

6.6.1 MODELO DE SIMULACION DE CALIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL DE LA QUEBRADA MIRAFLORES

Los modelos matemáticos son técnicas que permiten representar alternativas propuestas y simular condiciones reales que podrían ocurrir dentro de una franja de incertezas, inherente al conocimiento técnico-científico. Estos modelos se proponen explicar las causas y efectos de los procesos en el medio ambiente, diferenciar las fuentes antrópicas de las fuentes naturales de contaminantes, evaluar la eficiencia de los programas de gestión ambiental, determinar un tiempo o una distancia de recuperación de un cuerpo de agua con el objeto de implementar un programa de reducción de contaminantes, entre otras.

En cumplimiento de lo estipulado en el artículo 6 del Decreto 3930 de 2010 y con la información obtenida y procesada, se aplicó y calibró un Modelo de Simulación de Calidad de agua, para determinar la capacidad de asimilación de sustancias biodegradables y/o acumulativas de la quebrada Miraflores, generando un escenario actual de su comportamiento y estado con relación a los vertimientos y descargas que recibe, así como de las extracciones o captaciones efectuadas y presentadas a lo largo de su Cauce Principal, desde su nacimiento en La Laguna Negra hasta su desembocadura al río Pasto.

Teniendo en cuenta que hasta la fecha en que se planificó, desarrolló las etapas de Diagnóstico y Prospectiva y se elaboró el Documento de Ordenamiento del Recurso Hídrico, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS no había elaborado ni expedido aun la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico, la Corporación Autónoma Regional de Nariño como Autoridad Ambiental Competente y en cumplimiento de lo estipulado en el artículo 7 del Decreto 3930 de 2010 utilizó el Modelo de Simulación existente “River and Stream Water Quality Model - QUAL2K” desarrollado por la división de investigación en ecosistemas de La Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos EPA, el cual permite simular varios parámetros de calidad de agua entre los cuales se encuentran los mínimos exigidos que son: (DB₀₅) Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días, (DQO) Demanda Química de Oxígeno, (SST) Sólidos Suspendidos Totales, (pH) Potencial del Ion Hidronio H+, (T) Temperatura, (OD) Oxígeno Disuelto, (Q) Caudal, Datos Hidrobiológicos, Coliformes Totales y (Escherichia Coli) Coliformes Fecales.

6.6.1 INSUMOS: La información levantada, recopilada y procesada requerida como insumo para la calibración y aplicación del modelo de simulación de calidad QUAL2K, se describe a continuación de manera resumida, considerando que la mayoría ha sido explicada y detallada en los ítems anteriores:

- Ubicación, área y Usos del Suelo de la Subcuenca aferente al tramo a modelar: Corresponde a la descripción general del área de estudio, contextualización hidrográfica y usos del suelo actuales sobre el área de influencia de la corriente superficial objeto de ordenamiento, aspectos que han sido abordados de manera detallada en el numeral 6.1 del presente documento.

- Morfología del Cauce Principal de la quebrada Miraflores:

De acuerdo a la clasificación Schumm y Rosgen la quebrada Miraflores se puede determinar de manera general como un cauce de tipo rectilíneo propio de los ríos de montaña de la región Andina. Sin embargo evaluándola de manera detallada en su parte alta, media y baja, se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- Parte Alta: Nacimiento quebrada Piquisiqui:

Figura 27. Nacimiento Quebrada Piquisiqui



- Cauce rectilíneo y estrecho con presencia de rocas en su lecho.
- Protegido con vegetación endémica o nativa del sector.
- Considerado de carga suspendida por la calidad del agua, por las condiciones físicas y topográficas del cauce y por la baja intervención antrópica.

- Parte Alta: División de la quebrada Piquisiqui en dos (2) ramales:

Figura 28. División Quebrada Piquisiqui en dos ramales



- Cauce trenzado en dos ramales estrechos y con presencia de rocas en su lecho.
- La división o bifurcación se presenta en el punto de coordenadas E=970.782, N=620.984, El=3284 mts y vuelve a unirse en un solo cauce en el punto de coordenadas E=970.741, N=621.537, El=3390 mts.
- Presencia de bocatomas sobre ambos ramales de la quebrada Piquisiqui para consumo humano y uso industrial.
- Se resalta la ampliación de la frontera agrícola y ganadera invadiendo la margen de protección de la quebrada Piquisiqui.
- Considerado de carga suspendida por la calidad del agua, por las condiciones físicas y topográficas del cauce y por la baja intervención antrópica directamente sobre el cauce o lecho de la Quebrada.

- Parte Alta: Derivaciones de origen antrópico sobre el cauce principal:

Figura 29. Origen antrópico sobre el cauce principal



- Cauce rectilíneo con un aumento del ancho del lecho respecto a los tramos inmediatamente anteriores.
- Se resaltan derivaciones o acequias sobre el cauce principal de la quebrada Piquisiqui creadas por el hombre para el riego de potreros y campos agrícolas, así como abrevaderos para el ganado.
- Los principales aportes de la quebrada en este tramo son prácticamente de escurreimientos superficiales y pequeños arroyos que atraviesan fincas ganaderas y agrícolas.
- Considerado de carga suspendida por la calidad del agua, por las condiciones físicas y topográficas del cauce y por la baja intervención antrópica directamente sobre el cauce o lecho de la Quebrada.

- Parte Media: principales aportes y conformación de la quebrada Miraflores:

Figura 30. Aportes y conformación Quebrada Miraflores



- Cauce rectilíneo con un aumento considerable del ancho del lecho, por el aporte de caudal de afluentes principales como la quebrada Hato Viejo, quebrada Aserradora, quebrada Cubijana y quebrada Botana.
- En este tramo aun se presentan pendientes, al igual que rocas y ausencia de vertimientos de importancia, que permiten que la carga se continúe considerando suspendida, salvo ocasiones puntuales y eventuales que en algún momento modifican la calidad fisicoquímica de la quebrada Miraflores de manera temporal.

- Parte Media: sector Centros Poblados de Catambuco y Botanilla:

Figura 31. Centros poblados Catambuco y Botanilla



- La quebrada Miraflores en su recorrido por el sector del Centro Poblado de Catambuco y Botanilla presenta unas condiciones meandriformes hasta llegar al sector de los Moteles en donde recupera nuevamente sus características rectilíneas.

- Parte Baja: sector Parque Chapalito:

Figura 32. Sector Parque de Chapalito



- En el sector de chapalito las pendientes son menores al 10%, el cauce presenta características meandriformes, ausencia de rocas y una alteración notable de las condiciones fisicoquímicas por la descarga de vertimientos domésticos, de servicios e industriales.
- Tales condiciones han ocasionado que la quebrada en dicho sector presente características de carga mixta por el aporte de sólidos que sedimentan el lecho.
- El cauce en este punto es más ancho presentando un gran aporte de sedimentos en sus orillas.

- Parte Baja: sector urbano municipio de Pasto:

Figura 33. Sector urbano municipio de Pasto



- El cauce en el sector urbano del municipio de Pasto mantiene unas características rectilíneas.
- Se resalta la impermeabilización tanto del cauce como de sus márgenes, lo cual genera un aumento en la velocidad y en ciertos puntos, de su profundidad media.
- A pesar de tener una velocidad alta, el cauce presenta sedimentación en algunos sectores por el aporte de vertimientos, la pendiente y las condiciones de deterioro del canal artificial.
- El cauce aumenta su caudal por el aporte de vertimientos domésticos de la ciudad y principalmente de la quebrada Guachucal.

- Prueba de Trazadores: Cuando una corriente superficial es afectada por el ingreso de un afluente que tiene una concentración determinada de un contaminante, esta concentración empieza a dispersarse en la corriente, siguiendo un modelo que depende de las características de los fenómenos de advección y dispersión que manifiesten los sistemas de mezcla completa como los ríos, estuarios, embalses y zonas costeras.

El estudio de la distribución de un contaminante, aguas abajo de una descarga, se denomina estudio o prueba de trazadores y puede ser usado para determinar características claves en una corriente tales como la velocidad, el coeficiente de dispersión y la velocidad de decaimiento del contaminante.

La prueba consiste en la adición de un trazador o sustancia en un punto sobre la corriente hídrica capaz de alterar la conductividad natural o inicial de esta, para posteriormente tomar mediciones periódicas de este parámetro mediante un conductímetro o multiparametro previamente calibrado, en un punto aguas abajo de donde se adicionó la sustancia.

El método utilizado fue el de Inyección Instantánea ya que es de los más estudiados, no requiere de altos costos de inversión y es fácil de aplicar.

Los materiales y equipos utilizados para la prueba fueron:

Tabla 73. Materiales Para La Prueba De Trazadores

1	Multiparámetro
2	Sal Común
3	Recipiente para mezclar la sal
4	Mezclador (palo de escoba)
5	Cronómetro
6	GPS
7	Molinete
8	Cinta
9	Formato para medición de caudal con molinete
10	Formato para registro de datos de conductividad.

Los pasos o actividades tenidas en cuenta para el desarrollo de la Prueba fueron:

1. Escoger un tramo preferiblemente que no tenga entradas ni salidas de agua.
2. Calcular el caudal de la fuente hídrica con el molinete. Si existen entradas debe medirse el caudal mínimo en dos puntos.
3. Preparar la sal mezclándola en un recipiente o balde utilizando agua de la Quebrada.
4. En el punto de medición, tomar una lectura de la conductividad de la Quebrada antes de verter la sal, y registrarla en el formato.

5. Verter la sal al mismo tiempo en el punto inicial y dar la señal para que comience la medición.
6. En el punto de medición, registrar la conductividad de la quebrada cada 10, 15 o 20 segundos y anotar los datos en el formato de registro. Tomar registros hasta que la conductividad retorne nuevamente a su valor natural o inicial medido antes de adicionar la sal.

La Guía de Campo y Formato para el registro de datos diseñados, se pueden observar en el Anexo F.

Para efectos del proyecto, es importante conocer la velocidad con que se desplaza la corriente de agua superficial para lo cual se utilizaron las siguientes fórmulas¹:

$$U = \frac{x_2 - x_1}{\bar{t}_2 - \bar{t}_1}$$

Donde,

U = velocidad de la corriente

x = distancia a cada punto de medición

\bar{t} = tiempo de viaje en cada punto

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (C_i t_i + C_{i+1} t_{i+1})(t_{i+1} - t_i)}{\sum_{i=0}^{n-1} (C_i + C_{i+1})(t_{i+1} - t_i)}$$

Donde,

C = concentración del trazador

t = tiempo de medición de C

Los datos obtenidos en campo y procesados mediante trabajo de escritorio, permitieron establecer como resultado final una gráfica sobre el comportamiento de la carga o mancha de sal adicionada, con respecto al tiempo transcurrido desde la primera hasta la última medición.

Sobre el Cauce Principal de la quebrada Miraflores se efectuaron el día 14 de septiembre de 2011, dos Pruebas de Trazadores efectuadas en dos tramos distintos, obteniendo las siguientes gráficas:

- Prueba No. 1: Quebrada Miraflores, Puente Caserío Miraflores vereda La Merced.

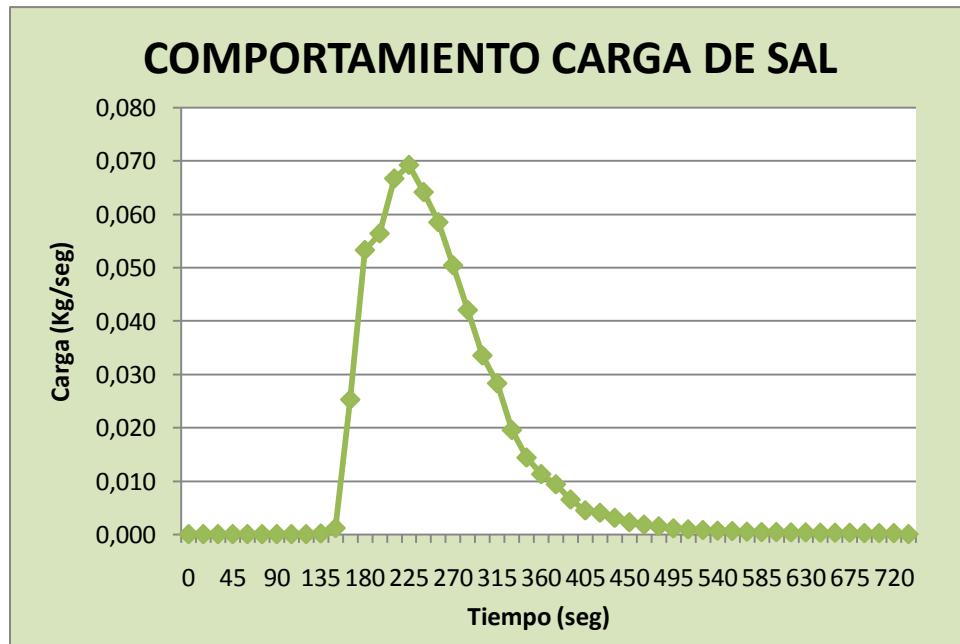
¹ CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. and TAO, H. (2005). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

Tabla 74. Información Preliminar Prueba 1

FUENTE HIDRICA	UBICACION PUNTO DE MEDICION	FECHA PRUEBA	CANTIDAD DE SAL Kg	LONGITUD PARA MEDICION mts	DURACION DE LA PRUEBA min	CONDUCTIVIDAD INICIAL FUENTE $\mu\text{S}/\text{cm}$
Quebrada Miraflores	Puente Caserio Miraflores Vereda La Merced Cgto Catambuco	14-sep-11	10	40	16	116

Tabla 75. Datos Encontrados Prueba 1

CONCENTRACION INICIAL FUENTE mg/L	CARGA INICIAL FUENTE Kg/seg	CAUDAL (Asumido) Lps	TIEMPO VIAJE TRAZADOR seg	VELOCIDAD CORRIENTE (CHAPRA) mts/seg	CARGA MAXIMA Kg/seg
62,002	0,007373278	118,92	312,80	0,13	0,069

Grafica 26. Comportamiento Carga De Sal (Puente Vereda La Merced)


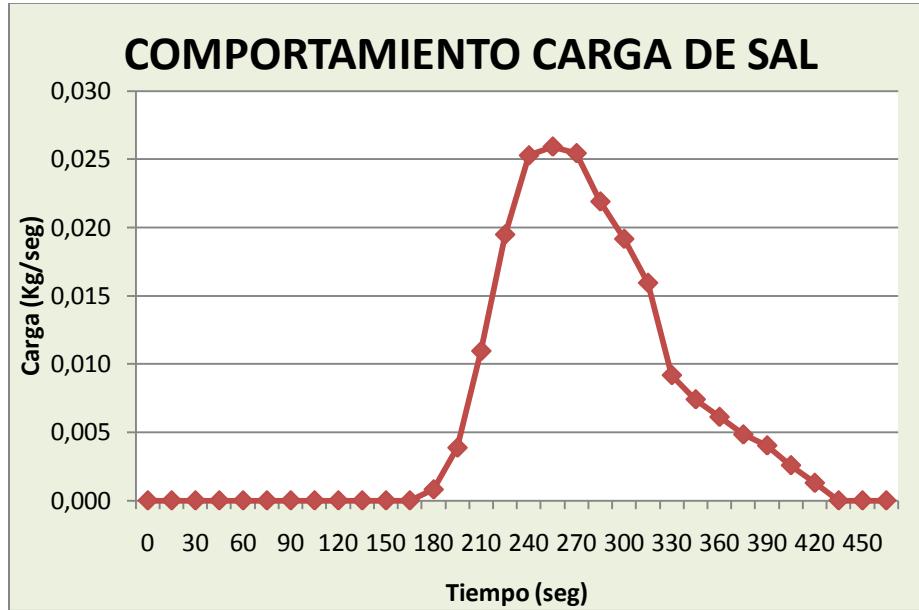
- Prueba No. 2: Quebrada Miraflores, Puente Nuevo Parque Ambiental Chapalito.

