | 1126.67  | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                     | 0.06     | Wt. n-Val.           | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                    | 1126.61  | Reach Len. (m)       | 15.56   | 15.9    | 16.36    |
| Crit W.S. (m)                                    | 1126.48  | Flow Area (m2)       |         | 2.32    |          |
| E.G. Slope (m/m)                                 | 0.008456 | Area (m2)            |         | 2.32    |          |
| Q Total (m3/s)                                   | 2.51     | Flow (m3/s)          |         | 2.51    |          |
| Top Width (m)                                    | 7.07     | Top Width (m)        |         | 7.07    |          |
| Vel Total (m/s)                                  | 1.08     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 1.08    |          |
| Max Chl Dpth (m)                                 | 0.66     | Hydr. Depth (m)      |         | 0.33    |          |
| Conv. Total (m3/s)                               | 27.3     | Conv. (m3/s)         |         | 27.3    |          |
| Length Wtd. (m)                                  | 15.9     | Wetted Per. (m)      |         | 7.19    |          |
| Min Ch El (m)                                    | 1125.95  | Shear (N/m2)         |         | 26.76   |          |
| Alpha  | 1        | Stream Power (N/m s) |         | 28.95   |          |
| Frctn Loss (m)                                   | 0.06     | Cum Volume (1000 m3) |         | 0.61    |          |
| C & E Loss (m)                                   | 0.01     | Cum SA (1000 m2)     |         | 0.57    |          |

**Cuadro 23. Parámetros hidráulicos de la sección 4 del río Ovejas, aguas abajo de la quebrada Los Cafés con el caudal ambiental mínimo de EE.PP.M.**

| Plan: plan3 Ovejas1 Hato RS: 4 Profile: Q EPM min |          |                      |         |         |          |
|---|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                     | 1126.56  | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)                                      | 0        | Wt. n-Val.           | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                     | 1126.56  | Reach Len. (m)       | 18.79   | 16.4    | 13.84    |
| Crit W.S. (m)                                     | 1125.96  | Flow Area (m2)       |         | 9.43    |          |
| E.G. Slope (m/m)                                  | 0.000351 | Area (m2)            |         | 9.43    |          |
| Q Total (m3/s)                                    | 2.94     | Flow (m3/s)          |         | 2.94    |          |
| Top Width (m)                                     | 17.16    | Top Width (m)        |         | 17.16   |          |
| Vel Total (m/s)                                   | 0.31     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 0.31    |          |
| Max Chl Dpth (m)                                  | 1.12     | Hydr. Depth (m)      |         | 0.55    |          |
| Conv. Total (m3/s)                                | 157.1    | Conv. (m3/s)         |         | 157.1   |          |
| Length Wtd. (m)                                   | 16.4     | Wetted Per. (m)      |         | 17.35   |          |
| Min Ch El (m)                                     | 1125.44  | Shear (N/m2)         |         | 1.87    |          |
| Alpha   | 1        | Stream Power (N/m s) |         | 0.58    |          |
| Frctn Loss (m)                                    | 0.01     | Cum Volume (1000 m3) |         | 0.53    |          |
| C & E Loss (m)                                    | 0        | Cum SA (1000 m2)     |         | 2.28    |          |

**Cuadro 24. Parámetros hidráulicos de la sección 7 del río Ovejas, aguas abajo de la presa con el caudal ambiental calculado por la metodología de los transectos.**

| Plan: plan3 OVEJAS HATO RS: 7 Profile: Q transectos |         |                      |         |         |          |
|---|---------|----------------------|---------|---------|----------|
| E.G. Elev (m)                                       | 1126.65 | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
| Vel Head (m)  | 0.05    | Wt. n-Val.           | 0.03    | 0.04    | 0.035    |
| W.S. Elev (m)                                       | 1126.59 | Reach Len. (m)       | 15.56   | 15.9    | 16.36    |
| Crit W.S. (m)                                       | 1126.47 | Flow Area (m2)       |         | 2.21    |          |
| E.G. Slope (m/m)                                    | 0.00805 | Area (m2)            |         | 2.21    |          |
| Q Total (m3/s)                                      | 2.3     | Flow (m3/s)          |         | 2.3     |          |
| Top Width (m)                                       | 6.9     | Top Width (m)        |         | 6.9     |          |
| Vel Total (m/s)                                     | 1.04    | Avg. Vel. (m/s)      |         | 1.04    |          |
| Max Chl Dpth (m)                                    | 0.64    | Hydr. Depth (m)      |         | 0.32    |          |
| Conv. Total (m3/s)                                  | 25.6    | Conv. (m3/s)         |         | 25.6    |          |
| Length Wtd. (m)                                     | 15.9    | Wetted Per. (m)      |         | 7.02    |          |
| Min Ch El (m)                                       | 1125.95 | Shear (N/m2)         |         | 24.88   |          |
| Alpha   | 1       | Stream Power (N/m s) |         | 25.85   |          |
| Frctn Loss (m)                                      | 0.05    | Cum Volume (1000 m3) |         | 0.6     |          |
| C & E Loss (m)                                      | 0.01    | Cum SA (1000 m2)     |         | 0.56    |          |

