

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RÍO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA



INFORME FINAL
NEIVA, DICIEMBRE DE 2014

ENTIDADES PARTICIPANTES



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO
MAGDALENA- CAM

CARLOS ALBERTO CUELLAR MEDINA
Director

JUAN CARLOS ORTIZ
Subdirector de Regulación y Calidad Ambiental

CARLOS ALBERTO VARGAS MUÑOZ
Interventor contrato No. 0312 de 2013



FUNDACIÓN DESARROLLO DE LAS INGENIERIAS Y
CIENCIAS DE LA SALUD PARA LA PROYECCIÓN
SOCIAL – “FUNDISPROS”

OSCAR EDUARDO GUTIERREZ OLAYA
Director Ejecutivo – Representante Legal

MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO
Asesor Convenio



EQUIPO DE TRABAJO

OSCAR EDUARDO GUTIERREZ PERDOMO
Director Ejecutivo – Representante Legal FUNDISROS

MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO
Asesor general todas las áreas y coordinador general del proyecto

JUAN CRISTOBAL SIERRA SUAZA
Profesional de Apoyo en Cartografía y SIG
GABRIELA VARGAS TAMAYO
Aux. en Cartografía y SIG

MICHEL ALEXANDER CIFUENTES GUIO
Profesional de apoyo Hidrología
KAROL LORENA MENDEZ CASTRO
Profesional de apoyo Hidrología
ANGELA FERNANDA RAMOS
Profesional de apoyo Hidrología

JOHNNY GUTIERRES MARROQUIN
Profesional de apoyo área de Agrología – Suelos

LUISA FERNANDA SOLORZANO GALINDO
Auxiliar en el área Ambiental y Calidad de aguas

MARISELA ROGELES
Auxiliar en todas las áreas

MAXGENDER BARREIRO
JORGE ELIECER BARREIRO
SILVIA PATRICIA CANO PERDOMO
GUSTAVO ADOLFO DELGADO BARALT
CARLOS MARIO LOPEZ
JUAN ROJAS MUÑOZ
JAIME MOSQUERA ANACONA
Profesionales de apoyo en campo

YENNY ANDREA GARZON
Jefe departamento financiero

ANIBAL ANDRES CHARRY BRESAN GONZALES
Profesional de apoyo área jurídica

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	¡Error! Marcador no definido.
OBJETIVO GENERAL.....	¡Error! Marcador no definido.
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
1. DECLARATORIA.....	1
1.1. Publicación de providencias en la que se establece el Ordenamiento del Recurso hídrico de la corriente de río Villavieja que discurre por los municipios de Tello y Villavieja.....	1
1.1.1. Socializaciones	3
1.2 Validación y recopilación de la información existente	3
1.2.1. Solicitud y recopilación de la información básica:.....	3
1.2.2. Consulta de legislación existente	4
2. DIAGNÓSTICO	6
2.1. LOCALIZACIÓN DE USUARIOS, CAUCE PRINCIPAL DEL RIO, CONDUCCIONES PRIMARIAS, SECUNDARIAS Y OBRAS HIDRÁULICAS.....	6
2.1.1. Georreferenciación con GPS del Cauce principal del Río.....	6
2.1.2. Ajuste y actualización de la georreferenciación con GPS de conducciones, derivaciones principales, secundarias y tomas prediales obtenidos para la reglamentación establecida mediante resolución 1251 del 31 de mayo de 2011.	11
2.1.3. Inventario y evaluación de obras hidráulicas.	15
2.1.4. Comprobación y actualización de áreas de terreno, áreas cultivadas y actualización del estado jurídico de los predios que hacen uso de la corriente Río Villavieja mediante concesiones de agua. Ajuste de cartografía predial.....	28
2.2. IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS	30
2.2.1. Censo de usuarios, entrega y llenado de encuestas: usos	30
2.3. LOCALIZACIÓN DE VERTIMIENTOS PUNTUALES.....	39
2.3.1. Georreferenciación de vertimientos directos a lo largo del cauce principal del río.	39
2.3.2. Georreferenciación con GPS de los canales y conducciones de vertimientos.	40
2.3.3. Georreferenciación con GPS de obras hidráulicas de vertimientos sobre el cauce principal y sobre las conducciones de aguas residuales.....	42
2.4. IDENTIFICACIÓN DE VERTIMIENTOS.....	42
2.4.1. Censo de predios – usuarios que vierten AR.....	42
2.5. ZONIFICACIÓN	59
2.5.1. Terminación de zonas según naturaleza de los vertimientos.	59
2.6. CALIDAD DE AGUA.....	63
2.6.1. Análisis físico-químico y bacteriológico del agua	64
2.6.2. Análisis de Resultados Físico. Químico y Bacteriolo-Línea Base de Calidad de Agua.....	79
2.6.3. Determinación de Índices de Contaminación	92
2.6.4. Determinación de Índices de Calidad de Agua	100
2.7. ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO.....	107
2.7.1. Realización de Muestreos puntuales.....	108
2.7.2. Identificación de especies bioindicadoras de la calidad del agua	120
2.7.3. Caracterización de las comunidades hidrobióticas del río: fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos.....	127
2.7.4. Determinación de la calidad de agua	130
3. IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES DEL RECURSO	138
3.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	138
3.1.1. Modelación de la Calidad del Agua – Software “QUAL 2Kw”	138
3.1.2. Metodología para La implementación del Modelo QUAL 2Kw	153
3.2. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA	197
3.2.1. Identificación de características naturales del cuerpo de agua	197
3.2.2. Identificación actual de los usos existentes y potenciales del recurso	197
3.2.3. Definición de objetivos de calidad del recurso hídrico (corto, mediano y largo plazo)	198

3.2.4. Riesgos asociados a la reducción de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico.....	226
3.2.5. Usos a asignar	233
3.2.6. Definición de criterios de calidad por usos.....	233
3.2.7. Fijación de zonas en donde se prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales....	234
3.2.8. Determinación de los casos en que deba prohibirse el desarrollo de actividades varias.....	235
3.2.9. Metas quinquenales de reducción de cargas contaminantes (Dec 2667 de 2012).....	235
3.2.10. Normas de preservación de la calidad del recurso de manera temporal y definitiva.....	242
3.2.11. Programa de seguimiento al recurso hídrico con el fin de verificar eficiencia y efectividad del ordenamiento.....	243
4. ELABORACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO	246
4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS	246
4.1.1. Clasificación de las aguas (según artículo 41 del decreto 1541 de 1978).....	246
4.1.2. Clasificación de las aguas (según artículo 205 del decreto 1541 de 1978)	247
4.1.3. Clasificación de las aguas (según artículos 2 al 7 de la Res 2115 de 2007)	249
4.2. ASPECTOS AMBIENTALES.....	257
4.2.1. Recopilación y análisis de la Información Básica para el Estudio	258
4.2.2. Metodología del Estudio	259
4.2.3. Aspectos Ambientales	260
4.3. ZONIFICACIÓN AMBIENTAL	260
4.4.1. Ubicación Geográfica de la Cuenca Hidrográfica	262
4.4.2. Aspectos Metodológicos.....	264
4.4.3. Línea Base	264
4.4.4. Diagnóstico Ambiental.....	270
4.4.5. Oferta y Demanda Ambiental.....	276
4.4.6. Unidades de Zonificación Ambiental.....	276
4.4.7. Mapa de Zonificación Ambiental.....	279
5. CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA.....	280
5.1. RECOPIACIÓN, AJUSTE, ESTRUCTURACIÓN Y EDICIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	281
5.1.1. Información primaria.....	281
5.1.2. Información secundaria	282
5.1.3. Edición y ajuste de información geográfica	283
5.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	284
5.2.1. Estructuración de directorios.....	284
5.2.2. Diseño de la base de datos.....	287
5.2.3. Estructura de la base datos geográfica – Geodatabase.....	297
5.2.4. Integración de la información bd-gdb para “usos” y “vertimientos”	303
5.2.5. Diccionario de datos.....	304
5.2.6. Modelos cartográficos.....	304
5.2.7. Unidad mínima de mapeo	307
5.2.8. Elaboración de planos cartográficos	307
5.2.9. Metadatos	309
CONCLUSIONES	311
ANEXOS	315
BIBLIOGRAFÍA.....	316

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Legislación Nacional relacionada con el ordenamiento y manejo del recurso hídrico	5
Tabla 2. Longitud de canales primarios, secundarios y ramales referenciados con - Canales y Bombes Localizados	13
Tabla 3. Codificación de las obras hidráulicas.....	16
Tabla 4. Inventario de obras hidráulicas por derivaciones identificadas	19
Tabla 5. Obras hidráulicas evaluadas.....	21
Tabla 6. Diagramas de torta para la representación del resultado obtenido de las actividades de evaluación de algunas Obras hidráulicas de la zona de estudio	27
Tabla 7. Descripción de usos por predios localizados e identificados en el proceso de reglamentación del cauce hídrico	36
Tabla 8. Usuarios que reportan no estar haciendo uso del caudal asignado por medio de la reglamentación anteriormente establecida	37
Tabla 9. Predios con actualización de propietario	38
Tabla 10. Inventario total de obras hidráulicas de vertimientos.....	42
Tabla 11. Relación de vertimientos directos identificados sobre el cauce de Villavieja	58
Tabla 12. Grupos establecidos para la clasificación de vertimientos	58
Tabla 13. Zonificación por zonas homogéneas de vertimientos del cauce de río Villavieja	61
Tabla 14. Recopilación de Información.....	66
Tabla 15. Sitios monitoreados en el año 2013	67
Tabla 16. Sitios de muestreo sobre el cauce del Río Villavieja.	69
Tabla 17. Recolección de las Muestras Río Villavieja, Municipios de Tello y Villa Vieja (Huila).....	73
Tabla 18. Análisis de Parámetros In-Situ en los sitios Monitoreados.....	75
Tabla 19. Análisis de Parámetros medidos en Laboratorio de los sitios Monitoreados	78
Tabla 20. Objetivos y Parámetros para el análisis de calidad de agua	80
Tabla 21. Conversión de mg/l a meq/l para Aniones y Cationes obtenidos en el Río Villavieja	81
Tabla 22. Criterios para evaluar la calidad del agua según Palacios y Aceves (1970).....	82
Tabla 23. Conductividad eléctrica del Río - Villavieja.....	82
Tabla 24. Clases de Aguas de Acuerdo a la Conductividad Eléctrica.....	83
Tabla 25. Resultados de Salinidad Efectiva en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja	84
Tabla 26. Clases de aguas de acuerdo a la Salinidad Efectiva.....	84
Tabla 27. Resultados de Salinidad Potencial en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja	84
Tabla 28. Clases de agua de acuerdo a la Salinidad Potencial	85
Tabla 29. Relación Adsorción de Sodio en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja.....	85
Tabla 30. Valores para clasificar aguas de riego según su RAS	86
Tabla 31. Resultados % de Sodio Intercambiable en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja.....	87
Tabla 32. Resultados de Carbonato de Sodio Residual en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja	88
Tabla 33. Clasificación del Agua según Carbonato de sodio Residual.	88
Tabla 34. Resultados Por ciento de Sodio Posible en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja.....	88
Tabla 35. Valores para clasificar aguas de riego según Porcentaje de Sodio Posible	89
Tabla 36. Niveles Tóxicos de Boro en aguas para riego	90
Tabla 37. Resultados Contenido de Boro en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja	90
Tabla 38. Niveles Tóxicos de Cloruros en aguas para riego	91
Tabla 39. Resultados Contenido de Cloruros en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja	91
Tabla 40. Índices de Magnesio en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja	91
Tabla 41. Porcentaje de Cloruros en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja	92
Tabla 42. Información Requerida para el cálculo del ICOMO	94
Tabla 43. Determinación del ICOMO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja	94
Tabla 44. Determinación del ICOSUS en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja	96
Tabla 45. Determinación del ICOTRO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja	98
Tabla 46. Determinación del ICOTRO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja	98

Tabla 47. Clasificación del Índice de Contaminación	99
Tabla 48. Clasificación de los ICO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja	99
Tabla 49. Ponderación asignada a cada parámetro	101
Tabla 50. Cálculo del Subíndice para los parámetros, Río Villavieja	103
Tabla 51. Cálculo de los ICA Aditivo y Multiplicativo	104
Tabla 52. Clasificación de la calidad de agua propuesta por Brown et al (1970).....	105
Tabla 53. Clasificación de la calidad de agua para el Río Villavieja	105
Tabla 54. Porcentaje de Reducción de Acuerdo al Índice de Calidad de Agua ICA-Nfs	107
Tabla 55. Porcentaje de Reducción de Caudal por Calidad de Agua en diferentes Tramos del Río Villavieja	107
Tabla 56. Equipos y Materiales para monitoreo hidrobiológico	109
Tabla 57. Metodología para la elaboración de Estudios Ambientales y Línea Base Ambiental.....	112
Tabla 58. Especificaciones Metodológicas utilizadas para la toma y observación de muestras ...	113
Tabla 59. Síntesis de la actividad de muestreo ejecutada el sitio de trabajo.	113
Tabla 60. Sitios de Muestreo para Toma de muestras comunidades Hidrobiológicas – Río Villavieja	114
Tabla 61. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A02 – Río Villavieja ..	115
Tabla 62. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A03 – Río Villavieja ..	117
Tabla 63. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A04 – Río Villavieja ..	118
Tabla 64. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A05 – Río Villavieja ..	119
Tabla 65. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A02”	131
Tabla 66. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A02”	132
Tabla 67. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A03”	133
Tabla 68. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A03”	134
Tabla 69. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A04”	134
Tabla 70. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A04”	135
Tabla 71. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A05”	136
Tabla 72. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A05”	137
Tabla 73. Descripción de Modelos de simulación más utilizados en el Mundo.....	142
Tabla 74. Características del QUAL2Kw	143
Tabla 75. Ecuaciones predictivas de las tasas de reaeración	147
Tabla 76. Variables climatológicas, Datos mensuales. Estación Hda. La Manila	155
Tabla 77. Aforos río Villavieja y principales tributarios, Agosto del 2010	156
Tabla 78. Puntos de monitoreo calidad del agua, año 2013	156
Tabla 79. Puntos de monitoreo calidad del agua, Río Villavieja.....	156
Tabla 80. Determinación de DBO rápida, lenta y Detritus	158
Tabla 81. Tributarios del Río Villavieja	159
Tabla 82. Captaciones del río Villavieja, tiempo seco	162
Tabla 83. Vertimientos al Río Villavieja	164
Tabla 84. Caracterización de Vertimientos	165
Tabla 85. . Detalles de aforos realizados en el año 2010.....	167
Tabla 86. Definición de constantes hidráulicas.....	167
Tabla 87. Constantes cinéticas para calibración	169
Tabla 88. . Variables meteorológicas, datos mensuales	170
Tabla 89. Algoritmo genético para calibración.....	178
Tabla 90. Calculo carga contaminante	180
Tabla 91. Límites máximos permisibles para vertimientos en PTAR´s	181
Tabla 92. Información para tercer escenario	181
Tabla 93. Aportes de carga contaminante por habitante y por día para Colombia	182
Tabla 94. Constantes calibradas para el río Villavieja	183
Tabla 95. Resumen valores de campo y valores simulados en los puntos de monitoreo.....	190
Tabla 96. Perfil de Calidad de Agua – Río Villavieja	203
Tabla 97. Proyecciones de Cargas contaminantes de vertimientos.....	211

Tabla 98. Usos Reales del Cuerpo de Agua – Río Villavieja.....	212
Tabla 99. Usos Reales de Mayor Preponderancia – Río Villavieja	213
Tabla 100. Antecedentes de Calidad de Agua sobre el Río Villavieja.....	214
Tabla 101. Objetivos de Calidad “Fuente receptora de los vertimientos domésticos del Municipio de Tello”	215
Tabla 102. Usos Potenciales del Cuerpo de Agua y criterios de Calidad – Río Villavieja	216
Tabla 103. Usos Potenciales de Mayor Preponderancia – Río Villavieja.....	217
Tabla 104. Usos Reales y Potenciales Preponderantes del Río Villavieja	218
Tabla 105. Objetivos de Calidad para Cada punto Monitoreado– Río Villavieja.....	220
Tabla 106. Objetivos de Calidad para Cada Tramo – Río Villavieja.....	221
Tabla 107. Objetivos de Calidad Propuestos en el Corto, Mediano y Largo Plazo – Río Villavieja.....	222
Tabla 108. Modelo de Simulación “QUAL2Kw” de Capacidad de Carga para El Tramo I del Río Villavieja	225
Tabla 109. Modelo de Simulación “QUAL2Kw” de Capacidad de Carga para El Tramo II y Tramo III del Río Villavieja.....	226
Tabla 110. Interpretación de Resultados de IVH.....	227
Tabla 111. Interpretación de la Calificación del IRH.....	228
Tabla 112. Interpretación de la Calificación del IUA.....	229
Tabla 113. Oferta y Demanda Hídrica – Río Villavieja	229
Tabla 114. Índice de Calidad Físicoquímica – ICA “Río Villavieja”	231
Tabla 115. Riesgos Asociados a la Reducción de la Oferta por Tramos	232
Tabla 116. Riesgos Asociados a la Disponibilidad por Tramos.....	233
Tabla 117. Usos a Asignar.....	233
Tabla 118. Criterios de Calidad definidos por Usos	234
Tabla 119. Zonas en las que se Condiciona y Prohíbe la descarga de Aguas Residuales	235
Tabla 120. Resumen Cargas Contaminantes por DBO5 y SST.....	236
Tabla 121. Carga Contaminante Total Generada en el Quinquenio 2014 – 2018	237
Tabla 122. Cargas máximas Admisibles y Necesidades de Reducción para el Quinquenio 2014 - 2018	237
Tabla 123. Meta Global de Reducción de Carga Contaminante para DBO5 y SST	238
Tabla 124. Cronograma de Cumplimiento Meta Global Carga Contaminante por DBO5	238
Tabla 125. Cronograma de Cumplimiento Meta Global Carga Contaminante por SST.....	239
Tabla 126. Programa de seguimiento al Recurso Hídrico – Río Villavieja	245
Tabla 127. Tipos de Vertimientos sobre el Río Villavieja	248
Tabla 128. Criterios de Calidad para destinación del recurso Hídrico	249
Tabla 129. Comparación de Parámetros con el Decreto 1594/84 y La Resolución 2115/2007.....	253
Tabla 130. Posibles Usos del Cuerpo de Agua en cada sitio Monitoreado, según Decreto 1594/84 y Resolución.....	256
Tabla 131. Recopilación de Información.....	258
Tabla 132. Usos de Suelo del Municipio de Villavieja	267
Tabla 133. Tipos de Riegos en el Municipio de Tello Huila.....	269
Tabla 134. Normatividad Vigente para establecer la línea Base.....	269
Tabla 135. Flora Presente en el Municipio de Villavieja	272
Tabla 136. Fauna Nativa del Municipio de Villavieja Huila	273
Tabla 137. Tipos de Erosión en el Municipio de Villavieja.....	274
Tabla 138. Oferta y Demanda Ambiental.....	276
Tabla 139. Unidades de Zonificación Ambiental – Cuenca Río Villavieja	278
Tabla 140. Lista de Planos Cartográficos	309

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resolución de ordenamiento emitido por la Autoridad Ambiental – CAM.....	1
Figura 2. Publicación de aviso donde se informa la providencia y se convoca a reunión de socialización.....	2
Figura 3. Localización general del proyecto	7
Figura 4. Comparativo entre la georreferenciación con GPS del cauce del río Villavieja realizado por FUNDISPROS y el de	9
Figura 5. Tramo del río recorrido y referenciado.....	10
Figura 6. Derivaciones principales y secundarias ajustadas al cauce principal del Río y las condiciones actuales de la zona	14
Figura 7. Ubicación de obras hidráulicas referenciadas sobre el cauce principal del Río y canales de derivación mediante labores de reconocimiento en campo.....	20
Figura 8. Comparación de la ubicación espacial e obras hidráulicas y derivaciones principales y secundarias georreferenciadas mediante labores en terreno vs la ubicación obtenida mediante reglamentación 1251 del 31 de mayo de 2011	22
Figura 9. Distribución espacial de predios de la zona de estudio.....	29
Figura 10. Algunos vertimientos georreferenciados en San Andrés Tello sobre el cauce del Río Villavieja	41
Figura 11. Tramos establecidos con base en la reglamentación de usos e inventario de vertimientos	62
Figura 12. Puntos de monitoreo realizados por la CAM en 2013	67
Figura 13. Plano zonificación por usos según RES 1251 de 31-05-2011	68
Figura 14. Plano zonificación Usos y puntos de muestreo (Vertimientos)	70
Figura 15. Determinación de Parámetros In-Situ Río Villavieja, Municipios de Tello y Villa Vieja (Huila)	74
Figura 16. Monograma para determinar los valores de RAS de las aguas de riego y para estimar sus valores correspondientes de PSI del suelo que está en equilibrio con ellas	86
Figura 17. Funciones de los subíndices para los parámetros que determinan el ICA.	102
Figura 18. Técnica metodológica de los muestreos hidrobiológicos	110
Figura 19. Actividades de la Fase de Laboratorio, análisis e identificación Taxonómica	111
Figura 20. Condiciones del Monitoreo	127
Figura 21. Proceso de Simulación de una Corriente Hídrica Superficial.....	140
Figura 22. Esquema General del Qual2Kw	144
Figura 23. Esquema de Balance de Flujo.....	145
Figura 24. Esquema de Balance de Masa.....	145
Figura 25. Esquema del Proceso de Calibración.....	149
Figura 26. Esquema de La Metodología Utilizada para La Implementación del Modelo QUAL2Kw	153
Figura 27. Río Villavieja – Desembocadura en el Río Magdalena	154
Figura 28. Ubicación de los puntos de Monitoreo sobre el Río Villavieja.....	157
Figura 29. Localización de Derivaciones Ubicadas por Zonas	163
Figura 30. Segmentación y fronteras para el río Villavieja	171
Figura 31. Hoja de trabajo del QUAL2Kw.....	173
Figura 32. Ingreso de datos de cabecera	174
Figura 33. Ingreso de constantes hidráulicas	174
Figura 34. Ingreso de datos climatológicos	175
Figura 35. Ingreso de fuentes puntuales	175
Figura 36. Ingreso de constantes cinéticas	176
Figura 37. Ingreso de datos de calidad del agua en los puntos de muestreo	176
Figura 38. Descripción de Los Escenarios	179
Figura 39. Calibración del caudal	183

Figura 40. Calibración de la Temperatura	184
Figura 41. Calibración de la Conductividad	184
Figura 42. Calibración del Oxígeno Disuelto	185
Figura 43. Calibración DBO Lenta	185
Figura 44. Calibración DBO Rápida.....	186
Figura 45. Calibración del detritus	186
Figura 46. Calibración del Nitrógeno Amoniacal	187
Figura 47. Calibración del Fosforo Inorgánico	187
Figura 48. Calibración SST	188
Figura 49. Calibración de Los Patógenos	188
Figura 50. Calibración SSI	189
Figura 51. Escenarios para OD	193
Figura 52. Escenarios para La DBO Lenta	193
Figura 53. Escenarios para La DBO Rápida.....	194
Figura 54. Escenarios para SST	194
Figura 55. Metodología para Establecer Los Objetivos de Calidad.....	199
Figura 56. Vertimientos Puntuales sobre el Rio Villavieja	200
Figura 57. Detalles de Vertimientos en los Centro Poblados (Municipio Tello y Villavieja)	201
Figura 58. Esquematización de Componentes de una Línea Base	204
Figura 59. Clasificación de las Aguas – Normatividad Colombiana	246
Figura 60. Orden de Importancia para otorgar concesiones de agua superficiales	247
Figura 61. Metodología Componente Ambiental – Rio Villavieja.....	259
Figura 62. Metodología Zonificación Ambiental – Rio Villavieja	262
Figura 63. Ubicación Geográfica de la Cuenca Hidrográfica.....	263
Figura 64. Línea Base – Zonificación Ambiental “Rio Villavieja”	264
Figura 65. Diagnóstico Ambiental Rio Villavieja – Municipios de Tello y Villavieja	270
Figura 66. Problemáticas Ambientales en el Municipio de Tello Huila	275
Figura 67. Problemáticas Ambientales en el Municipio de Villavieja Huila	275
Figura 68. Zonificación Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río Villavieja	279
Figura 69. Descripción de actividades en el proceso SIG del Rio Villavieja	280
Figura 70. Localización de planchas IGAC 1:25.000 para el municipio de Villavieja, Tello y Baraya	282
Figura 71. Información de referencia para cada entidad de la GDB	284
Figura 72. Esquema general para el almacenamiento de la información de usos y vertimientos ..	285
Figura 73. Esquema relacional de la base de datos de atributos para usos	289
Figura 74. Tabla MUNICIPIO	290
Figura 75. Tabla VEREDA	290
Figura 76. Tabla PREDIO	291
Figura 77. Tabla PROPIETARIO	291
Figura 78. Tabla INFORMACION_DEL_AGUA	291
Figura 79. Tabla USOS	292
Figura 80. Tabla CULTIVOS	292
Figura 81. Tabla PRODUCCION_PECUARIA.....	292
Figura 82. Esquema relacional de la base de datos de atributos para vertimientos	293
Figura 83. Tabla MUNICIPIOS.....	294
Figura 84. Tabla VEREDA	294
Figura 85. Tabla PREDIO_GENERADOR	294
Figura 86. Tabla PROPIETARIO	294
Figura 87. Tabla VERTIMIENTO	295
Figura 88. DETALLE_VERTIMIENTO	295
Figura 89. Consultas realizadas	297
Figura 90. Estructura de la base de la base de datos geográfica	299

Figura 91. Visualización del campo “raster” desde ArcMap con información fotográfica del punto, Feature Class Obras hidráulicas evaluadas	301
Figura 92. Visualización de algunos subtipos creados en el Feature Class TF025_Obras_Hidraulicas_Evaluadas	302
Figura 93. Protocolo Jet 4.0 para conexión desde ArcCatalog a bases de datos externa.....	303
Figura 94. Model Maker para la creación de un TIN a partir de un DEM	305
Figura 95. Modelo TIN para la representación de cuenca hídrica río Villavieja	306
Figura 96. Ilustración de la creación de un libro de mapas	307
Figura 97. Metadato Feature Class BC025_Rios_principales_IGAC_25000	310

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. ICOMO – RIO VILLAVIEJA 2014	95
Gráfica 2. ICOSUS 2013 Y 2014 – RIO VILLAVIEJA	97
Gráfica 3. ICA 2014 – RIO VILLAVIEJA	106
Gráfica 4. Relación Profundidad – Caudal.....	167
Gráfica 5. Relación Ancho – Caudal.....	168
Gráfica 6. Relación Velocidad – Caudal	168
Gráfica 7. Línea Base Global de Carga Contaminante de DBO5.....	210
Gráfica 8. Línea Base Global de Carga Contaminante de SST	211

INTRODUCCIÓN

El ordenamiento del Recurso Hídrico se concibe como la herramienta de planificación por excelencia, orientada a garantizar las condiciones de equilibrio entre los usuarios y la demanda vs oferta de los cuerpos de agua, no solo como fuente abastecedora sino, como fuente receptora de sus descargas líquidas.

Dentro del marco normativo y contextual, La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM, en cumplimiento de su función de administrar y planificar el uso racional de los recursos naturales, especialmente del recurso hídrico ejerciendo control de las aguas que vierten directamente sobre la corriente y las que se extraen para abastecimiento de diversos usos, suscribió con la Fundación Desarrollo de las Ingenierías y Ciencias de la Salud para la proyección social "FUNDISPROS" el convenio Interinstitucional No 312 cuyo objeto es realizar El Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Corriente Río Villavieja, pertenecientes a los Municipios Tello y Villavieja, Departamento del Huila.

FUNDISPROS junto con la CAM, han optado por conformar un equipo de trabajo que se ha ocupado no solamente en tratar de cumplir con el objeto del convenio, sino que adicionalmente ha querido realizar un proyecto lo más cercano posible a la realidad, el cual debe ser el reflejo de la situación actual de la corriente del Río Villavieja y sus usuarios, información que será de gran utilidad para la Corporación, pero principalmente para los usuarios, ya que a partir de ella pueden promover proyectos productivos que propendan la conservación de la cuenca, la construcción de obras hidráulicas de control, la correcta operación y mantenimiento de distritos, el mejoramiento en las técnicas de cultivo y el control de las aguas que se vierten directamente sobre la corriente.

En desarrollo del convenio de apoyo interinstitucional suscrito entre la CAM y FUNDISPROS se presenta el informe final del proyecto de reglamentación y ordenamiento del cauce hídrico, que contempla la fase de declaratoria de ordenamiento, diagnóstico, identificación de los usos potenciales del recurso y la elaboración del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del cauce hídrico de Villavieja que discurre en jurisdicción de los municipios de Tello y Villavieja.

1. DECLARATORIA

1.1. Publicación de providencias en la que se establece el Ordenamiento del Recurso hídrico de la corriente de río Villavieja que discurre por los municipios de Tello y Villavieja.

Según lo dispuesto en los artículos 107 y 108 del decreto 1541 de 1978, título V “Reglamentación del uso de las aguas y declaración de reservas y agotamiento”, Capítulo I “Reglamentación del uso de las aguas”, la autoridad ambiental reglamentara cuando lo estime conveniente, de oficio o a petición de parte, el aprovechamiento de cualquier corriente o depósito de aguas públicas, así como las derivaciones que beneficien varios predios. Para ello, adelantara un estudio preliminar con el fin de determinar la conveniencia de reglamentación, teniendo en cuenta el reparto actual, las necesidades de los predios que la utilizan y las de aquellos que puedan aprovecharlas. Según el artículo 108 de este decreto, si el resultado del estudio deduce la conveniencia de adelantar la reglamentación, la autoridad ambiental lo ordenara mediante la providencia motivada.

Con base en estas contemplaciones, mediante **Resolución 0161 del 05 de Febrero de 2014**, se declaró en ordenamiento la corriente de uso público Río Villavieja que discurre en jurisdicción de los municipios de Tello y Villavieja el departamento del Huila, para dar cumplimiento a esta declaratoria se suscribió el contrato de apoyo interinstitucional No. 0312 de 2013 entre la CAM y FUNDISPROS, en el que se estableció el ordenamiento de la de la mencionada corriente, además de la revisión de la reglamentación anteriormente establecida (resolución 1251 de 31 de mayo de 2006).

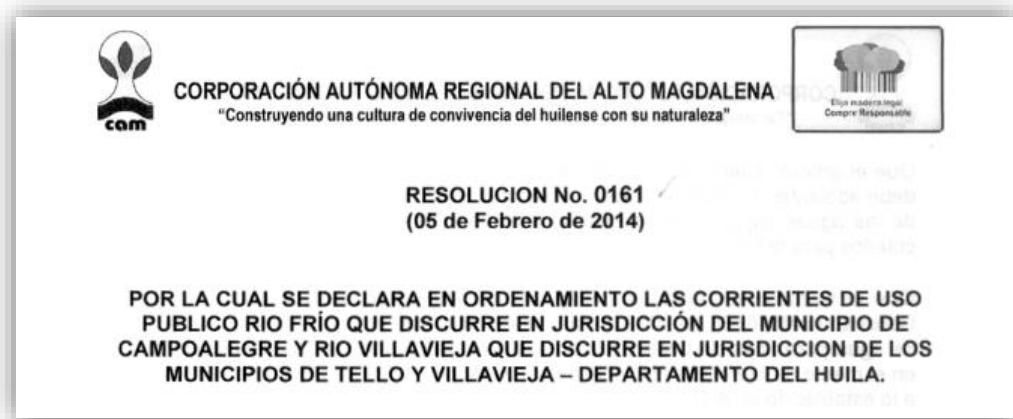




Figura 1. Resolución de ordenamiento emitido por la Autoridad Ambiental – CAM
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Con el fin de seguir lo estipulado en el Decreto 3930 de 2010 y así hacer conocer a los interesados la providencia mediante la cual se ordenó la reglamentación de aprovechamiento de aguas, se solicitó a los entes con jurisdicción en la zona (Alcaldía de Villavieja y Tello, Secretaria de Planeación municipal de Villavieja, Tello y Baraya; Empresas de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Villavieja y Tello) publicar y fijar en un lugar visible de la oficina, la resolución de declaratoria y la siguiente convocatoria




CONVOCATORIA No. 002-14
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA "CAM"
FUNDACION DESARROLLO DE LAS INGENIERIAS Y CIENCIAS DE LA SALUD
PARA LA PROYECCION SOCIAL "FUNDISPROS"



"Ordenamiento del Recurso Hídrico de la corriente Rio Villavieja que discurre por los municipios de Tello y Villavieja en el departamento del Huila"
Resolución 0161 del 05 de Febrero de 2014


Se informa a los propietarios de los predios, fabricas, empresas, agroindustrias y otros, que hacen uso de las aguas provenientes del Rio Villavieja mediante captaciones de agua para diferentes usos o vertiendo sus Aguas Residuales a la mencionada corriente, que profesionales de FUNDISPROS a partir de la fecha, estarán recorriendo la Cuenca Hidrográfica del Rio el cual discurre por los municipios de Tello y Villavieja para la recolección de información en campo, referenciación, localización de puntos y áreas de interés para el cumplimiento de la mencionada resolución. Para esto se realizará una reunión en la que participará la CAM, FUNDISPROS y los usuarios que hacen uso de esta corriente, a fin de socializar los procedimientos, indicar tramites y definir los sitios donde se llevaran a cabo las visitas de inspección ocular.

Esta reunión se celebrara el día miércoles 09 de Abril en las instalaciones de las Empresas Publicas del municipio de Tello (calle 5 No. 7-25) en el Departamento del Huila a las 9:00 a.m. y en las instalaciones de las Empresas Publicas del municipio de Villavieja (Calle 4 No. 4-70) a las 3:30 p.m.




OSCAR EDUARDO GUTIÉRREZ O.
C.C No. 1.081.152.500 Rivera
Director Ejecutivo

Neiva, 01 de Abril de 2014




CONVOCATORIA No. 002-14
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA "CAM"
FUNDACION DESARROLLO DE LAS INGENIERIAS Y CIENCIAS DE LA SALUD
PARA LA PROYECCION SOCIAL "FUNDISPROS"



"Ordenamiento del Recurso Hídrico de la corriente Rio Villavieja que discurre por los municipios de Tello y Villavieja en el departamento del Huila"
Resolución 0161 del 05 de Febrero de 2014

Se informa a los propietarios de los predios, fabricas, empresas, agroindustrias y otros, que hacen uso de las aguas provenientes del Rio Villavieja mediante captaciones de agua para diferentes usos o vertiendo sus Aguas Residuales a la mencionada corriente, que profesionales de FUNDISPROS a partir de la fecha, estarán recorriendo la Cuenca Hidrográfica del Rio el cual discurre por los municipios de Tello y Villavieja para la recolección de información en campo, referenciación, localización de puntos y áreas de interés para el cumplimiento de la mencionada resolución. Para esto se realizará una reunión en la que participará la CAM, FUNDISPROS y los usuarios que hacen uso de esta corriente, a fin de socializar los procedimientos, indicar tramites y definir los sitios donde se llevaran a cabo las visitas de inspección ocular.

Esta reunión se celebrara el día miércoles 09 de Abril en las instalaciones de las Empresas Publicas del municipio de Tello (calle 5 No. 7-25) en el Departamento del Huila a las 9:00 a.m. y en las instalaciones de las Empresas Publicas del municipio de Villavieja (Calle 4 No. 4-70) a las 3:30 p.m.



OSCAR EDUARDO GUTIÉRREZ O.
C.C No. 1.081.152.500 Rivera
Director Ejecutivo

Neiva, 01 de Abril de 2014

Figura 2. Publicación de aviso donde se informa la providencia y se convoca a reunión de socialización

Fuente: FUNDISPROS, 2014

1.1.1. Socializaciones

Para socializar los objetivos del proyecto, la metodología y establecer un conversatorio con usuarios, propietarios de los predios, fabricas, empresas, agroindustrias, entes competentes y público en general que hacen uso de las aguas provenientes de la corriente Rio Villavieja en el municipio de Tello y Villavieja mediante captaciones de agua para diferentes usos o vertiendo sus aguas residuales, se celebró una reunión el día miércoles 09 de Abril en las instalaciones de las Empresas Públicas del municipio de Tello (calle 5 No. 7-25) en el departamento del Huila a las 9:00 a.m. y en las instalaciones de las Empresas Públicas del municipio de Villavieja (Calle 4 No. 4-70) a las 3:30 p.m.

Se informó a todos los asistentes que profesionales de FUNDISPROS a partir de la fecha, estarían recorriendo la Cuenca Hidrográfica del Rio Villavieja para la recolección de información en campo, referenciación, localización de puntos y áreas de interés para el cumplimiento de la Resolución 161 del 05 de febrero de 2014; se indicaron tramites y se definieron sitios donde se llevaría a cabo visitas de inspección ocular.

Durante la actividad informativa se resaltó insistentemente la necesidad de participación de los actores involucrados (usuarios con o sin concesión de aguas, generadores de vertimientos, Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Tello y Villavieja, Alcaldías municipales, Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena-CAM, entes policivos, etc) en todas las fases del proyecto, de quienes se requiere una vez conozcan el alcance del proyecto (actividades, tiempo e implicaciones) proporcionen información para la toma de decisiones que afectan sus intereses.

1.2 Validación y recopilación de la información existente

1.2.1. Solicitud y recopilación de la información básica:

Para el desarrollo del proyecto “Ordenamiento del Recurso Hídrico de la corriente Rio Villavieja en el municipio de Tello y Villavieja”, se llevó a cabo actividades de solicitud y acopio de información básica de referencia y/o antecedentes de la cuenca hidrográfica de la corriente de Rio Villavieja, por medio de entidades y organizaciones con jurisdicción en la zona en temas como: Plan de ordenamiento territorial, estudios de suelos, climatología, hidrología, calidad de aguas, usos del suelo, geología, cartografía básica, área de influencia, lista de usuarios de la reglamentación anteriormente establecida con sus respectivas concesiones (Res 1251 de 31-05-2011), inventario de vertimientos, planos de sistemas de alcantarillados, puntos estratégicos, etc.

De esta forma se accedió y analizo la información de referencia del municipio de Tello y Villavieja que merece especial atención y que a continuación se relaciona. Toda la

información se considera valida, además ratifica y complementa el desarrollo de este informe.

- Acuerdo No.001 del 2000, por el cual se adopta el esquema de Ordenamiento Territorial Municipal de Tello-Huila para el periodo entre el año 2000 al año 2009.
- Caracterización del vertimiento de aguas residuales domésticas y fuente receptora del municipio de Tello- Enero de 2014, formato PDF; fuente: laboratorio Diagnosticamos S.A-División ambiental
- Diagnóstico y alternativas municipio de Tello, 2011-“Elaboracion de los estudios y diseños de los sistemas de agua potable y alcantarillado de las zonas urbanas, centros poblados y sistemas regionales que fueren necesarios de la subregión uno, norte del departamento del Huila”. Formato PDF; Fuente: CONSORCIO CCE-CONCOL
- Diagnóstico Técnico e Institucional de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo en el Municipio de Tello – Unión Temporal Fordes-2008.
- Resolución No. 2457 del 23 de Octubre del 2013, Formato PDF; fuente: CAM
- Imagen de satélite ASTER30, Formato TIFF; fuente: Pagina Web
- Cartografía temática, 1999, Formato DWG; fuente: CAM
- Cartografía básica rural y urbana IGAC escala 1:25.000, formato DWG; fuente: CAM
- Plano red de alcantarillado municipio de Tello – 2011, fuente: Empresas Publicas de Tello
- Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento del Municipio de Tello (Huila), 2008
- Resumen de usuarios de la red de alcantarillado del municipio de Tello; fuente: Empresas Publicas de Tello.

1.2.2. Consulta de legislación existente

A continuación se presentan la legislación actual, más relevante, relacionada con el desarrollo del proyecto en cuanto a la protección del medio ambiente, manejo y conservación del recurso hídrico para consumo y uso humano, y preservación del mismo para otras formas de vida.

TIPO DE NORMA	NÚMERO	TÍTULO
Decreto	2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales.
Decreto	1541 de 1978	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto	1594 de 1994	Usos del Agua y Residuos Líquidos.
Ley	99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).
Decreto	1729 de 2002	Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Decreto	3100 de 2003	Reglamentación de tasas retributivas por utilización directa del agua como cuerpo receptor de vertimientos puntuales.
Decreto	3440 de 2004	Por el cual se modifica el decreto 3100 de 2003.
Resolución	1433 de 2004	Por la cual se reglamenta lo relacionado con Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV).
Resolución	2145 de 2005	Modifica parcialmente la resolución 1433 de 2004.
Decreto	3930 de 2010	El cual reemplaza el decreto 1594 de 1984 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Tabla 1. Legislación Nacional relacionada con el ordenamiento y manejo del recurso hídrico

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2. DIAGNÓSTICO

DIAGNÓSTICO INICIAL A PARTIR DEL ANALISIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE – TRABAJO EN CAMPO Y ANÁLISIS FINAL DE DIAGNÓSTICO

2.1. LOCALIZACIÓN DE USUARIOS, CAUCE PRINCIPAL DEL RIO, CONDUCCIONES PRIMARIAS, SECUNDARIAS Y OBRAS HIDRÁULICAS

2.1.1. Georreferenciación con GPS del Cauce principal del Rio.

El área de la subcuenca de los ríos Villavieja y Guarocó, la conforman parcial o totalmente los municipios de Baraya, Tello y Villavieja.

Se considera importante por proveer el agua necesaria para los acueductos de los centros urbanos de los municipios de Baraya y Tello, así como para la Inspección de Policía de San Andrés (Tello).