Tabla 76. Información Preliminar Prueba 2

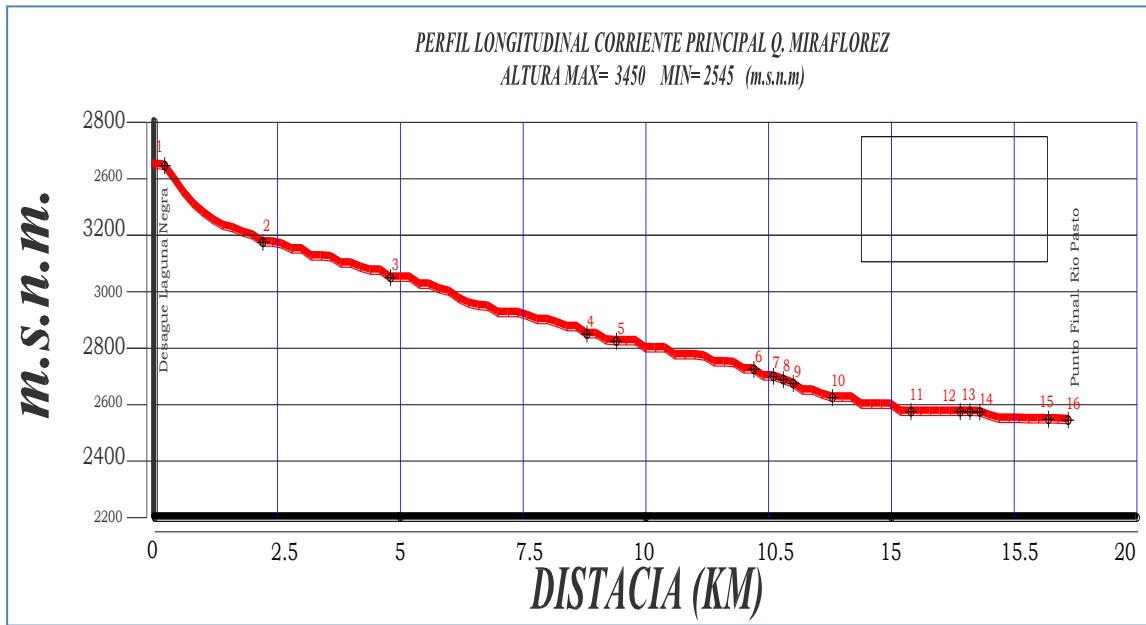
FUENTE HIDRICA	UBICACION PUNTO DE MEDICION	FECHA PRUEBA	CANTIDAD DE SAL Kg	LONGITUD PARA MEDICION mts	DURACION DE LA PRUEBA min	CONDUCTIVIDAD INICIAL FUENTE $\mu\text{s}/\text{cm}$
Quebrada Miraflores	Puente Nuevo Parque Chapalito	14-sep-11	6,5	86	12	288

Tabla 77. Datos Encontrados Prueba 2

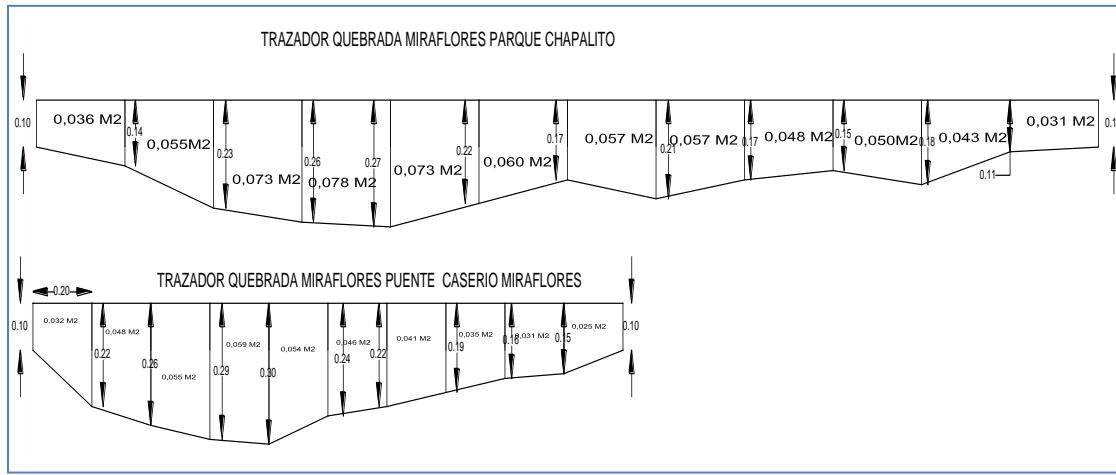
CONCENTRACION INICIAL FUENTE mg/L	CARGA INICIAL FUENTE Kg/seg	CAUDAL (VADEO) Lps	TIEMPO VIAJE TRAZADOR seg	VELOCIDAD CORRIENTE (CHAPRA) mts/seg	CARGA MAXIMA Kg/seg
153,936	0,046381225	301,302	301,61	0,29	0,026

Grafica 27. Comportamiento Carga De Sal (Puente Nuevo Parque Chapalito)


- **Perfil Longitudinal:** Corresponde a la gráfica que relaciona altura con distancia longitudinal del cauce principal de la quebrada Miraflores, desde su nacimiento a una elevación máxima de 3450 metros sobre el nivel del mar hasta su desembocadura al río Pasto a una elevación mínima de 2545 m.s.n.m. Permite establecer las pendientes de la corriente superficial en su recorrido de 18,80 kilómetros. Ver Grafica 28.

Grafica 28. Perfil Longitudinal Cauce Principal


- **Corte Transversal:** Corresponde al gráfico de las secciones transversales o anchos típicos del cauce principal de la quebrada Miraflores en las estaciones o puntos donde se efectuaron las pruebas de trazadores.

Grafica 29. Corte Transversal Cauce Principal


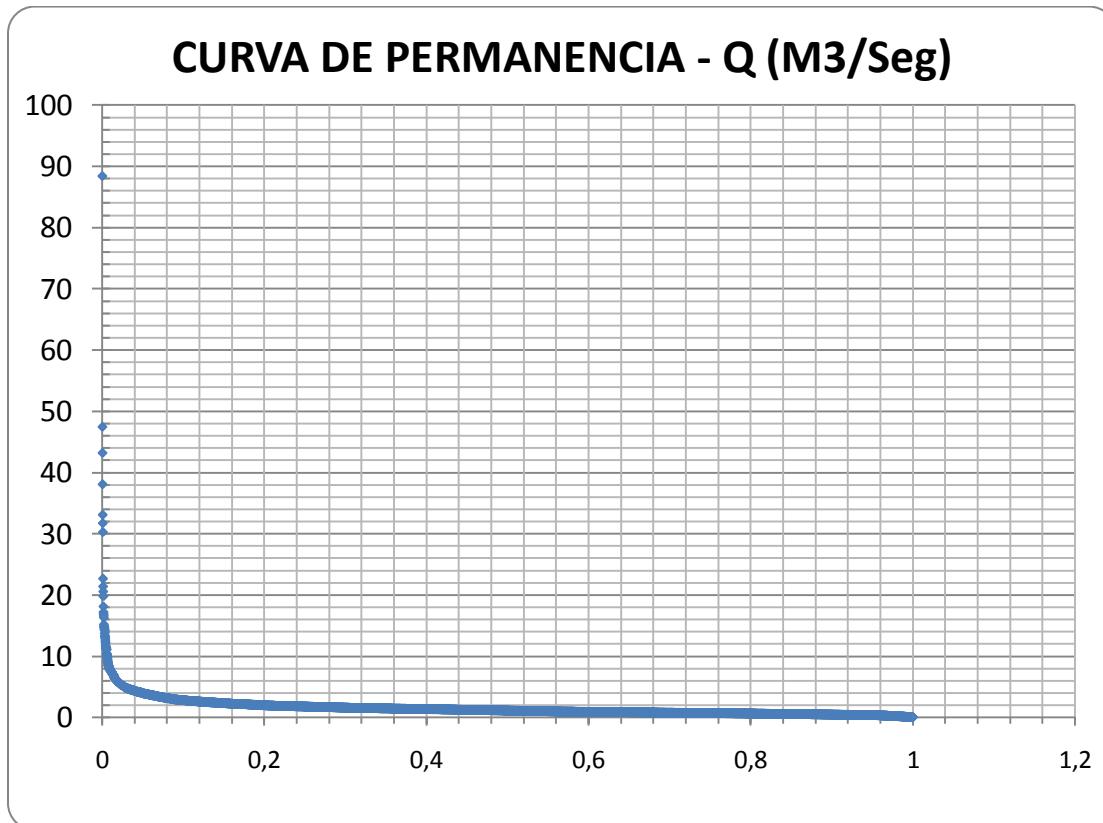
- **Curva de Permanencia:** tiene como objeto proporcionar informaciones de caudales asociados a escenarios de escasez y abundancia del recurso, lo cual influencia de una forma u otra las características de calidad de agua de la quebrada Miraflores.

La curva se construyó basada en datos históricos proporcionados por la Estación Hidrológica más cercana al área de influencia de la Quebrada objeto de ordenamiento, que para este caso fue la Estación Centenario No. 52047030; considerando que la Subcuenca Miraflorres no está lo suficientemente instrumentada por lo que se optó por tomar esta estación que está ubicada en un área de condiciones similares.

Tabla 78. Valores Medios De Caudales (M³/SEG)

ESTACIÓN IDEAM:	52047030 - BOCATOMA CENTENARIO
FECHA DE INSTALACIÓN:	JULIO DE 1960
PERIODO DATOS:	1988 - 2010
VALORES TOTALES:	8012

Grafica 30. Curva De Permanencia De Caudal – Estación Centenario

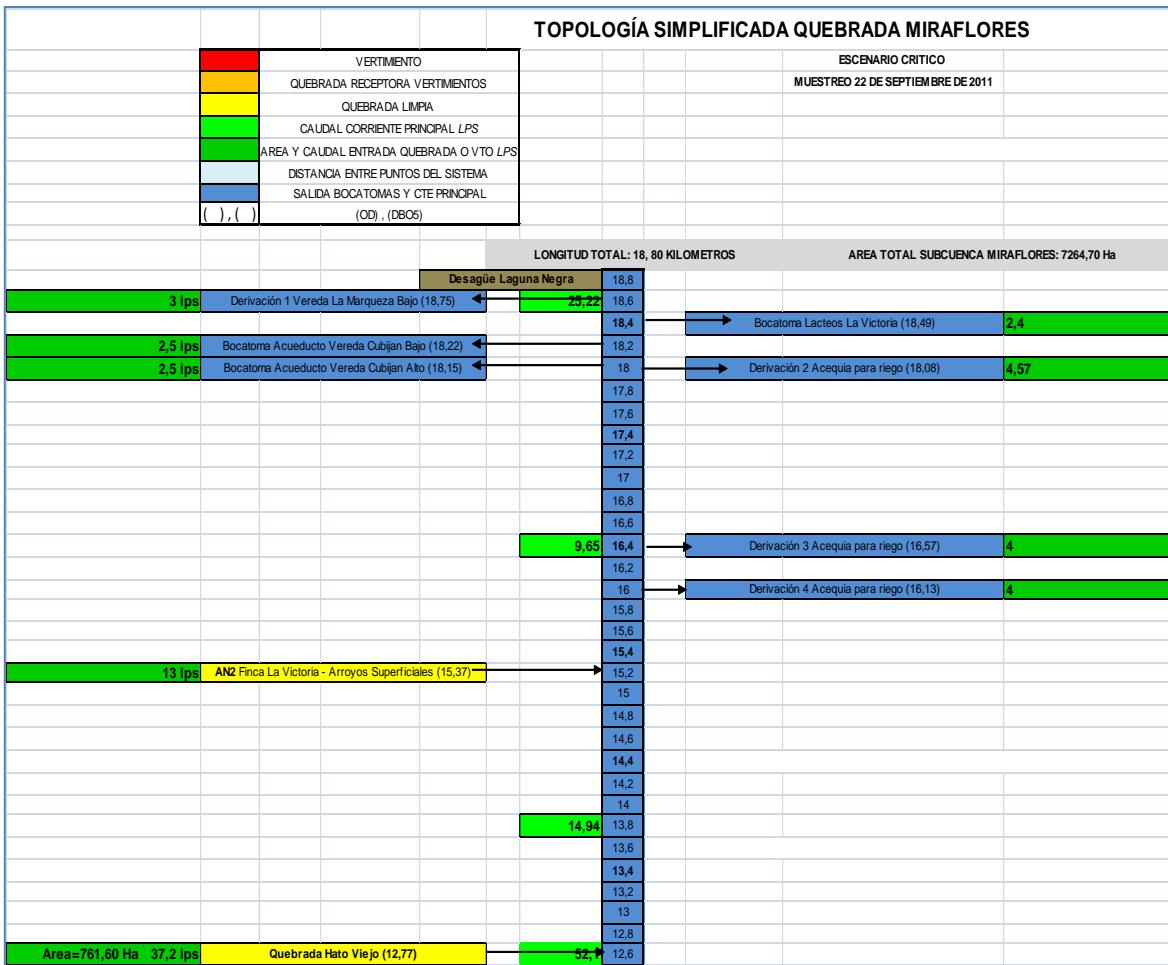


- **Perfil de Modelación o Topología Simplificada de la quebrada Miraflorres:** a diferencia de la Topología Detallada presentada anteriormente, el Perfil de Modelación Simplificado incluye únicamente los aportes o entradas que de acuerdo al perfil de calidad

