

**MODELO DE CALIDAD DEL AGUA Y DETERMINACION DE LA CAPACIDAD  
DE ASIMILACION DEL RIO PAMPLONITA EN UN SEGMENTO DE 13.6 Km  
SOBRE SU CUENCA MEDIA**

**JORGE LUIS BARBOSA ARRIETA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
MAESTRIA EN QUIMICA AMBIENTAL  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2013**

**MODELO DE CALIDAD DEL AGUA Y DETERMINACION DE LA CAPACIDAD  
DE ASIMILACION DEL RIO PAMPLONITA EN UN SEGMENTO DE 13.6 Km  
SOBRE SU CUENCA MEDIA**

**JORGE LUIS BARBOSA ARRIETA**

**Proyecto de grado como requisito para optar al título de Magister en Química  
Ambiental**

**Director**

**MARIANNY YAJAIRA COMBARIZA**

**M Sc. y Ph. D. Química Analítica Instrumental**

**Codirector**

**LEONARDO DAVID DONADO**

**Ph. D. en Ingeniería Civil**

**M. Sc. En Ingeniería – Recursos Hidráulicos**

**Prof. asistente –Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**MAESTRIA EN QUIMICA AMBIENTAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE QUÍMICA**

**BUCARAMANGA**

**2013**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	14
1. OBJETIVO .....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
2. ÁREA DE ESTUDIO .....	21
2.1 UBICACIÓN .....	21
2.2 CLIMA .....	24
3. METODOLOGÍA .....	28
3.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	29
3.2 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	30
3.2.1 Modelo hidráulico .....	32
3.2.2 Modelo de temperatura .....	34
3.2.3 Modelación de los determinantes. ....	36
3.2.4 Calibración. ....	40
3.3 ESCENARIOS DE MODELACIÓN .....	41
3.3.1 Determinación del caudal mínimo .....	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
4.1 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AGUA RÍO PAMPLONITA... 44	
4.1.1 Capacidad neutralizante – pH.....	47
4.1.2 Oxígeno Disuelto .....	48
4.1.3 Grasas y Aceites e Hidrocarburos .....	50
4.1.4 Sulfatos y Cloruros.....	52
4.1.5 Nitritos, Nitratos y Nitrógeno Amoniacal.....	55
4.1.6 Fósforo Disuelto y Fosfato Total. ....	58
4.1.7 Coliformes Totales y Escherichia coli. ....	60

4.1.8 Metales. ....	63
4.2 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PAMPLONITA.....	64
4.2.1 Modelo hidráulico.....	66
4.2.2 Calibración de las tasas de reacción de los determinantes .....	77
4.2.3 Determinación del caudal mínimo del Río Pamplonita.....	92
4.2.4 Modelos predictivos .....	96
CONCLUSIONES .....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	136
ANEXOS.....	142

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo sobre el Río Pamplonita y Canal Duplat .....	23
Figura 2. Valores de Temperatura Promedio Multianual de la estación Aeropuerto Camilo Daza (2000 - Feb 2012). .....	25
Figura 3. Valores de Precipitación Media reportados por Estaciones Pluviométricas del IDEAM. ....	26
Figura 4. Marco de modelación para el Río Pamplonita (modificado de Camacho & Díaz, 2003). .....	28
Figura 5. Esquema de segmentación de QUAL2KW .....	32
Figura 6. Balance de flujo en cada elemento. ....	33
Figura 7. Balance de calor en cada elemento. ....	35
Figura 8. Balance de masa en cada elemento. ....	38
Figura 9. Modelo cinético de los determinantes de QUAL2KW. ....	38
Figura 10. Curvas de calibración .....	69
Figura 11. Evaluación multianual de Caudales de la Estación Don Juana 2. ....	93
Figura 12. Resultados Análisis de Excedencias a. Representación gráfica de Caudales y su porcentaje de Excedencia, b. Caudales y su porcentaje de Excedencia. ....	95

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Perfil del pH en Río Pamplonita y la captación Montebello .....	47
Gráfica 2. Perfil de OD en Río Pamplonita y la captación Montebello .....	49
Gráfica 3. Perfil de Grasas y Aceites en el Río Pamplonita y la captación Montebello .....	51
Gráfica 4. Perfil de Hidrocarburos en el Río Pamplonita y la captación Montebello .....	51
Gráfica 5. Perfil de Sulfatos en el Río Pamplonita y la captación Montebello .....	53
Gráfica 6. Perfil de Cloruros en el Río Pamplonita y la captación Montebello .....	55
Gráfica 7. Perfil de Nitratos en Río Pamplonita y captación Montebello .....	56
Gráfica 8. Perfil de Nitritos en Río Pamplonita y captación Montebello .....	57
Gráfica 9. Perfil de Nitrógeno Amoniacal en el Río Pamplonita y captación Montebello .....	58
Gráfica 10. Perfil de Fósforo Total en el Río Pamplonita y captación Montebello	59
Gráfica 11. Perfil de Fosfato Total en el Río Pamplonita y captación Montebello.	60
Gráfica 12. Perfil de Coliformes Totales en Río Pamplonita y captación Montebello .....	61
Gráfica 13. Perfil de Coliformes Fecales en Río Pamplonita y captación Montebello .....	62
Gráfica 14. Perfil de Plomo en el Río Pamplonita y captación Montebello .....	63
Gráfica 15. Perfil de Bario en el Río Pamplonita y captación Montebello .....	63
Gráfica 16. Curva de ajuste caudal.....	76
Gráfica 17. Curva de ajuste velocidad .....	76
Gráfica 18. Curva de ajuste profundidad .....	77
Gráfica 19. Curva de Calibración Temperatura .....	84
Gráfica 20. Curva de Calibración Conductividad .....	84
Gráfica 21. Curva de Calibración Oxígeno Disuelto.....	85

Gráfica 22. Curva de Calibración DBO <sub>lenta</sub> .....	85
Gráfica 23. Curva de Calibración DBO <sub>rápida</sub> .....	86
Gráfica 24. Curva de Calibración de NH <sub>4</sub> .....	86
Gráfica 25. Curva de Calibración de Nitrógeno Orgánico .....	87
Gráfica 26. Curva de Calibración de Fósforo Orgánico .....	87
Gráfica 27. Curva de Calibración de Fósforo Inorgánico .....	88
Gráfica 28. Curva de Calibración de Alcalinidad.....	88
Gráfica 29. Curva de Calibración de Patógenos .....	89
Gráfica 30. Curva de Calibración de pH .....	89
Gráfica 31. Curva de Calibración de Grasas y Aceites .....	90
Gráfica 32. Curva de Calibración de Nitrógeno Total.....	90
Gráfica 33. Curva de Calibración de Fósforo Total .....	91
Gráfica 34. Curva de Calibración de Sólidos Suspendidos Totales .....	91
Gráfica 35. Curva de Calibración de Fitoplancton.....	92
Gráfica 36. Curva de predicción caudal (1).....	97
Gráfica 37. Curva de predicción Temperatura (1).....	101
Gráfica 38. Curva de predicción Conductividad (1).....	101
Gráfica 39. Curva de predicción Oxígeno Disuelto (1).....	102
Gráfica 40. Curva de de predicción DBO <sub>lenta</sub> (1).....	102
Gráfica 41. Curva de de predicción DBO <sub>Rápida</sub> (1).....	103
Gráfica 42. Curva de de predicción NH <sub>4</sub> (1).....	103
Gráfica 43. Curva de de predicción Nitrógeno Orgánico (1) .....	104
Gráfica 44. Curva de predicción de Nitrógeno Total (1).....	104
Gráfica 45. Curva de predicción Fósforo Orgánico (1).....	105
Gráfica 46. Curva de predicción Fósforo Inorgánico (1) .....	105
Gráfica 47. Curva de predicción de Fósforo Total (1) .....	106
Gráfica 48. Curva de predicción Alcalinidad (1) .....	106
Gráfica 49. Curva de predicción de Patógenos (1) .....	107
Gráfica 50. Curva de predicción de pH (1).....	107
Gráfica 51. Curva de predicción de Grasas y Aceites (1) .....	108

Gráfica 52. Curva de predicción de Sólidos Suspendidos Totales (1) .....	108
Gráfica 53. Curva de predicción de Fitoplancton (1) .....	109
Gráfica 54. Curva de predicción de patógenos con 5+06 UFC/100ml (1).....	109
Gráfica 55. Curva de predicción de patógenos con 4+06 UFC/100ml (1).....	110
Gráfica 56. Curva de predicción de patógenos con 3+06 UFC/100ml (1).....	110
Gráfica 57. Curva de predicción de Caudal (2) .....	111
Gráfica 58. Curva de predicción de Temperatura (2).....	112
Gráfica 59. Curva de predicción de Oxígeno Disuelto (2).....	113
Gráfica 60. Curva de predicción de Conductividad (2).....	113
Gráfica 61. Curva de predicción de DBO <sub>lenta</sub> (2) .....	114
Gráfica 62. Curva de predicción de DBO <sub>rápida</sub> (2).....	114
Gráfica 63. Curva de predicción de Nitrógeno Orgánico (2) .....	115
Gráfica 64. Curva de predicción de Amonio (2) .....	115
Gráfica 65. Curva de predicción de Nitratos y Nitritos (2) .....	116
Gráfica 66. Curva de predicción de Fósforo orgánico (2) .....	116
Gráfica 67. Curva de predicción de Fósforo inorgánico (2).....	117
Gráfica 68. Curva de predicción de Alcalinidad (2) .....	117
Gráfica 69. Curva de predicción de pH (2).....	118
Gráfica 70. Curva de predicción de patógenos (2).....	118
Gráfica 71. Curva de predicción de Grasas y Aceites (2) .....	119
Gráfica 72. Curva de predicción de Phytoplancton (2).....	119
Gráfica 73. Curva de predicción de Nitrógeno Total (2).....	120
Gráfica 74. Curva de predicción de Fósforo Total (2) .....	120
Gráfica 75. Curva de predicción de Sólidos Suspendidos Totales (2) .....	121
Gráfica 76. Curva de predicción de Caudal (3) .....	122
Gráfica 77. Curva de predicción de Conductividad (3).....	123
Gráfica 78. Curva de predicción de Oxígeno Disuelto (3).....	124
Gráfica 79. Curva de predicción de DBO <sub>lenta</sub> (3) .....	124
Gráfica 80. Curva de predicción de DBO <sub>rápida</sub> (3).....	125
Gráfica 81. Curva de predicción de Amonio (3) .....	125

Gráfica 82. Curva de predicción de Nitrógeno Orgánico (3) .....	126
Gráfica 83. Curva de predicción de Alcalinidad (3) .....	126
Gráfica 84. Curva de predicción de Patógenos (3) .....	127
Gráfica 85. Curva de predicción de pH (3).....	127
Gráfica 86. Curva de predicción de Grasas y Aceites (3) .....	128
Gráfica 87. Curva de predicción de Nitrógeno Total (3).....	128
Gráfica 88. Curva de predicción de Fósforo Total (3) .....	129
Gráfica 89. Curva de predicción de Sólidos Suspendidos Totales (3) .....	129
Gráfica 90. Curva de predicción de Phytoplankton (3).....	130

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ubicación de los sitios utilizados para la modelación sobre el Río Pamplonita.....	22
Tabla 2. Georeferenciación de las estaciones climatológicas del IDEAM.....	25
Tabla 3. Histórico de Monitoreos realizados período 2007-2011 .....	29
Tabla 4. Principales determinantes que modela QUAL2KW.....	37
Tabla 5. Histórico período 2007- 2011 de resultados del agua del Río Pamplonita.....	45
Tabla 6. Histórico período 2007- 2011 de resultados del agua del Río Pamplonita 46	
Tabla 7. Calidad del agua en función del % saturación de oxígeno.....	49
Tabla 8. Fuentes Puntuales usadas en la Modelación del Río Pamplonita. ....	65
Tabla 9. Resultados de la Caracterización Hidráulica del Río Pamplonita .....	68
Tabla 10. Información hidráulica utilizada en el modelo de calidad del Río Pamplonita.....	75
Tabla 11. Resultados de caracterización fisicoquímica en Río Pamplonita y fuentes puntuales.....	78
Tabla 12. Resultados de caracterización fisicoquímica en Río Pamplonita y fuentes puntuales.....	79
Tabla 13. Resultados de caracterización fisicoquímica en Río Pamplonita y fuentes puntuales.....	80
Tabla 14. Parámetros para controlar el algoritmo genético de la calibración automática de QUAL2KW .....	82
Tabla 15. Tasas calibradas .....	83
Tabla 16. Serie de Caudales Mínimos Semanales de cada año.....	94

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Tabla de Consenso Internacional Años El Niño y La Niña (Adaptada de Null 2003, tomado de UNAL 2007) .....	142
ANEXO B. Fichas para Caracterización Hidráulica del Río Pamplonita .....	145

## RESUMEN

**TITULO:** MODELO DE CALIDAD DEL AGUA Y DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ASIMILACION DEL RIO PAMPLONITA EN UN SEGMENTO DE 13.6 Km SOBRE SU CUENCA MEDIA\*

**AUTOR:** JORGE LUIS BARBOSA ARRIETA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Capacidad de asimilación, Modelo de calidad de agua, calibración, Qual2Kw, Río Pamplonita.

### DESCRIPCION

El Río Pamplonita se extiende desde el municipio de Pamplona hasta Puerto Santander (Norte de Santander). Durante su recorrido recibe las aguas residuales de Pamplona, Bochalema, Los Patios y Cúcuta, es sitio de captación de los acueductos de Cúcuta y los Patios y de múltiples derivaciones con fines agrícolas, domésticos e industriales, además de ser un Río vulnerable a impactos por derrames de hidrocarburos debido a su cercanía a línea de transporte Oleoducto Caño Limón - Coveñas. Dado el grado de intervención se evaluó su capacidad de asimilación mediante la utilización del software de modelación matemática QUAL2Kw. Se tuvo en cuenta un segmento de 13.6 Km, se muestrearon 6 secciones sobre el Río y los 5 vertimientos y captaciones más representativos, realizando mediciones de caudales y tomando muestras compuestas fisicoquímicas, hidrobiológicas y bacteriológicas durante 2 días, en la época de estiaje. El modelo del Río Pamplonita presentó un buen ajuste de calibración (11.008) con un Error Cuadrático Medio bajo de 0.09, por lo cual fue posible utilizar el modelo para realizar diferentes predicciones bajo escenarios de calidad críticos, como (1) caudal ecológico en Río (4.26 m<sup>3</sup>/s) y máxima concentración de contaminantes en el Canal Duplat y (2) caudal ecológico en Río y máxima concentración de grasas y aceites (70 ppm). La primera predicción indicó que el vertimiento afecta la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico, dado que causa la disminución de los niveles de oxígeno disuelto, haciendo evidente la necesidad de diseñar e implementar un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para el municipio de los Patios; con la segunda predicción se encontró que una concentración de grasas y aceites tan elevada bajo un caudal ecológico en el Río Pamplonita requiere una mayor distancia para lograr autodepurar tal contaminante, sin embargo, no produjo cambios importantes en los niveles de oxígeno disuelto del Río.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Directora: Marianny Yajaira Combariza. Codirector: Leonardo David Donado

## ABSTRACT

**TITLE:** WATER QUALITY MODELING AND DETERMINATION ASSIMILATIVE CAPACITY PAMPLONITA RIVER IN A SEGMENT ON ITS BASIN 13.6 Km MEDIA<sup>\*</sup>

**AUTHOR:** JORGE LUIS BARBOSA ARRIETA <sup>\*\*</sup>

**KEYWORDS:** Assimilation capacity, water quality model, calibration, Qual2Kw, Pamplonita River.

## DESCRIPTION

The Pamplonita river runs from the town of Pamplona to Puerto Santander (Norte de Santander). During his tour receives wastewater from Pamplona, Bochalema, Los Patios and Cucuta, site collection is the aqueducts of Cucuta and Patios and multiple leads for agricultural, domestic and industrial, as well as being a river vulnerable to impacts oil spills due to its proximity to transportation line Caño Limón - Coveñas. Given the degree of intervention was assessed assimilative capacity through the use of mathematical modeling software QUAL2Kw. Consideration was given to a segment of 13.6 Km, 6 sections were sampled over the river and the 5 most representative discharges and abstractions, making measurements of flow and taking composite samples physicochemical and bacteriological hydrobiological for 2 days in the dry season. The river model showed a good fit Pamplonita calibration (11,008) with a mean square error lower than 0.09, so it was possible to use the model to make predictions under different scenarios critical quality, as (1) environmental flow in river (4.26 m<sup>3</sup> / s) and maximum concentration of pollutants in the Duplat Canal and (2) environmental flow in river and maximum concentration of fats and oils (70 ppm). The first prediction indicated that the dumping affects the self-purification capacity of the water body, as it causes decreased levels of dissolved oxygen, making clear the need to design and implement a system of Domestic Wastewater Treatment for the township of Patios , with the second prediction was found that a concentration as high fats and oils under a flow in the Pamplonita river ecological required to achieve a greater distance autodepurar such contaminant, however, produced no significant changes in the levels of dissolved oxygen of the river.

---

<sup>\*</sup> Work Degree

<sup>\*\*</sup> Faculty of School of Chemistry. Directress: Yajaira Marianny Combariza. Codirectress: David Leonardo Donado

## INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento de las ciudades y la producción industrial implica una presión hacia los cuerpos de agua superficiales, que son usados como fuente de agua o como receptores de las descargas de aguas residuales. Así mismo, estos cuerpos de agua tienen otros usos de interés para los cuales deben cumplir algunas limitaciones adicionales, entre ellos el uso para consumo humano y uso agrícola, como los más importantes para la salud humana.

En Colombia, bajo la supervisión de las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, entre otros) se ha ido definiendo el marco normativo para la gestión integral de las aguas superficiales. Este marco normativo, bajo el art.43 del decreto 3930 de 2010, evalúa la capacidad de asimilación y dilución de un cuerpo de agua receptor ante un vertimiento, siendo necesaria la construcción de modelos de simulación con capacidad predictiva en función de los usos actuales y prospectivos y los criterios de calidad establecidos en los artículos 38 a 43 y 72 y 74 del decreto 1594 de 1984.

Los modelos de simulación de calidad de agua, entran a actuar como importantes herramientas de planificación del recurso hídrico, pues simulan de forma confiable el comportamiento de un cuerpo de agua frente a diferentes eventos de intervención antrópica o cambios naturales de la cuenca.

El Río Pamplonita, en su cuenca media, cerca de la ciudad de Cúcuta (Norte de Santander), es la principal fuente de abastecimiento para consumo humano de la capital del departamento, y a la vez, el cuerpo de agua receptor de la mayor parte de vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio de los Patios, además de los usos agrícola e industrial en la ribera de diferentes sectores del tramo de estudio y las afectaciones temporales que se han presentado (2007 y 2011) por presencia de sustancias de la industria del petróleo en el cuerpo de agua; tales actividades reducen la calidad del agua antes de su paso por la ciudad de Cúcuta.

Las medidas de corrección frente a la problemática ambiental que se genera hacia el Río Pamplonita en el tramo de estudio, han sido mínima desde el municipio de Los Patios. Se redujo la proporción de descargas puntuales directas de aguas residuales domésticas sobre el Río, mediante la implementación de lagunas de oxidación, las cuales se han quedado como baja alternativa frente al crecimiento demográfico que se evidencia en este sector del departamento. Por tal razón, los diseños de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas, se convierten en una eventual alternativa para la solución a problemática de contaminación

Teniendo en cuenta esta problemática de contaminación, ECOPEPETROL S.A en su compromiso con el medio ambiente y consciente de su responsabilidad en la conservación, protección y uso sostenible, presenta en este estudio evaluar la capacidad de asimilación de la calidad de un cuerpo hídrico utilizando como herramienta metodológica de un programa matemático de modelación de la calidad de las aguas lóxicas de la EPA, QUAL2KW (versión 5.1) (Pelletier, Chapra & Thao, 2006). La evaluación estará limitada a un sector de 13.6 Km de la cuenca media del Río Pamplonita.

El presente documento muestra los resultados del modelo de calidad del agua y determinación de la capacidad de asimilación del Río Pamplonita en un segmento

de 13.6 km sobre su cuenca media y se encuentra dividido en cinco capítulos. El primer capítulo corresponde a la formulación general del estudio, en la cual se presenta la introducción y los objetivos generales y específicos, definiendo algunos aspectos, la problemática y la justificación del mismo. En el segundo capítulo se realiza una descripción del área de estudio, en la cual se revisan aspectos climatológicos, hidrológicos e hidráulicos. En el tercer capítulo se describe la metodología implementada mediante el modelo QUAL2Kw para el Río Pamplonita. El cuarto capítulo expone los resultados y discusiones obtenidas a partir de las condiciones propuestas al modelo. Finalmente, en el quinto capítulo se presentan las principales conclusiones del estudio.

## **1. OBJETIVO**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la capacidad de asimilación del Río Pamplonita (Norte de Santander), en 13.6 km de la cuenca media, mediante un modelo de simulación numérico de calidad de agua.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Analizar los resultados históricos en el período 2007-2010, de las caracterizaciones fisicoquímicas, bacteriológicas e hidrobiológicas realizadas en la cuenca media del Río Pamplonita, con el fin de obtener un diagnóstico preliminar de su calidad.

Calibrar las tasas de reacción de los determinantes utilizando el algoritmo de autocalibración PIKAIA de QUAL2KW.

Realizar un análisis hidrológico de los caudales históricos en treinta (30) años del Río Pamplonita para determinar el régimen de caudales crítico que deben ser incluidos en la modelación.

Identificar el impacto de las principales fuentes puntuales de contaminación con aguas residuales domésticas (vertimiento los patios, quebrada La Cienaga y canal Duplat) sobre la calidad del agua del Río Pamplonita, realizando predicciones bajo diferentes escenarios de simulación.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 UBICACIÓN

El Río Pamplonita nace a 3.000 m, en el cerro de Alto grande, en el páramo de Fontibón, cerca al municipio de Pamplona. Su cuenca se ubica sobre la cordillera oriental, extendiéndose por el suroeste de Norte de Santander, desde Pamplona hasta Puerto Santander.

La cuenca cubre una extensión de 13.752,4 km<sup>2</sup>, y su longitud total es de 115 km. La mayor parte de su recorrido es casi horizontal. Los principales afluentes son las quebradas Iscalá, Honda y Táchira. Durante su recorrido recibe el primer impacto ecológico negativo al convertirse en receptor de las aguas residuales de Pamplona. Luego, se convierte en el receptor de aguas descompuestas y con alta carga orgánica (mataderos) de los municipios Bochalema, Los Patios y Cúcuta, además de los plaguicidas y los agroquímicos aportados en el área de influencia de Río.

Para la modelación de la calidad del agua del Río Pamplonita se tuvo en cuenta un segmento de 13.6 Km, de la cuenca media, en el cual se muestrearon seis zonas en el municipio de los Patios, que van desde el Sector de Los Vados hasta 300 m aguas abajo de la confluencia del Río Pamplonita con el Canal Duplat (ver Figura 1, Tabla 1).

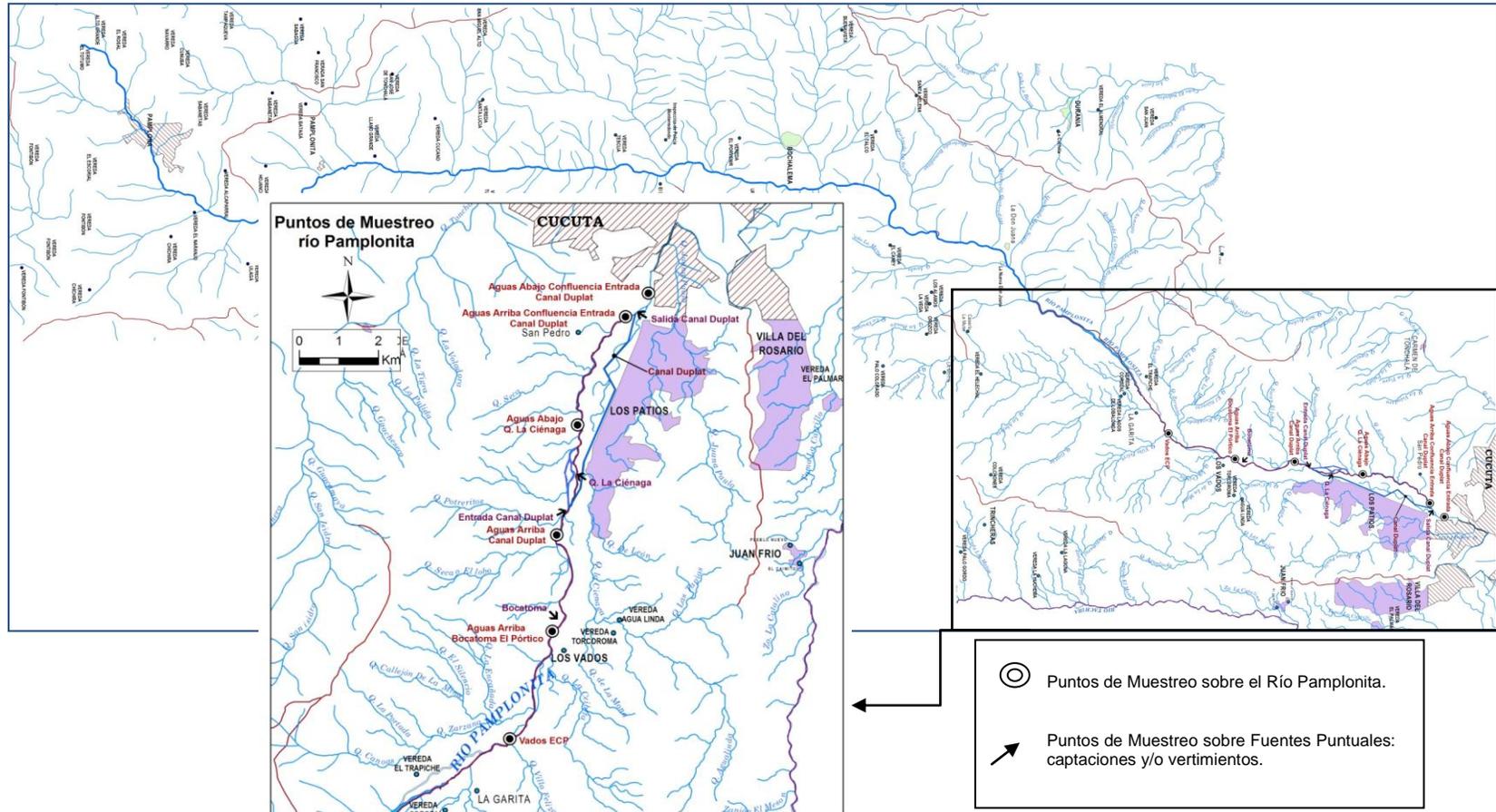
El Municipio de Los Patios se ubica fisiográficamente en una zona montañosa, que hace parte del Macizo de Santander en la Cordillera Oriental (Andes Colombianos). Su red hídrica pertenece a la Cuenca del Río Pamplonita, que a su vez hace parte de la Cuenca del Catatumbo. Aunque la mayor parte de su territorio es de relieve quebrado con pendientes pronunciadas a escarpadas; existen zonas planas y levemente inclinadas como la Meseta de Corozal y el área donde está edificada la ciudad de Los Patios.

Desde el Puente de San Rafael hasta la Vereda los Vados, por la margen derecha del Río Pamplonita se encuentran ubicados alrededor de 17 predios que captan agua del río para riego de cultivos de arroz, caña de azúcar, hortalizas, tabaco. Dentro de este tramo de estudio también se realizan captaciones con fines de potabilización (acueducto de Cúcuta y los Patios), y de uso en establecimientos industriales.

**Tabla 1. Ubicación de los sitios utilizados para la modelación sobre el Río Pamplonita**

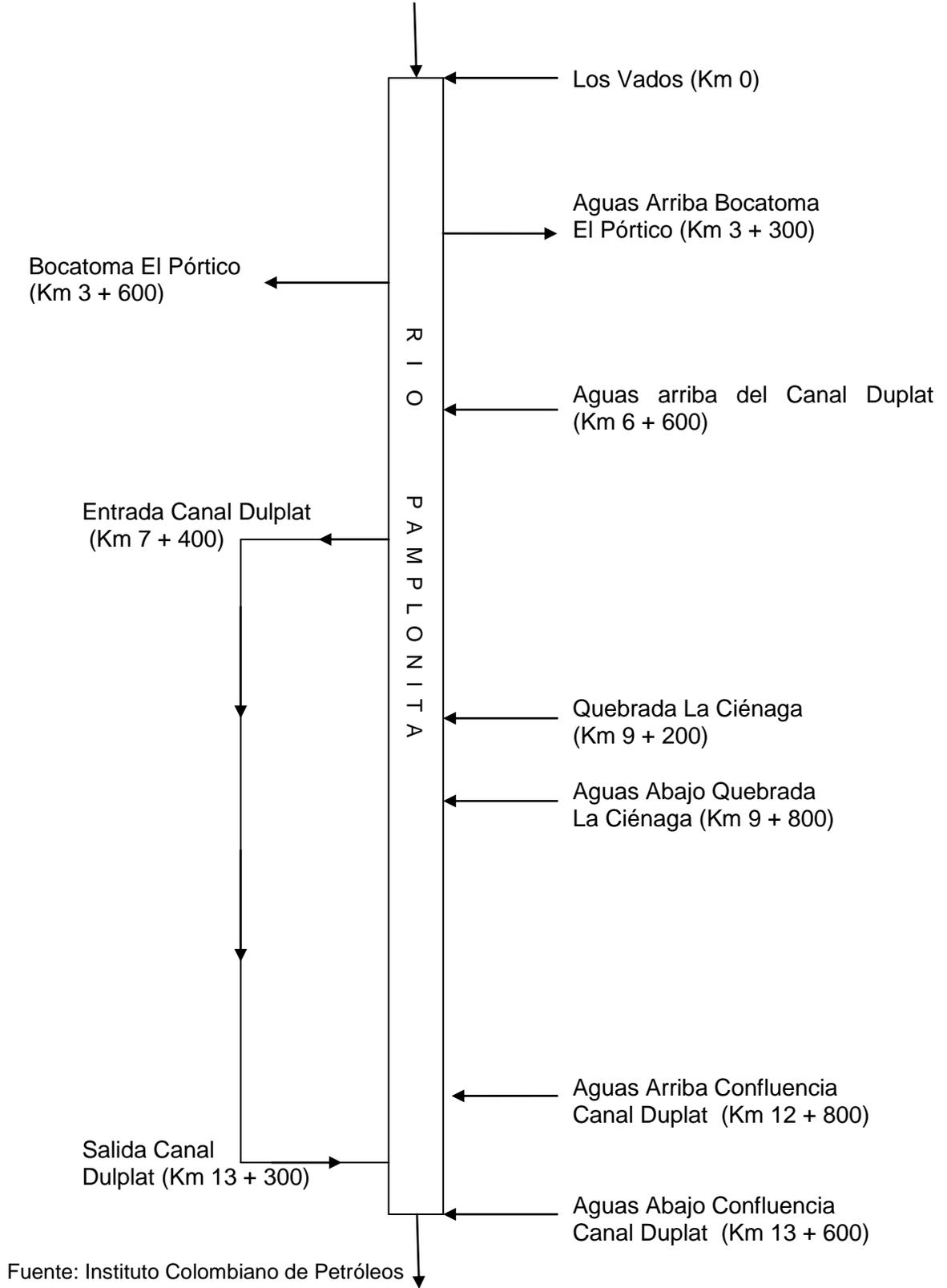
SITIOS	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (m)	DISTANCIA (m)
Los Vados	7 45 11.0	72 32 09.1	496	0
Aguas Arriba Bocatoma El Pórtico	7 46 35.7	72 31 36.9	462	3.3
Bocatoma El Pórtico	7 46 41.1	72 31 33.3	461	3.6
Aguas Arriba canal Duplat	7 47 54.5	72 31 34.3	435	6.6
Entrada Canal Duplat	7 48 18.9	72 31 23.1	414	7.4
Qda La Ciénaga	7 49 09.8	72 31 16.8	406	9.2
Aguas Abajo Quebrada La Ciénaga	7 49 27.6	72 31 13.4	402	9.8
Aguas arriba confluencia entrada Canal Duplat	7 51 01.7	72 30 38.4	362	12.8
Salida del Canal Duplat	7 51 04.7	72 30 30.5	384	13.3
Aguas abajo confluencia Canal Duplat	7 51 19.1	72 30 27.0	353	13.6

Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo sobre el Río Pamplonita y Canal Duplat



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Figura 2. Esquematación de los puntos de muestreo en el modelo del Río Pamplonita



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

## 2.2 CLIMA

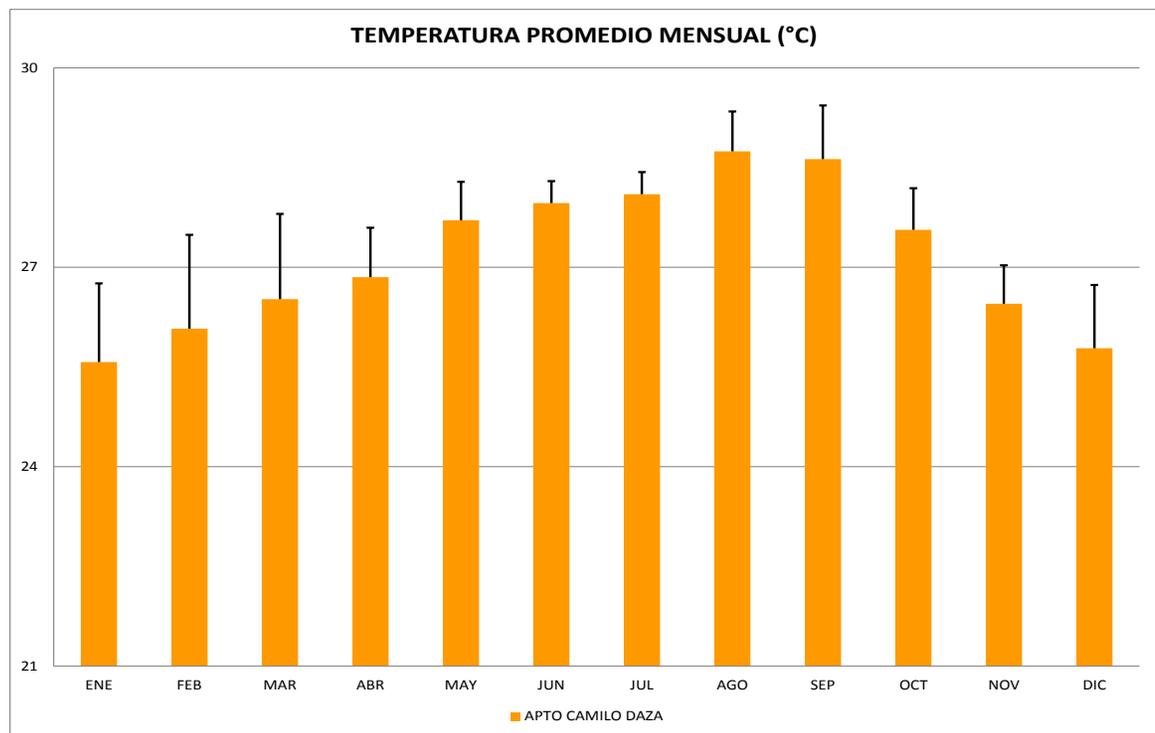
La información climatológica de precipitación diaria y temperatura mensual desde el año 2000 hasta el 2012, se obtuvo de estaciones del IDEAM ubicadas dentro del área de influencia de la cuenca media del Río Pamplonita (Tabla 2).

**Tabla 2. Georeferenciación de las estaciones climatológicas del IDEAM**

CÓDIGO	ESTACIÓN IDEAM	UBICACIÓN		CORRIENTE	MUNICIPIO	TIPO
		NORTE	OESTE			
16015010	APTO CAMILO DAZA	7.0°55'49"	72°30'33"	RÍO PAMPLONITA	CUCUTA	SP
10010020	LA DON JUANA 2	7.0°41'50"	72°36'5.0"		BOCHALEMA	PV

**PV:** Estación Pluviométrica., **SP:** Estación Sinóptica Principal.

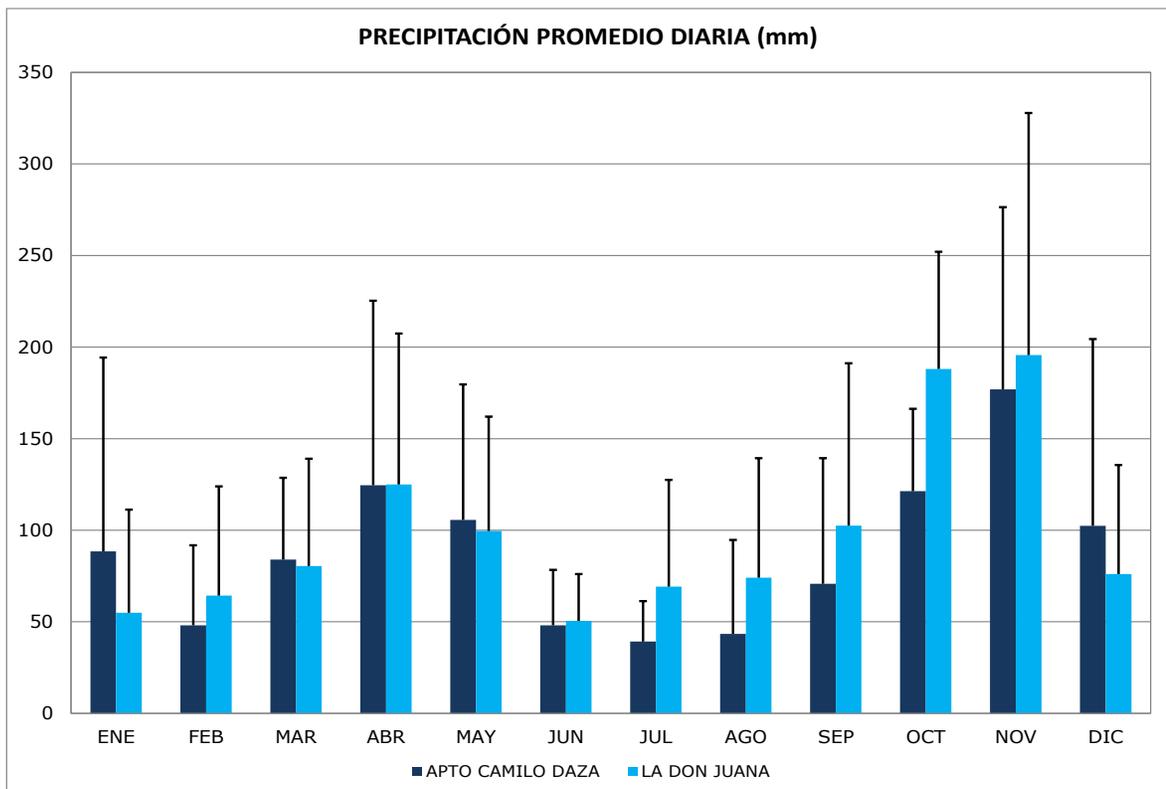
**Figura 2. Valores de Temperatura Promedio Multianual de la estación Aeropuerto Camilo Daza (2000 - Feb 2012).**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

La temperatura promedio desde el año 2000 hasta febrero de 2012 osciló entre 25.6 y 28.7°C, siendo Enero el mes con menor registro histórico de temperatura y Agosto, el más alto. Al observar la tendencia general de la variable temperatura, se evidencia que entre Mayo y Octubre, se presentan los menores registros y entre los meses de Abril y Noviembre se dieron los mayores valores de temperatura. (Figura 2).

**Figura 3. Valores de Precipitación Media reportados por Estaciones Pluviométricas del IDEAM.**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

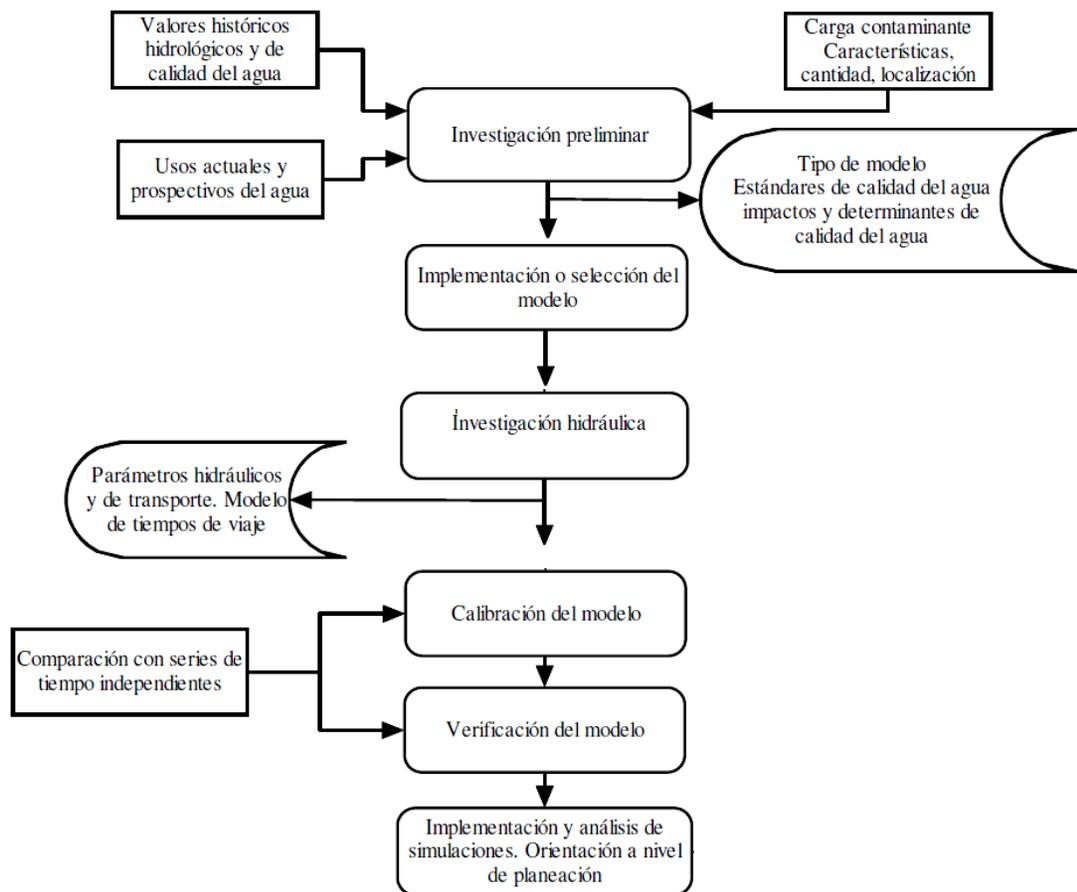
En cuanto a la precipitación, el área de estudio presenta un régimen bimodal de lluvias. Al analizar los valores de precipitación media mensual desde el 2000 hasta el 2011 de una (1) estación pluviométrica y de una (1) estación sinóptica principal localizadas cerca del Río, se encontró que la temporada de lluvias va desde Marzo hasta Mayo y de Septiembre a Noviembre, con el mayor valor de precipitación

registrado durante los meses de Abril, Octubre y Noviembre (Figura 3). El periodo seco va desde Diciembre hasta Marzo y desde Junio hasta Agosto, siendo Junio y Julio los meses más secos (Figura 3).

### 3. METODOLOGÍA

La metodología general para la modelación de la calidad del agua del Río Pamplonita, incluyó una fase preliminar de obtención de la información, una etapa de calibración de las tasas de reacción de los determinantes y una fase de predicción a partir del modelo desarrollado (Figura 4).

**Figura 4. Marco de modelación para el Río Pamplonita (modificado de Camacho & Díaz, 2003).**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

### 3.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AGUA

En las etapas de construcción del modelo es importante precisar la calidad fisicoquímica y bacteriológica que se tiene de la cuenca media del Río Pamplonita, específicamente en el tramo de estudio. Lo anterior permitirá definir los determinantes críticos que serán incluidos en el modelo de calidad de agua.

Para el análisis de calidad del agua se utilizaron datos históricos del período 2007-2011, producto de los monitoreos que incluyen los parámetros de la Resolución 0951 de 2008, efectuados durante el seguimiento a eventos ambientales como el derrame del oleoducto Caño Limón-Coveñas en los años 2007 y 2011 en sectores como la Don Juana (PK 238 + 660), la Quebrada Iscalá (PK 231+080) y el sector El Cerrito. Estos eventos afectaron de manera directa e indirecta el tramo de estudio (Ver Tabla 3).

**Tabla 3. Histórico de Monitoreos realizados período 2007-2011**

<b>Campaña</b>	<b>Fecha de Monitoreo</b>
1	21 de Junio de 2007
2	28 de Junio de 2007
3	17 de Julio de 2007
4	28 de Marzo de 2009
5	28 de Octubre de 2009
6	27 de Marzo de 2010
7	29 de Septiembre de 2010
8	26 de Diciembre de 2011

Estos resultados se compararon con los estándares de evaluación de calidad de agua establecidos en el marco de la legislación colombiana, Art 38 del decreto

1594 de 1984, que menciona los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico, los cuales indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional. Adicionalmente, como complemento para la modelación, se analizaron las características hidrobiológicas de dos grupos considerados bioindicadores de la calidad de un ecosistema: fitoplancton y perifiton, teniendo en cuenta las estimaciones de abundancia y riqueza de estas especies.

### **3.2 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA**

Para la modelación de la calidad del agua, se desarrolló un programa de monitoreo de calidad que inició con una visita de inspección para la selección de diez (10) estaciones de muestreo con características apropiadas con relación a facilidad de acceso, condiciones físicas en el cuerpo de agua para medición adecuada de aforos y representatividad morfológica de las secciones. Una vez seleccionadas las estaciones se hicieron tres (3) campañas de medición y de calidad de agua, los días 18, 19 y 20 de Febrero de 2012, en donde se evaluaron características fisicoquímicas e hidrobiológicas de las aguas superficiales del río Pamplonita, sus tributarios, vertimientos y derivaciones principales. El tramo de estudio, ubicado geográficamente en el municipio de los Patios –Norte de Santander, comprende desde el sector los Vados hasta 300 m aguas abajo de la confluencia del canal Duplat con el Río.

Luego de realizar el análisis preliminar de calidad del Río Pamplonita en el tramo de estudio, se seleccionó la campaña que presentó las condiciones de caudal más críticas (18 de Enero de 2012). Con este monitoreo se construyó el modelo de calidad del agua del Río Pamplonita.

Para evaluar la capacidad de asimilación y autodepuración de la carga contaminante aportada por el vertimiento de aguas residuales del municipio de los Patios sobre el cuerpo receptor, Río Pamplonita, se utilizó el modelo de simulación para fuentes de agua lóxicas QUAL2KW, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). QUAL2KW corresponde a una versión actualizada del modelo QUAL2E, siendo similares en los siguientes aspectos:

- Unidimensionales al asumir mezcla completa en la sección transversal.
- Modelos de estado estacionario al determinar la calidad del agua a nivel espacial más no temporal.
- El calor y la temperatura son simulados como una función de un modelo meteorológico en una escala de tiempo diurna.
- Las cargas y captaciones puntuales y difusas pueden ser simuladas.

Entre las principales variaciones que presenta QUAL2KW se encuentran:

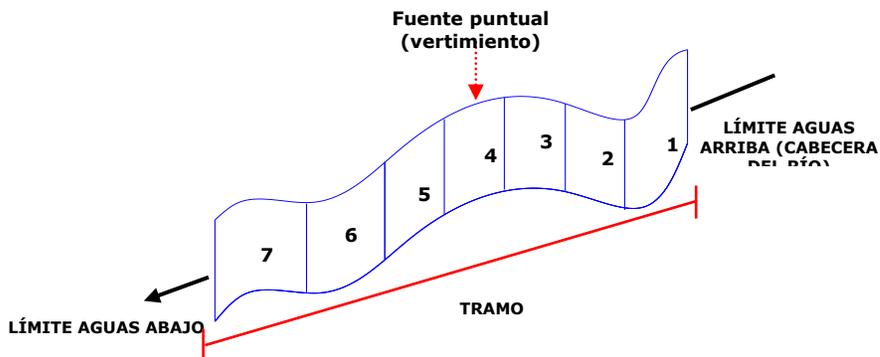
- Programado en el lenguaje macro de Windows ®, Visual Basic ® con una interface en Microsoft Excel ®.
- En el modelo de segmentación los tramos comprenden elementos espaciados de forma desigual. Por ello, múltiples cargas y captaciones pueden ser incluidas en cualquier tramo.
- Modela materia orgánica particulada no viva (detritos).
- Representa el carbono orgánico de dos formas: una de oxidación rápida (DBO rápida) y otra de oxidación lenta (DBO lenta).
- Modela patógenos cuyo comportamiento depende de la temperatura, luz y sedimentación.