El río Villavieja nace a 2000 m.s.n.m. en la cordillera Oriental en cercanías a los caseríos de San Andrés y Mesa Redonda en los municipios de Tello y Villavieja. Durante su recorrido recibe las aguas de corrientes menores como la de quebradas como La Nutria, corriente que surte con sus aguas al acueducto de la cabecera municipal de Baraya, además de las quebradas: Coscorrón, Quebradillas, Lalasa, El Tigre, Los Fieros, El Potrero, Los Pozos, Carboneros, La Arenosa y Bolsoncito. Otra corriente importante que alimenta al río Villavieja es el río Guarocó que nace en la cuchilla Laureles en el municipio de Baraya; durante su recorrido recoge aguas de las quebradas Jagual y Venadito

El río Villavieja presenta bajos caudales en verano y en el invierno alcanza niveles bastantes altos. Se encuentra afectado desde su nacimiento por procesos de tala y quema de bosques para el aprovechamiento comercial de maderas y ampliación de la frontera agrícola y pecuaria. En la parte baja, su bosque de galería ha sido destruido para establecer cultivos de arroz y ampliar la zona de pastos

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCORRE POR LOS MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
 Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

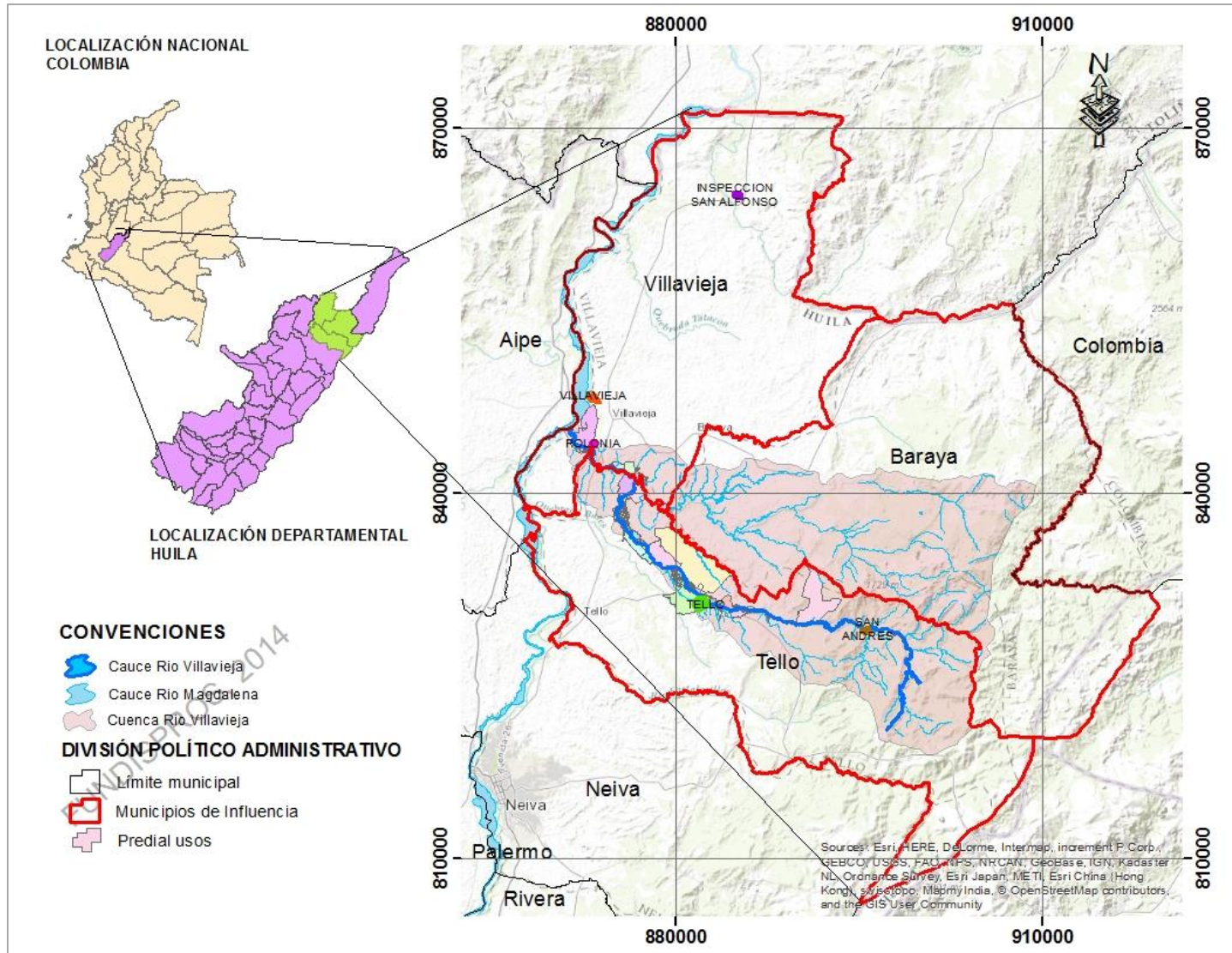


Figura 3. Localización general del proyecto
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

La información proveniente del IGAC, corresponde a la restitución fotográfica realizada con fotografías aéreas de los años 1989, 1990 y 1991; por ser una información no real de las circunstancias actuales a nivel espacial y por los requerimientos específicos para el desarrollo del proyecto, los cuales exigen la precisa ubicación geográfica actualizada de los puntos de bocatoma de los canales y ubicación de predios que a través de los años han sido afectados por las variaciones hidráulicas del cauce del Río Frio, por lo que fue necesario realizar labores de actualización, digitalización y edición a la cartografía básica general usada para el desarrollo del proyecto; la metodología se describe a continuación:

Para las actividades de georreferenciación se delegó una comisión de topografía, encargada de la georreferenciación metro a metro del cauce principal de la corriente del río, canales de conducción principales, secundarios, tomas prediales y demás estructuras hidráulicas.

La georreferenciación del cauce principal del Río se realizó metro a metro por cada uno de los costados u orillas de su cauce como muestra la Imagen 1, mediante la toma de puntos con GPS a una distancia aproximada de 10 metros uno del otro en la misma dirección de la corriente de agua.

La marcación de puntos se llevó a cabo desde el municipio de Tello en la vereda La Cabaña, en la confluencia de la quebrada Las Juntas a Río Villavieja, aproximadamente 4 km aguas arriba del primer uso identificado en la reglamentación 1251 de 31-05-2011 (Primera_derivación_Canal_los_Andes), hasta la desembocadura en el Río Magdalena en la vereda “Polonia” del municipio.

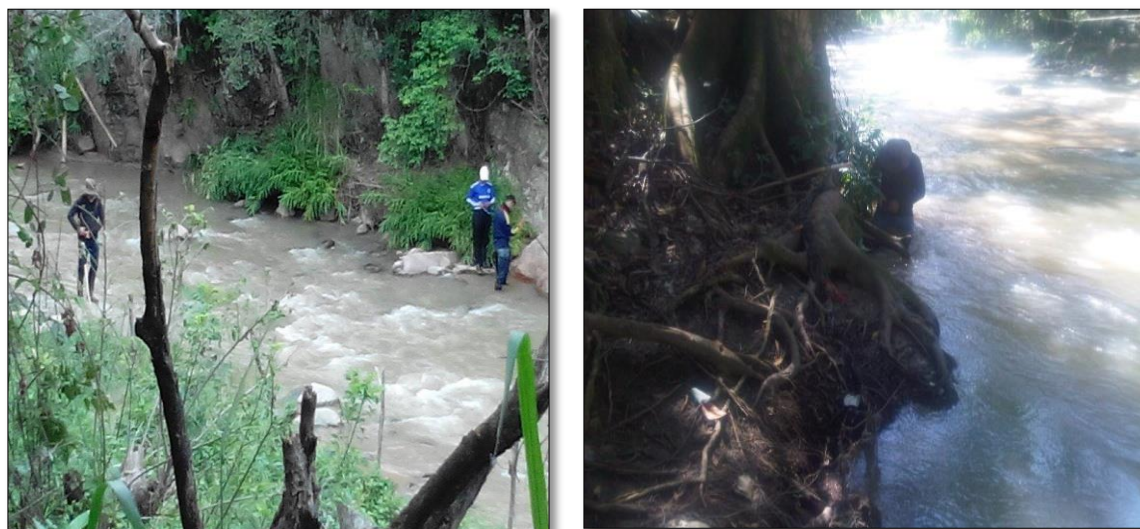


Imagen 1. Georreferenciación del cauce principal de la corriente del Río
Fuente: FUNDISPROS, 2014

La Figura 4 , muestra un comparativo entre el levantamiento del cauce principal del Río obtenido y referenciado por profesionales de FUNDISPROS mediante la utilización de GPS, y el extraído de la cartografía básica IGAC 25.000 implementada para el desarrollo de este proyecto.

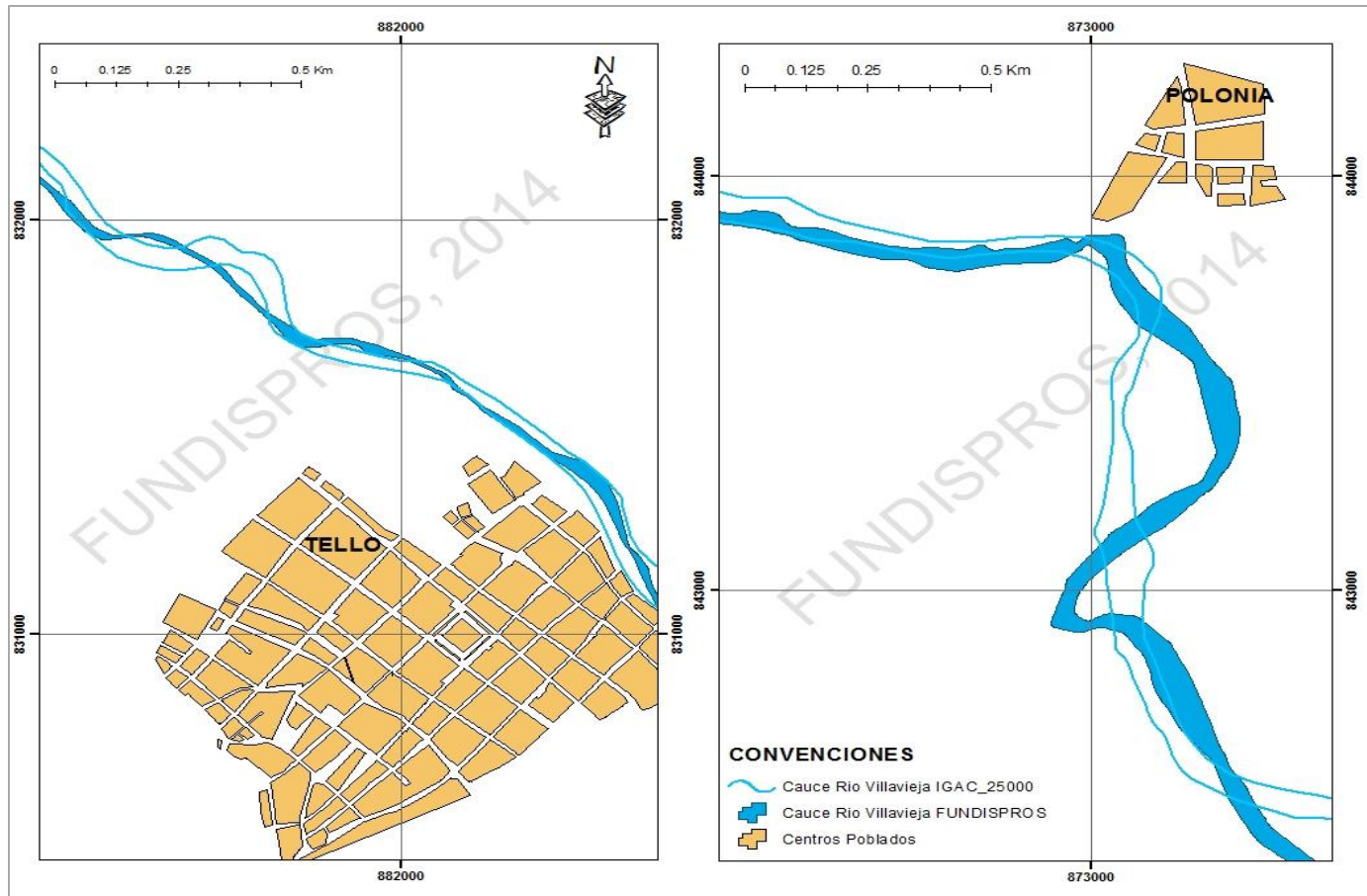


Figura 4. Comparativo entre la georreferenciación con GPS del cauce del río Villavieja realizado por FUNDISPROS y el de Cartografía IGAC 25.000
Fuente: FUNDISPROS, 2014

En total se referenciaron 52.88 km por cada costado u orilla del cauce principal del río, el cual según la cartografía oficial 1:25.000 para el departamento del Huila tiene una longitud aproximada de 62.29 km desde su nacimiento en la vereda La Urraca en el municipio de Tello, hasta su desembocadura en el río Magdalena en la vereda Polonia en el municipio de Tello. (Ver Figura 5).

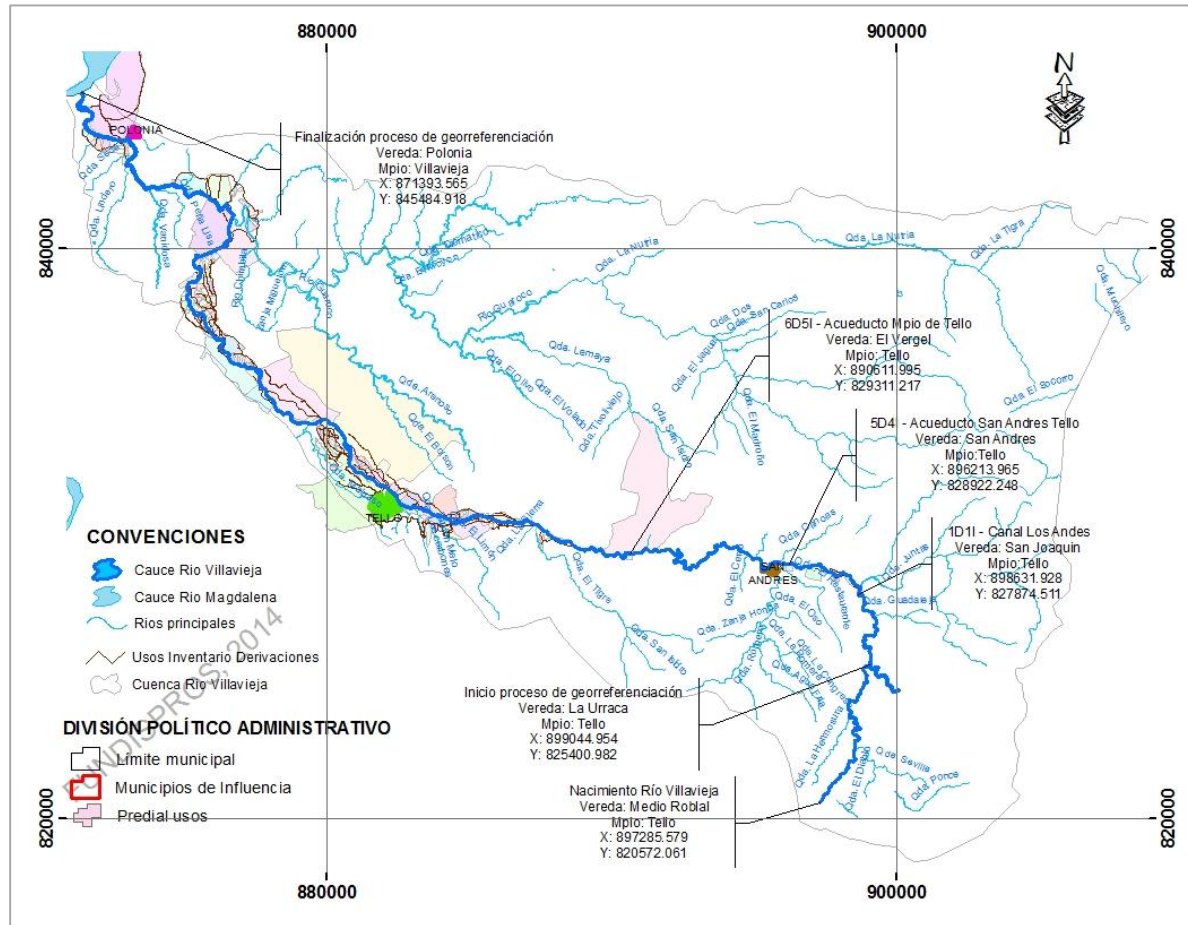


Figura 5. Tramo del río recorrido y referenciado
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.1.2. Ajuste y actualización de la georreferenciación con GPS de conducciones, derivaciones principales, secundarias y tomas prediales obtenidos para la reglamentación establecida mediante resolución 1251 del 31 de mayo de 2011.

Para las actividades de georreferenciación y ajuste de las conducciones principales, secundarias, tomas prediales, obras hidráulicas y áreas de terreno, se tomó como insumo base la cartografía temática generada en la reglamentación de usos establecida mediante resolución 1251 de 31-05-2011 realizada por FUNDISPROS mediante labores de inspección, comprobación y reconocimiento en terreno. Todos los feature class generados en la mencionada reglamentación (derivaciones, obras hidráulicas y prediales), se editaron y ajustaron de acuerdo a las condiciones actuales del cauce del río obtenidas mediante los procesos de georreferenciación y toma de puntos de control en campo con dispositivo GPS por profesionales de FUNDISPROS en desarrollo del contrato de apoyo interinstitucional 320 de 2013 (ver Imagen 2); para el ajuste también se tuvo en cuenta la información aportada por guías, propietarios de predios, lugareños y en general personas con conocimiento del estado actual de las condiciones de la zona.



Imagen 2. Obras hidráulicas georreferenciadas

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.1.2.1. Localización y caracterización de conducciones

La Tabla 2, relaciona los nombres de los canales identificados mediante la reglamentación de usos protocolizada en la resolución 1251 de 31-05-2011, algunos de los cuales son conocidos y nombrados según su orden de importancia en derivaciones, Subderivaciones, ramificaciones y otros se nombraron provisionalmente para facilitar su identificación y posterior manejo de la información, aludiendo al nombre de un beneficiario, nombre del predio o por información suministrada por el guía, también muestra la longitud total de cada canal. Esta lista relaciona todas las derivaciones, incluso aquellas que surten necesidades hídricas de usuarios que no entregaron información para ser incluidos en la única reglamentación vigente.

En total se referenciaron 112145.647m de conducciones de aguas para diferentes usos construidas de forma artesanal (canal natural), revestidas, o con mangueras.

	DERIVACIÓN PRINCIPAL	LONGITUD (Mts)
	Canal Predio Contreras	803.028
	Descoles predio La Reserva	486.122
	Canal Predio El Vergel	133.020
1	Primera Derivación Primera Izquierda Canal Los Andes	552.928
2	Segunda Derivación Segunda Izquierda	703.945
3	Tercera Derivación Primera Derecha Canal La Primavera	562.786
4	Cuarta Derivación Tercera Izquierda Canal El Porvenir	463.671
5	Quinta Derivación Cuarta Izquierda Acueducto San Andrés Tello	114.062
6	Sexta Derivación Quinta Izquierda Acueducto Municipio De Tello	14.945
7	Séptima Derivación Sexta Izquierda Canal Plan Del Salto	2179.046
8	Octava Derivación Segunda Derecha Canal Vega De Los Rosos	266.241
9	Novena Derivación Séptima Izquierda Canal Boca Del Potrero	2752.548
10	Decima Derivación Tercera Derecha Canal Boca Del Potrero	139.155
11	Décima Derivación Cuarta Derecha Canal La Esperanza	1487.731
12	Décima Segunda Derivación Quinta Derecha	2306.331
13	Décima Tercera Derivación Octava Izquierda Canal San Miguel	5958.506
14	Décima Cuarta Derivación Novena Izquierda Canal La Paz En Proyecto	7462.671
15	Décima Quinta Derivación Sexta Derecha Canal Guasimal	774.692
16	Décima Sexta Derivación Séptima Derecha Canal La Aurora	2712.279
17	Décima Séptima Derivación Décima Izquierda Canal La Palma	580.132
18	Décima Octava Derivación Octava Derecha Canal San Lorenzo	2805.975
19	Décima Novena Derivación Novena Derecha Canal Altagracia	2711.976
20	Vigésima Derivación Décima Derecha Canal Tundama	4586.421
21	Vigésima Primera Derivación Décima Primera Izquierda Bombeo La Paz	5309.733
22	Vigésima Segunda Derivación Decima Segunda Izquierda Canal El Triunfo	1086.440
23	Vigésima Tercera Derivación Décima Tercera Izquierda Canal La Compañía	5151.374
24	Vigésima Cuarta Derivación Décima Cuarta Izquierda Canal Santa Lucia	3426.715
25	Vigésima Quinta Derivación Décima Primera Derecha Canal Santa Lucia	197.253
26	Vigésima Sexta Derivación Décima Quinta Izquierda Canal Santa Lucia	1387.063
27	Vigésima Séptima Derivación Décima Segunda Derecha Canal Santa Rita	3497.730
28	Vigésima Octava Derivación Décima Tercera Derecha Canal Santa Rita	2566.641
29	Vigésima Novena Derivación Décima Sexta Izquierda Canal La Isla	355.296
30	Trigésima Derivación Décima Séptima Izquierda Canal La Isla	262.260
31	Trigésima Primera Derivación Décima Octava Izquierda Canal Mendias	1876.948
32	Trigésima Segunda Derivación Decima Cuarta Derecha Canal San Joaquín	2404.717
33	Trigésima Tercera Derivación Décima Quinta Derecha Canal El Edén	427.513
34	Trigésima Cuarta Derivación Décima Novena Izquierda Canal La Palma	1264.115
35	Trigésima Quinta Derivación Décima Sexta Derecha Canal San Isidro 1	5455.024
36	Trigésima Sexta Derivación Decima Séptima Derecha Canal San Isidro 2	9367.241

37	Trigésima Séptima Derivación Vigésima Izquierda Canal Mesa Redonda	3888.721
38	Trigésima Octava Derivación Décima Octava Derecha Canal El Jordán	8797.430
39	Trigésima Novena Derivación Vigésima Primera Izquierda Canal Salamina	1411.727
40	Cuadragésima Derivación Décima Novena Derecha Canal San Camilo	4278.281
41	Cuadragésima Primera Derivación Vigésima Segunda Izquierda Bombeo El Tambo	54.600
42	Cuadragésima Segunda Derivación Vigésima Tercera Izquierda Canal San Cristóbal	3298.342
43	Cuadragésima Tercera Derivación Asoporvenir	5822.271
TOTAL		112145.647

Tabla 2. Longitud de canales primarios, secundarios y ramales referenciados con - Canales y Bombeos Localizados
Fuente: FUNDISPROS, 2014

La Figura 6 muestra la ubicación y ajuste final de todas las derivaciones con respecto a las condiciones físicas e hidrológicas actuales del cauce del río, las cuales han sufrido modificaciones con respecto a las características y ubicación reportadas en el informe de reglamentación. Algunas derivaciones han tenido que ser reubicadas debido a fuertes aumentos de caudal del cauce principal, que las arrastra y destruye, otras han sido reubicadas varios metros aguas arriba del río con el fin de aumentar el caudal captado.

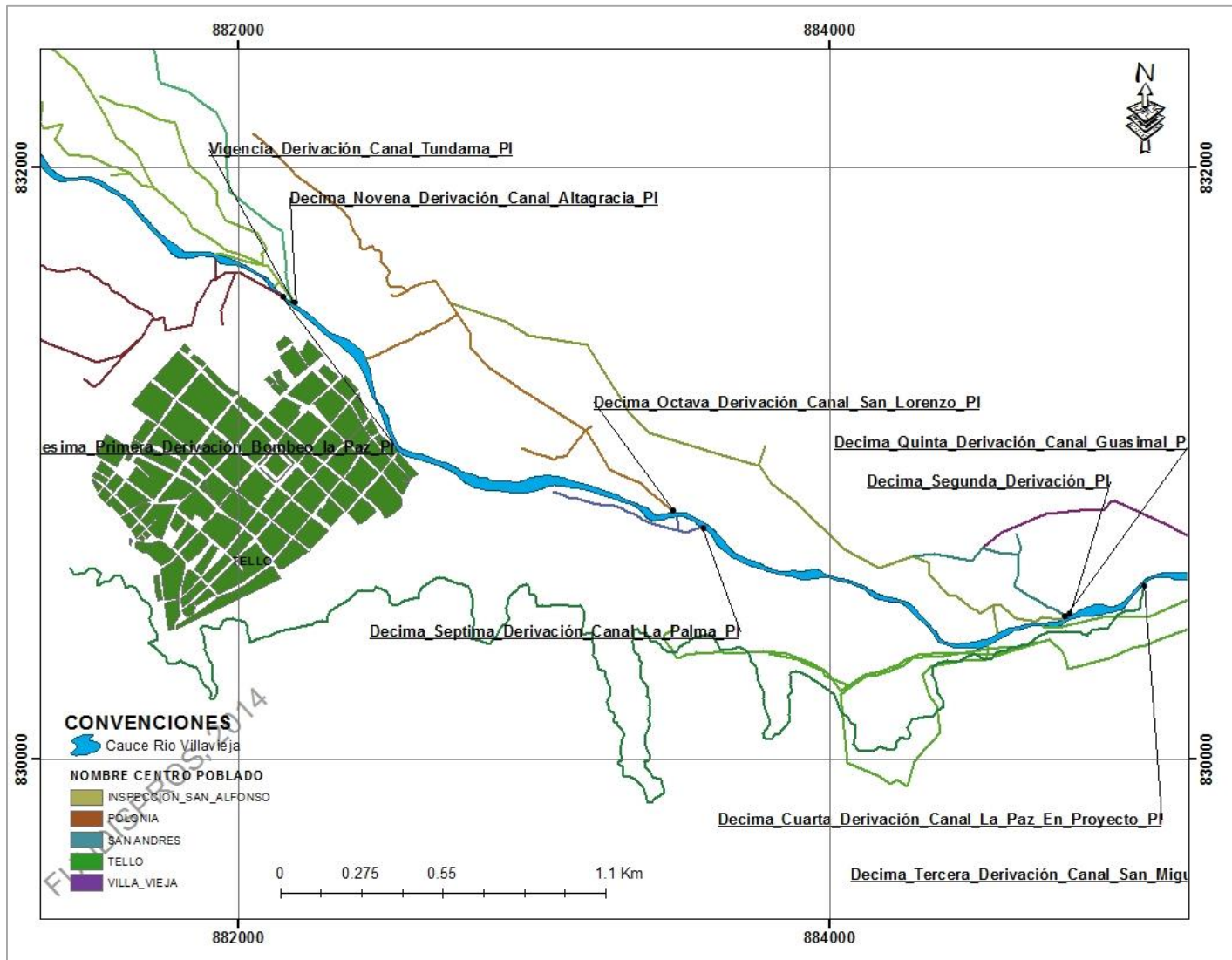


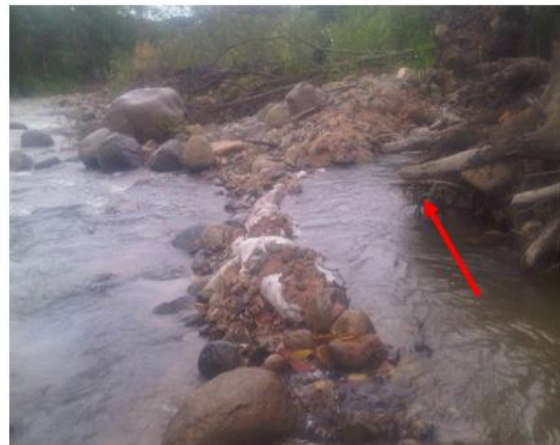
Figura 6. Derivaciones principales y secundarias ajustadas al cauce principal del Rio y las condiciones actuales de la zona
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.1.3. Inventario y evaluación de obras hidráulicas.

Durante los procesos de georreferenciación del cauce principal y toma de puntos de control para el ajuste y estructuración de la información geográfica, se georreferenciaron y localizaron todas las obras hidráulicas (bocatomas, tomas prediales, aforadores, vertederos, compuertas, derivadores, etc.) que se encontraron sobre el cauce principal del río y en los canales de conducción del agua, de esta forma se realizó un inventario actual de las obras de captación, regulación y distribución de caudales en las derivaciones y que se encargan de garantizar la eficiencia en las labores de distribución y control de caudal que se encuentran en la zona de estudio.



Decima novena derivación Alta Gracia



Decima sexta derivación La Aurora



Compuerta artesanal Santa Rita



Compuerta derivación El Jordán

Imagen 3. Obras hidráulicas sobre el cauce principal y los canales de riego
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Cada una de las estructuras se codificó con el fin de localizarlas en los planos cartográficos, esta codificación se puede detallar en la Tabla 3. Por cada estructura hidráulica evaluada se tomó un registro fotográfico que se enlazo a la base de datos geográfica de tal manera que sea posible visualizarlo tanto en el SIG como en una carpeta de Windows en formato jpg.

No	CODIGO Ó ABREV	TIPO DE OBRA HIDRAULICA
1	A	ALIVIADERO O DEFOGUE
2	Al	ALCANTARILLA
3	B	BOCATOMA
4	Ba	BOCATOMA ARTESANAL
5	Bc	BOX COULVERT
6	C	COLECTORES
7	Cd	CAJILLA DE DISTRIBUCION
8	Ci	CAJA INSPECCION
9	Cm	CAPTACION CON MANGUERA
10	Co	COMPUERTA
11	Cp	CANALETA PARSHALL
12	Cr	CANAL REVESTIDO
13	De	DESARENADOR
14	Dr	DERIVACION
15	E	CONTROL ESCORRENTIA
16	Mp	MURO DE PROTECCION
17	Op	OBRA DE PASO PREDIAL
18	P	PUENTE
19	Pa	PASO DE AGUA
20	Pc	PUENTE CANAL
21	Pe	PASO ELEVADO
22	Po	PONTÓN
23	R	RAPIDA
24	S	SIFON INVERTIDO
25	Sd	SUBDERIVACION
26	Sn	SOSTENEDORA DE NIVEL
27	T	TUNEL
28	TBc	TOMA BOMBEO CANAL
29	TBr	TOMA BOMBEO RIO
30	Tp	TOMA PREDIAL
31	V	VIADUCTO
32	Ve	VERTEDERO
33	Ce	CONTROL DE ESCORRENTIA
34	De	DESCOLES

Tabla 3. Codificación de las obras hidráulicas

Fuente: FUNDISPROS, 2014

El total de estructuras hidráulicas identificadas y georreferenciadas por derivaciones principales y secundarias, se resume en la *Tabla 4*.

CANAL Y/O USUARIO	OBRAS																
	B	Dr	P	Tp	V	T	Pc	Co	Sn	TBc	A	CaQ	De	Ce	DI	Cp	TOTAL
Canal Predio Contreras	1			10							1		1				13
Canal Predio La Reserva				8									1				9
Canal Predio El Vergel	1			1													2
Primera Derivación Primera Izquierda Canal Los Andes	1			3													4
Segunda Derivación Segunda Izquierda Los Andes	1			4							1						6
Tercera Derivación Primera Derecha Canal la Primavera	1			5													6
Cuarta Derivación Tercera Izquierda Canal El Porvenir	1	1		3													5
Quinta Derivación Cuarta Izquierda Acueducto San Andrés Tello	1											1	1				3
Sexta Derivación Quinta Izquierda Acueducto Municipio De Tello	1																1
Séptima Derivación Sexta Izquierda Canal Plan Del Salto	1	2		4													7
Octava Derivación Segunda Derecha Canal Vega De Los Rosos	1			1													2
Novena Derivación Séptima Izquierda Canal Boca Del Potrero	1		1	2		2	2					2					10
Decima Derivación Tercera Derecha Canal Boca Del Potrero	1			1													2
Décima Primera Derivación Cuarta Derecha Canal La Esperanza	1	2		17				1				2					23
Décima Segunda Derivación Quinta Derecha Canal La Esperanza	1			10								1					12
Décima Tercera Derivación Octava Izquierda Canal San Miguel	1	2		38	2					1		3					47
Décima Cuarta Derivación Novena Izquierda Canal La Paz En Proyecto	1																1
Décima Quinta Derivación Sexta Derecha Canal Guasimal	1	1		4	2							2					10
Décima Sexta Derivación Séptima Derecha Canal La Aurora	1	1		15								1			1		19
Décima Séptima Derivación Décima Izquierda Canal La Palma	1			7								1					9

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS
MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

Décima Octava Derivación Octava Derecha Canal San Lorenzo	1	3		18	1	4													27
Décima Novena Derivación Novena Derecha Canal Altgracia	1		2	23	2			1		1								1	31
Vigésima Derivación Décima Derecha Canal Tundama	1	5		57						1								1	65
Vigésima Primera Derivación Décima Primera Izquierda Bombeo La Paz	1	5		29	6	2	2			2		1						1	49
Vigésima Segunda Derivación Decima Segunda Izquierda Canal El Triunfo	1			7	2		1												11
Vigésima Tercera Derivación Décima Tercera Izquierda Canal La Compañía	1	3		24						2		1							31
Vigésima Cuarta Derivación Décima Cuarta Izquierda Canal Santa Lucía 1	1	4		22	4							1						2	34
Vigésima Quinta Derivación Décima Primera Derecha Canal Santa Lucía 2	1			5															6
Vigésima Sexta Derivación Décima Quinta Izquierda Canal Santa Lucía 3	1			20								2						1	24
Vigésima Séptima Derivación Décima Segunda Derecha Canal Santa Rita 1	1	2	3	16						1		1							24
Vigésima Octava Derivación Décima Tercera Derecha Canal Santa Rita 2	1			13		4						1		1				2	22
Vigésima Novena Derivación Décima Sexta Izquierda Canal La Isla 1	1			8															9
Trigésima Derivación Décima Séptima Izquierda Canal La Isla 2	1			12															13
Trigésima Primera Derivación Décima Octava Izquierda Canal Mendías	1			13	2	2						2						1	21
Trigésima Segunda Derivación Decima Cuarta Derecha Canal San Joaquín	1	3	2	39			2												47
Trigésima Tercera Derivación Décima Quinta Derecha Canal El Edén	1			6															7
Trigésima Cuarta Derivación Décima Novena Izquierda Canal La Palma	1			14		2	2					1							20
Trigésima Quinta Derivación Décima Sexta Derecha Canal San Isidro 1	1	3	1	37		4	1			1	1	3						1	53
Trigésima Sexta Derivación Decima Séptima Derecha Canal San Isidro 2	1	12		102	7	6	6			1		2						7	144
Trigésima Séptima Derivación Vigésima Izquierda Canal Mesa Redonda	1	6	2	31															40
Trigésima Octava Derivación Décima Octava Derecha Canal El Jordán	1	5	6	81	3	20	13			3	3			2				4	141
Trigésima Novena Derivación Vigésima Primera Izquierda Canal Salamina	1		1	11			2					3						2	20
Cuadragésima Derivación Décima Novena Derecha Canal San Camilo	1	3	2	7	5		4	1				3						1	27

Fundación Desarrollo de las Ingenierías y Ciencias de la Salud para la Proyección Social "FUNDISPROS"
Av. 26 # 27 - 94 Oficina 108 Neiva - Huila
Teléfono: 0988744048 Celular: 3102902061
Email: fundispros@gmail.com



ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS
MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

Cuadragésima Primera Derivación Vigésima Segunda Izquierda Bombeo El Tambo	1			1														2	
Cuadragésima Segunda Derivación Vigésima Tercera Izquierda Canal San Cristóbal	1	2		63	3	8		1										3	81
Cuadragésima Tercera Derivación Vigésima Derecha – Canal Asoporvenir	1	2	6					32										1	42
TOTAL	44	67	26	774	39	88	34	2	2	11	43	1	15	9	3	2		1182	

Tabla 4. Inventario de obras hidráulicas por derivaciones identificadas
Fuente: FUNDISPROS, 2014

La Figura 7, muestra la ubicación espacial de algunas de las obras hidráulicas localizadas y referenciadas mediante procesos de reconocimiento en campo, además de las que se consideraron como principales, las cuales se evaluaron diligenciando el formato de encuesta.

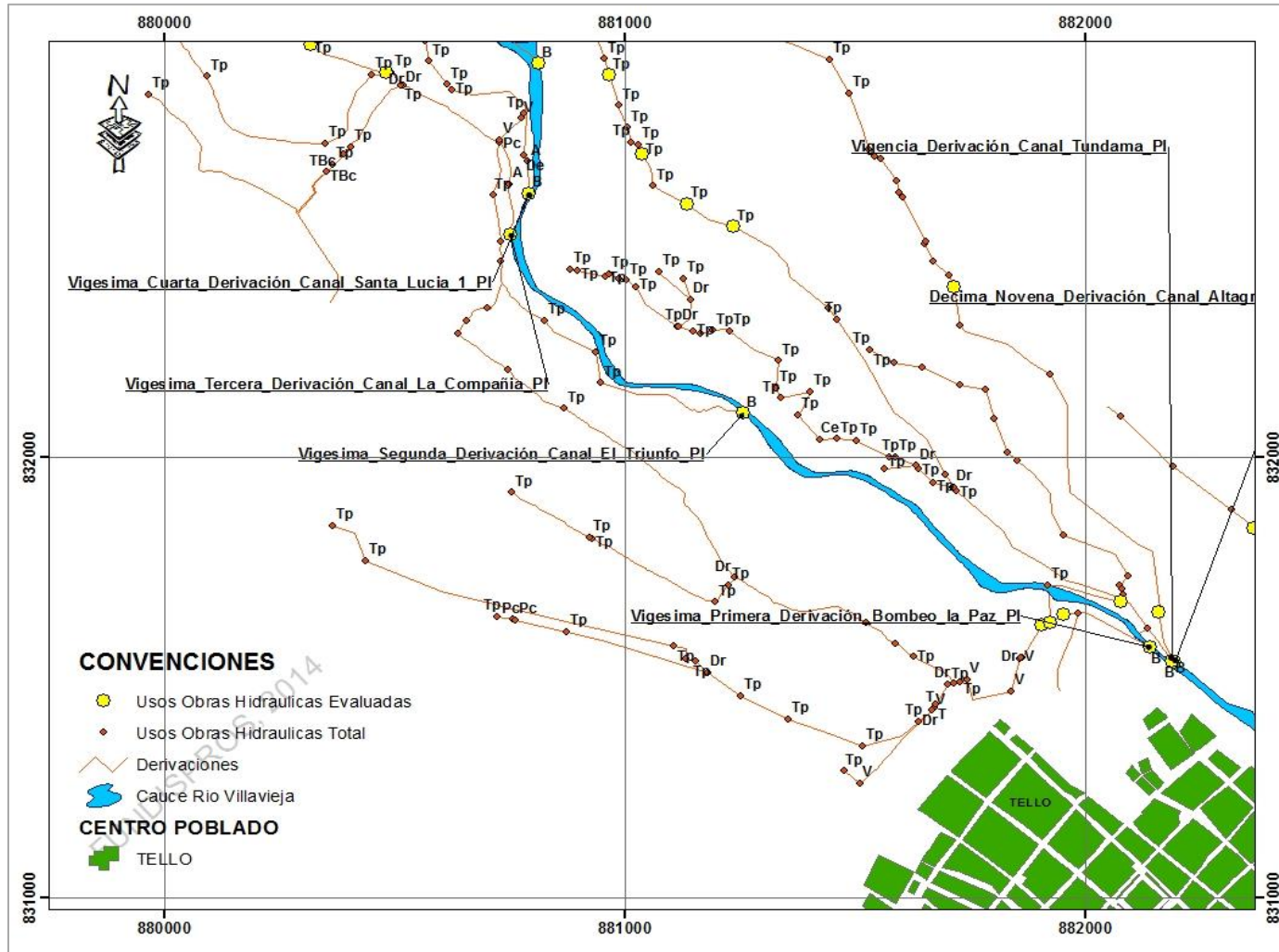


Figura 7. Ubicación de obras hidráulicas referenciadas sobre el cauce principal del Rio y canales de derivación mediante labores de reconocimiento en campo
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Según la legislación colombiana y lo dispuesto en el artículo 184 del decreto 1541 de 1978 capítulo IV “Régimen para el aprovechamiento de aguas y cauces limítrofes”, título VIII “De las obras hidráulicas”, *los beneficiarios de una concesión o permiso para el uso de aguas o el aprovechamiento de cauces, están obligados a presentar a la autoridad ambiental, para su estudio, aprobación y registro, los planos de las obras necesarias para la captación, control, conducción, almacenamiento o distribución del caudal o el aprovechamiento del cauce.*

En la zona de influencia del cauce hídrico río Villavieja en los municipios de Tello y Villavieja, la mayoría de las estructuras hidráulicas no cumplen con los requisitos mínimos para realizar una eficiente administración y manejo de caudal, por esta razón una vez georreferenciadas todas las obras hidráulicas, se identificaron las principales estructuras encargadas del manejo de caudales y se diligenció un formato de encuesta (Ver ANEXO 1) análogo in situ en el que se consignó información sobre tipo de obra, estado general, funcionalidad y características constructivas, entre otras observaciones de interés con el fin de realizar un diagnóstico o panorama del estado actual de las principales estructuras hidráulicas de la zona de estudio. Se evaluaron en total **152 estructuras**.

Cada una de las estructuras hidráulicas además de codificarlas como se describió en la Tabla 3 para fines de identificación en planos cartográficos, posee un registro fotográfico que se enlaza a la base de datos geográfica, de esta manera es posible localizarla geográficamente en el SIG y visualizarla por medio de una fotografía al clicar el punto geográfico de ubicación. Esta carpeta con el archivo fotográfico también se puede visualizar como en una carpeta de Windows en formato jpg.

La Tabla 5 relaciona la cantidad total de estructuras evaluadas, agrupadas por clases o tipo de obra.