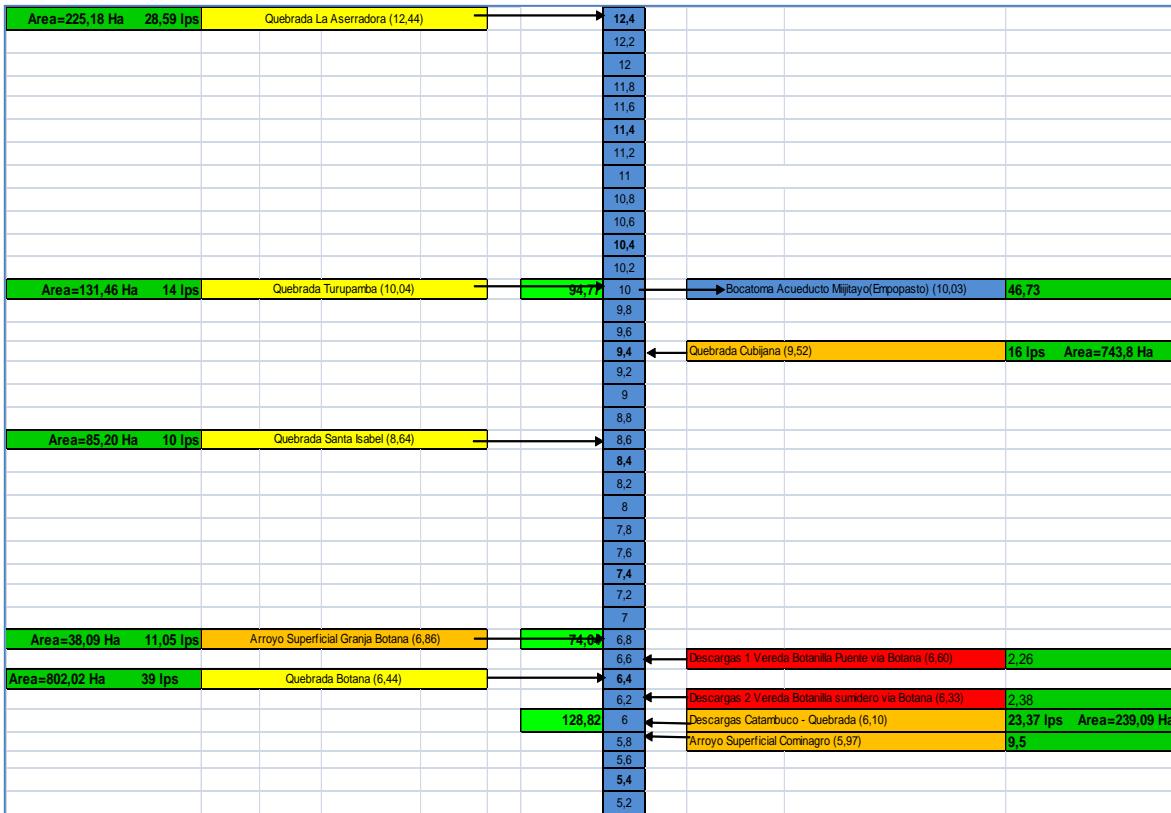
analizado influyen de manera considerable en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del cauce principal de la quebrada Miraflores, los cuales serán tenidos en cuenta dentro del Modelo de Simulación QUAL2K.

- Segmento I: Incluye Titulo, Leyenda y Perfil del Cauce Principal desde su nacimiento en el segmento o celda No. 94 hasta la confluencia de la quebrada Hato Viejo en el segmento o celda No. 63.

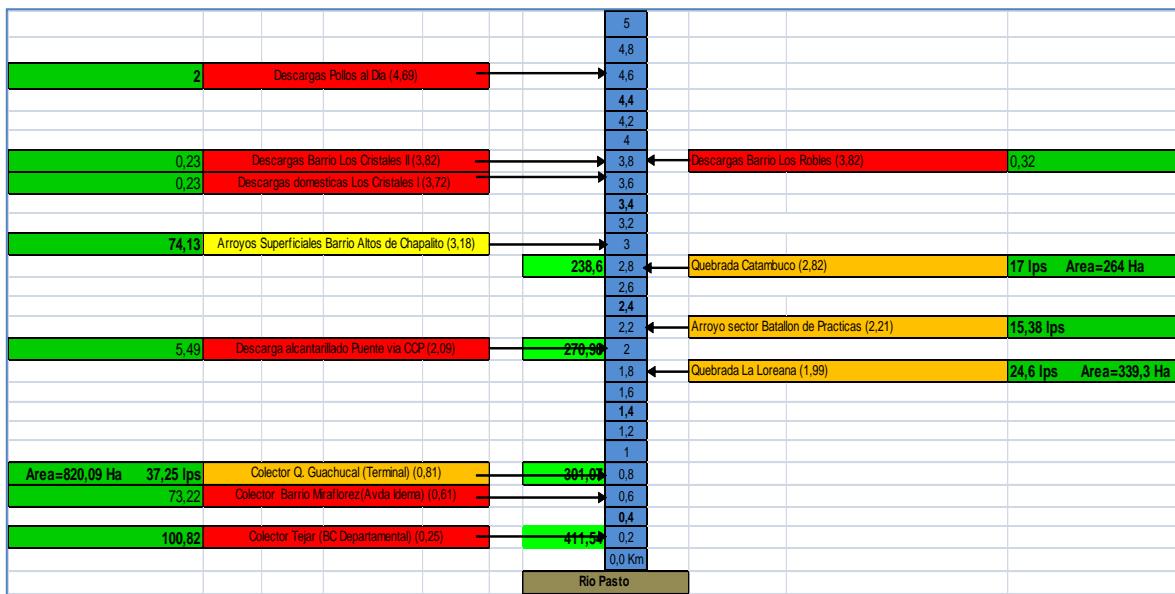
Figura 34. Topología Simplificada Quebrada Miraflores Segmento I



- Segmento II: Incluye el Cauce Principal desde la confluencia de la quebrada La Aserradora en el segmento o celda No. 62 hasta la celda No. 26.

Figura 35. Topología Simplificada Quebrada Miraflores Segmento II


- Segmento III: Incluye el Cauce Principal desde el segmento o celda No. 25 hasta su desembocadura al río Pasto en el segmento o celda No. 0.

Figura 36. Topología Simplificada Quebrada Miraflorres Segmento III


- Caracterización fisicoquímica y microbiológica de afluentes naturales, descargas y cauce principal de la quebrada Miraflorres: corresponde a toda la información de calidad interpretada y descrita de manera detallada en el numeral 6.5 “DETERMINACIÓN LINEA BASE DE CARGAS CONTAMINATES”. Los datos son el insumo necesario para la calibración del modelo QUAL2K y de esta manera poder generar los distintos escenarios de calidad incluyendo el de las situación actual.

6.6.2 MODELO QUAL2K: La selección del modelo “River and Stream Water Quality Model- Qual2Kw” versión 5.1 se efectuó considerando aspectos como:

- Definición del Problema a Estudiar.
- Características Generales del modelo de simulación: tipos de procesos, tipos de métodos de solución, tipo de cuerpo de agua, dimensión, Estado, tipo de transporte y tipo de cuenca, principalmente.
- Capacidad Técnica y Económica del equipo desarrollador: Entrenamiento necesario, manuales de usuario disponibles, facilidad de modificación del código fuente, antecedentes de aplicación en regiones similares y costo, entre otros.
- Capacidad de simulación de los parámetros básicos de calidad de agua como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, ciclo del nitrógeno y del fósforo, principalmente, además de tener en cuenta la reducción de la concentración de contaminantes por el efecto de entradas de flujo al cauce principal.

- Flexibilidad, es decir, poder adaptarse a las condiciones de diferentes corrientes, puesto que sería algo no viable económica y técnicamente utilizar un modelo de simulación diferente para cada corriente.
- Antecedentes de aplicabilidad, lo que significa que haya sido implementado con éxito en otras regiones con características similares.
- Simplicidad en su ejecución y precisión en sus resultados; un modelo con entrada de datos o procesos más complejos, necesariamente no es más preciso.
- Viabilidad Económica. No se justifica hacer una gran inversión cuando los resultados finales no ofrecen una sustancial mejora con respecto a su precisión.
- Congruencia con la información de entrada disponible y tener la capacidad de aprovechar la información actual e histórica de tipo climatológica, hidrológica y de calidad de aguas².

- Características generales del modelo:

Dentro de las principales características del modelo Qual2K se encuentran:

- Modelación unidimensional (en dirección del flujo de la corriente).
- El cauce o canal es considerado vertical y horizontalmente bien mezclado.
- Qual2Kw Funciona bajo condiciones hidráulicas en estado estacionario y el flujo es simulado bajo condiciones estacionarias no uniformes.
- Qual2Kw simula sistemas hídricos de tipo dendrítico, es decir; aquellos donde la simulación se extiende no solo a la corriente principal, sino también a corrientes tributarias.
- El modelo simula los siguientes parámetros: Conductividad, Sólidos Suspendidos Inorgánicos, Oxígeno Disuelto, DBO rápida, DBO lenta, Nitrógeno Orgánico Disuelto, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos, Fósforo Orgánico Disuelto, Fósforo Inorgánico, Fitoplancton (algas en el seno de la corriente), Detritus(Materia Orgánica Particulada), Patógenos, Alcalinidad, Carbono Orgánico Total, Algas de fondo, pH, Temperatura y Caudal.
- El modelo acepta entradas puntuales y no puntuales de cargas contaminantes y caudales.

² LOZANO G., ZAPATA, M.A. y PEÑA, L.E (2003). Selección del Modelo de Simulación de Calidad de Agua en el Proyecto “Modelación de Corrientes hídricas Superficiales en el Departamento del Quindío”. CIDERA Grupo de Investigación, desarrollo y estudio del recurso hídrico y el ambiente, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia.

- El programa ha sido desarrollado en ambiente Windows mediante, los cálculos de tipo numérico son programados en Fortran 90. Para la interfaz gráfica se utiliza Excel y todas las operaciones con el usuario se efectúa bajo Microsoft Office macro language: Visual Basic For Applications.
- La corriente es representada como una sucesión de pequeños tramos o segmentos llamados elementos computacionales, a través de los cuales se efectúan los correspondientes balances de masa, flujo y calor, que finalmente se traducen en curvas que muestran la variación de los parámetros modelados a lo largo de la corriente. Dichos elementos computacionales pueden ser de tamaños distintos.
- Qual2Kw utiliza dos formas para representar el carbono orgánico, siendo éstas: DBO rápida (o materia orgánica degradable rápidamente) y DBO lenta (o materia orgánica degradable lentamente).
- Qual2Kw simula condiciones de anoxia reduciendo a cero las tasas de oxidación. Bajo estas condiciones la denitrificación es modelada como una reacción de primer orden lo cual llega a ser un proceso importante.
- Tiene en cuenta las interacciones entre los sedimentos y el agua. De esta forma el flujo de oxígeno disuelto y nutrientes entre ambas fases es simulado como una función de factores tales como: la velocidad de sedimentación de las partículas orgánicas, las reacciones dentro de los sedimentos y la concentración de componentes en el agua.
- El modelo simula explícitamente la influencia de las algas de fondo.
- La extinción de la luz en la corriente es simulada como una función de la concentración de algas, detritus y material inorgánico.
- El pH de la corriente superficial es calculado con base en la cantidad de alcalinidad y de carbono inorgánico total disponible a través de la corriente.
- La remoción de patógenos es determinado como una función de la temperatura, la luz y la sedimentación³

- Abstracciones conceptuales del modelo:

A continuación se describen los principales elementos conceptuales referidos a la representación de corrientes y a los procesos desarrollados en ellas.

³ CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. and TAO, H. (2008). QUAL2Kw: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

- Configuración de Corrientes y Segmentación: Una corriente hídrica superficial mediante el modelo de calidad de aguas Qual2k es representada por una serie de tramos sucesivos denominados elementos computacionales, los cuales se caracterizan por comportarse como reactores completamente mezclados que están unidos unos a otros por medio de fenómenos asociados al transporte de solutos.

La unión de dichos elementos computacionales considerando similitud hidráulica entre ellos dan origen a la conformación de tramos, los cuales son segmentos de un orden de magnitud mayor al de los elementos computacionales y los cuales tiene como función diferenciar ciertos sectores de la corriente con el fin de identificar las diferencias que puede haber en cada uno de ellos.

- Balance De Flujo: El modelo Qual2Kw trabaja bajo régimen estacionario, o sea que el flujo entrante y saliente en cada uno de los elementos computacionales en análisis se mantiene constante a través del tiempo. El modelo conceptual de dicho balance es representado mediante un esquema.

El tiempo de viaje por su parte es determinado con base en la sumatoria de los tiempos de residencia del flujo en cada uno de los elementos computacionales definidos a lo largo de la corriente, lo cual es representado mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tau_k = \frac{V_k}{Q_k} \quad t_{t,j} = \sum_{k=1}^j \tau_k$$

Donde,

ζ_k =Tiempo de Residencia de cada elemento; V_k =Volumen de Cada Elemento (m^3);
 Q_k =Caudal en cada elemento (m^3/s); $t_{t,j}$ = Tiempo de Viaje de la Corriente (d).

Figura 37: Configuración de Corrientes Hídricas Superficiales

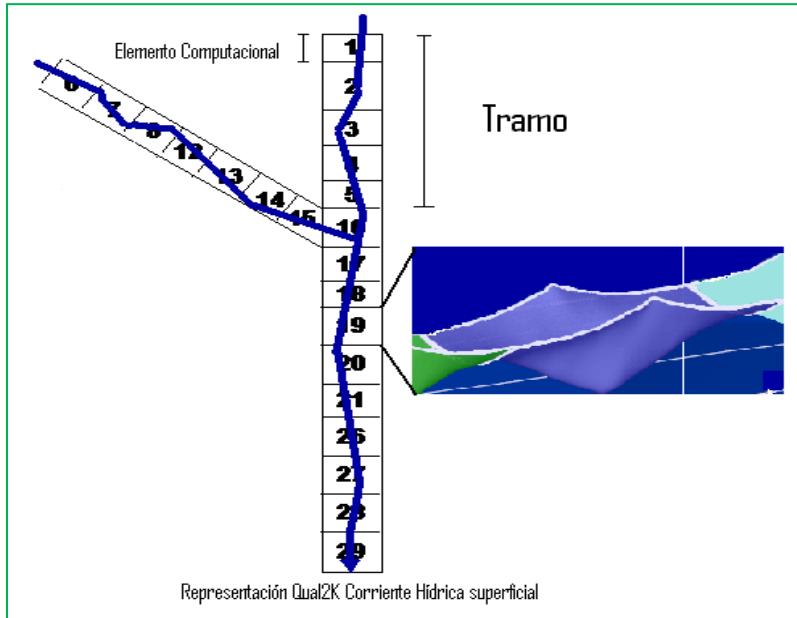
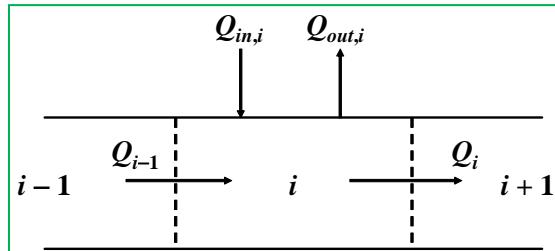


Figura 38. Esquema de Balance de Flujo



En donde,

Q_i : Caudal de Salida del Elemento computacional; Q_{i-1} : Caudal de Entrada del Elemento Computacional; $Q_{in,i}$: Entrada de Caudal neto lateral por fuentes puntuales y difusas; $Q_{out,i}$: Salida de Caudal neto lateral por Fuentes puntuales y difusas.