- Evalúa interacciones agua-sedimentos de forma interna. Por ello, el flujo de nutrientes y el oxígeno son simulados como una función de la sedimentación de la materia orgánica particulada, las reacciones dentro de los sedimentos y las concentraciones de las formas solubles.

QUAL2KW modela de forma integral el transporte físico del vertimiento y las transformaciones biológicas y químicas de sus determinantes, es decir, incluye dos temas fundamentales: la hidráulica y la calidad. A continuación, se presenta un resumen de la teoría soporta el programa, documentada por Chapra, Pelletier & Tao (2008):

**3.2.1 Modelo hidráulico.** El modelo hidráulico incluido en QUAL2KW representa la parte del Río que se va estudiar como una serie de tramos con características hidráulicas similares. Los tramos son numerados en orden ascendente iniciando desde la cabecera del Río (Figura 5). A su vez, cada tramo puede ser subdividido en series de elementos igualmente espaciados, que corresponden a las unidades fundamentales de cómputo.

**Figura 5. Esquema de segmentación de QUAL2KW**



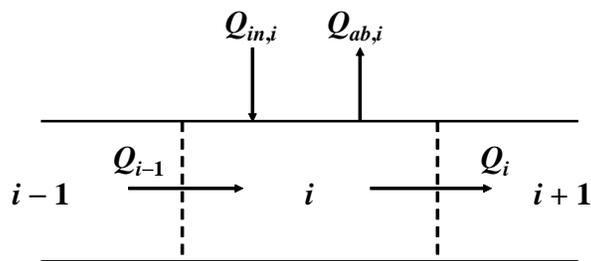
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

En cada elemento se lleva a cabo un balance de flujo de estado estable de la siguiente manera:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde  $Q_i$  es el caudal que sale del elemento  $i$  y entra al elemento  $i + 1$  [ $m^3/d$ ],  $Q_{i-1}$  corresponde al caudal que ingresa desde el elemento anterior  $i - 1$  [ $m^3/d$ ],  $Q_{in,i}$  es el caudal total que ingresa al elemento desde fuentes puntuales (vertimientos) o no puntuales (escorrentía) [ $m^3/d$ ], y  $Q_{ab,i}$  indica el caudal total que sale del elemento debido a captaciones puntuales (bocatomas) y no puntuales (desbordamientos) [ $m^3/d$ ] (Figura 6).

**Figura 6. Balance de flujo en cada elemento.**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Una vez el flujo de cada elemento es calculado, la profundidad y velocidad del canal son determinadas mediante uno de tres métodos: vertederos, curvas de calibración y ecuaciones de Manning. Las “curvas de calibración” son el método utilizado para evaluar las variables hidráulicas en cuerpos de agua naturales en donde el flujo no es uniforme.

Las “curvas de calibración” o ecuaciones de poder (algunas veces llamadas Ecuaciones de Leopold-Maddox) pueden ser usadas para relacionar la velocidad media y la profundidad con el caudal para los elementos en un tramo (Ecuaciones 2 y 3).

$$U = aQ^b \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$H = \alpha Q^\beta \quad \text{(Ecuación 3)}$$

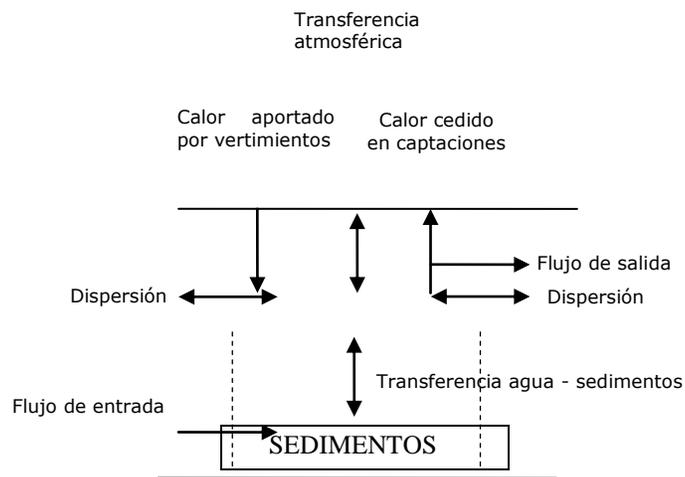
Donde a, b,  $\alpha$  y  $\beta$  son coeficientes empíricos determinados a partir de curvas de calibración de profundidad-caudal y velocidad-caudal, respectivamente. Los exponentes b y  $\beta$  típicamente toman valores entre 0.4 y 0.6 para b y entre 0.3 y 0.5 para  $\beta$ .

**3.2.2 Modelo de temperatura.** La temperatura controla las tasas de reacción de los determinantes ya que en condiciones naturales la cinética de la mayoría de reacciones incrementa con la temperatura (Chapra, 1997). El modelo efectúa un balance de calor entre dos elementos adyacentes considerando vertimientos, captaciones y transferencia de calor hacia o desde la atmósfera y los sedimentos ( Figura 7). Para un elemento *i* la variación de la temperatura se calcula como:

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i} \left( \frac{m^3}{10^6 \text{ cm}^3} \right) + \frac{J_{h,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left( \frac{m}{100 \text{ cm}} \right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left( \frac{m}{100 \text{ cm}} \right) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde  $T_i$  = temperatura en el tramo  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $t$  = tiempo [d],  $E'_i$  = coeficiente global de dispersión entre dos elementos  $i$  e  $i + 1$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ],  $W_{h,i}$  = carga neta de calor aportada por fuentes puntuales y difusas en el elemento  $i$  [cal/d],  $\rho_w$  = densidad del agua [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],  $C_{pw}$  = calor específico del agua [cal/(g  $^{\circ}\text{C}$ )],  $J_{h,i}$  = flujo neto de calor aire-agua [cal/( $\text{cm}^2$  d)], and  $J_{s,i}$  = flujo neto de calor sedimentos-agua [cal/( $\text{cm}^2$  d)].

**Figura 7. Balance de calor en cada elemento.**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

La carga neta de calor desde cada fuente identificada se calcula como:

$$W_{h,i} = \rho C_p \left[ \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} T_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} T_{npsi,j} \right] \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde  $T_{ps,i,j}$  es la temperatura de la fuente puntual  $j$  de calor en el elemento  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], y  $T_{nps,i,j}$  es la temperatura de la fuente difusa  $j$  en el elemento  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]. El flujo de calor en la superficie del agua es calculado como la combinación de procesos que corresponden a la transferencia neta de calor por radiación solar sobre la superficie del agua, transferencia neta entre la atmósfera y el agua, conducción y evaporación en la interface agua-aire.

El modelo tiene en cuenta la radiación solar dependiendo de la localización geográfica de la fuente, que es afectada por las condiciones atmosféricas de nubosidad, reflexión y sombra. Por ello, se solicitó al IDEAM información climatológica de temperatura del aire, velocidad del viento y nubosidad del mes de Enero para la estación Aeropuerto Camilo Daza (Tabla 3.2).

**3.2.3 Modelación de los determinantes.** QUAL2KW permite establecer la variación de los componentes en la columna de agua mediante un modelo mecanístico que evalúa las interacciones entre un conjunto de determinantes (Tabla 4), dado un grupo específico de tasas de reacción, obtenido a partir de un método de autocalibración.

Para cada determinante el programa hace un balance de masa. Este balance se da teniendo en cuenta reaireación, sedimentación, demanda de oxígeno del sedimento, intercambio en el sedimento y flujo de carbono inorgánico en el sedimento (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Tabla 4. Principales determinantes que modela QUAL2KW**

Parámetro	Símbolo	Unidades*
Conductividad	S	μmhos o μS
Sólidos suspendidos inorgánicos	m	mgD/L
Oxígeno Disuelto	o	mgO <sub>2</sub> /L
Demanda bioquímica de oxígeno de reacción lenta BODs*	c <sub>s</sub>	mg O <sub>2</sub> /L
Demanda bioquímica de oxígeno de reacción rápida BODf**	c <sub>s</sub>	mg O <sub>2</sub> /L
Nitrógeno orgánico	n <sub>o</sub>	μgN/L
Nitrógeno amoniacal	n <sub>a</sub>	μgN/L
Nitratos	n <sub>n</sub>	μgN/L
Fósforo orgánico	p <sub>o</sub>	μgP/L
Fósforo inorgánico	p	μgP/L
Phytoplankton	a <sub>p</sub>	μgA/L
Detritus	m <sub>o</sub>	mgD/L
Patógenos	x	UFC/100 mL
Constituyentes genéricos***		Definido por usuario
Alcalinidad	Alk	mgCaCO <sub>3</sub> /L
Carbón inorgánico total	c <sub>T</sub>	mol/L

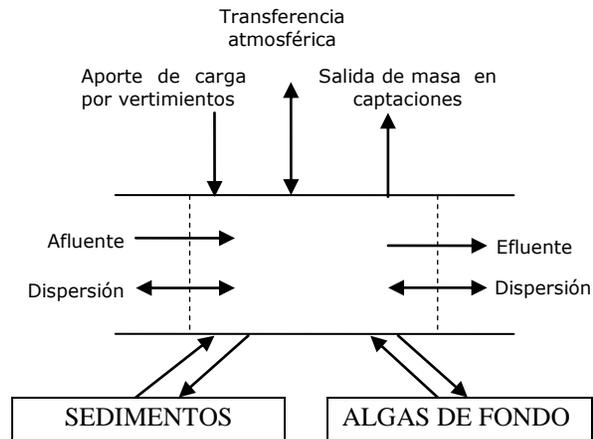
\* Es la diferencia entre DQO – DBO<sub>5</sub>; \*\* Corresponde a la DBO<sub>5</sub>;\*\*\* Este determinante es elegido por el usuario, puede escogerse como genérico la concentración de metales, cloruros, fenoles o hidrocarburos totales.

La ecuación de balance de masa para cada constituyente en un elemento se expresa como:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) \mp \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) \mp \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i} (c_{2,i} - c_i) \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde  $W_i$  = carga externa del componente que entra y sale en el elemento  $i$  [g/d or mg/d], y  $S_i$  = fuentes y pérdidas del componente debidas a reacciones y mecanismos de transferencia de masa [g/m<sup>3</sup>/d o mg/m<sup>3</sup>/d]. El intercambio de masa entre la superficie del agua y la zona subsuperficial está representado por el coeficiente global de intercambio en el tramo  $i$  [ $E'_{hyp,i}$  en m<sup>3</sup>/día], la diferencia de concentración en la superficie del agua ( $c_i$ ) y la zona de flujo subsuperficial en los sedimentos ( $c_{2,i}$ ).

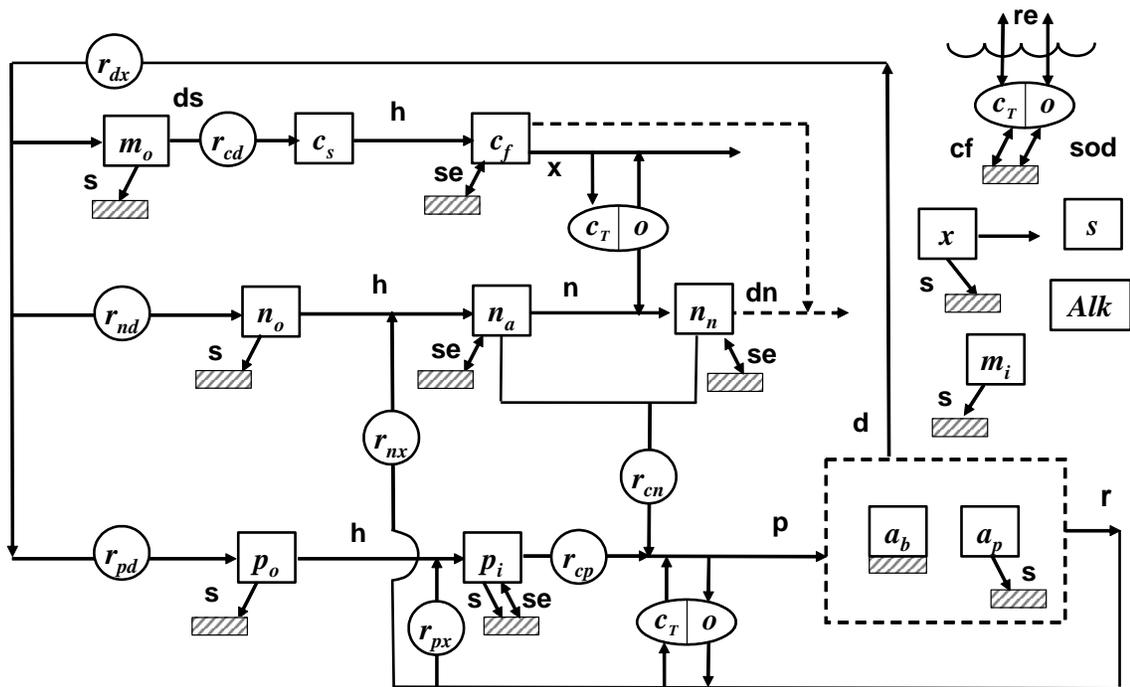
**Figura 8. Balance de masa en cada elemento.**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

La interacción entre los determinantes es establecida en el proceso cinético que incluye reacciones bioquímicas de disolución, hidrólisis, oxidación, nitrificación, desnitrificación, fotosíntesis, respiración, excreción y muerte (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Con este modelo, el programa busca obtener el mejor conjunto de tasas de reacción a partir de un proceso de optimización, dado por un algoritmo genético.

**Figura 9. Modelo cinético de los determinantes de QUAL2KW** ( $a_b$ : Algas de fondo,  $a_p$ : fitoplancton,  $m_o$ : detritus,  $c_s$ : DBOC lenta,  $c_f$ : DBOC rápida,  $c_t$ : Carbono inorgánico Total,  $o$ : oxígeno,  $n_o$ : nitrógeno inorgánico,  $n_a$ : nitrógeno amoniacal,  $n_n$ : nitrato,  $p_o$ : Fosforo orgánico,  $p_i$ : Fosforo inorgánico,  $r$ : respiración,  $ds$ : disolución,  $h$ : hidrólisis,  $n$ : nitrificación,  $dn$ : desnitrificación,  $sod$ : demandas de oxígeno en sedimento,  $s$ : sedimentación,  $se$ : sedimento intercambiable: profundidad,  $p$ : fotosíntesis). Pelletier and Chapra, 2005



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Es necesario especificar que como método de solución de las ecuaciones diferenciales sobre las que se fundamenta el comportamiento de todas las variables (temperatura y determinantes), QUAL2KW utiliza tres métodos numéricos, los cuales son: (1) Método de Euler, (2) Método de cuarto orden "Runge-Kutta" y (3) Método del Paso Adaptivo. El método del Paso Adaptivo está solamente disponible si se usa como ejecutable Fortran (plataforma de cálculo de Qual2kw). El método de Euler es sugerido como el método por defecto del programa porque obtiene resultados confiables utilizando menor tiempo de cómputo. Para los casos en los que los resultados sean inestables con el método de Euler o se requiera mayor certeza, se utiliza el método de Runge Kutta, el cual permite al aumentar el orden en la ecuación (4° orden), y este a su vez al utilizar un paso de integración mayor, permite un mayor grado de exactitud. Lo anterior infiere en la velocidad de la aplicación.

**3.2.4 Calibración.** En un modelo de calidad de agua se deben especificar las tasas de reacción o transformación de los determinantes, las cuales están sujetas a la cinética de reacción del cuerpo de agua. El objeto de la calibración es obtener un conjunto de parámetros (físicos y numéricos) cuyas tasas de reacción tengan el menor porcentaje de error entre los datos medidos en campo y los calculados por el modelo.

QUAL2KW tiene la capacidad de calibrar automáticamente los parámetros seleccionados a través de un algoritmo genético conocido como PIKAIA (Charbonneau and Knapp, 1995). La aplicación de este algoritmo requiere información de partida para la calibración de las constantes cinéticas que inicialmente se suponen en la modelación y son ajustadas en las sucesivas corridas del modelo. Sin embargo, previa a la autocalibración el usuario debe ingresar en la hoja de cálculo de Excel conocida como “Fitness” la fórmula estadística que calcule el ajuste de los resultados del modelo al compararlos con los datos medidos en campo.

Para realizar la calibración de las tasas de reacción de los determinantes del Río Pamplonita se ingresó como función objetivo, el inverso del Error Cuadrático Medio (RMSE por sus siglas en inglés). El RMSE disminuye a medida que el ajuste aumenta, de allí, su inverso aumentaría al mejorar el ajuste entre los datos medidos y modelados, la ecuación es la siguiente:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (OBS_i - SIM_i)^2} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde,  $N$  corresponde al número total de determinantes;  $OBS_1$  es valor del determinante medido en campo y  $SIM_1$ , el valor del determinante simulado por el modelo.

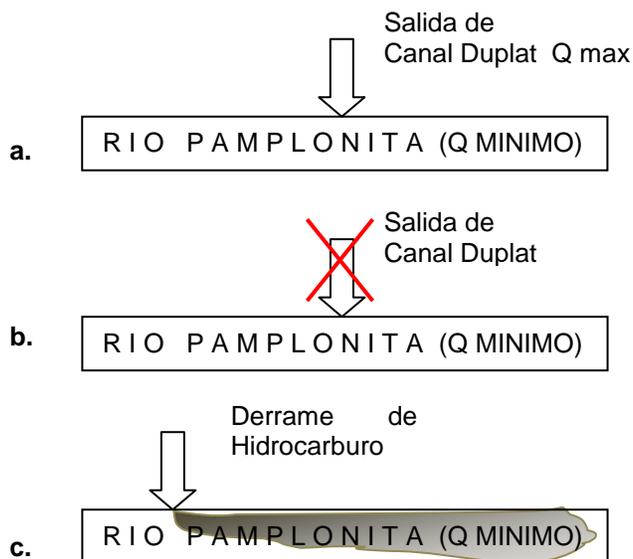
### **3.3 ESCENARIOS DE MODELACIÓN**

Con el modelo ya calibrado se procedió a evaluar la capacidad de asimilación del Río, comparando el modelo obtenido con las siguientes condiciones:

- **Caudal mínimo del Río Pamplonita ( $Q$  mín) y caudal máximo ( $Q$  max) de salida canal Duplat.**
- **Caudal mínimo del Río Pamplonita ( $Q$  mín) y eliminación de la salida del canal Duplat.**
- **Caudal mínimo del Río Pamplonita ( $Q$  mín) y elevada concentración de hidrocarburos en el agua ( $[HC]$  max)**

Estas condiciones escogidas corresponden a eventos que se presentan durante recios períodos de sequía en el Río, como lo es el permanente aporte del Canal Duplat, así como la valoración de la fuente hídrica frente a acciones de mejora en la calidad del agua al eliminar fuentes contaminantes y la capacidad de asimilación del Río frente a eventuales situaciones de derrame de contaminantes de la industria petrolera (Hidrocarburo). (Ver figura 10).

**Figura 10. Escenarios de Modelación.** a. Caudal mínimo del Río Pamplonita y caudal máximo de salida canal Duplat. b. Caudal mínimo del Río Pamplonita y eliminación de la salida del canal Duplat. c. Caudal mínimo del Río Pamplonita y elevada concentración de hidrocarburos en el agua.



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

### 3.3.1 Determinación del caudal mínimo.

La capacidad de asimilación de un cuerpo hídrico debe ser analizada bajo diferentes escenarios, como por ejemplo bajo caudales mínimos. En una situación de caudal mínimo de un cuerpo de agua se disminuye la capacidad y se aumentan las cargas contaminantes lo cual afecta directamente la capacidad de autodepuración del Río, hasta el punto que pueden cambiar sus usos actuales y prospectivos. Los análisis de caudal mínimo resultan muy útiles para conocer la capacidad de carga y resiliencia de un cuerpo hídrico porque permiten estimar los caudales máximos de vertimiento o captación que puede soportar un cuerpo de agua sin alterar su funcionamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior en esta sección se describe la estimación del Caudal Ecológico del Río Pamplonita utilizando, la metodología hidrológica 7Q10

(Chiang y Johnson, 1976), para lo cual se utilizaron datos de caudales diarios medidos desde 1973 hasta 2008 por la estación automática del IDEAM La Don Juana 2, del municipio de Chinacota.

Para lograr la definición de caudales, fue necesario analizar la homogeneidad, consistencia y calidad de las series hidrológicas de caudales, mediante análisis estadísticos que permitieron identificar valores mínimos y máximos, simetría de la distribución y existencia de valores atípicos (*outliers*). Los *outliers* se consideran valores que se encuentran alejados de la tendencia general, y que pueden representar causas climáticas particulares (o influencia de fenómenos climáticos: La Niña y El Niño), casos extremos o en el caso de tabulación manual, errores de medición o registro.

En este estudio se utilizó como herramienta complementaria el programa *Minitab*, para la construcción de gráficos, diagramas de cajas y bigotes (*boxplot*), para parámetros estadísticos: límite inferior, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y límite superior. Estas representaciones permiten detectar fácilmente los puntos anómalos de la serie.

Una vez realizado el análisis de consistencia, homogeneidad y calidad de la información, se procedió a calcular el caudal ecológico siguiendo la metodología 7Q10 (Chiang y Johnson, 1976), a partir de los datos de caudales diarios. Para la determinación de este caudal se determinó el caudal promedio semanal, luego se construyó la serie anual de excedencias con los registros mínimos semanales de cada año. Finalmente, se seleccionó el caudal correspondiente al período de retorno de 10 años, que correspondió al 7Q10 (Chiang y Johnson, 1976).(ver sección 4.2.3)

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AGUA RÍO PAMPLONITA**

A continuación se presenta el análisis de los principales parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos producto realizados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) en el período 2007- 2011 (ver Tabla 5 y Tabla 6). Cabe aclarar que aunque estos monitoreos también se analizaron fenoles, hidrocarburos poliaromáticos, sus valores se encontraban por debajo de la concentración mínima cuantificable para el método, y por tal razón no fueron incluidos en este análisis.

Tabla 5. Histórico período 2007- 2011 de análisis de calidad del agua del Río Pamplonita.

AGUAS SUPERFICIALES RIO PAMPLONITA	IDENTIFIC. MUESTRA	KM 12 + 366M PTO CONTROL LOS VADOS						BOCATOMA ACUEDUCTO EL PORTICO						DECRETO 1594/84 Art 38			
		08-May-08	28-Mar-09	28-Oct-09	27-Mar-10	29-Sep-10	26-Dic-11	21-Jun-07	28-Jun-07	17-Jul-07	10-May-08	30-Mar-09	29-Oct-09		27-Mar-10	29-Sep-10	26-Dic-11
Submission: 100064599-65668-75543- 83803- 90064-94129-99577-100115980	FECHA DE MUESTREO																
Componente	Unidad																
<b>ANALISIS IN-SITU</b>																	
PH / T (GR C) EN AGUAS	Uni. pH	7.91/25.7	6.98/22.8	8.30/30.0	9.18/24.5	7.84/24.3	8.25/20.3	9.0/24	7.89/22	8.77/22.1	6.78/26.1	7.97/21.8	8.37/30.1	8.87/27.1	7.17/25.8	8.23/23.2	5.0 - 9.0
OXIGENO DISUELTTO	mg O2/L	10	8.90	6.5	6.9	8.0	8.0	9	7.9	8.3	9.3	8.60	8.4	7.2	6.1	6.65	NR
<b>ANALISIS DE LABORATORIO</b>																	
PELICULA VISIBLE DE GRASAS Y ACEITES	Si / No	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	AUSENTE
GRASAS Y ACEITES (Método gravimétrico)	mg/L	<1.4	3.20	8.54	1.10	<1.07	NA	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	2.50	<1.07	<1.07	<1.07	NA	NR
HIDROCARBUROS TOTALES (Método gravimétrico)	mg/L	<1.4	<1.07	<1.07	<1.07	<1.07	NA	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.07	<1.07	<1.07	<1.07	NA	NR
GRASAS Y ACEITES (Método fotométrico- Ultravioleta)**	mg/L	NA	NA	NA	NA	NA	0.22	0.48	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.02	NR
HIDROCARBUROS TOTALES (Método fotométrico- Ultravioleta)**	mg/L	NA	NA	NA	NA	NA	0.11	0.057	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NR
FENOLES GC	microg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
PAHS TOTALES	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NS	NS	NS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
CONDUCTIVIDAD / T	micromhos/cm	168.3/25.7	190/22.3	209/20.1	234/21.0	192/25.0	200/25.0	NS	NS	NS	159.2/25.6	197/22.5	214/20.3	263/20.9	173/23.4	205/25.0	NR
CLORUROS	mg Cl-/L	1.8	1.99	2.95	1.16	1.84	1.76	3.2	2.7	3.3	1.8	1.72	2.55	5.3	1.71	1.79	400
SULFATOS	mgSO4=L	14.3	17.8	17.8	8.81	19.2	21.6	15.2	12.9	14.7	15.7	18.7	18.2	21.2	14.8	23	250
FOSFORO	microg/L	NS	0.037	0.033	0.17	<0.025	<0.030	154	147	NS	<94.013	0.024	0.089	0.13	<0.025	<0.030	NR
FOSFATOS	mg PO4-3/L	NS	0.11	0.1	0.52	<0.025	<0.0918	0.5	0.5	NS	NS	0.074	0.27	0.4	<0.025	<0.0918	NR
NITRATOS	mg NO3-/L	0.0	0.438	0.820	0.13	0.07	0.072	<0.02	0.081	0.029	1.18	<0.00943	<0.00943	0.84	0.06	0.064	44.28
NITRITOS	mg NO2-/L	1.14	<0.00943	<0.00943	0.005	<0.0052	<0.0088	0.3	1.9	1.9	0.2	0.422	0.44	0.008	<0.0052	<0.0088	3.28
NITROGENO AMONIAL	mg NH3/L	0.401	<0.48	<0.48	<0.490	<0.40	<0.402	<0.095	<0.095	<0.095	0.993	<0.48	<0.48	<0.490	<0.40	<0.402	1.214
SURFACTANTES	mg MBAS/L	<0.10	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.10	<0.1	<0.1	<0.10	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	0.5
<b>ANALISIS DE METALES</b>																	
BARIO	microg/L	48.34	32.6	23.2	23.4	48.3	31.4	25.9	NR	28.2	52.7	39.1	23.3	30.6	84.1	22.75	1000
CADMIO	microg/L	0.17	<0.808	<0.636	0.052	0.197	0.129	<3.07	33.3	0.0	0.21	<0.808	<0.636	<0.026	0.446	0.1105	10
CROMO	microg/L	6.8	2.36	<0.520	0.53	<0.016	<0.015	1.6	7.7	5.6	7.77	2.91	<0.520	0.484	<0.016	<0.015	NR
COBRE	microg/L	17.3	<1.014	0.264	<2.103	21.4	3.11	5.9	5.7	6.3	14.7	<1.014	<0.181	<0.013	<0.013	<1.19	1000
PLOMO	microg/L	5.1	13.6	4.06	0.486	7.17	4.17	<17.24	0.078	0.623	5.84	21.3	3.18	<2.103	21.8	2.06	50
ZINC	microg/L	34.7	<3.492	<3.925	4.32	36.7	<15.2	11.4	NR	11.3	29.3	<3.492	<3.925	0.706	13.5	1.16	15000
PLATA	microg/L	0.2	16.6	6.81	<0.013	<0.013	<1.19	6.1	<0.168	<0.17	0.26	20.2	10.18	10.3	48.5	<15.2	50
ARSENICO	microg/L	1.29	3.17	<3.140	0.598	1.55	0.506	0.2	1.8	<0.1	1.6	2.45	<3.140	0.58	2.72	0.352	50
SELENIO	microg/L	<0.084	<5.036	<3.985	<0.086	<0.860	<0.389	<0.1	0.799	<0.1	0.164	<5.036	<3.985	<0.086	<0.860	<0.389	10
MERCURIO	microg/L	<0.0263	<0.0600	0.138	<0.123	0.183	<0.441	<0.462	<0.1	<0.46	<0.0263	<0.0600	<0.123	<0.123	0.151	<0.441	2
SILICIO	mg/L	NS	NS	NS	7.569	5.27	6.466	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	7.811	4.83	NR
<b>ANALISIS MICROBIOLOGICO</b>																	
RECUENTO DE MESOFILOS TOTALES	UFC/mL	1.28E+05	8.00E+03	1.20E+04	8.50E+03	9.10E+04	2.50E+04	1360	14600	3800	8.40E+04	8.00E+03	4.55E+03	1.20E+04	7.60E+04	2.55E+04	NR
RECUENTO COLIFORMES TOTALES	UFC/100mL	3.60E+04	3.60E+03	1.05E+04	0.00E+00	3.10E+03	3.90E+03	680	7600	2100	7.60E+03	6.00E+02	2.80E+03	4.00E+02	6.00E+03	3.80E+03	20000
RECUENTO ESCHERICHIA COLI	UFC/100mL	6.60E+02	1.20E+04	1.00E+02	1.00E+04	2.20E+05	2.10E+05	179	2200	760	1.97E+03	3.00E+03	2.10E+02	4.10E+04	1.50E+05	1.55E+05	2000
<b>ANALISIS DE TOXICIDAD</b>																	
CL 50 - 48h DAPHNIA PULEX	%	100	100	100	100	100	100	NS	NS	NS	100	100	100	100	100	100	NR
ND: No Detectable      NR: No Reporta      NA: No Analizado      NS: No Solicitado Datos preliminares que serán sometidos a revisión para el informe final. ** Método semicuantitativo, no se encuentra estandarizado																	

Fuente: Instituto Colombiano del Petróleo

Tabla 6. Histórico período 2007- 2011 de análisis de calidad del agua del Río Pamplonita.

AGUAS SUPERFICIALES RIO PAMPLONITA	IDENTIFIC. MUESTRA	CAPTACION - ENTRADA PLANTA DE TRATAMIENTO MONTEBELLO									PUENTE SAN RAFAEL					DECRET 1594/84 Art
		21-jun-07	28-jun-07	17-jul-07	09-may-08	28-mar-09	28-oct-09	27-mar-10	29-sep-10	26-dic-11	31-mar-09	30-oct-09	27-mar-10	29-sep-10	26-dic-11	
Submission: 100064599-65668-75543- 83803- 90064-94129-99577-100115980	FECHA DE MUESTREO															
Componente	Unidad															
<b>ANALISIS IN-SITU</b>																
PH / T (GR C) EN AGUAS	Uni. pH	9.9/27	8.70/25	9.27/22.1	7.97/24.5	7.73/22.2	8.29/28.8	8.34/24.2	7.21/25.0	8.40/30.0	8.29/25.8	8.23/30.8	8.50/30.6	8.05/27.5	8.36/26.0	5.0 - 9.0
OXIGENO DISUELTO	mg O2/L	6.8	7.6	8.6	9.5	8.40	7.1	6.6	7.6	7	8.05	8.2	6.0	6.7	7	NR
<b>ANALISIS DE LABORATORIO</b>																
PELICULA VISIBLE DE GRASAS Y ACEITES	Si / No	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	AUSENTE
GRASAS Y ACEITES (Método gravimétrico)	mg/L	<1.4	1.4	<1.4	5.3	1.67	5.81	1.41	<1.07	NA	6.20	<1.07	1.74	<1.07	NA	NR
HIROCARBUROS TOTALES (Método gravimétrico)	mg/L	<1.4	<1.4	<1.4	2.3	<1.07	<1.07	<1.07	<1.07	NA	<1.07	<1.07	<1.07	<1.07	NA	NR
GRASAS Y ACEITES (Método fotométrico- Ultravioleta)**	mg/L	0.93	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.40	NA	NA	NA	NA	0.23	NR
HIROCARBUROS TOTALES (Método fotométrico- Ultravioleta)**	mg/L	0.21	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.74	NA	NA	NA	NA	0.16	NR
FENOLES GC	microg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
PAHS TOTALES	mg/L	NS	NS	NS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
CONDUCTIVIDAD / T	micromhos/cm	NS	NS	NS	166.2/25.5	200/22.5	223/20.5	328/21.1	205/24.2	207/25.0	193/22.5	277/20.2	499/21.1	202/21.6	252/25.0	NR
CLORUROS	mg Cl-/L	3.1	2.75	3.4	1.69	1.83	2.84	5.83	1.85	1.84	2.72	5.43	15.5	2.68	3.47	400
SULFATOS	mgSO4=/L	14.1	14.75	14.1	12.87	14.6	19.6	20.2	20.9	23.7	14.1	26.2	57.8	20.3	39.6	250
FOSFORO	microg/L	130.0	162.5	NS	NS	0.045	0.07	<0.052	<0.025	<0.030	0.073	0.19	0.55	<0.025	0.081	NR
FOSFATOS	mg PO4-3/L	0.4	0.5	NS	NS	0.14	0.21	<0.16	<0.025	<0.0918	0.22	0.57	1.69	<0.025	0.24786	NR
NITRATOS	mg NO3-/L	<0.02	0.089	<0.02	1.23	<0.00943	<0.00943	0.40	0.08	0.068	<0.00943	0.77	0.15	0.11	0.151	44.28
NITRITOS	mg NO2-/L	<0.08	2.09	<0.08	0.023	0.420	0.574	0.009	<0.0052	<0.0088	1.03	0.043	0.528	0.009	<0.0088	3.28
NITROGENO AMONACAL	mg NH3/L	<0.095	<0.095	<0.095	0.847	<0.48	<0.48	<0.490	<0.40	<0.402	0.889	<0.48	6.09	<0.40	<0.402	1.214
SURFACTANTES	mg MBAS/L	<0.10	<0.1	<0.1	<0.10	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	0.5
<b>ANALISIS DE METALES</b>																
BARIO	microg/L	25.6	33.3	32.8	73.882	38.9	26.8	60.1	80.1	26.9	42.3	26.3	56.8	63.6	34.4	1000
CADMIO	microg/L	<3.07	0.1	0.1	0.33	<0.808	<0.636	0.108	0.492	0.128	<0.808	<0.636	<0.026	0.359	0.181	10
CROMO	microg/L	<0.99	5.7	3.2	9.629	4.54	1.282	0.989	<0.016	<0.015	4.09	<0.520	0.305	<0.016	<0.015	NR
COBRE	microg/L	6.6	6.8	5.5	28.587	<1.014	0.61	0.687	<0.013	<1.19	14.8	4.14	<0.013	<0.013	<1.19	1000
PLOMO	microg/L	<17.24	1.421	0.74	9.156	19.6	3.54	3.44	21.7	2.38	<3.492	<3.925	<2.103	20.2	5.05	50
ZINC	microg/L	4.2	36.7	7.4	62.915	<3.492	<3.925	1.14	8.99	1.91	22.4	10.66	<0.284	8.74	1.93	15000
PLATA	microg/L	5.3	<0.168	1.2	<0.013	28.2	8.01	11.3	48.6	<15.2	<1.014	<0.181	7.74	39	<15.2	50
ARSENICO	microg/L	0.41	<0.1	<0.1	1.876	2.58	<3.140	0.86	1.74	0.397	4.36	<3.140	1.413	1.94	0.59	50
SELENIO	microg/L	0.12	<0.1	<0.1	<0.0840	<5.036	<3.985	<0.086	<0.860	<0.389	<5.036	<3.985	<0.086	<0.860	<0.389	10
MERCURIO	microg/L	<0.462	0.99	<0.46	<0.0263	0.12	<0.123	0.214	<0.441	<0.441	<0.0600	<0.123	<0.123	0.145	<0.441	2
SILICIO	mg/L	NS	NS	NS	NS	NS	NS	7.818	5.35	6.496	NS	6.71	4.471	6.24	6.505	NR
<b>ANALISIS MICROBIOLOGICO</b>																
RECUEUNTO DE MESOFILOS TOTALES	UFC/mL	9.5E+03	49000	3100	9.40E+04	7.00E+03	8.75E+03	7.90E+03	5.00E+04	1.80E+04	1.60E+04	1.30E+04	1.00E+05	2.20E+05	1.00E+06	NR
RECUEUNTO COLIFORMES TOTALES	UFC/100mL	8.0E+03	36000	1600	5.80E+04	8.50E+02	2.90E+03	5.00E+02	1.40E+04	1.60E+03	6.00E+03	6.73E+03	9.20E+04	1.20E+05	3.70E+05	20000
RECUEUNTO ESCHERICHA COLI	UFC/100mL	6.0E+03	25000	350	2.10E+04	1.00E+04	9.00E+01	2.60E+04	8.40E+04	1.80E+05	8.00E+03	1.72E+03	1.50E+04	2.50E+04	5.80E+01	2000
<b>ANALISIS DE TOXICIDAD</b>																
CL 50 - 48h DAPHNIA PULEX	%	NS	NS	NS	100	100	100	100	100	100	70.1	100	100	100	100	NR

ND: No Detectable NR: No Reporta NA: No Analizado NS: No Solicitado

Datos preliminares que serán sometidos a revisión para el informe final.

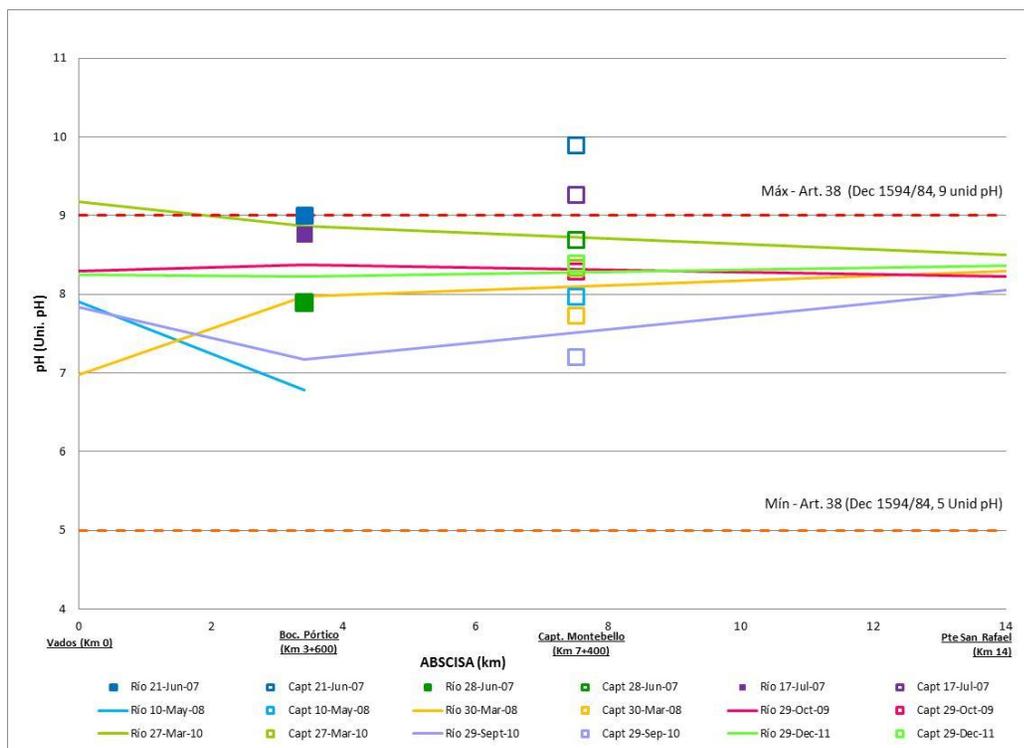
\*\* Método semicuantitativo, no se encuentra estandarizado

Fuente: Instituto Colombiano del Petróleo

#### 4.1.1 Capacidad neutralizante – pH

Los valores **pH** obtenidos en las campañas de muestreo del período 2007-2011 registran valores en el agua del Río Pamplonita entre neutra y ligeramente alcalina (6.5 -9.0 Uni. pH), como se muestra en la gráfica 1, lo cual cumple con el intervalo establecido en el artículo 38 del decreto 1594/84 (5.0-9.0 Uni. pH) para aguas dulces no contaminadas. Sin embargo, en los monitoreos realizados en el año 2007 (Junio y Julio), en la captación Montebello, se observó un ligero aumento por encima de la norma de la capacidad buffer, situación atribuida al empleo transitorio de tensoactivos en las labores de recolección del crudo para la contingencia ocurrida en Junio del mismo año.

**Gráfica 1. Perfil del pH en Río Pamplonita y la captación Montebello.**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

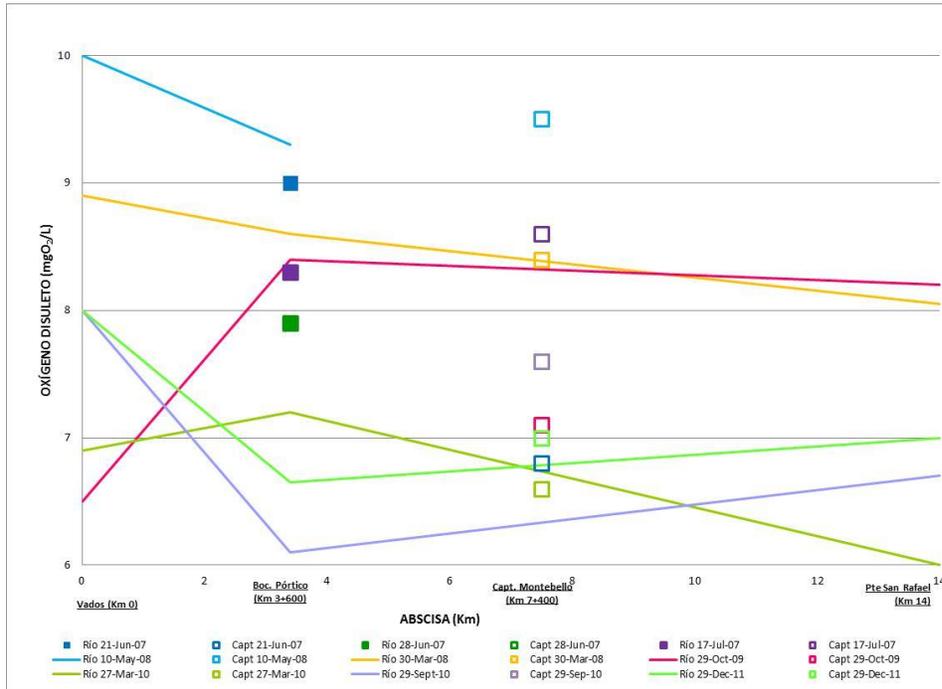
Para el caso de las aguas superficiales, la variabilidad de este parámetro está asociada al equilibrio entre las tres formas del carbono inorgánico disuelto en el agua, dióxido de carbono, bicarbonatos y carbonatos (Ramirez & Viña, 1998), así como los procesos de descomposición y fotosíntesis que pueden modificar dicho equilibrio (Alvarez, 2010).

#### **4.1.2 Oxígeno Disuelto**

Las concentraciones de **oxígeno disuelto** en el Río Pamplonita de acuerdo con la

**Gráfica 2** oscilan entre 6.0 y 10 mgO<sub>2</sub>/L. Estos niveles de oxígeno en el agua, mantienen la vida natural de los ecosistemas acuáticos mediante de la preservación de la flora y fauna acuática de acuerdo al art. 45 del Decreto 1594/84. No obstante, es interesante observar que los niveles oxígeno disuelto en el sector denominado Puente San Rafael (Km 14) se encuentran en el intervalo mencionado, ya que el sitio es receptor de diversas fuentes puntuales residuales domésticas provenientes del municipio de Cúcuta, lo cual empieza a deteriorar la calidad fisicoquímica del agua.

**Gráfica 2. Perfil de Oxígeno Disuelto en Río Pamplonita y la captación Montebello**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

La concentración de oxígeno expresada en términos de **porcentajes de saturación de oxígeno**, muestra valores superiores a 70 %, registro mínimo que ampara la calidad para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario (pesca), según el art. 43 del mismo decreto referenciado. Según Lynch y Poole, el agua con estas características es calificada como regular a buena (ver Tabla 7).

**Tabla 7. Calidad del agua en función del % saturación de oxígeno. (Lynch y Poole, 1979)**

Calidad	% Saturación de Oxígeno (a la temperatura y salinidad prevaleciente en el ambiente)
Buena	90
Regular	89-75
Dudosa	74-50
Contaminada	<50

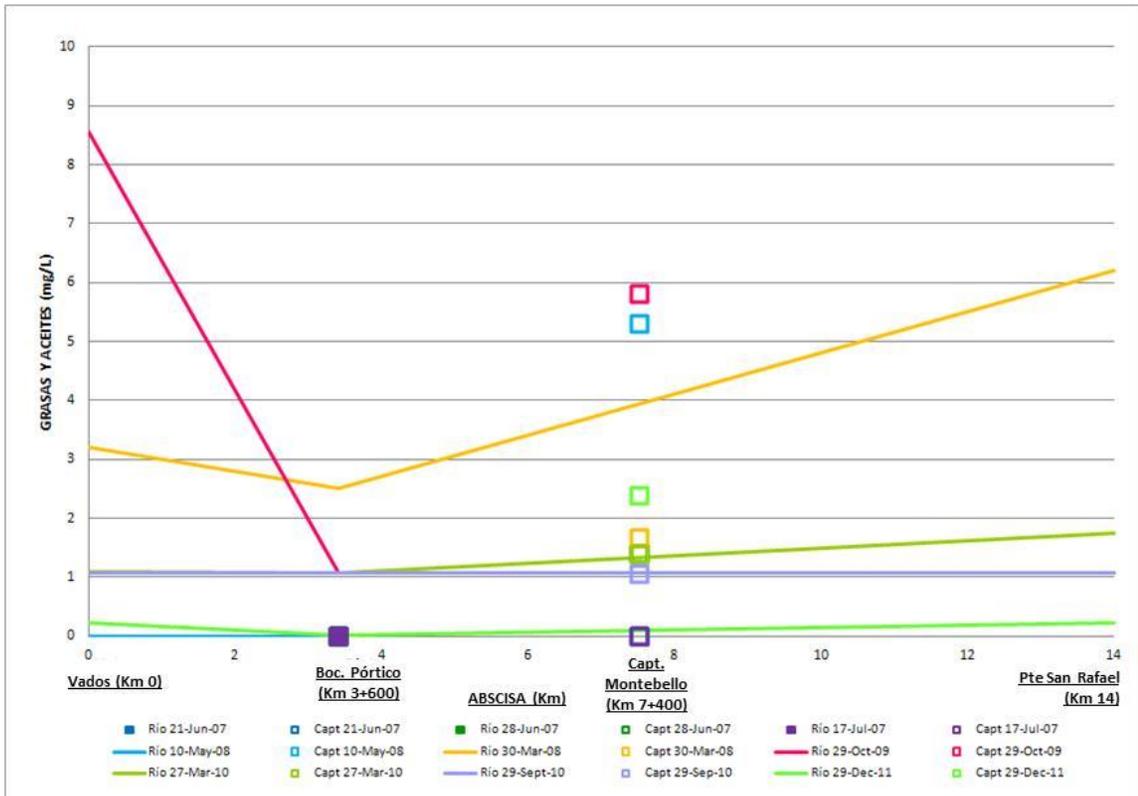
### **4.1.3 Grasas y Aceites e Hidrocarburos**

Las grasas y aceites son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia e interfieren en la actividad biológica. Las grasas y aceites de origen vegetal y animal son comúnmente biodegradables, mientras que las de origen mineral pueden ser no biodegradables y requieren pretratamiento físico para ser removidas antes de tratamientos biológicos (Romero, 2000).