TIPO DE OBRA	CONVENCION	CANTIDAD
Bocatoma	B	45
Canal de Escorrentía	Ce	C
Compuerta	Co	1
Derivación	Dr	15
Toma bombeo canal	TBc	3
Toma predial	Tp	75
Vertedero	Ve	12
TOTAL		152

Tabla 5. Obras hidráulicas evaluadas
Fuente: FUNDISPROS, 2014

La Figura 8 muestra un comparativo entre la distribución espacial de las bocatomas que se identificaron en la reglamentación anterior vs las localizadas, identificadas y ajustadas posteriormente a la cartografía según características físicas actuales del río mediante verificación y toma de puntos de control en campo durante las

actividades de inspección realizadas por profesionales FUNDISPROS, las cuales han tenido que ser reubicadas debido a las características dinámicas del río.

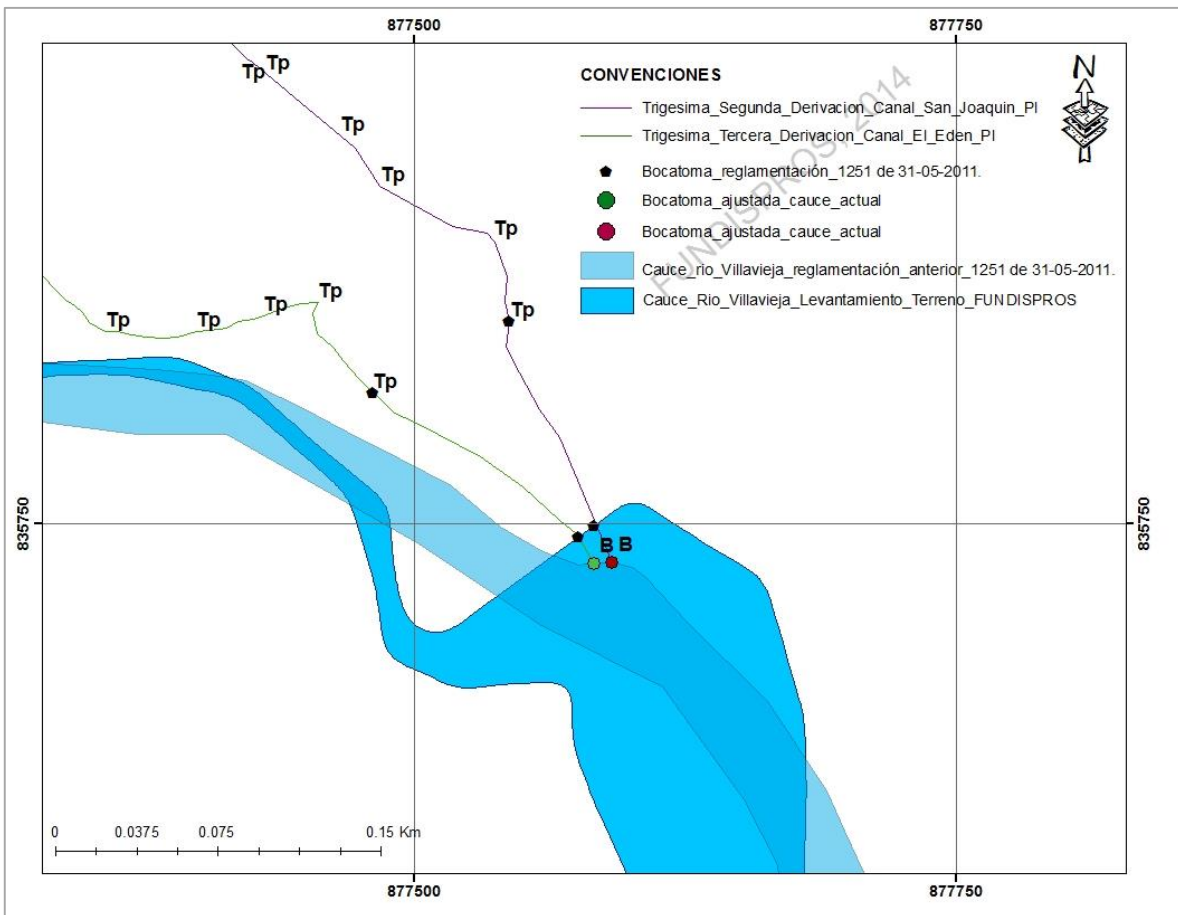


Figura 8. Comparación de la ubicación espacial e obras hidráulicas y derivaciones principales y secundarias georreferenciadas mediante labores en terreno vs la ubicación obtenida mediante reglamentación 1251 del 31 de mayo de 2011
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

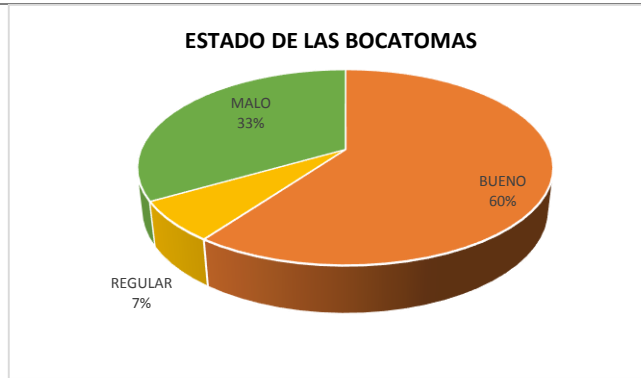
Los obtenidos de las actividades de evaluación de las estructuras hidráulicas en el cauce y en los canales de distribución en el área de estudio (tipo de obra, características constructivas, estado y otros), se muestran en la siguiente tabla por medio de gráficas.

No.	GRAFICAS	DESCRIPCION																
1	<p>OBRAS HIDRÁULICAS CUENCA DEL RÍO VILLAVIEJA</p> <table border="1"> <tr><th>Tipo de Obra</th><th>Porcentaje</th></tr> <tr><td>TOMA PREDIAL</td><td>49%</td></tr> <tr><td>BOCATOMA</td><td>29%</td></tr> <tr><td>DERIVACIÓN</td><td>10%</td></tr> <tr><td>ALIVIADERO</td><td>8%</td></tr> <tr><td>CANAL DE ESCORRENTIA</td><td>1%</td></tr> <tr><td>COMPUERTA</td><td>1%</td></tr> <tr><td>TOMA BOMBEO CANAL</td><td>2%</td></tr> </table>	Tipo de Obra	Porcentaje	TOMA PREDIAL	49%	BOCATOMA	29%	DERIVACIÓN	10%	ALIVIADERO	8%	CANAL DE ESCORRENTIA	1%	COMPUERTA	1%	TOMA BOMBEO CANAL	2%	<p>Las obras hidráulicas evaluadas, suman en total 152, de las cuales según la gráfica de proporcionalidad o diagrama de torta se tiene que el 49% del total son de clase toma predial; el 29% son bocatomas las cuales derivan el curso del agua, 1 bocatoma por derivación identificada en el Rio por las dos márgenes, 48 en total, de las cuales 45 son captaciones convencionales y tres son tomas por bombeos; el 10% de las estructuras corresponde a derivaciones, las cuales regulan el caudal para un grupo de predios que se abastecen de un mismo canal, por lo que no se evaluó las tomas prediales en forma independiente, si no la derivación; 8% son aliviaderos los cuales son un pequeño tramo de canal que se construye para controlar el nivel máximo de caudal que fluye por un canal, desfogando los excesos por medio de un desnivel topográfico nuevamente al cauce del Rio; el resto de porcentaje corresponde a 1% a compuertas y 1% a canales de escorrentía</p>
Tipo de Obra	Porcentaje																	
TOMA PREDIAL	49%																	
BOCATOMA	29%																	
DERIVACIÓN	10%																	
ALIVIADERO	8%																	
CANAL DE ESCORRENTIA	1%																	
COMPUERTA	1%																	
TOMA BOMBEO CANAL	2%																	

BOCATOMAS

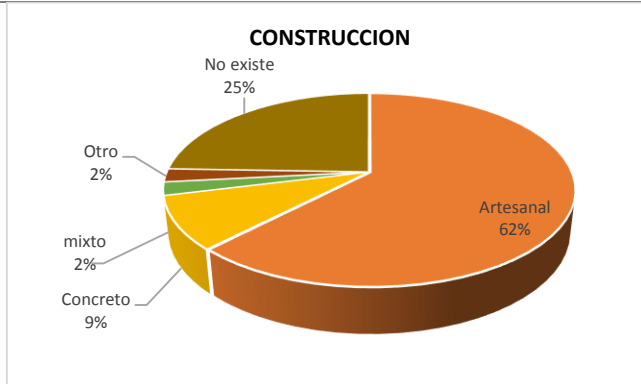
2	<p>TIPO DE DERIVACION</p> <table border="1"> <tr><th>Tipo de Derivación</th><th>Porcentaje</th></tr> <tr><td>Canal de derivacion</td><td>87%</td></tr> <tr><td>No aplica</td><td>9%</td></tr> <tr><td>Presa de derivacion</td><td>2%</td></tr> <tr><td>Manguera</td><td>2%</td></tr> </table>	Tipo de Derivación	Porcentaje	Canal de derivacion	87%	No aplica	9%	Presa de derivacion	2%	Manguera	2%	<p>Los tipos de derivación predominantes en las bocatomas son canales de derivación con un 87%; por mangueras con un 2% y presas de derivación con un 2%.</p>
Tipo de Derivación	Porcentaje											
Canal de derivacion	87%											
No aplica	9%											
Presa de derivacion	2%											
Manguera	2%											

3



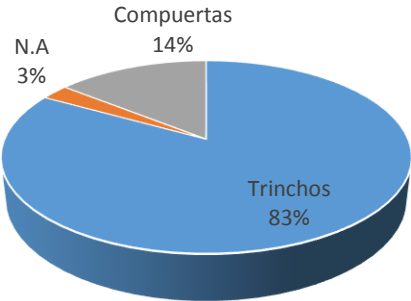
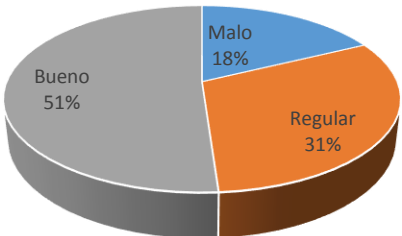
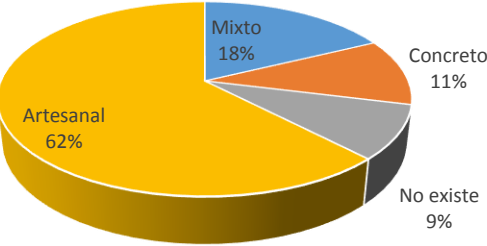
El estado del total de las 45 captaciones convencionales que se hacen en el cauce del Rio, son buenas para un 60%, es decir aquellas bocatomas que independientemente de sus características constructivas se mantienen en buen estado y en funcionamiento; 33% se encuentran en estado malo, dentro de este grupo están inmersas aquellas estructuras que han sido arrasadas por las crecientes hídricas del Rio, aquellas que están obstruidas e incluso las que no lograron ser ubicadas; 7% están en estado regular, catalogadas así por sus pobres características constructivas y dificultades para su funcionamiento, pero continúan cumpliendo con su labor.

4



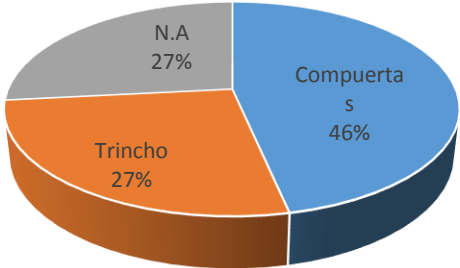
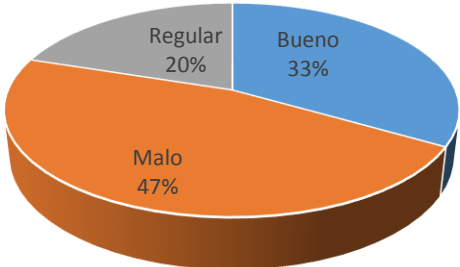
Los materiales utilizados para la construcción de las bocatomas en esta zona, son en su mayoría costales rellenos con arena, rocas, restos de madera, guadua, etc., materiales que generalmente se depositan en la parte lateral del Rio para desviar su curso y actuar así como una presa de derivación, con estas características constructivas fueron catalogadas el 62% de las bocatomas evaluadas; 25% construcciones que ya no existen porque han sido arrastradas por las crecientes del Rio; 9% están construidas con un grado de sofisticación, es decir con concreto y hierro, dentro de las cuales están las bocatomas del acueducto de San Andrés Tello, la cual es una bocatoma lateral y la que abastece el casco urbano del municipio de Tello; 2% tienen mixtas características constructivas, es decir están construidas con material vegetal y a la vez con concreto.

TOMAS PREDIALES

5	<p>ESTRUCTURAS DE REGULACIÓN Y CONTROL</p>  <p>Compuertas 14% N.A 3% Trinchos 83%</p>	<p>Las tomas prediales son estructuras de control del agua a la entrada de los predios, en total se evaluaron 75 de estas tomas, de las cuales 83% regulan la entrada a los predios por medio de trinchos; 14% equivalen a compuertas.</p>
6	<p>ESTADO DE LAS TOMAS PREDIALES</p>  <p>Bueno 51% Malo 18% Regular 31%</p>	<p>En general el estado constructivo de las tomas prediales es bueno, con un valor de 51%, se consideraron buenas aquellas obras hidráulicas que en el momento de la inspección se encontraban en funcionamiento y son usadas regularmente, al igual que la calidad de del material constructivo; siguiendo estos parámetros se consideró en estado malo el 18% de las tomas prediales y el 31% en estado regular.</p>
7	<p>TIPO DE CONSTRUCCION DE LAS TOMAS PREDIALES</p>  <p>Mixto 18% Concreto 11% Artesanal 62% No existe 9%</p>	<p>Las tomas prediales identificadas en la zona de estudio, son en su mayoría de construcción artesanal, 62% en porcentaje; se consideró artesanal aquellas estructuras con características constructivas sencillas tales como bultos rellenos de arena, maderas, restos vegetales, etc; 18% se consideraron de construcción mixta, es decir aquellas estructuras que contienen materiales vegetales pero también algunas bases en concreto; 11% de las estructuras evaluadas están construidas en concreto con hierro, haciendo resistente y duradera en el tiempo la estructura; 9% de las estructuras no existe, es decir que en el agua ingresa al predio sin ningún tipo de control y</p>

regulación.

DERIVACIONES

<p>8</p>	<p>REGULACION Y CONTROL</p>  <table border="1"> <caption>REGULACION Y CONTROL</caption> <thead> <tr> <th>Estructura</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Compuertas</td> <td>46%</td> </tr> <tr> <td>Trincho</td> <td>27%</td> </tr> <tr> <td>N.A</td> <td>27%</td> </tr> </tbody> </table>	Estructura	Porcentaje	Compuertas	46%	Trincho	27%	N.A	27%	<p>Las derivaciones son estructuras encargadas de la regulación o repartición de caudal por los canales de conducción del agua. Se evaluaron en total 15 derivaciones de las cuales 27% son trinchos, el control realizado con trinchos es muy ineficiente, sobre todo considerando el material del cual se construye; el 27% de la derivaciones de canales no presentaron ningún tipo de estructura de control de reparto de caudal, el agua simplemente se divide siguiente la topografía del canal; el 46% son compuertas, lo cual es un sistema más eficiente.</p>
Estructura	Porcentaje									
Compuertas	46%									
Trincho	27%									
N.A	27%									
<p>9</p>	<p>ESTADO DE LAS DERIVACIONES</p>  <table border="1"> <caption>ESTADO DE LAS DERIVACIONES</caption> <thead> <tr> <th>Estado</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Buena</td> <td>33%</td> </tr> <tr> <td>Mala</td> <td>47%</td> </tr> <tr> <td>Regular</td> <td>20%</td> </tr> </tbody> </table>	Estado	Porcentaje	Buena	33%	Mala	47%	Regular	20%	<p>El estado de las derivaciones evaluadas es malo para 47% ed las estructuras evaluadas, los materiales constructivos son de muy mala calidad, trinchos partidos, en descomposición, bultos con arena rotos, compuertas vencidas, etc; en estado regular 30% de las derivaciones, estas son aquellas que tienen partes de la estructura en buen estado; 33% en estado bueno las cuales tienen la estructura completa, con materiales en buen estado y en funcionamiento.</p>
Estado	Porcentaje									
Buena	33%									
Mala	47%									
Regular	20%									

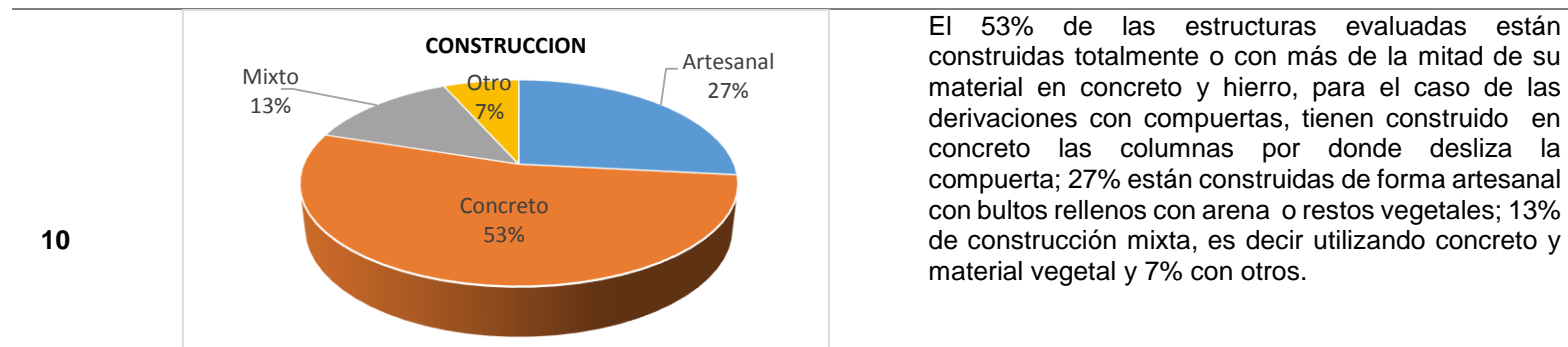


Tabla 6. Diagramas de torta para la representación del resultado obtenido de las actividades de evaluación de algunas Obras hidráulicas de la zona de estudio

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.1.4. Comprobación y actualización de áreas de terreno, áreas cultivadas y actualización del estado jurídico de los predios que hacen uso de la corriente Rio Villavieja mediante concesiones de agua. Ajuste de cartografía predial.

La información predial para usada para el desarrollo del proyecto se obtuvo de la cartografía temática generada a partir de la reglamentación 1251 de 31-05-2011, además de algunos planos análogos aportados por usuarios.

La Figura 9 muestra la distribución espacial de los predios localizados e identificados para el establecimiento de la anterior reglamentación; el rango de área de los predios que usan o no agua para labores de riego oscila entre 0.0258 ha y 1445 ha. La distribución de tierras en la zona de influencia del Rio se caracteriza por estar concentrada pequeños predios. En total los predios referenciados suman 139, de los cuales solamente se les concedió permiso de usos a 129; las áreas de terreno de los predios en saldo se conservaron en la base de datos como información básica de referencia.

En el numeral 2.2 se relaciona la lista de predios y propietarios que tienen concesión de agua según reglamentación 1251 de 31-05-2011 y que mediante visitas de reconocimiento en campo e información de soporte allegada por ellos, continúan haciendo uso del recurso hídrico de la corriente de Rio Villavieja, además del área destinada en cada predio para procesos agrícolas productivos.

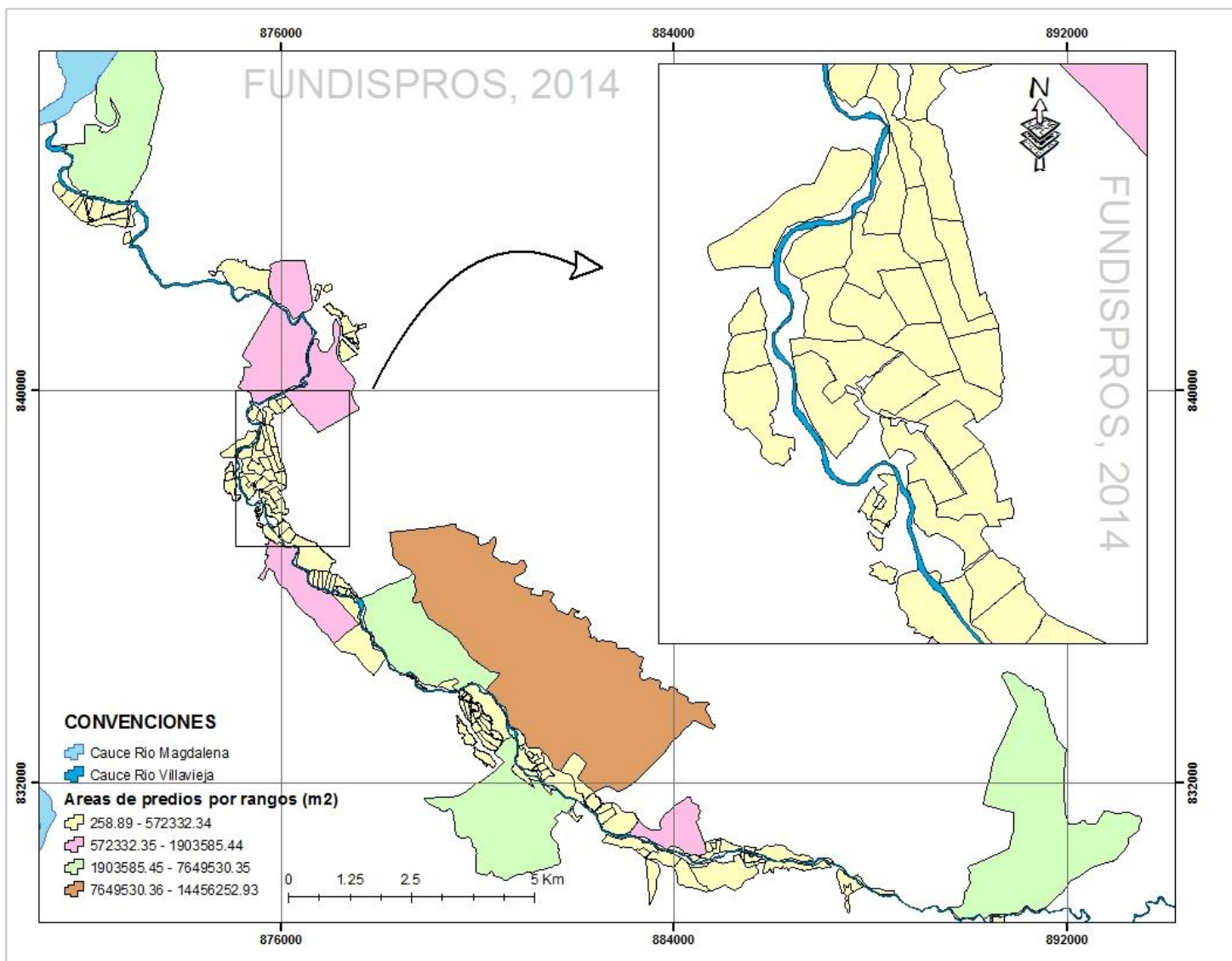


Figura 9. Distribución espacial de predios de la zona de estudio
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.2. IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS

2.2.1 Censo de usuarios, entrega y llenado de encuestas: usos

Para la identificación de usuarios, se diseñó un formato de encuesta (Ver) que resume y recoge información de relevancia en cuanto al uso actual del suelo, estado físico - jurídico de los predios y características de las estructuras prediales; para este proyecto se acopio principalmente la información de usuarios registrados en la reglamentación anteriormente establecida expedida mediante resolución 1251 del 31 de mayo de 2011. Adicional al formato de encuesta, se solicitó documentación que respalde la información consignada en el formulario: certificado de libertad y tradición, factura de tasa por uso (CAM), certificado catastral, planos, especificaciones de unidad de bombeo.

La tabla 8 relaciona la información actualizada y detallada del uso actual del suelo por predio y el área destinada para cada uso.

Id	NOMBRE_PREDIO	NOMBRES_APELLIDOS	CULTIVO	AREA (HA)	PRODUCCION_PECUARIA	No.	No. LAGOS DIMENSIONES	DOMESTICO	ACUEDUCTO
1	EL JORDAN	TULIO ADOLFO GUTIERREZ RAMOS			VACUNAS HORRAS	14			
					CRIAS HEMBRAS	8			
					CRIAS MACHOS	5			
			ARROZ	78	CABALLOS	3		5	
					VACUNAS, PARIDAS	13			
2	EL MILAGRO	SOCIEDAD BLANCA MEDINA Y CIA S EN C	ARROZ	32					
3	SAN JOAQUÍN	JENARA PERDOMO MEDINA	ARROZ	3					
4	LA COMPAÑÍA	SUC. IGNACIO ANTONIO PUENTES			VACUNAS HORRAS	3			
			ARROZ	3	VACUNAS, PARIDAS	1			
5	LA COMPAÑÍA	OMAR PUENTES PUENTES	ARROZ	3	NOVILLOS	4			
					CABALLOS	2			
			ARROZ	3	VACUNAS, PARIDAS	4			
6	LA COMPAÑÍA	DIEGO PUENTES PUENTES			VACUNAS HORRAS	2			
					CRIAS HEMBRAS	4			
			ARROZ	3	VACUNAS, PARIDAS	2			
7	LA COMPAÑÍA	ALIX PUENTES PUENTES		0	VACUNAS HORRAS	2			
				0	NOVILLOS	4			
			ARROZ	3	VACUNAS HORRAS	10			
8	LA COMPAÑÍA	LUIS ERNESTO PUENTES PUENTES			CABALLOS	2			
			ARROZ	3	CABALLOS	1			

**ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS
MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

9	LA COMPAÑÍA	JAVIER PUENTES PUENTES			VACUNAS, PARIDAS	1	
					VACUNAS HORRAS	2	
					NOVILLOS	4	
10	LA COMPAÑÍA	FARID PUENTES PUENTES	ARROZ	3	CABALLOS	2	
					NOVILLOS	3	
11	LA COMPAÑÍA	JOSE ALIRIO PUENTES	ARROZ	15	VACUNAS, PARIDAS	14	
					VACUNAS HORRAS	5	
					NOVILLOS	20	
					CRIAS MACHOS	4	
			ARROZ	6	VACUNAS, PARIDAS	5	
12	LA COMPAÑÍA	DIOGENES PUENTES			VACUNAS HORRAS	7	
					NOVILLOS	6	
					CRIAS HEMBRAS	5	
					CRIAS MACHOS	4	
			ARROZ	13	VACUNAS, PARIDAS	10	
13	LA COMPAÑÍA	ISRAEL PUENTES			VACUNAS HORRAS	9	
					NOVILLOS	20	
					CRIAS HEMBRAS	10	
					CRIAS MACHOS	8	
			CACAO	2	CABALLOS	1	
14	LA ESPERANZA	PEDRO HUMBERTO VILLAMIL OLAYA	PANCOGER	2	VACUNAS, PARIDAS	7	
					NOVILLOS	1	
					CRIAS HEMBRAS	4	
					CRIAS MACHOS	3	
			PASTOS	2	VACUNAS HORRAS	3	
15	TUNDAMA	HERNANDO FALLA DUQUE	CACAO	30			
			CACAO	17.5			5
16	SANTA LUCIA - EL FUERTE - POTOSI	HERNANDO FALLA DUQUE	PASTOS	2.2			
			CACAO	1.1			
			CACAO	17.5			0
			CACAO	3.8	NOVILLOS	700	
17	LA PAZ	HERNANDO FALLA DUQUE	ARROZ	80			
			PASTOS	35			
			ARROZ	3			
			CACAO	3			
			ARROZ	6			
18	LOTE NUMERO (1)	HERNANDO FALLA DUQUE	PASTOS	4			
			ARROZ	3			
19	SAN JOAQUIN	MARIA LOURDES PERDOMO	ARROZ	3			
20	SAN JOAQUIN	SUC. ANA PERDOMO MEDINA	ARROZ	3			
21	LA ESPERANZA	MARCELO REYES GUZMAN	CACAO	7	CABALLOS	3	3
					MULAS, ASNOS	2	
					VACUNAS, PARIDAS	7	

**ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS
MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

				VACUNAS HORRAS	15	
				CRIAS HEMBRAS	9	
22	POTRERO SAN MIGUEL	EDGAR DUQUE	CACAO	8		
			PASTOS	13	CABALLOS	2
					MULAS, ASNOS	1
23	PALMIRA	RICARDO MOSQUERA MOSQUERA			VACUNAS, PARIDAS	13
					VACUNAS HORRAS	5
					CRIAS HEMBRAS	6
					CRIAS MACHOS	6
					AVES	10
23	PALMIRA	RICARDO MOSQUERA MOSQUERA			OVEJAS	2
					CABALLOS	5
						4
24	LOTE HOY PILAMA	CESAR AUGUSTO GARCIA MORA			VACUNAS, PARIDAS	40
					VACUNAS HORRAS	100
					CRIAS HEMBRAS	20
					CRIAS MACHOS	20
					AVES	10
25	SAN CAMILO	ANDRES FELIPE PUENTES CAMINOS	ARROZ	46		2
			PASTOS	3	CABALLOS	2
						4
26	LA MANGUITA	CELIANO CORTES LOPEZ			VACUNAS, PARIDAS	3
					VACUNAS HORRAS	2
					CRIAS HEMBRAS	2
					CRIAS MACHOS	1
					OVEJAS	10
27	LA ANGOSTURA	ROBERTO CAMPOS	ARROZ	4		
			CACAO	3		
28	EL MARQUEZ	LUIS ALFREDO VARGAS	CACAO	2.5		
			CACAO	16	CABALLOS	4
29	SALAMINA	SOCIEDAD INVERSIONES SALAMINA S.A.S			VACUNAS, PARIDAS	8
					VACUNAS HORRAS	20
					CRIAS HEMBRAS	8
					CRIAS MACHOS	5
30	LOTE 56-57 (EL MANDARINO)	SUCESION JAVIER GUTIERREZ LEIVA	ARROZ	9.78		
31	LA ISLA (SAN ISIDRO)	ULPIANO AMAYA	ALGODÓN	3.5		
)		CACAO	1		
32	PARCELA EL JARDIN (SAN ISIDRO)	SUC. DIOSELINA PINTO	ALGODÓN	3		
			FRUTALES	1.5		
33	EL ALIVIO (SAN ISIDRO)	CAMPO ELIAS DELGADO	CACAO	2		
			MAIZ	2.5		
34	EL VERANO (SAN ISIDRO)	MARY PERDOMO CASTRO	ARROZ	1		
			ARROZ	3.5		

Fundación Desarrollo de las Ingenierías y Ciencias de la Salud para la Proyección Social "FUNDISPROS"
Av. 26 # 27 – 94 Oficina 108 Neiva – Huila
Teléfono: 0988744048 Celular: 3102902061
Email: fundispros@gmail.com



**ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS
MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

35	CORAZON (SAN ISIDRO)	ULDARICO TOVAR	CACAO	1.5			
			CITRICOS	1			
			MAIZ	2			
36	MAMONES 1 (SAN ISIDRO)	GUSTAVO SILVA VANEGAS	CACAO	3			
				0	PECES	0	2 DE 100*100
37	PARCELA 2 - LOTE JESUITA (SAN ISIDRO)	JAVIER TAFUR	CACAO	2.5	VACUNAS, PARIDAS	2	
			MAIZ	2			
38	BALSO 01 (SAN ISIDRO)	GONZALO MEDINA	CACAO	2			
			CITRICOS	1.5			
39	MANZANARES (SAN ISIDRO)	VITALIANO MARTINEZ MENDEZ	CITRICOS	1	VACUNAS, PARIDAS	3	
			CACAO	1	CRIS MACHOS	2	
			PASTOS	2.5			
40	MIRADOR (SAN ISIDRO)	LUBIN BAHAMON	CACAO	1.5			
			ARROZ	3			
41	PUERTO AMOR (SAN ISIDRO)	GLORIA PATRICIA CARDOZO	ALGODÓN	3			
			CITRICOS	1.5			
			ARROZ	3			
42	EL PORVENIR (SAN ISIDRO)	NICOLAS PERDOMO	ALGODÓN	2.5			
			CITRICOS	2			
			ARROZ	3			
43	CALLE 2B # 8-92 TELLO	FERNANDO COMETA MEDINA	UVA	0.75			
44	PARCELA NUMERO 61	CARLOS AUGUSTO PERDOMO ROJAS	ARROZ	7.25			
45	PARCELA NUMERO 63	MARIA DEL PILAR PERDOMO ROJAS	ARROZ	8.8			
46	LA PRIMAVERA	OMAR CABRERA COLLAZOS	CACAO	2.5			
47	LOTE (VEREDA LA MANGUITA) HOY LOTE PILAMA	SUCESION HERNANDO LOSADA TOVAR	PANCOGER	2.5			
48	LA AURORA	ALFONSO DUSSAN SOTO	CACAO	1			
49	EL PROGRESO	MARIA DEL PILAR FALLA	CACAO	4			
50	LOTE N° 7	MARIA GENARA CALDERÓN DÍAZ	CACAO	1			
51	LOTE N°3 LA QUINTA	SUC. RAMIRO CALDERÓN VILLEGAS	CACAO	2			
52	BALSO 1 (SAN ISIDRO)	VICTOR SANCHEZ PERDOMO	ARROZ	4.5			
53	CHAGUES (SAN ISIDRO)	ANGEL MARÍA FALLA	ARROZ	4.5			
54	EL MANGO (SAN ISIDRO)	ROGELIO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ	CACAO	2			
			ALGODÓN	2.5			
55	JESUITA (SAN ISIDRO)	DAGOBERTO HERNÁNDEZ	ARROZ	4.5			
56	LAS GUACAS (SAN ISIDRO)	FERNANDO PERDOMO HERNÁNDEZ	ARROZ	4.5			
57	LA ESTRELLA (SAN ISIDRO)	ISRAEL RINCÓN AMEZQUITA	ARROZ	4.5			
58	SAN MIGUEL LOTE C	GAVINO RODRIGUEZ SANCHEZ	ARROZ	3			
59	LA ISLA DEL FUERTE	LUÍS YUSUNGUAIRA BAHAMON	CACAO	1.5			
			CACAO	0.75			

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
 Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

			ARROZ	13.6			
					VACUNAS, PARIDAS	30	
					VACUNAS HORRAS	20	
60	BOCA DEL POTRERO	ALDERMAR MANRIQUE ARIAS			NOVILLOS	20	
					CRIAS HEMBRAS	20	
					CRIAS MACHOS	20	
					CERDOS	6	
					CABALLOS	2	
61	ALTAGRACIA	SUC. GUILLERMO SOLANO BORRERO	ARROZ	38			
62	LA VEGA	SUC. MISAEL PERDOMO SOLANO	CACAO	3			
63	LAS VEGAS ANTES LOTE LA MANGUITA	ALBERTINA MOLINA VALDERRAMA	CACAO	1			
64	LA FORTUNA	LUIS ALBERTO DÍAZ	CACAO	8	MULAS, ASNOS	1	
65	LOTE N° 3 EL MARQUEZ	LUIS ALBERTO DÍAZ	CACAO	4	MULAS, ASNOS	1	
66	LA QUINTA LOTE 3	LUIS ALBERTO DÍAZ	CACAO	2	MULAS, ASNOS	1	
67	EL MESON	SUC. JUAN BAUTISTA RAMIREZ CARDOZO	CACAO	2			
68	ACUEDUCTO SAN ANDRES MUNICIPIO DE TELLO	JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL SAN ANDRES TELLO (VARGAS				0	1860 VEREDAL
69	LOTE N° 2 EL RECREO	HECTOR ROJAS TOVAR	CACAO	5			
			PASTOS	5			
70	ACUEDUCTO MUNICIPAL DE TELLO S.A.S E.S.P	EMPRESAS PÚBLICAS DE TELLO - CASTAÑAL JIMENO RINCÓN GARCÍA					9149 MUNICIPAL
71	DISTRITO DE RIEGO DEL PORVENIR	ASOCIACIÓN DE USUARIOS DEL DISTRITO DE ADECUACIÓN DE TIERRAS DE EL PORVENIR	ARROZ	150			
72	PLAN DEL SALTO	BEATRIZ SILVA SANCHEZ	ARROZ	6	CABALLOS	2	
					CRIAS HEMBRAS	3	
73	LA CLEMENTINA	JOSÉ ELMER OLIVEROS	ARROZ	6			
74	LOS ANDES	FABIO BAHAMON OLAYA	CACAO	4			
75	FINCA EL TAMBO (LOTE N°2)	JESÚS GIOVANY MARAGUA			PECES	400000	16 DE 20X32 M2
76	LA PRIMAVERA	FIDELIA QUIMBAYA DE SOLANO	PASTOS	13	CABALLOS	3	
			PASTOS	12	NOVILLOS	4	
77	EL GUASIMAL	MARTHA CRISTINA PERDOMO	CACAO	2			2
			ARROZ	4		0	
78	LOS ROSOS Y VEGA LOS ROSOS	RIODRIGO CHARRY DUSSAN	PASTOS	2	NOVILLOS	91	
79	LA VEGA	MEDARDO RODRIGUEZ CARDOZO	CACAO	0.5			
80	EL PORVENIR	EDI ARMANDO INSUASTI CUBILLOS			PECES		
81	LOTE LA FORTUNA	IVAN AUGUSTO GARCIA SILVA	ARROZ	4			
82	LOTE EL GUACIMAL	SUCESION PEDRO ARIAS (ERNESTO PERDOMO SALAS)	PASTOS	3			
83	LOTE LOS GIRASOLES	RICARDO MOSQUERA MOSQUERA	ARROZ	1		0	

Fundación Desarrollo de las Ingenierías y Ciencias de la Salud para la Proyección Social "FUNDISPROS"
 Av. 26 # 27 – 94 Oficina 108 Neiva – Huila
 Teléfono: 0988744048 Celular: 3102902061
 Email: fundispros@gmail.com



**ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS
MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

84	SAN MIGUEL LOTE B	GABINO RODRIGUEZ SANCHEZ	ARROZ	1		
85	LA FRAGUA	CESAR AUGUSTO RINCON GARCIA	ARROZ	11		0
			CACAO	1		0
86	LA PRECIOSA	JIMENO RINCON GARCIA			PECES	4
87	SAN MIGUEL LOTE A	GABINO RODRIGUEZ SANCHEZ	ARROZ	0.5		
88	LA FLORIDA	CESAR AUGUSTO RINCON GARCIA	CACAO	5		
			ARROZ	6.4		
89	SAN VICENTE	NUBIA RUTH MOSQUERA TRUJILLO	PASTOS	1		
			PANCOGER	0.5		
			ARROZ	15	VACUNAS, PARIDAS	100
90	LA AURORA	PATRICIA BARRETO QUINTERO	PASTOS	15		
			ARROZ	5		
			PASTOS	20		
			FRUTALES	10		
			ARROZ	5		
			PASTOS	20		
91	MELO	RICARDO MOSQUERA MOSQUERA	PASTOS	2.7		
92	LA PALMA	ROBERTO CAMPOS	CACAO	3		
			PASTOS	2		
93	LA ESPERANZA	NUBIA RUTH MOSQUERA TRUJILLO	ARROZ	2.9		
94	LOTE DOS (2) Y TRES (3)	JORGE ELIECER MURCIA	ARROZ	7.6		
95	SAN AGUSTIN	ALDEMAR MANRIQUE ARIAS	ARROZ	13.5	VACUNAS, PARIDAS	100
95	SAN AGUSTIN	ALDEMAR MANRIQUE ARIAS	ARROZ	0.5		0
96	EL CHUQUIO	JORGE ELIECER MURCIA	ARROZ	5		
97	EL CONTENTO	NUBIA RUTH MOSQUERA TRUJILLO	ARROZ	1.5		
			PASTOS	0.5		
98	SANTA RITA No 1	AIZA YANETH GONZALEZ LOPEZ	ARROZ	21	NOVILLOS	86
99	SANTA RITA No 2	AIZA YANETH GONZALEZ LOPEZ	ARROZ	21	NOVILLOS	282
100	MANGA DE LA ABEJA	AIZA YANETH GONZALEZ LOPEZ	ARROZ	7		
101	EL ARRUGADO	MISAEEL PERDOMO SOLANO	CACAO	0.3		
102	LA REFORMA	AIZA YANETH GONZALEZ LOPEZ	ARROZ	13		
103	MENDIAS	AIZA YANETH GONZALEZ LOPEZ	ARROZ	12		
104	SAN JOAQUIN	JORGE ELIECER PERDOMO MEDINA	PASTOS	3	NOVILLOS	100
105	SAN JOAQUIN	EDGAR PERDOMO MEDINA	ARROZ	9		
106	SAN JOAQUIN	SUCESION JAIME PERDOMO MEDINA	ARROZ	3		
107	SAN JOAQUIN	SUCESION ISMAEL YUSUNGUAIRA MENDEZ	CACAO	3.4		
108	SAN JOAQUIN	RAFAEL YUSUNGUAIRA MENDEZ	CACAO	1		
109	EL PALMICHAL	MISAEEL PERDOMO SOLANO	CACAO	0.28		
110	SAN ISIDRO	LUIS ENRIQUE ACOSTA HORTA	ARROZ	4.5		
111	LA PALMA	REGULO VARGAS MOYANO	PASTOS	4		
112	SAN ISIDRO	ALONSO MENDEZ	ARROZ	4		

Fundación Desarrollo de las Ingenierías y Ciencias de la Salud para la Proyección Social "FUNDISPROS"
Av. 26 # 27 – 94 Oficina 108 Neiva – Huila
Teléfono: 0988744048 Celular: 3102902061
Email: fundispros@gmail.com



**ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS
MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

			CACAO	0.5		
113	SAN ISIDRO	JOSE DIOMEDES GOMEZ SANCHEZ	ARROZ	4.5		
114	PARCELA NUMERO SESENTA Y DOS B	CESAR ALONSO PERDOMO ROJAS	ARROZ	4.6	0	0
			ARROZ	3		
115	SAN ISIDRO	ALEXA VIVIANA SOTTO TOVAR	YUCA	1.5		
			PANCOGER	1		
116	SAN ISIDRO	NORBERTO HERNANDEZ	CACAO	0.25	PECES	0.01 HA
			PASTOS	4.25		
117	SAN ISIDRO	JOSE MARIN VERA	CACAO	2		
			ARROZ	4		
118	SAN ISIDRO	ARISTOBULO TOVAR ROJAS	CACAO	1.5		
			PASTOS	3		
119	SAN ISIDRO	ALFONSO SANCHEZ	ARROZ	4.5		
120	SAN ISIDRO	EFRAIN PERDOMO CASTAÑEDA	CACAO	1		
			PASTOS	3.5		
121	EL POPOCHAL	MISAEAL PERDOMO SOLANO	CACAO	0.1		
122	LA VEGA N° 2	MISAEAL PERDOMO SOLANO	CACAO	0.6		
123	LOTE LA VEGA	SAMUEL PERDOMO MARTINEZ	CACAO	1.6		
124	PARCELA NUMERO SESENTA Y CUATRO	SUCESION EMILIANO ACOSTA	ARROZ	8.5		
125	LA CARRETERA # 1	MERCEDES GAMBOA DE ACOSTA	MAIZ	4		
126	LA CARRETERA # 2	MERCEDES GAMBOA DE ACOSTA	ARROZ	4.6		
127	PARCELA NUMERO CINCUENTA Y NUEVE	CESAR ALONSO PERDOMO ROJAS	ARROZ	10.7		
128	PARCELA NUMERO SESENTA	CESAR ALONSO PERDOMO ROJAS	ARROZ	10.5		

Tabla 7. Descripción de usos por predios localizados e identificados en el proceso de reglamentación del cauce hídrico
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Como usuario nuevo se reportó a la señora Hortensia Fierro Tovar propietaria del predio Las Palmas – Parcela 79, ubicado en la vereda la Manguita, quien presento de forma escrita ante la CAM su solicitud para figurar en la única concesión de aguas que tiene el Rio. El propietario ya había sido referenciado en los procesos de verificación de la anterior reglamentación, pero nunca aportó la documentación requerida. Las áreas cultivadas reportadas por la propietaria son 3ha de cacao y 5ha de maíz.