*Cuadro 25. Parámetros hidráulicos de la sección 4 del río Ovejas, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Los Cafés con el caudal ambiental calculado por la metodología de los transectos.*

| Plan: plan3 Ovejas1 Hato RS: 4 Profile: Q transectos |          |                             |                |                |                 |
|--|----------|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| <b>E.G. Elev (m)</b>                                 | 1126.55  | <b>Element</b>              | <b>Left OB</b> | <b>Channel</b> | <b>Right OB</b> |
| <b>Vel Head (m)</b>                                  | 0        | <b>Wt. n-Val.</b>           | 0.03           | 0.04           | 0.035           |
| <b>W.S. Elev (m)</b>                                 | 1126.54  | <b>Reach Len. (m)</b>       | 18.79          | 16.4           | 13.84           |
| <b>Crit W.S. (m)</b>                                 | 1125.95  | <b>Flow Area (m2)</b>       |                | 9.24           |                 |
| <b>E.G. Slope (m/m)</b>                              | 0.000321 | <b>Area (m2)</b>            |                | 9.24           |                 |
| <b>Q Total (m3/s)</b>                                | 2.73     | <b>Flow (m3/s)</b>          |                | 2.73           |                 |
| <b>Top Width (m)</b>                                 | 17.02    | <b>Top Width (m)</b>        |                | 17.02          |                 |
| <b>Vel Total (m/s)</b>                               | 0.3      | <b>Avg. Vel. (m/s)</b>      |                | 0.3            |                 |
| <b>Max Chl Dpth (m)</b>                              | 1.1      | <b>Hydr. Depth (m)</b>      |                | 0.54           |                 |
| <b>Conv. Total (m3/s)</b>                            | 152.7    | <b>Conv. (m3/s)</b>         |                | 152.7          |                 |
| <b>Length Wtd. (m)</b>                               | 16.4     | <b>Wetted Per. (m)</b>      |                | 17.21          |                 |
| <b>Min Ch El (m)</b>                                 | 1125.44  | <b>Shear (N/m2)</b>         |                | 1.69           |                 |
| <b>Alpha</b>   | 1        | <b>Stream Power (N/m s)</b> |                | 0.5            |                 |
| <b>Frctn Loss (m)</b>                                | 0.01     | <b>Cum Volume (1000 m3)</b> |                | 0.51           |                 |
| <b>C &amp; E Loss (m)</b>                            | 0        | <b>Cum SA (1000 m2)</b>     |                | 2.23           |                 |

## 7. CONCLUSIONES

- ✓ Según los índices ICA, ICO y BMWP/Colombia, la calidad del agua es aceptable, presentándose características de aguas medianamente contaminadas.
- ✓ El parámetro fisicoquímico más significativo que afecta la calidad del agua, son los sólidos totales, debido a las actividades antrópicas de la zona y la escorrentía.
- ✓ Según la metodología de las EE.PP.M, el régimen de caudal ambiental para cada la zona de estudio es:

| Mes       | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $m^3 / s$ | 6.81 | 6.77 | 7.07 | 7.25 | 7.59 | 5.33 | 3.49 | 2.73 | 2.51 | 2.96 | 5.51 | 7.32 |

- ✓ Para épocas de bajo régimen pluviométrico se obtuvo un caudal de 2.51  $m^3/s$ , mes de septiembre y para épocas de alto régimen pluviométrico se obtuvo un caudal de 7.59  $m^3/s$ , mes de mayo. Según la metodología de EE.PP.M.
- ✓ Según la metodología de los transectos, el caudal ambiental es de 2.3  $m^3/s$  con un perímetro mojado de 8.25 m, estos datos garantizan las condiciones biogénicas del río Ovejas.
- ✓ El río Ovejas presenta una recuperación del perímetro mojado y caudal aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Los Cafés de 10.16 m y 10.19, con la metodología de EE.PP.M y de los transectos respectivamente, superando los 8.25 m mínimos a tener en cuenta en el cauce, para garantizar el alimento a las poblaciones ícticas.
- ✓ El criterio del IDEAM, adoptando los caudales suministrados por EPSA, dio como resultado un caudal medio mensual mínimo de 10.3  $m^3/s$ , siendo el 25% de este caudal igual a 2.58  $m^3/s$  el cual es equivalente al caudal ambiental y se asemeja a los valores obtenidos por las metodologías planteadas en este estudio.