- Características Hidráulicas:

Las características hidráulicas del sistema están asociadas a como el Qual2K una vez realizado el balance de flujo hace para calcular el tirante y la velocidad en los elementos computacionales. Este modelo tiene tres formas posibles entre las cuales se encuentran: Vertederos, Curvas de relación y las ecuaciones de Manning, siendo estas dos últimas las utilizadas en el río Pasto para su definición. Utilizándose la primera de ellas para los cauces irregulares y la segunda para los tramos canalizados tal como la quebrada Miraflores dentro de la zona urbana. Las principales ecuaciones que rigen este comportamiento hidráulico son:

Curvas de Relación

$$U = aQ^b \quad H = \alpha Q^\beta$$

Donde a , b , α y β son constantes empíricas, H es la profundidad media de la corriente y U la velocidad media de la misma.

Ecuaciones de Manning

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{n} \frac{A_c^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$A_c = [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H]H$$

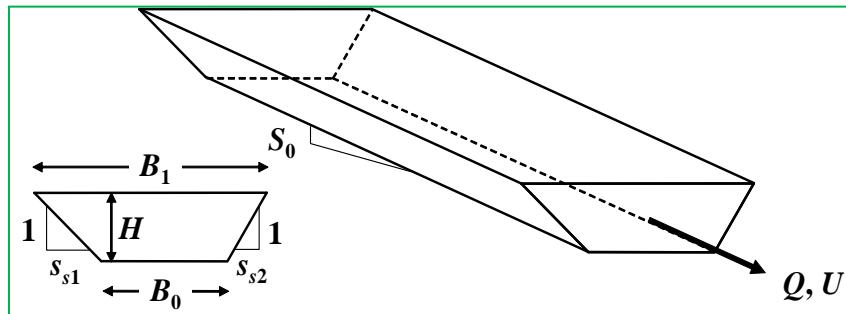
$$P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1}$$

En donde,

Q: Caudal; Ac: Área Transversal; P: Perímetro Mojado; So: Pendiente Longitudinal, B1: Ancho Superficial; H: Tirante; Ss: Pendiente de talud

Tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 39. Esquema de Variables de la ecuación de Manning



Con respecto a la dispersión longitudinal entre elementos el modelo da la posibilidad de ingresar valores estimados previamente, en caso de que no sean incorporados dichos valores el Qual2Kw asume o lo calcula con base en la siguiente expresión:

$$E_{p,i} = 0.011 \frac{U_i^2 B_i^2}{H_i U_i^*}$$

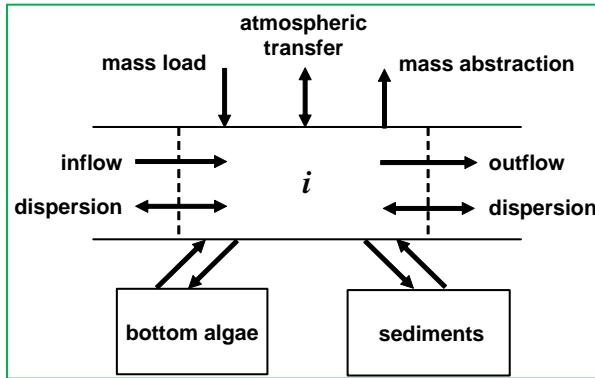
La cual fue desarrollada por Fisher en 1979, en donde:

$E_{p,i}$ = Dispersión Longitudinal entre elementos; U_i = Velocidad (m/s); B_i = Ancho superficial (m); H_i = Tirante medio (m); U_i^* = Velocidad de Corte (m/s).

- Balance de Masa:

El balance de Masa planteado por el Qual2K trabaja con la unidad fundamental denominada “elemento computacional”, el modelo considera la siguiente ecuación general de balance para cada constituyente, el cual involucra los fenómenos de transporte (difusión, advección, dispersión), consumo o generación de constituyentes por reacciones químicas o bioquímicas y la generación o pérdida de nutrientes por fuentes externas o internas (descargas puntuales, captaciones y sedimentación, entre otros.). El modelo conceptual planteado se refleja mediante la siguiente figura.

Figura 40. Esquema de Balance de Masa



Siendo,

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \partial C / \partial x)}{\partial x} d_x - \frac{\partial(A_x u C)}{\partial x} d_x + \frac{(A_x d_x) dC}{dt} + Si$$

En donde,

M: masa; x: distancia; t: tiempo; C: concentración; Ax: área transversal; DL: coeficiente de dispersión; u: velocidad media; Si: fuentes o sumideros.

Considerando que la Masa es igual a la concentración por el volumen y que el modelo asume que la corriente posee un flujo en estado estacionario, entonces la ecuación (10) se convierte en:

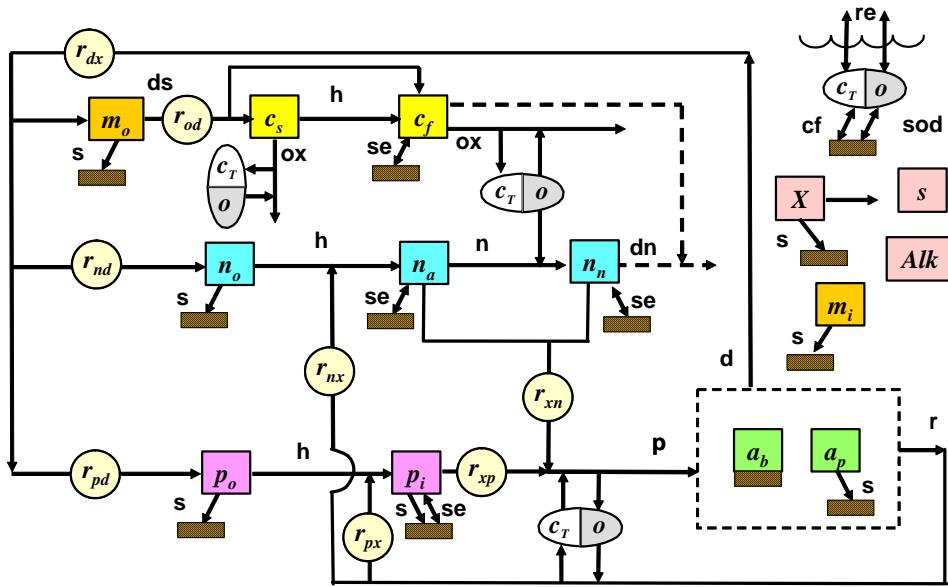
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \partial C / \partial x)}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_x u C)}{A_x \partial x} + \frac{dC}{dt} + \frac{Si}{V}$$

En donde,

El término de la izquierda representa el cambio de la concentración a través de la corriente y los términos de la derecha representan la dispersión, advección, la variación de la concentración por reacciones bioquímicas y el aporte o pérdida por fuentes o sumideros respectivamente.

La variabilidad de la concentración por reacciones bioquímicas y la entrada y salida de los diferentes constituyentes son representados mediante la siguiente figura, en el esquema se puede apreciar los diferentes procesos asociados a la materia Orgánica, el ciclo del nitrógeno y fósforo principalmente⁴.

⁴ CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. and TAO, H. (2008). QUAL2Kw: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

Figura 41. Procesos de Transferencia de Masa y Modelos Cinéticos


En donde, entre los procesos cinéticos se encuentran:

ds: disolución; h: Hidrólisis; ox: Oxidación; n: Nitrificación; dn: Denitrificación; p: Fotosíntesis; d: Muerte; r: Respiración, Excreción. Entre los procesos de transferencia de masa se consideran: re: Reaireación; s: Sedimentación, SOD: Demanda de Oxígeno por Sedimentos; se: Intercambio de sedimentos; cf: Flujo de Carbono Inorgánico de los sedimentos.

- Entradas del modelo:

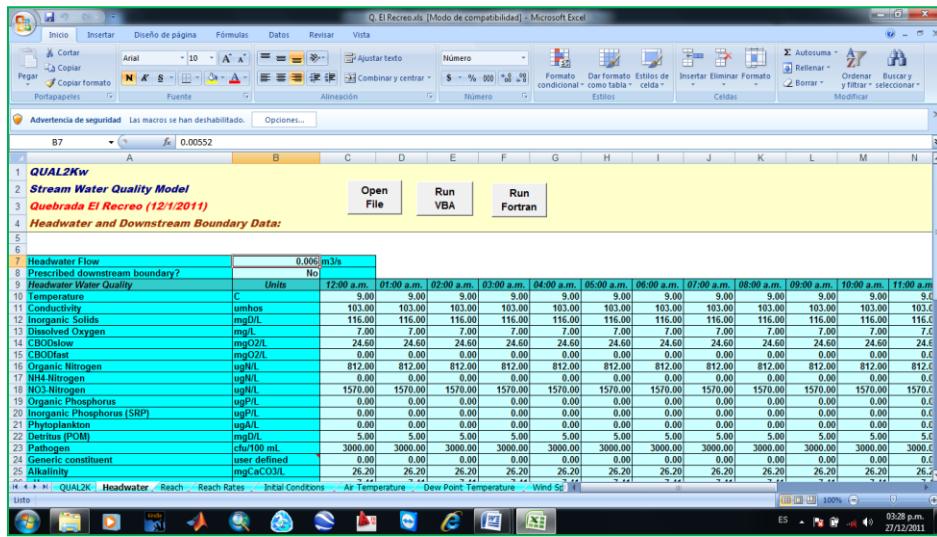
La simulación de la corriente superficial exige la incorporación de información confiable al modelo, con el fin de que las diferentes salidas se approximen con lo que se requiera representar.

Entre las principales entradas contempladas en el software, se encuentran: Condiciones aguas arriba del tramo o los tramos a simular, características físicas e hidráulicas de la corriente, constantes de reacción físicas y químicas, y datos correspondientes al aporte y abstracción de diferentes fuentes sobre la corriente principal, entre las cuales se contemplan las descargas tanto puntuales como difusas sobre dicha corriente.

- Condiciones aguas arriba del tramo a simular:

Dentro de las condiciones aguas arriba del tramo o tramos a simular se contempla el caudal y las características físico-químicas del agua de la corriente superficial en el punto inicial de los tramos en consideración, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 42. Ejemplo Hoja De Cálculo Condiciones Fisicoquímicas y Microbiológicas Iniciales

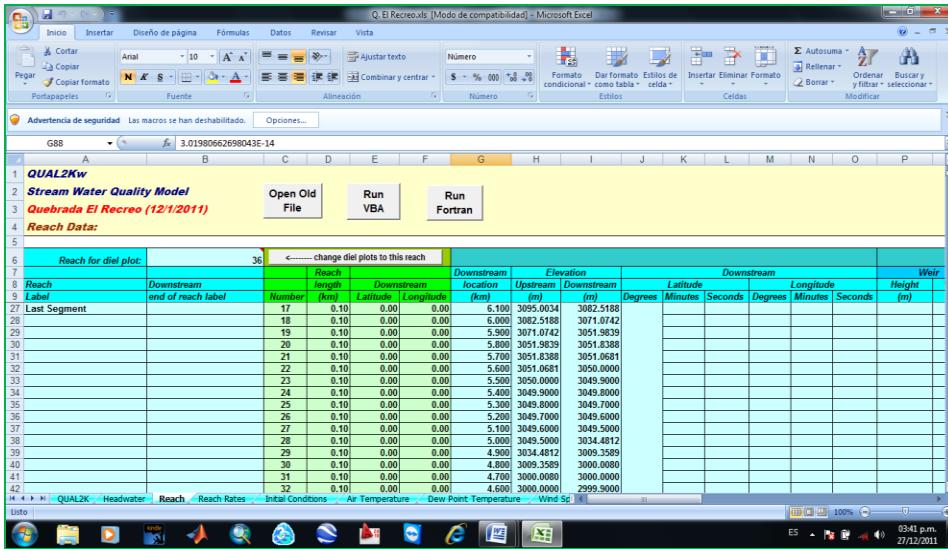


		0.006 m³/s	12:00 a.m.	01:00 a.m.	02:00 a.m.	03:00 a.m.	04:00 a.m.	05:00 a.m.	06:00 a.m.	07:00 a.m.	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.
7	Headwater Flow	0.006 m³/s												
8	Prescribed downstream boundary?	No												
9	Headwater Water Quality	Units												
10	Temperature	°C	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
11	Conductivity	µmhos	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	103.00
12	Inorganic Solids	mg/L	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00
13	Dissolved Oxygen	mg/L	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
14	CBOD5flow	mgO2/L	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60
15	CBOD10	mgO2/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Organic Nitrogen	ugN/L	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00	812.00
17	Organic Nitrogen	ugN/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	NOS Nitrogen	ugN/L	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00	1570.00
19	Organic Phosphorus	ugP/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	Inorganic Phosphorus [SRP]	ugP/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Phytoplankton	ugA/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	Debris (POM)	mgD/L	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
23	Depth (m)	m	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
24	Geologic Constituent	User defined	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	Alkalinity	mgCaCO3/L	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20	26.20

- Características físicas e hidráulicas de la corriente:

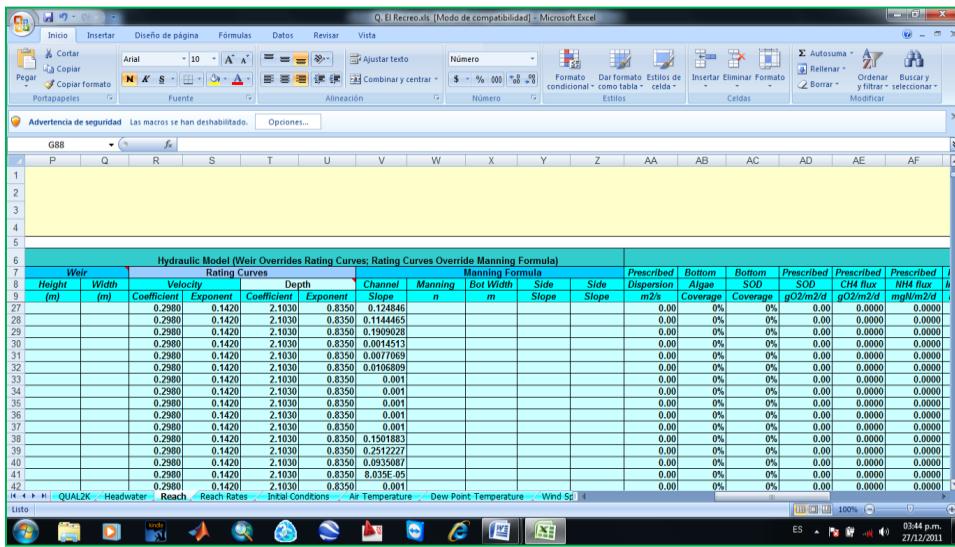
Dentro de este ítem se contempla la incorporación de información relacionada con la determinación de tramos, longitud y cota de los diferentes elementos computacionales, caracterización hidráulica de cada elemento utilizando las curvas de relación “velocidad media Vs. Caudal” y “Profundidad media Vs. Caudal o las relaciones de Manning dependiendo el caso.