De acuerdo con la

Gráfica 3, las mayores concentraciones de grasas y aceites (8.54 mg/L y 6.20 mg/L) se registraron en los años 2009 y 2008 en los sectores de los Vados (Km 0) y Puente San Rafael (Km 14) respectivamente; sin embargo, para este primer sector la presencia de grasas y aceites en el agua puede estar relacionada con el aporte natural de la cuenca y la intervención en el cauce por la extracción de material fino y grueso del Río en este sector, mientras que en el Puente San Rafael la concentración se relaciona probablemente con el aporte de aguas residuales domésticas que desembocan en este sitio. Es importante aclarar que no se observó película de aceite en la superficie del agua y por lo tanto se cumple así el artículo 38 del decreto 1594/84 (ausencia de película).

**Gráfica 3. Perfil de Grasas y Aceites en el Río Pamplonita y la captación Montebello**

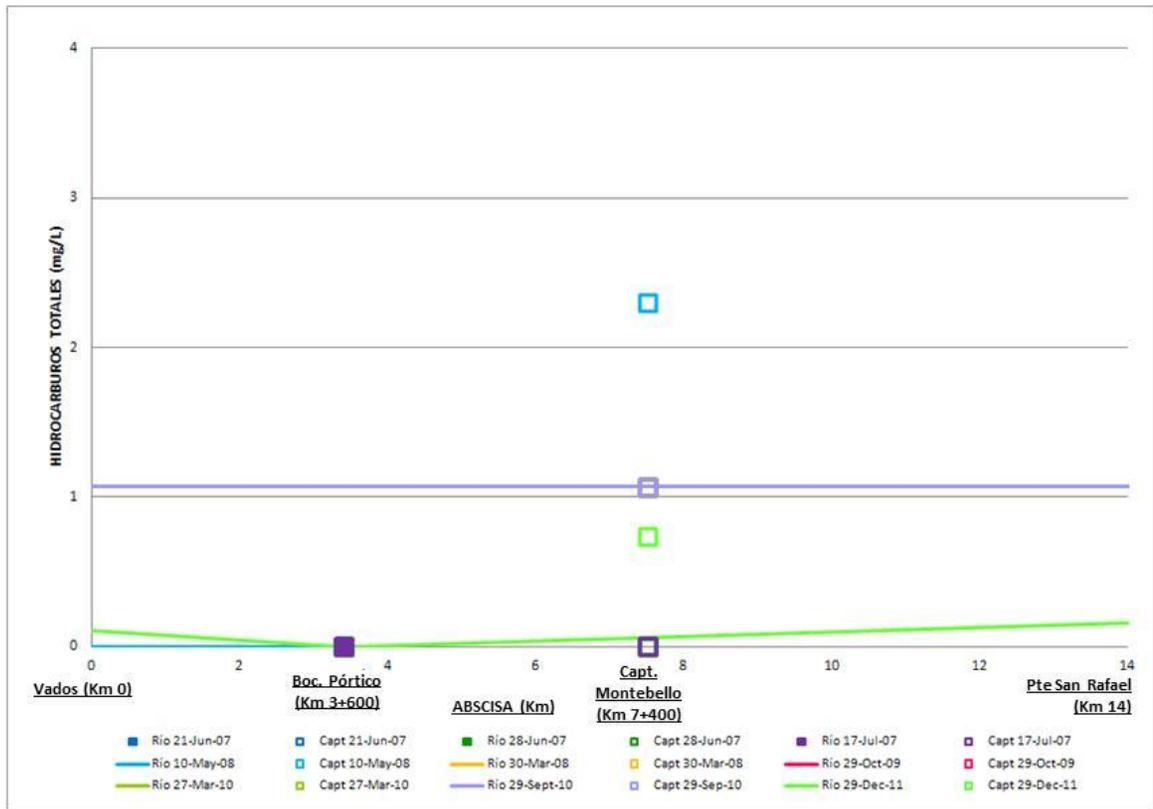


Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Por su parte, en la captación Montebello se registran valores entre 0 y 5.81 mg/L de grasas y aceites para el período 2008-2011, lo cual podría deberse a escorrentías de aguas agrícolas en las inmediaciones del punto de muestreo y a la presencia de pequeños asentamientos en el área cercana a la bocatoma.

Durante los monitoreos de los años 2010 y 2011 se detectaron concentraciones de hidrocarburos muy cercanas a la mínima concentración cuantificable (límite de detección, 1.4 mg/L, método gravimétrico). (ver gráfica 4)

**Gráfica 4. Perfil de Hidrocarburos en el Río Pamplonita y la captación Montebello**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

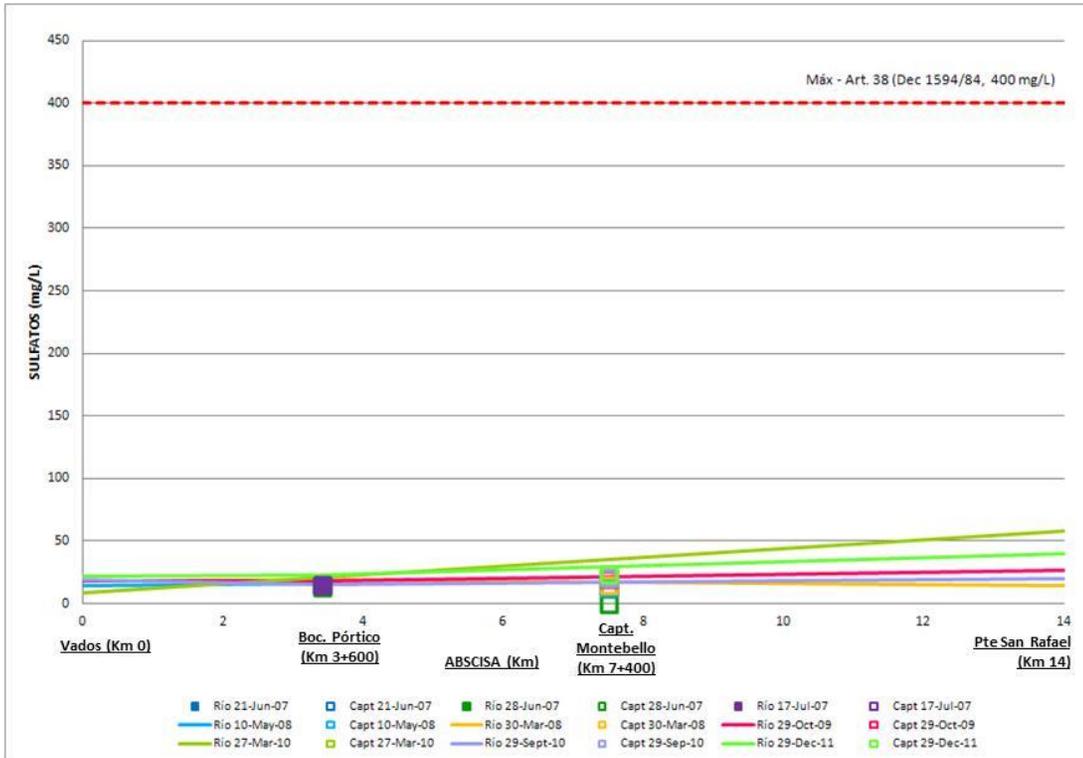
Con respecto al contenido de hidrocarburos, la (ver gráfica 4)

**Gráfica 4** ilustra de manera general bajas concentraciones, la captación Montebello para el año 2008 registra el máximo valor (2.3 mg/L). Sin embargo, esta concentración es cercana a la concentración mínima cuantificable dada por la metodología.

#### **4.1.4 Sulfatos y Cloruros**

Las aguas residuales y la lluvia ácida son las principales fuentes de los sulfatos en el agua, los óxidos de azufre se producen durante la quema de combustibles fósiles y se transforman en ácido sulfúrico en la atmósfera (Romero, 2005). Por otro lado, los sulfatos también se encuentran asociados a la disolución de rocas de yeso que conforman el cauce de aguas naturales y subterráneas. De acuerdo con reportes en literatura, las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm de sulfatos (Marín, 1999). Las aguas superficiales del Río Pamplonita se encuentran en este rango y cumplen con los valores requeridos en la legislación colombiana para aguas de consumo humano (400 mg/L) (ver Gráfica 5).

**Gráfica 5. Perfil de Sulfatos en el Río Pamplonita y la captación Montebello**



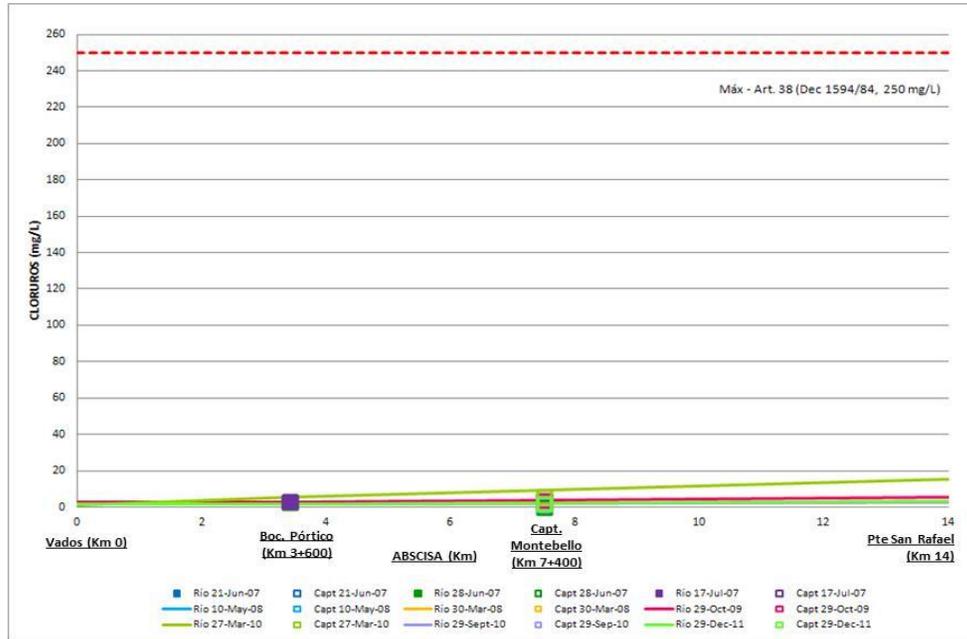
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Otros de los iones determinantes asociados a vertimientos de aguas residuales industriales y legislados por la normatividad colombiana son los cloruros. La presencia de estos iones disminuye las concentraciones de oxígeno disuelto en el medio acuático y cuando su contenido es elevado pueden llegar a producir anoxia en el cuerpo de agua y forma directa el ecosistema. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero no es raro encontrar valores mayores. En el Río Pamplonita se encontró como concentración máxima 15.5 mg/L, cercano a los niveles mínimos propuestos en literatura. En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad.

Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua, se ha establecido un límite de 250 mg/l en aguas de consumo, concentración que

puede ser razonablemente excedida según las condiciones locales y la costumbre de los consumidores. La OMS considera que por encima de esta concentración, los cloruros pueden influir en la corrosividad del agua.

**Gráfica 6. Perfil de Cloruros en el Río Pamplonita y la captación Montebello**

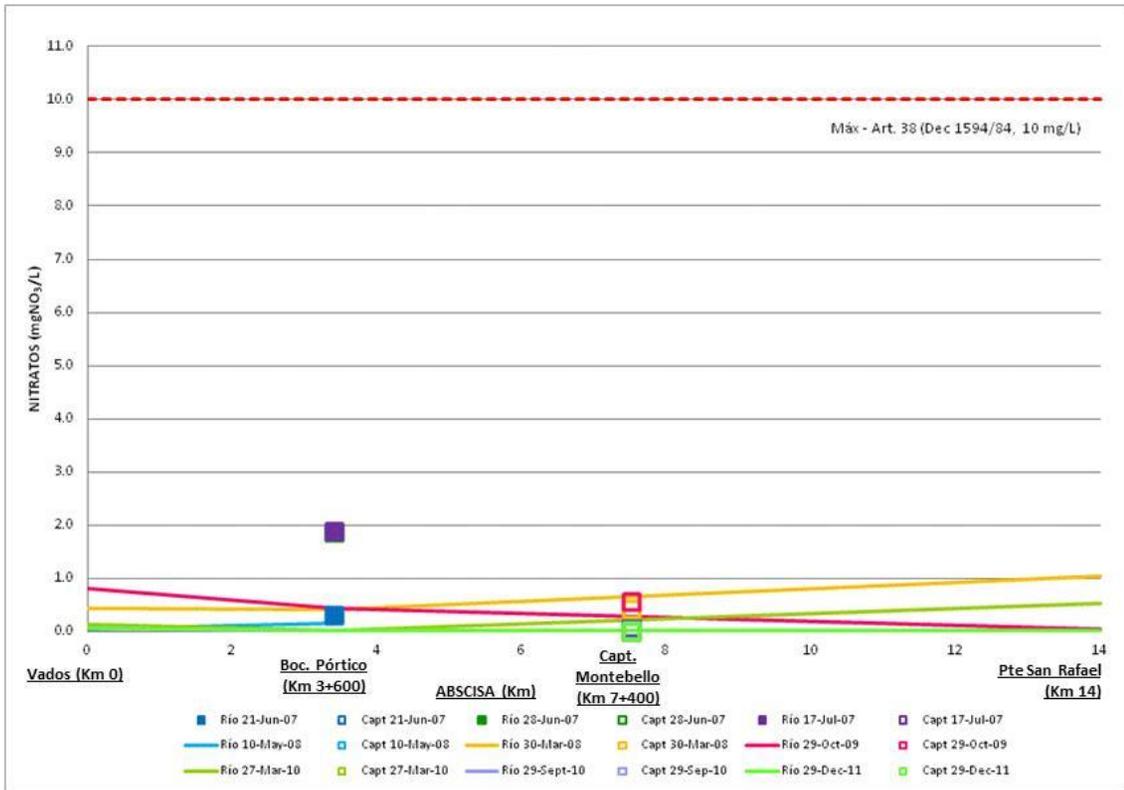


Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

#### 4.1.5 Nitritos, Nitratos y Nitrógeno Amoniacal

Los nitratos y nitritos en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua, ambos están relacionados con el ciclo del nitrógeno. Los nitritos también se forman por la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados (Molina *et al.*, 2003).

**Gráfica 7. Perfil de Nitratos en Río Pamplonita y captación Montebello.**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Los nitratos constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en todos los cuerpos de agua naturales donde suelen encontrarse en concentraciones traza o en pocos ppm, mientras que en aguas residuales domésticas y agrícolas pueden alcanzar niveles relativamente altos (> 10 mg/L).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que la concentración de nitratos en aguas naturales, cumple con el artículo 38 del decreto 1594/84, que contempla los criterios de calidad para agua destinada al consumo humano y doméstico (10 mgN/L). En el caso de los nitritos, solo se superó el valor estimado en la legislación colombiana (1.0 mgN/L) en el monitoreo del mayo 2008, donde predominó la temporada de lluvias, la cual favorece el

arrastre de esta forma del nitrógeno en el cuerpo de agua (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

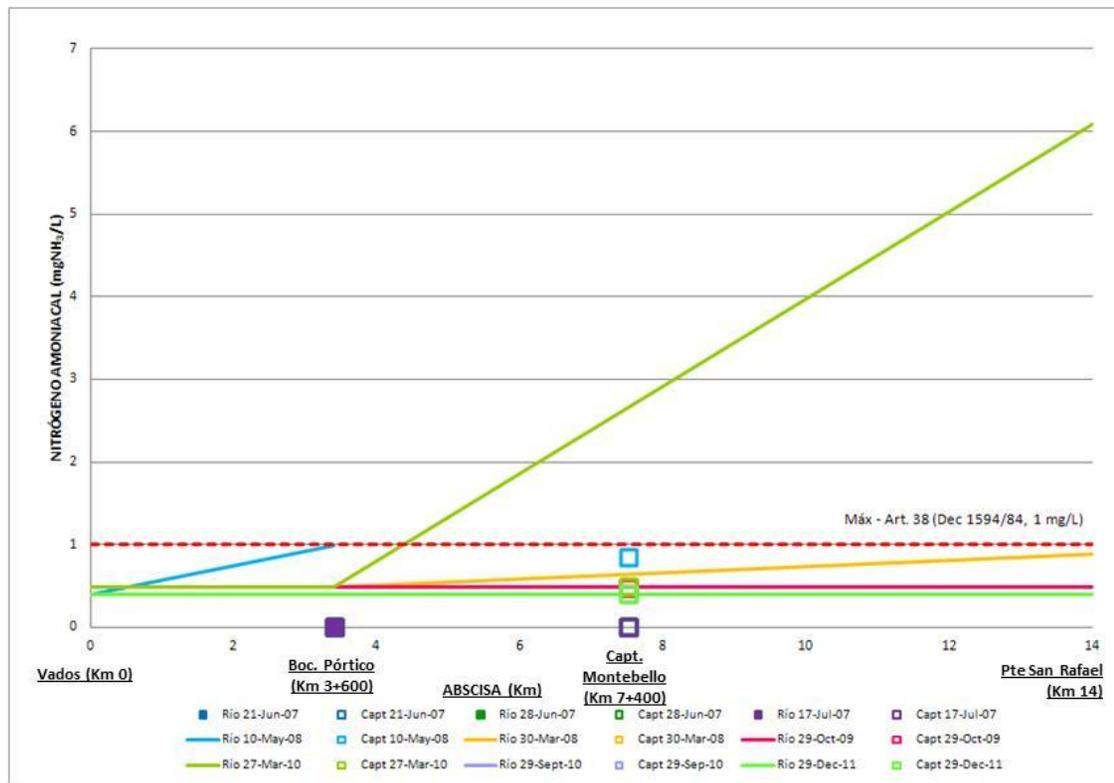
**Gráfica 8. Perfil de Nitritos en Río Pamplonita y captación Montebello**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

De acuerdo a la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., las concentraciones de nitrógeno amoniacal, sólo superan el valor permisible en la legislación colombiana (1.0 mg N/L) en el sector de Puente San Rafael para el primer muestreo del año 2010 (6.09 mg N/L). La concentración de nitrógeno amoniacal en el agua se encuentra relacionada con descomposición bacteriana de contaminación residual fresca, lo cual es evidente por las descargas residuales domesticas que terminan sobre el Río Pamplonita durante su trayecto por la ciudad de Cúcuta.

**Gráfica 9. Perfil de Nitrógeno Amoniacal en el Río Pamplonita y captación Montebello**



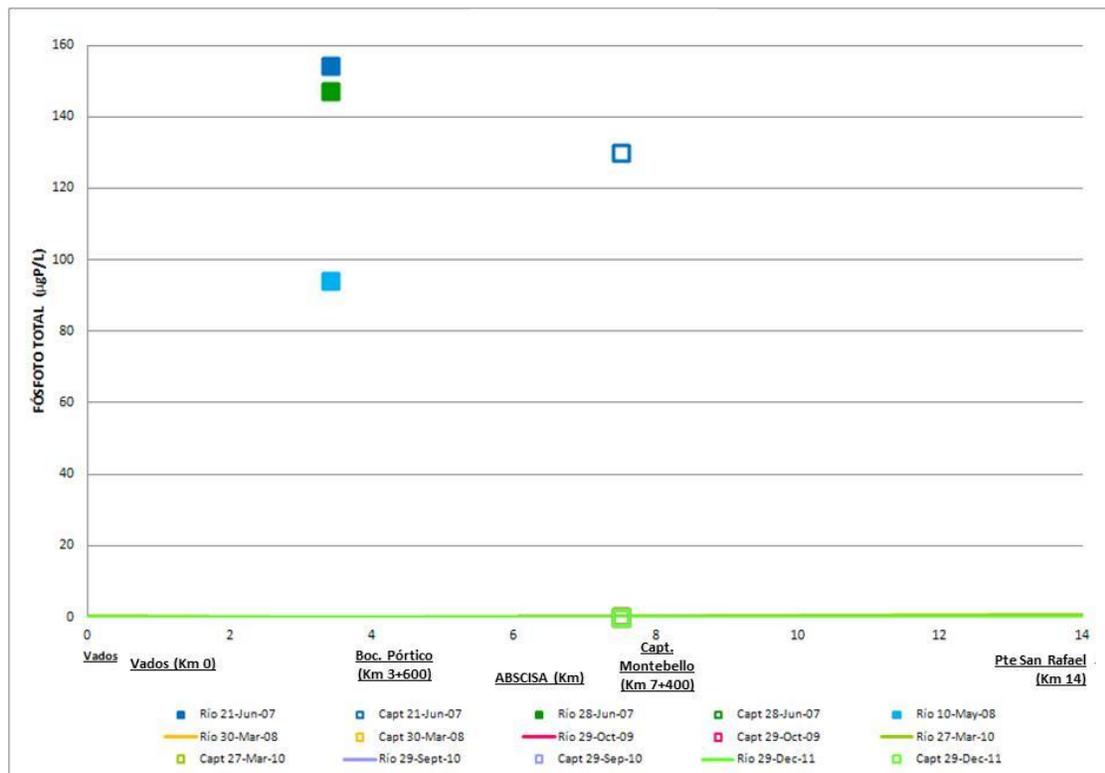
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**4.1.6 Fósforo Disuelto y Fosfato Total.** El fósforo se presenta en el agua natural y residual en varias formas, comúnmente son clasificados como ortofosfatos, fosfatos condensados y orgánicos. Estas formas de fosfatos pueden presentarse en forma soluble, en partículas de detritos o en los cuerpos de organismos acuáticos. El fósforo generalmente está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos. Los fosfatos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas, por ello, cuando las concentraciones son elevadas se favorece su crecimiento, presentándose problemas de eutroficación (Romero, 2005).

Cuando un ecosistema presenta eutroficación, las poblaciones de organismos productores (algas) liberan oxígeno en las capas superiores del agua pero cuando mueren y caen al fondo, son descompuestas por las bacterias, que usan gran parte del oxígeno disuelto que hay en las capas inferiores, dejando este medio en condiciones de bajo oxígeno. Además, las masas de agua con altos niveles de fosfatos generalmente tienen niveles altos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

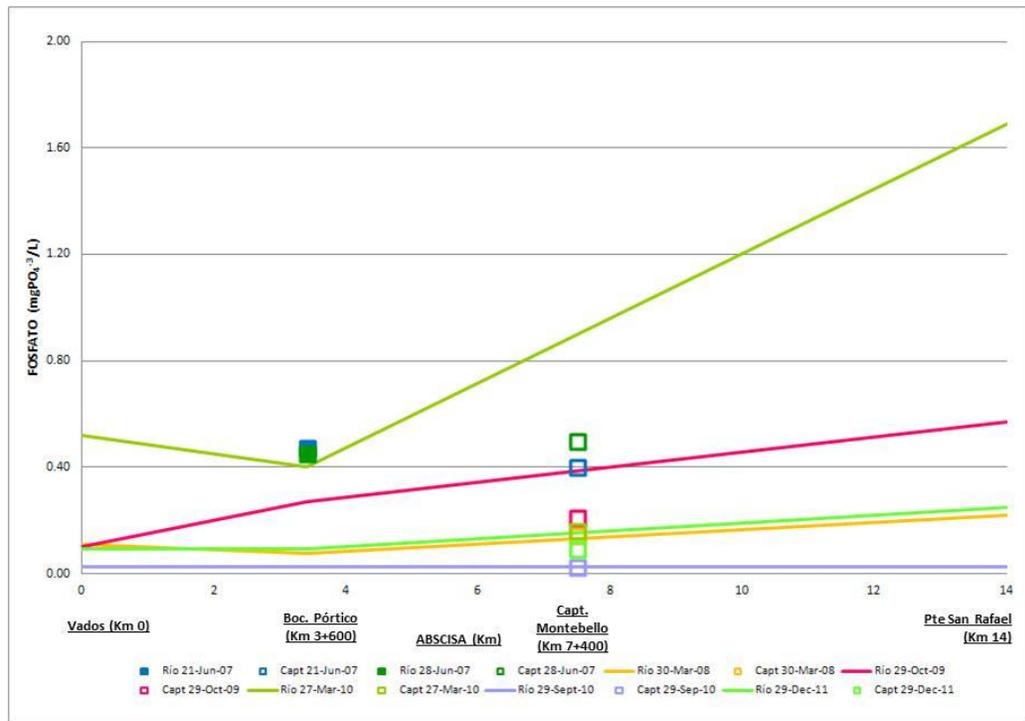
En general, en aguas naturales la concentración de fósforo es baja, de 0.01 a 1 mg P/L (Romero, 2005); el fósforo disuelto en el Río Pamplonita, registró concentraciones que oscilaron entre la mínima concentración cuantificable (<0.0099) y 0,164 mg P/L (Gráfica 10).

**Gráfica 10. Perfil de Fósforo Total en el Río Pamplonita y captación Montebello**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**Gráfica 11. Perfil de Fosfato Total en el Río Pamplonita y captación Montebello**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

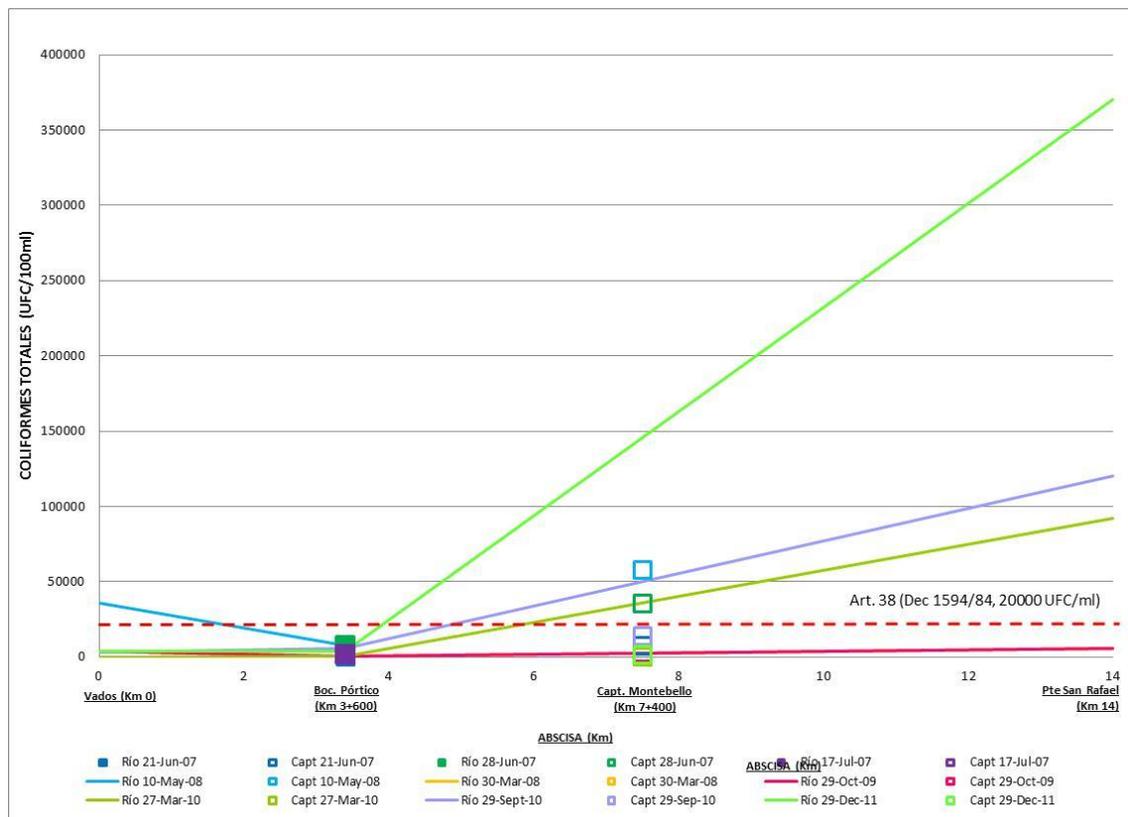
**4.1.7 Coliformes Totales y Escherichia coli.** Generalmente la presencia de patógenos en el agua constituye un indicativo de contaminación debido a los desechos de animales o excretas humanas (Conolly, 1994).

En la Gráfica 12, las concentraciones de Coliformes totales en el cuerpo de agua son aceptables en los sectores de Los Vados y Bocatoma Pórtico, de acuerdo a lo regulado en la normatividad colombiana (Art. 38 Dec.1594/84, 200000 UFC/100ml). Sin embargo, en el muestreo registrado en el año 2008 se observa en Los Vados un incumplimiento, lo cual coincide con la época de lluvias, situación que favorece el arrastre de materia fecal que entra en los sistemas acuáticos (Roll y Fujioka, 1997).

En los años 2010 y 2011, posterior al sector de la bocatoma El Pórtico se presenta un aumento en la población de organismos coliformes; situación esperable para la

captación Montebello por el uso del suelos agrícolas y pequeños asentamientos en inmediaciones de la misma, así como también en el sector del Puente San Rafael, entrada a la ciudad de Cúcuta, en donde se evidencian descargas puntuales de aguas residuales domesticas hacia el cuerpo de agua, que favorecen el aumento de patógenos por encima de la legislación colombiana.

**Gráfica 12. Perfil de Coliformes Totales en Río Pamplonita y captación Montebello**

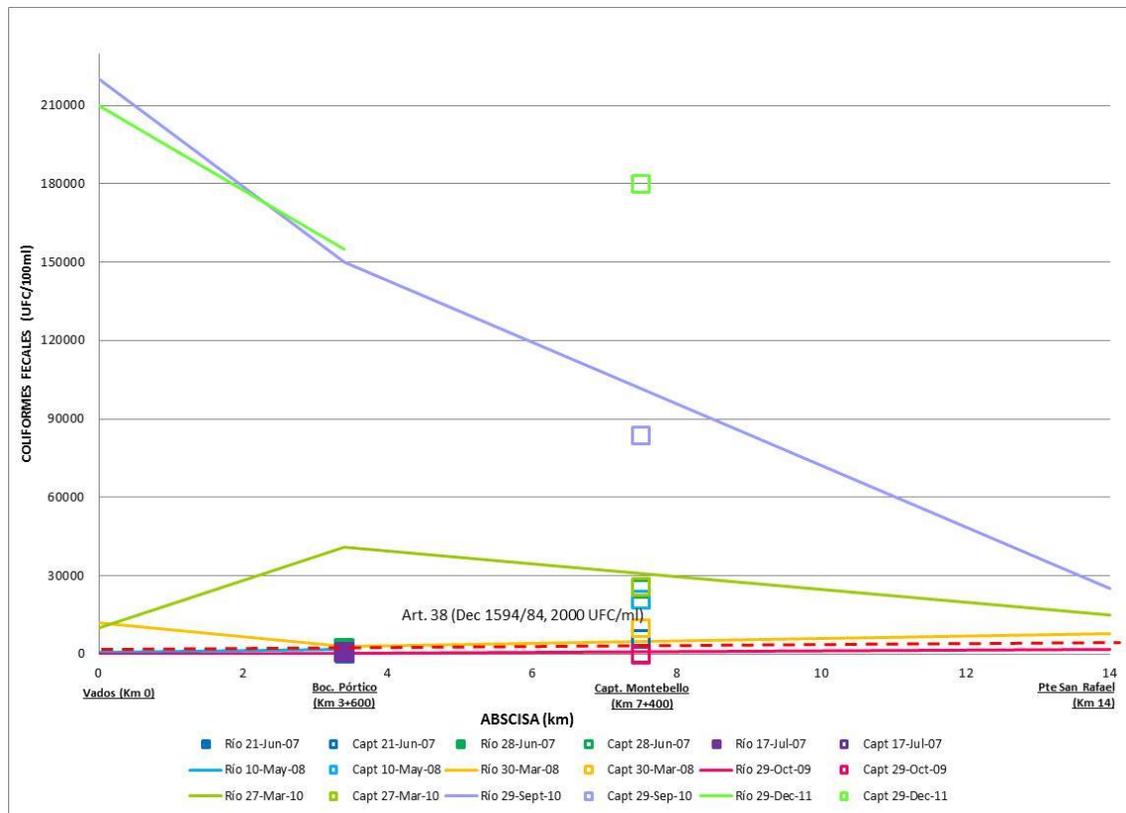


Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Los coliformes fecales son indicadores de la calidad de un cuerpo de agua ya que su presencia indica contaminación fecal de origen humano o animal, pues las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la flora intestinal y de ellos entre un 90 y 100% son de *Escherichia coli* (Carillo & Lozano, 2008).

Según la Gráfica 13, la población de organismos coliformes fecales-CF fue superior a lo permisible en la legislación colombiana (Art. 38 Dec.1594/84 2000 UFC/ml) a lo largo de los sitios involucrados en la evaluación de calidad. No obstante, es de notar que los mayores indicadores de CF se observaron en el monitoreo efectuado en el mes de septiembre de 2010, temporada de transición de lluvias según la climatología de la zona. Es de recordar que el Río Pamplonita es el cuerpo de agua receptor principal de los las aguas residuales domésticas de los municipios de Pamplona, sector la Don Juana, el aporte de la quebrada Iscalá que recibe las aguas residuales domésticas del municipio de Chinacota, el sector de la cabecera municipal del municipio de los Patios, adicional a las actividades agrícolas y ganaderas en la ribera del Río incrementan estos organismo en el agua del rio Pamplonita.

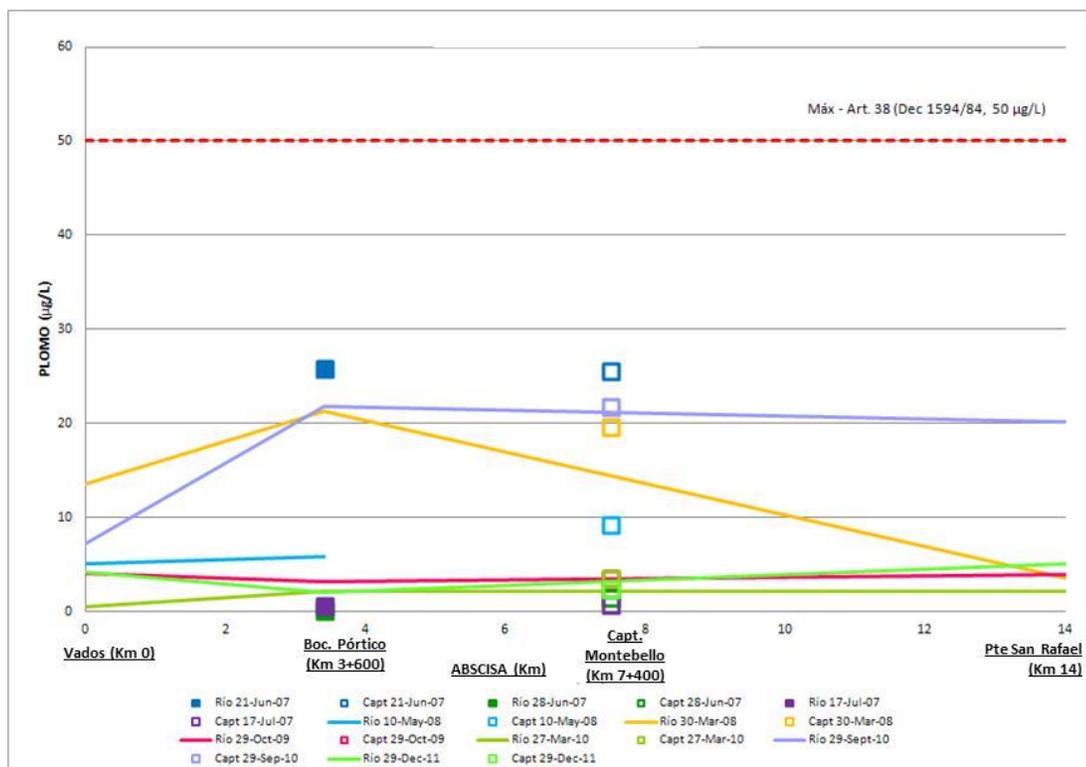
Gráfica 13. Perfil de Coliformes Fecales en Río Pamplonita y captación Montebello



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

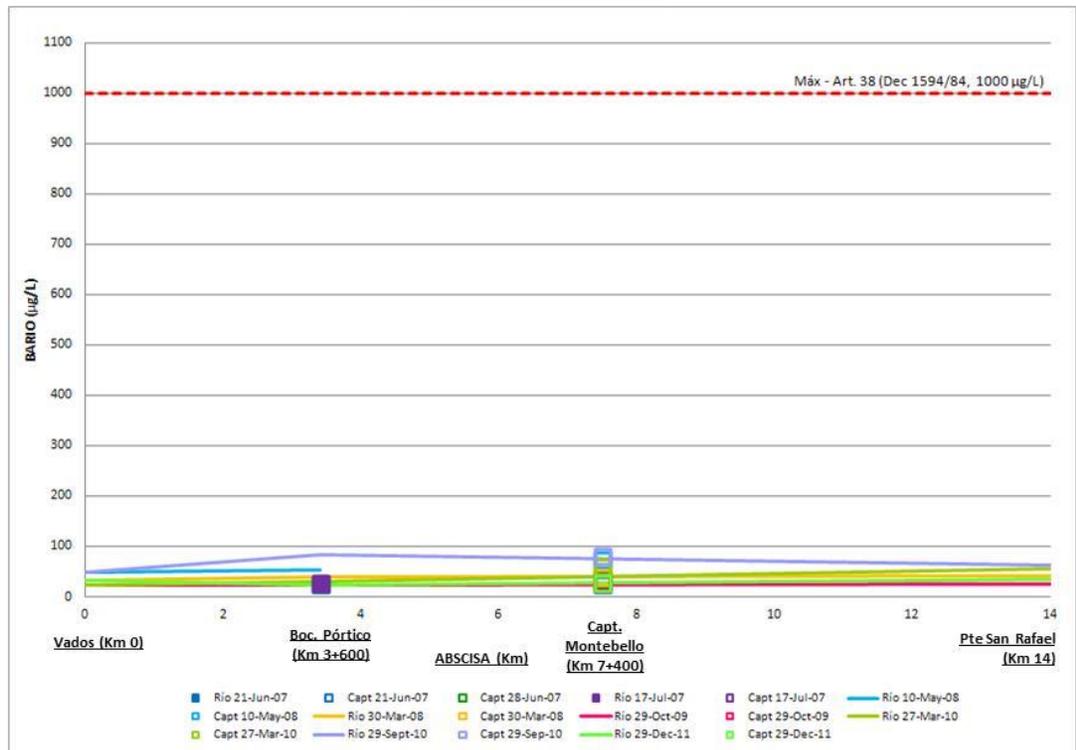
**4.1.8 Metales.** Los valores de metales registrados en el Río Pamplonita y la captación Montebello durante el período histórico muestreado 2007 -2011, cumplieron con los límites permisibles dados en el art. 38 del decreto 1594/84, donde se emiten los criterios de calidad para destinación del recurso humano y doméstico ( y gráfica 15).

**Gráfica 14. Perfil de Plomo en el Río Pamplonita y captación Montebello**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**Gráfica 15. Perfil de Bario en el Río Pamplonita y captación Montebello**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

#### 4.2 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PAMPLONITA

El Río Pamplonita es la corriente de principal importancia en el departamento de Norte de Santander para el abastecimiento de agua para consumo humano para su capital Cúcuta, por tal razón es de importancia determinar las condiciones actuales de calidad de agua y los diversos escenarios que podrían mejorar o deteriorar la calidad de este importante recurso. La caracterización fisicoquímica histórica del Río Pamplonita en el período comprendido en el período 2007-2011, presenta sobre esta fuente un efecto negativo en gran parte por la presencia de organismos patógenos en el agua (Coliformes), lo cual es de conocimiento por las puntuales descargas residuales domésticas dadas desde la alta cabecera,

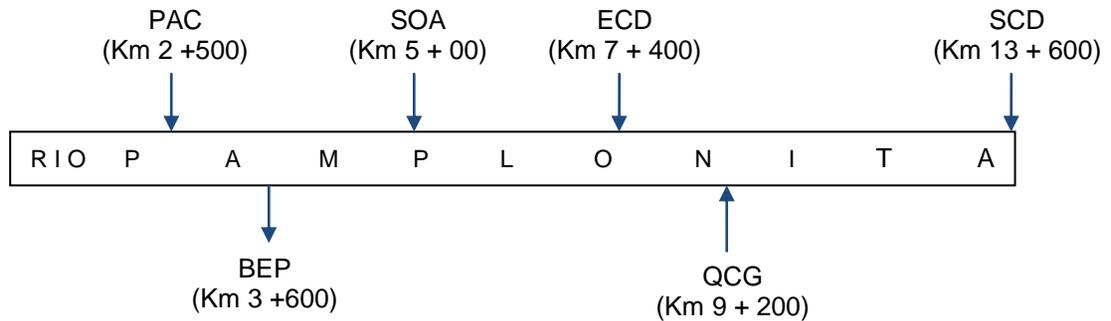
específicamente desde los municipios de Pamplona, Bochalema, Chinácota y Los Patios. Estos eventos negativos, perjudican la calidad de agua para consumo humano, de acuerdo a lo establecido en el art. 38 del decreto 1594 del 1984. Sin embargo, es de considerar que los derrames de hidrocarburo ocasionados en los años 2007 y 2011, en aguas del Río Pamplonita han cambiado algunos aspectos físicos y químico en el agua. Por tal razón, es considerable evaluar y presentar los diversos escenarios en los cuales la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial (en el caso de las captaciones de agua para consumo humano), se comportaría antes algunos efectos naturales como lo son los cambios microclimáticos; así mismo, como se observa afectada esa misma calidad cuando se encuentra eventos de contaminación continua y significativos, para los diversos usos del agua según la legislación colombiana, tal como el agrícola frecuente por la zona.

El modelo de la calidad del agua del Río Pamplonita se construyó para un segmento de 13.6 km, en su cuenca media, con base en la información hidráulica, meteorológica, fisicoquímica, hidrobiológica y bacteriológica del monitoreo del 18 de Febrero de 2012; teniendo en cuenta los principales tributarios, vertimientos y derivaciones puntuales del Río Pamplonita (Tabla 8).

**Tabla 8. Fuentes Puntuales usadas en la Modelación del Río Pamplonita.**

Fuentes Puntuales	Ubicación (km)
Pavimentos Construcción (PAC)	2.50
Bocatoma El Pórtico (BEP)	3.60
Sobrantes Acueducto (SOA)	5.00
Entrada Canal Duplat (ECD)	7.4
Quebrada Ciénaga (QCG)	9.2
Salida Canal Duplat (SCD)	13.61

**Figura 11. Esquema de Fuentes Puntuales usadas en la Modelación.** Pavimentos Construcción (PAC), Bocatoma El Pórtico (BEP), Sobrantes Acueducto (SOA), Entrada Canal Duplat (ECD), Quebrada Ciénaga (QCG), Salida Canal Duplat (SCD).



El segmento modelado fue subdividido en 89 elementos de 300 m cada uno, utilizando el método de integración de Euler, un tiempo de cálculo de 0.08 minutos y como método de solución de pH, Newton Raphson.

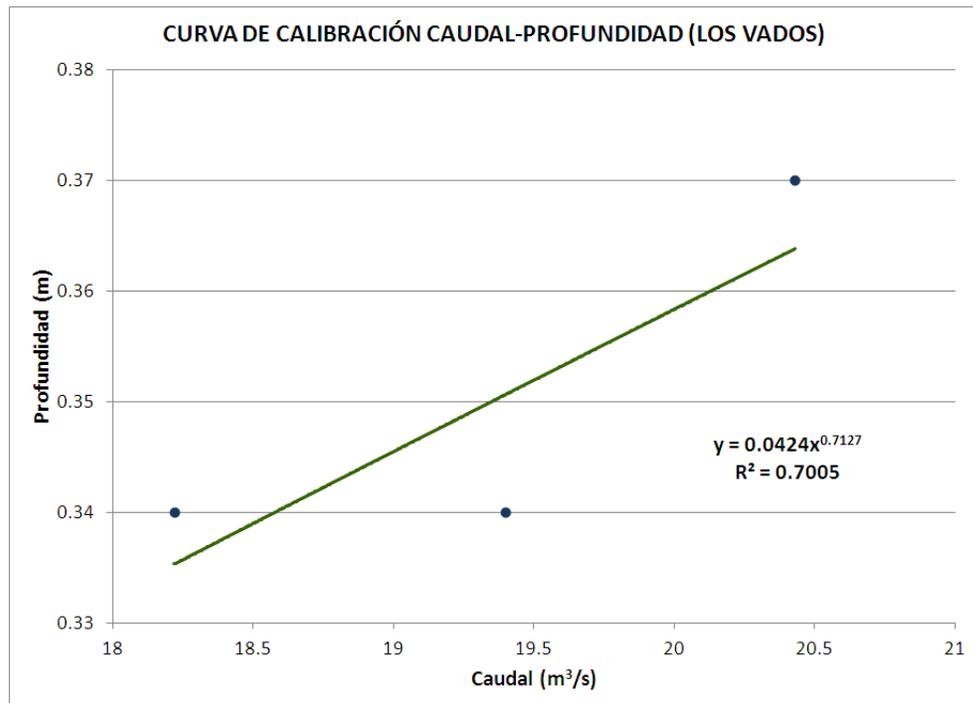
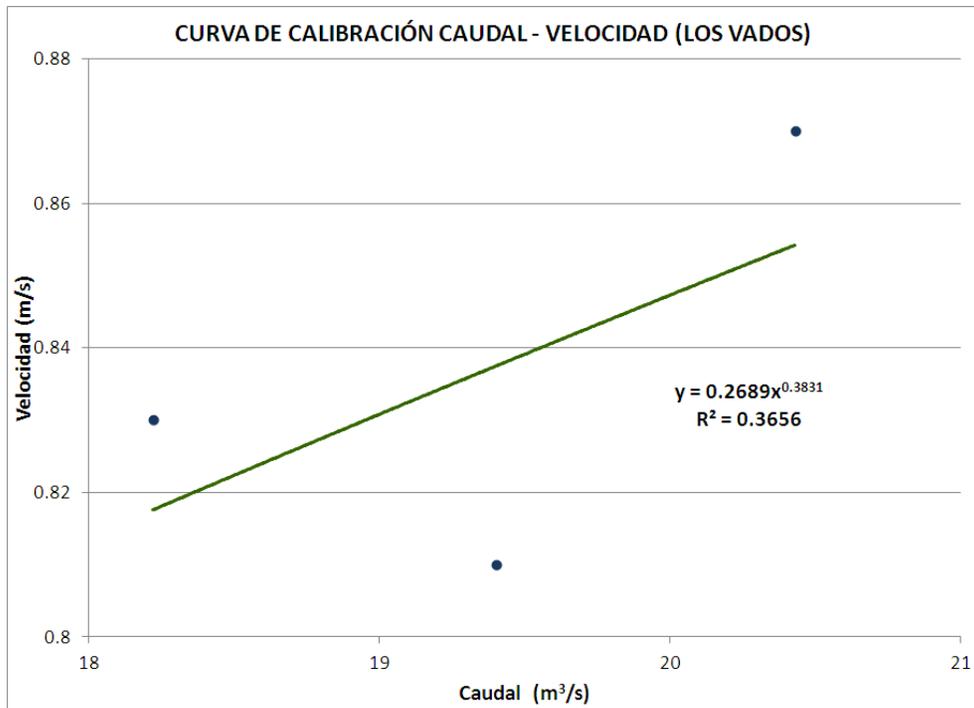
**4.2.1 Modelo hidráulico.** En un modelo de calidad de agua es indispensable calibrar de forma correcta la componente hidráulica, ya que la velocidad del flujo determina los tiempos de viaje y de residencia de los contaminantes en el tramo y por lo tanto el tiempo disponible para la degradación o reacción. Adicionalmente, la velocidad media de la corriente, el ancho y la profundidad de la sección transversal determinan la tasa de reaireación del cuerpo de agua y por lo tanto su capacidad de autodepuración. Por esta razón es necesario disponer de datos hidráulicos confiables de los tramos modelados. La hidráulica del modelo QUAL2KW se ajustó mediante ecuaciones de regresión de tipo potencial que relacionan el caudal con las variables de profundidad y velocidad.