La Tabla 8, relaciona los usuarios que manifestaron de forma verbal en las oficinas de FUNDISPROS, no estar haciendo uso del caudal concesionado mediante reglamentación de usos y por lo tanto expresaron su deseo de renunciar a esto; una vez hecha esta manifestación, se procedió a realizar la visita de inspección en terreno, en donde se corrobora la veracidad de la información suministrada por los usuarios. Efectivamente los usuarios no hacen uso de la corriente por las razones que en la tabla se exponen.

USUARIO	PREDIO	CANAL	OBSERVACIÓN
OMAR CABRERA COLLAZOS; MARIA AIDE SANCHEZ DE CABRERA	LA PRIMAVERA	LOS ANDES	El señor Omar Cabrera, diligencia en la encuesta que el canal está inactivo como consecuencia de un derrumbe y que no le interesa continuar con la concesión. Para sus labores de riego utiliza mangueras que surte con agua del acueducto
LUÍS YUSUNGUAIRA BAHAMON	LA ISLA DEL FUERTE	LA ISLA DEL FUERTE	El usuario asegura que el canal esta sin uso desde hace 4 años debido a que la creciente del Rio se llevó la bocatoma y piden que no se les cobre la tasa por uso de agua correspondiente al caudal asignado. Mediante inspección ocular en terreno se constató que la bocatoma está destruida.
FABIO BAHAMON OLAYA; NIDIA SOCORRO YARA GOMEZ	LOS ANDES	LOS ANDES	El propietario pide que no se le cobre la tasa por uso de agua correspondiente al caudal concesionado pues hace 3 años que la captación esta inactiva debido a un derrumbe. Mediante inspección ocular en terreno se corrobora que la bocatoma se encuentra destruida debido a los deslizamientos producidos durante los periodos de crecientes

Tabla 8. Usuarios que reportan no estar haciendo uso del caudal asignado por medio de la reglamentación anteriormente establecida.

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Según documentación aportada por usuarios el estado físico de ninguno de los predios cambio, es decir no se realizaron actos de englobes ni desenglobes en los predios de esta zona con respecto a los registrados en el 2011; las actividades jurídicas realizadas fueron actos de compraventa, los cuales se registraron en la base de datos, las actualizaciones se describen en la Tabla 9. Algunos de los usuarios reportaron verbalmente actos de compraventa de los predios, pero finalmente no allegaron la documentación que respalda el proceso jurídico, por lo que no fue posible su actualización y su inclusión en forma independiente en la base de datos de la CAM como lo ordena el artículo 51 del decreto 1541 de 1978 “ *En caso de que se produzca la tradición*

del predio beneficiado con una concesión, el nuevo propietario, poseedor o tenedor, deberá solicitar el traspaso de la concesión de los (60) sesenta días siguientes, para lo cual presentará los documentos que lo acrediten como tal y los demás que se le exijan con el fin de ser considerado como nuevo titular de la concesión”

ID	PREDIO	PROPIETARIO ACTUAL	ANTERIOR PROPIETARIO	TITULO DE PROPIEDAD
26	LA MANGUITA	SUC. LUIS ENRIQUE LOSADA TOVAR MARTIN LOPEZ CORTES FELISA CORTES LOPEZ CELIANO CORTES LOPEZ CLEMENCIA CORTES LOPEZ JOSE IGNACIO MONTEALEGRE CORTES CARLOS ARTURO LOSADA CORTES JOSE DOMINGO LOSADA TOVAR CLEOFE TOVAR LOSADA JOSE ANTONIO CALDERÓN AMAYA HERNANDO LOSADA TOVAR	LUIS ENRIQUE LOSADA TOVAR, RAFAEL LOSADA RODRIGUEZ, ROSA MARIA LOSADA CORTES, MARIA DE JESUS CORTES DE LOSADA Y ZOILO CORTES	ADJ. EN SUC. 21/12/1995, ESC.P. 226 del 1/3/1960, 601 Partición Derechos Sucesorales
29	SALAMINA	SOCIEDAD INVERSIONES SALAMINA S.A.S	MARIA GISELA MENDEZ RAMIREZ	ESC. P 1001 del 9/6/2010
32	PARCELA EL JARDIN (SAN ISIDRO)	SUC. DIOSELINA PINTO MILCIADES CASTRO MEDINA	DIOSELINA PINTO Y MILCIADES CASTRO MEDINA	RESOLUCIÓN 2582 del 27/10/1993 Adj.1/27 parte unidad agrícola familiar
51	LOTE N°3 LA QUINTA	SUC. RAMIRO CALDERÓN VILLEGAS MARÍA LUZ DÍAZ	RAMIRO CALDERÓN VILLEGAS JOSE ANTONIO CALDERÓN	ADJUDICACIÓN SUCESIÓN DEL 8/7/1985
62	LA VEGA	SUC. MISAEL PERDOMO SOLANO	MISAEL PERDOMO SOLANO	
66	LA QUINTA LOTE 3	LUIS ALBERTO DÍAZ	NADIA SAFIR, JOSÉ DOMINGO, ANGÉLICA GARCÍA MARTÍNEZ, LIZETH GARCÍA MARTÍNEZ Y MARÍA LUCEDILA MARTINEZ DE GARCÍA	ESC. P. 88 DEL 8/11/2010
69	LOTE N° 2 EL RECREO	HECTOR ROJAS TOVAR	MESIAS MEDINA YUSUNGUAIRA	ESC. P. 40 DEL 17/1/2011
30	EL MANDARINO	SUC. JAVIER GUTIERREZ LEIVA	JAVIER GUTIERREZ LEIVA	

Tabla 9. Predios con actualización de propietario

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.3. LOCALIZACIÓN DE VERTIMIENTOS PUNTUALES

2.3.1. Georreferenciación de vertimientos directos a lo largo del cauce principal del río.

Durante el proceso de georreferenciación del cauce principal del río (recorrido metro a metro), además de la identificación de obras hidráulicas para usos, se identificó y referencio cada uno de los vertimientos puntuales de aguas residuales que se observaban sobre el cauce, cualquiera que fuese su naturaleza.

No se incluyeron cargas dispersas de contaminantes, ni se consideraron como vertimientos: lavados de suelos por aguas lluvias, arrastres por erosión, aguas cargadas con turbas orgánicas, etc.; solo se consideraron las fuentes puntuales de aguas residuales. Se consideró como un vertimiento los aliviaderos o canales de riego, ya que durante su recorrido por los predios cultivados arrastran partículas de suelo ricas en fungicidas, herbicidas y demás abonos químicos utilizadas en las labores agrícolas

Para localizar y calificar como vertimiento una descarga, se tuvo en cuenta características como: olor típico a metano, colores oscuros, apariencia turbia, presencia de biota característica, reporte de lugareños, etc.

Basados en estos aspectos se localizaron en total 45 vertimientos directos de aguas residuales de diferente naturaleza en la corriente principal de Rio Villavieja.



Imagen 4. Georreferenciación de los vertimientos directos sobre el cauce principal de la corriente del Rio Villavieja.

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.3.2. Georreferenciación con GPS de los canales y conducciones de vertimientos.

Una vez identificadas sobre el cauce principal del Rio los vertimientos de aguas residuales, se procedió a georreferenciar con el GPS los canales o conducciones que transportan estas aguas desde el foco generador hasta el Rio. Este recorrido se realizó por cada vertimiento identificado, para esto se dividió en tramos el cauce del Rio y se realizaron las inspecciones por las riveras de los dos costados u orillas.

En total se referenciaron 22937.94 m de conducciones de aguas residuales, 45 focos generadores y 45 puntos de desembocadura de estas conducciones al cauce del Rio los cuales se localizaron sobre mapas temáticos. En los lugares donde las conducciones se realizan por medio de tubería de PVC o de GRESS en forma subterránea, se utilizó planos en formato CAD o análogos para su ubicación, ejercicio realizado principalmente para los planos del catastro la red de alcantarillado del municipio de Tello; finalmente toda la información se ilustró en mapas temáticos. Algunos de los resultados obtenidos se observan en la Figura 10.



Vertimiento de riego de cultivo de arroz



Vertimiento de la red de alcantarillado del municipio de Polonia

Imagen 5. Georreferenciación de los focos y canales de conducción de vertimientos directos sobre el cauce principal de la corriente del Rio Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

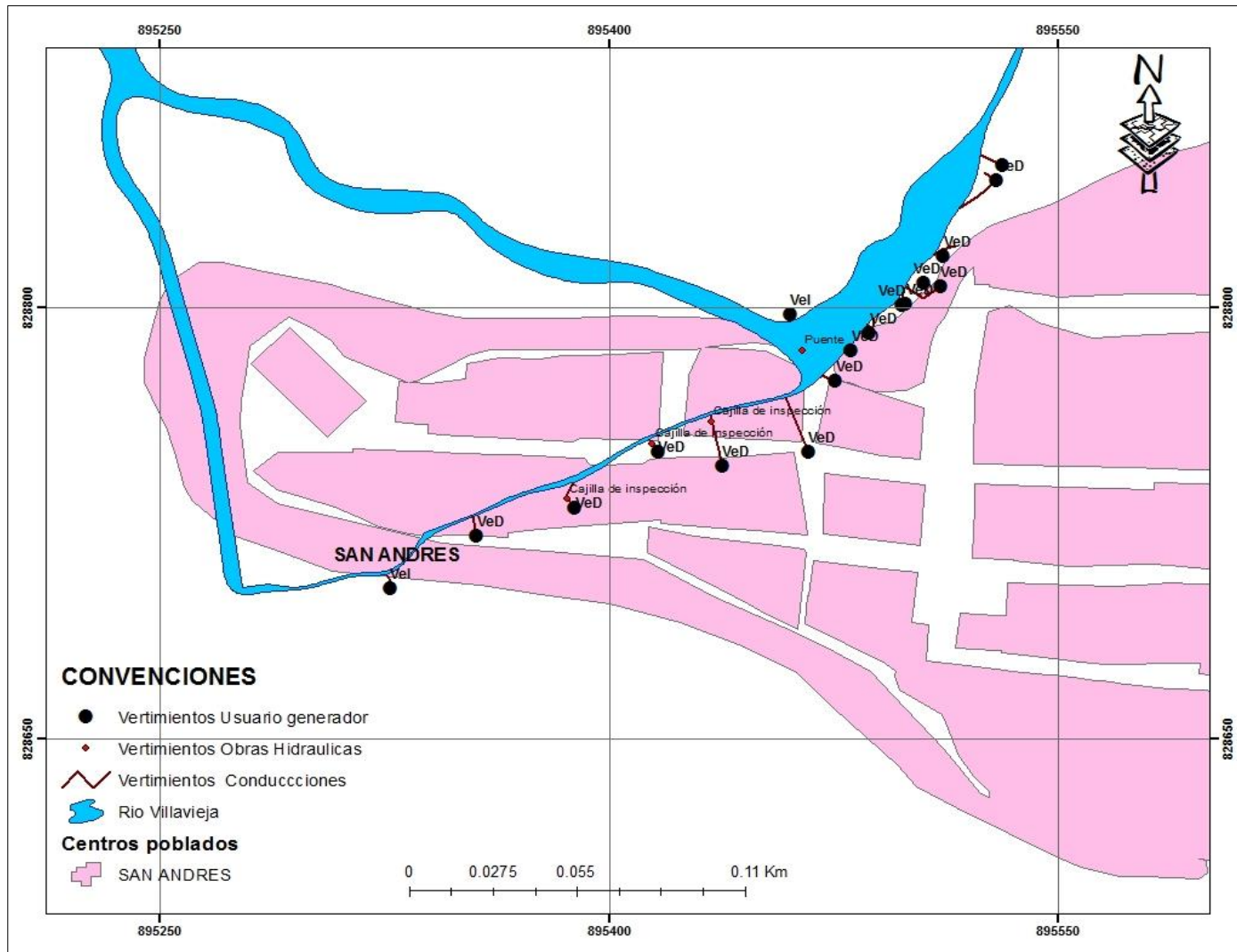


Figura 10. Algunos vertimientos georreferenciados en San Andrés Tello sobre el cauce del Rio Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.3.3. Georreferenciación con GPS de obras hidráulicas de vertimientos sobre el cauce principal y sobre las conducciones de aguas residuales.

Durante los procesos de georreferenciación del cauce principal y las conducciones de aguas servidas, también se georreferenciaron e identificaron si era el caso, las obras hidráulicas: derivaciones, alcantarillas, cajas de inspección, vertederos, etc, y en general estructuras que acompañan y hacen parte de las diferentes conducciones de aguas residuales y redes de alcantarillado que se detectaron.

Las obras hidráulicas se codificaron para inventariarlas y localizarlas en los planos cartográficos, utilizando para esto la misma codificación para obras hidráulicas de usos (ver Tabla 10).

Las obras hidráulicas de vertimientos identificadas fueron en total:

CANALES																							TOTAL									
A	Al	B	Ba	Bc	C	Cd	Ci	Cm	Co	Cp	Cr	D	Dr	E	Mp	Op	P	Pa	Pc	Pe	Po	R	S	Sd	Sn	T	Tbc	TBr	Tp	V	Ve	TOTAL
							196				1				6		3													3	211	

Tabla 10. Inventario total de obras hidráulicas de vertimientos
Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.4. IDENTIFICACIÓN DE VERTIMIENTOS

2.4.1. Censo de predios – usuarios que vierten AR

2.4.1.1. Diligenciamiento de formato de encuesta por usuario o predio que realice vertimientos al cauce del Rio.

Según el artículo 208 del título IX “Conservación y preservación de las aguas y sus cauces”, capítulo 1 “Principios generales”, si como consecuencia del aprovechamiento de aguas en cualquiera de los usos previstos por el artículo 36 de este decreto, se han de incorporar a las aguas sustancias o desechos, se requerirá permiso de vertimiento, el cual se tramitará junto con la solicitud de concesión o permiso para el uso del agua, o posteriormente si tales actividades sobrevienen a otorgamiento del permiso o concesión.

Para la identificación y caracterización del generador o foco del vertimiento, se diseñó un formato de encuesta (Ver ANEXO 3) que resume y recoge información de relevancia en cuanto a localización del usuario generador e información específica del vertimiento como: tipo, cuantificación, localización, tratamiento, etc. Se diligencio un formato de encuesta por cada vertimiento detectado durante la fase de reconocimiento.

La cuantificación de los vertimientos (caudal LPS), se realizó por medio de aforos volumétricos ($Q = \text{Vol.} / \text{Tiempo}$) y aforos de velocidad por superficie ($Q = \text{Vel} * \text{Área}$) como




muestra la Imagen 6. Algunos de los caudales por ser intermitentes, se estimaron según el RAS 2000¹ el cual describe un caudal de agua residual perca pita de 80% del caudal que se utiliza para consumo diario (200LPS), lo que estima un caudal de 0.0023 LPS por persona, una vez obtenido este valor se multiplica por el número de personas generadoras de vertimientos por predio, identificados mediante labores de inspección en campo. La información sobre los caudales provenientes de la red de alcantarillado del municipio Tello se obtuvo mediante registros y aforos realizados por laboratorios especializados.










Imagen 6. Aforos de vertimientos sobre la corriente del Rio Villavieja.
Fuente: FUNDISPROS, 2014

En total se diligenciaron 45 encuestas, parte de la información ahí consignada se relaciona y resume en la siguiente tabla.



¹ RAS 2000, Información tomada de la pagina

No	NOMBRE O RAZON SOCIAL	PREDIO	COORDENADAS FUENTE GENERADORA	TIPO DE VERTIMIENTO	CAUDAL (LPS)	TIPO DE AFORO	IMAGEN
1	JUNTA DE ACCION COMUNAL INSPECCION DE SAN ANDRES TELLO	TUBERIA DEFOGUE DE SEDIMENTOS -ACUEDUCTO VEREDAL	X= 896088,4382 Y= 828924,7865	SEDIMENTOS	0,62	VOLUMETRICO	
	OBSERVACION: Este vertimiento hace parte del diseño del acueducto de la vereda San Andrés Tello, consiste en una tubería de gres de 10 pulg aproximadamente por donde se evacua los sedimentos y lodos del desarenador. En el momento de la inspección se observó que el sistema está en muy mal estado por lo que el flujo de agua que se evacua por esta tubería es continuo y sin ningún tipo de control. El agua que aporta al Rio no es contaminada ni de naturaleza residual.						
2	BLANCA FLOR AYA	RESIDENCIAL	X=895529,4873 Y=828844,0081	DOMESTICO	0,03	VOLUMETRICO	
	OBSERVACION: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico, de color turbio con presencia de olores fuertes. El agua es conducida hasta la rivera del Rio por una tubería de gres de 8 pulg aprox. En este predio también se identificó una tubería de gres que conduce las aguas residuales provenientes de la actividad de cría de cerdos (cochera), esta conducción se une con la de las actividades domésticas, en el momento de la inspección las cocheras estaban sin uso.						
3	PLACIDO SILVA	RESIDENCIAL -RURAL	X=895531,1484 Y=828849,4242	AGROPECUARIO	0	0	
	OBSERVACION: Vertimiento de aguas residuales de origen pecuario. La conducción se realiza por medio de una tubería de concreto de 8 pulg aprox. En el lugar de la descarga no se observaron olores fétidos, ni aguas estancadas ya que las porquerizas no funcionaban en el momento de la inspección. La información de frecuencia y tiempo de descarga se obtuvo según información aportada por el guía y en referencia a las características de la ceba de cerdos en ese predio en producciones pasadas.						





4	YENY CAPERA	RESIDENCIAL -RURAL	X=895511,6814 Y=828817,7344	DOMESTICO	0,0225	VOLUMETRICO	
	OBSERVACION: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La conducción se efectúa por medio de una tubería de pvc de 8 pulg aprox. La descarga se realiza sobre la rivera del Rio Villavieja a cielo abierto. Con presencia de pastos, lodos y fuertes olores fétidos debido a la descomposición de la materia orgánica sólida (heces fecales) que queda expuesta. Esta tubería se conecta con la conducción que transporta las aguas residuales provenientes de la actividad de cría de cerdos (cochera) a 100 metros aproximadamente antes de la descarga; en el momento de la inspección las cocheras estaban sin uso.						
5	MARISOL TOVAR	RESIDENCIAL -RURAL	X=895504,9749 Y= 828808,2816	DOMESTICO	0,045	VOLUMETRICO	
	OBSERVACION: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La conducción se hace por medio de una tubería de pvc de 4" aprox. Recoge las aguas servidas de la cocina de la vivienda. Parte de la conducción es compartida con el predio del señor Arcesio Charry.						
6	ARCESIO CHARRY	RESIDENCIAL -RURAL	X=895510,5373 Y=828807,1739	DOMESTICO	0,045	VOLUMETRICO	
	OBSERVACION: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La conducción se realiza por medio de tubería de pvc de 4 pulg y finalmente por un canal natural de 20 cm de ancho se une con las aguas residuales del predio de la señora Marisol Tovar.						
7	JOSE HUGO GARCIA GUZMAN	RESIDENCIAL -RURAL	X=895486,9223 Y=828790,9646	DOMESTICO	0.015	VOLUMETRICO	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La Descarga se realiza por medio de tubería de pvc de 4 pulg, por tres conducciones diferentes en tres puntos del predio según la ubicación de los sifones en la casa (cocina, alberca y baños). En el lugar hay presencia de pastos, basuras, residuos de alimentos procedentes de las descargas, y aguas servidas escurriendo por las paredes de la vivienda, no se presentan olores fétidos ya que la cantidad de caudal es mínimo porque solo habitan el predio 2 personas.						

8	ANTONIO DÍAZ	RESIDENCIAL -RURAL	X= 895480,7528 Y= 828784,8144	DOMESTICO	0,017	VOLUMETRICO	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La Descarga se realiza por medio de tubería de pvc de 4 pulg. En el lugar de la descarga se observan restos de heces fecales en el agua residual y olores ofensivos. La cantidad de agua residual es mínima porque la casa solo la habitan 2 personas según información aportada por el guía.</p>						
9	JAVIER FIERRO	RESIDENCIAL -RURAL	X= 895475,5967 Y= 828774,317	DOMESTICO	0,015	VOLUMETRICO	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. Las aguas residuales son conducidas por medio de una tubería de gres de 10 pulg y finalmente depositadas en la rivera del Rio a cielo abierto por medio de un desagüe natural. En el lugar del vertimiento se evidencian lodos fétidos, malos olores y heces fecales. La cantidad de agua residual es mínima porque la casa solo la habitan 2 personas según información aportada por el guía.</p>						
10	ASOCIACION DE HOGARES COMUNITARIOS DE SAN ANDRES	CDI SAN ANDRES	X=895466,3731 Y= 828749,7597	DOMESTICO	0,007	VOLUMETRICO	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico proveniente de las actividades de la asociación de hogares comunitarios de San Andrés Tello. La descarga se realiza por medio de una tubería de pvc de 6 pulg con presencia de vegetación, lodos y fuertes olores fétidos debido a la descomposición de la materia orgánica sólida (heces fecales) que queda expuesta ya que la conducción en tubería de pvc no se dirige hasta el Rio si no que el caudal se desplaza por una zanja natural. Cerca de 36 usuarios se reportan para este vertimiento.</p>						




11	LUIS ALFONSO MARROQUIN	RESIDENCIAL -RURAL	X=895437,5738 Y=828744,9169	DOMESTICO	0,01	VOLUMETRICO	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico, esta cajilla recoge las aguas residuales de 3 viviendas según información suministrada por uno de los propietarios de las viviendas; la conducción se realiza con tubería de cemento.						
12	JESUS MARIA MURCIA	RESIDENCIAL -RURAL	X=895416,1257 Y=828749,5787	DOMESTICO	0,015	VOLUMETRICO	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La conducción se hace por medio de una tubería de gres de 10 pulg de diámetro y luego escurre por el suelo antes de llegar al Río. En el lugar de descarga se evidencian lodos debido al escurrimiento de las aguas servidas y fuertes olores fétidos. En el momento de la inspección el vertimiento estaba sin actividad por lo que la información de frecuencia de descarga la suministro una habitante de la casa.						
13	REINEL RODRIGUEZ	RESIDENCIAL -RURAL	X=895388,3148 Y=828730,2609	DOMESTICO	0,092	RAS 2000	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. Conducción en tubería de gres y posterior de 10 pulg de diámetro, la descarga se realiza al aire libre y luego escurre por el suelo hasta alcanzar el cauce del Río. En el lugar de descarga se evidencian lodos debido al escurrimiento de las aguas servidas y fuertes olores fétidos. En el momento de la inspección el vertimiento estaba sin actividad por lo que la información de frecuencia de descarga la suministro el guía. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, el caudal que se asume es según el RAS 2000 la cantidad de AR generado por una persona y multiplicado por el número de habitantes de la casa, la información de frecuencia y tiempo de descarga la suministro un habitante de la casa.						
14	CRUZANA AMAYA SOTO	RESIDENCIAL -RURAL	X=895355,4147 Y=828720,4391	DOMESTICO	0.019	VOLUMETRICO	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. Conducción en tubería de gres y posterior de 10 pulg de diámetro, la descarga se realiza al aire libre y luego escurre por el suelo hasta alcanzar el cauce del Río. En el lugar de descarga se evidencian lodos debido al escurrimiento de las aguas servidas y fuertes olores fétidos. En el momento de la inspección el vertimiento estaba sin actividad por lo que la información de frecuencia de descarga la suministro el guía. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, la información de frecuencia y tiempo de descarga la suministro un habitante de la casa.						




15	CARLOS ROMERO	MATADERO	X=895326,8618 Y=828702,4531	INDUSTRIAL	0	0	
	<p>OBSERVACION: Vertimiento de aguas residuales derivadas del sacrificio de ganado vacuno. El agua procedente del sacrificio de animales se conduce por canales dentro del matadero y se descarga usando una teja de zinc como canaleta para escurrir el agua. El flujo es intermitente ya que el sacrificio solo se realiza cada 8 días por lo que no se realizó aforo de caudal, se sacrifican en promedio 15 reses, la información sobre frecuencia y tiempo de descarga la suministro el representante legal el señor Carlos Romero.. El lugar de la descarga presenta olores fuertes y fétidos con restos de pieles y huesos.</p>						
16	DIEGO OMAR CORONADO	FINCA DIVINO NIÑO	X=890530,3925 Y=829283,7915	DOMESTICO	0,022	VOLUMETRICO	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La conducción se realiza a través de una tubería de gres de aproximadamente 8 pulg de diámetro, luego son escurridas por el suelo hasta alcanzar el cauce del Rio. En el lugar se evidencia presencia de vegetación, lodos con fuertes olores fétidos y restos de alimentos ya que el vertimiento es el de la cocina y un par de tanques. La información del vertimiento la suministro el mayordomo de la finca el señor Elkin Cabiedes.</p>						
17	EMPRESAS PUBLICAS DE TELLO	FINCA EL VERGEL	X=889747,5952 Y=829229,5519	SEDIMENTOS	0	0	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de sedimentos procedentes del lavado de tanques. La conducción se realiza a través de una tubería de PVC, luego escurren por el suelo hasta alcanzar el cauce del Rio. En el lugar se evidencia presencia de vegetación, lodos con fuertes olores fétidos, restos de alimentos y aguas negras putrefactas estancadas. La información del vertimiento la suministro el mayordomo de la finca el señor Elkin Cabiedes.</p>						
18	FINCA FONTAINE	FINCA FONTAINE	X=889530,2743 Y=889530,2743	DOMESTICO	0.0092	RAS 2000	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico con conducción en manguera que realiza su descarga directamente al cauce del río. En el momento de la inspección el vertimiento estaba sin actividad y el predio deshabitado por lo que la información de frecuencia de descarga, clase de vertimiento y número de habitantes la suministro el guía local. No se presentaron olores fétidos ni lodos ya que el agua cae directamente a la corriente principal del Rio. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, el caudal que se asume es según el RAS 2000 la cantidad de AR generado por una persona y multiplicado por el número de habitantes de la casa.</p>						




EMPRESAS PUBLICAS DE TELLO	TELLO	X=881932,9184 Y=831677,3481	COMBINADO	10,63	EPMT (Diagnosticamos S.A)	
19	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales mixtas; la descripción sobre el sistema de alcantarillado y descarga del municipio de Tello que a continuación se menciona tiene como fuente el informe de "Estudios y diseños de los sistemas de agua potable y alcantarillado de las zonas urbanas, centros poblados y zonas regionales que fueran necesarios en la subregión norte del departamento del Huila, elaborado para el municipio de Tello en marzo de 2011". El sistema de alcantarillado del municipio de Tello fue concebido como sanitario, dados los tamaños de los diámetros de la mayoría de los colectores, aquí predominan los colectores de 8", sin embargo existen colectores hasta de 12"; no obstante lo anterior, al observar su funcionamiento durante los eventos de lluvia, se puede notar que los caudales se incrementan, por lo que se deduce la existencia de conexiones erradas al interior de los inmuebles.</p> <p>El sistema drena las aguas residuales domésticas en sentido oriente – occidente y sur – norte, mediante colectores principales que convergen en el extremo noroccidental del casco urbano para verter al Río Villavieja mediante dos cabezales de descarga libre.</p> <p>Actualmente se cuenta con 760 usuarios de alcantarillado registrados en la oficina de servicios públicos del municipio, dando una cobertura del 98%; sin embargo existen algunas conexiones domiciliarias que descargan directamente al río o caños aledaños. No obstante según información suministrada mediante oficio EPT No 155-2014 por las Empresas Publicas de Tello, en total el número de usuarios del servicio de alcantarillado es de 1487.</p> <p>CONEXIONES DOMICILIARIAS: El número de conexiones domiciliarias registrado en la empresa de servicios públicos es de 760; las conexiones están construidas en tuberías de diámetro 4" en PVC y Gres, dependiendo de la época de su construcción; constan de una caja de inspección localizada al frente de la vivienda y un tramo de tubería que la conecta con el colector, con pendientes por lo general del 2.0%, de acuerdo con las normas usuales.</p> <p>REDES DE COLECTORES: Los colectores están construidos en tubería de Gres y PVC y Concreto, de acuerdo con la época de instalación, tienen una longitud total de 151 m, repartidos en diámetros nominales que varían de 8 a 12 pulgadas. El 100% de la tubería está compuesto por tubería de diámetro menor o igual a 18"; el 10.07% es de tubería en Gres, el 20.45% en tubería de Concreto y el 69.47% en tuberías PVC.</p> <p>POZOS DE INSPECCION: Se identificaron un total de 186 pozos o cámaras de inspección, todos fueron construidos con cilindro en concreto, tapa con aro base y aro tapa en hierro fundido y concreto, el estado general es aceptable, faltando la tapa en solo 2 sitios y en 16 de ellos la tapa es de concreto sin aro metálico. En cuanto al estado operativo solo hay 3 pozos con alto grado de colmatación, por falta de mantenimiento y limpieza.</p> <p>CABEZAL DE DESCARGA: El sistema cuenta con dos (2) cabezales de descarga en concreto que vierten libremente al Río Villavieja.</p> <p>PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: El Municipio de Tello no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, se prevé que próximamente se contrate el diseño de esta PTAR por parte de la autoridad competente.</p> <p>El caudal promedio registrado según análisis realizado por la empresa Diagnosticamos S.A.S en su informe "Caracterización del vertimiento de aguas residuales domésticas y fuentes receptoras del municipio de Tello realizado en enero de 2014 es de 7,83 LPS.</p> <p>Las empresas públicas municipales tienen permiso de vertimiento expedido por la autoridad ambiental competente "CAM", expedido mediante resolución 2457 del 23 de octubre de 2013, con vigencia de 10 años.</p>					 

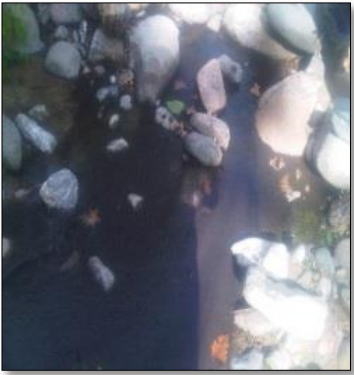


20	HERNANDO FALLA DUQUE	FINCA LA PAZ	X=880728,2937 Y=832338,8727	DESCOLES DE RIEGO	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de arroz. La conducción se realiza por medio de un canal natural. El propietario del predio se negó a suministrar información sobre el vertimiento.						
21	NUBIA RUTH MOSQUERA TRUJILLO, OSCAR ISMAEL MOSQUERA TRUJILLO, GLORIA INES MOSQUERA TRUJILLO	LOTE DE ALGODON	X=875025,6397 Y=838551,8184	DESCOLES DE RIEGO	0.77	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción de las aguas de exceso procedentes de labores de riego de cultivo de arroz se realiza por medio de un canal natural dirigido hasta el Rio. Este vertimiento actúa como aliviadero del canal de riego para cultivo de algodón del predio.						
22	ALVARO CASTRO	LOTE CONTRERAS	X=875255,6194 Y= 839509,0516	DESCOLES DE RIEGO	25,17	RAS 2000	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de cacao, pastos y pancoger. La conducción se realiza por medio de un canal natural. La información sobre el predio y el vertimiento la suministroo el señor Jorge Rivera quien cuidaba el lote en el momento de la inspección.						
23	ASOPORVE NIR "DISTRITO DE RIEGO"	LOTE DE ALGODÓN-POLONIA	X=871240,7616 Y= 839509,0516	DESCOLES DE RIEGO	0,28	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción se realiza por medio de un canal natural que dirige las aguas por dos puntos opuestos según topografía del terreno hasta el cauce principal del Rio, por lo que es la misma fuente de vertimiento en dos puntos diferentes del Rio. Esta canal contiene aguas residuales procedentes de escurrimientos de descoles, además actúa como aliviadero o desfogue del canal principal de riego para cultivo de algodón y arroz.						




24	CARLOS ENRIQUE QUINTERO SOLANO	FINCA EL ESTABLO	X=882489,4244 Y=831217,2979	DESCOLES DE RIEGO	14,23	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de arroz. La conducción se realiza por medio de un canal natural. La información sobre el predio y el vertimiento la suministro el guía local.						
25	EMPRESAS PUBLICAS DE VILLAVIEJA	VERTIMIENTO O INSPECCION POLONIA	X=873066,8456 Y=843851,1163	COMBINADO	0,2	EPV	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales mixtas; este vertimiento es el resultado de la recolección de la red de alcantarillado de la inspección de Polonia en el municipio de Villavieja. El agua residual es conducida por tubería de pvc, tubería de gres, tubería de cemento, etc, desde cada una de las viviendas hasta los colectores principales, quienes se dirigen hasta un tanque colector que reúne y dirige las aguas a través de un canal natural hasta el cauce del río sin ningún tipo de tratamiento. La red de drenaje la componen aproximadamente 139 usuarios, que sumados vierten un caudal continuo al Río (30 días al mes, 24 horas al día) de 0.2 LPS según información aportada por la señora Erlendis Moreno R gerente de las empresas públicas municipales de Villavieja. Aproximadamente 28 usuarios de la inspección vierten de forma independiente sus aguas residuales a un pozo séptico el cual en este momento se encuentra colmatado. En el lugar de la descarga del vertimiento y durante su recorrido por el canal natural se presentan fuertes olores fétidos, las aguas son de color turbio con sólidos flotantes en descomposición y se evidencia alta presencia de contaminación.						
26	GLORIA CARDOZO Y JULIO MEDINA	SAN ISIDRO	X=876087,4065 Y=837510,9978	DESCOLES DE RIEGO	125,15	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción se realiza por medio de un canal natural que dirige las aguas hasta el cauce principal del Río, durante su recorrido como canal de riego recoge las aguas de descoles provenientes de lotes con cultivos de arroz, algodón y cacao. La información sobre los predios la suministro el señor Lubin Bahamon.						

27	ALFONSO SANCHEZ-TERESA MURCIA	SAN ISIDRO	X=875223,5725 Y=838258,6676	DESCOLES DE RIEGO	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción se realiza por medio de un canal natural que dirige las aguas hasta el cauce principal del Rio, durante su recorrido como canal de riego recoge las aguas de descoles provenientes de lotes con cultivos de arroz y cacao. La información sobre los predios la suministro el señor Lubin Bahamon.						
28	ANGEL MARIA FALLA VELAZCO Y GRACIELA RUBIANO DE FALLA	LOTE CHAGRES	X=875403,4121 Y=838232,4308	DESCOLES DE RIEGO	75,3	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción se realiza por medio de un canal natural que dirige las aguas hasta el cauce principal del Rio, durante su recorrido como canal de riego recoge las aguas de descoles provenientes de lotes con cultivos de arroz. La información sobre los predios la suministro el señor Lubin Bahamon.						
29	EFRAIN PERDOMO CASTAÑED A Y SANDRA PATRICIA MEDINA PERDOMO	FINCA BALSO 1	X=875410,6164 Y=838446,1481	DESCOLES DE RIEGO	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción se realiza por medio de un canal natural que dirige las aguas hasta el cauce principal del Rio, durante su recorrido como canal de riego recoge las aguas de descoles provenientes de lotes con cultivos de arroz y limón. La información sobre los predios la suministro el señor Lubin bahamon.						

30	LUIS ENRIQUE ACOSTA HORTA, MARIA LUPE CORTES	LOTE DE ARROZ SAN ISIDRO	X =876176,2357 Y =839704,3142	DESCOLES DE RIEGO	0	0	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción se realiza por medio de un canal natural que dirige las aguas hasta el cauce principal del Río, durante su recorrido como canal de riego recoge las aguas de descoles provenientes de un lote con cultivos de arroz.</p>						
31	SUCESION PUENTES	FINCA SAN CAMILO	X=875782,0552 Y=842437,7511	DESCOLES DE RIEGO	0	0	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. La conducción se realiza por medio de un canal natural que dirige las aguas hasta el cauce principal del Río bordeando el lindero del predio El Jordan, durante su recorrido como canal de riego recoge las aguas de descoles provenientes de un lote de 40 ha con cultivos de arroz. El predio tiene un área total de 49 ha, pero solo se cultivan en arroz 40 ha. La información del predio y del cultivo la suministro el mayordomo del predio el señor Jhon Carlos Pinto.</p>						
32	LOLA GONZALES	SAN ANDRES	X=895885,2983 Y=829002,6414	DOMESTICO	0,0138	RAS 2000	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. Toda la conducción hasta el cauce del Río se realiza por medio un canal natural. La descarga se realiza a cielo abierto, luego escurre por el suelo hasta alcanzar el cauce del Río. En el lugar del vertimiento se evidencian lodos debido al escurrimiento de las aguas servidas, fuertes olores fétidos, espumas de color blanco procedentes del lavado de ropas. En el momento de la inspección el vertimiento no realizaba descargas. La información del predio y del vertimiento la suministro el guía local. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, el caudal que se asume es según el ras 2000 la cantidad de AR generado por una persona y multiplicado por el número de habitantes de la casa, la información de frecuencia y tiempo de descarga la suministro un habitante de la casa.</p>						

33	RUBIEL CRUZ	BODEGA DE CUEROS	X=895460,3977 Y=828797,3947	INDUSTRIAL	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen industrial. La actividad realizada en este predio es el secado y curtido de cueros, actividad que se realiza con una frecuencia de ocho días. Las aguas residuales dentro del predio se recogen por un canal revestido y luego son conducidas por un canal natural hasta orillas del Rio. En el lugar de la descarga se evidencian fuertes olores producto de la descomposición de pieles que quedan como residuo en los tramos de conducción.						
34	RODRIGO CHARRI DUSSAN	FINCA VEGA DE LOS ROSOS	X=888088,9233 Y=829816,0254	PECUARIO	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen pecuario. La actividad realizada en este predio es la cría de cerdos, lo cual genera un caudal que se vierte directamente al cauce del Rio sin ningún tipo de tratamiento. La conducción se hace a través de un canal natural con bultos de arena ubicados paralelamente sobre el canal de desagüe. Durante la conducción de las aguas servidas se evidencian fuertes olores fétidos producto de la acumulación de lodos y estiércol de cerdos. En el momento de la inspección solo se tenían 6 cerdos en proceso de ceba.						
35	0	EL MOLINO	X=888595,8227 Y=829732,1756	DOMESTICO	0,0092	RAS 2000	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La conducción se hace a través de un canal natural con alta presencia de rocas. La mayoría de las aguas se quedan estancadas en la conducción debido a la mínima cantidad de caudal que por ahí circunda. En el lugar hay presencia de basuras plásticas, pañales desechables, olores fétidos debido a la descomposición de la materia orgánica que se queda estancada al escurrir el agua residuales que la transporta. En el momento de la inspección no se realizaba descargas de aguas residuales por lo que la información del predio y del vertimiento la suministro el guía local. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, el caudal que se asume es según el ras 2000 la cantidad de AR generado por una persona y multiplicado por el número de habitantes de la casa, la información de frecuencia y tiempo de descarga la suministro un habitante de la casa.						

36	RODRIGO CHARRI DUSSAN	FINCA VEGA DE LOS ROSOS	X=888119,349 Y=829809,7815	PECUARIO	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen pecuario. La actividad realizada en este predio es la cría de cerdos, lo cual genera un caudal que se vierte directamente al cauce del Rio sin ningún tipo de tratamiento. Para la evacuación de estas aguas residuales se utiliza el canal de conducción de una alberca para el lavado de ropas que se encuentra a 50 metros aguas arriba aproximadamente. En el lugar se evidencia gran cantidad de lodos putrefactos, fuertes olores fétidos producto de la acumulación y estancamiento de lodo y estiércol de cerdos. En el momento de la inspección tenían 6 cerdos en proceso de ceba.						
37	SUCESION GUILLERMO SOLANO BORRERO	FINCA ALTA GRACIA	X=880625,1265 Y=833290,7339	AGRICOLA	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de arroz. La conducción se realiza por medio de un canal natural. La información sobre el predio y el vertimiento la suministroo el guía local.						
38	AIZA YANED GONZALES	FINCA SANTA RITA	X=877651,4913 Y=835750,5607	AGRICOLA	137,45	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de arroz. La conducción se realiza por medio de un canal natural. La información sobre el predio y el vertimiento la suministroo el guía local.						