## 8. RECOMENDACIONES

- ✓ Para la estimación del caudal ambiental se utilizó la metodología de los transectos y la metodología de las Empresas Publicas de Medellín (EE.PP.M). Dado que los resultados fueron cercanos, presentándose un rango mínimo entre 2.3 y 2.51 m<sup>3</sup>/s, se recomienda utilizar la metodología de EE.PP.M, debido a que ésta ofrece un régimen de caudal ambiental mensual, lo que permite adecuar el caudal en la descarga de fondo de la presa, según las necesidades del río y las condiciones meteorológicas de la zona de estudio. Además esta metodología tiene en cuenta factores socioeconómicos, fisicoquímicos y biológicos, que han sido considerados en el presente estudio.
- ✓ Dado que la recuperación del río solo se presenta después de la desembocadura de la quebrada Los Cafés, que aporta 0.43 m<sup>3</sup>/s, es necesario realizar actividades de mitigación en el tramo crítico, desde la sección 9.1, sitio de presa, hasta la sección 6, desembocadura de la quebrada los Cafés, donde se presenta una reducción drástica del caudal del río.
- ✓ Según el diagnostico de calidad del agua del río Ovejas, en la construcción de la presa para el proyecto de trasvase, es necesario tener en cuenta el manejo de sólidos, ya que éstos pueden afectar la vida útil de la presa y la producción de energía en el embalse La Salvajina.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ BENETTI, A. LANNA, E y SALETE, M. Metodologías para la determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de recursos hídricos. Vol 8, Nº 2 abril/junio. Brasil. 2003. [Fecha de consulta: agosto de 2009]. Disponible en: <http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/artigos/v8/v8n2/metodologias.pdf>
- ✓ CASTRO, L. Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. Universidad Javeriana Colombia. 2006. Disponible en: <http://ingenieriauniversidad.javeriana.edu.co/Rev1002CaudalAmbiental.pdf>
- ✓ DIEZ, J y BURBANO, L. Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. Ingeniería e Investigación. Vol.26, Nº1. Jan./Apr. Bogotá. Colombia. 2006. [Fecha de consulta: mayo de 2009]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092006000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092006000100008&script=sci_arttext)
- ✓ DOUROJEANNI, A. JOURAVLEV, A y CHÁVEZ, G. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. SERIE Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL. Nº 47. Agosto. Chile. 2002. Pág. 28-69.
- ✓ DYSON, M. BERGKAMP, G Y SCANLON, J. Caudal. Elementos esenciales de caudales ambientales. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Costa Rica. 2003. [Fecha de consulta: agosto de 2009]. Disponible en: <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2003-021-Es.pdf>
- ✓ EDWARDS, C y PENNEY, D. Calculo y geometría analítica. Segunda edición. Prentice hall – Hispanoamérica. Mexico.1987. Pág. 699-705.
- ✓ FERNANDEZ, N y SOLANO, F. Índices de calidad y de contaminación del agua. Capítulo I, III. Universidad de Pamplona, Colombia. 2007. Pág. 3-27; 105-108.

- ✓ GIPPEL, C y STEWARDSON, M. "Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows". Regulated rivers: research & management 14. (1998): 53 - 67 [Fecha de consulta: diciembre de 2009]. Disponible en: [http://www.uri.edu/cels/nrs/whl/Teaching/nrs592/2009/Class%207%20Case%20Study%20RI%20\(Methods\)/Gippel%20wetted%20perimeter%20and%20sustainable%20flows%201998.pdf](http://www.uri.edu/cels/nrs/whl/Teaching/nrs592/2009/Class%207%20Case%20Study%20RI%20(Methods)/Gippel%20wetted%20perimeter%20and%20sustainable%20flows%201998.pdf)
  
- ✓ GONZALEZ, L.J. Hidrología. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia 2008. 337p.
  
- ✓ GRECCO, A. Metodología para la determinación de los caudales de garantía ambiental Empresas Publicas de Medellín, Colombia. 2004. Pág 27.
  
- ✓ Leathe S, y Nelson, F. Montana's wetted perimeter inflection point method. 1986. [Fecha de consulta: diciembre de 2009]. Disponible en: [http://dnrc.mt.gov/rwrcc/Compacts/usdacompact/wetted\\_perimeter.pdf](http://dnrc.mt.gov/rwrcc/Compacts/usdacompact/wetted_perimeter.pdf)
  
- ✓ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Colombia. Ley 99/93 DECRETO No.1729 DE 2002. Capítulo 1. Disposiciones generales. [Fecha de consulta: junio de 2009]. Disponible en: [http://www1.minambiente.gov.co/juridica\\_normatividad/normatividad/viceministerio\\_ambiente/agua\\_potable\\_saneamiento/Grupo%20-%20Recurso%20H%C3%ADrico/NORMATIVIDAD%20VIGENTE/Dec\\_1729\\_060802.pdf](http://www1.minambiente.gov.co/juridica_normatividad/normatividad/viceministerio_ambiente/agua_potable_saneamiento/Grupo%20-%20Recurso%20H%C3%ADrico/NORMATIVIDAD%20VIGENTE/Dec_1729_060802.pdf)
  
- ✓ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Colombia Ley 99 /93 Título VIII Decreto 1180 de 2003 y 1220 de 2005. [Fecha de consulta: junio de 2009]. Disponible en: [http://www.igac.gov.co:8080/igac\\_web/UserFiles/File/Leyes/Ley99-1993.doc](http://www.igac.gov.co:8080/igac_web/UserFiles/File/Leyes/Ley99-1993.doc)
  