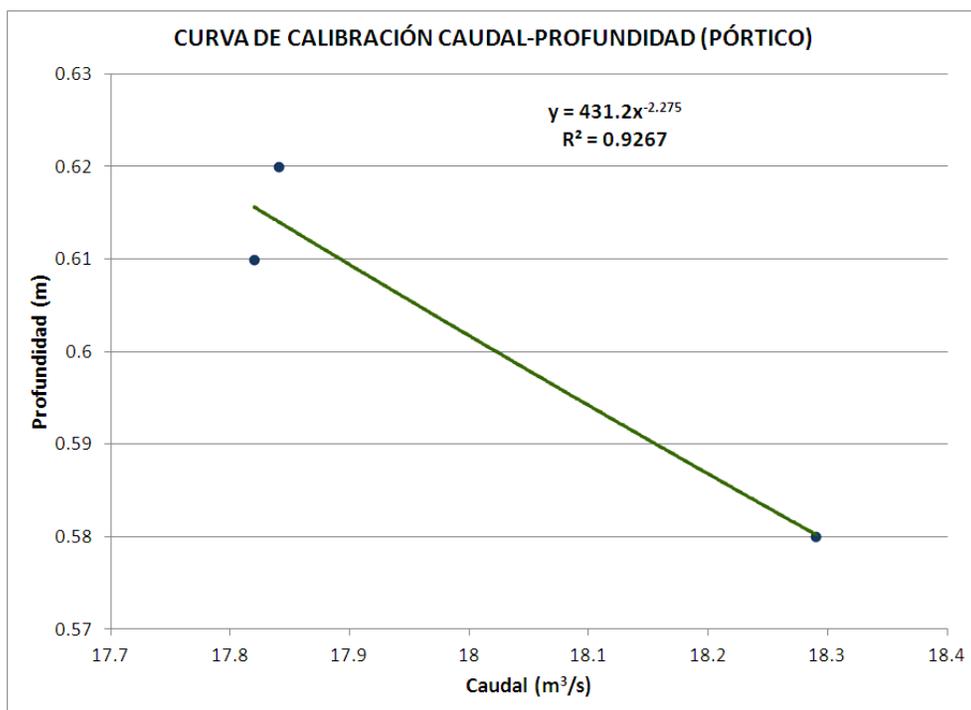
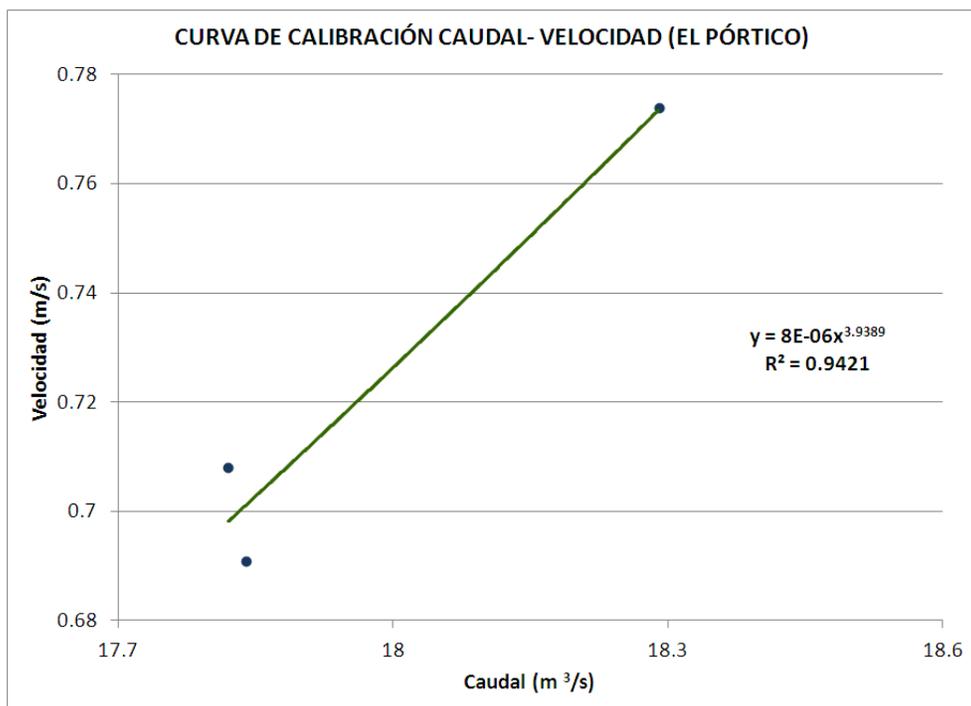
En la presente modelación se utilizaron los datos hidráulicos de aforos de caudal (método de área por velocidad), realizados durante los días 18, 19 y 20 de Enero de 2012 (Tabla 9, los datos de anexo B). Se dispuso por lo tanto de mediciones de caudal, profundidad y velocidad de la corriente, de manera que fue posible obtener ecuaciones potenciales con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de ajustes variables, éstos oscilaron entre 0.3656 (Los Vados) y 0.9932 (Aguas arriba de la confluencia del canal Duplat) para las relaciones entre la Velocidad y el Caudal; y desde 0.2406 (Aguas Arriba del Canal Duplat) hasta 0.9989 (Aguas arriba de la confluencia del canal Duplat) para las relaciones entre Profundidad y Caudal. Las bajas correlaciones de las variables hidráulicas encontradas en sectores como Los Vados y Aguas Arriba del Canal Duplat indican que tres mediciones de caudal por sección no son suficientes para obtener ecuaciones potenciales que representen las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua, son sitios de difícil acceso con fuertes corrientes en los cuales resulta bastante complicado realizar aforos. Por ello, se recomienda continuar con las mediciones de caudal para diferentes épocas climáticas, de tal forma que sea posible obtener todas las ecuaciones con  $R^2$  muy cercanos a 1, representando las condiciones del Río de forma confiable y (Tabla 10).

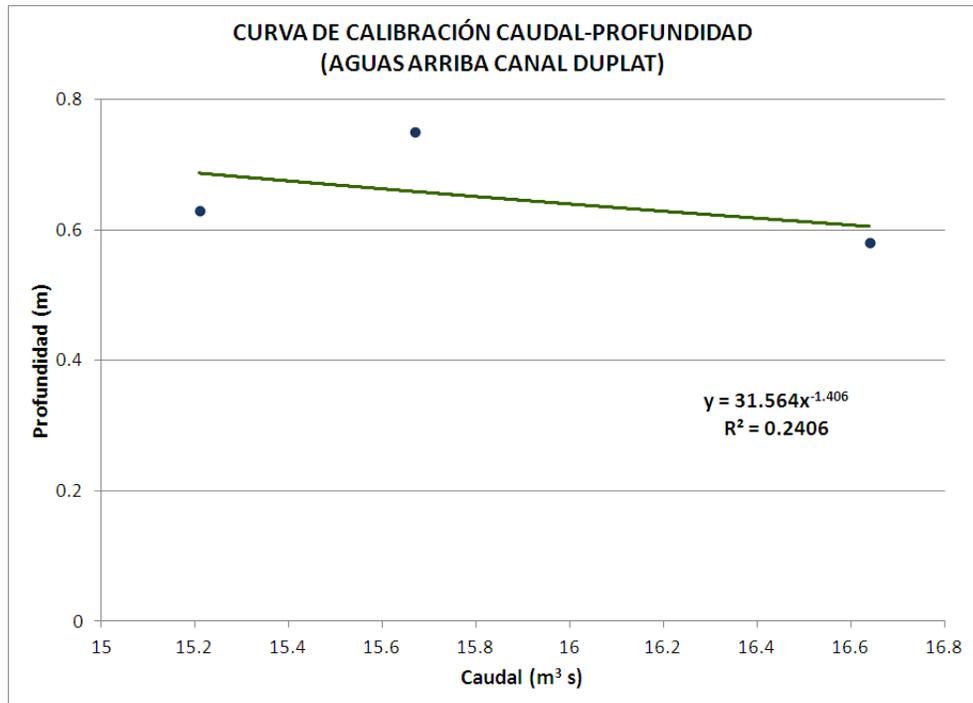
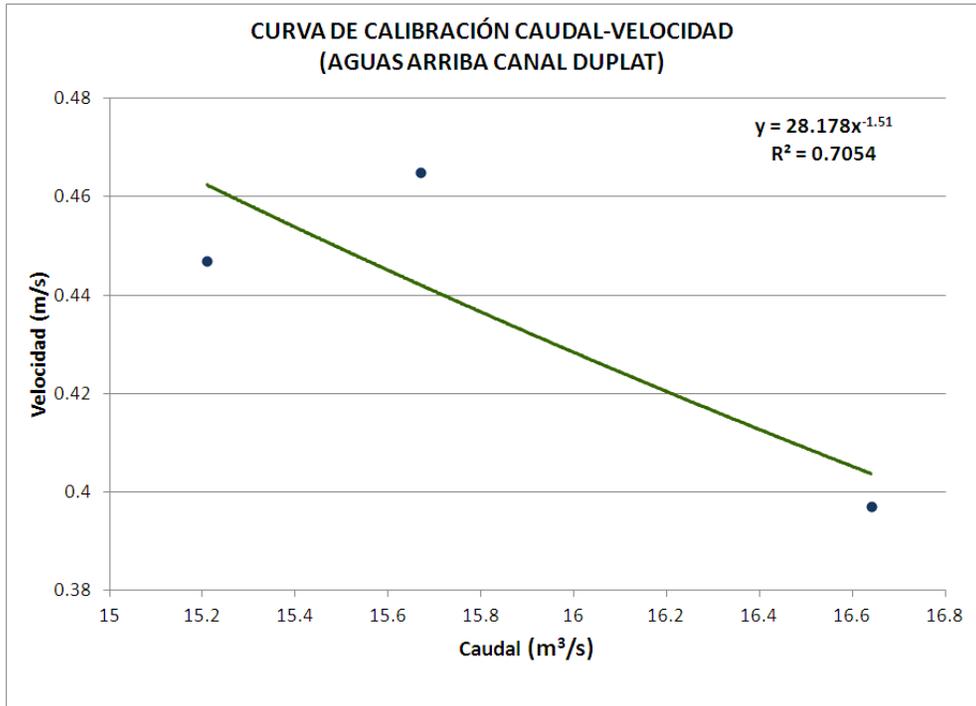
**Tabla 9. Resultados de la Caracterización Hidráulica del Río Pamplonita**

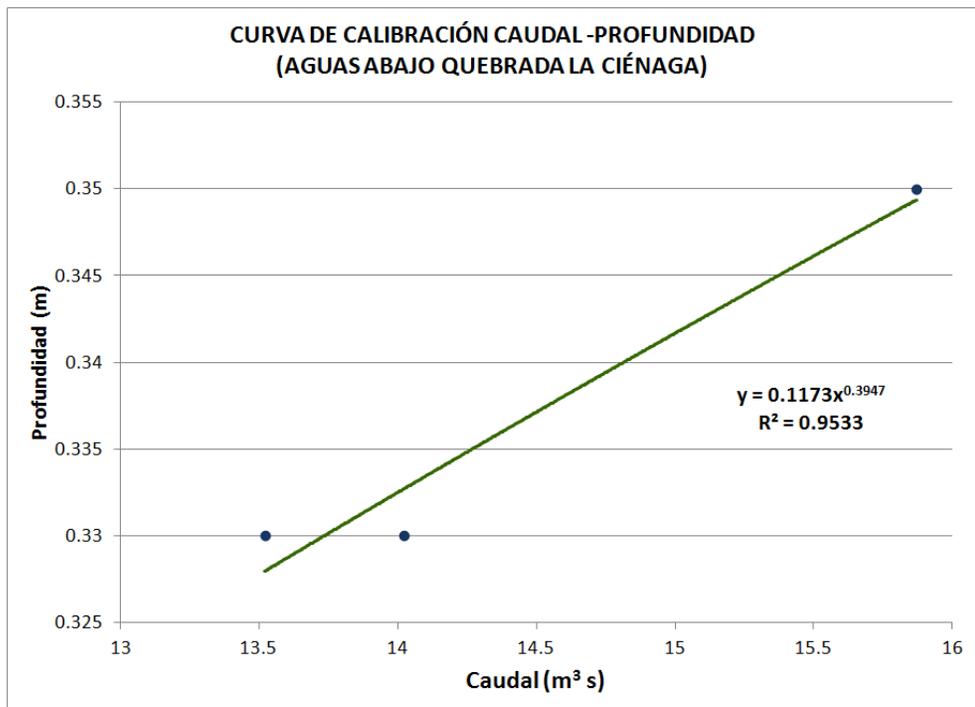
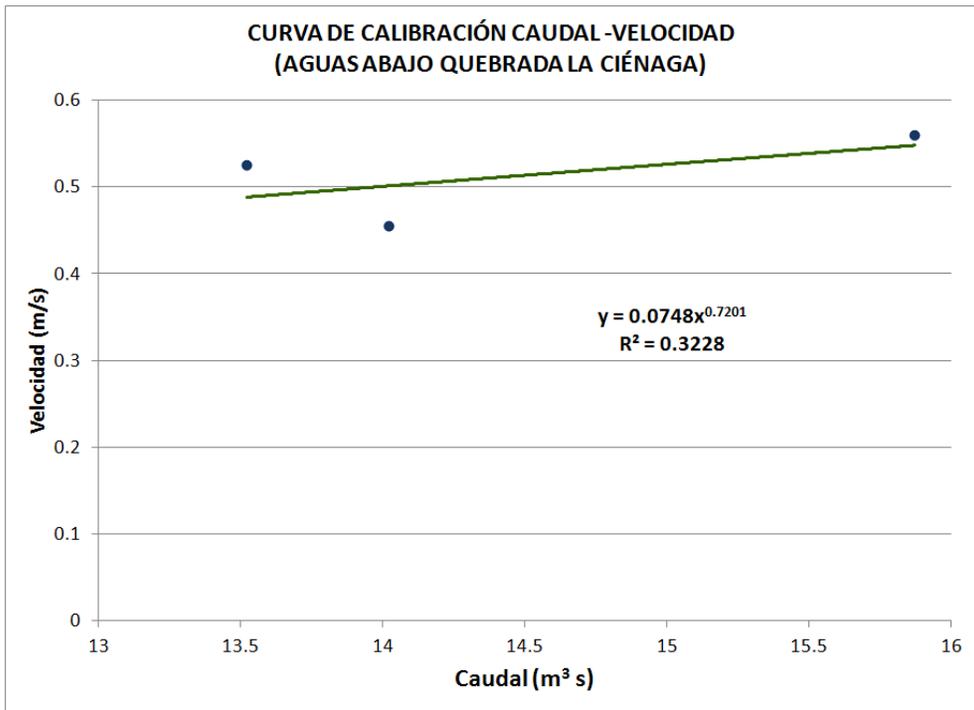
PUNTO DE MONITOREO	VARIABLE	FECHA DE MEDICIÓN		
		18/01/2012	19/01/2012	20/01/2012
Los Vados	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	19.4	20.43	18.22
	Velocidad (m/s)	0.81	0.87	0.83
	Profundidad (m)	0.37	0.34	0.34
A. arriba bocatoma el Pórtico	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	18.29	17.82	17.84
	Velocidad (m/s)	0.774	0.708	0.691
	Profundidad (m)	0.58	0.61	0.62
A. arriba canal Duplat	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	15.67	15.21	16.64
	Velocidad (m/s)	0.465	0.447	0.397
	Profundidad (m)	0.75	0.63	0.58
A. abajo quebrada La Ciénaga	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	13.52	15.87	14.02
	Velocidad (m/s)	0.526	0.56	0.455
	Profundidad (m)	0.33	0.35	0.33
A. arriba confluencia entrada del canal Duplat	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	11.85	13.77	13.85
	Velocidad (m/s)	0.32	0.4	0.413
	Profundidad (m)	0.81	0.7	0.7
A. abajo confluencia canal Duplat	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	14.56	18.7	19.8
	Velocidad (m/s)	0.71	0.863	0.95
	Profundidad (m)	0.45	0.46	0.45

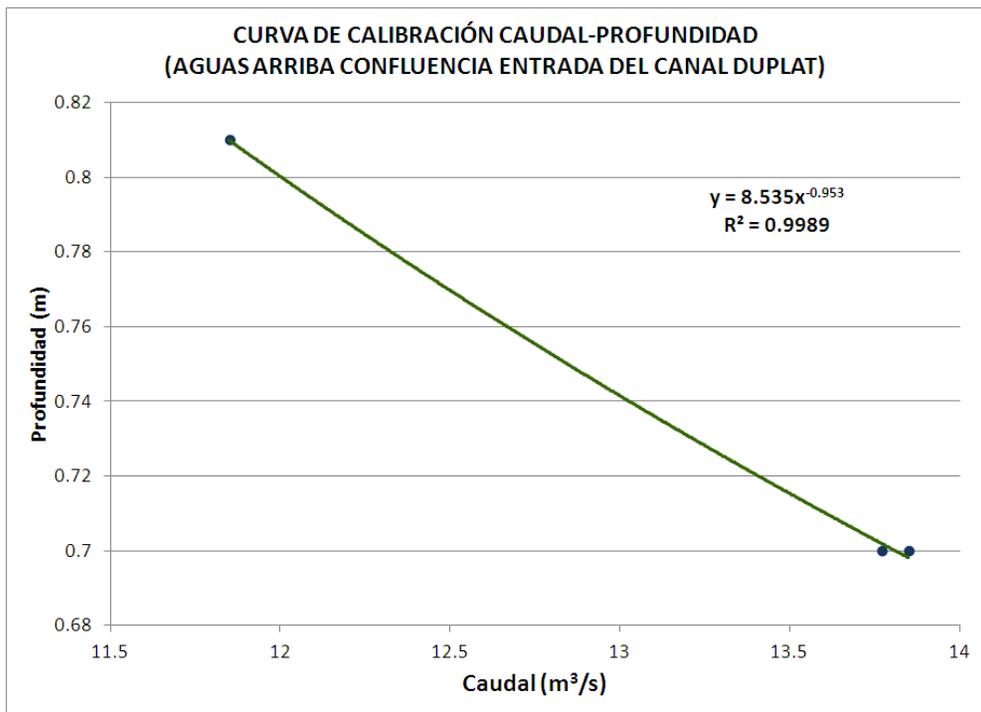
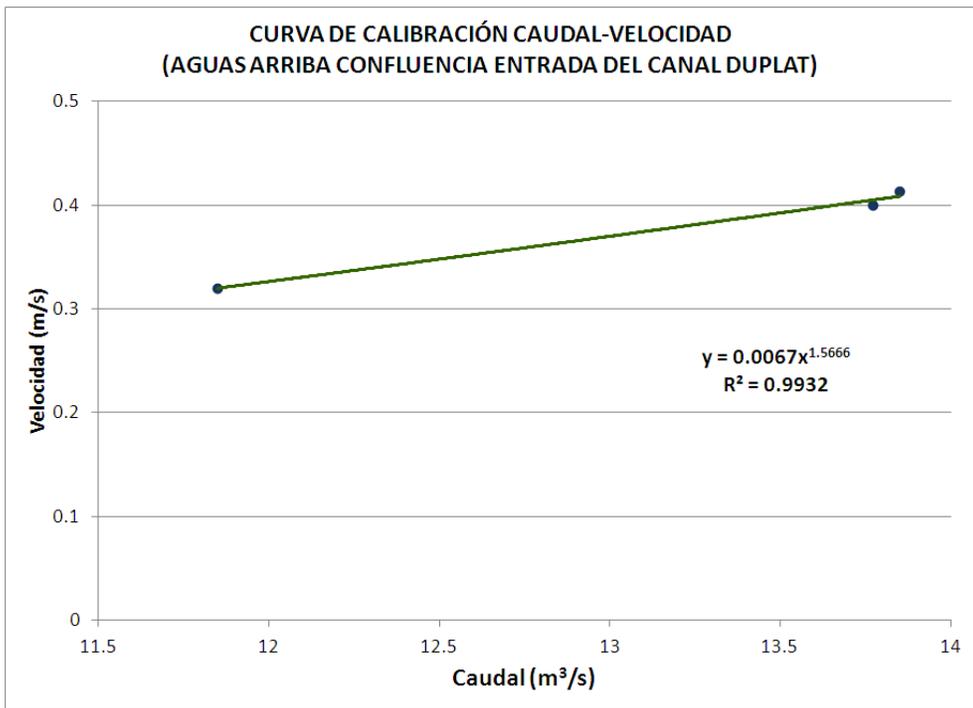
Figura 10. Curvas de calibración

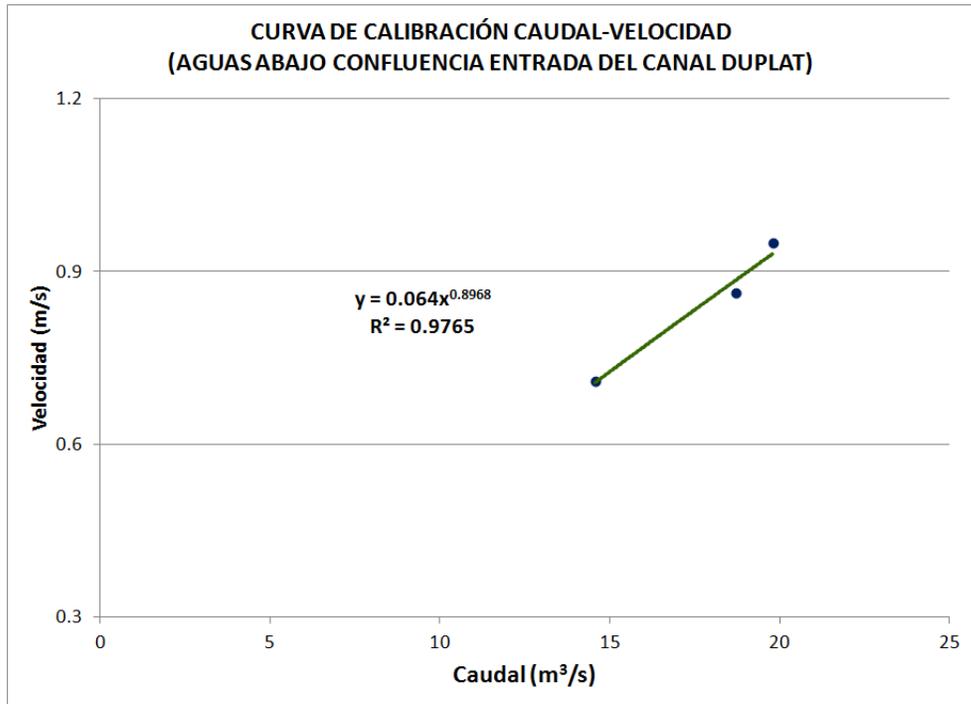
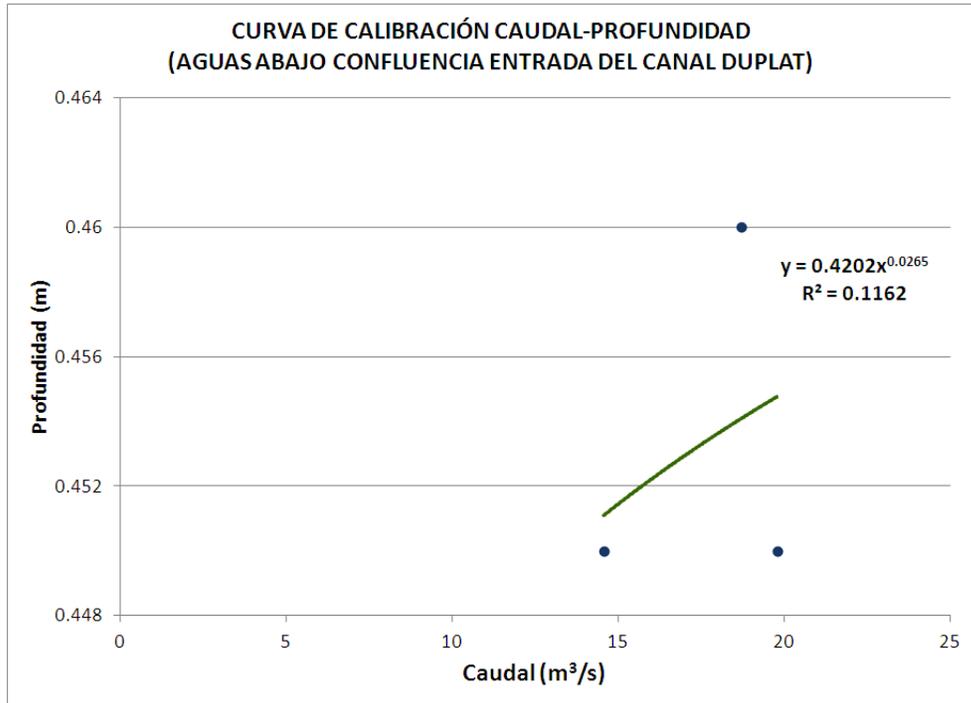












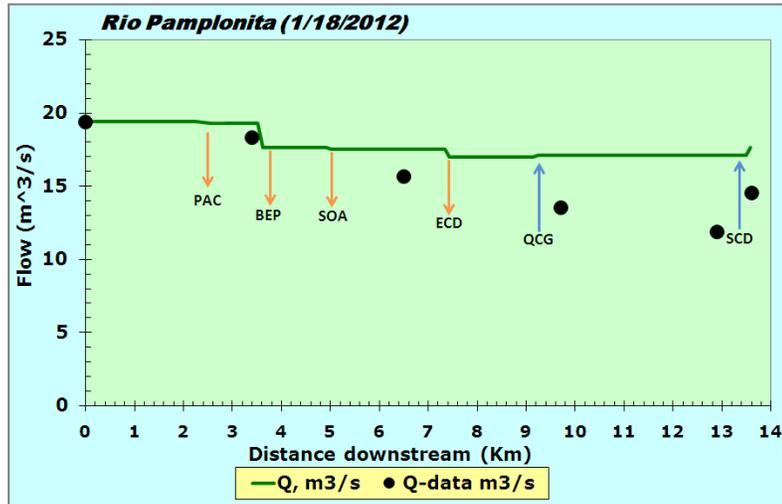
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**Tabla 10. Información hidráulica utilizada en el modelo de calidad del Río Pamplonita**

Punto de Muestreo	Velocidad		R <sup>2</sup>	Profundidad		R <sup>2</sup>
	Coefficiente	Exponente		Coefficiente	Exponente	
Los Vados	0.2689	0.3831	0.3656	0.0424	0.7113	0.7005
Aguas arriba bocatoma El Pórtico	0.00001	3.9389	0.9421	431.2	-2.2750	0.9267
Aguas arriba canal Duplat	28.178	-1.51	0.7054	31.564	-1.4060	0.2406
Aguas abajo quebrada La Cienaga	0.0748	0.7201	0.3228	0.1173	0.3947	0.9553
Aguas arriba confluencia canal Duplat	28.178	-1.51	0.9932	31.564	-1.406	0.9989
Aguas abajo confluencia canal Duplat	0.064	0.8968	0.9765	0.4202	0.0265	0.1162

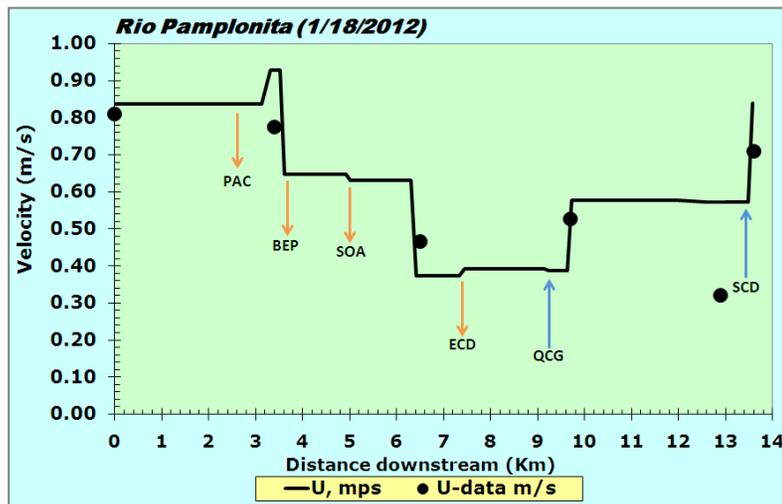
Con los coeficientes calculados se corrió el modelo hidráulico en Fortran (programa que realiza los cálculos de QUAL2KW). Los resultados indicaron que no hay buen ajuste entre los valores de caudal medidos en campo y los estimados por el modelo, pero sí para las variables de profundidad y velocidad. Con respecto al caudal, los valores observados fueron menores a los simulados en Qual2kw, posiblemente debido a que no se tuvieron en cuenta todas las extracciones de agua puntuales y difusas, que terminaron produciendo disminuciones de caudal no representadas con las captaciones que se incluyeron en el modelo (Gráfica 16). En cuanto a la velocidad, la mayoría de sectores del Río Pamplonita ajustaron sus valores de velocidad con lo esperado por el software (Gráfica 17). Finalmente, los niveles de profundidad estimados por el modelo fueron en 4 de las 6 secciones menores a los medidos en campo, con diferencias entre 2 (Los Vados) y 24 cm (Aguas Abajo Confluencia Canal Duplat), que dadas las características del cuerpo de agua y la complejidad de las labores de medición no resultaron elevadas (Gráfica 18).

**Gráfica 16. Curva de ajuste caudal.** Pavimentos Construcción (PAC), Bocatoma El Pórtico (BEP), Sobrantes Acueducto (SOA), Entrada Canal Duplat (ECD), Quebrada Ciénaga (QCG), Salida Canal Duplat (SCD).



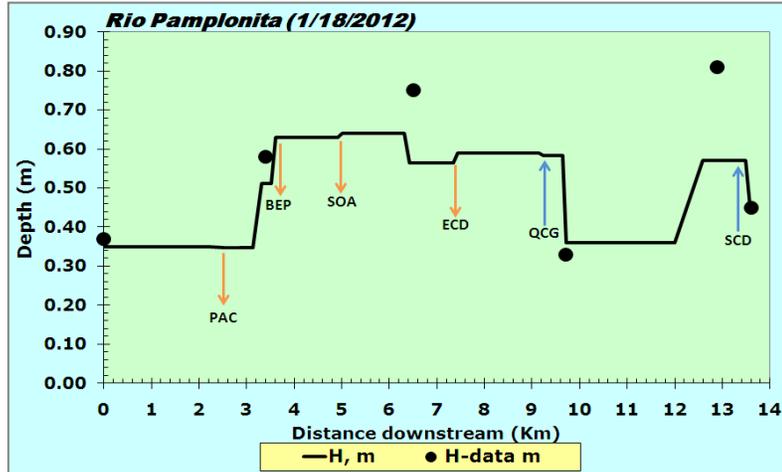
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**Gráfica 17. Curva de ajuste velocidad.** Pavimentos Construcción (PAC), Bocatoma El Pórtico (BEP), Sobrantes Acueducto (SOA), Entrada Canal Duplat (ECD), Quebrada Ciénaga (QCG), Salida Canal Duplat (SCD).



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**Gráfica 18. Curva de ajuste profundidad.** Pavimentos Construcción (PAC), Bocatoma El Pórtico (BEP), Sobrantes Acueducto (SOA), Entrada Canal Duplat (ECD), Quebrada Ciénaga (QCG), Salida Canal Duplat (SCD).



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**4.2.2 Calibración de las tasas de reacción de los determinantes.** En las Tabla 11,

Tabla 12 y Tabla 14 se presenta la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las campañas de muestreo del 18, 19 y 20 de febrero de 2012. En cuanto a la información hidrobiológica, el 18 de Febrero se caracterizó el perifiton y el fitoplancton del Río Pamplonita, teniendo en cuenta estimaciones cualitativas de riqueza y abundancia de especies y morfoespecies, así como también, análisis de los pigmentos fotosintéticos de tales grupos (ver el informe como Anexo). Dada la homogeneidad de los registros, se seleccionó la información de la campaña del 18 de Febrero de 2012 para construir el modelo de calidad del agua del Río Pamplonita.

Tabla 11. Resultados de caracterización fisicoquímica en Río Pamplonita y fuentes puntuales.

AGUAS SUPERFICIALES RÍO PAMPLONITA	IDENTIFIC. MUESTRA	LOS VADOS (Km 0 + 00)			AGUAS ARRIBA BOCATOMA EL PORTICO (Km 3 + 300)					AGUAS ARRIBA CANAL DUPLAT (Km 6 + 600)			DECRETO 1594/84 Art. 38 Destinción del Recurso Humano y domestico
		18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	20-ene-12	20-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	
SUBMISSION 100116578	FECHA DE MUESTREO	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	20-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	
Componente	Unidad	200710046	200710199	200710663	200710047	200710200	200710686	200710687	200710686/87	200710048	200710201	200710688	
<b>ANÁLISIS IN SITU</b>													
pH / T (GR C) EN AGUAS	Unl. pH	8.30/22.2	8.26/20.8	8.21/20.6	8.36/23.2	8.18/21.5	8.25/21.1	8.26/21.1	8.25/21.1	8.34/24.9	8.34/23.6	8.27/21.7	6.0 -9.0
OXIGENO DISUELTO	mg O2/L	6.8	7.3	7.6	6.9	7.5	7.6	7.7	7.65	7.4	7.5	7.7	NR
SATURACION DE O. DISUELTO (ODS)	mg O2/L	8.63	8.88	8.91	8.46	8.75	8.82	8.82	8.82342752	8.19	8.40	8.72	NR
SATURACION DE O. DISUELTO CALC (ODSc)	mg O2/L	7.86	8.08	8.11	7.70	7.97	8.03	8.03	8.029319044	7.45	7.64	7.93	NR
% SATURACION DE OXIGENO	mg O2/L	87	90	94	90	94	95	96	95.27582549	99	98	97	NR
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	22.2	20.8	20.6	23.2	21.5	21.1	21.1	21.1	24.9	23.6	21.7	NR
CAUDAL	m³/seg	19.4	20.43	18.22	18.29	17.82	17.84	17.84	17.84	15.67	15.21	16.64	NR
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>													
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>													
CONDUCTIVIDAD / T	µS/cm	208/25.0	208/25.0	203/25.0	210/25.0	212/25.0	206/25.0	205/25.0	205/25.0	211/25.0	211/25.0	219/25.0	NR
ALCALINIDAD	mg CaCO3/L	82.8	77	76.4	80	79.6	74.7	74.3	74.5	78.8	78.4	76.8	NR
CARBONO ORGANICO TOTAL (COT)	mg COT/L	4.16	3.2	3.56	4.65	3.34	4.59	4.75	4.67	2.89	3.02	4.46	NR
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO5)	mg O2/L	3.06	<2.00	4.08	2.67	<2.00	4.42	3.62	4.02	2.43	<2.00	5.42	250
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg O2/L	16.4	16.7	<15.0	16.4	<15.0	<15.0	<15.0	<15.0	16.3	15.1	<15.0	NR
FOSFORO DISUELTO	mg P/L	0.032	0.036	0.045	0.028	0.034	0.033	0.033	0.033	0.027	0.033	0.029	NR
FOSFORO TOTAL	mg P/L	0.059	0.041	0.045	0.091	0.075	0.049	0.079	0.064	0.034	0.046	0.07	NR
NITRATOS	mg N/L	0.090	0.106	0.113	0.075	0.079	0.115	0.115	0.115	0.081	0.090	0.129	10
NITRITOS	mg N/L	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	1
NITROGENO AMONIACAL	mg N/L	0.04	0.05	0.08	0.03	0.04	0.08	0.08	0.08	0.03	0.04	0.08	1
NITROGENO KJELDAHL	mg N/L	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	NR
NITROGENO ORGANICO	mg N/L	<0.96	<0.95	<0.92	<0.97	<0.96	<0.92	<0.92	<0.92	<0.97	<0.96	<0.92	NR
NITROGENO TOTAL	mg/L	1.15	1.18	1.21	1.13	1.14	1.21	1.21	1.21	1.13	1.16	1.23	NR
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	0.5	0.4	0.2	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	NR
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	111	111	48.8	83.7	83	81.8	79.3	80.55	104	103	191	NR
GRASAS Y ACEITES **	mg/L	0.62	<0.20	<0.20	0.62	<0.20	0.45	0.29	0.37	0.63	<0.20	0.21	No se acepta película visible
HIDROCARBUROS TOTALES **	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	NR
<b>ANÁLISIS DE METALES</b>													
BARIO	microg/L	33	31.9	25.2	31	32.4	27.8	29.1	28.45	36.8	33.4	48.1	1000
CROMO	microg/L	2.34	2.01	1.26	1.7	1.98	1.57	1.63	1.6	2.79	2.17	4.58	
CROMO +6	microg Cr+6/L	2.34	1.7	2.79	2.82	1.87	2.92	2.66	1.23	1.06	8.4	0.891	50 Cr (+06)
PLOMO	microg/L	2.17	1.8	1.3	1.93	2.24	3.66	2.07	2.865	2.64	2.47	3.71	50
NIQUEL	microg/L	3.85	4.18	2.89	4.01	4.4	3.57	3.93	3.75	5.39	5.01	6.92	50
VANADIO	microg/L	4.95	5	3.08	3.69	4.54	4.04	4.21	4.125	4.95	5.13	11.2	50
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</b>													
RECuento COLIFORMES TOTALES	C.T./100 mL	1.10E+05	4.70E+04	1.00E+05	1.30E+05	6.30E+04	1.10E+05	1.50E+05	1.30E+05	1.00E+05	9.00E+04	2.00E+05	2.00E+04
RECuento ESCHERICHIA COLI	E. COLI/100 mL	6.70E+03	1.20E+03	2.00E+03	3.30E+03	9.80E+02	6.70E+03	6.70E+03	6.70E+03	1.90E+03	3.30E+03	1.30E+04	2.00E+03
RECuento DE MESOFILOS TOTALES	M T/100 mL	1.40E+06	1.00E+05	1.30E+06	1.60E+05	2.20E+05	1.60E+05	2.60E+05	2.10E+05	1.50E+05	3.70E+05	2.20E+05	NR
<b>ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO</b>													
FITOPLANCTON	mg A/m2	0.17	NA	NA	0.47	NA	NA	NA	NA	1.19	NA	NA	NR
	mg A/m3	10.21	NA	NA	10.23	NA	NA	NA	NA	4.86	NA	NA	NR

NS: No Solicitado

NR: No Reporta

NA: No Analizado

(\*) Aun cuando la norma reporta las concentraciones en mg/L, se hace la conversión a µg/L debido a las bajas concentraciones de las muestras analizadas

Tabla 12. Resultados de caracterización fisicoquímica en Río Pamplonita y fuentes puntuales.

AGUAS SUPERFICIALES RÍO PAMPLONITA	IDENTIFIC. MUESTRA	AGUAS ABAJO QUEBRADA LA CIENAGA (Km 9+800)			AGUAS ARRIBA CONFLUENCIA ENTRADA DEL CANAL DUPLAT (Km 12 + 800)			AGUAS ABAJO CONFLUENCIA CANAL DUPLAT (Km 13 + 600)			DECRETO 1594/84 Art. 38 Destinación del Recurso Humano y domestico
		18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	
SUBMISSION 100116578	FECHA DE MUESTREO	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	
Componente	Unidad	<b>200710049</b>	<b>200710202</b>	<b>200710689</b>	<b>200710050</b>	<b>200710203</b>	<b>200710690</b>	<b>200710051</b>	<b>200710204</b>	<b>200710691</b>	
<b>ANÁLISIS IN SITU</b>											
pH / T (GR C) EN AGUAS	Uni. pH	8.38/25.1	8.40/25.1	8.25/23.5	8.31/24.3	8.38/25.1	8.20/24.9	8.20/23.9	8.19/25.3	8.18/25.2	6.0 -9.0
OXIGENO DISUELTTO	mg O2/L	6.6	6.4	7.4	7.4	7.3	7.2	6.9	7	6.8	NR
SATURACION DE O. DISUELTTO (ODS)	mg O2/L	8.16	8.16	8.42	8.29	8.16	8.19	8.35	8.13	8.14	NR
SATURACION DE O. DISUELTTO CALC. (ODSc)	mg O2/L	7.43	7.43	7.66	7.54	7.43	7.45	7.60	7.40	7.41	NR
% SATURACION DE OXIGENO	mg O2/L	89	86	97	98	98	97	91	95	92	NR
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	25.1	25.1	23.5	24.3	25.1	24.9	23.9	25.3	25.2	NR
CAUDAL	m <sup>3</sup> /seg	13.52	15.87	14.02	11.85	13.77	13.85	14.56	18.72	19.79	NR
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>											
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>											
CONDUCTIVIDAD / T	µS/cm	226/25.0	223/25.0	250/25.0	224/25.0	226/25.0	259/25.0	244/25.0	241/25.0	264/25.0	NR
ALCALINIDAD	mg CaCO3/L	83.4	81.6	80.4	81.8	80.8	83.2	85.2	84.6	85	NR
CARBONO ORGANICO TOTAL (COT)	mg COT/L	<2.00	4.07	7.21	<2.00	4.05	4.11	4.45	5.19	4.2	NR
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO5)	mg O2/L	2.03	<2.00	5.93	<2.00	<2.00	5.56	3.34	5.23	10.1	250
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg O2/L	<15.0	22.8	<15.0	15.9	16.2	15.8	17.5	27.6	16.1	NR
FOSFORO DISUELTTO	mg P/L	0.032	0.039	0.031	0.031	0.037	0.031	0.09	0.097	0.086	NR
FOSFORO TOTAL	mg P/L	0.033	0.039	0.061	0.032	0.058	0.034	0.17	0.1	0.11	NR
NITRATOS	mg N/L	0.075	0.111	0.169	0.075	0.133	0.156	0.217	0.266	0.285	10
NITRITOS	mg N/L	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	1
NITROGENO AMONIAICAL	mg N/L	0.04	0.06	0.09	0.04	0.04	0.07	0.35	0.39	0.41	1
NITROGENO KJELDAHL	mg N/L	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	1.02	1.27	NR
NITROGENO ORGANICO	mg N/L	<0.96	<0.94	<0.91	<0.96	<0.96	<0.93	<0.65	<0.64	<0.86	NR
NITROGENO TOTAL	mg/L	1.13	1.20	1.28	1.13	1.20	1.24	1.59	1.69	1.98	NR
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	0.5	0.5	0.7	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	NR
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	101	111	446	90.8	119	246	80.9	91.3	243	NR
GRASAS Y ACEITES **	mg/L	0.54	<0.20	<0.20	0.56	0.96	<0.20	0.6	<0.20	<0.20	No se acepta película visible
HIDROCARBUROS TOTALES**	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	NR
<b>ANÁLISIS DE METALES</b>											
BARIO	microg/L	39.3	40.8	83.4	34.4	36.4	69.6	35.8	35.2	59.9	1000
CROMO	microg/L	2.82	2.24	8.38	1.87	2.38	5.65	2.92	2.07	3.46	
CROMO +6	microg Cr+6/L	2.17	2.24	2.38	2.07	0.854	1.32	0.73	3.8	0.634	50 Cr (+06)
PLOMO	microg/L	2.41	2.49	5.34	2.16	2.95	4.92	2.08	2.8	3.29	50
NIQUEL	microg/L	5.45	5.04	13.6	4.21	5.14	10.4	5.44	5.2	8.29	50
VANADIO	microg/L	5.96	6.28	20.3	3.45	6.06	14.8	5.88	4.3	9.31	50
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</b>											
RECuento COLIFORMES TOTALES	C.T./100 mL	9.30E+04	5.70E+04	3.00E+05	6.30E+04	7.70E+04	3.00E+05	8.00E+05	7.80E+05	5.90E+05	2.00E+04
RECuento ESCHERICHIA COLI	E. COLI/100 mL	6.70E+03	9.00E+02	2.30E+04	1.80E+03	6.70E+03	2.00E+04	1.20E+05	2.10E+05	7.00E+04	2.00E+03
RECuento DE MESOFILOS TOTALES	M T/100 mL	1.80E+05	1.10E+05	7.70E+05	1.70E+05	1.60E+05	5.80E+05	1.10E+06	1.30E+06	2.30E+06	NR
<b>ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO</b>											
FITOPLANCTON	mg A/m2	0.56	NA	NA	0.32	NA	NA	0.88	NA	NA	NR
	mg A/m3	1.56	NA	NA	8.3	NA	NA	3.57	NA	NA	NR

**NS:** No Solicitado **NR:** No Reporta  
 (\*) Aun cuando la norma reporta las concentraciones en mg/L, se hace la conversión a µg/L debido a las bajas concentraciones de las muestras analizadas

Tabla 13. Resultados de caracterización fisicoquímica en Río Pamplonita y fuentes puntuales.

AGUAS SUPERFICIALES RÍO PAMPLONITA	IDENTIFIC. MUESTRA	ENTRADA CANAL DUPLAT (Km 7 + 400)			QUEBRADA LA CIENAGA (Km 9 + 200)			SALIDA CANAL DUPLAT (Km 13 + 300)			DECRETO 1594/84 Art. 38 Destinación del Recurso Humano y domestico
		18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	18-ene-12	19-ene-12	20-ene-12	
SUBMISSION 100116578	FECHA DE MUESTREO	200710052	200710205	200710692	200710057	200710209	200710696	200710056	200710208	200710695	
Componente	Unidad										
<b>ANÁLISIS IN SITU</b>											
pH / T (GR C) EN AGUAS	Uni. pH	8.33/22.4	8.32/20.9	8.24/21.6	8.18/28.4	8.28/26.7	7.94/24.4	7.48/25.8	7.68/25.1	7.65/23.4	6.0 -9.0
OXIGENO DISUELTTO	mg O2/L	7.4	7.8	8.1	6.4	7	6.6	1.7	1.1	1.4	NR
SATURACION DE O. DISUELTTO (ODS)	mg O2/L	8.60	8.86	8.74	7.67	7.92	8.27	8.05	8.16	8.43	NR
SATURACION DE O. DISUELTTO CALC. (ODSc)	mg O2/L	7.82	8.06	7.95	6.98	7.20	7.53	7.33	7.43	7.67	NR
% SATURACION DE OXIGENO	mg O2/L	95	97	102	92	97	88	23	15	18	NR
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	22.4	20.9	21.6	28.4	26.7	24.4	25.8	25.1	23.4	NR
CAUDAL	m <sup>3</sup> /seg	0.537	0.485	0.523	0.143	0.107	0.351	0.502	0.582	0.758	NR
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>											
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>											
CONDUCTIVIDAD / T	µS/cm	216/25.0	215/25.0	213/25.0	741/25.0	717/25.0	583/25.0	554/25.0	552/25.0	467/25.0	NR
ALCALINIDAD	mg CaCO3/L	80.6	78.6	79.6	162	153	133	166	173	152	NR
CARBONO ORGANICO TOTAL (COT)	mg COT/L	<2.00	3.55	4.59	<2.00	4.07	7.21	38	48.8	33.3	NR
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO5)	mg O2/L	<2.00	<2.00	4.68	7.8	5.36	14.7	61.2	89.7	54.1	250
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg O2/L	17.7	<15.0	<15.0	32.1	79.4	32.6	182	190	145	NR
FOSFORO DISUELTTO	mg P/L	0.033	0.041	0.037	0.1	0.11	0.22	1.36	1.37	1	NR
FOSFORO TOTAL	mg P/L	0.035	0.053	0.036	0.42	0.38	0.23	1.93	1.88	1.79	NR
NITRATOS	mg N/L	0.106	0.124	0.126	1.152	0.686	0.903	0.034	<0.02	0.163	10
NITRITOS	mg N/L	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	0.31	0.03	0.69	1
NITROGENO AMONIAICAL	mg N/L	0.03	0.06	0.04	1.35	0.96	1.05	6.17	11.78	7.93	1
NITROGENO KJELDAHL	mg N/L	<1.00	<1.00	<1.00	2.92	2.24	3.40	13.10	16.10	13.70	NR
NITROGENO ORGANICO	mg N/L	<0.97	<0.94	<0.96	1.57	1.28	2.35	6.93	4.32	5.77	NR
NITROGENO TOTAL	mg/L	1.16	1.20	1.19	5.44	3.91	5.38	19.61	27.93	22.49	NR
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	0.3	0.2	1.2	0.1	0.1	0.7	1	1.5	0.8	NR
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	64.1	35.9	46.9	12.5	10.5	84.9	77.4	138	115	NR
GRASAS Y ACEITES **	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.84	0.36	0.73	0.49	2.15	1.79	No se acepta película visible
HIDROCARBUROS TOTALES **	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	NR
<b>ANÁLISIS DE METALES</b>											
BARIO	microg/L	33	26	25.5	54.2	44.8	60.8	57.1	64.9	57.1	1000
CROMO	microg/L	2.66	0.854	0.96	1.14	0.634	2.59	0.891	3.8	2.77	
CROMO +6	microg Cr+6/L	3.38	1.26	1.57	1.14	2.01	1.98	2.59	11.1		50 Cr (+06)
PLOMO	microg/L	1.65	0.951	1.35	2.83	0.329	2.56	0.451	6.14	3.48	50
NIQUEL	microg/L	4.4	2.78	2.72	3.26	3.85	5.93	3.62	6.24	5.07	50
VANADIO	microg/L	3.3	2.33	2.86	2.75	1.44	7.47	1.9	5.66	5.69	50
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</b>											
RECUEUNTO COLIFORMES TOTALES	C.T./100 mL	1.40E+05	4.70E+04	5.20E+05	3.80E+05	1.00E+05	1.50E+06	2.40E+07	1.30E+07	8.70E+06	2.00E+04
RECUEUNTO ESCHERICHIA COLI	E. COLI/100 mL	6.60E+03	1.40E+03	7.20E+02	9.30E+04	1.60E+04	7.60E+05	9.00E+06	3.10E+06	2.50E+06	2.00E+03
RECUEUNTO DE MESOFILOS TOTALES	M T/100 mL	1.60E+05	7.30E+04	3.40E+05	9.90E+05	4.80E+05	1.50E+06	1.20E+08	9.50E+07	8.90E+07	NR
<b>ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO</b>											
FITOPLANCTON	mg A/m <sup>2</sup>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NR
	mg A/m <sup>3</sup>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NR

NS: No Solicitado

NR: No Reporta

(\*) Aun cuando la norma reporta las concentraciones en mg/L, se hace la conversión a µg/L debido a las bajas concentraciones de las muestras analizadas

Se procedió a calibrar las tasas de reacción de 10 determinantes, ellos fueron: Sólidos suspendidos Inorgánicos,  $\text{DBO}_5$ , Nitrógeno orgánico (No), Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3$ ), Fósforo Orgánico (Po), Fósforo Inorgánico, Fitoplancton, Patógenos y el constituyente genérico. Cabe aclarar dos aspectos con respecto a los patógenos y al constituyente genérico; QUAL2KW permite modelar un patógeno, escogiéndose los Coliformes Totales dado que sus concentraciones son mayores que las de Coliformes Fecales y por ende, representaban una condición más crítica. Este programa también da la opción de modelar cualquier componente que el usuario considere crítico y que no esté incluido en la lista de determinantes que normalmente el programa modela, corresponde al constituyente genérico, para este caso se modeló la influencia de Grasas y Aceites en la calidad del Río Pamplonita, debido a los antiguos derrames de hidrocarburos en el oleoducto caño Limón – Coveñas (2007 y 2011), que de manera directa e indirecta han afectado el tramo de estudio. Las grasas y aceites son compuestos orgánicos de naturaleza animal, vegetal y mineral; entre este último grupo se encuentran los hidrocarburos que son el objeto de este estudio.