39	EDGAR PERDOMO MEDINA	FINCA SAN JOAQUIN	X=877380,4676 Y=836015,3174	AGRICOLA	399,12	SUPERFICIE POR AREA	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de arroz. La conducción se realiza por medio de un canal natural. La información sobre el predio y el vertimiento la suministroo el guía local.</p>						
40	ULPIANO AMAYA	LA ISLA	X=875716,2969 Y=837477,3500	AGRICOLA	46,69	SUPERFICIE POR AREA	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de arroz. La conducción se realiza por medio de un canal natural. La información sobre el predio y el vertimiento la suministroo el guía local.</p>						
41	SOCIEDAD BLANCA MEDINA Y CIA S EN C Y YESID PERDOMO MEDINA	FINCA EL MILAGRO	X=876436,7897 Y=836776,0094	AGRICOLA	61,16	SUPERFICIE POR AREA	
	<p>OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales agrícolas. Por este canal natural se evacuan los excesos de agua procedentes de labores de riego del cultivo de arroz. La conducción se realiza por medio de un canal natural. La información sobre el predio y el vertimiento la suministroo el guía local.</p>						

42	JUNTA DE ACCION COMUNAL INSPECCION DE SAN ANDRES	SAN ANDRES	X=895963,6203 Y=828951,8033	SEDIMENTOS	0	0	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de sedimentos. Según información aportada por el guía local, esta tubería sirve para evacuar los lodos y demás sedimentos de la bocatoma y el desarenador del acueducto, por lo que solo se evacuan los sedimentos en el momento de hacerle el lavado a dichas estructuras. La conducción de este vertimiento es en tubería de pvc y descarga directamente al cauce del Rio sobre un muro de contención ubicado al margen izquierdo del Rio en el sentido de la dirección del flujo.						
43	ARCESIO CHARRY	RESIDENCIAL	X=895498,8067 Y=828800,9330	DOMESTICO	0,0069	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La descarga es generada por un apartamento que en el momento de la inspección se encuentra sin ocupación. La conducción es por tubería de pvc, la descarga se realiza al aire libre y luego escurre por el suelo hasta alcanzar el cauce del Rio. En el lugar se evidencian lodos fétidos y malos olores. En el momento de la inspección el vertimiento estaba sin actividad por lo que la información de frecuencia de descarga la suministro el guía. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, el caudal que se asume es según el ras 2000 la cantidad de AR generado por una persona y multiplicado por el número de habitantes de la casa, la información de frecuencia y tiempo de descarga la suministro un habitante de la casa.						
44	ARCESIO CHARRY	RESIDENCIAL	X=895497,7448 Y=828800,5430	DOMESTICO	0,0069	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La descarga es generada por un apartamento que en el momento de la inspección se encuentra sin ocupación. La conducción es por tubería de pvc, la descarga se realiza al aire libre y luego escurre por el suelo hasta alcanzar el cauce del Rio. En el lugar se evidencian lodos fétidos y malos olores. En el momento de la inspección el vertimiento estaba sin actividad por lo que la información de frecuencia de descarga la suministro el guía. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, el caudal que se asume es según el ras 2000 la cantidad de AR generado por una persona y multiplicado por el número de habitantes de la casa, la información de frecuencia y tiempo de descarga la suministro un habitante de la casa.						


45	RODRIGO CHARRI DUSSAN	FINCA VEGA DE LOS ROSOS	X=888142,7673 Y=829823,5306	DOMESTICO	0,0046	SUPERFICIE POR AREA	
	OBSERVACIONES: Vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. La descarga proviene de las baterías sanitarias del predio y la alberca utilizada para el lavado de ropas. La conducción se realiza por medio de una tubería de pvc, hasta un canal natural que recoge las aguas residuales provenientes de una porqueriza, una vez se unen las aguas residuales están conducidas hasta el cauce principal del Rio. En el lugar se evidencian lodos fétidos y malos olores. En el momento de la inspección el vertimiento estaba sin actividad por lo que la información de frecuencia de descarga la suministro el guía. El vertimiento no se aforo ya que no realizaba descargas en el momento de la inspección, el caudal que se asume es según el ras 2000 la cantidad de AR generado por una persona y multiplicado por el número de habitantes de la casa, la información de frecuencia y tiempo de descarga la suministro un habitante de la casa.						

Tabla 11. Relación de vertimientos directos identificados sobre el cauce de Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

No	CÓDIGO	TIPO DE VERTIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD VERTIMIENTOS
1	VeDr	VERTIMIENTO DESCOLES DE RIEGO	Provenientes de actividades de riego en cultivos (arroz, cacao, etc), los cuales llegan al Rio después de lixiviar o lavar los suelos cargados con productos implementados en el sostenimiento de cultivos (herbicidas, fungicidas, insecticidas, etc)	16
2	VeD	VERTIMIENTOS DOMÉSTICOS	Provenientes de actividades domésticas de rutina (baterías sanitarias, lavaplatos, lavaderos, duchas, etc) Son aguas servidas cargadas con productos orgánicos, jabones materia fecal, etc.	20
3	VeAp	VERTIMIENTOS AGROPECUARIOS	Provenientes de procesos agrícolas: procesamiento de cacota de café, lavado de cocheras, establos.	2
4	Vel	VERTIMIENTOS INDUSTRIALES	Provenientes de curtiembres de cueros, procesamiento de alimentos.	2
6	VeS	VERTIMIENTOS SEDIMENTOS	Provenientes de lavado de tanques de sedimentación del acueducto o de diversas estructuras.	3
7	VeMx_COLECTORES	VERTIMIENTOS MIXTOS_COLECTORES	Aguas provenientes de aliviaderos de la red de alcantarillado del municipio o descargas puntuales de conducciones (superficiales o subterráneas) de colectores de unidades habitacionales. Son en la mayoría aguas con características mixtas.	2
TOTAL VERTIMIENTOS				45

Tabla 12. Grupos establecidos para la clasificación de vertimientos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.4.1.2. Consignación de toda la información recopilada en el formato de encuesta, en una base de datos. Rio.

El formulario se diligenció en formato análogo en el momento de hacer los procesos de reconocimiento en campo, posteriormente se digitalizo cada una de las encuestas en la base de datos Access, con el fin de consolidar la información en tablas externas y posteriormente enlazarlas a la base de datos geográfica.

Esta información se encuentra disponible en la siguiente ruta:

\\SIG_RIO_VILLAVIEJA\GDB\BD_0312_VERTIMIENTOS_RV_VILLAVIEJA.accdb

2.5. ZONIFICACIÓN

2.5.1. Terminación de zonas según naturaleza de los vertimientos.

Apoyados en la cartografía base 1:25.000 y mediante trabajo de reconocimiento en terreno de la zona de influencia del Rio Villavieja, se localizaron e identificaron todos los vertimientos que se realizan de forma directa al rio, de acuerdo a este trabajo y con base en la Tabla 11, se inventariaron y agruparon por tipos los siguientes vertimientos: 16 vertimientos directos de descoles de riego (VeDr), 20 vertimientos domésticos (VeD), 2 vertimiento agropecuario (VeAp), 2 vertimientos de tipo industrial (VeI), 2 vertimientos de sedimentos (VeS), provenientes del lavado de tanques de almacenamiento de agua potable; 2 vertimientos mixtos de colectores de aguas (VeMx COLECTORES), los cuales actúan como descarga final de la red de alcantarillado directamente al Rio Villavieja, estos vertimientos son los del municipio de Tello y la Inspección de Polonia en el municipio de Villavieja.

Se localizaron también 2 centros poblados y una cabecera municipal que ejerce grana influencia sobre el Rio Villavieja, el centro poblado de San Andrés ubicado en el municipio de Tello, que capta del Rio Villavieja el agua para el abastecimiento del acueducto y además utiliza esta corriente para la descarga directa de vertimientos de varias de sus residencias. El casco urbano del municipio de Tello quienes también captan del Rio Villavieja el agua para las necesidades hídricas del acueducto y además aguas abajo descarga toda la red de alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento al cauce del Rio; también se encuentra el centro poblado de Polonia ubicado en el municipio de Villavieja quienes descargan parte de la red de alcantarillado también al cauce del Rio.

Todos los afluentes, drenajes o tributarios al cauce del Rio Villavieja también se identificaron, no solamente los cauces limpios si no también aquellos que durante su curso actúan colectores de aguas residuales servidas, toda esta información se tomó como referencia. Para la determinación de tramos, se utilizó como base la zonificación establecida para la distribución de caudales de la reglamentación 1251 de 31-05-2011 y se considerando las características del cauce identificadas mediante inspección ocular,

a partir de este trabajo se priorizaron como homogéneas 3 zonas, las cuales se describen en la siguiente tabla y se ilustran en la Figura 11.

ZONAS	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
ZONA 0	Esta zona está comprendida desde el nacimiento del río Villavieja en la vereda Medio Roblal en el municipio de Tello hasta el primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011) - bocatoma canal principal predio Los Andes (primera derivación canal Los Andes).	Se caracteriza por ser una zona con vegetación boscosa, destinada a la recarga hídrica de la cuenca alta del río. Con alta presencia de drenajes y quebradas que recargan la parte alta de la cuenca.
ZONA 1	Está comprendida desde el primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011) - bocatoma canal principal predio Los Andes (primera derivación canal Los Andes), hasta la sexta derivación quinta izquierda Acueducto de Tello.	Dentro de esta zona se encuentra ubicado el centro poblado de San Andrés Tello y la bocatoma para el suministro de agua de este (5D41), además otras derivaciones artesanales para el suministro de agua para labores de riego agrícola. En esta zona existe alta presencia de drenajes y quebradas que desembocan en el cauce ppal del río Villavieja y se evidencia alta presencia de vegetación boscosa además de varios drenajes naturales. En su tránsito por el centro poblado de San Andrés Tello, el río Villavieja recibe gran cantidad de aguas residuales de origen doméstico de las unidades habitacionales que no se encuentran conectadas a la red de alcantarillado y que se encuentran ubicadas a la rivera del río.
ZONA 2	Comprendida desde la sexta derivación quinta izquierda Acueducto de Tello (según reglamentación 1251 de 31-05-2011) hasta el vertimiento de las aguas residuales del municipio de Tello al río Villavieja.	Dentro de esta zona se encuentra ubicado el casco urbano del municipio de Tello, el cual realiza de manera directa y sin ningún tipo de tratamiento previo la descarga de sus aguas residuales al cauce ppal del río Villavieja. Esta zona se caracteriza por recibir gran cantidad de descargas domésticas directas provenientes de actividades domésticas y agrícolas (Cultivos de arroz, cacao algodón y pan coger). Esta zona cuenta con numerosas captaciones de agua para la realización de actividades de riego.



ZONA 3	Está comprendida desde el vertimiento de las aguas residuales del municipio de Tello al río Villavieja hasta la desembocadura del río Villavieja al río Magdalena.	Esta zona recibe la mayor cantidad de vertimientos de tipo doméstico, pecuario agrícola (proveniente de descoles de cultivos, principalmente arroz), que transporta el río Villavieja. En este segmento del río se realiza también la descarga sin ningún tipo de tratamiento previo de las aguas residuales del alcantarillado del centro Poblado Polonia en el municipio de Villavieja, el cual es conducido por tubería de aproximadamente 300 metros de longitud desde el centro poblado hasta el Río Villavieja.. En este tramo se ubican también varias captaciones de agua para labores de riego agrícola como la 43D20D Canal ASOPORVENIR, que surte las necesidades hídricas de cultivos de arroz.
---------------	--	---

Tabla 13. Zonificación por zonas homogéneas de vertimientos del cauce de río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
 Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

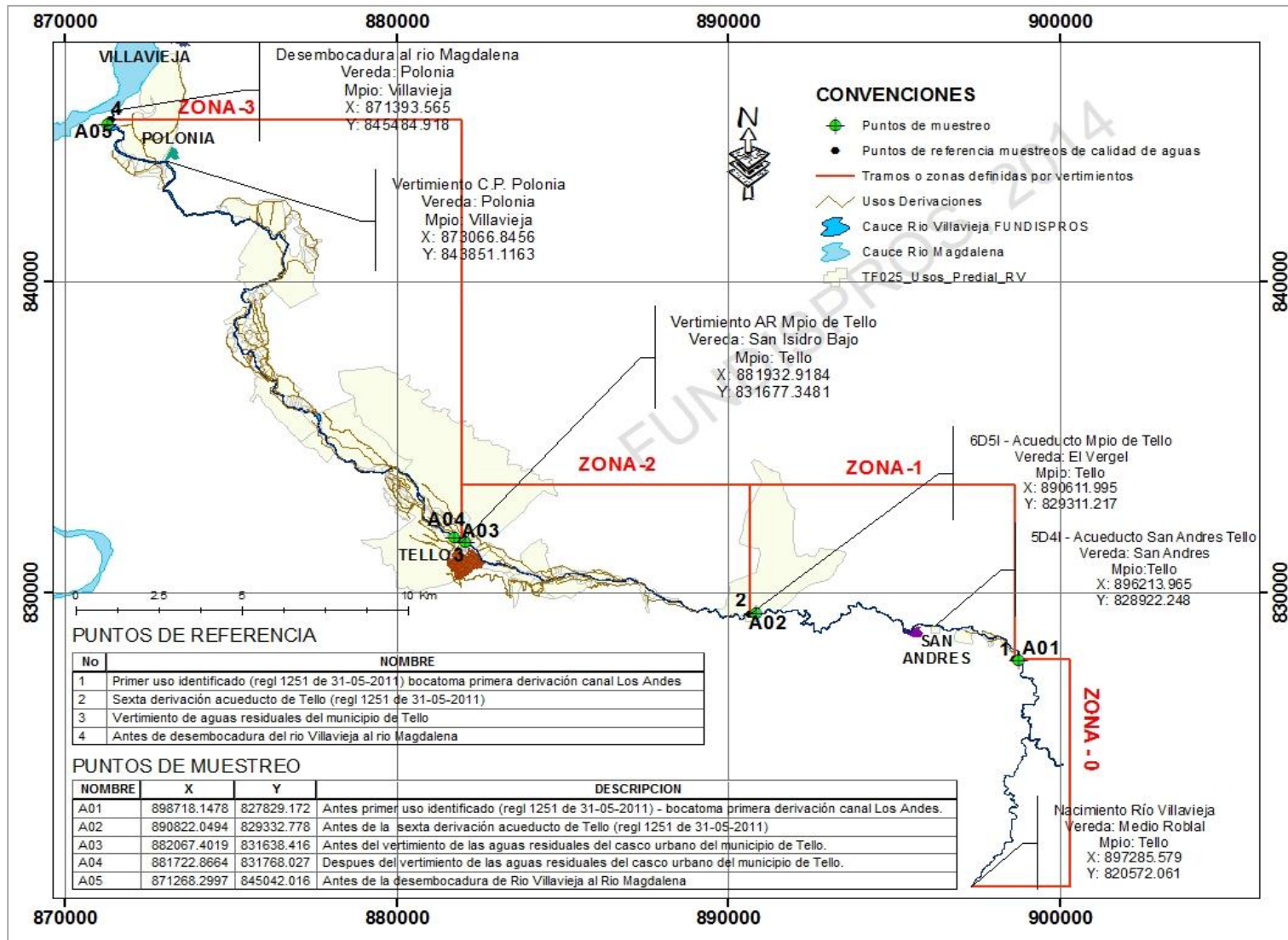


Figura 11. Tramos establecidos con base en la reglamentación de usos e inventario de vertimientos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.6. CALIDAD DE AGUA

Objetivo general

Estudiar y Definir la calidad del agua del Río Villavieja en marco del ordenamiento del Recurso Hídrico de la corriente Río Villavieja en los municipios de Tello y Villavieja.

Objetivos específicos

- Determinar y evaluar la calidad del agua de manera puntual en los sitios de muestreo determinados.
- Evaluar el conjunto de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos que determinan la calidad de agua por medio de la comparación con los valores permisibles establecidos en la reglamentación colombiana, algunos autores y demás protocolos CAM.
- Analizar y clasificar la calidad del agua según el Índice de Calidad de Agua “ICA” según la metodología establecida por la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos.
- Analizar y clasificar el agua a usar según la Relación Absorción de Sodio (RAS), la Conductividad Eléctrica (C.E.) y el Carbonato de Sodio Residual (CSR) utilizando las normas del U.S Salinity Laboratory.
- Implementar el modelo matemático de simulación de la calidad del agua QUAL2Kw en el río Villavieja, con el fin de elaborar una herramienta que facilite el Ordenamiento del Recurso Hídrico del que trata el Artículo 6 del Decreto 3930 del 2010.
- Evaluar los efectos en la calidad del agua del río Villavieja para tres escenarios futuros probables, mediante la aplicación del modelo de simulación QUAL2Kw.
- Emitir un diagnóstico acerca de la calidad del agua en relación con lo estipulado y evidenciado durante el estudio.

2.6.1. Análisis físico-químico y bacteriológico del agua

Con el fin de determinar, estudiar y evaluar la calidad del agua del Río Villavieja se estipulo que era necesario cumplir con una serie de requerimientos los cuales se definieron de manera cronológica y oportuna. Para ello se diseñó por parte del equipo técnico de FUNDISPROS un cronograma de actividades, el cual cuenta con la aprobación del personal de la corporación autónoma regional del alto magdalena CAM. De acuerdo a este cronograma existen una serie de actividades las cuales deben ser realizadas por los funcionarios de la Corporación para poder proseguir con lo estipulado y finalmente determinar la calidad del agua. La actividad con la cual inicia y tiene mayor prioridad es la toma de muestras, dicha actividad la realizó la corporación en los puntos que con anterioridad les fueron suministrados, de acuerdo a la zonificación que se determinó por la naturaleza de los vertimientos.

Los puntos de toma de muestras propuestos fueron cinco (5) y están distribuidos a lo largo del cauce del Río, en sitios estratégicos que fueron determinados con el fin de obtener mejores resultados en la calidad del estudio, realizar un perfil de calidad de agua y ubicar los puntos críticos en donde se obtenga una la calidad del agua mala.

Con los resultados obtenidos se determinaran índices de calidad del agua, de acuerdo a la normatividad y a lo que la bibliografía define al respecto, también se estudiara la RAS (relación adsorción de sodio), CSR (carbonato de sodio residual), se realizaran análisis de coliformes, especies biológicas indicadoras de calidad de agua y otros parámetros más que surgen a partir de los resultados de laboratorio.

Cabe resaltar que sobre el Río existen muestreos que fueron proporcionados por la CAM, a los cuales se les hizo su respectivo análisis y se determinó que sirven como referencia pero no definen en su totalidad la calidad del agua ya que los puntos en los que fueron tomados hacen referencia a un único sitio de vertimiento (Vertimiento Municipal de Tello) por lo cual no reemplaza los sitios determinados para los muestreos.

Debido a lo anterior se realizó los respectivos monitoreos por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena en los puntos propuesto para calidad de agua, mediante la contratación del Laboratorio CONSTRUCSUELOS SUMISTROS LTDA, Para los puntos descritos en el presente informe.

2.6.1.1. Recopilación y Análisis de Información Básica para el Desarrollo del Estudio

Con la finalidad de dar cumplimiento a los requisitos del estudio, desarrollar los objetivos y ejecutar todas las actividades propuestas, se recopiló información confiable de fuentes primarias y secundarias las cuales se mencionan a continuación:

FICHA BIBLIOGRAFICA	UBICACIÓN	FORMATO	INFORMACIÓN
LEITON, J.S. Riego y Drenaje. COSTA RICA. Universidad estatal a distancia, 1985.	Banco de información FUNDISPROS	Magnético .PDF	Clasificación de tierras de acuerdo a su aptitud para riego; relación agua-planta; consumo de agua por el cultivo; requerimientos de agua para el riego.
PIZARRO, F. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. España. Editorial Agrícola Española S.A., 1995. 521p	Banco de información FUNDISPROS.	Físico	Capítulo 4 parámetros de comparación para la evaluación de la calidad de agua con fines de riego.
DECRETO 1594 de 1984	Internet Ministerio de agricultura y desarrollo rural	Magnético .PDF	Artículos 37- 48: En los cuales se definen los criterios de calidad para la destinación del recurso. Artículos 72-79: establecen las normas de vertimientos. Artículos 155, 156, 158, 160, 161: se regula todo el tema de los métodos de análisis y de la toma de muestras
RESOLUCION 2115 DE 2007	Internet Ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Magnético .PDF	Capítulo II: Características físicas y químicas del agua para consumo Humano. Artículo 2: Características físicas del agua. Artículo 3: conductividad Artículo 4: Potencial de hidrogeno Artículo 6: características químicas del agua.
DECRETO 3930 DEL 2010	Internet	Magnético .PDF	Artículo 7: Modelos de simulación de Calidad del recurso hídrico.
DECRETO 3100/03 Y 3440/04 CONTRATO N° 160/2005, CARDER (2006)	Internet CARDER	Magnético .PDF	Desarrollo de un soporte técnico de implementación de las tasas retributivas en los Ríos Apia, Risaralda, Cauca, Mapa, y las Quebradas Cuba, Cristales, Chápata, El Pueblo Lavapiés y La Bamba.
MINAMBIENTE, 2013	Internet	Magnético .PDF	Guía técnica para la formulación de los

	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible		Planes de ordenación y manejo de cuencas Hidrográficas. Versión 1.0
PÉREZ, J. Manual para determinar la Calidad del Agua para Riego Agrícola. Universidad Veracruzana. México. 2011. 49p	Internet	Magnético .PDF	Metodologías utilizadas para determinar la calidad de agua para riego: - Palacios y Aceves (1970); - Richards del Laboratorio de los Estados Unidos, Riverside, California; - Ayers y Westcott para FAO.
STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 1999	Internet	Magnético .pdf	SM 2320 B; SM 4500 Cl C; SM 2510 B; SM 5210 B; SM 5220 C; SM 4500 P B, D; SM 4500 NO ₂ B; SM 4500 NO ₃ B; SM 4500 N _{org} C-NH ₃ B, C; SM 2540 B, C, D; SM 2130 B; SM 3500 B; SM 3500 Ca B; SM 3500 Mg B; SM 3500 K B; SM 3500 Na B; SM 9223 B;
CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 312 DE 2013	Banco de información FUNDISPROS y CAM	Físico	Parámetros a medir para la determinación de la calidad de agua del Río Villavieja.
RESOLUCIÓN N° 0161 DEL 2014	Banco de información FUNDISPROS y CAM	Físico	Por la cual se declara en Ordenamiento las Corrientes de Uso Público Río Frío que discurre en jurisdicción del municipio de Campoalegre y Río Villavieja que discurre en jurisdicción de los municipios de Tello y Villavieja – Departamento del Huila.

Tabla 14. Recopilación de Información

Fuente: FUNDISPROS, 2014

En busca de realizar una efectiva determinación de la calidad del agua del Río Villavieja y evidenciar su variación en el tiempo es necesario evaluar la información que se encuentre en relación a estudios realizados sobre dicha cuenca, para ello se solicitó a la corporación autónoma regional del alto magdalena CAM monitoreos de calidad de agua realizados con anterioridad, para lo cual se tuvo como respuesta un estudio realizado a petición de las empresas públicas de Tello (INFORME CARACTERIZACION DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS Y FUENTE RECEPTORA DEL MUNICIPIO DE TELLO). Esta información fue suministrada por la corporación y de ella se puede sustraer la siguiente tabla que contiene los resultados de laboratorio encontrados en 3 puntos específicos los cuales se encuentran referenciados con sus respectivas coordenadas planas (Tabla 15).

Sin embargo, esta información no es suficiente para realizar un diagnóstico de la calidad del agua en el Río Villavieja, debido a que los sitios en los que se efectuó el



monitoreo son muy escasos y no contribuyen para generar la simulación del comportamiento de la calidad del río, ya que el monitoreo existente está relacionado únicamente con el vertimiento de aguas residuales domésticas del Municipio de Tello y no se cuenta con información de los demás vertimientos identificados en todo el trayecto del río.

Debido a lo anterior se realizaron monitoreos en cinco puntos propuestos con el fin de establecer la calidad del agua de la corriente hídrica; a continuación se presentan los antecedentes existentes en la corporación autónoma regional del alto magdalena CAM, sobre la calidad de agua sobre el Rio Villavieja.

SITIOS DE MUESTREO AÑO 2013			
NOMBRE	COORDENADAS		DESCRIPCION
	X	Y	
B01	882410.568	831345.784	Aguas Arriba Vertimiento de Tello
B02	882128.986	831430.855	Aguas Abajo Vertimiento de Tello
B03	882301.251	831360.639	Vertimiento de Tello

Tabla 15. Sitios monitoreados en el año 2013

Fuente: DIAGNOSTICAMOS S.A.S, 2014

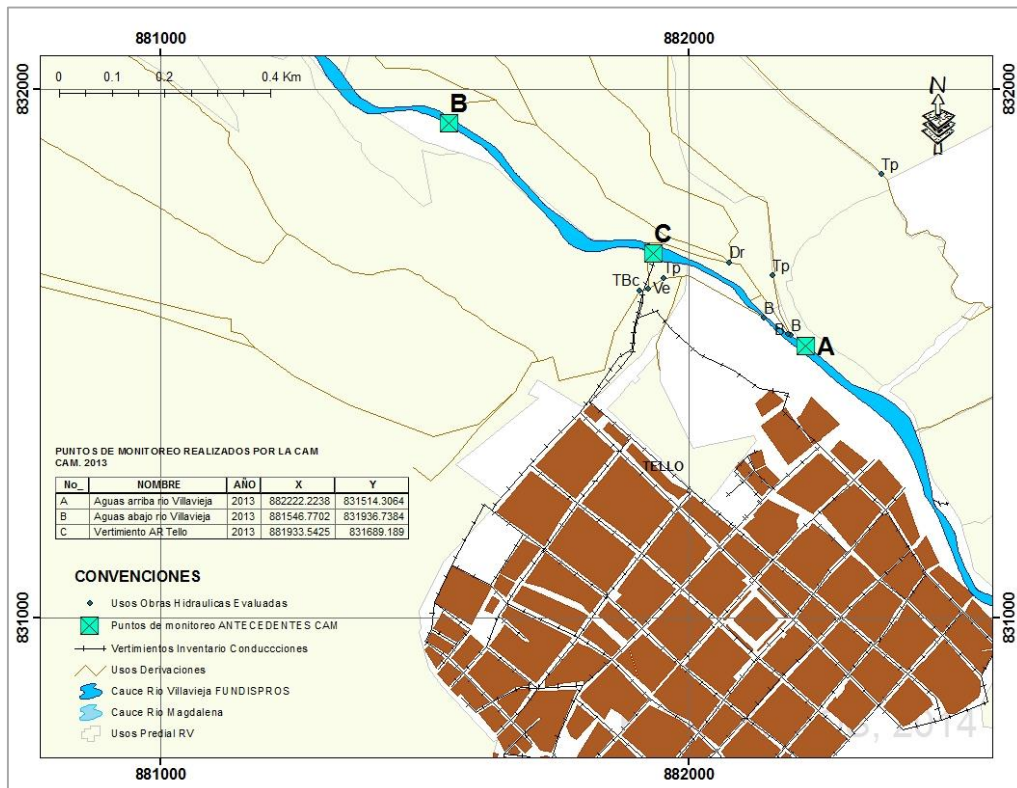


Figura 12. Puntos de monitoreo realizados por la CAM en 2013

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.6.1.2. Localización de Sitios de Monitoreo de Calidad de Agua

De acuerdo al recorrido realizado sobre el cauce hídrico del Río Villavieja se identificaron como prioritarios cinco (5) sitios en los cuales es necesario medir la calidad de agua, para ello se realizaron muestreos puntuales para su respectivo análisis. Los sitios de muestreo fueron reconocidos y seleccionados de acuerdo a la zonificación por vertimientos descrita anteriormente y conforme a los usos del agua del cauce principal del río, captada por medio de estructuras hidráulicas, además de los afluentes localizados e identificados con base en la cartografía y en los procesos de reconocimiento den campo. Para la determinación de los puntos de muestreo también se tomó como referencia la zonificación realizada a la cuenca y al cauce hídrico en el proyecto de reglamentación de usos (Res 1251 de 31-05-2011) el cual se dividió en zona alta, media y baja (Ver Figura 13).

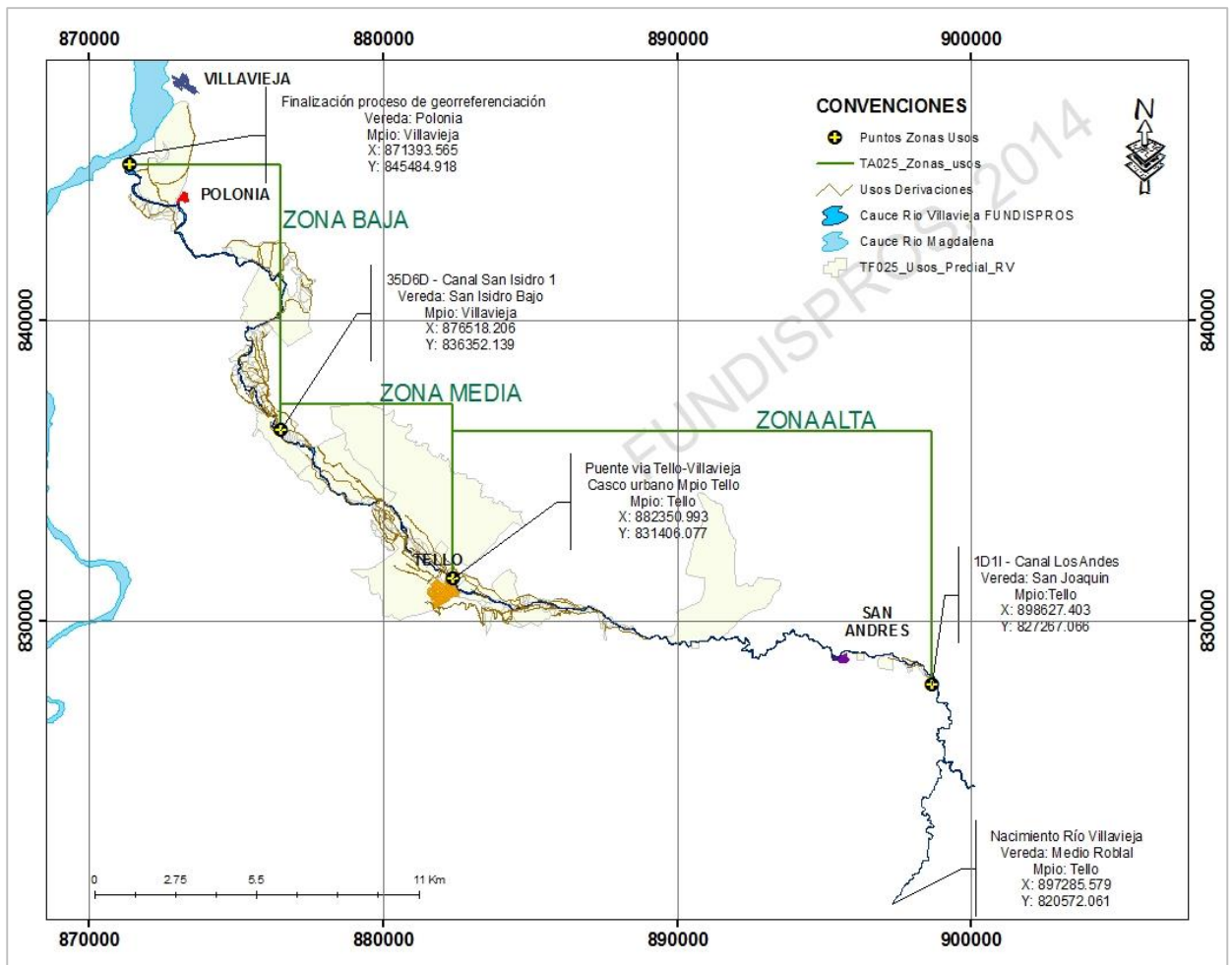


Figura 13. Plano zonificación por usos según RES 1251 de 31-05-2011
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Tabla 16 se relacionan las zonas en las que se dividió la cuenca hidrográfica del río de Villavieja para los estudios de distribución de caudales (res 1251 31-05-2011) y los tramos del río definidos como homogéneos según naturaleza de los vertimientos y usos, además de la localización de los sitios de muestreo.

ZONAS DEL RIO VILLAVIEJA PARA USOS			TRAMSO HOMOGENEOS DEFINIDOS DEL CAUCE PPAL DEL RIO SEGÚN VERTIMIENTOS				
NOMBRE	COORDENADAS		DESCRIPCION	NOMBRE	COORDENADAS		DESCRIPCION
	X	Y			X	Y	
Zona Alta	898718.14	827829.17	Desde Antes del primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011)-bocatoma canal principal predio Los Andes	A01	898718.14	827829.17	Río Villavieja antes del primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011)-bocatoma canal principal predio Los Andes- Vda. La Urraca - Tello
	882416.50	831311.84	Hasta Antes del puente vía Tello-Villavieja	A02	890822,04	829332,77	Río Villavieja aguas arriba de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello
Zona Media	882416.50	831311.84	Desde Antes del puente vía Tello-Villavieja	A03	882067,40	831638,41	Río Villavieja antes del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello
	876558.79	836293.41	Hasta Antes de la primera captación San Isidro (canal principal-trigésima quinta derivación canal San Isidro, según reglamentación 1251 de 31-05-2011)				
Zona Baja	876558.79	836293.41	Desde Antes de la primera captación San Isidro (canal principal-trigésima quinta derivación canal San Isidro, según reglamentación 1251 de 31-05-2011)	A04	881722,86	831768,02	Río Villavieja despues del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello
	871285.23	845092.81	Hasta Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena	A05	871268,29	845042,01	Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.

Tabla 16. Sitios de muestreo sobre el cauce del Río Villavieja.
Fuente: FUNDISPROS, 2014; CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA., 2014

La Figura 13 ilustra la zonificación realizada al cauce hídrico según vertimientos y la realizada en el proyecto de distribución de caudales (RES 1251 de 31-05-2011), además de la ubicación de los puntos de muestreo.

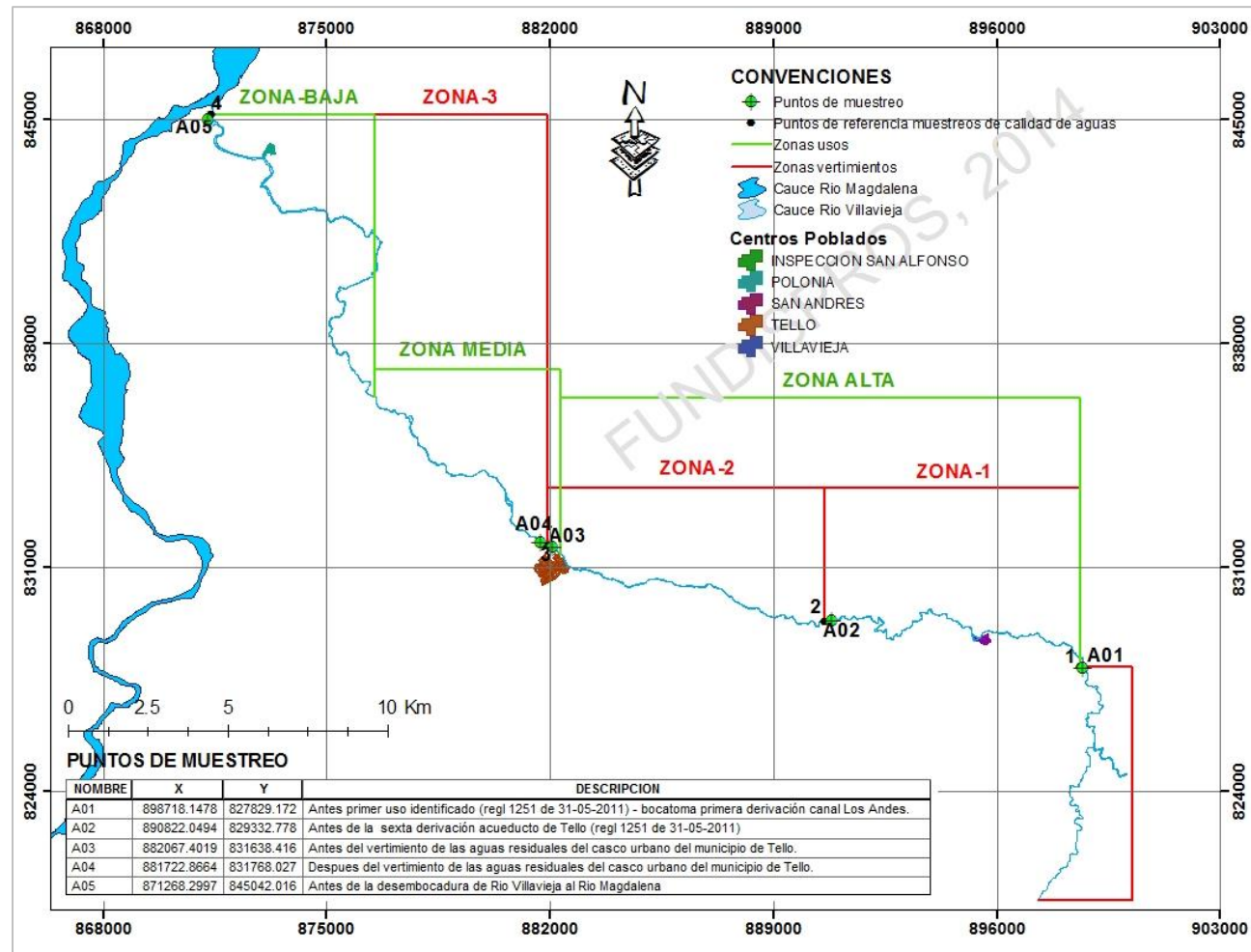


Figura 14. Plano zonificación Usos y puntos de muestreo (Vertimientos)
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.6.1.3. Recolección de las Muestras de Agua

La recolección de muestras se llevó a cabo en los puntos relacionados en la Tabla 17 entre los municipios de Tello y Villavieja (Huila) sobre el cauce del Río Villavieja. La metodología usada para el proceso mencionado fue Muestreo Puntual Manual que se caracteriza principalmente por la toma en un determinado momento de espacio y tiempo y permite registrar las condiciones de la fuente hídrica en ese momento.

Para efectos de un confiable reporte del laboratorio, se realizó un acompañamiento a los técnicos del Laboratorio que llevaron a cabo los protocolos de recolección, almacenamiento y transporte de las muestras siguiendo los lineamientos propuestos por el IDEAM.

SITIO DE MONITOREO	DESCRIPCION	REGISTRO FOTOGRÁFICO
A01	Antes del primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011)- bocatoma canal principal predio Los Andes- Vda. La Urraca- San Andrés (Tello)	
A02	Aguas arriba de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello	

3

Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello



A04

Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello



A05 Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.



Tabla 17. Recolección de las Muestras Río Villavieja, Municipios de Tello y Villa Vieja (Huila)
Fuente: CAM, 2014

2.6.1.4. Determinación de Parámetros “In-Situ”

Los parámetros In-Situ son medidos de forma puntual y determinan el estado inmediato del cuerpo de agua en los sitios en donde se realizó la medición, estos parámetros se miden directamente en el sitio debido a que sufren variaciones considerables durante los procesos de transporte y almacenamiento. Los parámetros medidos son: Caudal Promedio, pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura del Ambiente, Temperatura del Agua y Oxígeno Disuelto, esta labor fue realizada por personal capacitado del Laboratorio Construcciones Suministros Ltda. A continuación se muestran los resultados arrojados de estos parámetros en los sitios monitoreados:



Figura 15. Determinación de Parámetros In-Situ Río Villavieja, Municipios de Tello y Villa Vieja (Huila)
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nº	PARÁMETRO	RESULTADOS									LMQ ²	UNIDADES	MÉTODO
		SITIO DE MUESTREO			CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA.			DIAGNOSTICAMOS S.A.S					
		A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02	B03				
1	CAUDAL AFORADO	789,7	1363,0	573,0	464,0	992,8	3531.1	3598.3	7.83	0,01	L/s	Micromolinete	
2	pH	8,36	8,46	8,69	8,61	8,28	8.57	8.65	7.61	0,85	Unidades de pH	SM22 4500- H+ B	
3	Temperatura del Ambiente	22,0	20,4	25,2	24,8	32,1	29.08	24.73	*3	0,01	°C	SM22 2550 B	
4	Temperatura del Agua	19,0	19,1	22,4	24,2	30,5	22.97	23.78	27.66	0,01	°C	SM22 2550 B	
5	Conductividad Eléctrica	100,0	162,0	239,9	251,4	442,0	*	*	*	1,28	µs/cm	SM22 2510 B	
6	Oxígeno Disuelto	7,8	7,6	7,9	7,3	6,7	8.04	7.92	*	1,09	mg O ₂ /L	SM22 4500 OC	
7	Saturación de Oxígeno	97,5	97.8	97.6	92.6	88.0	99.52	99.68	*	1,09	% Saturación	SM22 4500	

Tabla 18. Análisis de Parámetros In-Situ en los sitios Monitoreados
Fuente: DIAGNOSTICAMOS S.A.S, 2014; CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA.⁴, 2014

² LMQ: Límite de Cuantificación

³ * Sin Información

⁴ Laboratorio Acreditado en NTC/ IEC 17025 según Resolución 1305 de Junio de 2014

2.6.1.5. Determinación de Parámetros en Laboratorio

Estos Parámetros corresponden a la serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que son medidos en el laboratorio y determina el estado detallado del cuerpo de agua sobre el cual se realiza la medición.