- ✓ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Colombia Resolución número 0865 (Julio 22 de 2004) [Fecha de consulta: junio de 2009]. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pdf/otros/regulaciones\\_uso\\_agua/res\\_0865\\_22\\_07\\_2004.pdf](http://www.cenicana.org/pdf/otros/regulaciones_uso_agua/res_0865_22_07_2004.pdf)
  
- ✓ MINISTERIO DE MINAS Y DE ENERGIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. (UPME). Colombia. [Fecha de consulta: junio de 2009]. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/generador\\_consultas/consulta\\_indicador.aspx?Ind=3](http://www.upme.gov.co/generador_consultas/consulta_indicador.aspx?Ind=3)

- ✓ MORI, M. Simulación hidráulica aplicada, usando HEC-RAS. Universidad Nacional. Chiclayo, Perú. [Fecha de consulta: julio de 2009]. Disponible en: <http://www.gabrielortiz.com/descargas/manual-hecras.pdf>
- ✓ NELSON, F. Evaluation of four instream flow methods applied to four trout rivers in southwest Montana. Montana department of fish, wildlife and parks. EUA.1980. Pág: 2, 3, 79, 92, 94.
- ✓ Ramirez, A. y Viña, G. (1998). Limnología Colombiana. Aporte a su conocimiento y estadísticas de análisis. Pág 50-60
- ✓ UNIVERSIDAD DEL CAUCA (CENTRO DE INVESTIGACIONES Y SERVICION, GRUPO DE ESTUDIOS AMBIENTALES) – CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Estudio de efecto ambiental del proyecto de desviación del río Ovejas. Popayán, 1993.
- ✓ UNIVERSIDAD DEL CAUCA – EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO, S.A – EPSA. “Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del río Ovejas en el área de influencia del trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales”. Popayán, 2009.
- ✓ US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). Institute for water resourcers. Hidrologic Engineers Center. Davis C.A, Estados Unidos. 2008. Fecha de consulta: julio de 2009]. Disponible en: [www.hec.usace.army.mil/](http://www.hec.usace.army.mil/)
- ✓ ZAMORA, H. El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad el agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. Universidad el Cauca. Popayán, Colombia 2007.

## ANEXOS

### ANEXO A. Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico – BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System). Adaptación para Colombia (ZAMORA, H. 2007).

| Ordenes   | Familias  | Puntaje |
|---|---|---------|
| Plecoptera<br>Ephemeroptera<br>Trichoptera  | Perlidae.<br>Oligoneuridae, Euthyplociidae, Polymarcyidae.<br>Odonoceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae,<br>Calamoceratidae, Hydroptilidae, Anomalopsychidae,<br>Atriplectididae.<br>Psephenidae, Ptilodactylidae, Lampyridae.  | 10      |
| Coleoptera<br>Odonata<br>Diptera<br>Unionida<br><i>Acanthi</i><br>Hidroida  | Polythoridae.<br>Blepharoceridae.<br>Unionidae. (Cl: Bivalvia o Pelecypoda).<br>Lymnessiidae. (Cl: Arachnoidea o Hidracarina).<br>Hidridae. (Cl: Hydrozoa).   |         |
| Ephemeroptera<br>Trichoptera<br>Coleoptera<br>Odonata<br>Diptera<br>Gordioidea<br><i>Lepidoptera</i><br>Mesogastropoda<br>Hirudiniiformes | Leptophlebiidae, Efemeridae.<br>Hydrobiosidae, Philopotamidae, Xiphocentronidae.<br>Gyrinidae, Scirtidae.<br>Gomphidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae.<br>Simuliidae.<br>Gordiidae, Chordodidae. (Cl: Nematomorpha).<br>Pyrilidae.<br>Ampullariidae. (Cl: Gastropoda).<br>Hirudinae. (Cl: Hirudinea). | 9       |
| Ephemeroptera<br>Trichoptera<br>Coleoptera<br>Odonata<br>Hemiptera<br>Diptera<br>Decápoda<br>Basommatophora                               | Baetidae, Caenidae.<br>Hydropsychidae, Leptoceridae, Helicopsychidae.<br>Dytiscidae, Dryopidae.<br>Lestidae, Calopterygidae.<br>Pleidae, Saldidae, Guerridae, Veliidae, Hebridae.<br>Dixidae.<br>Palaemonidae, Pseudohelmsidae. (Cl Crustacea).<br>Chilinnidae. (Cl: Gastropoda).                         |         |
| Ephemeroptera<br>Trichoptera<br>Coleoptera<br>Odonata<br>Hemiptera<br>Diptera<br>Basommatophora<br>Mesogastropoda<br>Archeogastropoda     | Tricorythidae, Leptohyphidae.<br>Polycentropodidae.<br>Elmidae, Staphylinidae.<br>Aeshnidae.<br>Naucoridae, Notonectidae, Mesoselidae, Corixidae.<br>Psychodidae.<br>Ancylidae, Planorbidae. (Cl: Gastropoda).<br>Melaniidae, Hydrobiidae, (Cl: Gastropoda).<br>Neritidae. (Cl: Gastropoda)               | 7       |
| Coleoptera<br>Odonata<br>Hemiptera<br><br>Diptera<br>Megalóptera<br><i>Decapoda</i><br><i>Anphipoda</i><br><i>Tricladida</i>              | Limnichidae, Lutrochidae.<br>Libellulidae.<br>Belostomatidae, Hydrometridae, Gelastocoridae,<br>Nepidae.<br>Dolichopodidae.<br>Corydalidae, Sialidae.<br>Atyidae. (Cl Crustacea).<br>Hyalellidae. (Cl Crustacea).<br>Planariidae, Dugesidae.  |         |