Figura 43. Ejemplo Hoja De Cálculo De Posición y Elevación De Elementos Computacionales



Reach Data										
	Reach	Downstream	Reach	Downstream	Upstream	Downstream	Latitude	Longitude	Downstream	Weir
Reach	Downstream	end of reach label	Number	length	Latitude	Longitude	(m)	(m)	Degrees	
1	QUAL2Kw	Stream Water Quality Model	Open Old File	Run VBA	Run Fortran					
2	Quebrada El Recreo (12/1/2011)									
3										
4	Reach Data:									
5										
6	Reach for diel plot:	36	← change diel plots to this reach							
7										
8	Reach	Downstream	Reach	Downstream	Upstream	Downstream	Latitude	Longitude	Downstream	
9	Label	end of reach label	Number	length	Latitude	Longitude	(m)	(m)	Degrees	
27	Last Segment		17	0.10	0.00	0.00	6.100	3095.0034	3082.5188	
28			18	0.10	0.00	0.00	5.900	3071.0742	3051.9839	
29			19	0.10	0.00	0.00	5.800	3061.3638	3051.8330	
30			20	0.10	0.00	0.00	5.700	3051.0688	3051.0681	
31			21	0.10	0.00	0.00	5.600	3051.0681	3051.0681	
32			22	0.10	0.00	0.00	5.500	3050.0000	3050.0000	
33			23	0.10	0.00	0.00	5.400	3049.9000	3049.8000	
34			24	0.10	0.00	0.00	5.300	3049.8000	3049.7000	
35			25	0.10	0.00	0.00	5.200	3049.7000	3049.6000	
36			26	0.10	0.00	0.00	5.100	3049.6000	3049.5000	
37			27	0.10	0.00	0.00	5.000	3049.5000	3049.4000	
38			28	0.10	0.00	0.00	4.900	3034.4812	3039.3589	
39			29	0.10	0.00	0.00	4.800	3009.3589	3009.0080	
40			30	0.10	0.00	0.00	4.700	3000.0080	3000.0000	
41			31	0.10	0.00	0.00	4.600	3000.0000	2999.9000	
42			32	0.10	0.00	0.00				

Figura 44. Ejemplo Hoja De Cálculo De Parámetros Hidráulicos De La Corriente



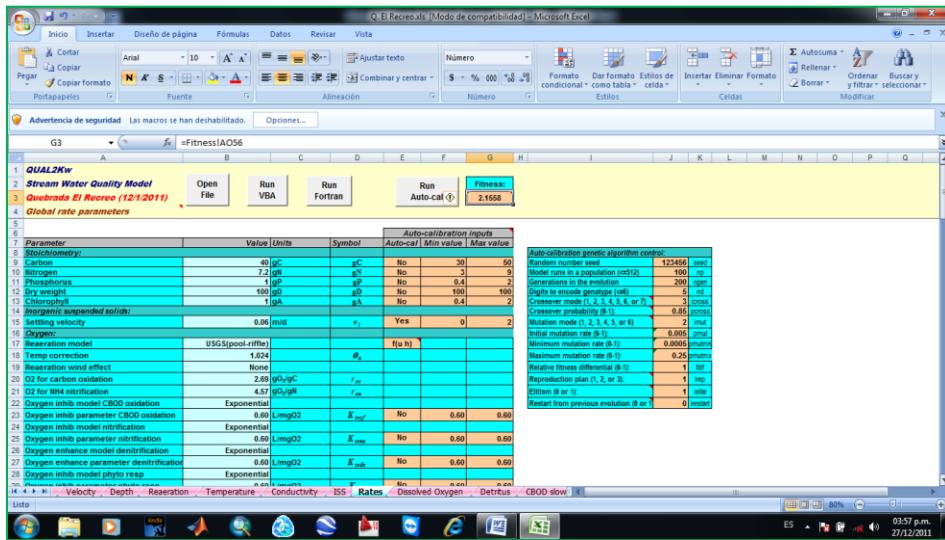
Hydraulic Model (Weir Overrides Rating Curves; Rating Curves Override Manning Formula)														
Height	Width	Velocity		Depth	Channel	Manning	Manning Formula		Prescribed Dispersion	Bottom Alga	Bottom SO4	Prescribed SO4	Prescribed CH4 flux	Prescribed NH4 flux
(m)	(m)	Coefficient	Exponent				Slope	n	m	Side Slope	m2/d	Coverage	g/m2/d2	g/m2/d2
27	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.124846				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
28	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.114465				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
29	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.1909028				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
30	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.8350	0.000113			0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
31	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.000113				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
32	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.0106509				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
33	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.01				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
34	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.001				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
35	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.001				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
36	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.001				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
37	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.001				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
38	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.1591883				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
39	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.2512277				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
40	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.9350807				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
41	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.035E-05				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	
42	0.2980	0.1420	2.1030	0.8350	0.001				0.00	0%	0%	0.00	0.0000	

- Constantes de reacción física y químicas:

Como datos de entrada al modelo se incluye los valores correspondientes a las tasas de degradación o aparición de diferentes componentes, producto de las diferentes reacciones dadas en el proceso, lo cual es representado por medio de diferentes coeficientes tales como: reaireación, oxidación e hidrólisis de la materia orgánica, hidrólisis de Nitrógeno orgánico, oxidación de nitrógeno amoniacal, denitrificación,

hidrólisis de Fósforo Orgánico, disolución de Detritus y decaimiento de patógenos principalmente.

Figura 45. Ejemplo Hoja De Cálculo De Constantes Cinéticas



- Aporte y abstracción de fuentes:

Los diferentes aportes o abstracciones sobre la corriente a simular pueden ser puntuales o difusos. En los aportes y abstracciones puntuales se especifica principalmente el sitio exacto donde esto ocurre y las características físico-químicas de dichas entradas o salidas, tales como: bocatomas, quebradas o descoles de alcantarillado, entre otras.

Por otra parte las descargas o abstracciones difusas son las aportadas o abstraídas a lo largo de la corriente sin tener en cuenta un punto específico, esto puede ocurrir por que la entrada o salida se da naturalmente de esta forma o porque existe un gran cantidad de pequeñas descargas que no pueden caracterizarse una a una, siendo necesario representarlas como una fuente difusa a lo largo de un tramo en la corriente superficial. Para este tipo de descargas como dato de entrada debe especificarse la longitud en la cual ocurre y las características físico-químicas de las mismas, tal como se muestra en las figuras siguientes.

Figura 46. Ejemplo Hoja De Cálculo Descargas Puntuales

Figura 47. Ejemplo Hoja De Cálculo Descargas Difusas

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "El Recreo.xls (modo de compatibilidad) - Microsoft Excel". The ribbon menu is visible at the top, showing tabs for Inicio, Insertar, Diseño de página, Fórmulas, Datos, Revisar, and Vista. The main worksheet displays the "QUAL2Kw Stream Water Quality Model" for "Quebrada El Recreo (12/1/2011)". The data is organized into several columns representing different parameters and conditions. The first few rows define the model type and location. Subsequent rows provide detailed data for "Diffuse Source Data", including columns for Name, Up (km), Down (km), Diffuse Abstraction, Diffuse Inflow, Spec Cond, Inorg SS, Dissolved Oxygen, slow CBOD, fast CBOD, Organic N, Ammon N, Nitrate P, Organic P, Inorganic P, Phyto plankton, and Detritus. The spreadsheet also features various Excel tools like Open File, Run VBA, and Run Fortran, and includes tabs for Point Sources, Diffuse Sources, Fitness, Auto-calibration, and Hydraulics.

- Salidas del modelo

Una vez incorporada la información de entrada al modelo y realizado su respectivo procesamiento, el software reporta un registro de resultados, el cual se encuentra en forma gráfica y numérica. Para fines de visualización y comprensión de los fenómenos se utiliza con mayor frecuencia los reportes gráficos, los cuales especifican la concentración de los diferentes variables a lo largo de la corriente en cuestión.

- Relaciones hidráulicas en los elementos computacionales

Como anteriormente se mencionó, el modelo unidimensional Qual2kw representa una corriente hídrica superficial como una serie de elementos computacionales, los cuales transfieren información relacionada con el flujo en forma consecutiva, lo cual es descrito por variables tales como la velocidad y el tirante, entre otros.

Para efectos de la implementación del modelo de calidad de agua en la corriente, las características o relaciones hidráulicas que definen dicho comportamiento son las curvas de relación, ya que el análisis a través de la corriente se lo hace sobre secciones irregulares y por medio de la selección de sitios representativos para posteriormente extrapolar estas condiciones a lo largo de todo la corriente superficial.

Dentro de las curvas de relación los parámetros a estimar corresponden a los coeficientes y exponentes de las relaciones profundidad media Vs. Caudal y de velocidad media Vs. Caudal, tal como se muestra en la ecuaciones descritas anteriormente. Los valores estimados para los diferentes sitios estudiados son mostrados en la siguiente tabla.

Tabla79. Coeficientes Hidráulicos Determinados Para La Quebrada Miraflores

Sitio	H-Q		V-Q	
	A	β	a	B
Parte Alta	0.597	0.128	0.412	0.503
Parte Baja	0.387	0.272	0.665	0.71

- Constantes de reacción

Los valores de las constantes de reacción para la quebrada Miraflores fueron determinados mediante el proceso de ensayo y Error. En general el procedimiento consistió en hallar primero el valor de las constantes de reaireación y de degradación Carbonácea mediante comparación de las curvas establecidas por el modelo y los valores establecidos con los puntos de calibración. Posteriormente se determinó el valor de las constantes relacionadas con los diferentes estados del nitrógeno, lo cual involucra el paso del Nitrógeno Orgánico a Nitrógeno Ammoniacal, este a su vez a Nitritos y Nitratos, entre otras. Los valores encontrados fueron:

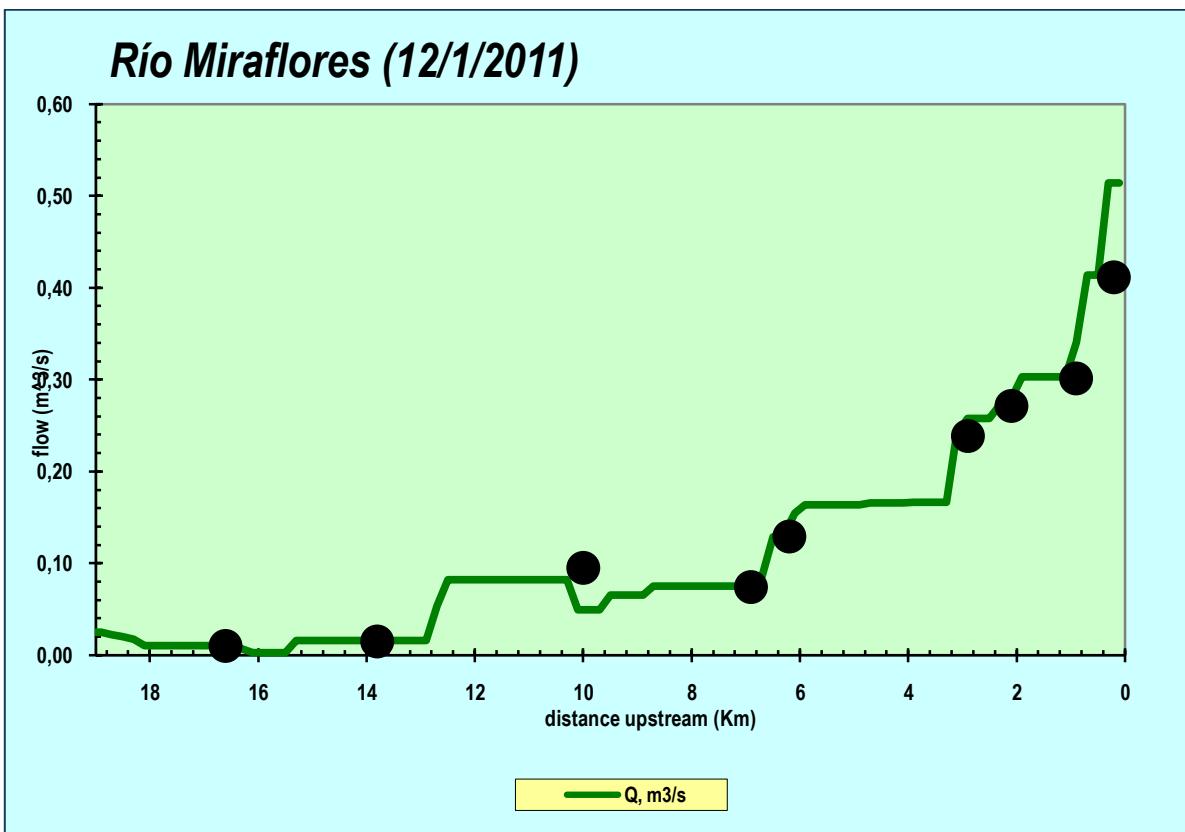
Modelo de Reaireación: Pool& Riffle
 Constante de Hidrolisis de la DBO lenta: 1 d-1
 Constante de Oxidación de la DBO lenta: 0 d-1
 Constante de Oxidación de la DBO rápida: 2 d-1
 Constante de Hidrolisis de Nitrógeno Orgánico a NH3: 1 d-1
 Constante de Nitrificación: 0.3 d-1
 Constante de Denitrificación: 0.1 d-1
 Constante de Hidrolisis de Fósforo Orgánico: 0.03 d-1
 Constante de Disolución de Detritus: 3.5 d-1
 Constante de Decaimiento de patógenos: 1.5 d-1