El monitoreo realizado en los cinco sitios propuestos por FUNDISPROS para el análisis del comportamiento de la calidad del agua a lo largo del Río Villavieja para el presente estudio, fue contratado por la CAM con el laboratorio Construcsuelos Suministros Ltda., debido a que éste está acreditado por el IDEAM según Resolución 1305 de Junio de 2014, sin embargo los parámetros que Construcsuelos no tiene acreditados los subcontrató a ChemiLab S.A.S. – Chemical Laboratory, laboratorio acreditado mediante Resolución 2016 de 2014 del IDEAM.

Por otro lado los parámetros contratados y analizados corresponden a los requeridos para determinar si el agua de la fuente hídrica estudiada tiene la calidad adecuada para cada uno de los usos identificados durante la recolección de información en campo o si se requiere realizar restricciones de uso y/o vertimiento, lo anterior siguiendo los lineamientos contenidos en el Decreto 1594/84 y demás normas vigentes.

El laboratorio se encargó de realizar el reporte de resultados de los parámetros determinados (M034, M035, M046, M047 y M048) en el año 2014 los cuales son relacionados en la Tabla 19.

Adicionalmente se relacionan los resultados obtenidos por el Laboratorio Diagnosticamos S.A.S., en el Monitoreo realizado en el año 2013.

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS
DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

Nº	PARÁMETRO	RESULTADOS									LMQ ⁵	UNIDADES	MÉTODO
		IDENTIFICACION DE LA MUESTRA					SITIO DE MUESTREO						
		M034	M035	M046	M047	M048	B01	B02	B03				
		A01	A02	A03	A04	A05							
	RESPONSABLE DEL MONITOREO	Construcsuelos Suministros Ltda.					Diagnosticamos S.A.S						
1	Coliformes Totales	121,0	289,0	372,0	296,0	289,0	* ⁶	*	*	N.E.	NMP/100 ml	SM22 9221 B	
2	Coliformes Fecales	28,0	26,0	23,0	21,0	20,0	5.5x10 ³	17x10 ³	*	N.E.	NMP/100 ml	SM22 9221 B	
3	Fosfatos	0,020	0,130	0,100	0,150	0,220	0.35	0.43	27.67	0,07	mgPO ₄ /L	SM22 4500-P B	
4	Fósforo Orgánico	0,836	0,366	1,63	1,64	1,35	*	*	*	0,07	mg/L	SM 4500-P E	
5	Fósforo Inorgánico	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	0,260	*	*	*	0,07	mg/L	SM 4500-P E	
6	Nitritos	0,052	0,055	0,053	0,073	0,078	*	*	*	0,0035	mgNO ₂ /L	SM22 4500-NO ₂ B	
7	Nitratos	0,852	0,736	<0,50	0,794	1,49	0.16	0.17	1.07	0,50	mg NO ₃ /L	SM22 4500-NO ₃ B	
8	Nitrógeno Amoniacal	<0,05	0,059	<0,05	0,063	<0,05	*	*	*	0,05	Mg/L	SM 4500-NH ₃ B	
9	Sulfatos	2,97	3,21	18,84	21,22	35,78	*	*	*	0,50	mgSO ₄ /L	SM22 4500-SO ₄ E	
10	Sólidos Totales	70,0	195,0	163,0	170,0	299,0	294.0	258.0	1022.0	12,82	mg/L	SM22 2540 B	
11	Sólidos Disueltos Totales						150.0	176.0	714.0		mg/L		
12	Sólidos Suspendidos Totales	10,0	27,0	21,0	20,0	21,0	144.0	82.0	308.0	9,61	mg/L	SM22 2540 D	
13	DBO ₅	7,0	12,0	16,0	13,0	12,0	2.8	2.3	576.8	7,03	mgO ₂ /L	SM22 5210 B	
14	DBO ₅ Filtrada	7,0	1,0	14,0	10,0	8,0	*	*	*	7,03	mgO ₂ /L	SM22 5210 B	
15	Cloruros	3,5	0,8	1,5	0,4	7,2	*	*	*	1,03	mgCl/L	SM22 4500 CL-B	
16	DQO	11,7	34,7	53,4	36,0	28,0	14.2	9.2	721.0	10,52	mgO ₂ /L	SM22 5220 D	
17	DQO Filtrada	<10,52	30,1	48,0	28,3	26,1	*	*	*	10,52	mgO ₂ /L	SM22 5220 D	
18	Grasas y Aceites	8,0	<5,34	<5,34	<5,34	<5,34	*	*	*	5,34	mg/L	SM22 5220 B	

⁵ LMQ: Límite de Cuantificación

⁶ * Sin Información

**ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS
DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

19	Turbiedad	0,570	1,46	3,32	1,85	4,67	110	103	278	1,0	NTU	SM 2130 B
20	Alcalinidad Total	62,7	87,4	121	118	199	*	*	*	6,04	mg CaCo3/L	SM 2320 B
21	Bicarbonatos	62,7	87,4	121	118	199	*	*	*	6,04	mg CaCO3 /L	SM 2320 B + Cálculo
22	Boro	<0,84	<0,84	<0,84	<0,84	<0,84	*	*	*	0,84	mg/L	SM 4500 B, C
23	Calcio Total	12,4	19,9	39,1	38,6	36,9	*	*	*	0,10	mg/L	SM 3030 E modificado, SM 3111 B
24	Carbonatos	<6,04	<6,04	<6,04	<6,04	<6,04	*	*	*	6,04	mg CaCO3 /L	SM 2320 B + Cálculo
25	Carbono Orgánico Total (COT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	*	*	*	5,00	mg/L	SM 5220 D + Cálculo
26	Magnesio Total	5,98	6,20	8,37	8,15	10,9	*	*	*	0,02	mg/L	SM 3030 E modificado, SM 3111 B
27	Potasio Total	5,98	1,04	1,56	1,68	3,00	*	*	*	0,125	mg/L	SM 3030 E modificado, SM 3111 B
28	Sodio Total	7,38	6,85	11,0	13,0	18,5	*	*	*	0,05	mg/L	SM 3030 E modificado, SM 3111 B

Tabla 19. Análisis de Parámetros medidos en Laboratorio de los sitios Monitoreados
Fuente: DIAGNOSTICAMOS S.A.S, 2014; CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA., 2014

2.6.2. Análisis de Resultados Físico. Químico y Bacteriológico-Línea Base de Calidad de Agua

Determinar la línea base de calidad de agua constituye la clave para empezar a visualizar la relación entre la calidad del cuerpo receptor y los usuarios de éste, identificados y cualificados con anterioridad. Para la construcción de la línea base de calidad del Río Villavieja, se atendieron a parámetros fisicoquímicos como bacteriológicos los cuales se describen a continuación. (ANEXO 4)

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Con el objetivo de determinar la calidad del agua del Río Villavieja de acuerdo con los usos contemplados en el Decreto 1594/84 y la resolución 2115 de 2007, se articularon los resultados de los parámetros hallados en el monitoreo del año 2013 y los recientemente monitoreados en el año 2014, además se establecerán los objetivos de calidad teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el modelo simulación de calidad de agua:

OBJETIVOS Y PARAMETROS PARA EL ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA	
OBJETIVO	PARAMETROS
Determinar la calidad del Agua mediante análisis hidrobiológico sobre el Río Villavieja	<ul style="list-style-type: none"> - Fitoplancton - Peces - Perfiton - Zooplancton - Macrofitas - Macroinvertebrados Bentónicos
Realizar la modelación de calidad de Agua "QUAL 2Kw" del Río Villavieja	<ul style="list-style-type: none"> - DBO₅: Lenta y Rapida. - Detritus - Nitrogeno Amoniacal - Fosforo Inorganica - Solidos suspendidos Totales - Oxigeno Disuelto - Materia Organica Particulada
Articular el Decreto 1594 de 1984 con datos de los parametros de calidad hallados en los monitoreos realizados sobre el Río Villavieja	<ul style="list-style-type: none"> - Oxígeno disuelto - Temperatura - Boro - Cloruros, - Nitratos, Nitritos y Nitrógeno Amoniacal, - Sulfatos, - Turbiedad, - Coliformes Fecales y Coliformes Totales, - Conductividad Eléctrica, - Carbono Orgánico Total COT, - Calcio, Alcalinidad Total, Magnesio y Fosfatos.

Clasificar los resultados de los parametros de calidad de agua con lo contenido en la Resolucion 2115 de 2007	<ul style="list-style-type: none"> - Caracteristicas fisicas - Caracteristicas quimicas - Caracteristicas Microbiologicas
Determinar el Índice de Calidad de Agua – ICA de acuerdo a la metodologia establecida por la Fundación Nacional de Sanidad (NSF) de los Estados Unidos en el año 2006.	<ul style="list-style-type: none"> - DBO₅: Demanda Bioquímica de oxigeno a cinco (5) días. (DBO₅, mg/l) - OD: Oxígeno disuelto. Expresado en porcentaje de saturación (% Sat.) - Potencial de Hidrógeno (pH, en unidades) - Turbiedad (NTU) - Fosfatos (mg/l) - Nitratos (mg/l) - Coliformes Fecales (NMP/100ml) - Sólidos Totales (mg/l)
Establecer las metas quinquenales de reduccion de Carga contaminante de acuerdo al Decreto 2667 de 2012	<ul style="list-style-type: none"> - DBO₅: Demanda Bioquímica de oxigeno a cinco (5) días - SST: Sólidos Suspendidos Totales

Tabla 20. Objetivos y Parámetros para el análisis de calidad de agua

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Para efectuar este análisis se requiere calcular algunos índices de calidad de agua como la conductividad Eléctrica, Salinidad Efectiva y salinidad potencial. La mayoría de los cálculos de estos índices así como muchos de los parámetros de clasificación establecidos, requieren que las cantidades obtenidas para los aniones y cationes sean expresadas en miliequivalentes por litro. A continuación se presenta la relación de mg/l a meq/l y los resultados obtenidos de la conversión:

$$\frac{mEq}{l} = \frac{mg}{l} * \frac{valencia}{Peso\ átomico}$$

RÍO VILLAVIEJA												
SITIO DE MUESTREO			PARAMETRO EN mg/l					PARAMETRO EN meq/l				
			A01	A02	A03	A04	A05	A01	A02	A03	A04	A05
ELEMENTO	PESO ATOMICO	VALENCIA	CATIONES									
SODIO	22.99	1	7,38	6,85	11,0	13,0	18,5	0,321	0,298	0.478	0.565	0.805
MAGNESIO	24.305	2	5.98	6.2	8.37	8.15	10.9	0,492	0,510	0.689	0.671	0.897
CALCIO	40.078	2	12.4	19.9	39.1	38.6	36.9	0,619	0,993	1.951	1.926	1.841
POTASIO	39.0983	1	5.98	1.04	1.56	1.68	3	0,153	0,027	0.040	0.043	0.077
ANIONES												
SULFATOS	96.063	2	2.97	3.21	18.84	21.22	35.78	0,062	0,067	0.392	0.442	0.745
CARBONATOS	60.015	2	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	0,201	0,201	0.201	0.201	0.201
BICARBONATOS	61.015	1	62.7	87.4	121	118	199	1,028	1,432	1.983	1.934	3.261
CLORURO	35.453	1	3.5	0.8	1.5	0.4	7.2	0,099	0,023	0.042	0.011	0.203
OTROS												
NITRATOS	62.05	1	0.852	0.736	0.5	0.794	1.49	0,014	0,012	0.008	0.013	0.024
BORO	10.811	3	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233

Tabla 21. Conversión de mg/l a meq/l para Aniones y Cationes obtenidos en el Río Villavieja
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Palacios y Aceves (1970) propusieron ocho índices que unieron para llevar a cabo la determinación de la calidad del agua de riego; Según (Pérez León, 2011) esta metodología es más aproximada que la hecha en Riverside, la cual solo toma en consideración dos índices: Relación de adsorción de sodio (RAS) y Conductividad eléctrica (CE) (Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996).

Estos ocho índices y el PSI son clasificados en tres grupos de acuerdo a los diferentes criterios propuestos para evaluar la calidad del agua:

CRITERIOS	ÍNDICES	SÍMBOLOS
1) Contenido de sales solubles	a) Conductividad eléctrica	CE
	b) Salinidad efectiva	SE
	c) Salinidad potencial	SP
2) Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo	d) Relación adsorción de Sodio	RAS
	e) Porcentaje de sodio intercambiable	PSI
	f) Carbonato de sodio residual	CSR
	g) Porcentaje de sodio posible	PSP
3) Contenido de elementos tóxicos para las plantas	h) Contenido de boro	B
	i) Contenido de Cloruros	Cl ⁻¹

Tabla 22. Criterios para evaluar la calidad del agua según Palacios y Aceves (1970)

Fuente: (Pérez León, 2011)

El análisis físico químico y bacteriológico del agua del Río Villavieja para uso agropecuario se realizará en base a los criterios formulados por Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996 y Marín, 2002 (Pérez León, 2011), además de lo mandado en la normatividad colombiana vigente (Decreto 1594/84 y otros) y lo consultado en la literatura.

2.6.2.1. Análisis de Acuerdo al Contenido de sales solubles

2.6.2.1.1. Conductividad Eléctrica

PARÁMETRO	RESULTADO					UNIDAD	VALORES PERMISIBLES	CRITERIO
	A01	A02	A03	A04	A05		Pizarro, 1978	
SITIO DE MUESTREO	A01	A02	A03	A04	A05			
Conductividad Eléctrica	100,0	162,0	239,9			µs/cm	0-250	CUMPLEN
				251,4	442,0		250-750	CUMPLEN

Tabla 23. Conductividad eléctrica del Río - Villavieja

Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, 2014

De acuerdo a la clasificación propuesta por el U.S. Salinity laboratory (Tabla 24) y a los resultados de conductividad eléctrica obtenidos en los sitios de muestreo se

deduce que el agua del Río Villavieja hasta antes de la descarga de las ARD del municipio de Tello (A03) tiene un *riesgo bajo* de producir problemas de salinidad en los suelos, sin embargo en los sitios de monitoreo A04 (Después de la descarga de las ARD del municipio de Tello) y A05 (Antes de la Desembocadura al Río Magdalena) presentan valores de Conductividad eléctrica por encima de 250 ($\mu\text{mhos/cm}$), por lo que el agua de la zona baja de la cuenca se cataloga como agua de salinidad media.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA		CONCENTRACIÓN DE SAL
CE a 25 °C ($\mu\text{mhos/cm}$)	CLASIFICACIÓN	Gr/l (aprox.)
0-250	Agua de Baja Salinidad	<0,2
250-750	Agua de Salinidad Media	0,2 – 0,5
750-2250	Agua Altamente Salina	0,5 – 1.5
más de 2250	Agua Muy altamente Salina	1,5 – 3,0

Tabla 24. Clases de Aguas de Acuerdo a la Conductividad Eléctrica.

Fuente: (Pizarro, 1978)

2.6.2.1.2. Salinidad Efectiva

La Salinidad Efectiva se calcula de la siguiente manera y teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

1. $SE = \sum \text{cationes} - (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H} + \text{SO}_4)$
 Cuando $\text{Ca} > (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H} + \text{SO}_4)$
2. $SE = \sum \text{cationes} - \text{Ca}$
 Cuando $\text{Ca} < (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H} + \text{SO}_4)$ pero $\text{Ca} > (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H})$
3. $SE = \sum \text{cationes} - (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H})$
 Cuando $\text{Ca} < (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H})$ pero $(\text{Ca} + \text{Mg}) > (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H})$
4. $SE = \sum \text{cationes} - (\text{Ca} + \text{Mg})$
 Cuando $(\text{Ca} + \text{Mg}) < (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H})$

En las anteriores relaciones tanto los iones como los cationes deben estar expresados en mEq/l. Si la suma de cationes es menor a la de aniones, deberá emplearse la suma de aniones en lugar de la de cationes (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011).

PARÁMETRO	RESULTADOS					UNIDAD
	A01	A02	A03	A04	A05	
SITIO DE MUESTREO						
Salinidad Efectiva	0.474	0.325	0.974	1.070	0.881	mEq/lt
Condición que se Cumple	4	4	3	3	4	
Ecuación Utilizada	SE = \sum cationes - (Ca + Mg)		SE = \sum cationes - (CO ₃ + CO ₃ H)		SE = \sum cationes - (Ca + Mg)	
Criterio de Calidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 25. Resultados de Salinidad Efectiva en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

De acuerdo a la clasificación propuesta por Valverde (1998) y relacionada en la Tabla 26, el agua del Río Villavieja según la salinidad efectiva obtenida en cada uno de los sitios se clasifica como de **Buena calidad**.

CLASE	SALINIDAD EFECTIVA (meq/lt)
Buena	< 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	> 15

Tabla 26. Clases de aguas de acuerdo a la Salinidad Efectiva.

Fuente: Valverde, 1998.

2.6.2.1.3. Salinidad potencial

La Salinidad Potencial (SP) es un índice que muestra la peligrosidad del agua de riego a salinizar el suelo cuando se han precipitado todas las sales poco solubles y solo quedan los cloruros y parte de los sulfatos, esto sucede cuando la humedad aprovechable de un suelo es menor del 50%, es decir, cuando se ha consumido toda el agua fácilmente utilizable por la planta (cuando se llega al Umbral de riego). Esta se calcula por medio de la siguiente ecuación (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011):

$$SP = Cl + \frac{SO_4}{2}$$

Todos los iones se deben expresar en mEq/l

PARÁMETRO	RESULTADO					UNIDAD	VALOR PERMISIBLE Valverde, 1998	CRITERIO
	A01	A02	A03	A04	A05			
SITIO DE MUESTREO								
Salinidad Potencial	0,130	0,056	0,238	0,232	0,576	mEq/L	<3	CUMPLEN

Tabla 27. Resultados de Salinidad Potencial en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

CLASE	SALINIDAD POTENCIAL (meq/lt)
Buena	Menos de 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	Más de 15

Tabla 28. Clases de agua de acuerdo a la Salinidad Potencial

Fuente: VALVERDE, 1998.

De acuerdo a la clasificación propuesta por Valverde (1998) y relacionada en la Tabla 28 calidad del agua del Río Villavieja según la salinidad potencial obtenida se cataloga como **Buena**.

2.6.2.2. Análisis de acuerdo al efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo

Cuando la concentración de sodio en la solución del suelo es elevada en relación con la de otros cationes disueltos, se provoca la dispersión o la defloculación de dicho suelo, y como consecuencia pierde su estructura. Esto puede ejercer efectos secundarios importantes sobre el desarrollo vegetal, ya que la pérdida de la estructura causa una aireación y permeabilidad deficientes así como una baja disponibilidad de agua. Para estimar este efecto se han propuesto los siguientes índices (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011):

2.6.2.2.1. Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

Para prever la degradación que puede provocar una determinada agua de riego se calcula el índice RAS, que es la relación de absorción de sodio y se define por medio de la siguiente ecuación en la cual los cationes están expresados en mEq/l.

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

PARÁMETRO	RESULTADO					UNIDAD	VALOR PERMISIBLE Pérez León, 2011
SITIO DE MUESTREO	A01	A02	A03	A04	A05		
RAS	0.431	0.344	0.416	0.496	0.688	(mEqL ⁻¹) ^{1/2}	0-10
Criterio	S.1	S.1	S.1	S.1	S.1		CUMPLEN

Tabla 29. Relación Adsorción de Sodio en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Los valores de Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ están dados en mEq/L y los valores del RAS en (mEqL⁻¹)^{1/2}.

CLASIFICACIÓN	RAS	
	CE=100 $\mu\text{s/cm}$	CE= 750 $\mu\text{s/cm}$
S.1 Bajo en Sodio	0-10	0-6
S.2 Media en Sodio	10-18	6-12
C.3 Alta en Sodio	18-26	12-18
c.4 Muy Alta en Sodio	> 26	> 18

Tabla 30. Valores para clasificar aguas de riego según su RAS

Fuente: Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002; Citados por (Pérez León, 2011)

2.6.2.2.2. Porciento de sodio intercambiable

Se define como el grado de saturación del complejo e intercambio del suelo con sodio, que tendrá el suelo una vez que se equilibre con el agua, (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002; Citados por Pérez, 2011).

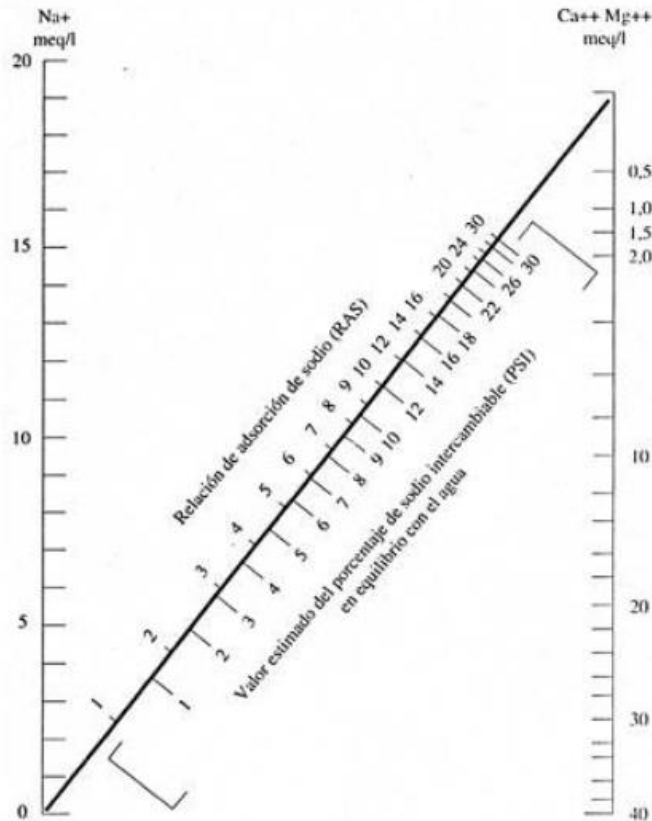


Figura 16. Monograma para determinar los valores de RAS de las aguas de riego y para estimar sus valores correspondientes de PSI del suelo que está en equilibrio con ellas

Fuente: (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011)

El PSI se estima a partir de la siguiente fórmula:

$$PSI = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 RAS)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 RAS)}$$

PARÁMETRO SITIO DE MUESTREO	RESULTADO				
	A01	A02	A03	A04	A05
PSI	-0.629	-0.759	-0.650	-0.531	-0.246

Tabla 31. Resultados % de Sodio Intercambiable en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

De acuerdo a lo anterior, entre menor sea el valor del RAS, menor resulta el valor del PSI del suelo y por tanto menor será el peligro de sodificación del mismo, por lo que para el caso del agua analizada no implica ningún riesgo de sodificación (o éste es mínimo).

2.6.2.2.3. Carbonato de sodio residual (CSR)

Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el de calcio más magnesio, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio debido a que su alta solubilidad puede permanecer en solución, aun después que se han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones, la concentración total y relativa de sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y magnesio del complejo de intercambio, produciéndose la defloculación del suelo (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011).

La presencia del CSR en el agua de riego afecta la RAS de la solución del suelo, debido a que luego de la aplicación del riego inicia el proceso de evapotranspiración en el que se elimina agua del suelo y como las sales no se eliminan, esto hace que la concentración de las mismas aumente hasta el límite de solubilidad de los carbonatos y bicarbonatos de Ca y Mg. Cuando esto ocurre se retira parte del Ca y Mg ocasionando un aumento del Na y como consecuencia también aumenta la RAS. El carbonato de sodio residual se determina mediante el uso de la siguiente expresión:

$$CSR = (CO_3^{=} + CO_3H^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

En la expresión anterior las Cantidades se Expresan en mEq/L

PARÁMETRO	RESULTADO					UNIDAD	VALOR PERMISIBLE Pizarro, 1978	CRITERIO
	SITIO DE MUESTREO	A01	A02	A03	A04			
CSR	0.118	0.130	-0.456	-0.462	0.724	mEq/L	<1,25	CUMPLEN

Tabla 32. Resultados de Carbonato de Sodio Residual en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Pizarro (1978) establece la clasificación de la Tabla 33 según el CSR obtenido en la muestra.

Clase	Carbonato de Sodio Residual (mEq/l)
Buena	Menos de 1.25
Condicionada	1.25 – 2.50
No Recomendable	Mayores de 2.5

Tabla 33. Clasificación del Agua según Carbonato de sodio Residual.
 Fuente: Pizarro, 1978

2.6.2.2.4. Porcentaje de sodio posible

Este es un índice que determina el peligro de desplazamiento del calcio y del magnesio por el sodio, empieza cuando el contenido de sodio en solución representa más del 50% de los cationes disueltos, este fenómeno se efectúa después de que se ha precipitado parte de las sales menos solubles del agua y su valor se estima mediante la siguiente expresión:

$$PSP = \frac{Na}{SE} * 100$$

Las cantidades deben expresarse en mEq/l

En las muestras de agua recolectadas sobre el Río Villavieja el PSP es:

PARÁMETRO	RESULTADO					UNIDAD	VALOR PERMISIBLE Palacios y Aceves, 1970
	SITIO DE MUESTREO	A01	A02	A03	A04		
PSP	67.730	91.804		52.843	91.295	%	>50%
Criterio	Buena para riego						Menor a 50% pero menos de 10 mEq/l de Sodio

Tabla 34. Resultados Por ciento de Sodio Posible en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Palacios y Aceves, (1970) establecen la clasificación para el agua de riego según el PSP obtenido y esta se muestra en la **Tabla 35**, de la cual se concluye que el agua muestreada en los puntos A01, A02, A04 y A05 tiene un PSP mayor a 50% por lo que se cataloga como buena para riego, en el caso de A03 se presenta un porcentaje de Sodio Posible (49,129%) menor a 50% pero en este punto también se tiene un valor de Sodio (0.478 mEq/l) menor a 10 mEq/l, por lo que cumple con la segunda condición lo que cataloga el agua a lo largo del Río como buena para riego.

CONDICIONES DEL SUELO	PSP	CLASIFICACIÓN
Cualquiera	Mayor a 50%	Buena para riego.
Suelos orgánicos o de textura ligera	Menor a 50% pero menos de 10 mEq/l de Sodio	Buena para riego.
Suelos minerales o de textura medias o pesadas, con menos de 4% de CaCO ₃ + MgCO ₃	Mayor de 50% con más de 10 mEq/l de Sodio	Peligro de sodificación, las aguas deben mezclarse con otras de mejor calidad o agregárseles yeso

Tabla 35. Valores para clasificar aguas de riego según Porcentaje de Sodio Posible
 Fuente: Palacios y Aceves, 1970 citado por (Pérez León, 2011)

2.6.2.3. Análisis de acuerdo al contenido de Elementos Tóxicos para las plantas

Dentro de los elementos que contienen en solución las aguas de riego, existen algunos que independientemente de los efectos anteriores, son tóxicos para las plantas, aun en pequeñas cantidades (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011).

Los iones tóxicos más comunes presentes en las aguas residuales son el Boro (B) y Cloruro (Cl⁻¹) los cuales son normalmente absorbidos por las raíces y la absorción a través de las hojas produce una mayor acumulación de estos iones en las plantas.

2.6.2.3.1. Contenido de Boro

(Pizarro, 1978) Afirma que este elemento es esencial para el desarrollo normal de las plantas, pero la concentración necesaria es muy pequeña 0,70 mg/l y si se excede puede perjudicar seriamente los cultivos. Sus efectos en las plantas consisten en quemaduras en las hojas, clorosis y necrosis. Sin embargo (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011) establecen la siguiente clasificación de toxicidad respecto al Boro:

NIVEL TÓXICO	CONTENIDO DE BORO (meq/l)
Ninguno	< 1
Ligero a Moderado	< 3
Severo	< 4

Tabla 36. Niveles Tóxicos de Boro en aguas para riego

Fuente: (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002) citados por (Pérez León, 2011)

PARÁMETRO	RESULTADO					UNIDAD	VALOR PERMISIBLE	
							Palacios y Aceves, 1970	Decreto 1594 del 1984
SITIO DE MUESTREO	A01	A02	A03	A04	A05			
BORO	<0.233	<0.233	<0.233	<0.233	<0.233	(mEq/l)	< 1	0.083 – 1.110
	<0.84	<0.84	<0.84	<0.84	<0.84	mg/l		0,3 – 4,0
Criterio							CUMPLEN	CUMPLEN

Tabla 37. Resultados Contenido de Boro en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

El Decreto 1594 del 1984 establece como rango permisible para el boro, los valores entre 0.3 y 4.0 mg/l esto dependiendo del tipo de suelo y del cultivo. De acuerdo a lo anterior y al contenido de Boro presente en las muestras de agua examinadas del Río Villavieja se concluye que el Río tiene un bajo contenido de Boro; Además la clasificación propuesta en la **Tabla 36** por (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002; Citados por Pérez, 2011), establece que para concentraciones <1 mEq B /L no hay ningún nivel de toxicidad que pueda perjudicar los cultivos por lo cual el Río Villavieja no representa peligro para las plantas que serán regadas ya que tiene bajos contenidos de Boro constituyéndose como un agua con ningún nivel tóxico.

2.6.2.3.2. Contenido de Cloruros:

Ocupan el tercer lugar en porcentaje de los aniones inorgánicos en el agua. Éstos expresan en gran parte la salinidad del agua debido a que están representados por lo regular en forma de cloruro de sodio.

Dentro de los elementos que contienen en solución las aguas de riego, existen algunos que son tóxicos para las plantas, aun en pequeñas cantidades. Los iones tóxicos más comunes presentes en las aguas son: Boro (B), Cloruro (Cl¹⁻) y Sodio (Na⁺) (Palacios y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez, 1996; Marín, 2002; Citados por (Pérez León, 2011)).

NIVEL TÓXICO	CONTENIDO DE CLORUROS (mEq/l)
Inexistente	< 4.0
Problema Creciente	4.0 – 10.0
Problema Grave	> 10.0

Tabla 38. Niveles Tóxicos de Cloruros en aguas para riego

Fuente: Canovas, 1986

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	VALOR PERMISIBLE	
			Palacios y Aceves, 1970	Decreto 1594 del 1984
SITIO DE MUESTREO	A01 A02 A03 A04 A05			
CLORUROS	0.099 0.023 0.042 0.011 0.203	(mEq/l)	< 4	0,3 – 4,0
Criterio	Nivel Tóxico Inexistente		CUMPLEN	

Tabla 39. Resultados Contenido de Cloruros en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Teniendo en cuenta la anterior clasificación y los resultados de cloruros obtenidos en el laboratorio se puede determinar que el agua del Río Villavieja no presenta ningún nivel tóxico por lo cual se puede utilizar en riego.

2.6.2.4. Análisis de acuerdo a otros criterios

2.6.2.4.1. Índice de Magnesio (Img)

Aplicando la ecuación propuesta por AZABOLCS y DARAB citados por (Pizarro, 1978) para la muestra tomada sobre el Río Villavieja se tiene:

$$Img = \frac{Mg^{++}}{Ca^{++} + Mg^{++}} \times 100$$

Los cationes se expresan en mEq/l

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	VALOR PERMISIBLE	
			Pizarro, 1978	
SITIO DE MUESTREO	A01 A02 A03 A04 A05			
Img	44.297 33.939 26.089 25.825 32.755	%	< 50	
Criterio	CUMPLEN			

Tabla 40. Índices de Magnesio en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Pizarro (1978) afirma que el agua para riego se considera peligrosa cuando el índice de Magnesio es superior a 50.

De acuerdo con lo anterior el agua analizada no presenta ninguna peligrosidad pues presenta resultados inferiores al que la teoría determina como peligroso.

2.6.2.4.2. Porcentaje de Cloruros (CIP)

Aplicando la ecuación propuesta por Grillo (1954) citado por (Pizarro, 1978) para la muestra tomada sobre el Río Villavieja se tiene:

$$CIP = \frac{Cl^{-} + NO^{-}_3}{CO^{-}_3 + CO_3H^{-} + SO^{-}_4 + Cl^{-} + NO^{-}_3}$$

PARÁMETRO	RESULTADO					UNIDAD
SITIO DE MUESTREO	A01	A02	A03	A04	A05	
CIP	8.014	1.984	1.917	0.926	5.121	%

Tabla 41. Porcentaje de Cloruros en los Puntos de Muestreo – Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.6.3. Determinación de Índices de Contaminación

Los índices de contaminación del agua son herramientas prácticas que reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco de análisis, sin necesidad de estudiar el comportamiento de estos en forma individual, permitiendo el entendimiento y la comparación de la calidad de un ambiente específico. Es importante destacar que estos indicadores son útiles en los programas de vigilancia y control del agua, convirtiéndose en una herramienta importante para la administración del Recurso hídrico. (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, 2014)

A continuación se determinarán los índices de contaminación de calidad de agua sobre los puntos monitoreados en el Río Villavieja:

2.6.3.1. Índice de Contaminación por Materia Orgánica “ICOMO”

Representa variables de contaminación como nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforo, oxígeno, DBO₅, DQO, Coliformes fecales y totales. El índice se definió en función de la DBO₅, Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno.

Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo de agua.

Se define de la siguiente manera:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{Sat\ OD})$$

Donde,

- El índice de DBO se define como:

$$I = -0.005 + 0.70 \log_{10} DBO$$

DBO	
Valor	Índice
> 30	1
< 2	0

- El índice de Coliformes Totales se define como:

$$I_{Colif.T.} = -1.44 + 0.56 \log_{10} Colif.T.$$

Coliformes Totales	
Valor	índice
> 20.000	1
< 500	0

- El índice de % de Saturación de Oxígeno Disuelto para sistemas lóticos se define como:

$$I_{\% Sat. OD} = 1 - 0.01 \% Sat. OD$$

% Sat. OD	
Valor	Índice
> 100	0

MONITOREO	DBO ₅	COLIFORMES TOTALES	%SAT. OD
A01	7.00	121.00	97.50
A02	12.00	289.00	97.80
A03	16.00	372.00	97.60
A04	13.00	296.00	92.60
A05	12.00	289.00	88.00
B01	2.80	*	99.52
B02	2.30	*	99.68

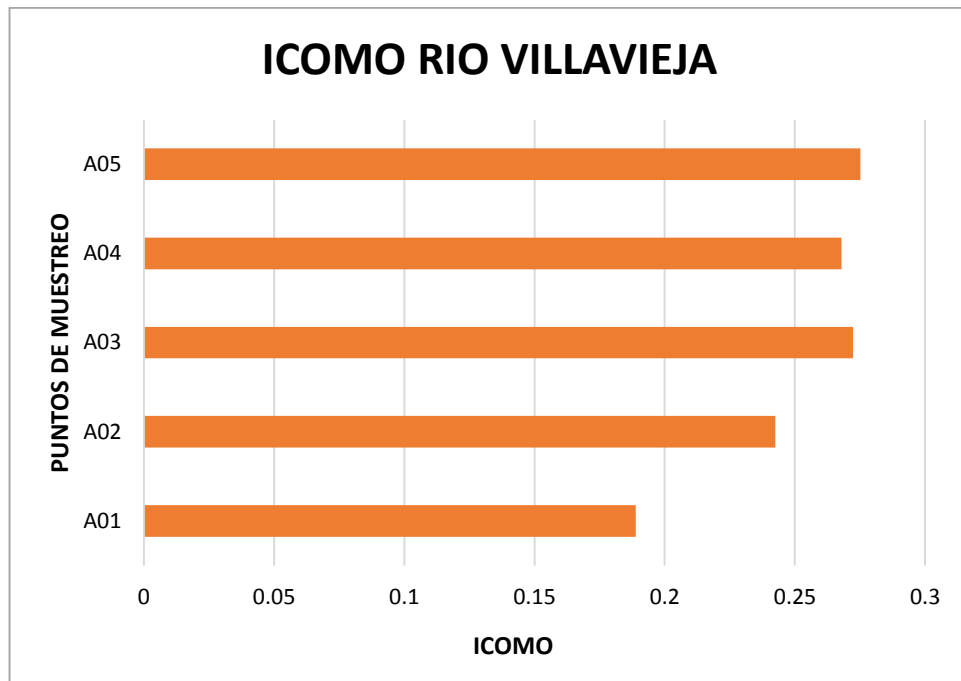
Tabla 42. Información Requerida para el cálculo del ICOMO
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

No se calculara el ICOMO en los puntos B01, B02 y B03 ya que no se tiene registros de Coliformes Totales en estos monitoreos, no obstante a continuación se presentan los índices de contaminación por Materia Orgánica obtenidos en los sitios A01, A02, A03, A04 y A05:

MONITOREO	I DBO	I COLIF T. ⁷	I %SAT. OD	ICOMO
A01	0.54	0.0	0.0250	0.1889
A02	0.71	0.0	0.0220	0.2425
A03	0.79	0.0	0.0240	0.2723
A04	0.73	0.0	0.0740	0.2679
A05	0.71	0.0	0.1200	0.2751

Tabla 43. Determinación del ICOMO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

⁷ Los I COLIF T: dieron cero (0) ya que todos los valores de Coliformes Totales están por debajo de 500 NMP/100 ml.



Gráfica 1. ICOMO – RIO VILLAVIEJA 2014

Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Gráfica 1 se puede apreciar que el índice de contaminación por materia orgánica en el Río Villavieja presenta mayor incidencia en el punto A05, correspondiente a antes de la desembocadura del río Villavieja al río Magdalena y así en orden descendente en los puntos monitoreados, siendo el punto A01 el de menos contaminación por materia orgánica.

Los índices de contaminación por Materia Orgánica del Río Villavieja son generados por datos puntuales de la campaña de calidad realizada, por tanto los valores reportados están relacionados con la influencia de las comunidades aledañas, afectaciones al agua y suelos presentes durante la campaña, lo que limita la certeza de los mismos, por lo cual se recomienda el establecimiento de un Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua.

Además cabe resaltar que la mayor afectación sobre la corriente principal se debe al vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos de origen doméstico en el área urbana del municipio de Tello por esta razón se hace necesario un tratamiento para la reducción de cargas contaminante y un programa de concientización de Manejo adecuado de los Residuos.

2.6.3.2. Índice de Contaminación de Sólidos Suspendidos (ICOSUS)

Los sólidos suspendidos reflejan una condicione distinta a los sólidos disueltos y no denotan relación con alguna variable propia de mineralización. Su principal causa la constituye los procesos erosivos y extractivos; su principal efecto es la disminución de la penetración de la luz. La turbiedad es otra forma de expresión de esta variable, mas no una medida directa. (Corporación Autonoma Regional del Alto Magdalena, 2014).

Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

El índice de contaminación de sólidos suspendidos se relaciona de la siguiente manera:

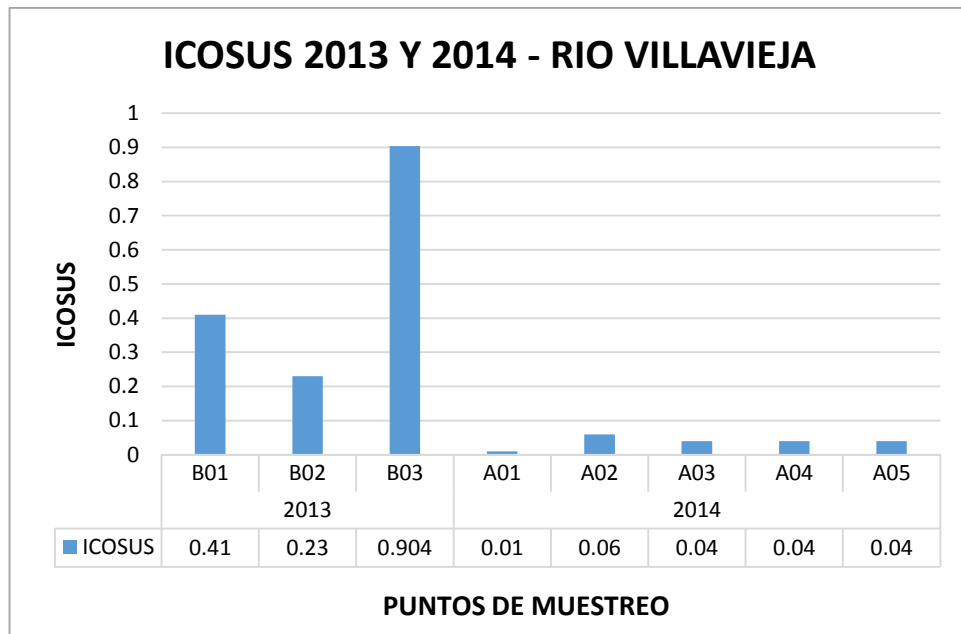
$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * SS$$

Sólidos Suspendidos	
Valor	Índice
> 340	1
< 10	0

MONITOREO	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	ICOSUS
A01	10,00	0,01
A02	27,00	0,06
A03	21,00	0,04
A04	20,00	0,04
A05	21,00	0,04
B01	144,0	0,41
B02	82,00	0,23
B03	308,0	0,904

Tabla 44. Determinación del ICOSUS en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014



Gráfica 2. ICOSUS 2013 Y 2014 – RIO VILLAVIEJA
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

La Gráfica 2 muestra el comportamiento del índice de contaminación por sólidos suspendidos medidos sobre el Rio Villavieja; se calculó para el año 2013 en 3 puntos y para el año 2014 en 5 puntos sobre el cauce del Rio. Se muestra una fuerte diferencia entre los resultados obtenidos en el año 2013 pues son mayores a los obtenidos sobre los puntos monitoreados en el año 2014; pues el punto B01 es mismo punto A03 y el punto B02 es el mismo punto A04; mostrando la autodepuración de contaminación de sólidos suspendidos por sólidos suspendidos que ha tenido el Rio.