ANEXO A. Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico – BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System), (Continuación). Adaptación para Colombia (ZAMORA, H. 2007).

| Ordenes                   | Familias  | Puntaje |
|---------------------------|---|---------|
| <i>Coleóptera</i>         | Chrysomelidae, Haliplidae, Curculiónidae.         | 5       |
| <i>Diptera</i>            | Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae.              |         |
| Basommatophora            | Thiaridae. (Cl: Gastrópoda).                      | 4       |
| <i>Coleoptera</i>         | Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae, Noteridae. |         |
| <i>Diptera</i>            | Tipulidae, Ceratopogonidae.                       |         |
| <i>Basommatophora</i>     | Limnaeidae, Sphaeridae. (Cl: Gastrópoda).         | 3       |
| <i>Diptera</i>            | Culícidae, Muscidae, Sciomizidae.                 |         |
| <i>Basommatophora</i>     | Physidae. (Cl: Gastrópoda).                       | 3       |
| <i>Glossiphoniiformes</i> | Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Cylicobdellidae. |         |
| <i>Diptera</i>            | Chironomidae, Ephydriidae, Syrphidae.             | 2       |
| <i>Haplotaaxida</i>       | Todas las familias (Excepto tubifex).             |         |
| <i>Haplotaaxida</i>       | Tubificidae (Tubifex).                            | 1       |

**ANEXO B. Datos de curva de gastos para la estación limnimétrica Los Cábmulos suministrado por CVC.**

| <b>Altura (m)</b> | <b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 0.40              | 4.4                             | 0.79              | 15.42                           | 1.18              | 34.76                           |
| 0.41              | 4.58                            | 0.8               | 15.8                            | 1.19              | 35.38                           |
| 0.42              | 4.76                            | 0.81              | 16.22                           | 1.2               | 36                              |
| 0.43              | 4.94                            | 0.82              | 16.64                           | 1.21              | 36.75                           |
| 0.44              | 5.12                            | 0.83              | 17.06                           | 1.22              | 37.5                            |
| 0.45              | 5.3                             | 0.84              | 17.48                           | 1.23              | 38.25                           |
| 0.46              | 5.48                            | 0.85              | 17.9                            | 1.24              | 39                              |
| 0.47              | 5.66                            | 0.86              | 18.32                           | 1.25              | 39.75                           |
| 0.48              | 5.84                            | 0.87              | 18.74                           | 1.26              | 40.5                            |
| 0.49              | 6.02                            | 0.88              | 19.16                           | 1.27              | 41.25                           |
| 0.5               | 6.2                             | 0.89              | 19.58                           | 1.28              | 42                              |
| 0.51              | 6.48                            | 0.9               | 20                              | 1.29              | 42.75                           |
| 0.52              | 6.76                            | 0.91              | 20.42                           | 1.3               | 43.5                            |
| 0.53              | 7.04                            | 0.92              | 20.84                           | 1.31              | 44.38                           |
| 0.54              | 7.32                            | 0.93              | 21.26                           | 1.32              | 45.26                           |
| 0.55              | 7.6                             | 0.94              | 21.68                           | 1.33              | 46.14                           |
| 0.56              | 7.88                            | 0.95              | 22.1                            | 1.34              | 47.02                           |
| 0.57              | 8.16                            | 0.96              | 22.52                           | 1.35              | 47.9                            |
| 0.58              | 8.44                            | 0.97              | 22.94                           | 1.36              | 48.78                           |
| 0.59              | 8.72                            | 0.98              | 23.36                           | 1.37              | 49.66                           |
| 0.6               | 9                               | 0.99              | 23.78                           | 1.38              | 50.54                           |
| 0.61              | 9.3                             | 1                 | 24.2                            | 1.39              | 51.42                           |
| 0.62              | 9.6                             | 1.01              | 24.76                           | 1.4               | 52.3                            |
| 0.63              | 9.9                             | 1.02              | 25.32                           | 1.41              | 53.08                           |
| 0.64              | 10.2                            | 1.03              | 25.88                           | 1.42              | 53.86                           |
| 0.65              | 10.5                            | 1.04              | 26.44                           | 1.43              | 54.64                           |
| 0.66              | 10.8                            | 1.05              | 27                              | 1.44              | 55.42                           |
| 0.67              | 11.1                            | 1.06              | 27.56                           | 1.45              | 56.2                            |
| 0.68              | 11.4                            | 1.07              | 28.12                           | 1.46              | 56.98                           |
| 0.69              | 11.7                            | 1.08              | 28.68                           | 1.47              | 57.76                           |
| 0.7               | 12                              | 1.09              | 29.24                           | 1.48              | 58.24                           |
| 0.71              | 12.38                           | 1.1               | 29.8                            | 1.49              | 59.32                           |
| 0.72              | 12.76                           | 1.11              | 30.42                           | 1.5               | 60.1                            |
| 0.73              | 13.14                           | 1.12              | 31.04                           | 1.51              | 61                              |
| 0.74              | 13.52                           | 1.13              | 31.66                           | 1.52              | 61.9                            |
| 0.75              | 13.9                            | 1.14              | 32.28                           | 1.53              | 62.8                            |
| 0.76              | 14.28                           | 1.15              | 32.9                            | 1.54              | 63.7                            |
| 0.77              | 14.66                           | 1.16              | 33.52                           | 1.55              | 64.6                            |
| 0.78              | 15.04                           | 1.17              | 34.14                           | 1.56              | 65.5                            |