De forma adicional se incluyeron en la modelación de calidad a los siguientes determinantes: temperatura, conductividad, oxígeno disuelto,  $\text{DBO}_{\text{lenta}}$ , alcalinidad, pH y sólidos suspendidos totales.

Los parámetros utilizados para controlar el algoritmo genético de la calibración automática se muestran en la Tabla 13. Para esta optimización se tuvieron en cuenta 50 generaciones, cada una de éstas con 20 corridas, es decir, se realizaron 1000 simulaciones. Esta optimización fue bastante robusta, permitiendo aumentar la probabilidad de encontrar el conjunto de tasas que mejor ajusten a los datos observados y los simulados. Cabe tener en cuenta que el ajuste de los

datos, evaluado a través del Fitness, incluyó 15 de los 17 determinantes estudiados.

**Tabla 13. Parámetros para controlar el algoritmo genético de la calibración automática de QUAL2KW**

<i>Auto-calibration genetic algorithm control:</i>		
Random number seed	123456	seed
Model runs in a population (<=512)	20	np
Generations in the evolution	50	ngen
Digits to encode genotype (<=6)	5	nd
Crossover mode (1, 2, 3, 4, 5, 6, or 7)	3	icross
Crossover probability (0-1):	0.85	pcross
Mutation mode (1, 2, 3, 4, 5, or 6)	2	imut
Initial mutation rate (0-1):	0.005	pmut
Minimum mutation rate (0-1):	0.0005	pmutm
Maximum mutation rate (0-1):	0.25	pmutm
Relative fitness differential (0-1):	1	fdif
Reproduction plan (1, 2, or 3):	1	irep
Elitism (0 or 1):	1	ielite
Restart from previous evolution (0 or 1):	0	irestart

Los resultados de la calibración se presentan en el Tabla 14. La función objetivo de maximización correspondió al Inverso del Error Cuadrático Promedio, obteniendo así un ajuste alto (11.008) con un Error Cuadrático Medio bajo de 0.09.

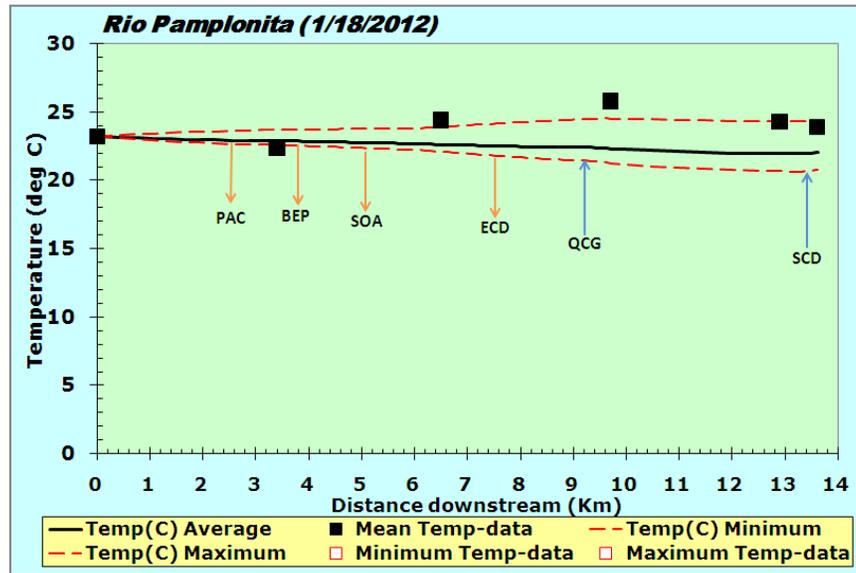
El ajuste entre los datos medidos en campo y los modelados (ver Gráficas 19 a 35) en la mayoría de determinantes fue muy bueno, sin embargo, los errores observados en DBO<sub>lenta</sub>, fósforo inorgánico, nitrógeno total, fósforo total, sólidos suspendidos y fitoplancton son inevitables cuando en el trabajo de campo sólo es posible la colecta de una muestra diaria en cada estación, dada la longitud del tramo, las condiciones topográficas y las pocas facilidades de acceso de los puntos ubicados sobre el Río Pamplonita que dificultan las labores de toma de

muestras. Sin embargo, a pesar de estos errores, los resultados de la modelación presentaron muy buen comportamiento en determinantes tan críticos para la calidad como el oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, DBO<sub>5</sub>, nitrógeno orgánico, fósforo orgánico, alcalinidad, grasas y aceites y patógenos. Por lo anterior, se recomienda continuar con los monitoreos de tal forma que se mejore la calibración del modelo y de allí, éste pueda simular con total confianza la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico como resultado de captaciones o vertimientos puntuales o difusos, usando modelos sofisticados en 2D O 3D.

**Tabla 14. Tasas calibradas**

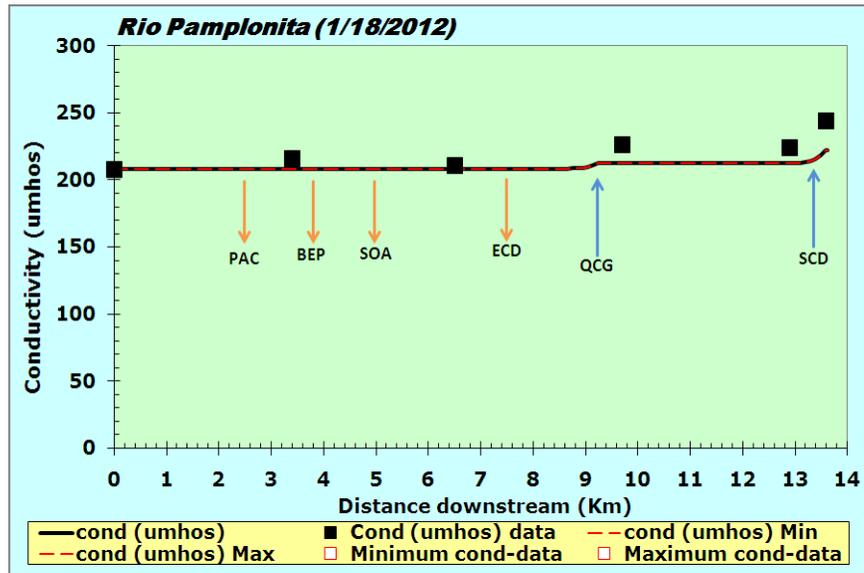
Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
				Auto-cal	Min value	Max value
<i>Inorganic suspended solids:</i>						
Settling velocity	1.46736	m/d	$v_i$	Yes	0	2
<i>Oxygen:</i>						
<i>Fast CBOD:</i>						
Oxidation rate	3.38875	/d	$k_{dc}$	Yes	0	5
<i>Organic N:</i>						
Hydrolysis	0.17655	/d	$k_{hn}$	Yes	0	5
Settling velocity	1.58266	m/d	$v_{on}$	Yes	0	2
<i>Ammonium:</i>						
Nitrification	9.7139	/d	$k_{na}$	Yes	0	10
<i>Nitrate:</i>						
Denitrification	1.45148	/d	$k_{dn}$	Yes	0	2
<i>Organic P:</i>						
Hydrolysis	0.4837	/d	$k_{hp}$	Yes	0	5
Settling velocity	1.09192	m/d	$v_{op}$	Yes	0	2
<i>Inorganic P:</i>						
Settling velocity	1.78432	m/d	$v_{ip}$	Yes	0	2
<i>Phytoplankton:</i>						
Max Growth rate	1.64151	/d	$k_{gp}$	Yes	1.5	3
Death rate	0.83717	/d	$k_{dp}$	Yes	0	1
<i>Pathogens:</i>						
Decay rate	0.8	/d	$k_{dx}$	Yes	0.8	0.8
Settling velocity	1	m/d	$v_x$	Yes	1	1
<i>Generic constituent</i>						
Settling velocity	1	m/d		Yes	1	1
				<b>FITNESS</b>	<b>11.008</b>	

Gráfica 19. Curva de Calibración Temperatura



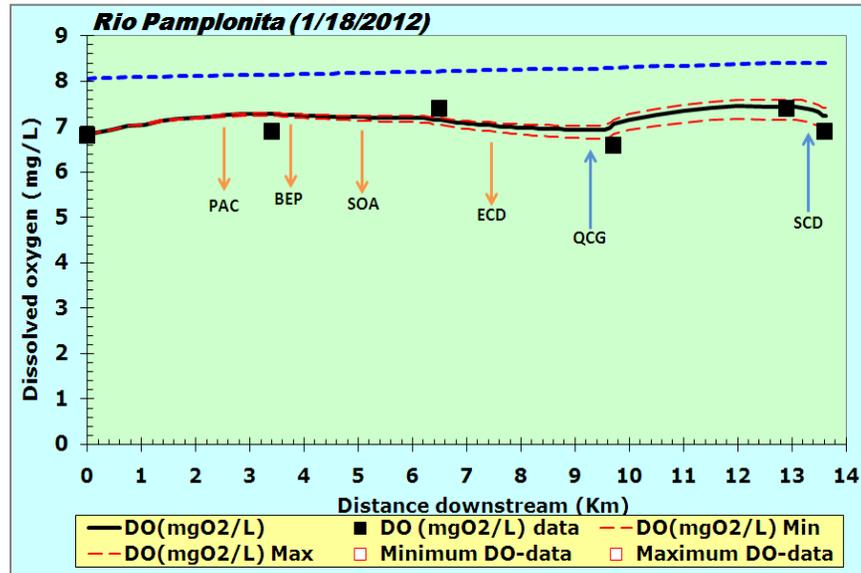
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 20. Curva de Calibración Conductividad



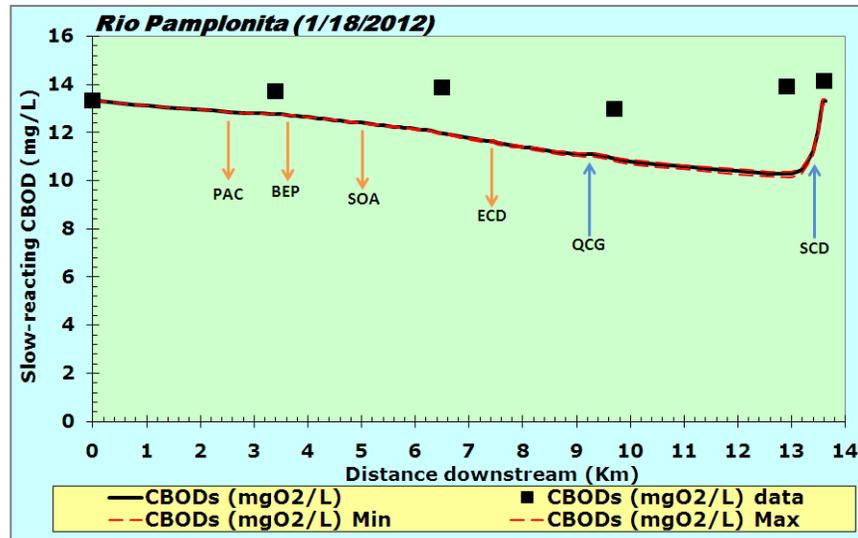
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 21. Curva de Calibración Oxígeno Disuelto



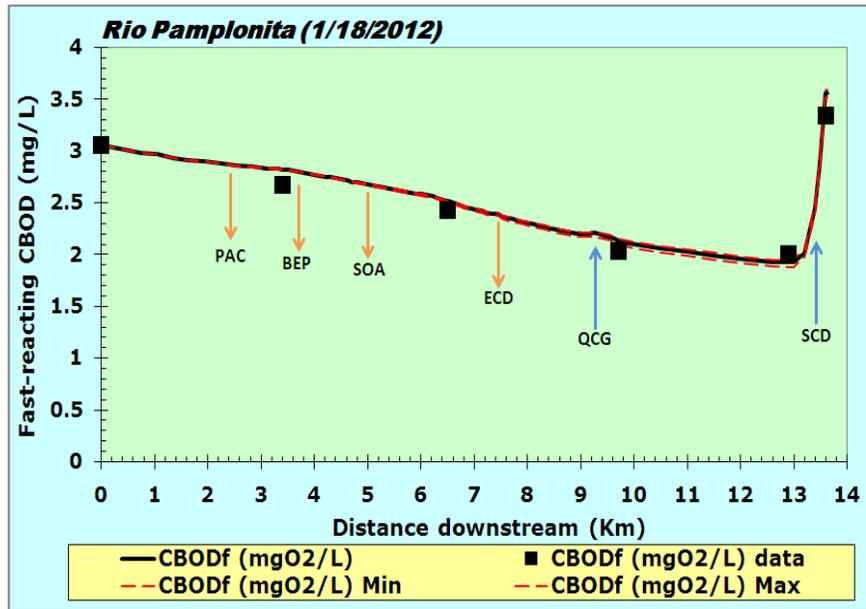
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 22. Curva de Calibración DBO<sub>lenta</sub>



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 23. Curva de Calibración DBO<sub>rápida</sub>

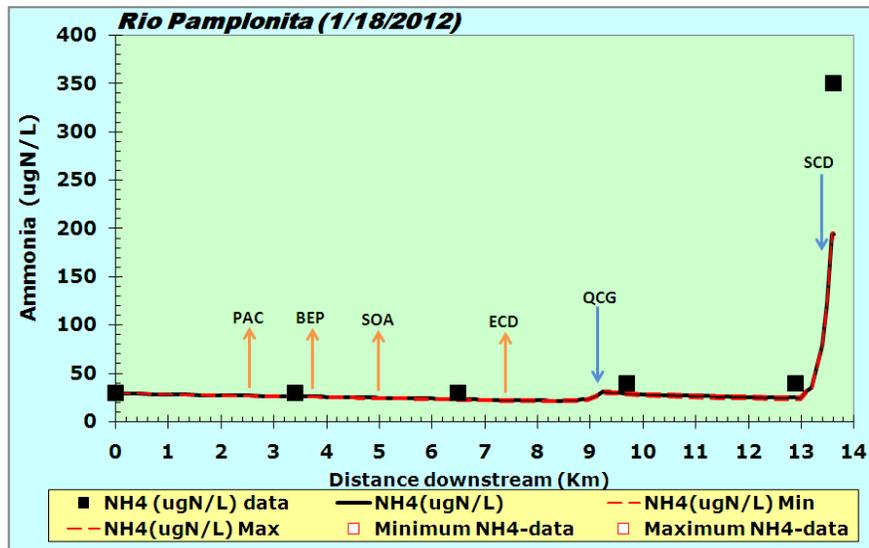


Fuente:

Colombiano de Petróleos

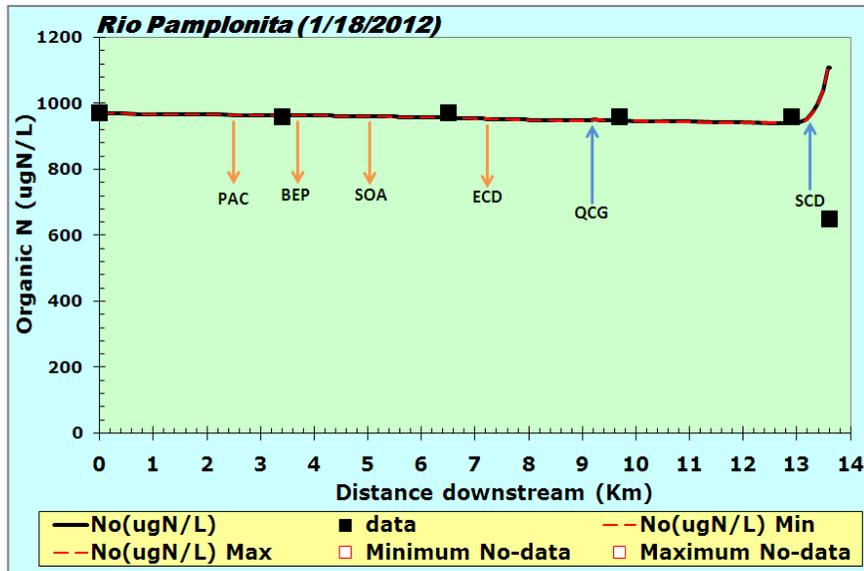
Instituto

Gráfica 24. Curva de Calibración de NH<sub>4</sub>



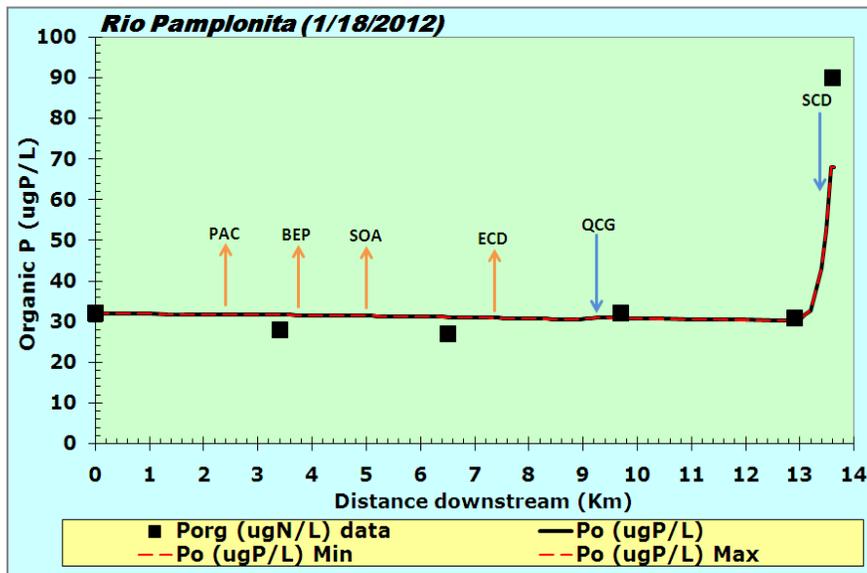
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 25. Curva de Calibración de Nitrógeno Orgánico



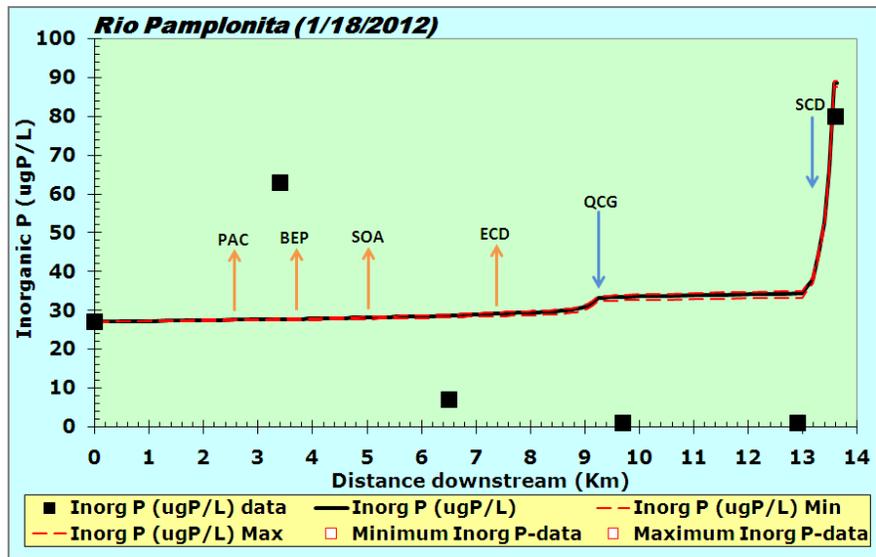
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 26. Curva de Calibración de Fósforo Orgánico



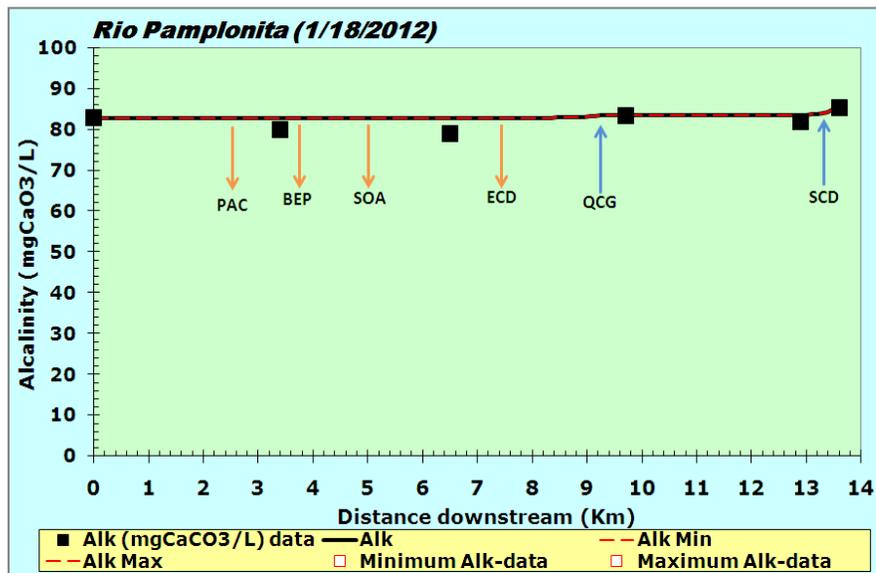
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 27. Curva de Calibración de Fósforo Inorgánico



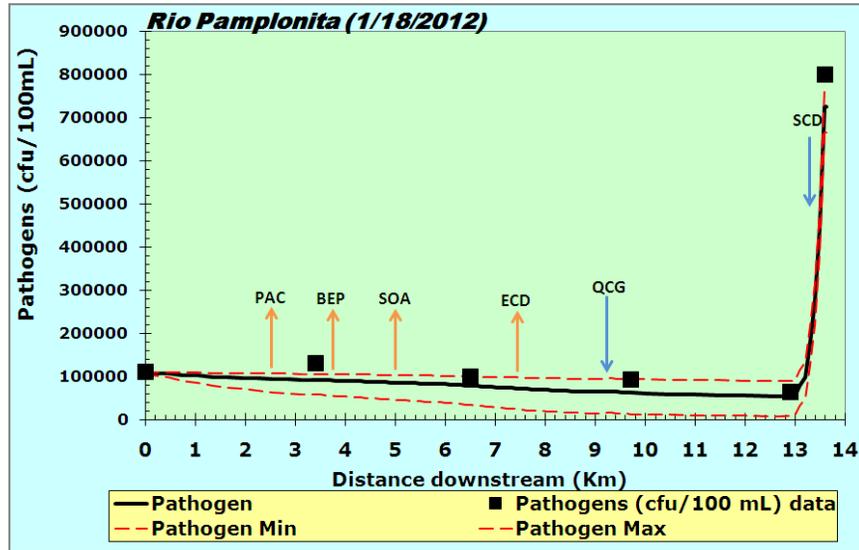
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 28. Curva de Calibración de Alcalinidad



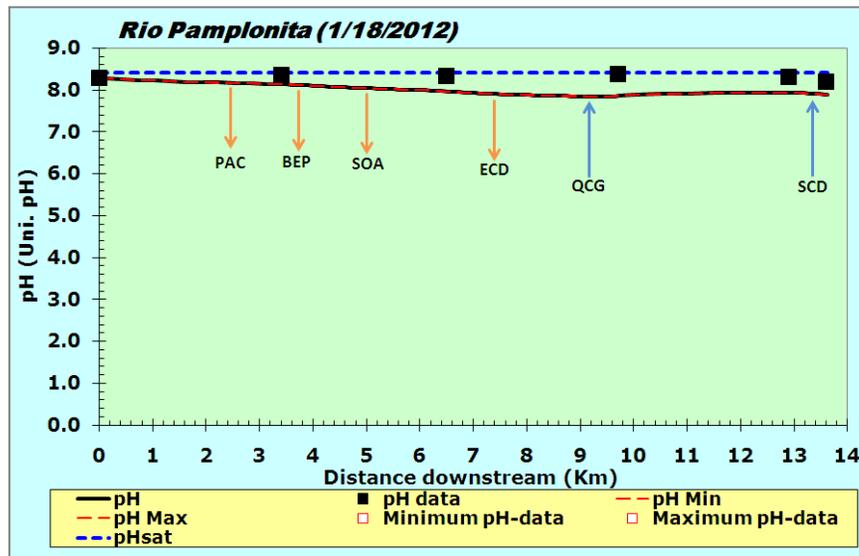
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 29. Curva de Calibración de Patógenos



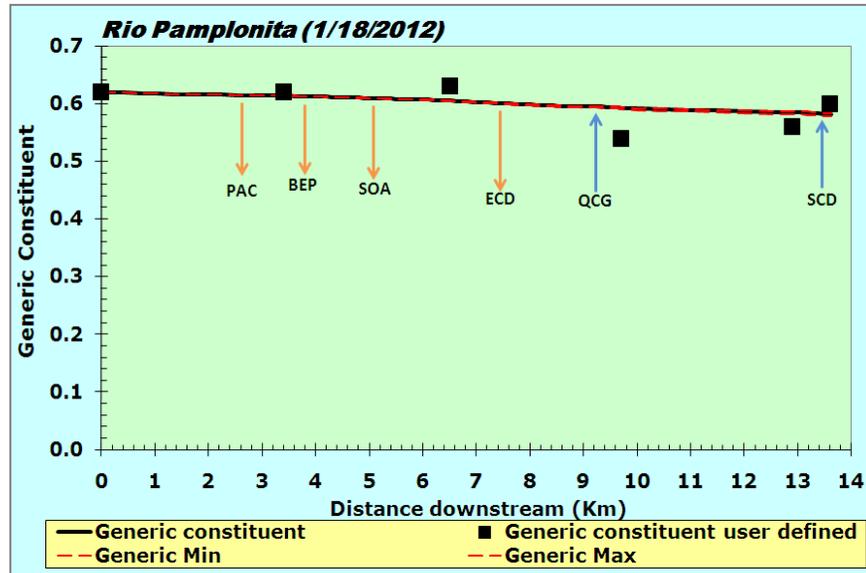
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 30. Curva de Calibración de pH



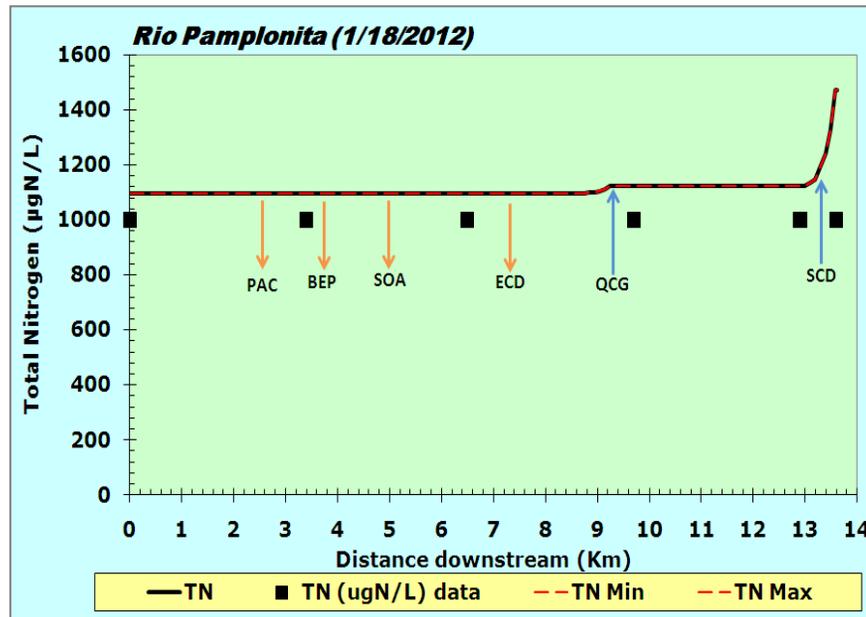
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 31. Curva de Calibración de Grasas y Aceites



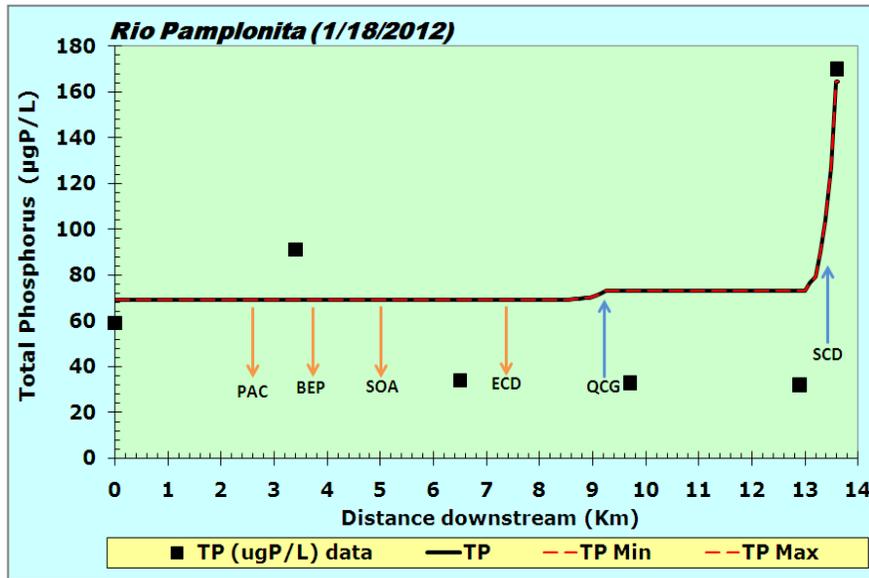
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 32. Curva de Calibración de Nitrógeno Total



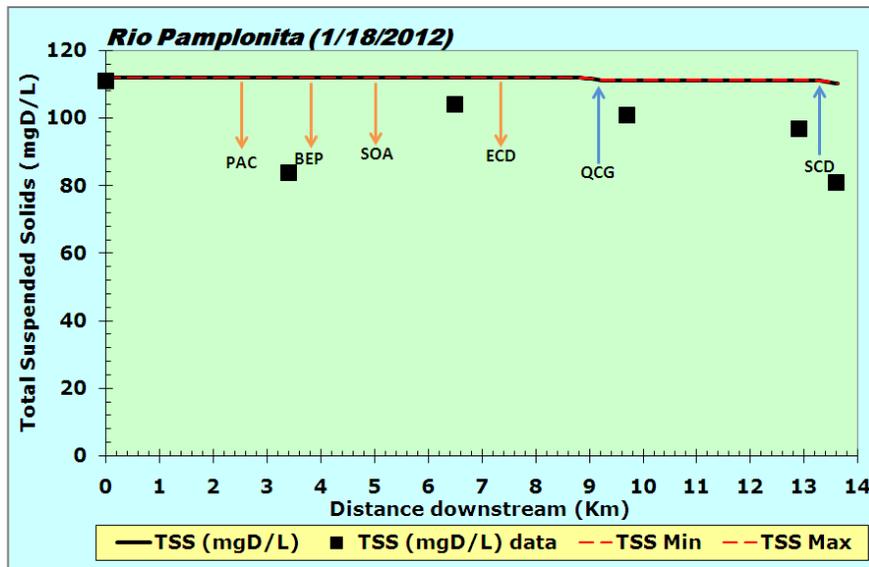
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 33. Curva de Calibración de Fósforo Total



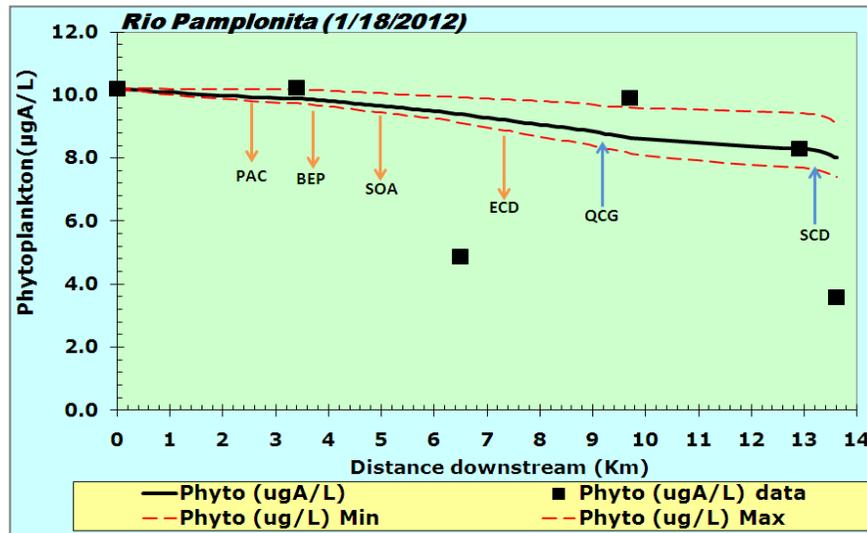
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 34. Curva de Calibración de Sólidos Suspendidos Totales



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 35. Curva de Calibración de Fitoplancton



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

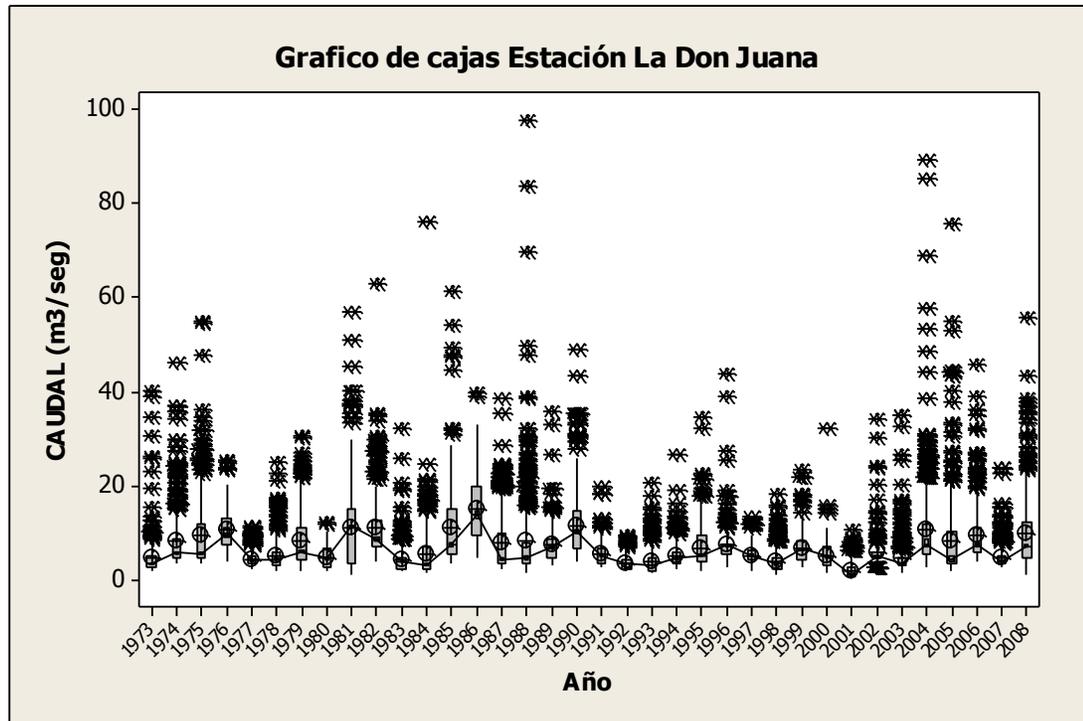
#### 4.2.3 Determinación del caudal mínimo del Río Pamplonita

#### Análisis de homogeneidad, consistencia y calidad de las series hidrológicas

Los resultados de la Figura 11 muestran un excedente de puntos *outliers* en el registro anual analizado, especialmente en los años 1985, 1988, 2004 y 2005 donde se encuentran los datos más alejados de las series anuales representadas en las cajas. Sin embargo, es necesario considerar la influencia de fenómenos macroclimáticos, como la Niña (período húmedo) y el Niño (período seco), sobre la hidrología de la corriente analizada; de allí, al revisar las Tablas de Consenso Internacional de años Niño y Niña (ver ANEXO ) se encontró que en los años 1985 y 2004 no ocurrieron ninguna de las fases ENSO, por ello, se eliminaron de las series de esos años los registros de caudal mayores o iguales a 40 m<sup>3</sup>/s. Por su parte, 1988 fue un año en el que predominó de manera fuerte el fenómeno de La

Niña, por lo cual fue normal que se presentaran aumentos en los caudales, como los registrados durante los días 16 a 20 del mes de noviembre (mes de lluvias).

Figura 11. Evaluación multianual de Caudales de la Estación Don Juana 2.



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

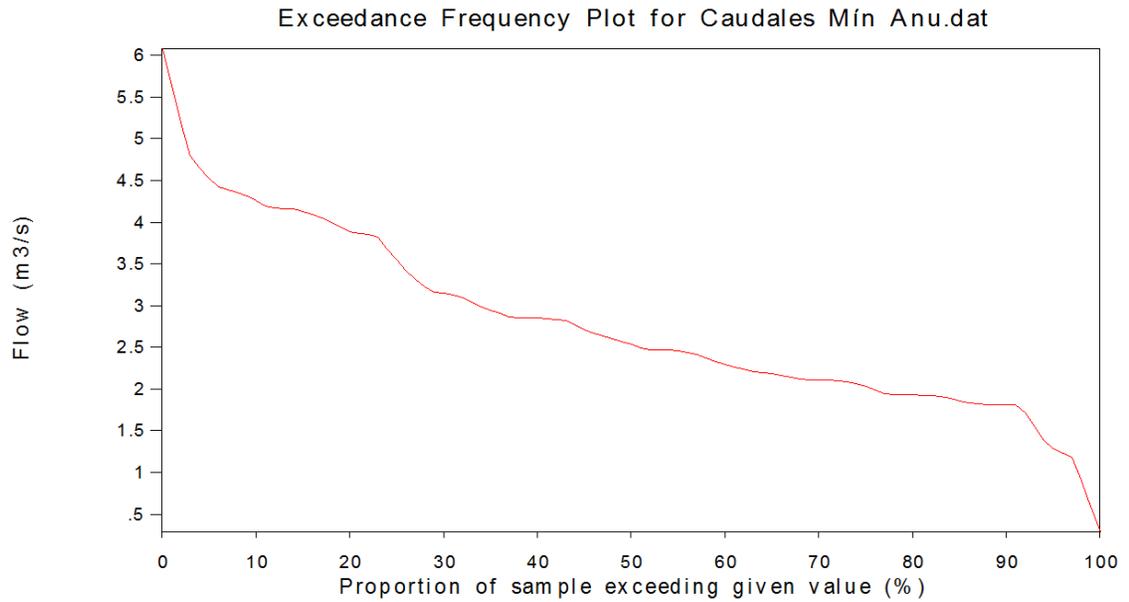
Posterior al análisis de las series hidrológicas, se procedió a calcular el promedio semanal de caudales para cada uno de los años y a identificar el caudal mínimo semanal, siendo el caudal mínimo de toda la serie  $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual fue registrado para el año 2001 (Tabla 15). Con la anterior información, se construyó la serie anual de excedencias utilizando el programa hidrológico Aquapack versión 1.05 (Nathan *et al.*, 2007) (Figura 12). Se encontró que la curva de duración de caudales tiene una forma típica para una cuenca montañosa, dado que presenta una pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva, indicando que los caudales altos ocurren durante periodos cortos, en la curva se observa que el

caudal mínimo probable es el que la corriente puede suministrar durante todo el año con una probabilidad de excedencia próxima al 100 %, que en este caso corresponde a 0.29 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, este caudal no corresponde al caudal ecológico, el caudal mínimo para asegurar el funcionamiento del ecosistema dulceacuícola del Río Pamplonita corresponde a 4.26 m<sup>3</sup>/s, éste corresponde al caudal mínimo con una probabilidad de excedencia del 10%.