2.6.3.3. Índice de Contaminación por Fosforo Total (ICOTRO)

Este índice se fundamenta en la concentración de fósforo total, el cual por ser generalmente el nutriente limitante, define la eutrofización de ecosistemas acuáticos. Si bien este último fenómeno es más importante en aguas lenticas, se expresa también bajo muchas circunstancias en agua loticas, especialmente cuando los ríos presentan bajas velocidades o aguas estancadas. A diferencia de los índices anteriormente descritos en los cuales se determina un valor particular de contaminación entre 0 y 1, en el ICOTRO la concentración de fósforo total define por sí misma una categoría discreta a saber. (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, 2014)

Se calcula sobre la base de la concentración de Fosforo Total en mg/L. El Fosforo como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El Fosforo Total incluye distintos compuestos como diversos Ortofosfatos, Polifosfatos y Fósforo Orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

CONCENTRACIÓN P_{TOTAL} (Mg/L)

SITIO DE MUESTREO	A01	A02	A03	A04	A05
Fósforo Orgánico	0,836	0,366	1,63	1,64	1,35
Fósforo Inorgánico	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	0,260
Fósforo Total (Fósforo Orgánico + Fósforo Inorgánico)	<0,906	<0,436	<1,7	<1,71	<1,61

Tabla 45. Determinación del ICOTRO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

CONDICIÓN	P _{TOTAL} (mg/l)
Oligotrofia	< 0.01
Mesotrofia	0.01 – 0.02
Eutrofia	0.02 – 1.00
Hipereutrofia	> 1.0

Donde,

Eutrofia: Condición de un cuerpo de agua que se encuentra en la etapa de máxima capacidad productiva, es decir, cuerpo de agua con exceso de nutrientes, especialmente fosforo y nitrógeno. Eutrófico

Con la información obtenida en los monitoreos se realiza una comparación con los rangos estándar y se determinan que grado de eutrofización presenta el cuerpo de agua, de esta manera se obtuvo la siguiente clasificación:

MONITOREO	FÓSFORO TOTAL (mg/l)	CONDICIÓN	ICOTRO
A01	<0,906	Eutrofia	0.02 – 1.00
A02	<0,436	Eutrofia	0.02 – 1.00
A03	<1,7	Hipereutrofia	> 1.0
A04	<1,71	Hipereutrofia	> 1.0
A05	<1,61	Hipereutrofia	> 1.0

Tabla 46. Determinación del ICOTRO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2.6.3.4. Clasificación de los Índices de Contaminación (ICO)

RANGO DEL ICO	CONTAMINACIÓN
0 – 0.2	Muy Baja
> 0.2 – 0.4	Baja
> 0.4 – 0.6	Media
> 0.6 – 0.8	Alta
> 0.8 – 1.0	Muy Alta

Tabla 47. Clasificación del Índice de Contaminación
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

MONITOREO	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO
A01	0.1889	0,01	Eutrofia
A02	0.2425	0,06	Eutrofia
A03	0.2723	0,04	Hipereutrofia
A04	0.2679	0,04	Hipereutrofia
A05	0.2751	0,04	Hipereutrofia
B01	*	0,41	*
B02	*	0,23	*
B03	*	0,904	*

Tabla 48. Clasificación de los ICO en los sitios monitoreados sobre el Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Referentes a la determinación de los índices de contaminación hallados para los puntos monitoreados sobre el Río Villavieja, se infiere en que el agua presenta contaminación en los rangos de media a baja contaminación en los monitoreos realizados en el año 2014 (puntos descritos con la letra A), lo que indica que los tratamientos a estas aguas están ligados a la concientización de la población en el uso y aprovechamiento del agua de manera sostenible.

De otro lado se halló el índice de contaminación por sólidos suspendidos para los puntos monitoreados en el año 2013 (puntos descritos con la letra B) donde se muestra que en los dos primeros puntos B01 y B02 (Aguas arriba y aguas abajo del vertimiento de Tello respectivamente) se halló un ICOSUS de baja contaminación, a diferencia del punto B03, presentan una alta contaminación por sólidos suspendidos.

2.6.4. Determinación de Índices de Calidad de Agua

2.6.4.1. Índice de Calidad de Agua (ICA-Nfs)

Los ICA e ICO, consisten básicamente en una expresión matemática simple, de la combinación de un número de parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos, los cuales sirven como medida de la calidad del agua para diferentes usos (Fernández & Solano, 2005; Citados por Samboni et al., 2011). Finalmente el valor que se obtiene (oscila entre 0 a 100) se clasifica en diferentes rangos con los cuales se valora la condición del recurso hídrico.

Con el fin de conocer el estado de la calidad del recurso hídrico del Rio Villavieja, se calcula el Indicador de calidad de agua (ICA) propuesto por la Fundación Nacional de Sanidad (NSF) de los Estados Unidos.

Para determinar este indicador es necesario contar con los resultados de laboratorio de nueve parámetros (NFS, 2006):

1. Cambio de Temperatura
2. Demanda Biológica de Oxígeno (mg/l)
3. Oxígeno Disuelto expresado en porcentaje de saturación (% Sat.)
4. Potencial de Hidrógeno (pH, en unidades)
5. Turbiedad (NTU)
6. Fosfatos (mg/l)
7. Nitratos (mg/l)
8. Coliformes Fecales (NMP/100ml)
9. Sólidos Totales (mg/l).

Debido a que el cambio de temperatura no se determinó, el ICA-NFS se modificó utilizando ocho de los nueve parámetros, la formula general utilizada se presenta a continuación:

$$ICA = NFS_{Modificado} = \sum_{i=1}^8 (Sub_i * W_i)$$

Donde:

Sub_i: Subíndice del Parámetro i

W_i: Factor de Ponderación para el Subíndice i

Para su cálculo existen dos técnicas básicas, una denominada aditiva y la otra multiplicativa.

ICA ADITIVO: Este índice es obtenido de la sumatoria de los productos entre el subíndice de cada parámetro y el porcentaje asignado a cada uno.

$$ICAa = \sum_{i=1}^8 I_i W_i$$

Dónde:

I_i : Subíndice de cada parámetro.

W_i : porcentaje asignado.

ICA MULTIPLICATIVO: Este se deriva de la multiplicación de los subíndices de cada parámetro de calidad afectados por un exponente, que en este caso, es el porcentaje asignado.

$$ICAm = \prod_{i=1}^8 I_i^{W_i}$$

Subíndice: A cada uno de los parámetros utilizados en el cálculo del ICA se les asigno una curva específica con la que se puede obtener el valor del subíndice correspondiente, estas curvas son tomadas del “Capítulo III. Índices de calidad y de contaminación del agua de importancia mundial de la Universidad de Pamplona”, y se muestran a continuación.

Porcentaje asignado: En la siguiente tabla se relacionan los parámetros usados en la determinación del ICA – NSF con la ponderación asignada.

Parámetro de calidad de agua	Porcentaje
Oxígeno Disuelto	18.25%
Coliformes Fecales	16.25%
pH	13.25%
DBO5	11.25%
Fosfatos Totales	11.25%
Nitratos	11.25%
Sólidos Totales	9.25%
Turbiedad	9.25%

Tabla 49. Ponderación asignada a cada parámetro

Fuente: Rojas, 1991

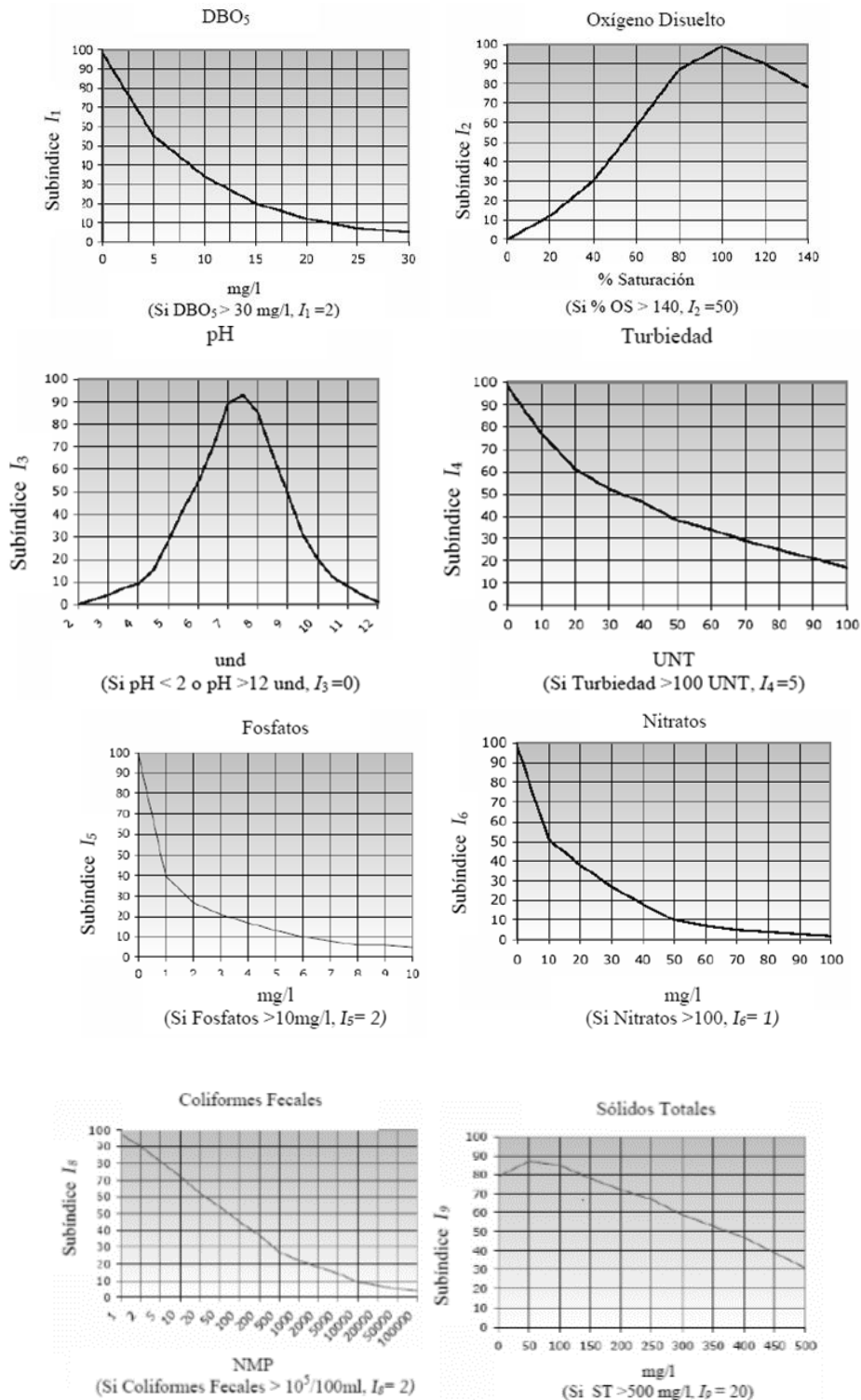


Figura 17. Funciones de los subíndices para los parámetros que determinan el ICA.
 Fuente: Capítulo III. Índices de calidad y de contaminación del agua de importancia mundial de la Universidad de Pamplona

Cálculo del Indicador de Calidad De Agua

Para la determinación del índice de calidad de agua se cuenta con los resultados de laboratorio de las muestras del año 2013 y 2014 procesadas por los laboratorios DIAGNOSTICAMOS S.A.S, & CONSTRUCCIONES SUMINISTROS LTDA., respectivamente, datos suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el monitoreo dado en el año 2013 sobre el vertimiento de aguas residuales domesticas del municipio de Tello, se determinará el índice de calidad de agua de dos puntos de muestreo, aguas arriba y aguas abajo, debido a la totalidad de los ocho parámetros presentes en la metodología propuesta por la Fundación Nacional de Sanidad (NSF) de los Estados Unidos. En la siguiente tabla se relaciona los subíndices obtenidos de la Figura 17.

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO DE LABORATORIO								PORCENTAJE FIJO	SUBINDICE					
		A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02	A01		A02	A03	A04	A05	B01	B02
Oxígeno Disuelto	% Sat.	97.50	97.80	97.60	92.60	88.00	99.52	99.68	18.25%	95	97	96	91	90	99	100
Coliformes Fecales	NMP/100cm ³	28.00	26.00	23.00	21.00	20.00	5500	17000	16.25%	56	57	59	60	62	14	8
pH	Unidades	8.36	8.46	8.69	8.61	8.28	8.57	8.65	13.25%	78	67	62	61	80	63	61
DBO5	mg/l	7.00	12.00	16.00	13.00	12.00	2.80	2.30	11.25%	49	30	20	25	30	72	80
Fosfatos Totales	mg/l	0.02	0.13	0.10	0.15	0.22	0.35	0.43	11.25%	99	96	96	97	93	97	96
Nitratos	mg/l	0.852	0.736	0.500	0.794	1.490	0.160	0.170	11.25%	90	92	95	93	88	99	99
Sólidos Totales	mg/l	70.00	195.00	163.00	170.00	299.00	294.0	258.0	9.25%	89	75	79	76	60	60	65
Turbiedad	NTU	0.57	1.46	3.32	1.85	4.67	110	103	9.25%	99	94	90	91	89	5	5

Tabla 50. Cálculo del Subíndice para los parámetros, Rio Villavieja
Fuente: FUNDISPROS, 2014

CÁLCULO DE LOS ICA'S – NSF

PARAMETRO	ICA ADITIVO						ICA MULTIPLICATIVO							
	A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02	A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02
Oxígeno Disuelto	17,34	17,70	17,52	16,61	16,43	18.07	18.25	2,30	2,30	2,30	2,28	2,27	2.31	2.32
Coliformes Fecales	9,10	9,26	9,59	9,75	10,08	2.28	1.30	1,92	1,93	1,94	1,95	1,96	1.54	1.40
pH	10,34	8,88	8,22	8,08	10,60	8.35	8.08	1,78	1,75	1,73	1,72	1,79	1.73	1.72
DBO5	5,51	3,38	2,25	2,81	3,38	8.10	9.00	1,55	1,47	1,40	1,44	1,47	1.62	1.64
Fosfatos Totales	11,14	10,80	10,80	10,91	10,46	10.91	10.80	1,68	1,67	1,67	1,67	1,67	1.67	1.67
Nitratos	10,13	10,35	10,69	10,46	9,90	11.14	11.14	1,66	1,66	1,67	1,67	1,65	1.68	1.68
Sólidos Totales	8,23	6,94	7,31	7,03	5,55	5.55	6.01	1,51	1,49	1,50	1,49	1,46	1.46	1.47
Turbiedad	9,16	8,70	8,33	8,42	8,23	0.46	0.46	1,53	1,52	1,52	1,52	1,51	1.16	1.16
RESULTADO	80,94	76,00	74,69	74,08	74,62	64.85	65.05	78,55	71,77	68,42	69,26	71,00	47.31	43.88

Tabla 51. Cálculo de los ICA Aditivo y Multiplicativo

Fuente: FUNDISPROS, 2014

ÍNDICE DE CALIDAD	CLASIFICACIÓN
90-100	Excelente Calidad
70-90	Buena Calidad
50-70	Mediana Calidad
25-50	Mala Calidad
0-25	Muy Mala Calidad

Tabla 52. Clasificación de la calidad de agua propuesta por Brown et al (1970)

Fuente: Rojas (1991)

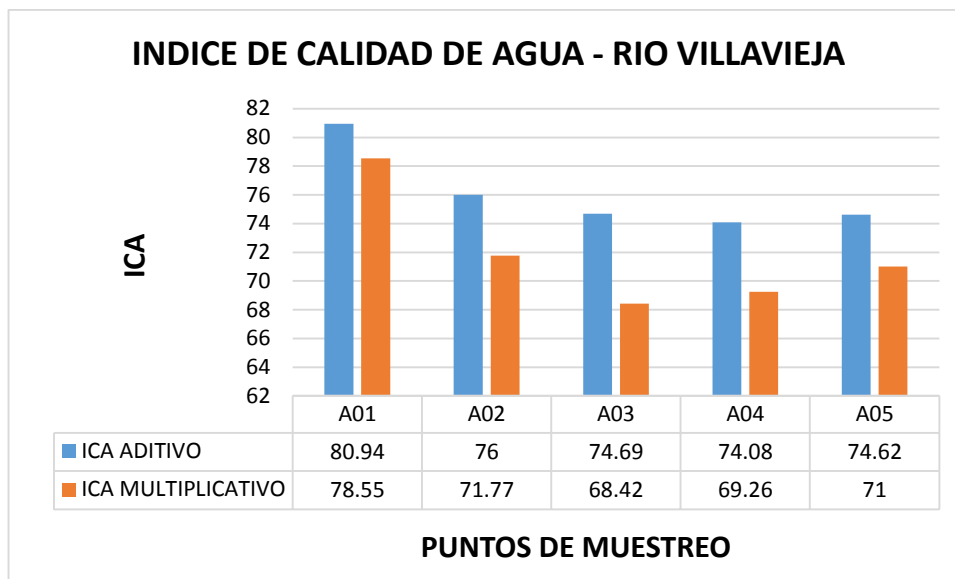
Referente al índice de calidad calculado en B01 se tiene que por la Metodología de ICA Aditivo el agua se clasificaría como de mediana calidad por estar en el rango de 50-70 pero por la metodología Multiplicativa el agua en este sitio se cataloga como de mala calidad ya que el índice obtenido se ubica en el rango de 25-50, por lo anterior se tomara en cuenta el índice multiplicativo por ser el más riguroso a la hora de evaluar la calidad de agua de la fuente en los sitios monitoreados.

En cuanto al ICA obtenido en B02, también se tendrá en cuenta el valor calculado por la metodología Multiplicativa por ser el más crítico, lo que implica que el agua en este sitio también se catalogue como de mala calidad con un resultado de 42.54.

SITIO DE MUESTREO	Resultado Crítico del ICA Calculado		Rango ICA	CLASIFICACIÓN
	Aditivo	Multiplicativo		
A01 Antes del primer uso identificado, en la reglamentación (1251 de 31-05-2011)-bocatoma canal principal predio Los Andes- Vda. La Urraca-San Andrés (Tello)	80,94	78,55	70-90	Buena Calidad
A02 Aguas arriba de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello	76,00	71,77	70-90	Buena Calidad
A03 Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello	74,69	68,42	50-70	Mediana Calidad
A04 Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello	74,08	69,26	50-70	Mediana Calidad
A05 Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.	74,62	71,00	70-90	Buena Calidad
B01 Aguas Arriba Vertimiento de Tello	64,85	47,31	25-50	Mala Calidad
B02 Aguas Abajo Vertimiento de Tello	65,05	43,88	25-50	Mala Calidad

Tabla 53. Clasificación de la calidad de agua para el Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014



Gráfica 3. ICA 2014 – RIO VILLAVIEJA
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Gráfica 3 se puede apreciar los índices de calidad de agua hallados en los puntos monitoreados a lo largo del Rio Villavieja, donde se evidencia el comportamiento semejante en el punto A01 y A02 con un índice de Buena Calidad, en el punto A03 y A04 arroja un índice de buena calidad por la metodología aditiva, pero por la metodología multiplicativa se arroja un agua de mediana calidad, por lo tanto se tendrá en cuenta el valor más crítico y el último punto monitoreado arrojó un índice de calidad de agua de Buena Calidad.

Teniendo en cuenta el ICA hallado para los monitoreos realizados en el año 2013, se tiene en cuenta que el punto B01 y B02 corresponden a los puntos A03 y A04, respectivamente, en estos puntos (B01 y B02) el agua es de mala calidad, ya en el año 2014 el agua paso a ser de buena calidad; así se concluye que el Rio se ha ido autodupurando los contaminantes que alteran su composición fisicoquímica y microbiológica normal.

Por lo anterior se propone hacer una reducción a la Oferta Neta Hídrica por Calidad de Agua que puede oscilar entre 0% y 25% **del caudal medio mensual multianual** de acuerdo a lo consignado en la Tabla 54 y a la clasificación de calidad del agua obtenida siguiendo los lineamientos propuestos por (Brown et al, 1970) citado por (Rojas, 1991).

ÍNDICE DE CALIDAD	% DE REDUCCIÓN
90-100	0
70-90	5
50-70	10
25-50	20
0-25	25

Tabla 54. Porcentaje de Reducción de Acuerdo al Índice de Calidad de Agua ICA-Nfs

Fuente: FUNDISPROS, 2014.

Con el fin de proteger, preservar y mejorar la calidad del recurso hídrico se determina que las zonas propuestas en el presente Ordenamiento tendrán la siguiente reducción de caudal por calidad de agua.

ZONAS DEL RÍO VILLAVIEJA	SITIOS DE MUESTREO	ÍNDICE DE CALIDAD	% DE REDUCCIÓN
Alta	A01	70-90	5
	A02	70-90	5
Media	A03	50-70 70-90	10
	B01	25-50	20
Baja	B02	25-50	20
	A04	50-70 70-90	10
	A05	70-90	5

Tabla 55. Porcentaje de Reducción de Caudal por Calidad de Agua en diferentes Tramos del Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014.

2.7. ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO

Dentro de las fases establecidas en el ordenamiento de la cuenca del Río Villavieja es indispensable determinar la calidad del agua mediante un análisis hidrobiológico, pues existen una serie de especies que son indicadoras de buena calidad, para ello es necesario realizar muestreos puntuales en los que se evidencie la presencia o no de estas comunidades hidrobiológicas.

Las comunidades hidrobiológicas de agua dulce están conformadas por diversos grupos de organismos asociados y relacionados de acuerdo a características biológicas comunidades y que generalmente son particulares de los diferentes hábitat acuáticos presentes en una región. Entre esas comunidades, las más notorias o de mayor relevancia ecológica corresponden a los Macroinvertebrados acuáticos (o bentos), fitoplancton, zooplancton, Perifiton, macrófitas y peces. Esos organismos viven en estrecha relación con el medio físico acuático, del cual son dependientes en casi la totalidad de los casos (con excepción de algunas pocas especies) y su presencia o ausencia son signos de calidad acuáticas, por lo tanto su estudio es importante con el fin de determinar las condiciones ambientales del área de influencia del proyecto. (CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, 2014).

Para realizar el estudio de la línea base ambiental se hace uso de los métodos científicos y técnicos adecuados que permitan coleccionar, datos y obtener información en campo de forma eficaz y apropiada. Así se llevó a cabo el estudio hidrobiológico de las comunidades de los organismos acuáticos (o bentos), macrófitas, Perifiton, zooplancton, fitoplancton y los peces conocidos en los diversos cursos de agua.

Para el desarrollo del estudio se tuvo en cuenta los lineamientos planteados en los protocolos establecidos previamente por CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA y las técnicas recomendadas por la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos – U.S. EPA – en su Handbook for Analytical Quality Control in Water and Wastewater Laboratories – Junio 1972.

2.7.1. Realización de Muestras puntuales

Para la realización de muestras puntuales para la medición de parámetros hidrobiológicos se contrató con el laboratorio CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, el personal encargado de la recolección de los diferentes tipos de muestras biológicas tuvo en cuenta las disposiciones de seguridad y los siguientes equipos y materiales de campo, para los respectivos muestreos:

EQUIPOS Y MATERIALES	
IN SITU (EN CAMPO)	EX SITU (EN LABORATORIO)
<ul style="list-style-type: none">• Lupa	<ul style="list-style-type: none">• Solución Transeau
<ul style="list-style-type: none">• Draga Ekman	<ul style="list-style-type: none">• Rosa de Bengala
<ul style="list-style-type: none">• Atarraya de mano de 900 cm² con tamaño de poro 2 mm, o una atarraya de ojo de maya igual a 1 Pulgada.	<ul style="list-style-type: none">• Solución de Kew
<ul style="list-style-type: none">• Artes de pesca disponibles en la zona de muestreo	<ul style="list-style-type: none">• Glicerina
<ul style="list-style-type: none">• GPS	<ul style="list-style-type: none">• Agua destilada
<ul style="list-style-type: none">• Cámara Fotográfica	<ul style="list-style-type: none">• Cinta transparente ancha

• Cronómetro	• Marcador indeleble delgado
• Libreta de campo	• Sogas
• Protocolos	• Baldes 12 litros (3 Unidades)
• Guías temáticas especializadas y bibliografía: para Macroinvertebrados, vegetación, macrófitas, fitoplancton, zooplancton y Perifiton.	• Tabla Acrílica
	• Neveras de icopor
	• Frascos lavadores
	• Cepillos de dientes
	• Probetas (2 Unidades)
	• Documentos técnicos
	• Microscopio
	• Estereoscopio

Tabla 56. Equipos y Materiales para monitoreo hidrobiológico

Fuente: FUNDISPROS, 2014.

A continuación se presenta la técnica metodológica de los muestreos hidrobiológicos utilizada para el análisis de calidad de agua del Rio Villavieja:

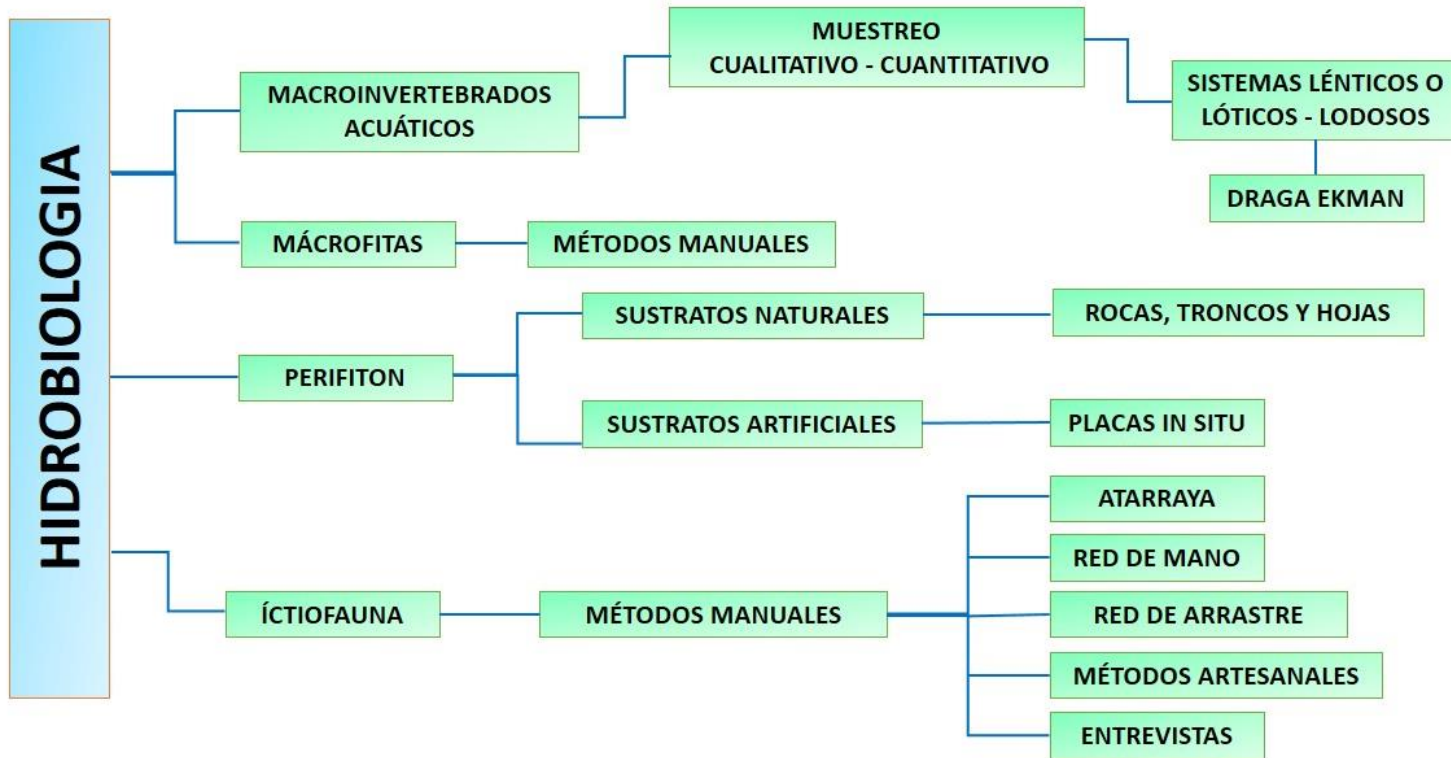


Figura 18. Técnica metodológica de los muestreos hidrobiológicos
Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, 2014 (Tomado de Antek S.A , 2013)

Se realizó la caracterización de los grupos de organismos Macroinvertebrados bentónicos, macrófitas acuáticas e ictiofauna en 5 estaciones o zonas de estudio; todas las muestras hidrobiológicas tomadas (Macroinvertebrados bentónicos, zooplancton, fitoplancton, macrófitas, Perifiton y peces) son de tipo puntual y representan la composición y las características hidrobiológicas del cuerpo de agua del lugar y los tiempos, momentos y las circunstancias particulares en las que se realizó el muestreo. Los muestreos de los Macroinvertebrados y las macrófitas no se realizaron en áreas que coincidían con vertimientos ni con ningún tipo de estructuras artificiales. Los transectos para macrófitas se demarcaron con cintas fluorescentes al inicio y al final del transecto.

Existen múltiples técnicas de análisis de las muestras para cada tipo de comunidad a evaluar. En la Figura 19 se observan las actividades que se desarrollaron para el análisis de las muestras, el cual consiste en identificar los organismos hasta el menor nivel taxonómico posible (Familia, género, especie).

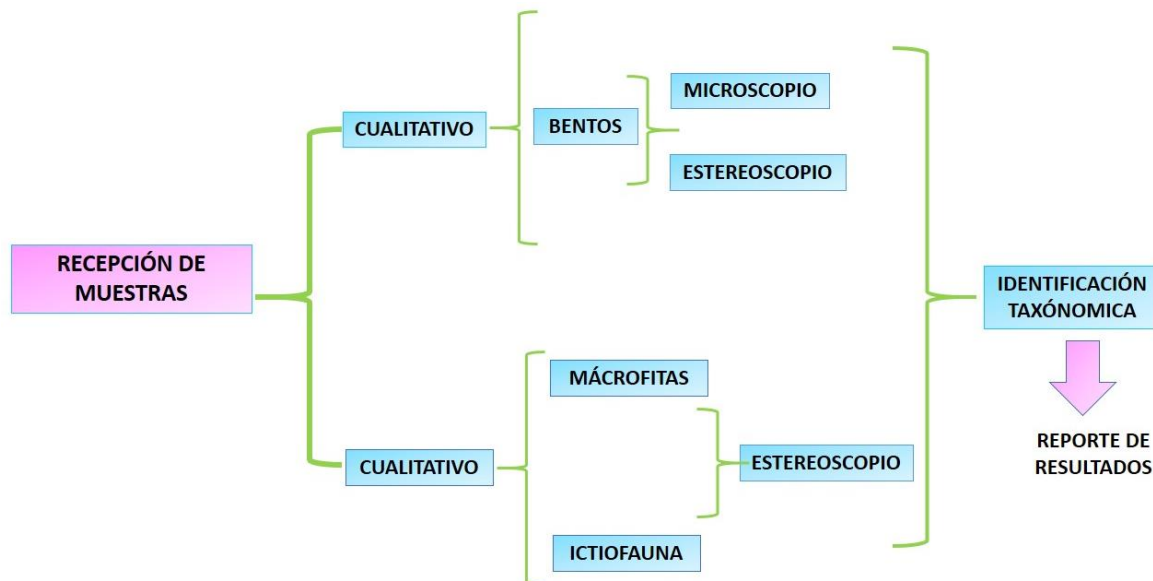


Figura 19. Actividades de la Fase de Laboratorio, análisis e identificación Taxonómica
Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, 2014 (Tomado de Antek S.A , 2013)

GRUPO BIOLÓGICO	TECNICA DE MUESTREO	UNIDAD DE MUESTREO (UNIDADES)	ESFUERZO DE MUESTREO	RECOLECCIÓN OBSERVACIÓN
BENTOS	Draga Ekma conservación con Rosa de Bengala	Monitoreo Puntual: Punto Georreferenciado. Se tiene en cuenta el área de influencia.	Por cada estación de muestreo se realizaron 3 repeticiones para la toma de las muestras en los sitios georreferenciados.	Todos los individuos colectados por sitio de muestreo en las tres replicas realizadas.
PERIFITON	Raspando en diferentes superficies como troncos, piedras, hojas, con la ayuda de un cepillo pequeño.	El muestreo se hace indiscriminadamente los sustratos disponibles en el punto de muestreo.	En todo el área del punto de muestreo.	Todos los individuos colectados por el sitio.
PECES	Reconocimiento y observación de ejemplares de peces capturados por pescadores artesanales. Colocación de los peces sobre cubetas para fotografiar los ejemplares, fueron suministrados por pescadores artesanales.	Se tuvo en cuenta los puntos georreferenciados, para elaborar el listado de peces que se capturan en esta zona.	NA	NA

Tabla 57. Metodología para la elaboración de Estudios Ambientales y línea Base Ambiental

Fuente: ANLA (En Línea)

En la Tabla 58 y Tabla 59 se resumen los métodos utilizados para la captura y/o colecta de organismos; la observación y/o toma de las muestras de acuerdo a la comunidad Biológica a analizar. Se presentan los equipos, las técnicas, el esfuerzo de muestreo, los métodos de preservación y tinción utilizados para cada grupo biológico.

COMUNIDAD	EQUIPO	TÉCNICA	ESFUERZO DE MUESTREO	TINCIÓN
Macroinvertebrados Bentónicos	Draga Ekman	Toma y filtración de lecho	0,30 m ²	Rosa de Bengala
Macrófitas	Sistemas lóticos Lupa Estereoscopio Claves	Transecto con longitud conocida	-	N.A
Perifiton	Sistemas de raspado Indiscriminado con cepillo pequeño	En toda el área del punto de muestreo	N.A	N.A
Ictiofauna	Cámara fotográfica, Libreta de notas formato de encuestas	Encuesta con pescadores artesanales y con vendedores en puntos de venta de pescado	24 Horas	N.A

Tabla 58. Especificaciones Metodológicas utilizadas para la toma y observación de muestras

Fuente: CONSTRUCCIONES SUMISTROS LTDA, 2014

GRUPO BIOLÓGICO	TECNICA DE MUESTREO	ESFUERZO DE MUESTREO	ACTIVIDAD EJECUTADA
Macroinvertebrados bentónicos	Muestra (área 0,30 m ²)	Todos los especímenes de la muestra	Un muestreo por localidad
Macrófitas	Observación de ejemplares de las macrófitas. Fotografía de las mismas Registro de detalles morfológicos y aspectos de la planta en la libreta de campo	1 o 2 registros fotográficos por especie.	Un muestreo por localidad (tres Replicas)
Perifiton	En todo el área, evitando zonas de sombra y meandros	Todas las algas de la muestreo	Muestreo en toda el área del punto.
Ictiofauna	3 registros fotográficos por muestra de pez de difícil identificación taxonómica en campo.	Todos los individuos capturados por los pescadores. 3 fotos por individuos/muestras por género y/o especie.	Un muestreo por Localidad.

Tabla 59. Síntesis de la actividad de muestreo ejecutada el sitio de trabajo.

Fuente: CONSTRUCCIONES SUMISTROS LTDA, 2014

Cabe resaltar que durante el monitoreo, CONSTRUCCIONES SUMINISTROS LTDA siguió las medidas de seguridad, higiene, ocupacionales y ambientales conforme a la norma NTC ISO/IEC 17025 según resolución 1305 de Junio de 2014.

Además los muestreos y la caracterización de los recursos hidrobiológicos se siguió conforme a lo dispuestos en la ley 99 de 1993, los decretos reglamentarios respectivos y la normatividad expedida y vigente actualmente por la Autoridad Nacional de licencias Ambientales – ANLA.

El muestreo se realizó exactamente en los puntos georreferenciados a continuación, esos sitios están localizados en el área rural del municipio de Villavieja – Huila.

SITIOS DE MUESTREO – RÍO VILLAVIEJA			
NOMBRE	COORDENADAS		DESCRIPCION
	X	Y	
A01	898718.14	827829.17	Antes del primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011)-bocatoma canal principal predio Los Andes-Vda. La Urraca-San Andrés (Tello)
A02	890822.0494	829332.7782	Antes de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello
A03	882067.4019	831638.4168	Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello
A04	881722.8664	831768.0272	Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello
A05	871268.2997	845042.0163	Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.

Tabla 60. Sitios de Muestreo para Toma de muestras comunidades Hidrobiológicas – Río Villavieja
Fuente: FUNDISPROS, 2014

REGISTRO FOTOGRÁFICO

SITIO DE MUESTREO: Antes de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello (A02)

COORDENADAS: X= 898718.14 Y= 827829.17

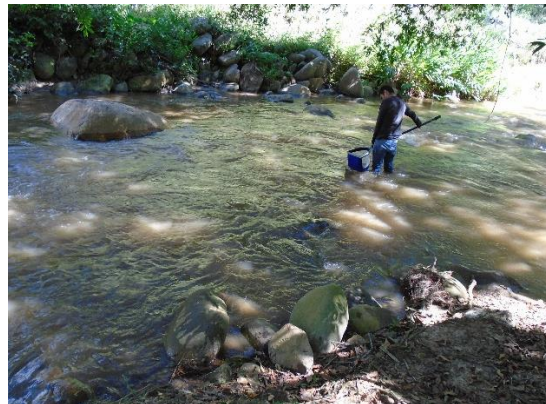




Tabla 61. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A02 – Rio Villavieja
Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, 2014

SITIO DE MUESTREO: Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello (A03)

COORDENADAS: X= 882067.4019 Y= 831638.4168





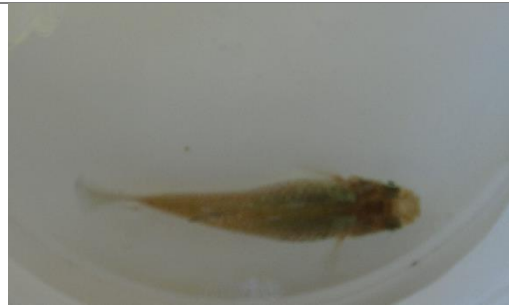
Tabla 62. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A03 – Rio Villavieja

Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, 2014

SITIO DE MUESTREO: Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello (A04)

COORDENADAS: X= 881722.8664 Y= 831768.0272





**Tabla 63. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A04 –
Rio Villavieja
Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS**

SITIO DE MUESTREO: Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena (A05)

COORDENADAS: X=871268.2997 Y=845042.0163



Tabla 64. Registro Fotográfico Monitoreo Hidrobiológico Punto de Control A05 – Río Villavieja

Fuente: CONSTRUCCIONES SUMINISTROS

2.7.2. Identificación de especies bioindicadoras de la calidad del agua

Para la identificación de especies bioindicadoras se emplean organismos o comunidades que respondes fisiológica o conductualmente a un amplio espectro de sustancias o concentraciones toxicas, ya sea de origen inorgánico, orgánico, natural o antropogénico (Hellawell, 1986). Es decir que depende de la calidad del agua de las familias e individuos que en muestra de agua pueda existir, puedan adaptarse.

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor a la de los ecosistemas terrestres. Hoy en día se conocen impactos como la contaminación ambiental que inducen a cambios en la estructura de las comunidades vivas, en función de la biología de los sistemas acuáticos y de los propios organismos, afectando los ciclos de vida, el crecimiento y la condición reproductiva; de tal forma que algunas organismo pueden proporcionar información sobre cambios físicos y químicos producidos en el agua, que a lo largo del tiempo expresan y revelan modificaciones en la composición de la comunidad biológica.

2.7.2.1. Indicadores Biológicos

Un indicador Biológico es un organismo vivo que tiene cierta tolerancia a las diferentes condiciones naturales y se pueden usar para el conocimiento y la calificación del medio acuático, ya que a través de ellos se pueden calificar los cuerpos de agua según el grado de calidad (Prat, 1996). Un organismo es un buen indicador de la calidad del agua cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema, presenta características bien definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat.

En su sentido más general, todo organismo vivo es indicador de las condiciones del medio en el cual se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momentos determinados responde a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales. Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos en muchas ocasiones no detectan; sin embargo, es de reseñarse que el uso de un indicador biológico trae como desventajas relativa (en muchas ocasiones), la sensibilidad temporal ya que la respuesta a los tiempos estacionales está relacionada con el clima, y en más de una ocasión, con las dificultades aledañas o relativas a la cuantificación y estandarización de los muestreos que se efectúan y del reconocimiento de los individuos animales y/o vegetales y la valores que se haga de su población.

Las macrófitas se consideran plantas útiles para la detención y el seguimiento de las presiones fisicoquímicas que se producen a nivel hidrobiológico como lo son la reducción de la transparencia del agua, la variación de la mineralización (conductividad y salinidad) y la eutrofia. El uso de las macrófitas como indicadoras radica en que son plantas estacionarias y su recolección es fácil debido a su tamaño, a la ubicación que bien puede

ser sobre el cuerpo del agua y/o en las orillas, de los ríos quebradas y lagunas. El muestreo cualitativo de esas plantas incluye la observación visual, el reconocimiento y la recolección de los tipos de macrófitas más representativas del área de estudio. La comunidad de macrófitas está influenciada por el clima, la geología y el tipo de sustrato que presenten los suelos. También son sensibles las presiones hidromorfológicas que se produzcan en el medio natural, tales como: las variaciones del régimen del caudal, la continuidad del Río y las características morfológicas del lecho de los ríos; variación del nivel del agua en ríos, quebradas, lagunas o cambios que se presenten y afecten la duración del periodo de inundación de los humedales; y variación de las características morfológicas del lecho de los ríos, quebradas y lagunas.

Wissenger (1999) recopila varios experimentos que afirman que la vegetación es uno de los principales factores que afectan a la abundancia y riqueza de los invertebrados en los humedales. La vegetación acuática también puede explicar el patrón de distribución, tanto la producción primaria, como la morfología, la diversidad y composición vegetal en los humedales ya que ofrecen alimento, hábitat y lugares de reproducción y protección para los Macroinvertebrados, contribuyendo así con la conservación, abundancia y diversidad de esos organismos acuáticos.

La Fauna asociada a las plantas acuáticas corresponde a los invertebrados acuáticos, cuyo tamaño es mayor de 0,5 mm. A esos organismos se les puede clasificar de acuerdo con que vivan en el fondo de los ríos quebradas y charcas, naden o floten en la superficie del agua o vivan en relación íntima principalmente con las raíces de las plantas acuáticas flotantes (Roldán 1992, 1996).