ANEXO B. Datos de curva de gastos para la estación limnimétrica Los Cábmulos suministrados por CVC, (Continuación).

| Altura (m) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) |
|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| 1.57       | 66.4                       | 1.98       | 104.6                      | 2.39       | 145.13                     | 2.8        | 193.2                      | 3.21       | 250.46                     |
| 1.58       | 67.3                       | 1.99       | 105.55                     | 2.4        | 146.1                      | 2.81       | 194.59                     | 3.22       | 252.02                     |
| 1.59       | 68.2                       | 2          | 106.5                      | 2.41       | 147.18                     | 2.82       | 195.98                     | 3.23       | 253.58                     |
| 1.6        | 69.1                       | 2.01       | 107.5                      | 2.42       | 148.26                     | 2.83       | 197.37                     | 3.24       | 255.14                     |
| 1.61       | 70.07                      | 2.02       | 108.5                      | 2.43       | 149.34                     | 2.84       | 198.76                     | 3.25       | 256.7                      |
| 1.62       | 71.04                      | 2.03       | 109.5                      | 2.44       | 150.42                     | 2.85       | 200.15                     | 3.26       | 258.26                     |
| 1.63       | 72.01                      | 2.04       | 110.5                      | 2.45       | 151.5                      | 2.86       | 201.54                     | 3.27       | 259.82                     |
| 1.64       | 72.98                      | 2.05       | 111.5                      | 2.46       | 152.58                     | 2.87       | 202.93                     | 3.28       | 261.38                     |
| 1.65       | 73.95                      | 2.06       | 112.5                      | 2.47       | 153.66                     | 2.88       | 204.32                     | 3.29       | 262.94                     |
| 1.66       | 74.92                      | 2.07       | 113.5                      | 2.48       | 154.74                     | 2.89       | 205.71                     | 3.3        | 264.5                      |
| 1.67       | 75.89                      | 2.08       | 114.5                      | 2.49       | 155.82                     | 2.9        | 207.1                      | 3.31       | 266.06                     |
| 1.68       | 76.86                      | 2.09       | 115.5                      | 2.5        | 156.9                      | 2.91       | 208.49                     | 3.32       | 267.62                     |
| 1.69       | 77.83                      | 2.1        | 116.5                      | 2.51       | 157.97                     | 2.92       | 209.88                     | 3.33       | 269.18                     |
| 1.7        | 78.8                       | 2.11       | 117.5                      | 2.52       | 159.04                     | 2.93       | 211.27                     | 3.34       | 270.74                     |
| 1.71       | 79.72                      | 2.12       | 118.5                      | 2.53       | 160.11                     | 2.94       | 212.66                     | 3.35       | 272.3                      |
| 1.72       | 80.64                      | 2.13       | 119.5                      | 2.54       | 161.18                     | 2.95       | 214.05                     | 3.36       | 273.86                     |
| 1.73       | 81.56                      | 2.14       | 120.5                      | 2.55       | 162.25                     | 2.96       | 215.44                     | 3.37       | 275.42                     |
| 1.74       | 82.48                      | 2.15       | 121.5                      | 2.56       | 163.32                     | 2.97       | 216.83                     | 3.38       | 276.98                     |
| 1.75       | 83.4                       | 2.16       | 122.5                      | 2.57       | 164.39                     | 2.98       | 218.22                     | 3.39       | 278.54                     |
| 1.76       | 84.32                      | 2.17       | 123.5                      | 2.58       | 165.46                     | 2.99       | 219.61                     | 3.4        | 280.1                      |
| 1.77       | 85.24                      | 2.18       | 124.5                      | 2.59       | 166.53                     | 3          | 221                        |            |                            |
| 1.78       | 86.16                      | 2.19       | 125.5                      | 2.6        | 167.6                      | 3.01       | 222.39                     |            |                            |
| 1.79       | 87.08                      | 2.2        | 126.5                      | 2.61       | 168.89                     | 3.02       | 223.78                     |            |                            |
| 1.8        | 88                         | 2.21       | 127.49                     | 2.62       | 170.18                     | 3.03       | 225.17                     |            |                            |
| 1.81       | 88.9                       | 2.22       | 128.48                     | 2.63       | 171.47                     | 3.04       | 226.56                     |            |                            |
| 1.82       | 89.8                       | 2.23       | 129.47                     | 2.64       | 172.76                     | 3.05       | 227.95                     |            |                            |
| 1.83       | 90.7                       | 2.24       | 130.46                     | 2.65       | 174.05                     | 3.06       | 229.34                     |            |                            |
| 1.84       | 91.6                       | 2.25       | 131.45                     | 2.66       | 175.34                     | 3.07       | 230.73                     |            |                            |
| 1.85       | 92.5                       | 2.26       | 132.44                     | 2.67       | 176.63                     | 3.08       | 232.12                     |            |                            |
| 1.86       | 93.4                       | 2.27       | 133.43                     | 2.68       | 177.92                     | 3.09       | 233.51                     |            |                            |
| 1.87       | 94.3                       | 2.28       | 134.42                     | 2.69       | 179.21                     | 3.1        | 234.9                      |            |                            |
| 1.88       | 95.2                       | 2.29       | 135.41                     | 2.7        | 180.5                      | 3.11       | 236.3                      |            |                            |
| 1.89       | 96.1                       | 2.3        | 136.4                      | 2.71       | 181.77                     | 3.12       | 237.7                      |            |                            |
| 1.9        | 97                         | 2.31       | 137.37                     | 2.72       | 183.04                     | 3.13       | 239.1                      |            |                            |
| 1.91       | 97.95                      | 2.32       | 138.34                     | 2.73       | 184.31                     | 3.14       | 240.5                      |            |                            |
| 1.92       | 98.9                       | 2.33       | 139.31                     | 2.74       | 185.58                     | 3.15       | 241.9                      |            |                            |
| 1.93       | 99.85                      | 2.34       | 140.28                     | 2.75       | 186.85                     | 3.16       | 243.3                      |            |                            |
| 1.94       | 100.8                      | 2.35       | 141.25                     | 2.76       | 188.12                     | 3.17       | 244.7                      |            |                            |
| 1.95       | 101.75                     | 2.36       | 142.22                     | 2.77       | 189.39                     | 3.18       | 246.1                      |            |                            |
| 1.96       | 102.7                      | 2.37       | 143.19                     | 2.78       | 190.66                     | 3.19       | 247.5                      |            |                            |
| 1.97       | 103.65                     | 2.38       | 144.16                     | 2.79       | 191.93                     | 3.2        | 248.9                      |            |                            |