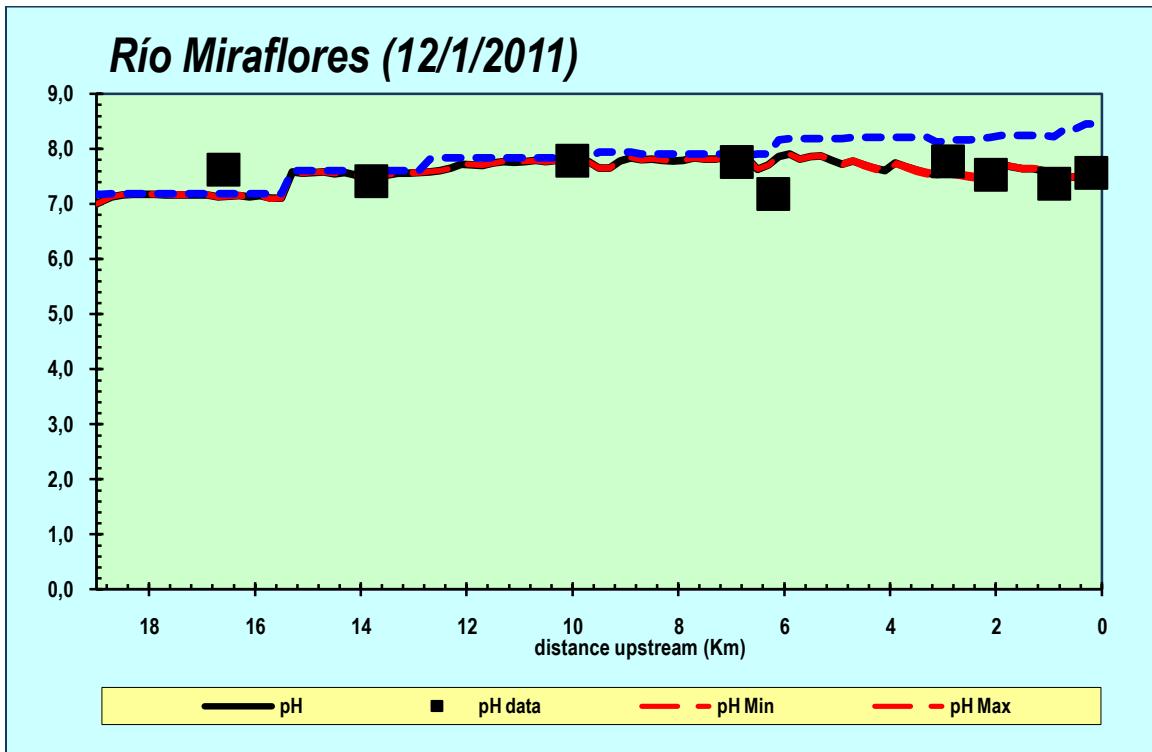
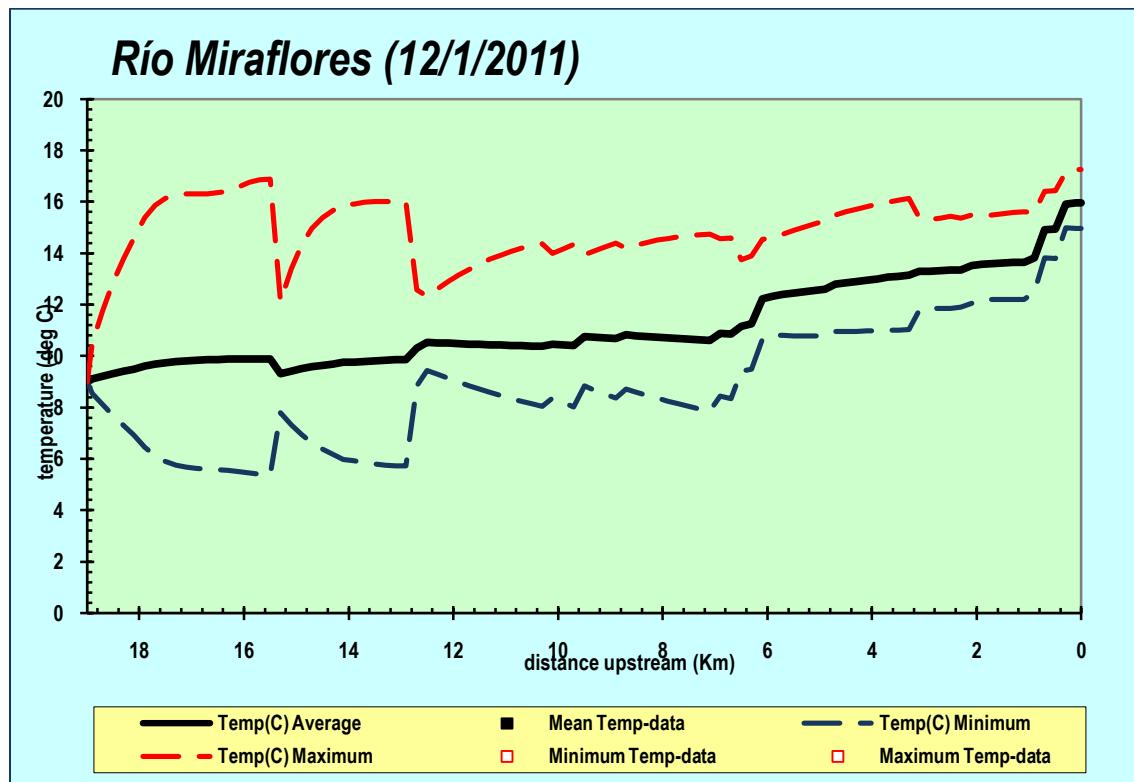
6.6.3 ESCENARIO ACTUAL DE CALIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL DE LA QUEBRADA MIRAFLORES:

Aplicado y calibrado el modelo de simulación matemático QUAL2K teniendo en cuenta los insumos y demás aspectos técnicos explicados anteriormente, se obtuvieron los resultados de las distintas variables que permitieron establecer el escenario actual de calidad del cauce principal de la quebrada Miraflores desde su nacimiento en la Laguna Negra del Volcán Galeras hasta su desembocadura al río Pasto.

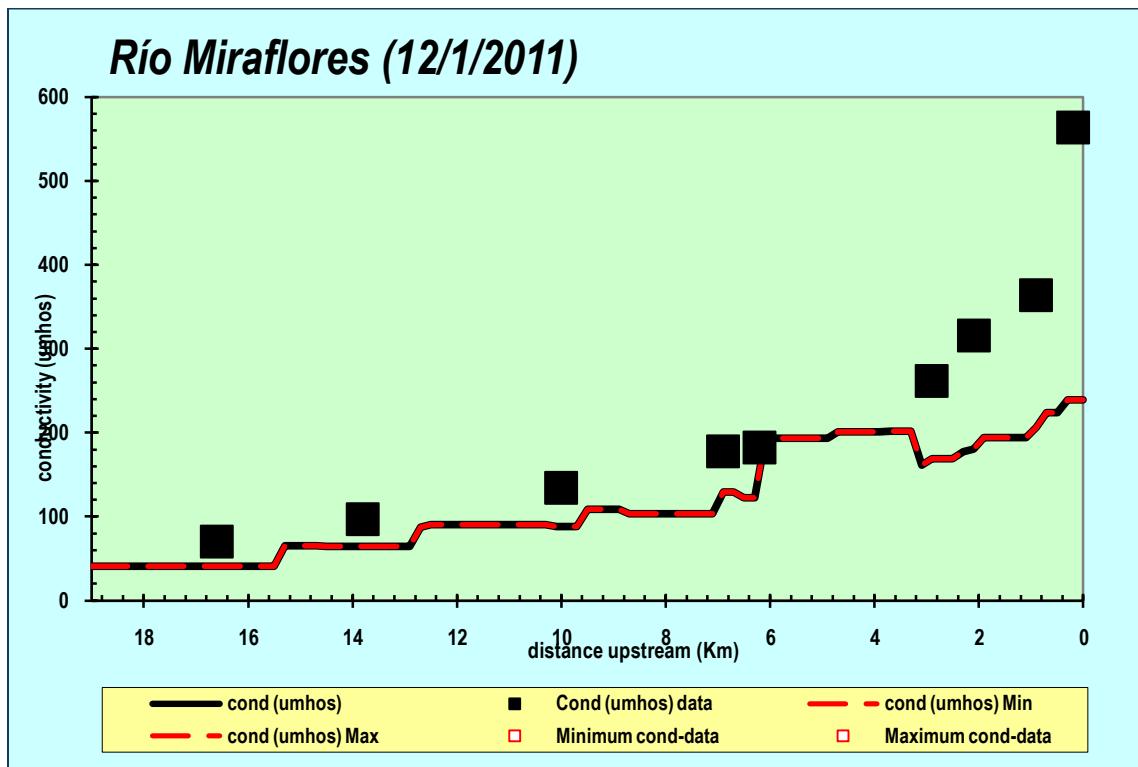
A continuación se presentan la graficas obtenidas para las variables: Caudal (m^3/s), pH, temperatura, conductividad, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, materia orgánica de rápida degradación, materia orgánica de lenta degradación, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos, fosforo orgánico y coliformes totales.

Grafica 31. Caudal Quebrada Q Miraflores (m^3/seg)

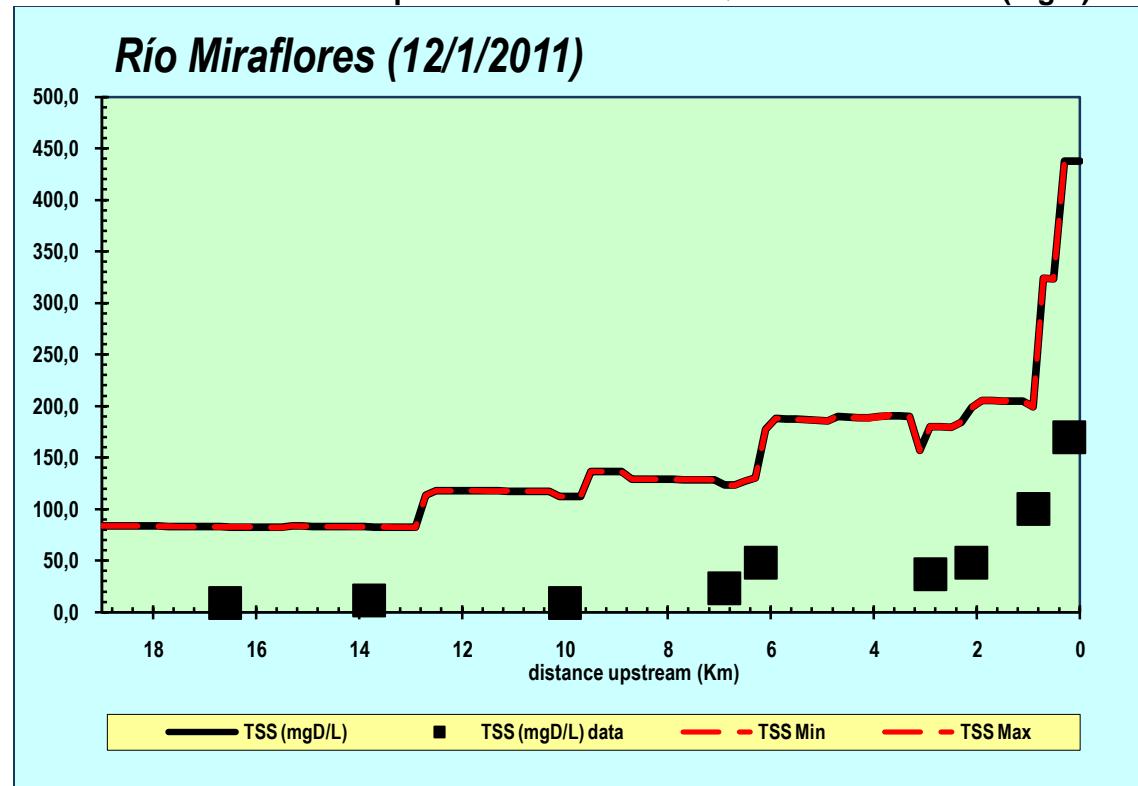


Grafica 32. Potencial de Hidrógeno pH Quebrada Miraflores (pH)

Grafica 33. Temperatura Quebrada Miraflores (°C)


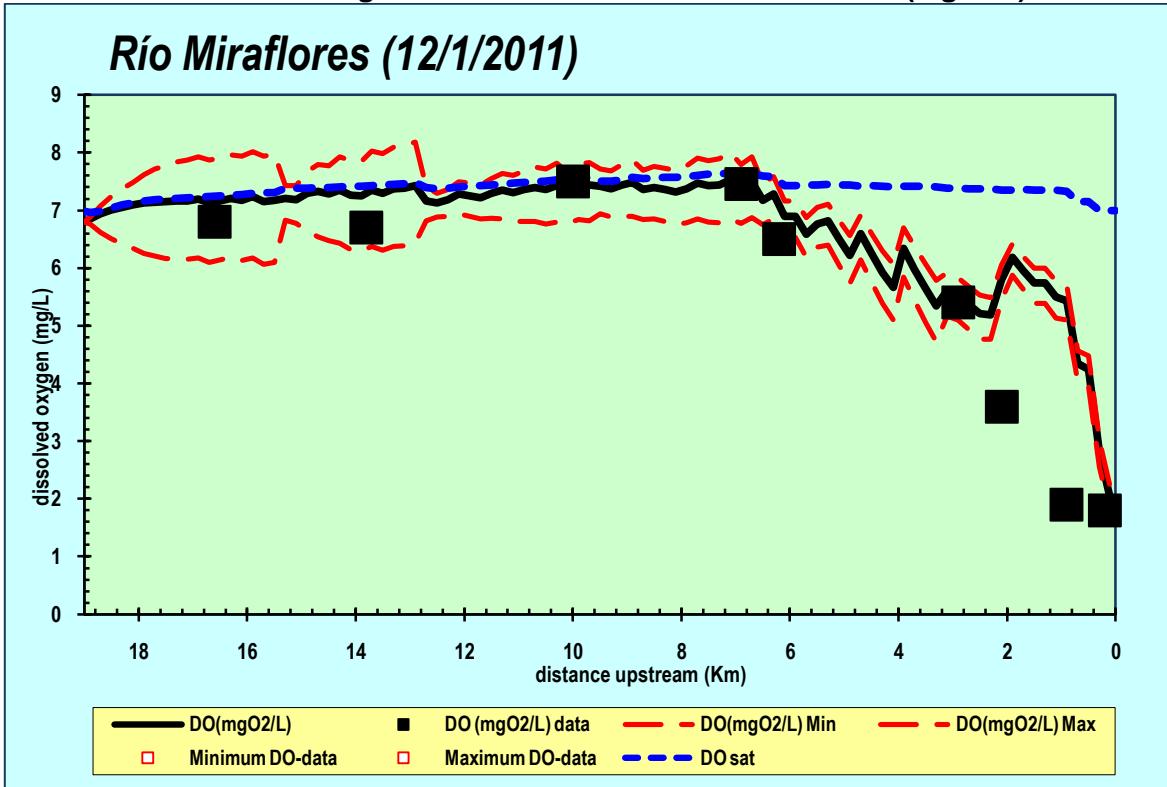
Grafica 34. Conductividad Quebrada Miraflores (umhos)



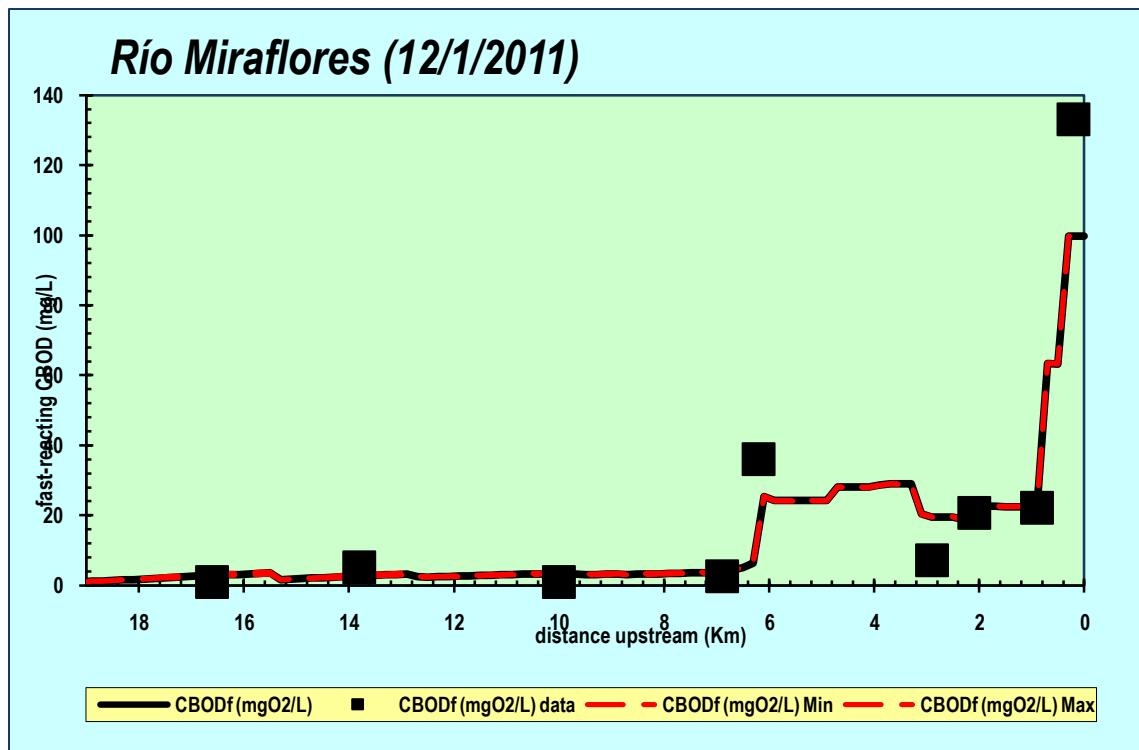
Grafica 35. Sólidos Suspendedos Totales SST Quebrada Miraflores (mg/L)