**Tabla 15. Serie de Caudales Mínimos Semanales de cada año**

Año	Caudal Mínimo (m <sup>3</sup> /s)
1973	2.21
1974	3.88
1975	4.04
1976	4.34
1977	2.47
1978	2.17
1979	2.59
1980	1.94
1981	1.33
1982	4.81
1983	2.11
1984	1.81
1985	4.16
1986	6.08
1987	2.85
1988	2.47
1989	3.44
1990	4.43
1991	3.12
1992	1.92
1993	1.93
1994	2.29
1995	2.06
1996	2.83
1997	1.81
1998	1.17
1999	2.67
2000	1.83
2001	0.29
2002	2.97
2003	2.11
2004	3.17
2005	2.41
2006	4.17
2007	2.86
2008	3.84

**Figura 12. Resultados Análisis de Excedencias a. Representación gráfica de Caudales y su porcentaje de Excedencia, b. Caudales y su porcentaje de Excedencia.**



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

**a.**

**b.**

Flow Duration Results

```

~~~~~

```

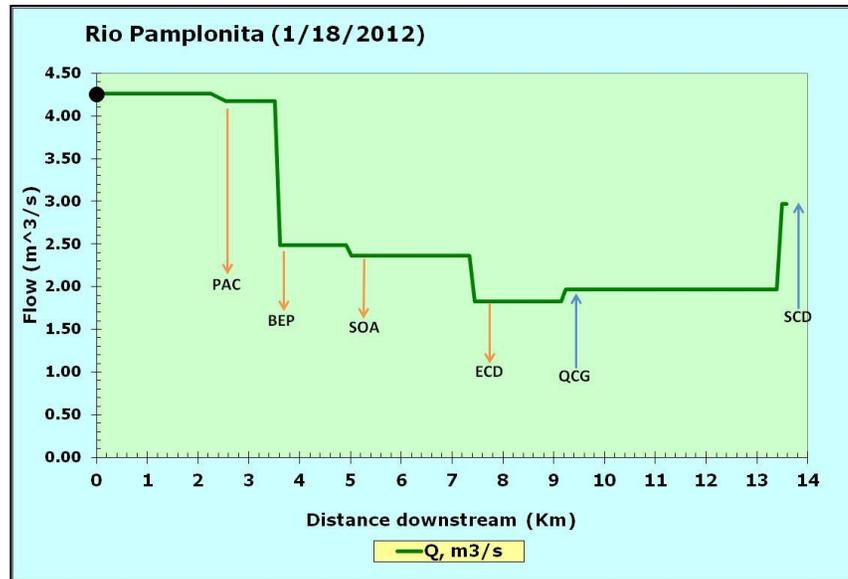
Percentile	Value
0.00	6.08
5.00	4.53
10.00	4.26
15.00	4.13
20.00	3.88
25.00	3.54
30.00	3.14
35.00	2.94
40.00	2.85
45.00	2.71
50.00	2.53
55.00	2.45
60.00	2.29
65.00	2.18
70.00	2.11
75.00	2.03
80.00	1.93
85.00	1.85
90.00	1.81
95.00	1.29
100.0	0.29

**4.2.4 Modelos predictivos.** Los modelos predictivos se convierten en una herramienta fundamental para conocer o establecer el comportamiento de un cuerpo de agua en escenarios futuros, por lo cual representan una importante oportunidad para anticipar, prevenir y mitigar los impactos ambientales que los usuarios pueden producir sobre una fuente hídrica, tomando las medidas de saneamiento necesarias para el manejo y conservación de la capacidad de asimilación de la cuenca. Por lo anterior, con el modelo ya calibrado y el caudal ecológico del Río Pamplonita definido ( $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ) se procedió a evaluar la capacidad de asimilación del Río, analizando el modelo bajo las siguientes condiciones:

- **Caudal mínimo del Río Pamplonita ( $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y caudal máximo de salida canal Duplat ( $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).**

El caudal máximo en la salida del canal Duplat duplica la condición promedio obtenida en la jornada de muestreo desarrollada en el mes de Febrero.

Gráfica 36. Curva de predicción caudal (1)



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Los resultados de esta predicción indican para la variable hidráulica del caudal, una disminución esperada debido a las extracciones en el tramo de estudio. Sumado a lo anterior, se observa una reducción significativa en el caudal del Río, aguas abajo de la bocatoma El Pórtico (BEP, Km 3 + 600), captación que deriva  $1.69 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir, el 40% del caudal del cuerpo hídrico, lo cual puede generar un desequilibrio ecológico aguas abajo de este sector (Gráfica 36). De allí, es importante que para este tipo de captaciones, se estipulen caudales mínimos de extracción en épocas de estiaje y de lluvias, con la finalidad de garantizar la permanencia del caudal mínimo en la corriente con un porcentaje de ocurrencia o excedencia del 10%. Hay que tener en cuenta que no fueron consideradas todas las extracciones puntuales y difusas durante la calibración del modelo, lo cual es consecuente con la caída de la curva de caudal en algunas fuentes puntuales de interés.

Por otro lado, de acuerdo al Art. 38 del Decreto 1594 de 1984, las predicciones en algunos parámetros de calidad cumplen con los criterios establecidos para aguas de uso doméstico, tal es el caso de pH, mientras que otros parámetros no regulados por la legislación colombiana e incluidos en el modelo, como la temperatura, se mantienen en niveles entre 20 y 25° C, acordes con la media de datos de temperatura observados en el Río Pamplonita.

La calidad del agua en el Río Pamplonita para el escenario propuesto, muestra un elevado valor de caudal aguas abajo de la salida del canal Duplat, sin embargo, esta entrada al no encontrarse en condiciones adecuadas de calidad alcanza a desestabilizar algunos determinantes importantes del Río, como el oxígeno disuelto, donde se estima una disminución de hasta 4.3 mgO<sub>2</sub>/L; cuando los niveles caen por debajo de 5.0 mg/L, la vida acuática corre riesgo (Sanchez, 2007). Así mismo, la Demanda biológica de Oxígeno, relacionada con la cantidad de oxígeno consumida por las bacterias al degradar la materia orgánica, presenta un aumento en las curvas de predicción hasta valores de 20 mgO<sub>2</sub>/L, resultado que según el criterio de Sánchez sobre la clasificación del agua teniendo en cuenta el contenido de las cargas orgánicas (DBO<sub>5</sub> y DQO), es considerado aceptable.

Las cargas residuales que se registran en el Río Pamplonita para el tramo de estudio, se deben en mayor parte a las evidentes y elevadas descargas continuas de aguas residuales domésticas aportadas por el vertimiento del municipio de los Patios hacia el canal Duplat, que finalmente desemboca en el Río Pamplonita (ver Fotos 1 y 2).

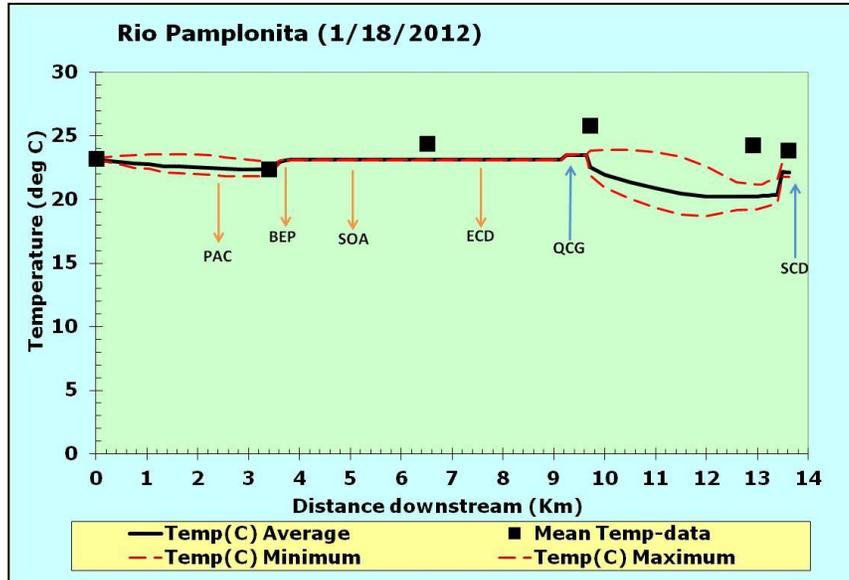
			
<b>FOTO 1</b>		<b>FOTO 2</b>	
<b>LUGAR</b>	Vertimiento municipio Los Patios	<b>LUGAR</b>	Descarga residual del vertimiento Los Patios hacia Canal Duplat

En las aguas residuales domésticas, el nitrógeno en sus diferentes formas (N Total, amoniacal, nitritos y nitratos) y el fósforo (Fosforo total y ortofosfatos) constituyen los principales nutrientes provenientes de las actividades desarrolladas por el hombre; algunas de éstas asociadas a la agricultura, como se pudo observar en la ribera del tramo de estudio sobre el Río Pamplonita y el Canal Duplat. Es así como estos nutrientes, aumentan su concentración aguas abajo de la salida del canal Duplat, lo cual puede generar problemas de eutroficación en el cuerpo de agua, a su vez que produce el detrimento del ecosistema aguas abajo del tramo de estudio, situación que también es evidente en el paso del Río Pamplonita por el municipio de Cúcuta, donde se convierte en fuente receptora de sus aguas residuales domésticas.

De forma adicional, cabe resaltar que durante las simulaciones bajo caudal ecológico y máximo caudal en el canal Duplat se observó un comportamiento particular con los patógenos, específicamente con los coliformes totales, dado que la concentración de entrada al software Qual2kw se mantuvo igual a la concentración con la cual se construyó el modelo (26.000.000 UFC/100ml), el programa al ser construido bajo información de calidad de cuerpos de agua de Norteamérica no recibe cargas contaminantes tan elevadas y no puede realizar los balances de masa bajo los reacciones de degradación específicas para coliformes (Gráfica 49). No obstante, las predicciones responden y presentan picos de concentración de coliformes totales aguas abajo del canal Duplat cuando los títulos bacterianos asumen en este punto valores de hasta  $5.0 \times 10^6$  UFC/100ml, lo cual refleja el alto grado de contaminación bajo un caudal ecológico que puede generar la salida del canal Duplat, y por lo tanto, la urgencia de diseñar e implementar un sistema de tratamiento efectivo para manejar las aguas residuales domésticas provenientes del municipio de los Patios (Gráfica 54 a 56).

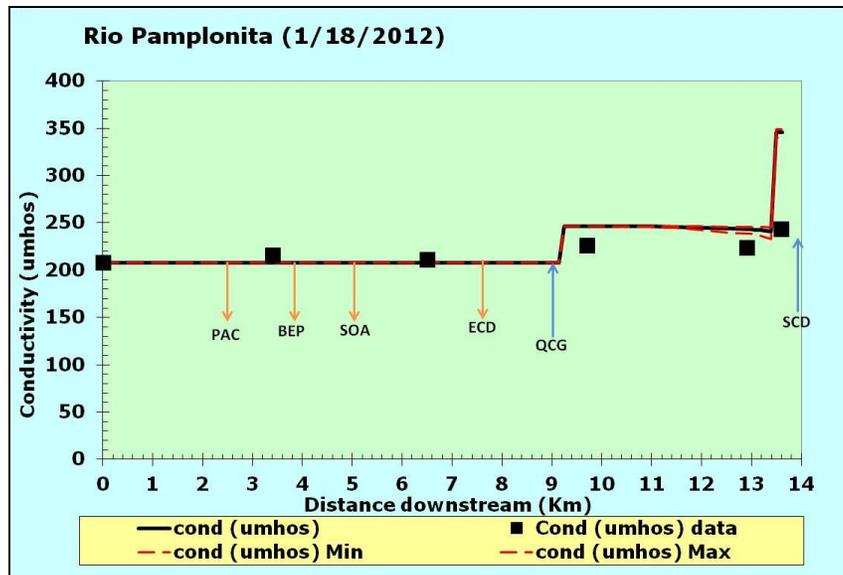
El determinante fitoplancton fue evaluado a través del pigmento fotosintético *clorofila a*, este pigmento es usado para medir la potencialidad productiva del sistema, y también como un indicativo de la eutrofización (citado en Sánchez *et al.*, 2007), ya que aunque no siempre mantiene correlación directa con la productividad primaria, si indica la biomasa fitoplanctónica presente, la cual, en la medida en que se desenvuelva bajo condiciones adecuadas, se manifestará en la productividad. La concentración de phytoplankton fue baja, dado que estos organismos viven suspendidos a merced de los movimientos de cuerpo de agua lóxico, en la predicción se observó que los bajos niveles de phytoplankton descendieron drásticamente aguas abajo del kilómetro 3, lo cual permite sugerir la captación de la bocatoma el Pórtico bajo un caudal ecológico causaría una disminución de la biomasa fitoplanctónica del Río Pamplonita (Gráfica 53).

Gráfica 37. Curva de predicción Temperatura (1)



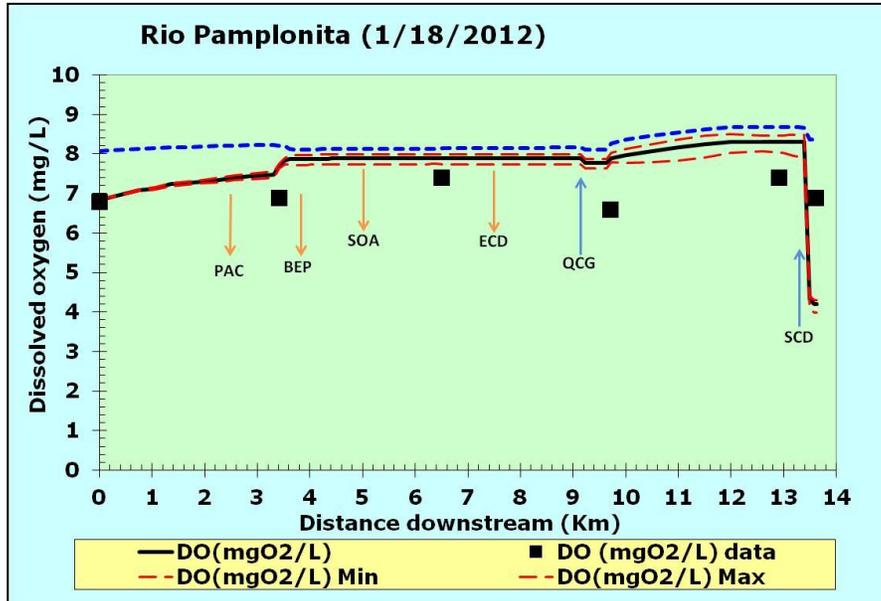
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 38. Curva de predicción Conductividad (1)



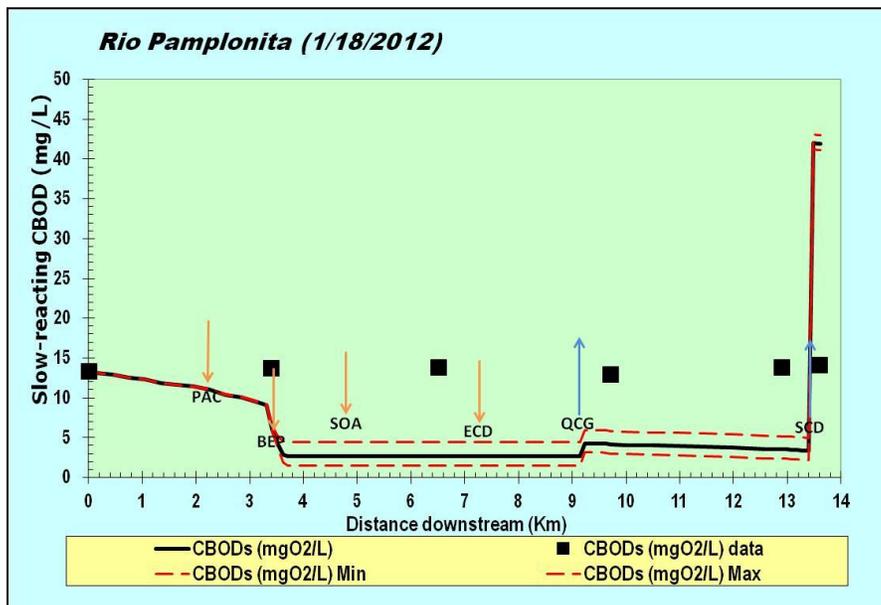
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 39. Curva de predicción Oxígeno Disuelto (1)



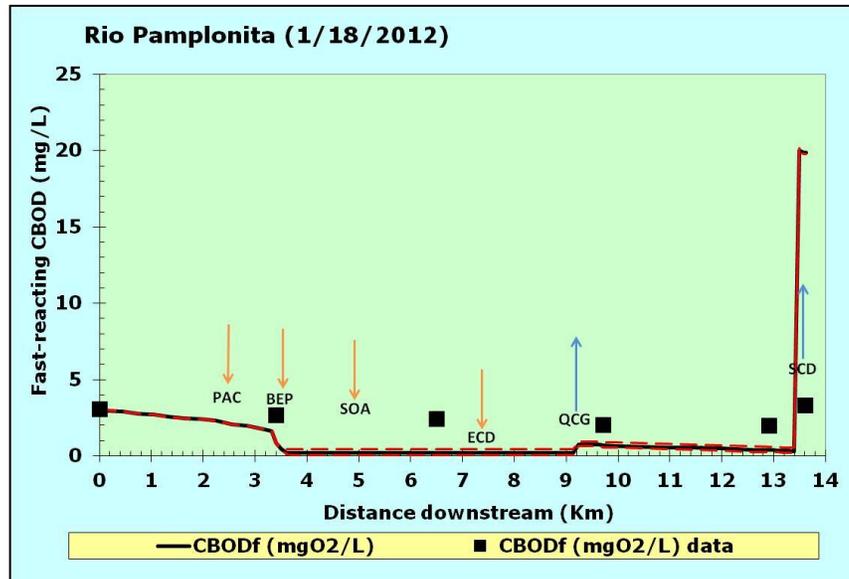
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 40. Curva de de predicción DBO<sub>lenta</sub> (1)



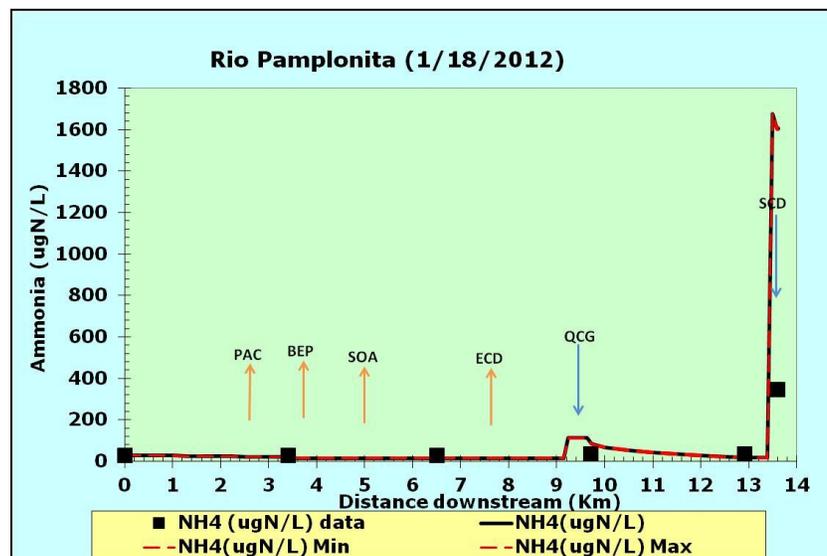
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 41. Curva de de predicción DBO<sub>Rapida</sub> (1)



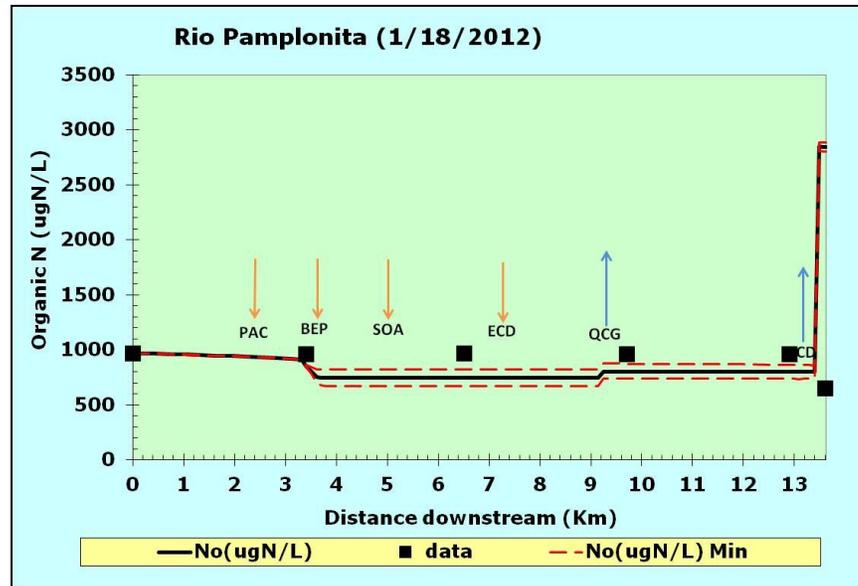
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 42. Curva de de predicción NH<sub>4</sub> (1)



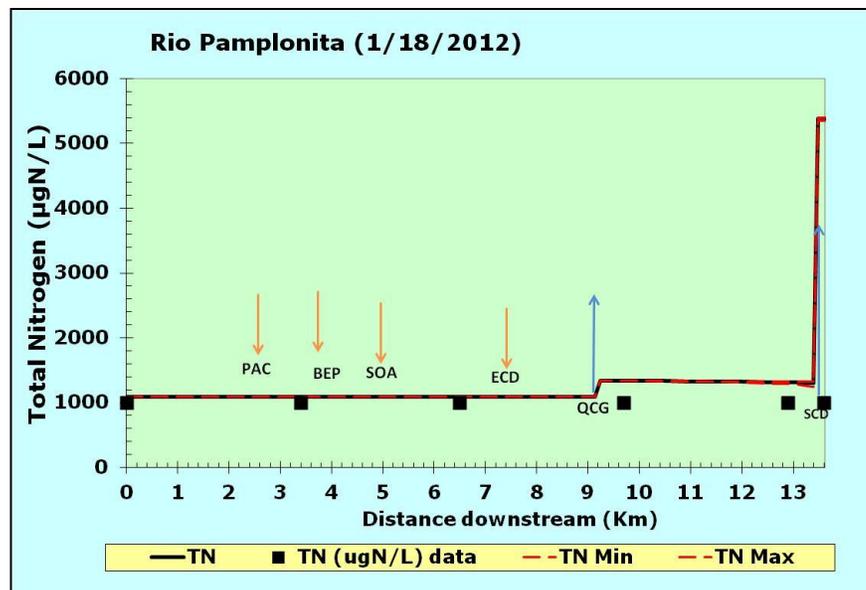
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 43. Curva de de predicción Nitrógeno Orgánico (1)



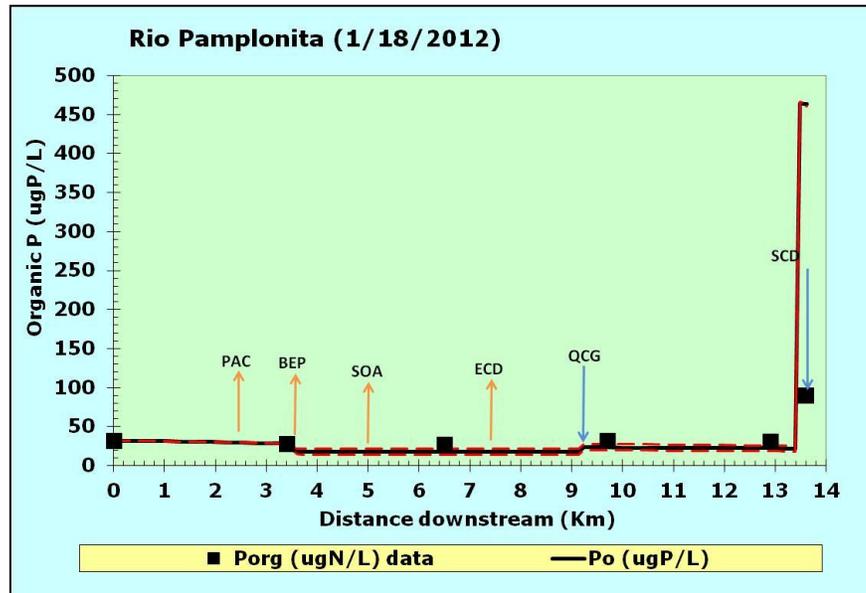
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 44. Curva de predicción de Nitrógeno Total (1)



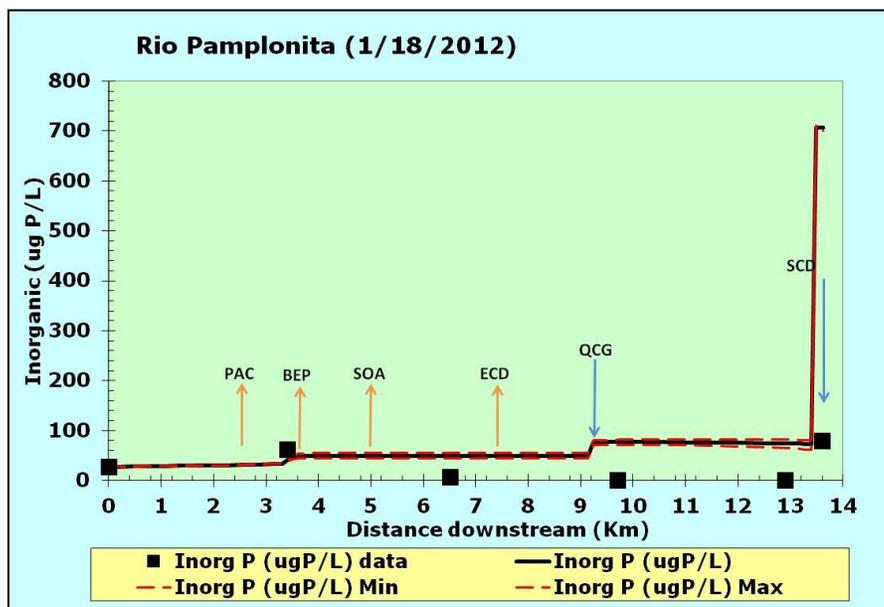
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 45. Curva de predicción Fósforo Orgánico (1)



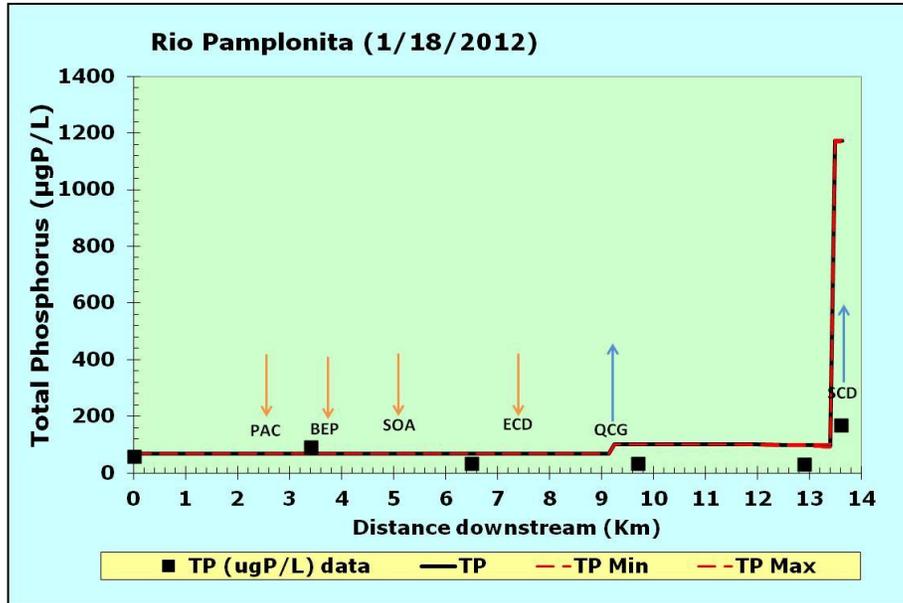
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 46. Curva de predicción Fósforo Inorgánico (1)



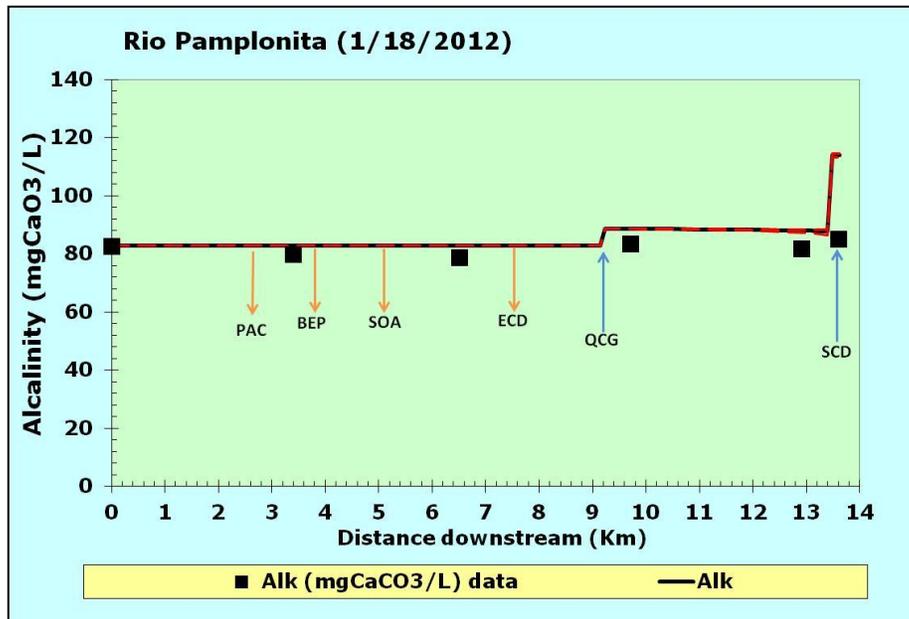
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 47. Curva de predicción de Fósforo Total (1)



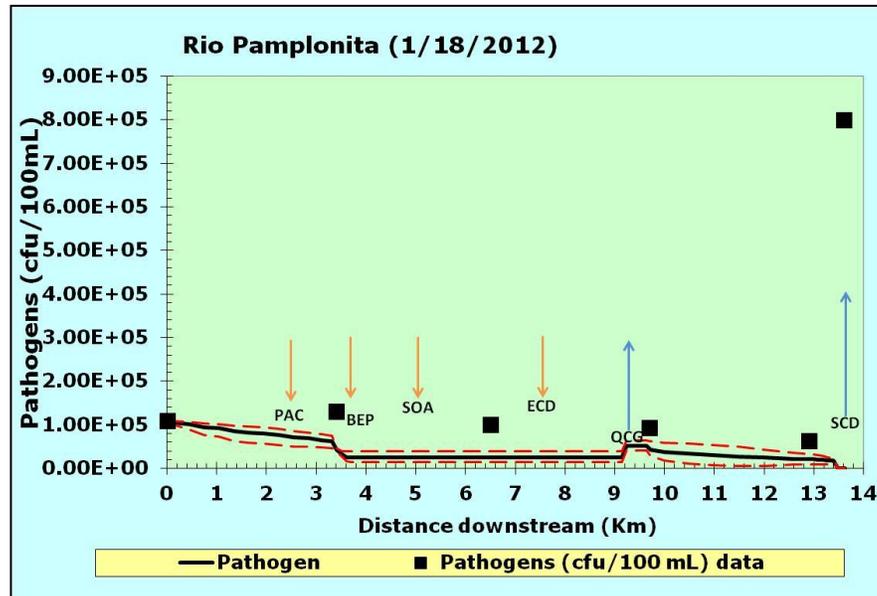
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 48. Curva de predicción Alcalinidad (1)



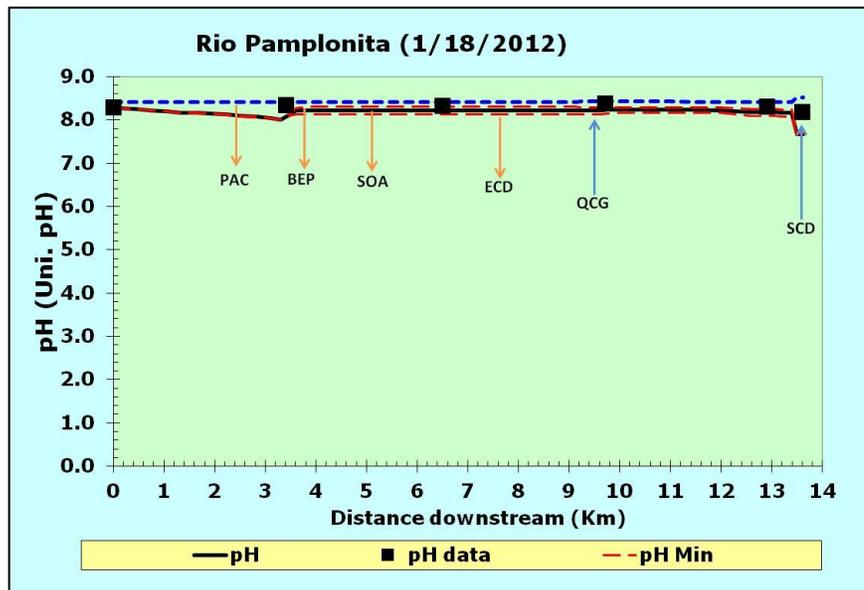
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 49. Curva de predicción de Patógenos (1)



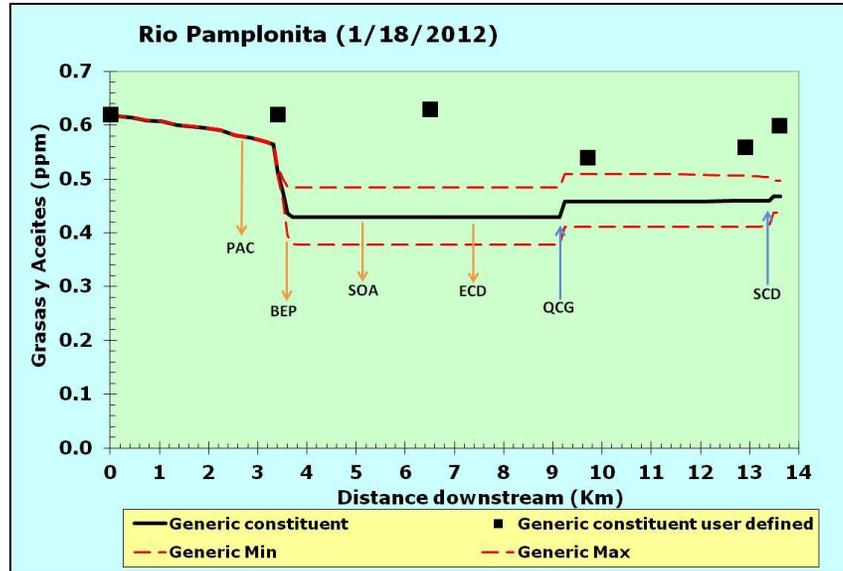
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 50. Curva de predicción de pH (1)



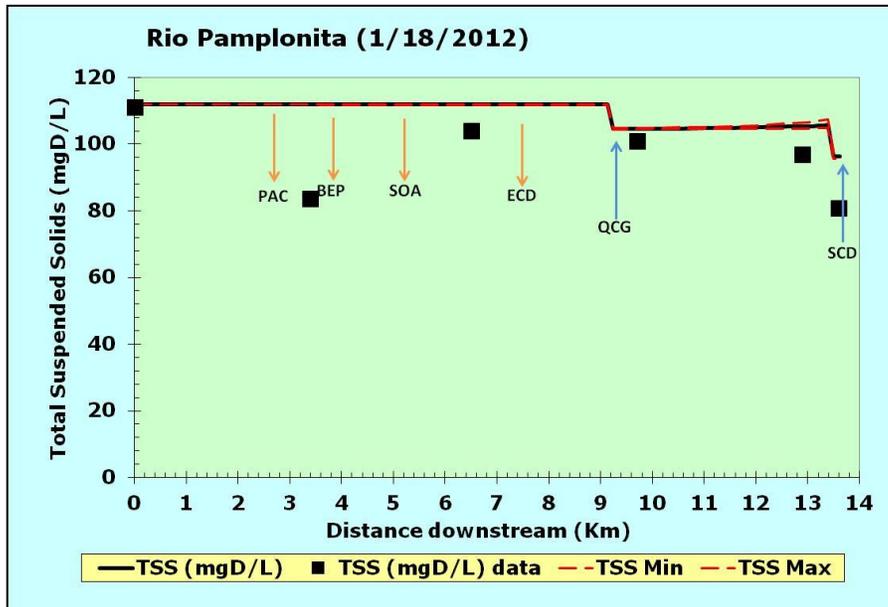
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 51. Curva de predicción de Grasas y Aceites (1)



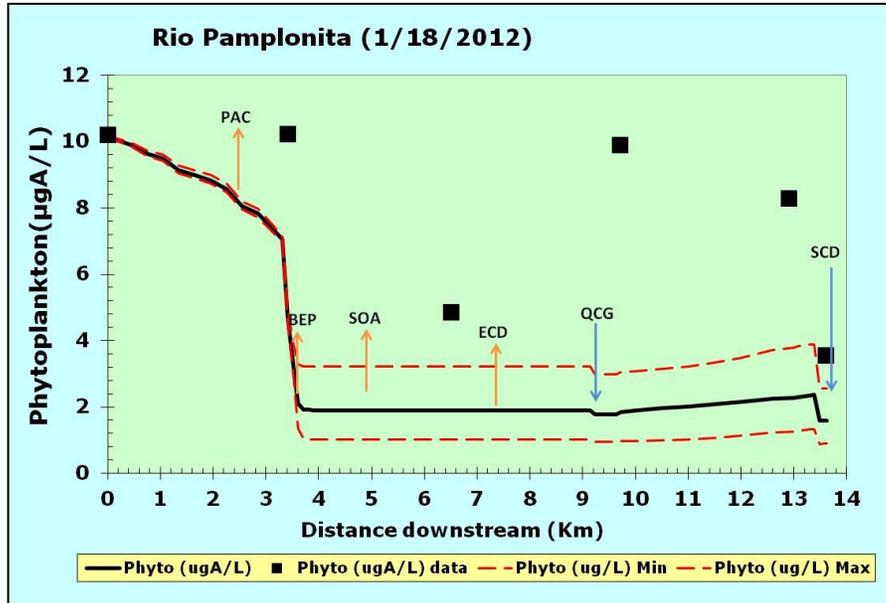
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 52. Curva de predicción de Sólidos Suspendedos Totales (1)



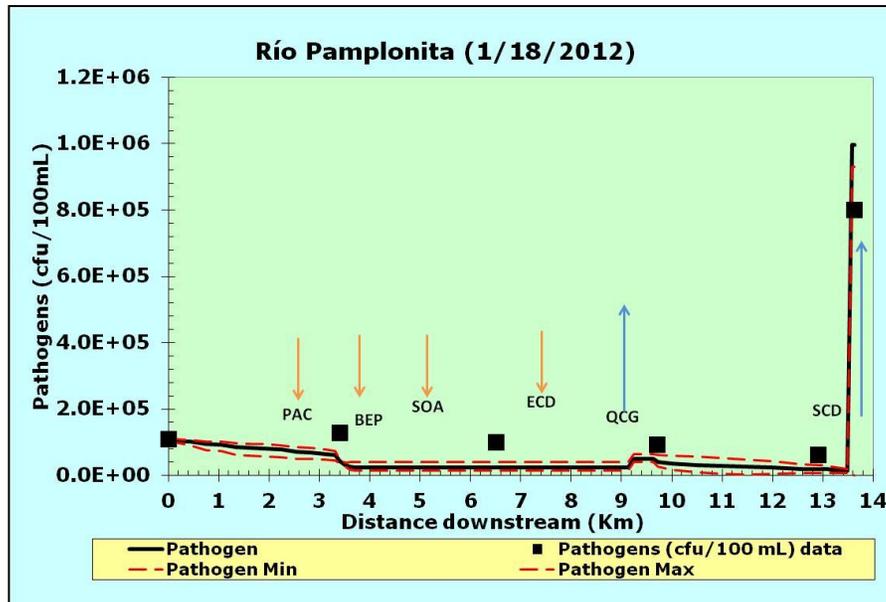
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 53. Curva de predicción de Fitoplancton (1)



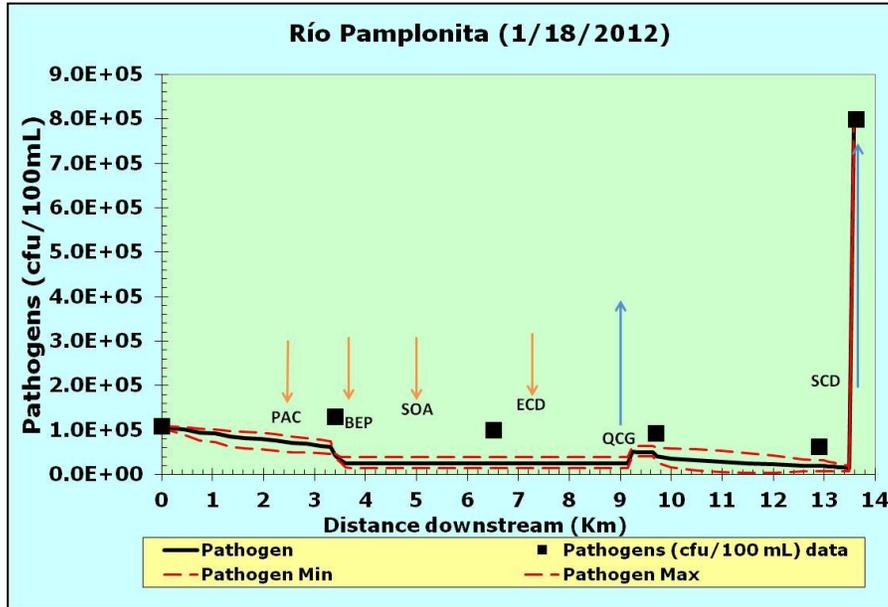
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 54. Curva de predicción de patógenos con  $5 \times 10^6$  UFC/100ml (1)



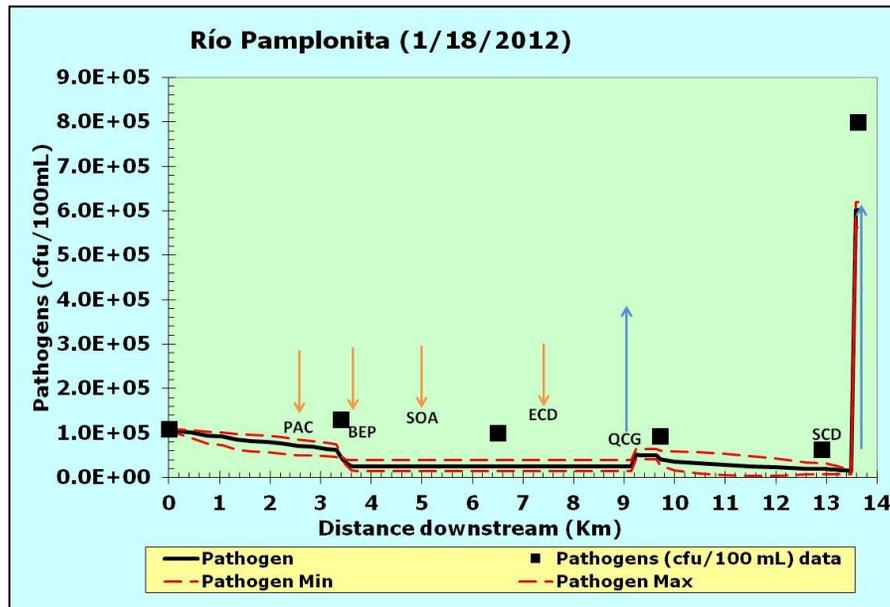
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 55. Curva de predicción de patógenos con 4+06 UFC/100ml (1)



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 56. Curva de predicción de patógenos con 3+06 UFC/100ml (1)

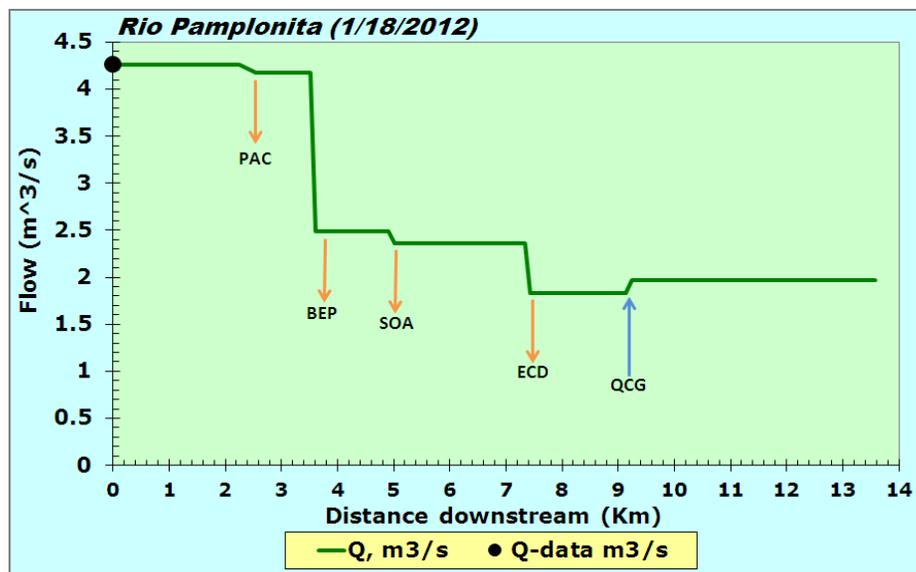


Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

- Caudal mínimo del Río Pamplonita ( $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y eliminación de la salida del canal Duplat.

Bajo esta predicción, el caudal mínimo calculado para el Río Pamplonita ( $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se reduce de manera radical hasta un caudal de  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Lo anterior, así como el primer escenario expuesto, conllevan a recomendar el establecimiento de nuevos valores de extracción para las épocas de estiaje y de lluvias, o para las épocas que están altamente influenciadas por los fenómenos ENSO de la Niña y el Niño; garantizando el equilibrio ecológico en la fuente hídrica (Gráfica 57).

Gráfica 57. Curva de predicción de Caudal (2)

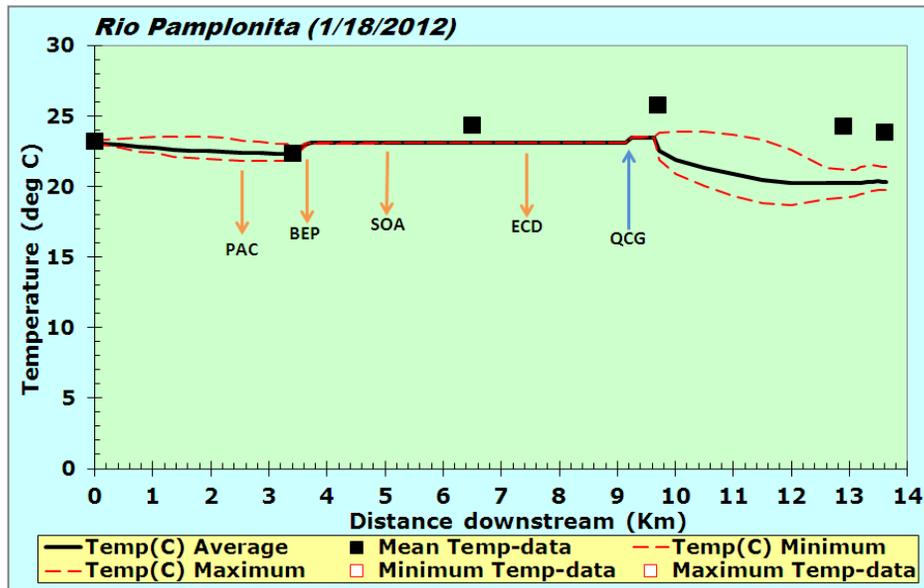


Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Dentro de los parámetros regulados por la legislación ambiental colombiana, la capacidad de neutralización dada por el pH, cumple el rango propuesto por el Art. 38 del Decreto 1594 de 1984, criterios para aguas de uso doméstico (5.0 -9.0 unidades de pH).

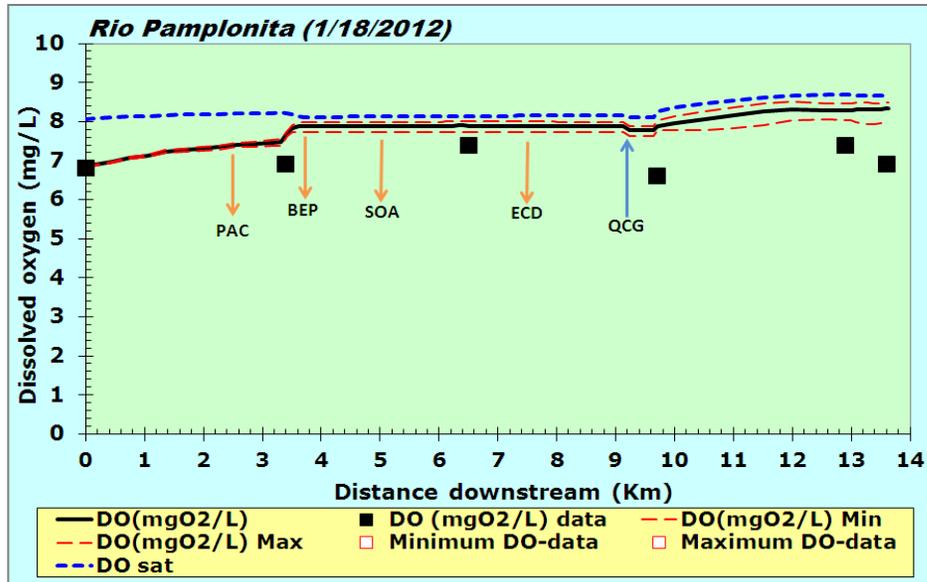
La calidad del agua en el Río Pamplonita para el escenario propuesto, muestra una mejora en las concentraciones fisicoquímica y microbiológica, si desaparece la salida del canal Duplat. Lo anterior, refleja la importancia de implementar la puesta en marcha de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas-PTAR, que permitan de forma similar a la predicha, obtener resultados favorables aguas abajo de eventuales vertimientos, permitiendo de igual manera mejorar la capacidad de autodepuración del Río Pamplonita.

Gráfica 58. Curva de predicción de Temperatura (2)



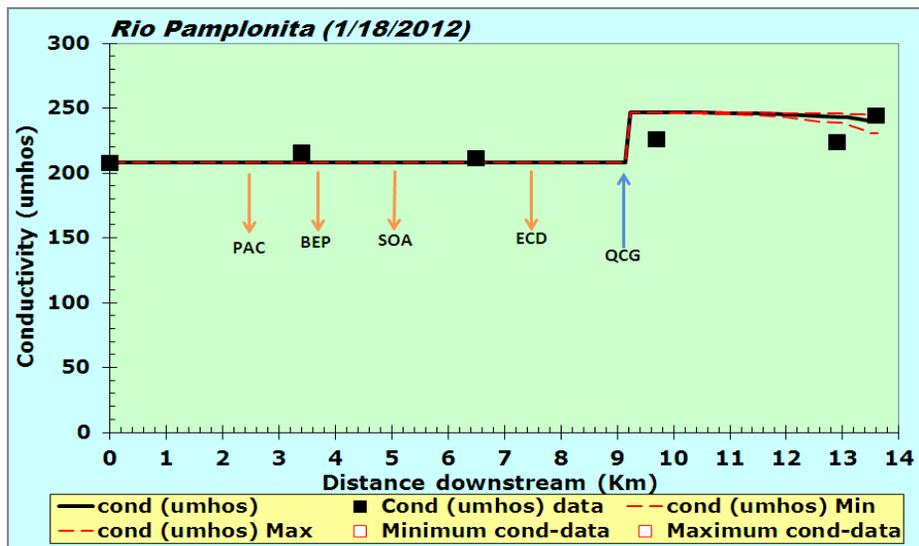
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 59. Curva de predicción de Oxígeno Disuelto (2)



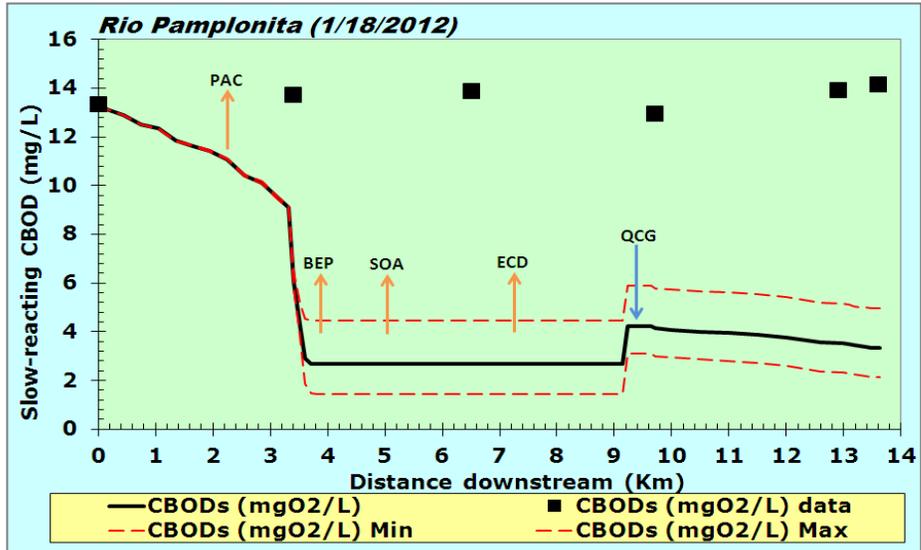
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 60. Curva de predicción de Conductividad (2)



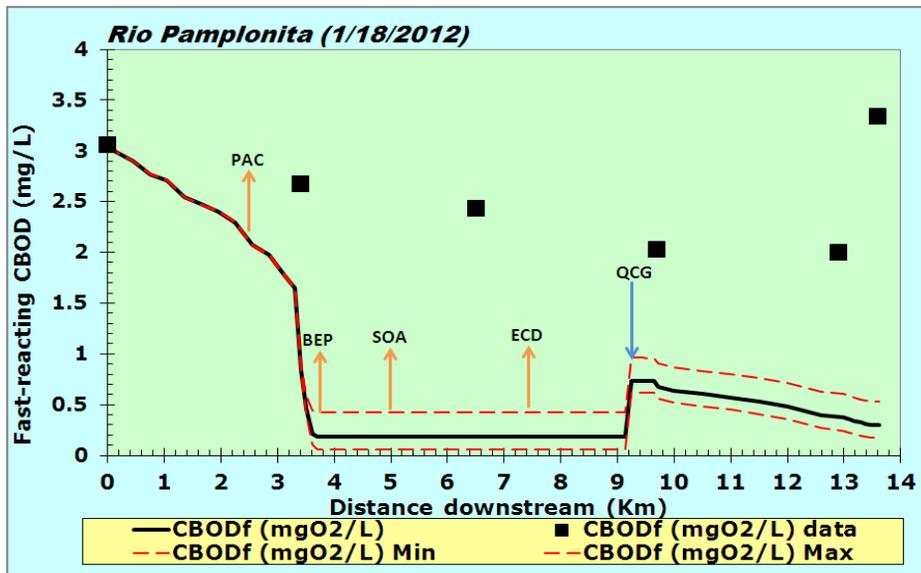
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 61. Curva de predicción de DBO<sub>lenta</sub> (2)



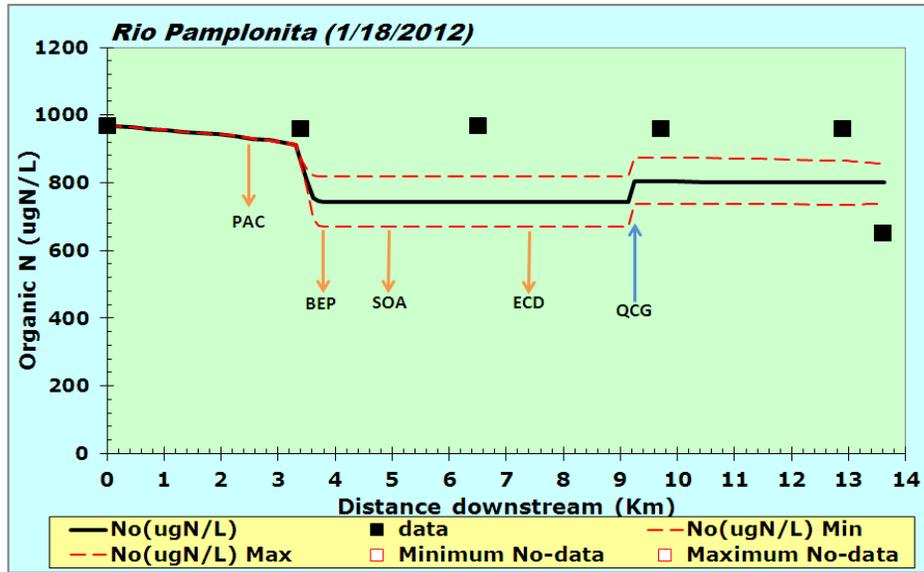
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 62. Curva de predicción de DBO<sub>rápida</sub> (2)



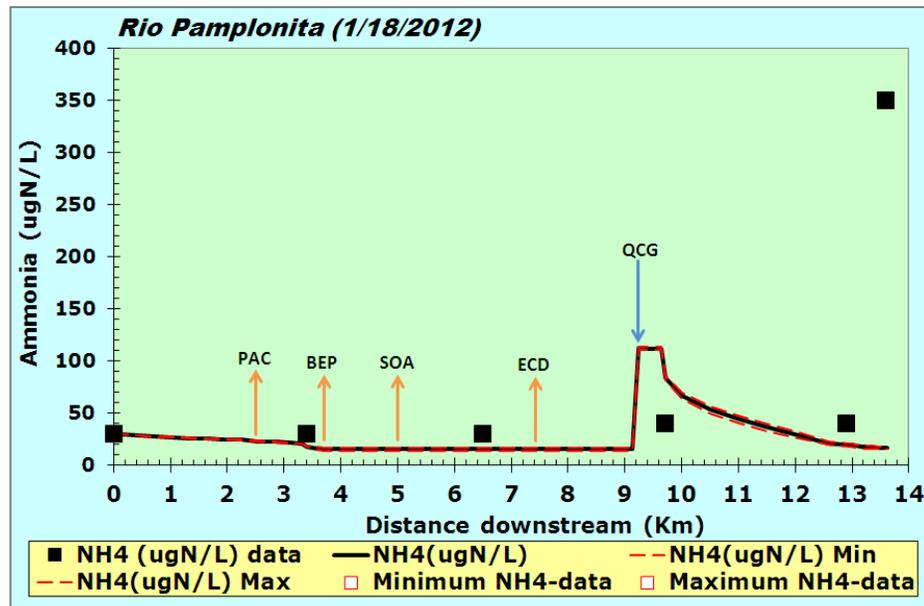
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 63. Curva de predicción de Nitrógeno Orgánico (2)



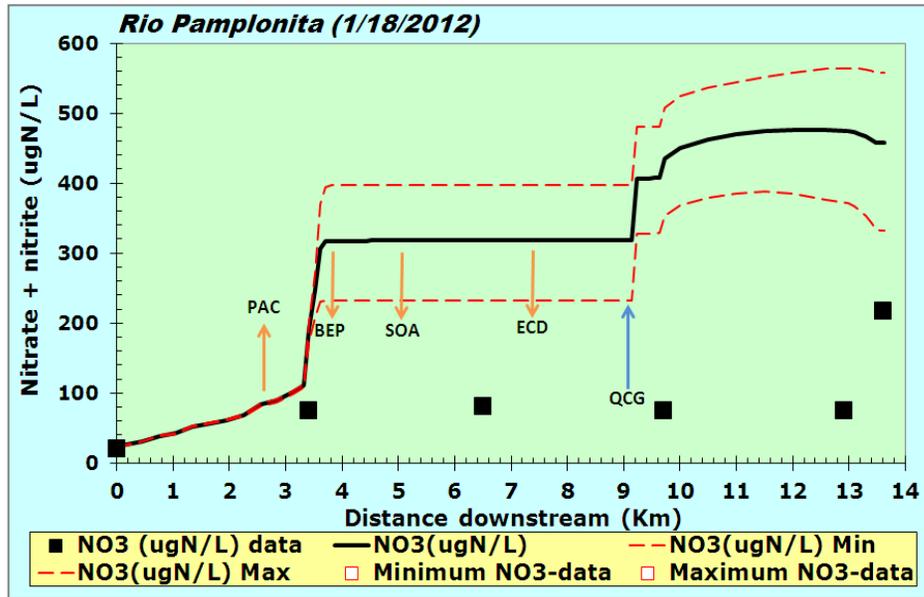
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 64. Curva de predicción de Amonio (2)



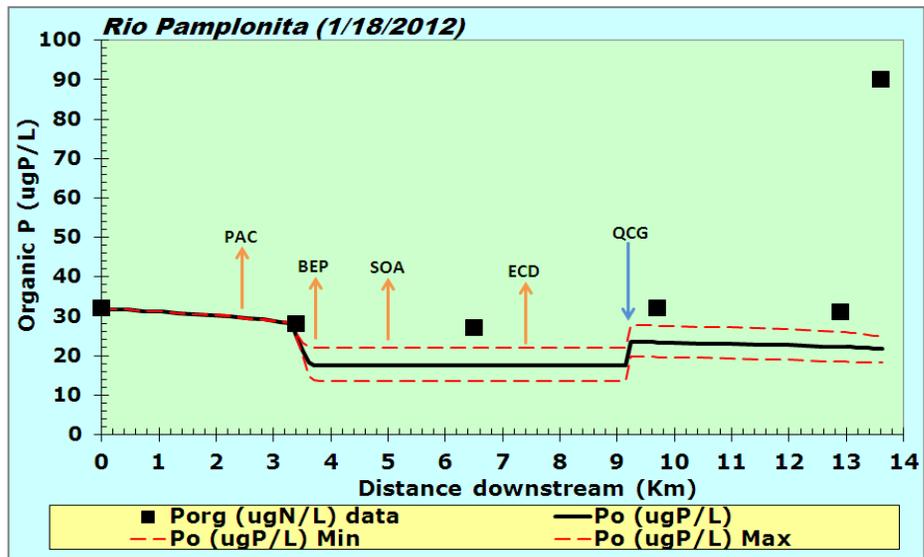
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 65. Curva de predicción de Nitratos y Nitritos (2)



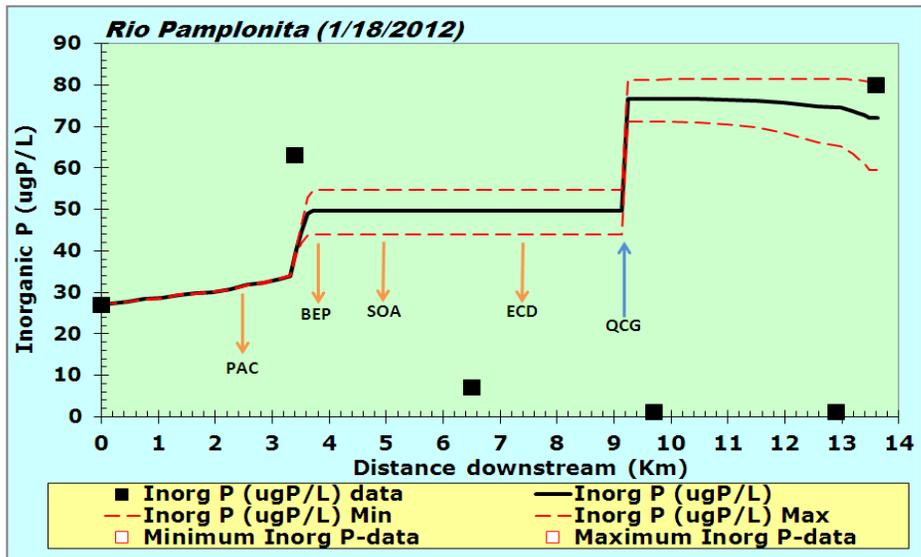
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 66. Curva de predicción de Fósforo orgánico (2)



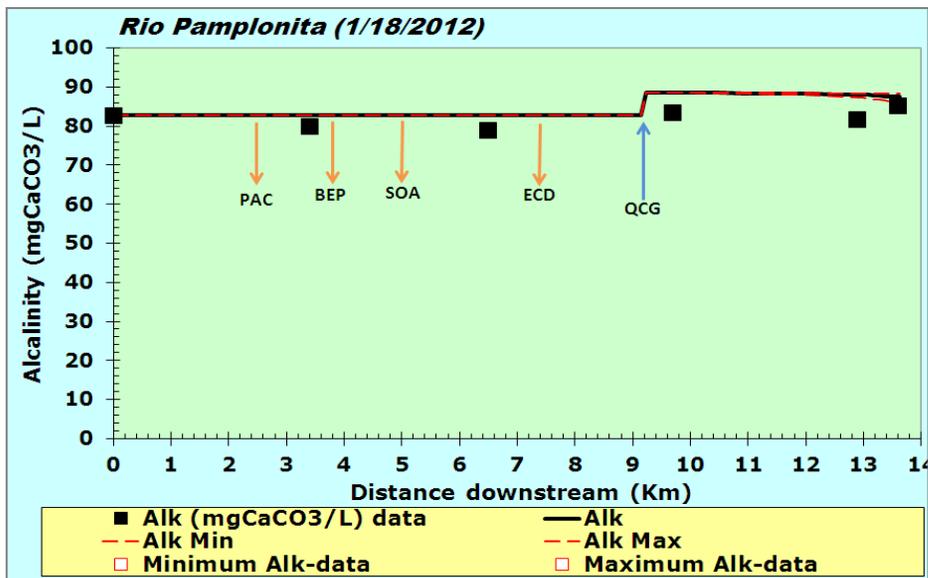
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 67. Curva de predicción de Fósforo inorgánico (2)



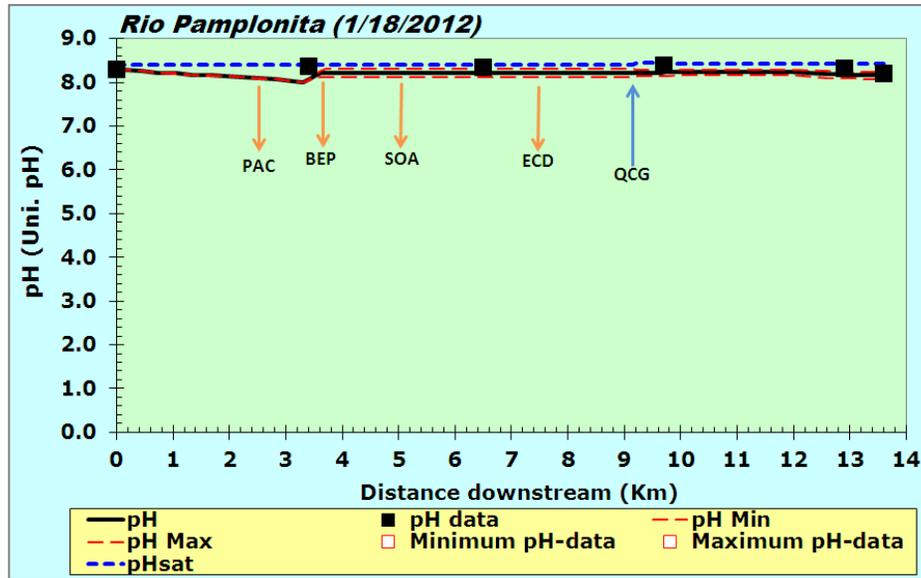
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 68. Curva de predicción de Alcalinidad (2)



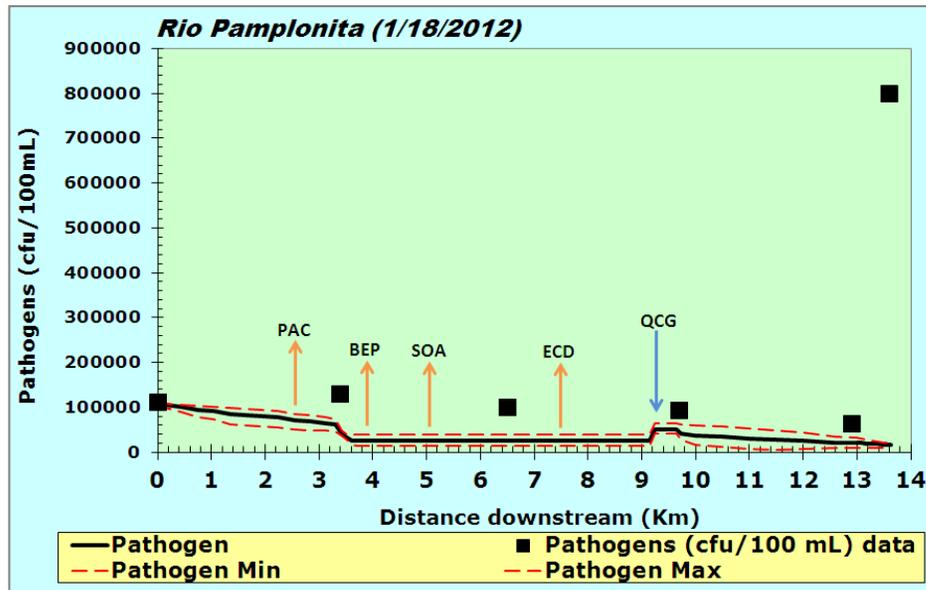
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 69. Curva de predicción de pH (2)



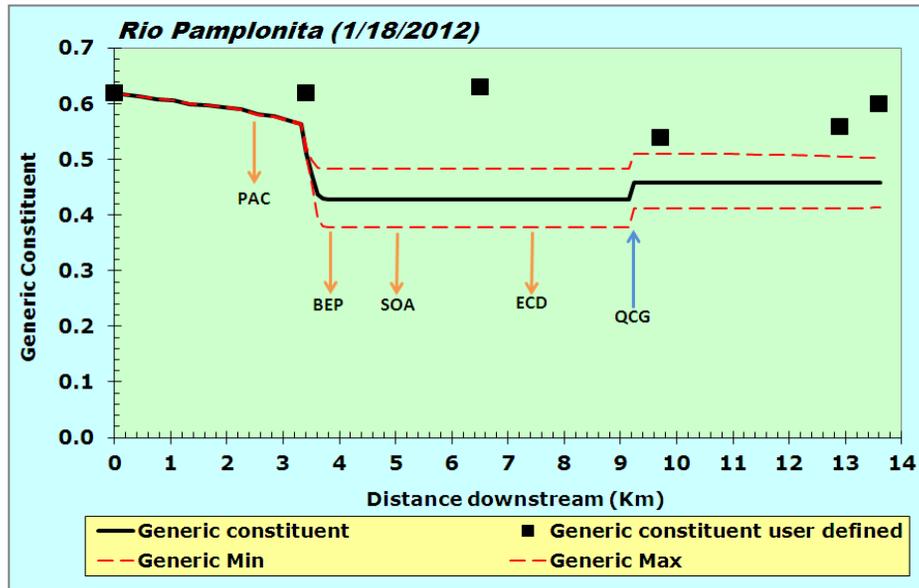
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 70. Curva de predicción de patógenos (2)



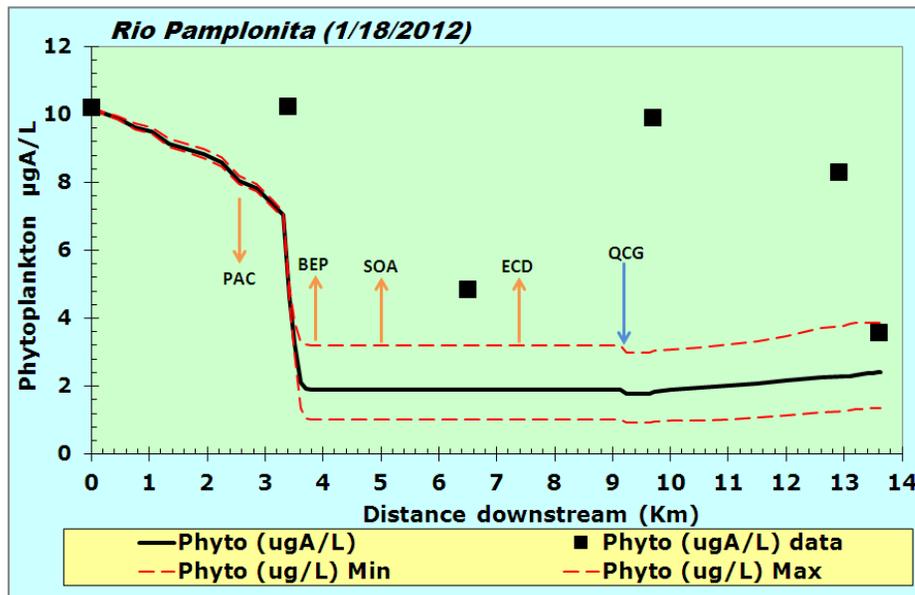
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 71. Curva de predicción de Grasas y Aceites (2)



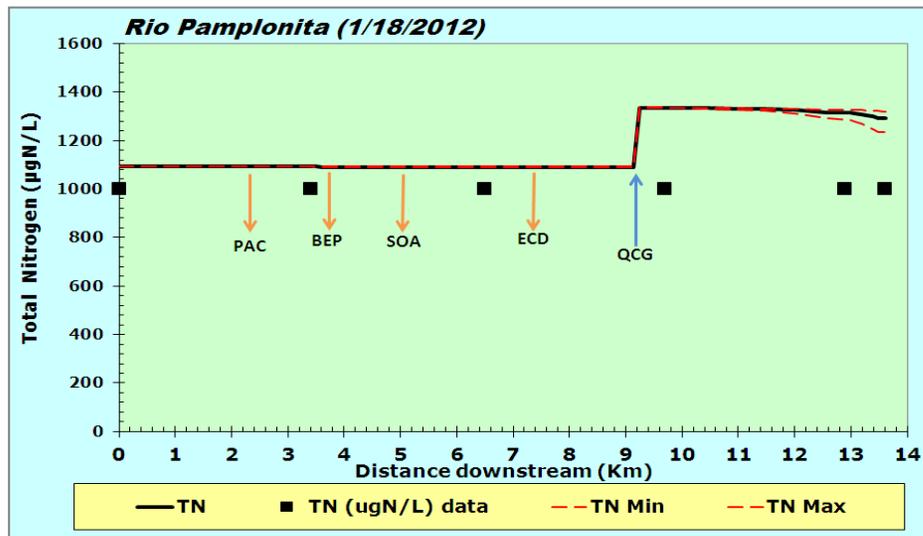
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 72. Curva de predicción de Phytoplankton (2)



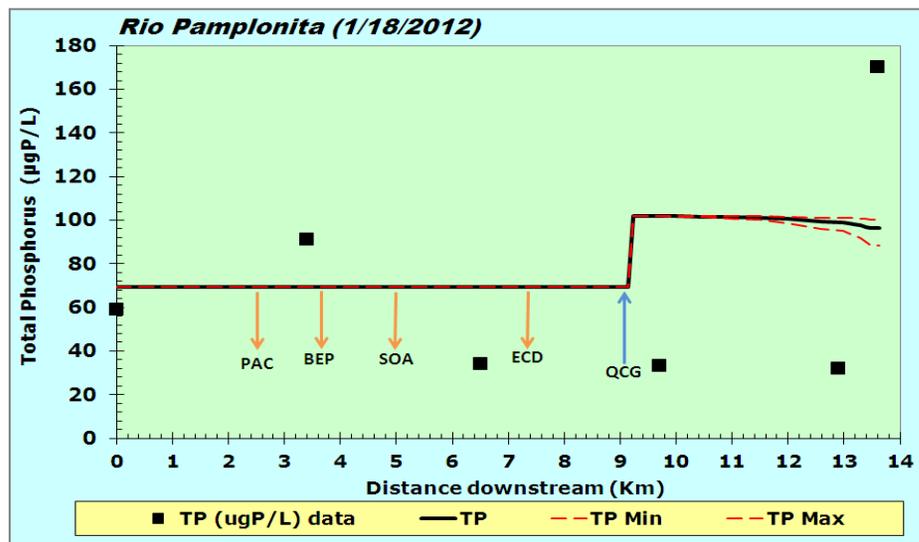
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 73. Curva de predicción de Nitrógeno Total (2)



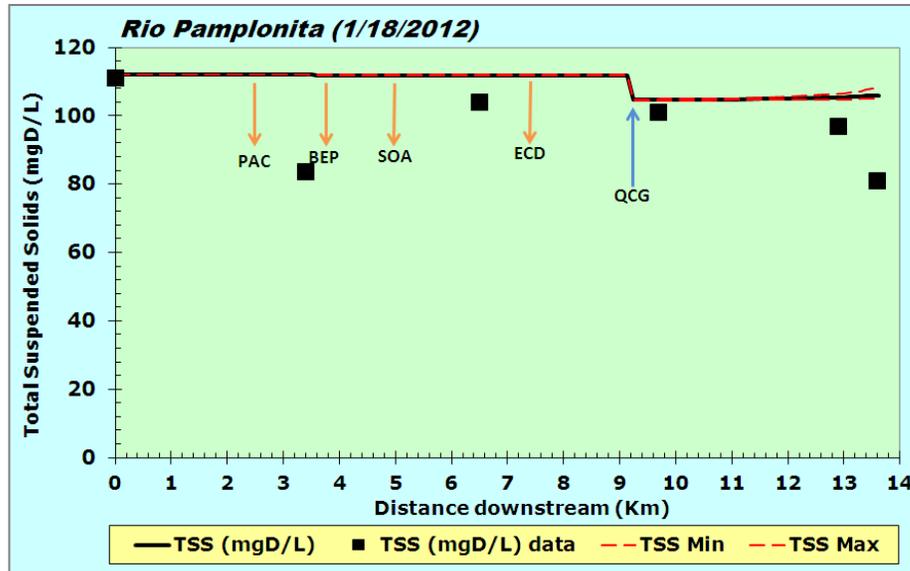
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 74. Curva de predicción de Fósforo Total (2)



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 75. Curva de predicción de Sólidos Suspendedos Totales (2)



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

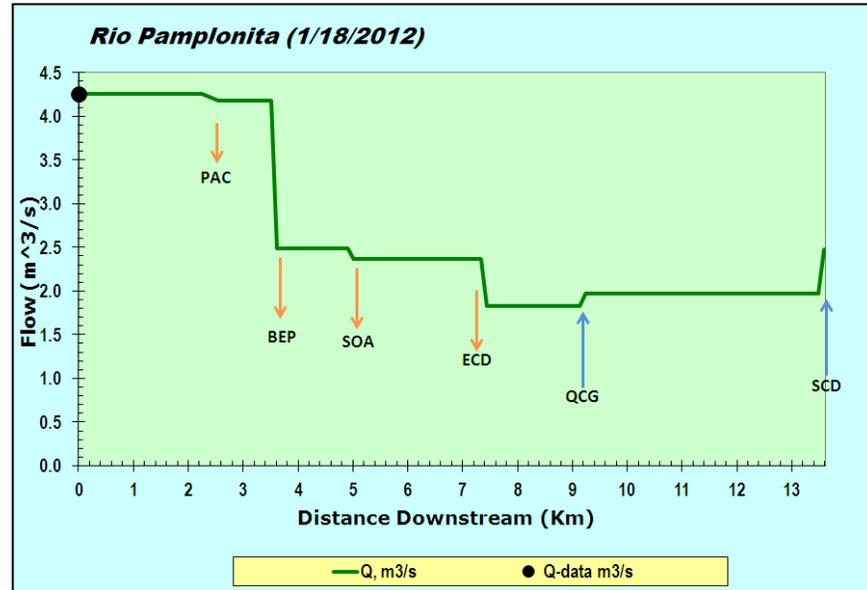
- **Caudal mínimo del Río Pamplonita ( $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y elevada concentración de hidrocarburos en el cuerpo de agua ( $70 \text{ mg/L}$ ).**

Finalmente para concluir con los escenarios propuestos, se hizo una predicción frente a los eventos de contaminación por hidrocarburos en los cuales ha estado expuesto el Río Pamplonita (emergencias de los años 2007 y 2011). Para este caso se ha propuesto el parámetro de grasas y aceites, indicador general que incluye compuestos petrogénicos, como los hidrocarburos. De forma adicional, se incluyeron condiciones de caudal ecológico en el Río Pamplonita.

El caudal tuvo un comportamiento similar al observado para las predicciones 1 y 2, las variaciones fueron detectadas a nivel de carga contaminante, debido a las

elevadas concentraciones de grasas y aceites que fueron incluidas como *input* para el modelo de calidad de agua del Río Pamplonita (Gráfica 76).

Gráfica 76. Curva de predicción de Caudal (3)



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

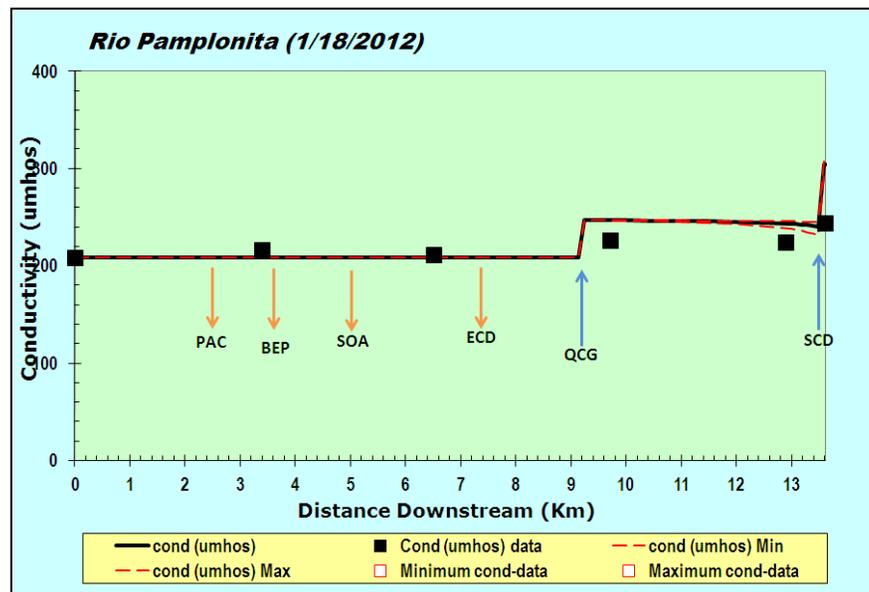
En cuanto a la calidad fisicoquímica, se puede encontrar que los valores de pH en el cuerpo de agua cumplen con el rango dado en la normatividad colombiana, para aguas de uso doméstico (5.0 - 9.0 unidades de pH). Sin embargo, algunas formas de nitrógeno en el agua (nitrógeno amoniacal) incumplirían de manera sustancial los límites expuestos en el Dec. 1594/84.

Por su parte, al evaluar el impacto sobre la calidad del agua del Río Pamplonita, dada la concentración elevada de grasas y aceites en el agua y aunque la legislación colombiana es estricta exigiendo la ausencia de estos compuestos en los cuerpos hídricos, la concentración presentada en la cabecera del modelo

propuesto (70 mg/L), se reduce hasta un valor de 39 mg/L en el punto más aguas abajo del tramo estudiado, es decir, disminuye un 45% la concentración de grasas y aceites para el trayecto de 13,6 km. De allí, una concentración de grasas y aceites tan elevada bajo un caudal ecológico en el Río Pamplonita requiere una mayor distancia para lograr autodepurar tal contaminante, por lo anterior, debe ser prioritario el control y minimización de los riesgos asociados a derrames de hidrocarburos en el Río Pamplonita.

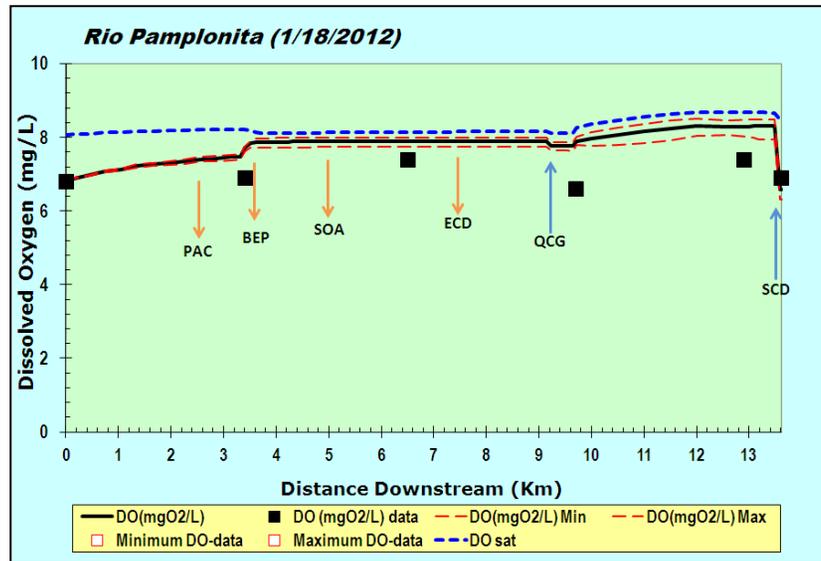
Por otro lado, se observa que las condiciones bacteriológicas (patógenos) en la fuente de agua presentan un comportamiento similar al primer escenario propuesto, situación que explica un elevado título de patógenos en el agua ( $>10^7$  UFC/100ml).

Gráfica 77. Curva de predicción de Conductividad (3)



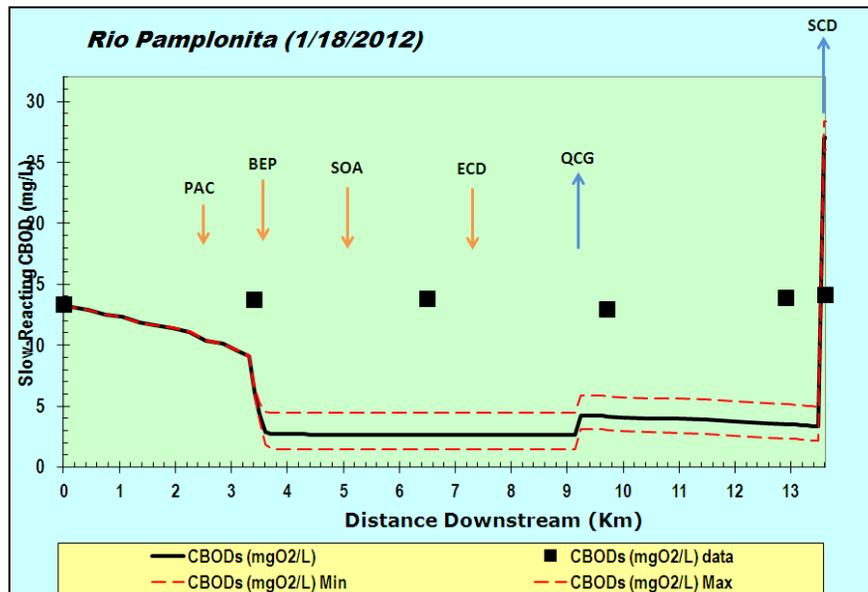
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 78. Curva de predicción de Oxígeno Disuelto (3)



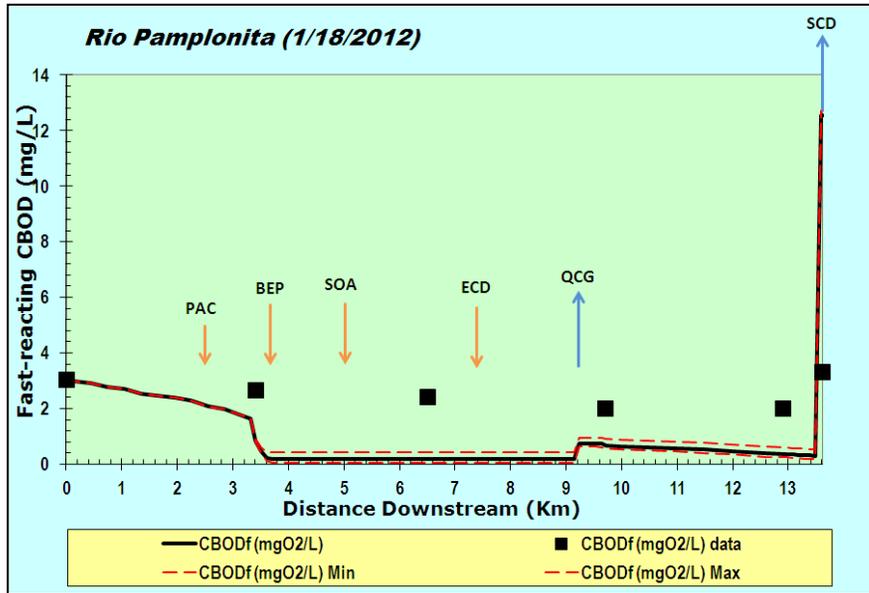
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 79. Curva de predicción de DBO<sub>lenta</sub> (3)



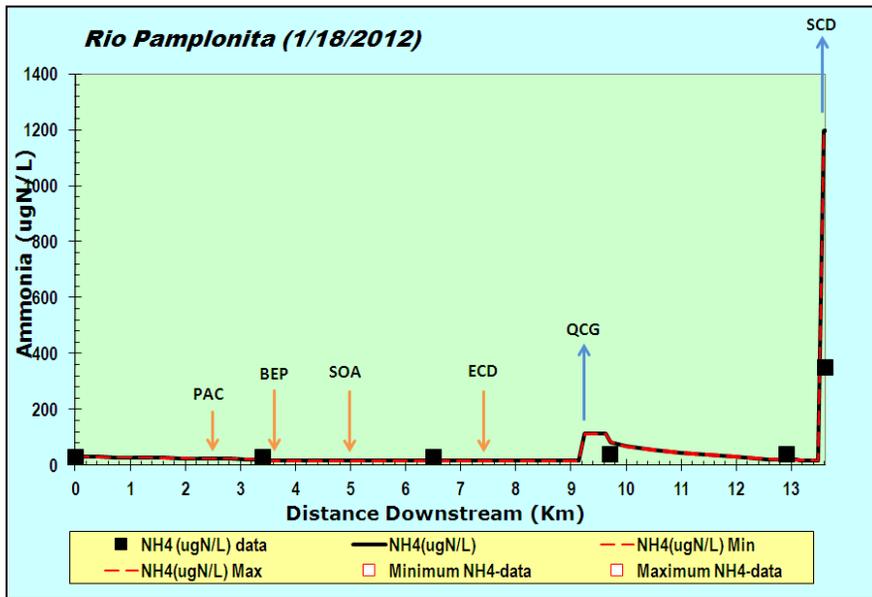
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 80. Curva de predicción de DBO<sub>rápida</sub> (3)



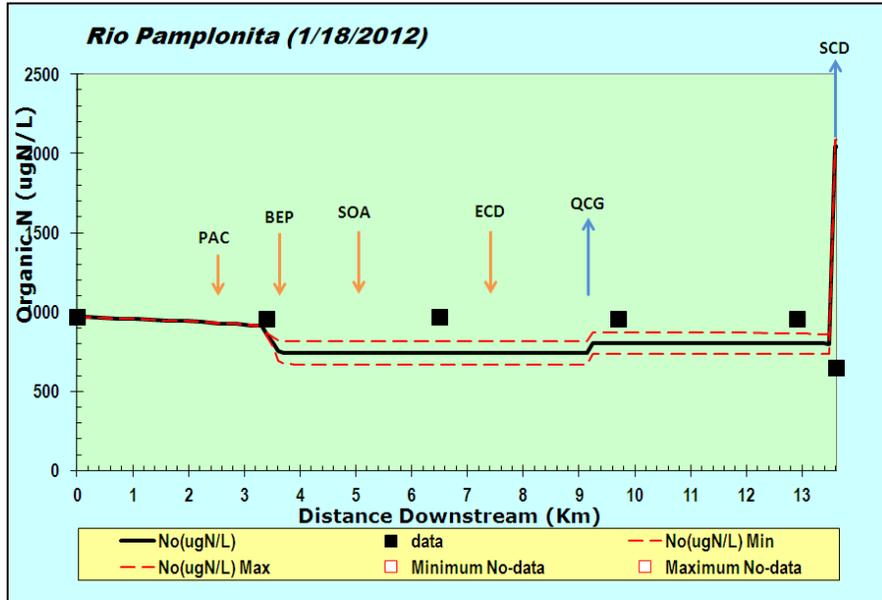
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 81. Curva de predicción de Amonio (3)



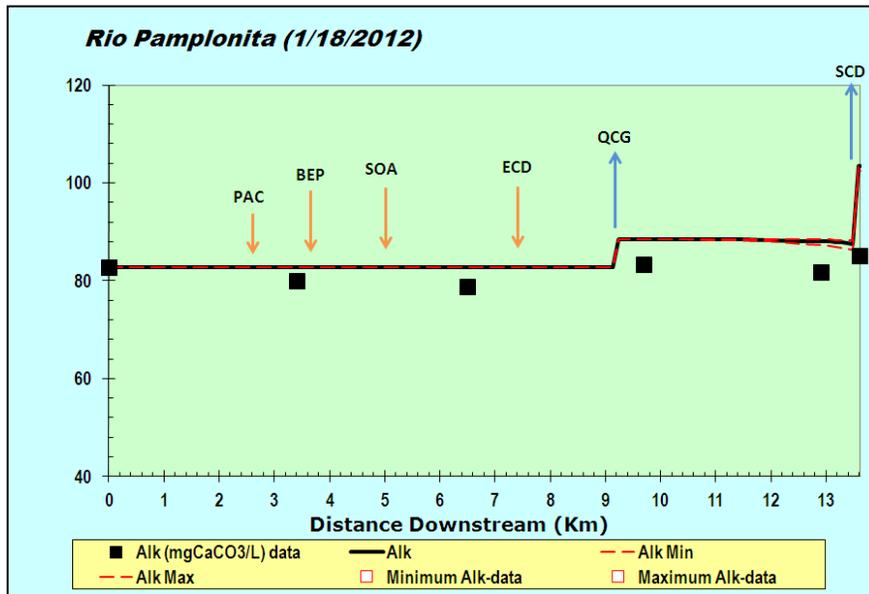
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 82. Curva de predicción de Nitrógeno Orgánico (3)



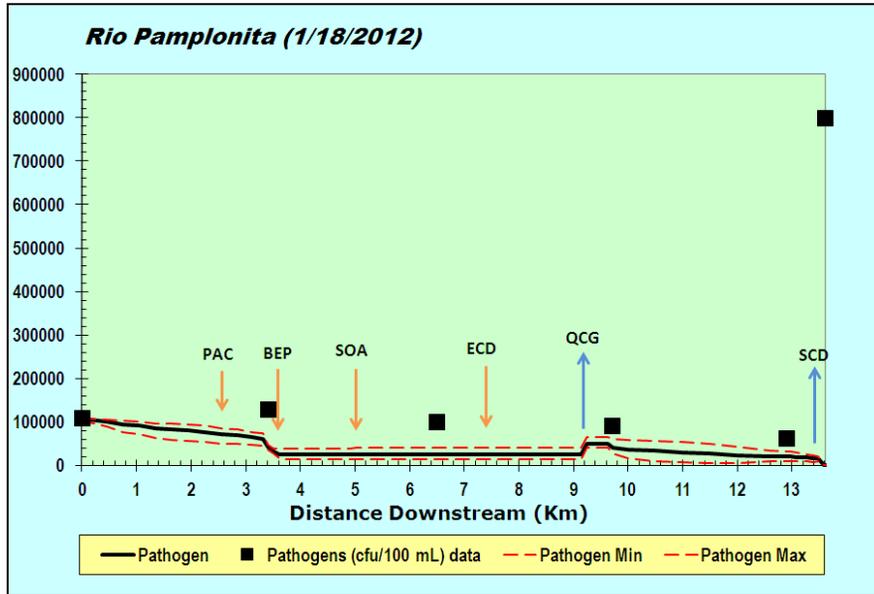
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 83. Curva de predicción de Alcalinidad (3)



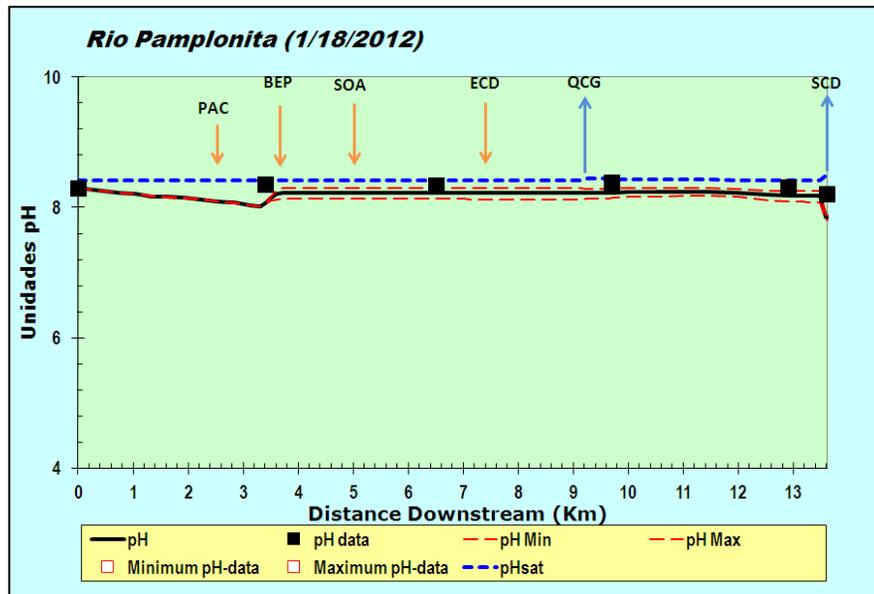
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 84. Curva de predicción de Patógenos (3)



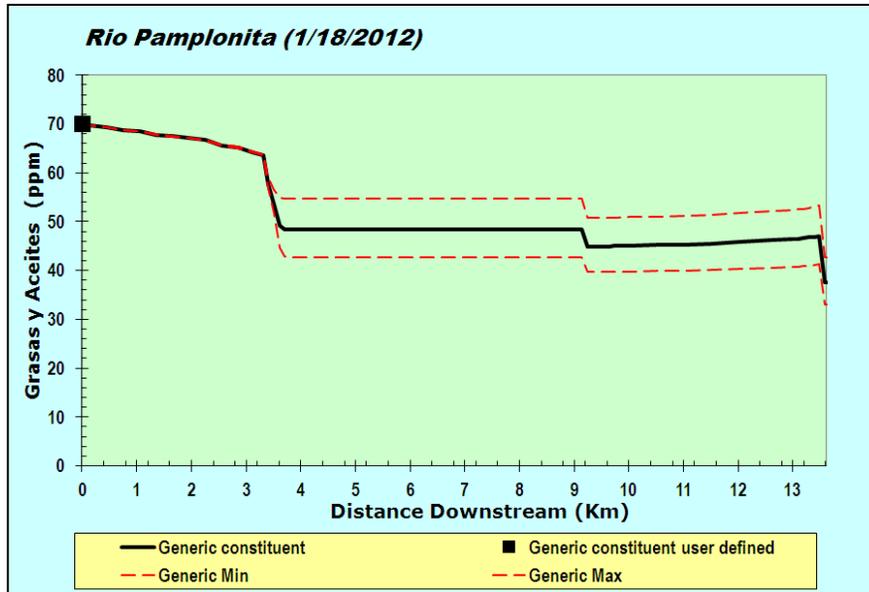
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 85. Curva de predicción de pH (3)



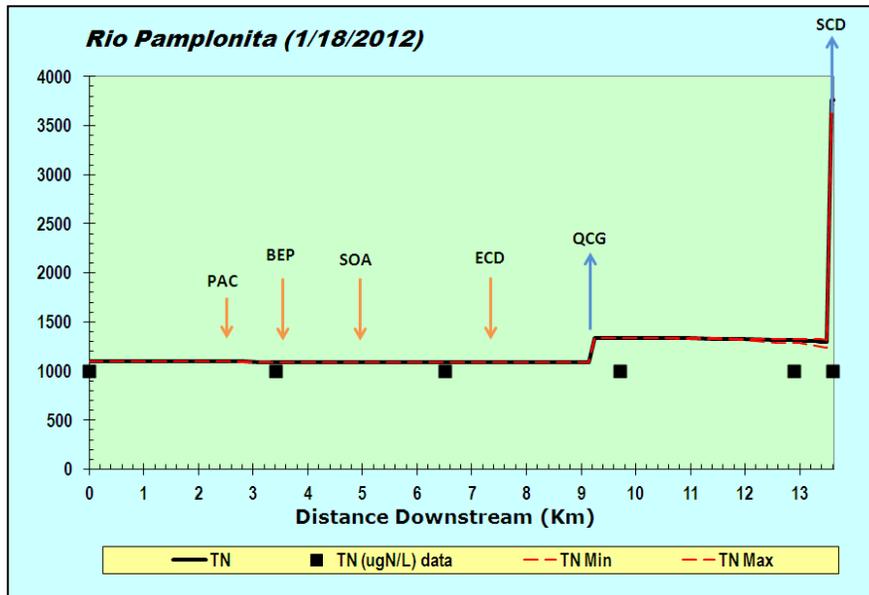
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 86. Curva de predicción de Grasas y Aceites (3)



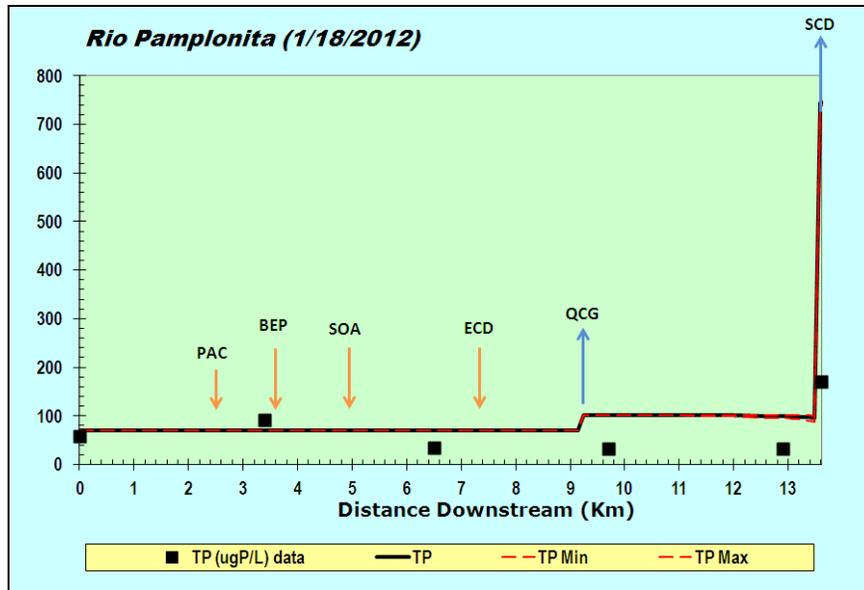
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 87. Curva de predicción de Nitrógeno Total (3)



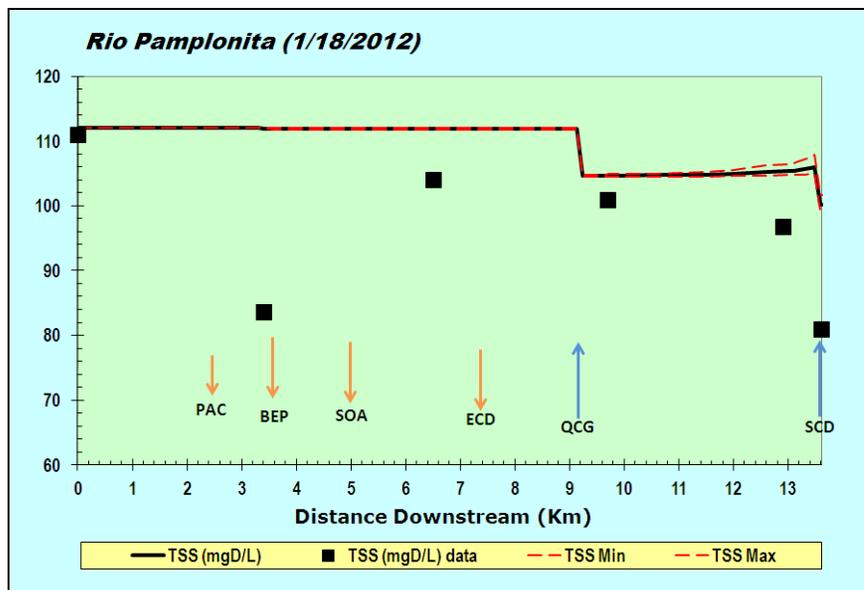
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 88. Curva de predicción de Fósforo Total (3)



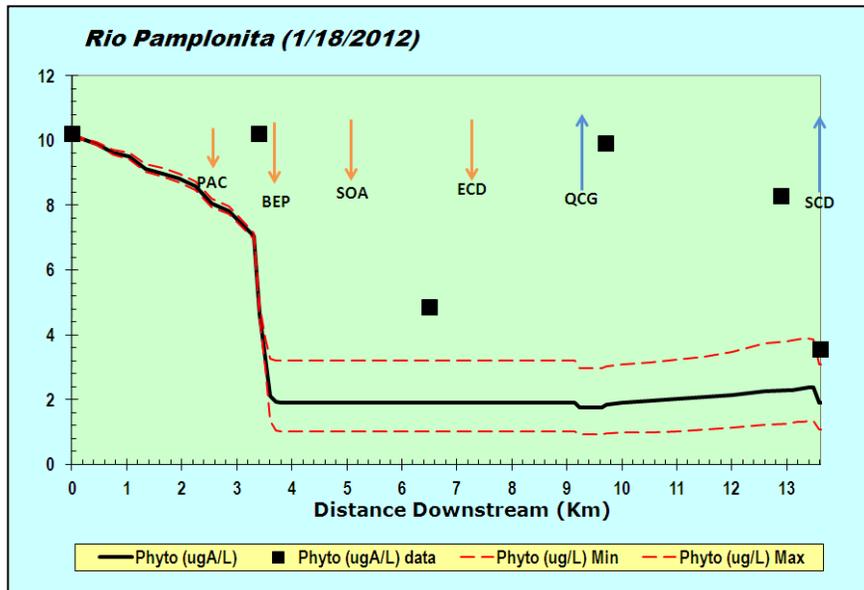
Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 89. Curva de predicción de Sólidos Suspendedos Totales (3)



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

Gráfica 90. Curva de predicción de Phytoplankton (3)