Anexo C. Parámetros fisicoquímicos del río Ovejas.

| PARAMETROS                | UNIDADES                             | 23 y 24 Oct/ 08 | 20 y 21 Nov/ 08 | 11 y 12 Dic/ 08 | 29 y 30 Ene/ 09 | 26 y 27 Feb/ 09 | 26 y 27 Mar/ 09 | 23 Y 24 Abr/ 09 | 28 Y 29 May/ 09 | 25 Y 26 Jun/ 09 | 23 Y 24 Jul/ 09 | 27 y 28 Agos/ 09 | 17 y 18 Sep/ 09 | Promedio | Desviación Estándar | Intervalo de Confianza |
|---------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------|---------------------|------------------------|
| Dureza Total              | mg CaCO <sub>3</sub> /L              | 17.8            | 40              | 40              | 40              | 17.8            | 35.6            | 21.36           | 26.7            | 28              | 24.92           | 26.7             | 24.92           | 28.65    | 8.3077              | 4.7004                 |
| Dureza Carbonácea         | mg CaCO <sub>3</sub> /L              | 16              | 40              | 40              | 40              | 17.8            | 30              | 17.8            | 21.36           | 22              | 20.9            | 24.92            | 21.36           | 26.0116  | 9.1686              | 5.1875                 |
| Nitritos                  | mg(NO <sub>2</sub> )/L               |                 |                 | 0.01            | 0.08            | 0.02            | 0.19            | 0.02            | 0.18            | 0.11            | 0.06            | 0.01             | 0.01            | 0.069    | 0.0699              | 0.0433                 |
| Nitratos                  | mg(NO <sub>3</sub> )/L               | 30              | 35              | 40              | 30              | 40              | 12              | 28              | 75              | 33              | 30              | 48               | 32              | 36.0833  | 14.9876             | 8.4798                 |
| Fosfatos                  | mg(PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )/L | 0.02            | 0.4             | 0.1             | 0.01            | 0.2             | 0.03            | 0.01            | 0.02            | 1               | 1               | 0.01             | 0.03            | 0.2358   | 0.3748              | 0.2120                 |
| Conductividad             | µMhos/cm                             | 52.4            | 30.02           | 42.6            | 40              | 46.2            | 36.7            | 26.7            | 30.2            | 29              | 87.4            | 68.8             | 64.5            | 46.21    | 18.8705             | 10.6768                |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/L                                 | 24.6            | 14.5            | 21              | 17.5            | 21.64           | 17.1            | 19.95           | 19.63           | 14.9            | 56.8            | 32.4             | 41.92           | 25.1616  | 12.6659             | 7.1662                 |
| Sólidos Totales (ST)      | mg/L                                 | 37.5            | 450             | 182.1           | 54              | 127.89          | 187.9           | 96.22           | 582.63          | 59.6            | 70.4            | 43.3             |                 | 171.9581 | 180.4101            | 106.6136               |
| Dem. Bioqui. de Oxígeno   | mgO/L                                | 29.7            | 1.87            | 3.7             | 6.5             | 4.19            | 12              | 7.92            | 4               | 3.89            | 4               | 2.84             | 2.87            | 6.9566   | 7.6781              | 4.3442                 |
| Dem. Quím de Oxígeno      | mgO/L                                | 55              | 90              | 145             | 235             | 95              | 107             | 71              | 163             | 110             | 82              | 71               | 422             | 137.1666 | 102.5278            | 58.0095                |
| Coliformes totales        | (NMP, microg./100ml)                 | 500             | 1600            | 200             | 1600            |                 | 1600            |                 | 1600            | 1600            | 300             | 1600             | 1600            | 1220     | 595.5898            | 369.1436               |
| Coliformes fecales        | (NMP, microg./100ml)                 |                 |                 |                 | 4               |                 | 23              |                 | 1               | 245             |                 | 6                | 7               | 47.6666  | 96.9776             | 77.5968                |
| Humedad Relativa          | %                                    |                 |                 | 94              |                 | 83              | 95              | 52              | 86              | 84              | 88              | 41               | 60              | 75.8888  | 19.6814             | 12.8583                |