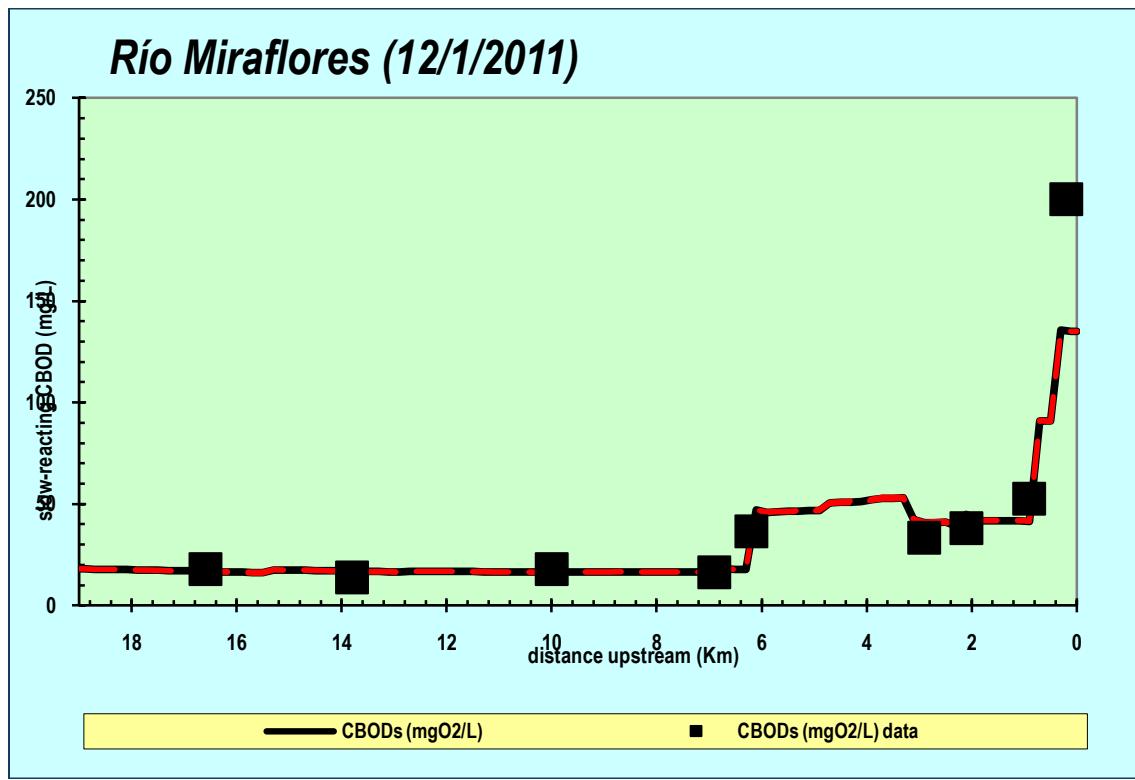
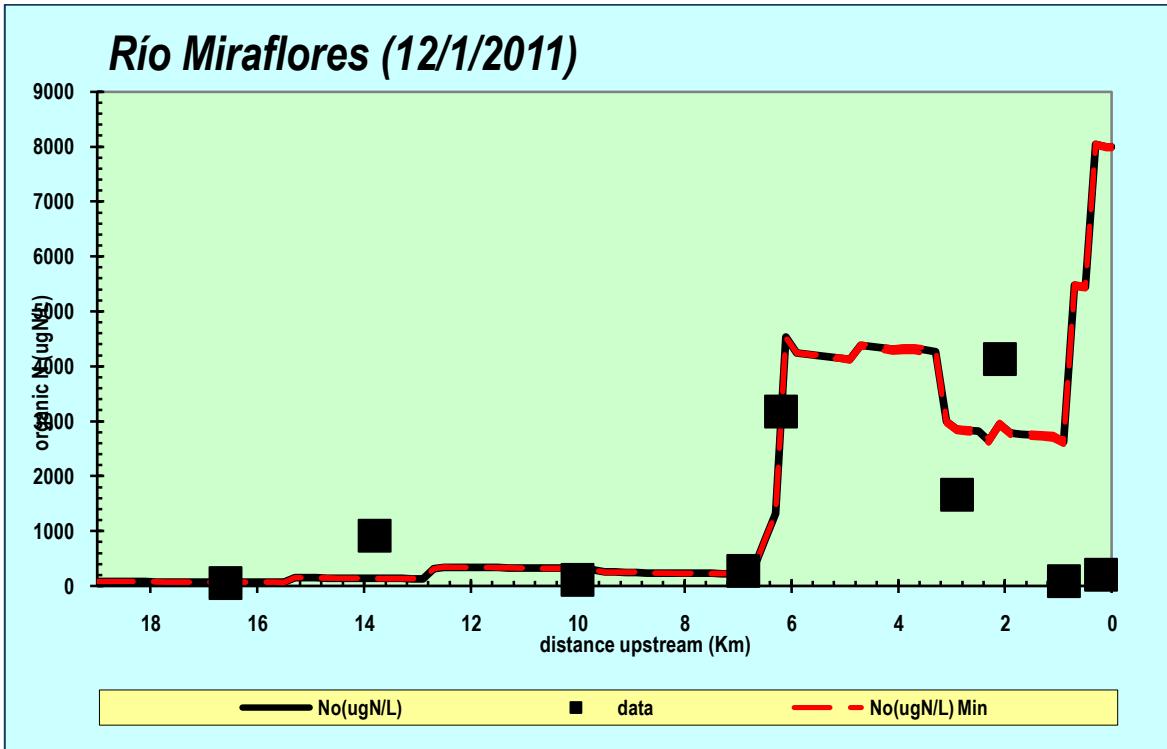


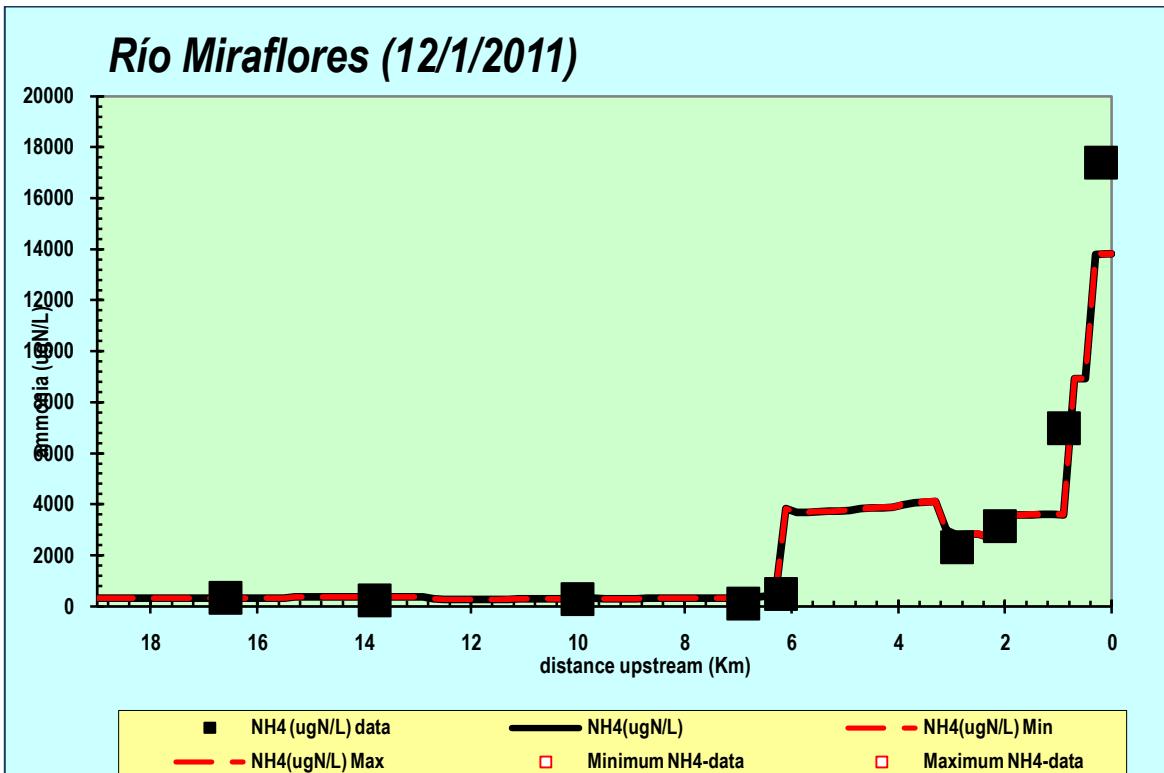
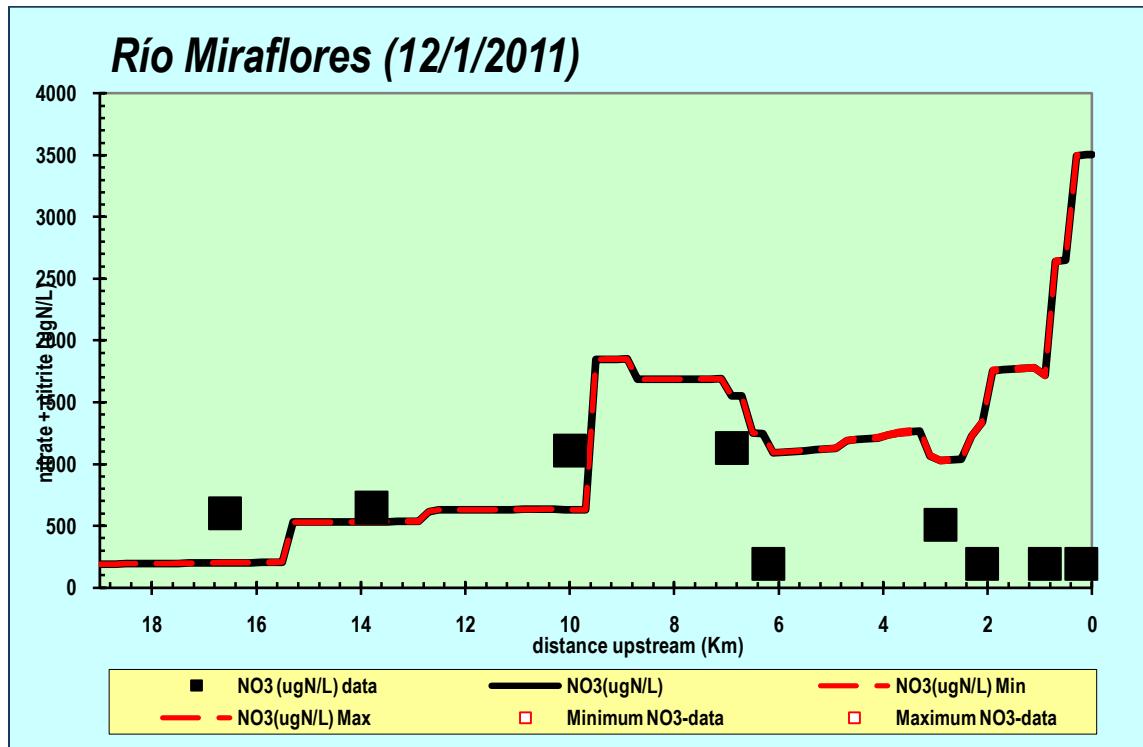
Grafica 36. Oxigeno Disuelto OD Quebrada Miraflores (mgO₂/L)

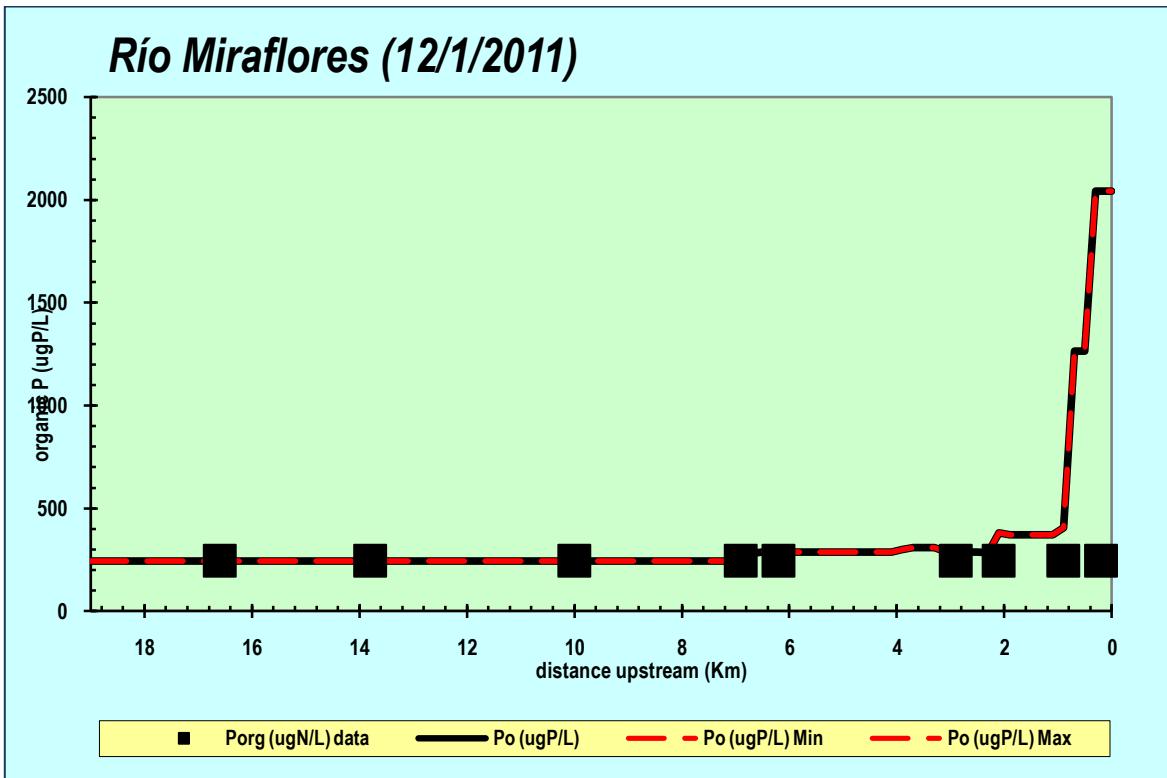


Grafica 37. Materia Orgánica de Rápida Degradación Quebrada Miraflores (mgO₂/L)