Fuente: Instituto Colombiano de Petróleos

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados fisicoquímicos evaluados en el agua superficial son comparados con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano para uso doméstico, dado en el artículo 38 del decreto 1594/84.

Las características fisicoquímicas analizadas en el agua del Río Pamplonita, entre tramo de estudio evaluado (Los Vados- Aguas Debajo de la Confluencia con la salida del Canal Duplat), cumplen en su gran mayoría con los límites establecidos en el artículo 38 del decreto 1594/84 del Ministerio de Salud. Sin embargo, desde la cabecera del tramo de estudio, se presentan elevadas concentraciones de organismos patógenos (**coliformes totales**) disueltos en el agua, donde se observa criticidad para este parámetros en períodos de lluvias (segundo semestre de los años 2010 y 2011), incumpliendo de esta forma con los valores exigidos por la legislación colombiana decreto 1594/84 en su artículos 38, criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional. Los niveles de contaminación aumentan al acercarse a los conglomerados en la capital nortesantandereana, debido a que no existen controles como es el caso de plantas residuales domésticas que permitan disminuir la carga contaminante de estos efluentes residuales, antes de su vertimiento hacia el Río Pamplonita directamente. Así mismo, durante el recorrido del tramo de estudio se identificó la presencia de actividades ganaderas y en mayor proporción agrícola, que favorecen en la contribución de contaminantes bacteriológicos en el agua del Río Pamplonita.

Los eventos donde se observa incumplimiento con los parámetros de calidad referidos en el artículo 38 del decreto 1594/84, como el caso de **pH** en el año 2007, se relacionan con las sustancias biodegradables empleadas en la limpieza de situaciones de contingencia presentadas en el segundo semestre del mismo año referido.

El determinante de **grasas y aceites**, como parámetro incluido en la modelación de estudio, no genera un efecto significativo sobre la calidad de agua después de las labores de limpieza y contingencia, al encontrarse en concentraciones inferiores a 1 mg/L. Lo anterior, percibe un bajo residual de compuestos petrogénicos que lograron alojarse de manera transitoria en remansos del cuerpo de agua y que la dinámica natural ha permitido la recuperación del cuerpo de agua.

La concentración de metales pesados relacionados con la industria petrolera (Ba, Cd, Cr, Cu, Ag, As, Se, Zn, Pb y Hg) y los expuestos en la legislación cumplen con lo exigido en el artículo 38 del Decreto 1594/84, en el tramo de estudio y la calidad de históricos evaluada sobre el Río Pamplonita.

Teniendo en cuenta las predicciones realizadas bajo el caudal ecológico (4.26 m<sup>3</sup>/s) en el Río Pamplonita es indispensable establecer caudales mínimos de extracción en la corriente, de tal forma que siempre se asegure la prevalencia del flujo mínimo de agua en época de aguas bajas.

La calidad del agua en el Río Pamplonita para el escenario de caudal mínimo del Río Pamplonita (4.26 m<sup>3</sup>/s) y caudal máximo de salida canal Duplat (1 m<sup>3</sup>/s) muestra un elevado valor de caudal aguas abajo de la salida del canal Duplat, sin

embargo, esta entrada al no encontrarse en condiciones adecuadas de calidad debido principalmente a la carga contaminante que aporta el vertimiento de aguas residuales domésticas del municipio de los Patios, alcanza a desestabilizar algunos determinantes importantes del Río, como el oxígeno disuelto y la Demanda biológica de Oxígeno, afectando de forma negativa la capacidad de autodepuración del Río Pamplonita, lo que hace evidente la necesidad de diseñar e implementar de forma urgente un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para el municipio de los Patios, de tal forma que la salida del canal Duplat mejore sus condiciones de calidad y por lo tanto, no afecte significativamente la capacidad de asimilación de este cuerpo hídrico.

Bajo el escenario de predicción 2 (Caudal mínimo del Río Pamplonita ( $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y eliminación de la salida del canal Duplat) la calidad del agua en el Río Pamplonita muestra una mejora en las concentraciones fisicoquímica y microbiológica, si desaparece la salida del canal Duplat. Lo anterior, reafirma la importancia de implementar la puesta en marcha de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas-PTAR, que permitan de forma similar a la predicha, obtener resultados favorables aguas abajo de eventuales vertimientos, permitiendo de igual manera mejorar la capacidad de autodepuración del Río Pamplonita.

Además, el comportamiento atípico presentado por el modelo Qual2kw ante la elevada concentración de coliformes totales en la salida del canal Duplat revela el alto grado de contaminación doméstica que está produciendo el vertimiento de los Patios, lo cual reafirma la necesidad de implementar un Sistema de Tratamiento para este municipio, tal y como ya se ha mencionado.

Al evaluar el impacto sobre la calidad del agua del Río Pamplonita, dada la concentración elevada de grasas y aceites en el agua se encontró que aunque la legislación colombiana es estricta exigiendo la ausencia de estos compuestos en los cuerpos hídricos, la concentración presentada en la cabecera del modelo propuesto (70 mg/L), se reduce hasta un valor de 39 mg/L en el punto más aguas abajo del tramo estudiado, es decir, disminuye un 45% la concentración de grasas y aceites para el trayecto de 13,6 km. De allí, una concentración de grasas y aceites tan elevada bajo un caudal ecológico en el Río Pamplonita requiere una mayor distancia para lograr autodepurar tal contaminante.

Teniendo en cuenta los resultados de la calibración tanto de las variables hidráulicas como de calidad de agua resulta indispensable continuar con el programa de monitoreo de calidad del Río Pamplonita con el fin de mejorar el ajuste entre los datos medidos *in situ* y los predichos por el programa Qual2kw, de tal forma que se asegure la confiabilidad del modelo para evaluar el impacto de cualquier evento, descarga o captación sobre la capacidad de asimilación de la corriente hídrica.

La capacidad de asimilación del Río Pamplonita, evaluada para las descargas puntuales caracterizadas durante esta fase de monitoreo, permiten observar los siguientes comportamientos:

- A) Para la Quebrada La Ciénaga (Km 9 + 200), que transporta una elevada concentración orgánica, representada en los parámetros de nitrógeno amoniacal y patógeno (Coliformes Totales, Coliformes Fecales), que a su vez incumplen los límites permisibles para aguas de uso doméstico (Art. 38 Dec. 1594/84), no se alcanzan a asimilar en su totalidad por el Río Pamplonita en una distancia 600 m (Aguas Debajo de la Quebrada La Ciénaga, Km 9 + 800) y a un distancia de 3600 m (Aguas arriba confluencia

entrada del canal Duplat, Km 12 + 800), debido a las concentraciones de patógenos en el agua del receptor, que superan el límite permisible de condiciones de uso doméstico. Así mismo, la calidad bacteriológica aguas debajo de la Quebrada La Ciénaga, no permite emplear el agua para condiciones agrícola, como lo expone el art. 40 del Dec. 1594/84, ya que incumple las concentraciones de patógenos cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cascara y para hortalizas de tallo corto.

- B) Para la Salida del Canal Duplat (Km 13 + 300), la capacidad asimiladora del Río Pamplonita evaluada a una distancia de 300 m (Aguas debajo de la confluencia del Canal Duplat, Km 13 + 600), se considera baja en cuanto a la remoción de patógenos, dando como resultado una baja calidad del agua para los usos domésticos y agrícola (art. 38 y art. 40 de Dec. 1594/84).

La capacidad asimiladora del Río Pamplonita no se evaluó en distancias superiores a 300 m (Aguas debajo de la confluencia del Canal Duplat, Km 13 + 600), debido a que en una distancia cercana a 300 m del punto mencionado se evidencian descargas residuales domésticas difusas y puntuales correspondientes al municipio de Cúcuta.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ J. 2010, Caracterización limnológica de las ciénagas de Arcial, El Porro y Cintura (Río san Jorge) y Baño, Charco Pescao y Pantano Bonito (Río Sinú), departamento de Córdoba. En: Colombia Diversidad Biótica IX: Ciénagas de Córdoba. Biodiversidad, Ecología y Manejo Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Pp 509 -558.

ANGRISANO, E. & KOROB, P. 1995. Trichoptera. En: Ecosistemas de aguas continentales metodologías para su estudio. Eds Loppreto & Tell. Editores del Sur Argentina. 282 p.

ARISTIZABAL, H. 2002. Los Hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras. N. 20. Editora Guadalupe, Bogotá.

CABRERA, E. HERNÁNDEZ, L. H. GÓMEZ, H. & CAÑIZARES, M. 2003. Comunicación técnica: Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. Revista de la Sociedad Química de México. Vol (47) 1: 88-92.

CAMACHO, L. A. & DÍAZ, M. 2003. Metodología para la obtención de un modelo predictivo de transporte de solutos y de calidad del agua en Ríos – Caso Río Bogotá. Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Universidad de los Andes/Instituto Cinara. 73-82 pg.

CAMACHO, L. A., RODRÍGUEZ, E. A., GELVEZ, R., GONZÁLEZ, R., MEDINA, M. & TORRES, J. 2006. Metodología para la caracterización de la capacidad de autopurificación de Ríos de montaña. I Congreso Internacional del Agua y el Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. 16 pg.

CANTERA, J., CARVAJAL, Y. & CASTRO, L. 2009. Caudal ambiental. Conceptos, experiencias y desafíos. Edición 1. Editorial Universidad del Valle. Colombia. 325 pg.

CARRILLO, E. & LOZANO, A. 2008. Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar Chromocult. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota. 82 pg.

CHAPRA, S.C. 1997. Surface Water Quality Model. Universidad de Colorado. McGraw – Hill Companies, Inc. 844 pg.

CHAPRA, S., PELLETIER, G. & TAO, H. 2008. QUAL2K: A modelling framework for simulating river and stream water quality (versión 2.11). Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

CHARBONNEAU, p., Knapp, B., 1995. A user's guide to PIKAIA 1.0 NCAR technical Note 418+IA. National Center for Atmospheric Research, Boulder.

CHIANG, S.L, JOHNSON, F.W.,1976. Low flow criteria for diversions and impoundments. *Journal of Water Resources Planning and Management Division*, 102: 227 – 238.

CHOW, V. T. 1990. *Hidráulica de canales abiertos*. McGrawHill.

CONOLLY, D. 1994. The Role of the Presymptomatic Foods Handler in a Common Source Out Break of Food Borne SRVS Gastroenteritis in a Grup of Hospitals. *Epidemiologi Infec.*,113(3): 513-21.

Ecopetrol S.A. & Ecoforest LTDA. Actualización del plan de manejo ambiental del campo Castilla de la Superintendencia de Operaciones Castilla – Chichimene SCC.

ESCLAPÉS, M. 1999. Protocolos estándares para bioensayos de toxicidad con especies acuáticas y terrestres.

ICP - A. 2011. Evaluación fisicoquímica, toxicológica e hidrobiológica del Río pamplonita, sector la Don Juana – El Cerrito. Instituto Colombiano del Petróleo Ecopetrol S.A: Abril y Diciembre de 2011.

ICP - A. 2010. Evaluación fisicoquímica, toxicológica e hidrobiológica del Río pamplonita, sector la Don Juana – El Cerrito. Instituto Colombiano del Petróleo Ecopetrol S.A: Abril y Diciembre de 2010.

ICP - A. 2009. Evaluación fisicoquímica, toxicológica e hidrobiológica del Río pamplonita, sector la Don Juana – La Gazapa. Instituto Colombiano del Petróleo Ecopetrol S.A: Junio y Diciembre 2009.

ICP. 2008. Evaluación fisicoquímica, toxicológica e hidrobiológica del Río pamplonita, sector la Don Juana – La Gazapa. Instituto Colombiano del Petróleo Ecopetrol S.A: Julio de 2008.

ICP - A. 2007. Evaluación fisicoquímica del Río Pamplonita, sector la Don Juana – El Cerrito. Instituto Colombiano del Petróleo Ecopetrol S.A: Julio de 2007.

IDEAM. 2011. Boletín Informativo sobre el Monitoreo del Fenómeno de la “Niña”. 7 pg.

ISO 6341:1996. Water quality -- Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna straus* (Cladocera, Crustacea) -- Acute toxicity test

LYNCH J., POOLE, N. 1979. Microbial Ecology.: a conceptual approach. Blackwell Scientific Publications.

MARÍN GALVÍN, R. et al. *Fisicoquímica de aguas*. Madrid: Díaz de Santos, 1999. ISBN: 84-7978-382-6. Pag. 488

NATHAN, R., GORDON, N., MCMAHON, T., FINLAYSON, B., & GIPPEL, C. 2007. Program AQUAPACK version 1.05.

OECD-201. 2006. Guidelines for the testing of chemicals Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test.

OECD-202. 2004. Guidelines for the testing of chemicals *Daphnia* sp. immobilization test.

OECD-203. 1992. Guidelines for the testing of chemicals fish. Acute Toxicity Test.

POSADA, J. & ROLDÁN, G. 2003. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25(1) 2003: 169-192.

PELLETIER, G., CHAPRA, S. & TAO, H. 2006. QUAL2KW (versión 5.1): Stream Water Quality Model. Department of Ecology and Tufts University. Disponible en: <http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models.html>

RAMÍREZ G., VIÑA V, Alberto & Gerardo. 1998. Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Editorial de la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 1ª edición. 293 pp. Santafé de Bogotá, Colombia.

RODIER, J. 1998. Análisis de las aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar. Edición 1. Ed Omega, S:A: plato 26. Barcelona.

ROMERO, J. A. 2005. Calidad del Agua. Segunda edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 958 – 8060 – 53 – 2. 468 pg.

ROMERO, J. A. 2000. Tratamiento de aguas residuales. Segunda edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 958 – 8060 – 13 – 3. 59 pg.

ROLL, B. & FUJIOKA, R. 1997. Sources of faecal indicator bacteria in a brackish, tropical stream and their impact on recreational water quality. *Water Science and Technology*. 35 (11-12): 179-186.

SÁNCHEZ, O., HERZIG, M., PETERS, E., MÁRQUEZ, R. & ZAMBRANO, L. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales -Instituto Nacional de Ecología. Mexico DF., 124 pag.

SCHUCH, R. & SLATER, J. 1995. True bugs of the World (Hemiptera: Heteroptera): Classification and Natural History. Comstock Publishing Associates, Nueva York, 336 p.

UNAL. 2007. Metodología para la Estimación de Caudal en Proyectos Licenciados. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Grupo de Investigación en Recursos Hídricos GIREH. Contrato No. 0076-08 del Convenio Interadministrativo OEI – MAVDT No 004/07 de 2007. 135 pp.

WEHR, J. & SHEATH, R. 2003. Fresh water Algae of North America. Academic press. San Diego. p935.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A. Tabla de Consenso Internacional Años El Niño y La Niña (Adaptada de Null 2003, tomado de UNAL 2007)**

Invierno	WRCC	CDC	CPC	MEI	Consenso
1950-51	C+	C	C	C	La Niña
1951-52	W+		W-		
1952-53					
1953-54	W		W-		
1954-55			C	C-	
1955-56	C+		C+	C	Fuerte La Niña
1956-57	C		C-	C-	Suave La Niña
1957-58	W	W	W+	W	El Niño
1958-59			W+	W-	
1959-60					
1960-61					
1961-62				C-	
1962-63				C-	
1963-64	W		W-		
1964-65	C		C	C-	La Niña
1965-66	W+	W	W	W	El Niño
1966-67				C-	
1967-68				C-	
1968-69			W	W-	
1969-70	W		W		
1970-71	C		C	C	La Niña
1971-72	C		C-	C-	Suave La Niña
1972-73	W+	W	W+	W	Fuerte El Niño
1973-74	C+	C	C+	C+	Fuerte La Niña
1974-75	C		C-	C-	Suave La Niña

Invierno	WRCC	CDC	CPC	MEI	Consenso
1975-76	C+	C	C+	C	Fuerte La Niña
1976-77	W		W-		
1977-78	W+		W-	W-	El Niño
1978-79					
1979-80			W-	W-	
1980-81					
1981-82					
1982-83	W+	W	W+	W+	Fuerte El Niño
1983-84			C-		
1984-85			C-	C-	
1985-86					
1986-87			W	W	
1987-88	W+	W-	W	W-	El Niño
1988-89	C+	C-	C+	C	Fuerte La Niña
1989-90					
1990-91			W+		
1991-92	W	W	W+	W+	Fuerte El Niño
1992-93	W		W+	W-	El Niño
1993-94	W+		W		
1994-95	W+		W	W-	El Niño
1995-96			C-	C-	
1996-97					
1997-98	W+	W	W+	W+	Fuerte El Niño
1998-99	C+		C	C-	La Niña
1999-00			C	C	
2000-01	C	C	C-	C-	La Niña
2001-02					
2002-03	W	W	W	W	El Niño
2003-04					



















### B.4. Entrada al Canal Duplat.

FORMATO MEDICION DE CAUDAL POR MICROMOLINETE OTT C2'10.150'															
SERVICIOS DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO CENTRO DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS															
UST-CRM-F-034				Elaborado 31/01/2011				Versión 2							
ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)															
<b>HELICE Nº 4</b>		<b>ECUACIONES:</b>		<b>HELICE Nº 5</b>		<b>ECUACIONES:</b>									
$n \leq 0,290$		$v = 0,4049 \cdot n + 0,039$		$n \leq 10,00$		$v = 0,0562 \cdot n + 0,038$									
$0,290 \leq n \leq 0,85$		$v = 0,4931 \cdot n + 0,013$		$10,00 \leq n < 17,35$		$v = 0,0544 \cdot n + 0,056$									
$0,85 \leq n \leq 4,93$		$v = 0,5073 \cdot n + 0,001$													
FECHA MONITOREO: 18 DE ENERO DEL 2012								EQUIPO: MICROMOLINETE OTT C2'10.150							
LUGAR O PLANTA: RIO PAMPLONITA								HELICE Nº: 4							
PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA AL CANAL DUPLAT								MEDICION (%Profundidad): 40%							
Punto de muestreo	Base Total (m)	#. De seccion	Distancia desde la orrilla al punto de aforo	Profundidad total del punto de aforo	Numero de Revoluciones del rotor	Tiempo de medicion del rotor	Ancho parcial	Altura del rotor a partir del piso. % de profundidad	Revoluciones /segundo del rotor (n)	Velocidad promedio (Ecuacion Promedio según Nº de Ellice)	Velocidad media	Profundidad media	Sección parcial. Area	Caudal Por Punto	Caudal
			(m)	(m)	(rev)	(s)	(m)	(m)	(rev/s)	(m2/s)	(m/s)	(m)	(m²)	m3/s	(L/s)
ENTRADA AL CANAL DUPLAT	5.76	8	0.00	0.03	0.00	50.0	0.00	0.01	0.00	0.04	0.11	0.26	0.00	0.00	0.00
			0.72	0.48	16.4	50.0	0.72	0.19	0.33	0.17	0.18	0.53	0.38	0.07	69.78
			1.44	0.57	18.4	50.0	0.72	0.23	0.37	0.19	0.23	0.57	0.41	0.09	94.78
			2.16	0.57	25.8	50.0	0.72	0.23	0.52	0.27	0.27	0.59	0.42	0.11	112.98
			2.88	0.61	25.5	50.0	0.72	0.24	0.51	0.26	0.23	0.63	0.45	0.10	102.15
			3.60	0.64	17.9	50.0	0.72	0.256	0.36	0.19	0.20	0.66	0.47	0.09	93.34
			4.32	0.67	19.6	50.0	0.72	0.27	0.39	0.21	0.12	0.63	0.45	0.06	55.63
			5.04	0.59	0.0	50.0	0.72	0.24	0.00	0.04	0.04	0.31	0.22	0.01	8.70
			5.76	0.03	0.0	50.0	0.72	0.012	0.00	0.04	0.02	0.02	0.01	0.00	0.21
CAUDAL TOTAL (L/s):														538	
RESPONSABLES: GUSTAVO NARANJO															
OBSERVACIONES: El caudal fue medido con micromolinete															

FORMATO MEDICION DE CAUDAL POR MICROMOLINETE OTT C2'10.150'																																		
SERVICIOS DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO CENTRO DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																																		
UST-CRM-F-034					Elaborado 31/01/2011					Versión 2																								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)</th> </tr> <tr> <th style="width: 25%;">HELICE Nº 4</th> <th style="width: 25%;">ECUACIONES:</th> <th style="width: 25%;">HELICE Nº 5</th> <th style="width: 25%;">ECUACIONES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>n &lt;= 0.290</td> <td>v = 0.4049*n+0.039</td> <td>n &lt;= 10,00</td> <td>v = 0.0562*n+0.038</td> </tr> <tr> <td>0.290 &lt;= n &lt;= 0.85</td> <td>v = 0.4831*n+0.013</td> <td>10,00 &lt;= n &lt;= 17,35</td> <td>v = 0.0544*n+0.056</td> </tr> <tr> <td>0.85 &lt;= n &lt;= 4,93</td> <td>v = 0.5073*n+0.001</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>															ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)				HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:	n <= 0.290	v = 0.4049*n+0.039	n <= 10,00	v = 0.0562*n+0.038	0.290 <= n <= 0.85	v = 0.4831*n+0.013	10,00 <= n <= 17,35	v = 0.0544*n+0.056	0.85 <= n <= 4,93	v = 0.5073*n+0.001		
ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)																																		
HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:																															
n <= 0.290	v = 0.4049*n+0.039	n <= 10,00	v = 0.0562*n+0.038																															
0.290 <= n <= 0.85	v = 0.4831*n+0.013	10,00 <= n <= 17,35	v = 0.0544*n+0.056																															
0.85 <= n <= 4,93	v = 0.5073*n+0.001																																	
FECHA MONITOREO: 19 DE ENERO DEL 2012										EQUIPO: MICROMOLINETE OTT C2'10.150																								
LUGAR O PLANTA: RIO PAMPLONITA										HELICE N°: 4																								
PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA AL CANAL DUPLAT										MEDICION (%Profundidad): 40%																								
Punto de muestreo	Base Total (m)	# De seccion	Distancia desde la orilla al punto de aforo	Profundidad total del punto de aforo	Numero de Revoluciones del rotor	Tiempo de medicion del rotor	Ancho parcial	Altura del rotor a partir del piso. % de profundidad	Revoluciones /segundo del rotor (n)	Velocidad promedio (Ecuacion Promedio según N° de Elice)	Velocidad media	Profundidad media	Sección parcial. Area	Caudal Por Punto	Caudal																			
			( m )	( m )	( rev )	( s )	( m )	( m )	( rev/s )	( m/s )	( m/s )	( m )	( m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /s	( L/s )																			
ENTRADA AL CANAL DUPLAT	5.8	8	0.00	0.03	0.00	50.0	0.00	0.01	0.00	0.04	0.09	0.25	0.00	0.00	0.00																			
			0.72	0.46	13.8	50.0	0.72	0.18	0.28	0.15	0.16	0.51	0.37	0.06	57.22																			
			1.44	0.56	15.0	50.0	0.72	0.22	0.30	0.16	0.19	0.56	0.40	0.07	74.83																			
			2.16	0.56	20.0	50.0	0.72	0.22	0.40	0.21	0.23	0.60	0.43	0.10	97.67																			
			2.88	0.63	23.6	50.0	0.72	0.25	0.47	0.25	0.22	0.63	0.45	0.10	98.05																			
			3.60	0.63	17.6	50.0	0.72	0.252	0.35	0.19	0.19	0.64	0.46	0.09	87.56																			
			4.32	0.65	18.3	50.0	0.72	0.26	0.37	0.19	0.14	0.58	0.41	0.06	58.18																			
			5.04	0.50	6.0	50.0	0.72	0.20	0.12	0.09	0.06	0.26	0.19	0.01	11.85																			
			5.76	0.02	0.0	50.0	0.72	0.008	0.00	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.14																		
CAUDAL TOTAL (L/s):													486																					
RESPONSABLES: GUSTAVO NARANJO																																		
OBSERVACIONES: El caudal fue medido con micromolinetete																																		

FORMATO MEDICION DE CAUDAL POR MICROMOLINETE OTT C2'10.150'																																			
SERVICIOS DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO CENTRO DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																																			
UST-CRM-F-034				Elaborado 31/01/2011				Versión 2																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)</th> </tr> <tr> <th style="width: 25%;">HELICE Nº 4</th> <th style="width: 25%;">ECUACIONES:</th> <th style="width: 25%;">HELICE Nº 5</th> <th style="width: 25%;">ECUACIONES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>n \leq 0,290</math></td> <td><math>v = 0,4049n + 0,039</math></td> <td><math>n \leq 10,00</math></td> <td><math>v = 0,0562n + 0,038</math></td> </tr> <tr> <td><math>0,290 \leq n \leq 0,85</math></td> <td><math>v = 0,4931n + 0,013</math></td> <td><math>10,00 \leq n &lt; 17,35</math></td> <td><math>v = 0,0544n + 0,056</math></td> </tr> <tr> <td><math>0,85 \leq n &lt; 4,93</math></td> <td><math>v = 0,5073n + 0,001</math></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)				HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:	$n \leq 0,290$	$v = 0,4049n + 0,039$	$n \leq 10,00$	$v = 0,0562n + 0,038$	$0,290 \leq n \leq 0,85$	$v = 0,4931n + 0,013$	$10,00 \leq n < 17,35$	$v = 0,0544n + 0,056$	$0,85 \leq n < 4,93$	$v = 0,5073n + 0,001$		
ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)																																			
HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:																																
$n \leq 0,290$	$v = 0,4049n + 0,039$	$n \leq 10,00$	$v = 0,0562n + 0,038$																																
$0,290 \leq n \leq 0,85$	$v = 0,4931n + 0,013$	$10,00 \leq n < 17,35$	$v = 0,0544n + 0,056$																																
$0,85 \leq n < 4,93$	$v = 0,5073n + 0,001$																																		
FECHA MONITOREO: 20 DE ENERO DEL 2012								EQUIPO: MICROMOLINETE OTT C2'10.150																											
LUGAR O PLANTA: RIO PAMPLONITA								HELICE Nº: 4																											
PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA AL CANAL DUPLAT								MEDICION (%Profundidad): 40%																											
Punto de muestreo	Base Total (m)	#. De seccion	Distancia desde la orilla al punto de aforo	Profundidad total del punto de aforo	Numero de Revoluciones del rotor	Tiempo de medicion del rotor	Ancho parcial	Altura del rotor a partir del piso. % de profundidad	Revoluciones /segundo del rotor (n)	Velocidad promedio (Ecuacion Promedio según Nº de Elice)	Velocidad media	Profundidad media	Sección parcial. Area	Caudal Por Punto	Caudal																				
			(m)	(m)	(rev)	(s)	(m)	(m)	(rev/s)	(m2/s)	(m/s)	(m)	(m <sup>2</sup> )	m3/s	(L/s)																				
ENTRADA AL CANAL DUPLAT	5.8	8	0.00	0.06	0.00	50.0	0.00	0.02	0.00	0.04	0.10	0.27	0.00	0.00	0.00																				
			0.72	0.48	14.7	50.0	0.72	0.19	0.29	0.16	0.18	0.53	0.38	0.07	69.52																				
			1.44	0.58	19.6	50.0	0.72	0.23	0.39	0.21	0.22	0.58	0.42	0.09	92.53																				
			2.16	0.58	22.7	50.0	0.72	0.23	0.45	0.24	0.24	0.61	0.44	0.11	106.41																				
			2.88	0.64	23.8	50.0	0.72	0.26	0.48	0.25	0.21	0.65	0.46	0.10	99.47																				
			3.60	0.65	17.0	50.0	0.72	0.260	0.34	0.18	0.20	0.66	0.47	0.09	93.80																				
			4.32	0.66	20.7	50.0	0.72	0.26	0.41	0.22	0.13	0.58	0.42	0.05	53.48																				
			5.04	0.50	0.0	50.0	0.72	0.20	0.00	0.04	0.04	0.28	0.20	0.01	7.72																				
			5.76	0.05	0.0	50.0	0.72	0.020	0.00	0.04	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.35																			
CAUDAL TOTAL (L/s):														523																					
RESPONSABLES: GUSTAVO NARANJO																																			
OBSERVACIONES: El caudal fue medido con micromolinetete																																			







## B.6. Aguas Abajo de Quebrada La Ciénaga.

FORMATO MEDICION DE CAUDAL POR CORRIENTE ACÚSTICO Y DIGITAL																		
SERVICIOS DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO																		
CENTRO DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																		
UST-CRM-F-032						31/01/2011						Versión 2						
 Area de un triángulo = $\frac{b \times h}{2}$			 Area de un rectángulo = $b \times h$			 Area del Trapecio = $\frac{b_2+b_1}{2} \times h$												
FECHA DE AFORO: 18 de Enero 2012												EQUIPO: ADC OTT						
LUGAR O PLANTA: Rio Pamplonita												ANCHO DE LA CORRIENTE: 61,5 m						
PUNTO DE MUESTREO: A. abajo Qda La Cienaga												MEDICION (% Profundidad): 40%						
DATOS DE CAMPO				DATOS PARA CALCULO DEL AREA				DATOS CALCULADOS							CAUDAL			
Base X (m)	Profundidad Pt (m)	Velocidad Parcial al 40% (m/s)***	Velocidad Parcial al 20% (m/s)***	Velocidad Parcial al 80% (m/s)***	Base Mayor Trapecio (m)	Base Menor Trapecio (m)	Altura del rectángulo (m)	Altura del triángulo (m)	Base entre abcisa y abcisa (m)	Area del rectángulo m2	Area del triángulo m2	Area del Trapecio (m2)	Velocidad Promedio entre 20-80% de Profundidad (m/s)	Velocidad Real (m/s)	Area Total (m2)	CAUDAL m3/s	CAUDAL L/s	
0.00	0.00	0.000							0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.00	0.30	0.330						0.300	5.00	0.000	0.750	0.000	0.000	0.330	0.750	0.248	247.500	
10.00	0.55	0.530			0.550	0.30			5.00	0.000	0.000	2.125	0.000	0.530	2.125	1.126	1126.250	
15.00	0.57	0.470			0.570	0.55			5.00	0.000	0.000	2.800	0.000	0.470	2.800	1.316	1316.000	
20.00	0.50	0.500			0.570	0.50			5.00	0.000	0.000	2.675	0.000	0.500	2.675	1.338	1337.500	
25.00	0.40	0.670			0.500	0.40			5.00	0.000	0.000	2.250	0.000	0.670	2.250	1.508	1507.500	
30.00	0.50	0.880			0.500	0.40			5.00	0.000	0.000	2.250	0.000	0.880	2.250	1.980	1980.000	
35.00	0.50	0.680					0.500		5.00	2.500	0.000	0.000	0.000	0.680	2.500	1.700	1700.000	
40.00	0.35	0.820			0.500	0.35			5.00	0.000	0.000	2.125	0.000	0.820	2.125	1.743	1742.500	
45.00	0.32	0.520			0.350	0.32			5.00	0.000	0.000	1.675	0.000	0.520	1.675	0.871	871.000	
50.00	0.360	0.420			0.360	0.32			5.00	0.000	0.000	1.700	0.000	0.420	1.700	0.714	714.000	
55.00	0.160	0.510			0.360	0.160			5.00	0.000	0.000	1.300	0.000	0.510	1.300	0.663	663.000	
60.00	0.120	0.370			0.160	0.120			5.00	0.000	0.000	0.700	0.000	0.370	0.700	0.259	259.000	
61.50	0.000	0.660					0.1200		1.50	0.000	0.090	0.000	0.000	0.660	0.090	0.059	59.400	
*** Velocidad medida en la mitad de cada segmento												CAUDAL TOTAL (L/s)				13524		
RESPONSABLES: GUSTAVO NARANJO																		
OBSERVACIONES: Se observo crecido el rio por lluvias en dias anteriores a la medicion.																		











### B.8. Salida del Canal Duplat.

FORMATO MEDICION DE CAUDAL POR MICROMOLINETE OTT C2'10.150'																																			
SERVICIOS DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO CENTRO DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																																			
UST-CRM-F-034				Elaborado 31/01/2011				Versión 2																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)</th> </tr> <tr> <th style="width: 25%;">HELICE Nº 4</th> <th style="width: 25%;">ECUACIONES:</th> <th style="width: 25%;">HELICE Nº 5</th> <th style="width: 25%;">ECUACIONES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>n &lt;= 0,290</td> <td>v = 0.4049*n+0.039</td> <td>n &lt;= 10,00</td> <td>v = 0.0562*n+0.038</td> </tr> <tr> <td>0,290 &lt;= n &lt;= 0,85</td> <td>v = 0.4931*n+0.013</td> <td>10,00 &lt;= n &lt; 17,35</td> <td>v = 0.0544*n+0.056</td> </tr> <tr> <td>0,85 &lt;= n &lt;= 4,93</td> <td>v = 0.5073*n+0.001</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)				HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:	n <= 0,290	v = 0.4049*n+0.039	n <= 10,00	v = 0.0562*n+0.038	0,290 <= n <= 0,85	v = 0.4931*n+0.013	10,00 <= n < 17,35	v = 0.0544*n+0.056	0,85 <= n <= 4,93	v = 0.5073*n+0.001		
ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)																																			
HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:																																
n <= 0,290	v = 0.4049*n+0.039	n <= 10,00	v = 0.0562*n+0.038																																
0,290 <= n <= 0,85	v = 0.4931*n+0.013	10,00 <= n < 17,35	v = 0.0544*n+0.056																																
0,85 <= n <= 4,93	v = 0.5073*n+0.001																																		
FECHA MONITOREO: 18 DE ENERO DEL 2012								EQUIPO: MICROMOLINETE OTT C2'10.150																											
LUGAR O PLANTA: RIO PAMPLONITA								HELICE Nº: 4																											
PUNTO DE MUESTREO: Salida del Canal Duplat								MEDICION (%Profundidad): 40%																											
Punto de muestreo	Base Total (m)	# De seccion	Distancia desde la orrilla al punto de aforo	Profundidad total del punto de aforo	Numero de Revoluciones del rotor	Tiempo de medicion del rotor	Ancho parcial	Altura del rotor a partir del piso. % de profundidad	Revoluciones /segundo del rotor (n)	Velocidad promedio (Ecuacion Promedio según N° de Ellice)	Velocidad media	Profundidad media	Sección parcial. Area	Caudal Por Punto	Caudal																				
			( m )	( m )	( rev )	(s)	(m)	( m )	(rev/t)	( m2/s)	(m/s)	(m)	( m² )	m3/s	( L/s)																				
Salida del Canal Duplat	5.8	8	0.00	0.08	0.00	50.0	0.00	0.03	0.00	0.04	0.29	0.18	0.00	0.00	0.00																				
			0.50	0.27	61.9	50.0	0.50	0.11	1.24	0.54	0.60	0.31	0.16	0.09	92.46																				
			1.00	0.35	75.8	50.0	0.50	0.14	1.52	0.65	0.61	0.34	0.17	0.10	101.48																				
			1.50	0.32	64.2	50.0	0.50	0.13	1.28	0.56	0.50	0.29	0.15	0.07	72.76																				
			2.00	0.26	50.1	50.0	0.50	0.10	1.00	0.44	0.47	0.24	0.12	0.06	56.96																				
			2.50	0.22	57.5	50.0	0.50	0.088	1.15	0.50	0.47	0.25	0.12	0.06	57.70																				
			3.00	0.27	49.2	50.0	0.50	0.108	0.98	0.44	0.47	0.25	0.12	0.06	57.95																				
			3.50	0.22	58.0	50.0	0.50	0.09	1.16	0.51	0.45	0.21	0.11	0.05	47.08																				
			4.00	0.20	43.1	50.0	0.50	0.080	0.86	0.39	0.21	0.15	0.08	0.02	16.01																				
			4.50	0.10	0.00	50.0	0.50	0.04	0.00	0.04	0.02	0.05	0.03	0.00	0.49																				
CAUDAL TOTAL (L/s):														503																					
RESPONSABLES: GUSTAVO NARANJO																																			
OBSERVACIONES: El caudal fue medido con micromolinete																																			

FORMATO MEDICION DE CAUDAL POR MICROMOLINETE OTT C2'10.150'																																			
SERVICIOS DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO CENTRO DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																																			
UST-CRM-F-034				Elaborado 31/01/2011				Versión 2																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)</th> </tr> <tr> <th>HELICE Nº 4</th> <th>ECUACIONES:</th> <th>HELICE Nº 5</th> <th>ECUACIONES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>n =&lt; 0,290</td> <td>v = 0.4049*n+0.039</td> <td>n =&lt; 10,00</td> <td>v = 0.0562*n+0.038</td> </tr> <tr> <td>0,290 =&lt; n =&lt; 0,85</td> <td>v = 0.4931*n+0.013</td> <td>10,00 =&lt; n &lt; 17,35</td> <td>v = 0.0544*n+0.056</td> </tr> <tr> <td>0,85 =&lt; n =&lt; 4,93</td> <td>v = 0.5073*n+0.001</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)				HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:	n =< 0,290	v = 0.4049*n+0.039	n =< 10,00	v = 0.0562*n+0.038	0,290 =< n =< 0,85	v = 0.4931*n+0.013	10,00 =< n < 17,35	v = 0.0544*n+0.056	0,85 =< n =< 4,93	v = 0.5073*n+0.001		
ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)																																			
HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:																																
n =< 0,290	v = 0.4049*n+0.039	n =< 10,00	v = 0.0562*n+0.038																																
0,290 =< n =< 0,85	v = 0.4931*n+0.013	10,00 =< n < 17,35	v = 0.0544*n+0.056																																
0,85 =< n =< 4,93	v = 0.5073*n+0.001																																		
FECHA MONITOREO: 19 DE ENERO DEL 2012										EQUIPO: MICROMOLINETE OTT C2'10.150																									
LUGAR O PLANTA: RIO PAMPLONITA										HELICE Nº: 4																									
PUNTO DE MUESTREO: Salida del Canal Duplat										MEDICION (%Profundidad): 40%																									
Punto de muestreo	Base Total (m)	#. De seccion	Distancia desde la orrilla al punto de aforo	Profundidad total del punto de aforo	Numero de Revoluciones del rotor	Tiempo de medicion del rotor	Ancho parcial	Altura del rotor a partir del piso. % de profundidad	Revoluciones /segundo del rotor (n)	Velocidad promedio (Ecuacion Promedio segun Nº de Elice)	Velocidad media	Profundidad media	Sección parcial. Area	Caudal Por Punto	Caudal																				
			(m)	(m)	(rev)	(s)	(m)	(m)	(rev/s)	(m2/s)	(m/s)	(m)	(m <sup>2</sup> )	m3/s	(L/s)																				
Salida del Canal Duplat	5.8	8	0.00	0.08	0.00	50.0	0.00	0.03	0.00	0.04	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00																				
			0.50	0.27	61.9	50.0	0.50	0.11	1.24	0.63	0.70	0.31	0.16	0.11	108.43																				
			1.00	0.35	75.8	50.0	0.50	0.14	1.52	0.77	0.71	0.34	0.17	0.12	119.13																				
			1.50	0.32	64.2	50.0	0.50	0.13	1.28	0.65	0.58	0.29	0.15	0.08	84.22																				
			2.00	0.26	50.1	50.0	0.50	0.10	1.00	0.51	0.55	0.24	0.12	0.07	65.62																				
			2.50	0.22	57.5	50.0	0.50	0.088	1.15	0.58	0.54	0.25	0.12	0.07	66.43																				
			3.00	0.27	49.2	50.0	0.50	0.108	0.98	0.50	0.54	0.25	0.12	0.07	66.74																				
			3.50	0.22	58.0	50.0	0.50	0.09	1.16	0.59	0.51	0.21	0.11	0.05	53.96																				
			4.00	0.20	43.1	50.0	0.50	0.080	0.86	0.44	0.24	0.15	0.08	0.02	17.90																				
			4.50	0.10	0.00	50.0	0.50	0.04	0.00	0.04	0.02	0.05	0.03	0.00	0.49																				
<b>CAUDAL TOTAL (L/s):</b>														<b>583</b>																					
RESPONSABLES: GUSTAVO NARANJO																																			
OBSERVACIONES: El caudal fue medido con micromolinete																																			

FORMATO MEDICION DE CAUDAL POR MICROMOLINETE OTT C2'10.150'																																		
SERVICIOS DE LABORATORIO Y PLANTAS PILOTO CENTRO DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																																		
UST-CRM-F-034					Elaborado 31/01/2011					Versión 2																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)</th> </tr> <tr> <th>HELICE Nº 4</th> <th>ECUACIONES:</th> <th>HELICE Nº 5</th> <th>ECUACIONES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>n &lt;= 0,290</td> <td>v = 0.4049*n+0.039</td> <td>n &lt;= 10,00</td> <td>v = 0.0562*n+0.038</td> </tr> <tr> <td>0,290 &lt;= n &lt;= 0,85</td> <td>v = 0.4931*n+0.013</td> <td>10,00 &lt;= n &lt; 17,35</td> <td>v = 0.0544*n+0.056</td> </tr> <tr> <td>0,85 &lt;= n &lt;= 4,93</td> <td>v = 0.5073*n+0.001</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>															ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)				HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:	n <= 0,290	v = 0.4049*n+0.039	n <= 10,00	v = 0.0562*n+0.038	0,290 <= n <= 0,85	v = 0.4931*n+0.013	10,00 <= n < 17,35	v = 0.0544*n+0.056	0,85 <= n <= 4,93	v = 0.5073*n+0.001		
ECUACIONES VELOCIDAD PROMEDIO (VP)																																		
HELICE Nº 4	ECUACIONES:	HELICE Nº 5	ECUACIONES:																															
n <= 0,290	v = 0.4049*n+0.039	n <= 10,00	v = 0.0562*n+0.038																															
0,290 <= n <= 0,85	v = 0.4931*n+0.013	10,00 <= n < 17,35	v = 0.0544*n+0.056																															
0,85 <= n <= 4,93	v = 0.5073*n+0.001																																	
FECHA MONITOREO: 20 DE ENERO DEL 2012										EQUIPO: MICROMOLINETE OTT C2'10.150																								
LUGAR O PLANTA: RIO PAMPLONITA										HELICE Nº: 4																								
PUNTO DE MUESTREO: Salida del Canal Duplat										MEDICION (%Profundidad): 40%																								
Punto de muestreo	Base Total (m)	#. De seccion	Distancia desde la orrilla al punto de aforo	Profundidad total del punto de aforo	Numero de Revoluciones del rotor	Tiempo de medicion del rotor	Ancho parcial	Altura del rotor a partir del piso. % de profundidad	Revoluciones /segundo del rotor (n)	Velocidad promedio (Ecuacion Promedio según N° de Elice)	Velocidad media	Profundidad media	Sección parcial. Area	Caudal Por Punto	Caudal																			
			(m)	(m)	(rev)	(s)	(m)	(m)	(rev/t)	(m2/s)	(m/s)	(m)	(m²)	m3/s	(L/s)																			
Salida del Canal Duplat	5.8	8	0.00	0.08	0.00	50.0	0.00	0.03	0.00	0.04	0.31	0.19	0.00	0.00	0.00																			
			0.50	0.30	57.5	50.0	0.50	0.12	1.15	0.58	0.68	0.40	0.20	0.14	135.04																			
			1.00	0.50	75.4	50.0	0.50	0.20	1.51	0.77	0.75	0.42	0.21	0.16	158.09																			
			1.50	0.34	72.8	50.0	0.50	0.14	1.46	0.74	0.71	0.31	0.16	0.11	109.61																			
			2.00	0.28	66.4	50.0	0.50	0.11	1.33	0.67	0.78	0.27	0.13	0.10	103.98																			
			2.50	0.25	88.1	50.0	0.50	0.100	1.76	0.89	0.73	0.27	0.13	0.10	97.13																			
			3.00	0.28	56.2	50.0	0.50	0.112	1.12	0.57	0.59	0.25	0.13	0.07	73.24																			
			3.50	0.22	59.1	50.0	0.50	0.09	1.18	0.60	0.53	0.24	0.12	0.06	61.75																			
			4.00	0.25	44.3	50.0	0.50	0.100	0.89	0.45	0.24	0.16	0.08	0.02	18.97																			
			4.50	0.06	0.00	50.0	0.50	0.02	0.00	0.04	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.29																		
<b>CAUDAL TOTAL (L/s):</b>														<b>758</b>																				
RESPONSABLES: GUSTAVO NARANJO																																		
OBSERVACIONES: El caudal fue medido con micromolinete																																		