Anexo C. Parámetros fisicoquímicos del río Ovejas.

| PARAMETROS                      | UNIDADES                | 23 y 24 Oct/ 08 | 20 y 21 Nov/ 08 | 11 y 12 Dic/ 08 | 29 y 30 Ene/ 09 | 26 y 27 Feb/ 09 | 26 y 27 Mar/ 09 | 23 Y 24 Abr/ 09 | 28 Y 29 May/ 09 | 25 Y 26 Jun/ 09 | 23 Y 24 Jul/ 09 | 27 y 28 Agos/ 09 | 17 y 18 Sep/ 09 | Promedio | Desviación Estándar | Intervalo de Confianza |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------|---------------------|------------------------|
| Hora                            | A.M                     | 10:00           | 11:30           | 10:00           | 11:15           | 10:15           | 11:15           | 10:00           | 10:10           | 10:30           | 10:00           | 9:30             | 10:30           |          |                     |                        |
| Temperatura Ambiental           | ° C                     | 24              | 23              | 23.3            | 22              | 23.2            | 23.1            | 24.3            | 25.1            | 23.3            | 25.1            | 29.3             | 25.3            | 24.25    | 1.8822              | 1.0649                 |
| Temperatura del Agua            | ° C                     | 20.4            | 19.9            | 19.3            | 19              | 19.8            | 19.4            | 18.7            | 20              | 20              | 20              | 20               | 20              | 19.708   | 0.4981              | 0.2818                 |
| Turbiedad                       | UNT                     | 16              | 243             | 98              | 42              | 54              | 210             | 40              | 88              | 62              | 25              | 60               | 296             | 102.833  | 93.3330             | 52.8071                |
| Sólidos Suspend. Totales        | mg/L                    | 12.9            | 435.5           | 161.1           | 36.5            | 106.25          | 170.8           | 76.27           | 563             | 44.4            | 13.6            | 10.9             | 304.4           | 161.301  | 181.677             | 102.7920               |
| Oxígeno Disuelto O <sub>2</sub> | mg OD/L                 | 8.06            | 8.1             | 8.19            | 8.5             | 8.19            | 8.25            | 7.98            | 7.83            | 9.51            | 7.3             | 8.28             | 8.7             | 8.240    | 0.5282              | 0.2989                 |
| % Saturación de oxígeno         | %                       | 102.8           | 102.4           | 102.1           | 100             | 103.1           | 103.1           | 85              | 80.2            | 101             | 82.6            | 105.3            | 95.7            | 96.941   | 9.0069              | 5.0960                 |
| pH                              | Unidades                | 7.86            | 7.42            | 7.6             | 7.6             | 7.53            | 7.27            | 7.9             | 7.07            | 7.3             | 6.3             | 7.68             | 8.2             | 7.477    | 0.4815              | 0.2724                 |
| Acidez Total                    | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 2               | 2.5             | 2.08            | 2               | 2               | 3               | 3               | 2               | 3.5             | 3.5             | 4                | 4               | 2.798    | 0.8038              | 0.4548                 |
| Alcalinidad Total               | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 22              | 50              | 55              | 40              | 50              | 50              | 40              | 50              | 80              | 40              | 40               | 40              | 46.416   | 13.6678             | 7.7331                 |

ANEXO D. Curva de frecuencia y duración de caudales, río Ovejas (UNICAUCA-EPESA, 2009)