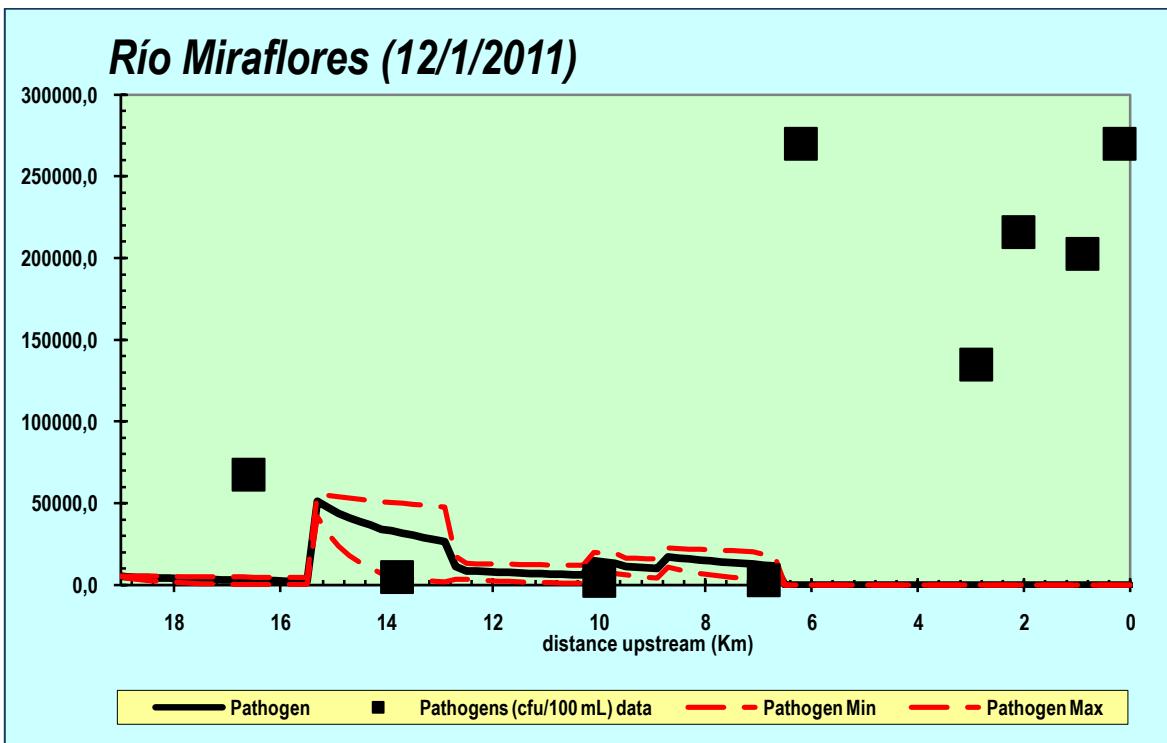


Grafica 38. Materia Orgánica de Lenta Degradación Quebrada Miraflores (mgO₂/L)

Grafica 39. Nitrógeno Orgánico No Quebrada Miraflores (ugN/L)


Grafica 40. Nitrógeno Amoniacal NH₄ Quebrada Miraflores (ugN/L)

Grafica 41. Nitratos NO₃ Quebrada Miraflores (ugN/L)


Grafica 42. Fosforo Total P_o Quebrada Miraflores (ugP/L)


Grafica 43. Coliformes Totales Pathogen Quebrada Miraflores (cfu/100mL)



Por razones de funcionamiento del modelo QUAL2K, la distancia correspondiente al eje X de las graficas se representa en orden decreciente de izquierda a derecha, siendo el numero o distancia mayor el nacimiento de la quebrada Miraflores y el numero cero o distancia menor su desembocadura al río Pasto.

Los datos de entrada del modelo de calidad corresponden a los resultados analíticos de laboratorio correspondientes al muestreo del 22 de septiembre de 2011, ya que por las condiciones climáticas (transición verano a invierno) es el que presentó las condiciones de calidad mas criticas del cauce principal de la quebrada Miraflores con relación al primer muestreo efectuado el 21 de julio del mismo año.

Las graficas permiten relacionar los datos de entrada representados en puntos de color negro con la tendencia o comportamiento de calibración del modelo representado en líneas, con el fin de comparar su similitud o cercanía en cada una de las variables simuladas.

La línea tendencial de caudal coincide con la mayoría de los datos de entrada, aumentando al final por encima de los 0,40 m³/seg con respecto al punto muestreado debido a que el aforo en campo se realizo a unos 200 metros antes de la desembocadura de la quebrada Miraflores al río Pasto.

El comportamiento del pH no varía de manera significativa con relación a los datos de entrada, manteniéndose en valores cercanos al neutro.

La temperatura de la quebrada Miraflores indica una tendencia al aumento desde su nacimiento hasta su desembocadura, a medida que en su recorrido va recibiendo las distintas descargas de aguas residuales ubicadas principalmente en la zona baja.

La conductividad aumenta a medida que se intensifican los puntos de vertimientos de aguas residuales; sin embargo el comportamiento del modelo muestra una tendencia por debajo de los datos de entrada.

Los sólidos suspendidos totales muestran también un crecimiento en su concentración desde el nacimiento hasta la desembocadura de la quebrada Miraflores, pero el comportamiento del modelo presenta una tendencia por encima de los datos de entrada.

Las líneas tendenciales de la materia orgánica de rápida y lenta degradación coinciden con la mayoría de los datos de entrada, a excepción del punto ubicado antes de la desembocadura el cual es superior en valor a la concentración modelada, posiblemente porque el dato de entrada fue estimado y no muestreado debido a los riesgos y limitaciones de acceso presentados en campo.

El comportamiento del oxígeno disuelto simulado en el modelo coincide con los datos de entrada, representando una línea decreciente en la concentración de oxígeno disuelto a medida que se van presentando las descargas de aguas residuales.

Las variaciones mayores entre los datos de entrada y la línea de calibración del modelo se presentan en las variables de Nitrógeno Orgánico, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos, Fosforo Total y Coliformes Totales. Las razones radican en que por más constantes que

contemple el modelo no se pueden recrear o considerar la totalidad de situaciones de tipo técnico, climático, logístico, etc. que se presentaron en campo al momento de efectuar los muestreos y demás mediciones.

El escenario actual de calidad de la quebrada Miraflores esta caracterizado por la alteración de las condiciones y características fisicoquímicas y microbiológicas del recurso hídrico debido a la intervención antrópica representada en la existencia de vertimientos de aguas residuales de origen doméstico, industrial y de servicios.

Los picos de contaminación se presentan a partir de las descargas de la vereda Botanilla y del centro poblado de Catambuco, sumando en su recorrido aguas abajo, las descargas de la Planta de Sacrificio Avícola Pollos al Día, las descargas de algunas Urbanizaciones y los vertimientos finales de tres colectores de aguas residuales domésticas del sector suroriental de la ciudad de Pasto.

Los colectores finales del sistema de alcantarillado del centro poblado de Catambuco y del sector suroriental de la ciudad de Pasto, son los mayores aportantes de cargas contaminantes, considerando que el vertimiento de las aguas residuales se efectúa actualmente sin ningún tipo de tratamiento previo.

La zona alta y media de la quebrada Miraflores no presenta alteraciones considerables en la calidad del agua.

6.7 USOS ACTUALES DEL CAUCE PRINCIPAL DE LA QUEBRADA MIRAFLORES

6.7.1 USOS ACTUALES: De acuerdo a la clasificación estipulada en el Artículo 9 del Decreto 3930 de 2010, los usos actuales identificados en el cauce principal de la quebrada Miraflores se describen a continuación:

- **Zona Alta:** correspondiente al punto de nacimiento en la Laguna Negra del Volcán Galeras, hasta la confluencia del Cauce Principal con la quebrada Hato Viejo en el sector de Cubijan Bajo.

Tabla 80. Usos Actuales Zona Alta Cauce Principal Quebrada Miraflores

USO PARA PRESERVACION DE FLORA Y FAUNA	
	<ul style="list-style-type: none"> - Laguna Negra y Nacimiento de la Quebrada Miraflores (Q. Piquisíqui), ubicados dentro del área de cobertura del Santuario de Flora y Fauna Galeras. - Uso utilizado exclusivamente para mantener y preservar la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres existentes en el Parque Nacional Natural. - En el área protegida no se presenta ningún uso con destinación antrópica.

Tabla 81. Usos Actuales Zona Alta Cauce Principal Quebrada Miraflores

USO PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	
	<ul style="list-style-type: none"> - Bocatomas de los acueductos de las veredas Cubijan Alto y Cubijan Bajo. - Por la calidad el agua únicamente emplean como tratamiento la desinfección. - Captaciones ubicadas en la parte alta de la Subcuenca en límites con el área protegida del Santuario de Flora y Fauna Galeras. - El agua es utilizada por los consumidores para cocción de alimentos, bebida directa, higiene personal y lavado de ropa y otros utensilios de uso sanitario. - Ambas Captaciones cuentan con concesión de aguas vigentes.

Tabla 82. Usos Actuales Zona Alta Cauce Principal Quebrada Miraflores

USO INDUSTRIAL	
	<ul style="list-style-type: none"> - Bocatoma individual sobre la Quebrada para uso industrial en la Planta de Lácteos La Victoria. - Captación ubicada en la parte alta de la Subcuenca en límites con el área protegida del Santuario de Flora y Fauna Galeras. - El agua es utilizada para consumo humano por parte de los trabajadores de la Empresa y para la producción de derivados lácteos como yogures y quesos. - Cuenta con concesión de aguas vigente.

Tabla 83. Usos Actuales Zona Alta Cauce Principal Quebrada Miraflores

USO AGRICOLA Y PECUARIO	
	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de 4 derivaciones sobre el Cauce Principal. - Una derivación corresponde a usuarios rurales del municipio de Tangüa y las tres restantes para usuarios rurales del municipio de Pasto. - El agua derivada recorre predios privados mediante acequias de las cuales se efectúan nuevas derivaciones utilizadas por finqueros o campesinos para el riego de cultivos agrícolas, pastos y/o abrevaderos para consumo del ganado. - Aunque algunas derivaciones tienen concesión de aguas, carecen de estructuras que permitan controlar o garantizar únicamente la captación o derivación del caudal aprobado por la Autoridad Ambiental Competente. - Principalmente en temporada de lluvias, cierta cantidad del agua captada o derivada retorna nuevamente al cauce principal mediante escurreimiento superficial o se incorpora a pequeños arroyos o acequias naturales.

- **Zona Media:** correspondiente al punto de confluencia del Cauce Principal con la quebrada Hato Viejo hasta el punto en donde se presentan las descargas de aguas residuales industriales, domesticas y de servicios del Centro Poblado del corregimiento de Catambuco.

Tabla 84. Usos Actuales Zona Media Cauce Principal Quebrada Miraflores

USO PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	
	<ul style="list-style-type: none"> - Bocatoma del Acueducto Mijitayo de la ciudad de Pasto operado por la empresa de Servicios Públicos EMPOPASTO SA ESP. - Por la calidad del agua captada, el tratamiento empleado en la PTAP es de tipo convencional que incluye desarenación previa, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. - El agua es utilizada por los consumidores para cocción de alimentos, bebida directa, higiene personal y lavado de ropa y otros utensilios de uso sanitario. - Cuenta con concesión de aguas vigente y un caudal autorizado de 120 litros por segundo. - Por su destinación y la cantidad de usuarios que abastece, la captación es considerada el uso actual de mayor importancia identificado sobre el cauce principal de la quebrada Miraflores.

- **Zona Baja:** correspondiente al punto de ubicación de las descargas de Catambuco, pasando por el sector urbano de la ciudad de Pasto hasta su desembocadura al río Pasto.

Como se pudo observar en la topología y se describió en el Perfil de Calidad, la quebrada Miraflores en su zona baja es receptora de vertimientos domésticos, industriales y de servicios del sector de Catambuco y una zona urbana de la ciudad de Pasto, por lo tanto la calidad del agua en esas condiciones no es apta para ninguno de los usos estipulados por la normatividad vigente, siendo esta la principal razón por la cual no existen usos actuales identificados.

6.8 RIESGOS ASOCIADOS A LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO

De acuerdo al diagnostico del cauce principal de la quebrada Miraflores, los riesgos identificados corresponden a situaciones que se podrían presentar o acrecentar de manera que pongan en peligro la satisfacción de los usos actuales y potenciales caracterizados repercutiendo o incidiendo de manera directa sobre la calidad de vida de sus beneficiarios.

Tabla 85. Riesgos Asociados A La Disponibilidad Del Recurso Hídrico Sobre El Cauce Principal De La Quebrada Miraflores

Tipo de Riesgo	Descripción del Riesgo	Actividades Generadoras del Riesgo	Población beneficiaria vulnerable	Intensidad del Riesgo	Registro Fotográfico
Riesgo por desabastecimiento de agua	Cantidad insuficiente de agua para satisfacción de las necesidades de todos los beneficiarios o usuarios existentes del recurso hídrico o potenciales.	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de captaciones o derivaciones que superen la oferta hídrica y el caudal ecológico. - Uso Ineficiente y desperdicio del caudal de agua captado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Habitantes de las veredas Cubijan Bajo, Cubijan Alto, sector de la ciudad de Pasto y usuarios agrícolas y pecuarios. - Ecosistemas de la Subcuenca Miraflores. 	Alto	

Riesgo por disminución del caudal natural de la corriente superficial	<p>Acciones antrópicas que generen una disminución gradual del caudal principal de la Quebrada en el transcurso del tiempo.</p> <p>Acciones Climáticas que generen disminución del caudal de manera temporal en ciertas épocas del año.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Deforestación y desprotección de la ronda hídrica por ampliación de la frontera agrícola y ganadera. - Presión sobre el recurso hídrico por la captación del 100% de los afloramientos naturales impidiendo que estos escurran o aporten caudal al Cauce Principal. - Temporada de verano y fenómenos climáticos como el del Niño que generan un déficit en la precipitación interanual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Habitantes de las veredas Cubijan Bajo, Cubijan Alto, sector de la ciudad de Pasto y usuarios agrícolas y pecuarios. - Ecosistemas de la Subcuenca Miraflores. 	Alto	 
--	---	--	---	------	---

Riesgo por contaminación de la corriente superficial	<p>Alteración de la calidad fisicoquímica y bacteriológica natural del agua de la Quebrada volviéndola no apta para la satisfacción de los usos estipulados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vertimientos puntuales de origen doméstico, industrial y de servicios. - Vertimientos difusos o esporádicos provenientes de arrastre de suelos con agroquímicos y fungicidas. - Disposición inadecuada de residuos sólidos de agroquímicos y fungicidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Habitantes de las veredas Cubijan Bajo, Cubijan Alto, sector de la ciudad de Pasto y usuarios agrícolas y pecuarios. - Ecosistemas de la Subcuenca Miraflores. 	Alto	
Riesgo por inundaciones o desbordamientos	<p>Crecimientos de caudal de la Corriente superficial que afecten a poblaciones ubicadas en áreas no apropiadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Invasión de la Ronda Hídrica de la Quebrada para construcción de viviendas y urbanizaciones, principalmente en la zona urbana del municipio de Pasto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Viviendas y habitantes ubicados en la ronda hídrica de la quebrada Miraflores: - Vereda Cubijan Bajo. - Barrio Chapal de la ciudad de Pasto. 	Alto	