La Importancia ecológica de esos organismos se evidencia no solo por su participación en el ciclo trófico o niveles de alimentación, sino también porque son conectores porque son conectores claves en la producción primaria de los ecosistemas son indicadores de fenómenos naturales como la eutrofia, la estratificación y los mecanismos de autodepuración y las zonas saprobias (Pinilla, 2000).

Los Macroinvertebrados son organismos de movilidad limitada para desplazarse a grandes distancia y por tanto son susceptibles a los cambios presentados en la composición y abundancia de las plantas acuáticas y a las fluctuaciones que se presenten en las condiciones de las aguas que le son circundantes, por tal razón también son usados como indicadores.

Según el hábitat los Macroinvertebrados pertenecen a las denominaciones bentos, si viven en el fondo de lagos y ríos (Roldán 1992), o si viven enterrados en el sustrato, otros sobre él, adheridos a rocas, piedras y a restos de vegetación; otros prefieren las orillas de Ríos y lagos donde viven adheridos a la vegetación ribereña; unos nadan sobre la superficie del agua, en tanto que, otros desempeñan como excavadores. La distribución espacial y temporal de los Macroinvertebrados acuáticos está asociada a la alcalinidad del cuerpo del agua, al estado trófico del humedal, a la heterogeneidad de hábitats, a las

características físicas y de permanencia de dichos hábitats, a la conducta de los organismos a la hora de seleccionar los biotopos y a la competencia interespecífica.

Los Invertebrados bentónicos (especialmente los Macroinvertebrados) son uno de los grupos biológicos más ampliamente usados como indicadores de calidad del agua debido a que integran muchas de las cualidades que se esperan de un indicador biológico, entre las cuales se destacan su elevada diversidad y que estén representadas diferentes taxas, con requerimientos ecológicos diferentes relacionados con las características hidromorfológicas (p.e velocidad del agua y tipo de sustrato), fisicoquímicas y biológicas del medio acuático.

2.7.2.1.1. Fitoplancton

El fitoplancton hace referencia a las algas que constituye los productores primarios del plancton. En su gran mayoría son organismos microscópicos que flotan y de allí el significado de la palabra “plancton”, que quiere decir errante (Roldán, 1992).

La mayoría de las especies se agrupan en las clases cyanophyceae (algas verde-azules), Euglenophyceae (Euglenoides), Zygothryxaceae (desmidiaceas), Chlorophyceae (algas verdes), Dinophyceae (dinoflagelados), Crysophyceae (Crisofitas) y Bacillariophyceae (diatomeas).

La clase Cyanophyceae está representada por ocho géneros diferentes, de los cuales Anabaena y Oscillatoria generalmente se multiplican en situaciones marginales o cambiantes y cuando las condiciones vuelvan a ser más normales o generalizadas, a veces por la actividad de las propias cianofíceas, quedan fácilmente eliminadas por la competencia de otros organismos (Margalef, 1983).

Los Euglenoides se presentan principalmente en la superficie del agua y generalmente se encuentran asociados con presencia de materia orgánica en el agua (Palmar 1969). El género Trachelomonas puede fotosintetizar, pero requiere por lo menos una vitamina y complementa algunas veces su nutrición autotrófica, con algunas compuestos orgánicos como alcoholes, ácidos orgánicos simples y tiamina (Darley, 1987).

La Familia Desmidiaceae de la Clase Zygothryxaceae, se caracteriza porque para su desarrollo, prefieren ambientes ácidos y con baja concentración de calcio, de tal forma que en aguas alcalinas y ricas en calcio, el número de especies reduce (Margalef, 1983). El grupo de las Chlorophyceae es uno de los más diversos en especies y adaptaciones a los diferentes hábitats dentro del fitoplancton de aguas dulces, para su óptimo crecimiento necesitan temperaturas entre los 30 y 35°C, así como cantidades traza de hierro, manganeso, cobre, zinc, calcio, molibdeno y boro (Duque, 2000).

Los dinoflagelados son organismos que poseen una nutrición diversificada, entre fotosintética, heterotrófica, saprofita, parasítica, simbiótica y holozóica (Ramírez, 2000) debido al doble movimiento que le imprimen sus dos flagelos. Esas algas se encuentran adaptadas a vivir en ambientes pobres en nutrientes, aunque también se desarrollan en ambientes con alto contenido de materia orgánica (Margalef, 1983).

Las Crisofíceas son un grupo de algas pardo-doradas que presentan formas flageladas, formas inmóviles semejantes a amebas y formas inmóviles organizadas en masas gelatinosas (Streble y Krauter 1987). Para su desarrollo necesitan de algunas vitaminas como la tiamina y la biotina (Hutchinson, 1967) y pueden sobrevivir en ambientes bajos en fósforo.

Y finalmente, las diatomeas, tienen como características más sobresaliente, su pared celular, impregnada de silicio, en cantidades variables (Ramírez, 2000). La Mayoría de ellas son autoauxotróficas, aunque Navícula es heterótrofa facultativa. Varios géneros habitan principalmente en aguas bajas en calcio y magnesio y con un Ph menor a 7, pero otros como por ejemplo Gyrosigma, parecen evitar aguas acidas y concentraciones bajas de calcio y magnesio.

2.7.2.1.2. Zooplancton

El zooplancton está conformado por todos aquellos organismos microscópicos de origen animal que flotan libremente en la columna de agua, principalmente protozoarios, rotíferos y microcrustáceos (Cladóceros y Copépodos) (Roldán, 1992). Este grupo como componente basal de las ramas tróficas marinas está conformado por organismos de tamaño pequeño de diversos grupos taxonómicos que se encuentran en suspensión en la columna de agua, cuya distribución está condicionada principalmente por las corrientes (Suthers y Rissik 2009, Chavance 2011). Tiene gran importancia ecológica puesto que es un componente esencial de la bomba biológica de carbono y puede ser indicador de la calidad ambiental y variabilidad climática (Beagraund et al., 2002), y en el ecosistema pelágico presenta una alta variabilidad espacial y temporal (Benfield et al., 2007).

De manera tradicional, en el zooplancton continental se incluyen tres grupos: cladóceros, copépodos y rotíferos: sin embargo, es importante aclarar que existen muchos más que forman parte de esa comunidad, como los protozoos y otros taxones de crustáceos como los ostrácodos, algunos antípodos y otro grupos como los ácaros.

La composición taxonómica del zooplancton como comunidad zooplanctónica está representada por la clase Monogonta, del Phylum Rotífera y las clases Branchiopoda, Copepoda e Insecta, del Phylum Arthropoda.

Los Rotíferos de la clase Monogonta son el grupo que exhibe la mayor diversificación dentro del zooplancton de agua dulce. En lagos tropicales no se ha encontrado una

relación precisa entre los rotíferos planctónicos y el nivel trófico de los mismos, ya que esos organismos pueden encontrarse en cualquier ambiente, independientemente del nivel trófico (Esteves 1988). Sin embargo, algunos de ellos como el género *Brachionus*, resistente pH elevados y aguas abundantes en calcio, cloruros, sulfatos y carbonatos, porque se han tomado como indicadores de aguas altamente eutrofizadas (Pennak, 1978).

Los cladóceros de la clase Branchiopoda, denominados comúnmente pulgas de agua, abundan principalmente en la zona litoral de los lagos, pero también están ampliamente representados en el plancton. No toleran variaciones bruscas de oxígeno e igual que los rotíferos, son organismos filtradores, que en aguas eutróficas registran abundancias significativas (Margalef, 1983).

Los copépodos son crustáceos que se caracterizan por tolerar deficiencias de oxígeno, migrar verticalmente en forma diaria y presentar ciclomorfosis, aunque en menor grado que los cladóceros (Pennak, 1978). Se ha encontrado que en algunos cuerpos de agua altamente eutrofizados, los copépodos del orden Cyclopoida son ampliamente dominantes, conjuntamente con los rotíferos del género *Branchionus* (Roldán, 1992).

2.7.2.1.3. Perifiton

Hace referencia a la comunidad de algas que viven adheridas a sustratos sumergidos orgánicos o inorgánicos, bien sea vivos o muertos (Wetzei, 1983). Ecológicamente este grupo es importante, ya que se constituye en la base alimenticia de muchas especies acuáticas, especialmente peces, así como también insectos acuáticos y algunas larvas de batracios (Roldán, 1992).

Las taxas aparecen agrupadas en las clases Cyanophyceae, Ulothricophyceae, Zygothryxaceae, Chlorophyceae, Dinophyceae y Bacillariophyceae.

La clase Cyanophyceae está representada principalmente por las formas filamentosas de los géneros *Anabaenopsis*, *Lyngya*, *Oscillatoria* y *Spirulina*, y por colonias tabulares formadas por una sola capa de células, como la del género *Merismopedia*.

Dentro de la clase Ulothricophyceae se encuentra únicamente el género *Ulothrix* cuyos individuos son formas filamentosas no ramificadas, que crecen formando masas alargadas sobre el sustrato, de sistemas tanto lenticos como loticos (Streble y Krauter 1987).

En la clase Chlorophyceae se diferencian dos tipos de organismos, las formas unicelulares del género *Closteriopsis*, la cual se puede considerar como un elemento incidental dentro del Perifiton, debido a que su hábitat es principalmente planctónico, y

los agregados de células (formas cenobiales) del género *Scenedesmus*, que se encuentran preferiblemente en ambientes lenticos.

Los dinoflagelados como el género *Ceratium* son organismos que poseen una nutrición diversificada, entre fotosintética, heterotrófica, saprofita, parasita, simbiótica y holozóica (Ramírez, 2000).

La Clase Bacillariophyceae se encuentra representada mayoritariamente por formas unicelulares de simetría bilateral (orden pennales) que viven posadas sobre el sustrato, como es el caso de los géneros *Navícula* o *Pinnularia*, o se encuentran sujetas mediante pedúnculos de mucilago, como *Gomphonema* o *Cymbella*. Algunas veces pueden formar cadenas por unión de células, como en el caso de *Fragilaria*.

2.7.2.1.4. Macrófitas

Las macrófitas pueden ser plantas con flores o sin flores, y comprenden a todas las plantas acuáticas pluricelulares, incluyendo a las algas de buen tamaño visible a simple vista, musgos, las hepáticas y fanerógamas (plantas con flores). Forma parte o son componentes naturales de la mayoría de los ecosistemas acuáticos. En esencia el término macrófito se refiere a las plantas acuáticas visibles a simple vista, entre las que se encuentran las plantas vasculares y las no vasculares previamente nombradas. Se incluyen bajo este nombre también al grupo de plantas conocidas como plantas no vasculares como son los musgos acuáticos, hepáticas y las algas marinas o de ríos que sean grandes o de tamaño macroscópico.

Las macrófitas se presentan en diferentes tipos de hábitat. Por su forma de vida encontramos los siguientes tipos: plantas flotantes (no enraizadas), plantas sumergidas (toda o la mayor parte de la planta está sumergida dentro del agua) y plantas emergentes (pueden estar enraizadas al suelo por debajo del agua). Según Roldán (1992) están representadas por la vegetación que crece en la zona litoral de lagunas, embalses, ciénagas y ríos; en la zona de la interfase agua – tierra, sobre la superficie del agua; y crecen totalmente sumergidas.

La abundancia, presencia o ausencia de las poblaciones naturales de las macrófitas acuáticas se relaciona con factores o condiciones del medio como son el tipo y el área del litoral; las condiciones topográficas del sustrato que las sustenta y el estado de eutrofización del agua. En el trópico la productividad primaria funciona por la vía detrítica, esta es la base de las cadenas tróficas que sustentan los ecosistemas acuáticos en la mayoría de los sistemas tropicales; en esos ambientes las macrófitas juegan un papel vital y principal en la producción primaria (Roldán 1992, Universidad del Norte 2003).

De acuerdo con Engel (1998) la importancia de las comunidades de las macrófitas radica en que le confieren estabilidad al terreno; generan la vía trófica directa y la detrítica;

diversifican las vías tróficas; y constituyen el sustrato, base apta y adecuada para el desarrollo de una abundante y diversidad comunidad de organismos asociados a los cursos de aguas, entre ellos los Macroinvertebrados.

También desempeñan un papel preponderante en los ecosistemas lenticos y loticos: por un lado, se constituyen en las mayores aportantes de materia orgánica a las aguas, y por otro, generan alrededor de ellas un hábitat que alberga una variada y abundante fauna asociada. Además presentan una de las más altas productividades dentro del reino vegetal, muy por encima de las que ofrecen las comunidades de microalgas (Roldán, 1992).

El número de especies animales que pueden consumir directamente a las plantas acuáticas superiores (macrófitas) es reducido, por lo que la gran mayoría lo hace indirectamente en forma de detritus proveniente de su descomposición.

Algunas especies de peces las consumen directamente sin que medie la vía detrítica; pero en sentido amplio se puede decir que estos consumos tienen poca o ninguna importancia como ruta metabólica de los ecosistemas acuáticos.

2.7.2.1.5. Peces

Alguna de las causas más importantes para la pérdida acelerada en la biodiversidad íctica colombiana son la contaminación de las aguas y los suelos, lo cual ocasiona un deterioro en la calidad físico-química con implicaciones en la distribución y aumento de los índices de mortalidad. Ese problema, entre otros tiene sus orígenes en las explotaciones mineras de oro de aluvión y de filón. Adicionalmente la proliferación de cultivos ilícitos (sonde se utilizan insumo como cianuro, cetonas, plomo) y el derrame de hidrocarburos sobre microcuencas y ríos.

Otro fenómeno que amenaza la ictiofauna nacional es la introducción en los cuerpos de agua de especies no nativas, las cuales amenazan a la flora y a la fauna natural por predación, competencia o alteración del hábitat natural, y se convierten a menudo en especies residentes y ocasionan problemas en las comunidades nativas. Por ejemplo, García (2001) estableció, a través de inventarios rápidos sobre la biodiversidad (RAP) de la ictiofauna para algunas cuencas y microcuencas Andinas, que la “Trucha arco iris” (*Oncorhynchus mykiss*) afecto a la especie *Astrobleplus* sp. Por la competencia por el hábitat y la predación.

Así mismo se sabe que la sabaleta (*Brycon henni*) actualmente comparte su hábitat con peces exóticos y nativos, algunos son representantes de la familias Xichlidae (*Caquetaia kraussii* – “mojarra amarilla”-, *Oreochromis* sp. “tilapias”-), Centrarquidae (*Micropterus salmoides* – “trucha”-) desconociéndose en la actualidad, que tipo de alteraciones podrían ocurrir sobre la población de esos charácidos. Por otro lado, los peces representantes de las familias taxonómicas anteriormente señaladas, son grupos biológicos destacados

propios de las aguas quietas, debido a las adaptaciones reproductivas apropiadas durante su evolución como ha sido la incubación bucal de las larvas (en los cíclidos), la protección de larvas y alevines (en los Centrarquidae y Ciclidae), y por su acentuado carácter agresivo, se han constituido en especies excesivamente prolíferas en muchos ambientes acuáticos del país.

2.7.3. Caracterización de las comunidades hidrobióticas del río: fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos

La Caracterización de las comunidades Hidrobióticas del Río se realizó teniendo en cuenta las condiciones presentadas en la Figura 20.

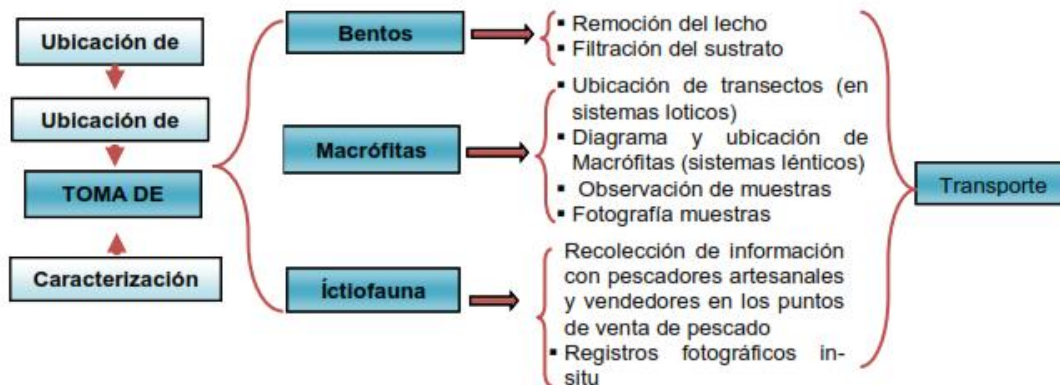


Figura 20. Condiciones del Monitoreo

Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, 2014 (Tomado de Antek S.A , 2013)

A continuación se describe el proceso de caracterización para cada una de las comunidades Hidrobióticas del Río Villavieja:

Macroinvertebrados Bentónicos

Los estudios cualitativos sirven para caracterizar la biodiversidad de un lugar, en particular recolectando la mayor cantidad de taxas, a diferencia de estudios cuantitativos que asocian una unidad de esfuerzo de muestreo a la muestra de los Macroinvertebrados. En el presente estudio se recolectaron muestras por áreas de muestreo (Ramírez, 2010).

Para el muestreo se usó una draga tipo Ekman para los sistemas lenticos y/o loticos profundos, la cual facilita la toma de las muestras de sedimentos a diferentes profundidades. Consiste de dos palas que se cierran en el fondo, mediante el envío de una plomada “mensajero” a través de una cuerda. Esas muestras toman un área de 225

cm² de sedimentos (Roldán, 1996) y esa operación se repite tres veces en cada área de muestreo.

El material colectado fue depositado en bolsas de seguridad, fijado con solución Transeau y teñido con colorante rosa de bengala. De esa forma se trasladaron hasta el laboratorio de hidrobiología para su análisis taxonómico y numérico.

Las muestras son lavadas en tamices de 0.5 mm y 4.0 mm con el fin de separar los organismos del sedimento fino y obtener el material dividido por tamaño; posteriormente la parte de la muestra más grandes. Es dispuesta en bandejas blancas y observada con la ayuda de una lámpara con lupa para retirar los organismos. La parte de la muestra más pequeña, es separada en cajas de Petri y son rotuladas cada una con su código respectivo. Se observan con la ayuda del estereoscopio AmScope SM-1TSWZ-LGW-10M utilizado por el equipo técnico de CONSTRUCSUELOS.

Cuando se tienen los macroinvertebrados separados, se procede a la identificación de los organismos usando el estereoscopio y microscopio, basados en la bibliografía especializada como Roldán (1988 y 2003), Posada y Roldán (2003). Una vez determinados se hace el conteo de ejemplares por familia taxonómica, género o especie según el nivel de clasificación que se logre hacer de cada uno de esos individuos. El resultado es la base de datos para el análisis del registro de los macroinvertebrados que integran la comunidad estudiada.

Perifiton

El muestreo de Perifiton en sustratos naturales se realizó raspando en diferentes superficies (troncos, piedras, hojas) con la ayuda de un cepillo pequeño. En todos se observan biopelículas (cuando se utilizaron rocas, se rasparon las partes laterales que estaban semisumergidas y no directamente la superficie de la roca expuesta a la roca expuesta a la corriente ni contra-corriente, puesto que puede ocurrir variación en la comunidad). Para la recolección de las muestras se contó con la ayuda de un Erlenmeyer plástico para determinar el volumen de la muestra fijarla con solución Transeau.

Las muestras cualitativas se realizaron raspando indiscriminadamente los sustratos disponibles en los puntos de muestreo, mientras que el cuantitativo consistió en usar un cuadrante plástico flexible de 5 cm x 5 cm para delimitar el área de muestreo, realizando de 5 a 10 réplicas por punto de muestreo, dependiendo el número de sustratos.

Macrófitas

Para el muestreo de las macrófitas se realizó un reconocimiento e inspección de los puntos de muestreo. El área de reconocimiento e inspección dependía de la proximidad que existía entre los puntos de muestreo, con el fin de detectar la presencia de las plantas acuáticas en todo el sector objeto del estudio. Para cada uno de los sitio de identifico una estación de muestreo.

Se tiene en cuenta las recomendaciones dadas en el Manual del Laboratorio de Hidrobiología para los procedimientos de campo suministrado por CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, el cual recomienda que para los cuerpos lenticos menores a 50 Ha se deben realizar dos transectos perpendiculares entre su y un recorrido por toda la orilla; y para los cuerpos lóticos, se deben realizar dos transectos por puntos de muestreo, uno en cada orilla del río.

La extracción del material vegetal para las observaciones respectivas y la correcta determinación taxonómica, se realizó con rastrillo y con cuidado para no estropear las plantas, las cuales después de ser estudiadas y clasificadas fueron devueltas al río.

En detalle se tiene que:

1. El estudio para el análisis de la composición florística se realizó mediante aplicación del método de transecto, tanto perpendicular como paralelo a la línea de la ribera u orilla de los cuerpos de agua.
2. Se hizo el reconocimiento completo de la cobertura de las macrófitas acuáticas y de la vegetación terrestre propia de sitios húmedos y/o encharcados.
3. El análisis de las muestras observadas y fotográficas en campo, junto con todos los datos relativos a las macrófitas, como son sus características morfológicas, fenología y autoecología, que permiten y ayudan a identificar las macrófitas hasta el menos nivel taxonómico posible (género y especie) fueron tomadas en campo.

La determinación taxonómica y la clasificación del material vegetal registrado y fotografiado en campo se hizo con base en la observación estereoscópica y/o con lupa de los caracteres morfológicos anotados en campo, el uso de claves taxonómicas, comparación con los nombres comunes, registrados en campo y con ejemplares de herbario al igual que de ilustraciones; así se determinó el género y la especie de las macrófitas.

Íctiofauna

El proceso de captura de peces se realizó siguiendo la metodología especificada por CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA para proceder en campo según las características del cuerpo de agua, por medio de una red de mano (900 cm²) con tamaño de malla poro de 2 mm y/o una atarraya de ojo de malla igual a una pulgada, en horas del día y en horas de la noche.

Igualmente, el técnico encargado y asignado para los monitoreos, utilizo el método alterno para la recogida y toma de información en campo como son las encuestas sobre los peces capturados con mayor frecuencia, si abundancia, aparición y captura de especies araras o escasas (poco frecuentes); obtención de los nombres comunes o vernáculos que acostumbran a los pescadores y moradores del sector. Se efectuaron registros fotográficos de los ejemplares que fueron devueltos al cuerpo de agua.

En las dos faenas de pesca se recogió la información en las primeras horas de los dos días en que se realizaron. También fueron visitados y se hizo el registro fotográfico de los ejemplares peces se hace una aproximación a la clasificación taxonómica y determinación de los géneros y especies de los peces fotografiados. Posteriormente en la fase de laboratorio se confirmó y se corrigió la determinación taxonómica basada en las características morfológicas.

Con la información obtenida en campo se elaboraron tablas de frecuencia y presencia/ausencia con su respectivo conteo numérico. Los especímenes se listaron y se identificaron siguiendo los lineamientos expuestos por Maldonado – Ocampo et al. (2005). Es de anotar que la mayoría del listado de peces propios del Río Magdalena fueron determinados y confirmados su nombre científico, por el especialista en ictiología el Dr. Carlos Useche (Director de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP- en la territorial del Departamento del Huila).

2.7.4. Determinación de la calidad de agua

A continuación se presentan los resultados de parámetros hidrobiológicos medidos sobre el Río Villavieja, se aclara que el punto A01 No fue monitoreado por CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA, justificando por parte del equipo técnico del laboratorio que este sitio en el momento del monitoreo se encontraba con problemas de orden público. Por lo anterior solo se presentan resultados hidrobiológicos de los puntos A02, A03, A04 y A05.

MUESTREO SIMPLE - CUALITATIVO

SITIO DE MUESTREO: A02: Antes de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello		
COORDENADAS: X=890822,04 Y=829332,77		
FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Melosira sp</i>		Presencia
<i>Pinnularia</i>	Volumen Filtrado 10 Litros	Presencia
<i>Stauroneis sp</i>		Presencia
ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Cladocera sp 1</i>	Volumen filtrado 10 litros.	Presencia
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Lampyridae sp</i>		Presencia
<i>Elmidae Hexacylloepus</i>		Presencia
<i>Elmidae Heterelmis sp</i>		Presencia
<i>Calopterigidae Hetaerina sp1</i>		Presencia
<i>Hydropsychidae Smicridea sp</i>	Se empleo la red triangular	Presencia
<i>Veliidae Rhagovelia sp</i>		Presencia
<i>Gerridae Eurygerris kahli</i>		Presencia
<i>Naucoridae Pelecoris sp</i>		Presencia
<i>Naucoridae Limnocoris sp</i>		Presencia

PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Melosira sp</i>		Presencia
<i>Chorella sp</i>	Raspado sobre sustratos naturales	Presencia
<i>Pinnularia</i>		Presencia
MACROFITAS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Zingiberaceae sp</i>	Transecto lineal de 25 metros	Presencia
<i>Commelina sp</i>		Presencia
PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Pterygoplichthys undecimalis</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	Presencia

Tabla 65. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A02”
 Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTRO LTDA, 2014

MUESTREO SIMPLE - CUANTITATIVO		
SITIO DE MUESTREO: A02: Antes de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello		
COORDENADAS: X=890822,04 Y=829332,77		
FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Melosira sp</i>		0,48
<i>Oscillatoria sp</i>		1,44
<i>Navicula sp</i>	Volumen filtrado 50 litros	1,92
<i>Pinnularia</i>		0,48
<i>Stauroneis sp</i>		0,48
ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Cladocera sp 3</i>	Aspectos como predadores, flujo de agua y morfología de la fuente	0,048
<i>Cladocera sp 4</i>	hidrica pudieron condicionar la presencia de estas especies.	0,024
<i>Myodocopida sp 2</i>	Volumen filtrado 50 Litros.	0,024
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m ²)
<i>Corydalus sp Corydalidae</i>		1
<i>Smicridea sp Hydropsychidae</i>		36
<i>Thraulodes sp Leptophlebiidae</i>	Se empleo la red Surber.	4
<i>Rhagovelia sp Veliidae</i>		4
<i>Pelecoris sp Naucoridae</i>		2
PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m ²)
<i>Melosira sp</i>	Raspado en sustrato naturales	34
<i>Chlorella sp</i>	empleando marco de acetato.	23
<i>Pinnularia</i>		1
MÁCROFITAS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (% de Cobertura)
<i>Zingiberaceae sp</i>	Transecto lineal de 25 metros.	15%
<i>Commelina sp</i>		10%

PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Individuos)
<i>Pterygoplichthys undecimalis</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	2

Tabla 66. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A02”
 Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTRO LTDA, 2014

MUESTREO SIMPLE - CUALITATIVO		
SITIO DE MUESTREO: Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello (A03)		
COORDENADAS: X= 882067.4019 Y= 831638.4168		

FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Pinnularia</i>	Volumen Filtrado 10 Litros	Presencia
<i>Melosira</i>		Presencia
<i>Fragilaria sp</i>		Presencia
<i>Stauroneis</i>		Presencia

ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Cladocera sp 1</i>	Volumen filtrado 10 litros.	Presencia
<i>Cyclopoida sp 1</i>		Presencia
<i>Myodocopida sp 1</i>		Presencia
<i>Rotifera sp 1</i>		Presencia

MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Physidae Physa sp</i>	Se empleo la red triangular	Presencia
<i>Lymnaeidae Lymnaea sp</i>		Presencia
<i>Thiaridae sp</i>		Presencia
<i>Veliidae Rhagovelia sp</i>		Presencia
<i>Coenagrionidae Argia sp</i>		Presencia
<i>Naucoridae Limnocoris sp</i>		Presencia

PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Melosira sp2</i>	Raspado sobre sustratos naturales	Presencia
<i>Navicula sp</i>		Presencia
<i>Stauroneis sp</i>		Presencia
<i>Cymbela sp</i>		Presencia
<i>Anabaena sp</i>		Presencia
<i>Nitzschia sp</i>		Presencia
<i>Fragilaria sp</i>		Presencia
<i>Pinnularia sp</i>		Presencia

MACROFITAS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Paspalum sp</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes	Presencia
<i>Commelina sp</i>		Presencia

PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Priapichthys caliensis</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	Presencia
<i>Oreochromis niloticus</i>		Presencia

Tabla 67. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A03”
Fuente: CONSTRUCCIONES SUMINISTRO LTDA, 2014

MUESTREO SIMPLE - CUANTITATIVO		
(A03) Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello		
COORDENADAS: X= 882067.4019 Y= 831638.4168		
FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Pinnularia</i>	Volumen de filtrado 50 litros	0,24
<i>Nitzschia sp</i>		0,24
<i>Melosira</i>		0,24
<i>Navicula sp</i>		0,48
<i>Fragilaria sp</i>		1,92
<i>Oedogonium sp</i>		0,24
<i>Stauroneis sp</i>		0,24
ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Cladocera sp 1</i>	La abundancia registrada puede obedecer a mejores condiciones tróficas en el cuerpo de agua Mayor disponibilidad de alimento en cuanto a abundancia de fitoplancton y probablemente a menor presencia de predadores. Volumen filtrado 50 litros.	0,06
<i>Cyclopoida sp 1</i>		0,18
<i>Harpacticoida sp 1</i>		0,204
<i>Myodocopida sp 1</i>		0,156
<i>Rotifera sp 1</i>		0,036
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m²)
<i>Physidae Physa</i>	Se empleo la red Surber	50
<i>Chironomidae sp</i>		29
<i>Naucoridae Limnocois</i>		1
<i>Veliidae</i>		36
<i>Rhagovelia sp</i>		
<i>Hydropsychidae</i>		23
<i>Smicridea</i>		
PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m²)
<i>Melosira sp2</i>	Raspado en sustrato naturales empleando marco de acetato.	0,265
<i>Navicula sp</i>		0,63
<i>Stauroneis sp</i>		0,215
<i>Cymbela sp</i>		0,905
<i>Anabaena sp</i>		0,08
<i>Nitzschia sp</i>		0,07
<i>Fragilaria sp</i>		0,15
<i>Pinnularia sp</i>		0,035
MÁCROFITAS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (% de Cobertura)
<i>Paspalum sp</i>	Transecto lineal de 25 metros	4%
<i>Commelina</i>		3%
PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Individuos)
<i>Priapichthys caliensis</i>		1

<i>Oreochromis niloticus</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	1
------------------------------	---	---

Tabla 68. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A03”
 Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTRO LTDA, 2014

MUESTREO SIMPLE - CUALITATIVO		
A04: Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello		
COORDENADAS: X= 881722.8664 Y= 831768.0272		
FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Cymbella sp</i>	Volumen filtrado 10 litros	Presencia
<i>Chroococcus sp</i>		Presencia
ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Cyclopoida sp 2</i>	Volumen filtrado 10 litros.	Presencia
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Dytiscidae Rhantus articolor</i>	Se empleo la red triangular	Presencia
<i>Dytiscidae Celina sp</i>		Presencia
<i>Psychodidae Clognia albipunctatus</i>		Presencia
<i>Philopotamidae Chimarra</i>		Presencia
<i>Libellulidae Brechmorhoga sp</i>		Presencia
<i>Gerridae Trepobates trepidos</i>		Presencia
<i>Naucoridae Pelecoris</i>		Presencia
<i>Lymnaeidae Lymnae sp</i>		Presencia
<i>Thiaridae sp</i>		Presencia
PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Navicula sp</i>	Raspado sobre sustratos naturales	Presencia
<i>Cymbella sp</i>		Presencia
<i>Melosira sp2</i>		Presencia
<i>Chlorella sp</i>		Presencia
<i>Stauroneis sp</i>		Presencia
<i>Chroococcus sp</i>		Presencia
<i>Fragilaria sp</i>		Presencia
<i>Surirella sp</i>		Presencia
<i>Melosira sp</i>		Presencia
<i>Oedogonium sp</i>		Presencia
MACROFITAS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
	Litoral extenso probablemente por creciente y efectos del vertimiento. Transecto lineal de 25 metros.	
PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Hypostomus hondae</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	Presencia

Tabla 69. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A04”
 Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTRO LTDA, 2014

MUESTREO SIMPLE - CUANTITATIVO

A04: Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello

COORDENADAS: X= 881722.8664 Y= 831768.0272

FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Cymbella sp</i>	Volumen filtrado 50 litros.	0,72
<i>Melosira sp 2</i>		2,64
<i>Fragilaria sp</i>		0,24
<i>Navicula sp</i>		0,48
<i>Chroococcus sp</i>		0,72

ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Cladocera sp 2</i>	Aspectos como predadores, flujo de agua y morfología de la fuente hídrica pudieron condicionar la presencia de estas especies. Volumen filtrado 50 litros.	0,036
<i>Cyclopoida sp 1</i>		0,048
<i>Cyclopoida sp 2</i>		0,072

MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m²)
Chironomidae sp	Se empleo la red Surber	11

PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m²)
<i>avicula sp</i>	Raspado en sustrato naturales empleando marco de acetato.	0,75
<i>Cymbella sp</i>		0,185
<i>Melosira sp2</i>		0,35
<i>Chlorella sp</i>		0,115
<i>Stauroneis sp</i>		0,265
<i>Chroococcus sp</i>		0,025
<i>Fragilaria sp</i>		0,11
<i>Surirella sp</i>		0,015
<i>Melosira sp</i>		0,025
<i>Oedogonium sp</i>		0,01

TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (% de Cobertura)
Litoral extenso probablemente por creciente y efectos del vertimiento. Transecto lineal de 25 metros		

PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Individuos)
<i>Hypostomus hondae</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	1

Tabla 70. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A04”

Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTRO LTDA, 2014

MUESTREO SIMPLE - CUALITATIVO

A05: Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.

COORDENADAS: X=871268.2997 Y=845042.0163

FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO

<i>Nitzschia sp</i>		Presencia
<i>Scenedesmus sp</i>	Volumen filtrado 10 litros.	Presencia
<i>Chroococcus</i>		Presencia
<i>Melosira</i>		Presencia
ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Calanoida sp 1</i>	Volumen filtrado 10 litros.	Presencia
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Elmidae Macrelmis sp</i>	Se empleo la red triangular	Presencia
<i>Physidae Physa sp</i>		Presencia
<i>Elmidae Heterelmis sp</i>		Presencia
<i>Tubificidae sp</i>		Presencia
<i>Chironomidae sp</i>		Presencia
<i>Pyralidae Petrophila confusalis</i>		Presencia
PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Navicula sp</i>	Raspado sobre sustratos naturales	Presencia
<i>Pinnularia</i>		Presencia
<i>Scenedesmus sp</i>		Presencia
<i>Cymbella</i>		Presencia
<i>Oscillatoria</i>		Presencia
<i>Nitzschia sp</i>		Presencia
<i>Stauroneis sp</i>		Presencia
MACRÓFITAS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Cyperus niger</i>	Transecto lineal de 25 metros	Presencia
PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO
<i>Oreochromis aureus</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	Presencia
<i>Argopleura magdalenensis</i>		Presencia
<i>Oreochromis niloticus</i>		Presencia
<i>Aequidens pulcher</i>		Presencia

Tabla 71. Resultados hidrobiológicos – Cualitativo “Punto de Control A05”
 Fuente: CONSTRUCCIONES SUMINISTRO LTDA, 2014

MUESTREO SIMPLE - CUANTITATIVO

A05: Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.

COORDENADAS: X=871268.2997 Y=845042.0163

FITOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Nitzschia sp</i>	Volumen filtrado 50 litros.	3,12
<i>Scenedesmus sp</i>		0,96
<i>Pinnularia</i>		1,2
<i>Chroococcus</i>		2,16
<i>Anabaena sp</i>		0,24
<i>Melosira</i>		0,24
<i>Synedra</i>		0,48

ZOOPLANCTON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/ml)
<i>Calanoida sp 1</i>	Aspectos como predadores, flujo de agua y morfología de la fuente hídrica pudieron condicionar la presencia de estas especies. Volumen filtrado 50 litros.	0,408
<i>Myodocopida sp 3</i>		0,084
<i>Myodocopida sp 4</i>		0,048
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m²)
<i>Physidae Physa sp</i>	Se empleo la red Surber	9
<i>Elmidae Heterelmis sp</i>		1
<i>Tubificidae sp</i>		2
<i>Chironomidae sp</i>		11
<i>Pyralidae Petrophila confusalis</i>		1
PERIFITON		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Ind/m²)
<i>Navicula sp</i>	Raspado en sustrato naturales empleando marco de acetato.	0,275
<i>Pinnularia</i>		0,09
<i>Scenedesmus sp</i>		0,035
<i>Cymbella</i>		0,005
<i>Oscillatoria</i>		0,04
<i>Nitzschia sp</i>		0,02
<i>Stauroneis sp</i>		0,05
MÁCROFITAS		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (% de Cobertura)
<i>Cyperus niger</i>	Transecto lineal de 25 metros.	60%
PECES - ICTIOFAUNA		
TAXA	OBSERVACIONES	RESULTADO (Individuos)
<i>Oreochromis aureus</i>	Transecto lineal de 25 metros. Colecta con redes.	3
<i>Argopleura magdalenensis</i>		3
<i>Oreochromis niloticus</i>		2
<i>Aequidens pulcher</i>		1

Tabla 72. Resultados hidrobiológicos – Cuantitativo “Punto de Control A05”

Fuente: CONSTRUCSUELOS SUMINISTRO LTDA, 2014

Después de analizar los resultados hidrobiológicos se determina el diagnóstico de la calidad del agua del río Villavieja con respecto a estos parámetros y se concluye lo siguiente:

1. La Cantidad de fitoplancton, zooplancton y peces depende de la oferta alimenticia y el caudal de la cuenca.
2. La presencia de Perifiton depende de la cantidad y calidad del sustrato natural para poder formar las biopelículas.
3. Los Macroinvertebrados presentes depende de su morfología, caudal del río y sustrato de orilla para su formación.

3. IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES DEL RECURSO

3.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Teniendo en cuenta las pautas para el ordenamiento y manejo del recurso hídrico, establecidas en el Decreto 3930 de 2010⁸, se realiza la aplicación y calibración del modelo de simulación de calidad de agua con el propósito de determinar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas, además de la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables.

El procesamiento de la información consiste en la realización de la modelación de la calidad del agua del Río Villavieja, teniendo en cuenta antecedentes y resultados actuales de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos contenidos en el agua, permitiendo así establecer el comportamiento ideal de la fuente, buscando la sostenibilidad en el orden ambiental, social y económico.

3.1.1. Modelación de la Calidad del Agua – Software “QUAL 2Kw”

3.1.1.1. Alcance

La implementación del modelo de calidad del agua QUAL2Kw en el río Villavieja, permitirá determinar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables en la corriente. Esto tendrá como fin evaluar el estado actual del río en términos de calidad del agua, y predecir la respuesta de la corriente ante el planteamiento de escenarios futuros en los cuales se tienen en cuenta aspectos ambientales, sociales, culturales y económicos, así como la gradualidad de las actividades a realizar.

La calibración del modelo de calidad del agua brindará una herramienta fundamental para el correcto ordenamiento y planificación del recurso hídrico, ya que apoyará la determinación de los usos potenciales del río, el establecimiento de los objetivos de calidad a alcanzar en el corto, mediano y largo plazo, el establecimiento de las metas quinquenales de reducción de cargas contaminantes, así como servirá para apoyar y validar cualquier actividad u obra a implementar sobre la corriente.

3.1.1.2. Antecedentes

⁸ **Decreto 3930 de 2010:** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. (MINIAMBIENTE, 2010)

El comportamiento de los contaminantes en el agua es esencialmente dinámico, pues los contaminantes están en permanente movimiento, ya sea por efecto del propio movimiento del agua, o por la movilidad natural de las moléculas y partículas coloidales. Los fenómenos de transporte de contaminantes en cuerpos de agua han sido ampliamente estudiados y han dado origen a numerosas formulaciones matemáticas que describen su comportamiento (Castillo G., 2008). En la actualidad existe un sin número de modelos matemáticos, desarrollados con la finalidad de estudiar el comportamiento de un determinado contaminante o un grupo de éstos a lo largo de una corriente natural (García Q., 2008). Por este motivo, ha sido necesario clasificar los diferentes modelos de calidad del agua existentes de acuerdo a sus características para una mejor comprensión y selección de los mismos como puede verse a continuación (Lozano G. et al., 2003):

- ✓ Tipos de procesos: Físicos, químicos, biológicos
- ✓ Tipo de método de solución: Métodos empíricos, soluciones aproximadas, análisis simplificado, modelos matemáticos con diferencias finitas.
- ✓ Tipo de cuerpo de agua: Río, lago, reservorio.
- ✓ Dimensión: 1, 2 o 3 dimensiones.
- ✓ Estado: Estacionario, dinámico, cuasi-dinámico.
- ✓ Tipo de transporte: Advección, dispersión, intercambio béntico.
- ✓ Tipo de cuenca: Urbanas, no urbanas.

Comúnmente, la selección del modelo a implementar depende de la disponibilidad de información con que se cuenta y el propósito de la modelación y los procesos a modelar; esta condición implica que no siempre un modelo puede aplicarse en el estudio de la calidad del agua en una corriente en particular, sin embargo, se espera que un modelo de calidad del agua cuente con las siguientes características generales (Lozano G. et al., 2003).

- ✓ Simulación de los parámetros básicos de calidad de agua como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno y el fósforo, principalmente, además de tener en cuenta la reducción de la concentración de contaminantes por el efecto de entradas de flujo adicionales.
- ✓ Flexibilidad, es decir, poder adaptarse a las condiciones de diferentes corrientes, puesto que sería algo no viable económico y técnicamente utilizar un modelo de simulación diferente para cada corriente.
- ✓ Aplicabilidad. Se prefieren los programas que hayan sido empleados en otras regiones similares a la de aplicación del modelo.
- ✓ Simplicidad en su ejecución y precisión en sus resultados. Un modelo con entradas de datos o procesos más complejos, necesariamente no es más preciso.

- ✓ Viabilidad económica. No se justifica hacer una gran inversión para un programa que tendría casi los mismos resultados de un programa más económico.
- ✓ Aprovechamiento de la información hidrométrica, meteorológica y de calidad de agua, disponible en forma histórica o actual, para los datos de entrada, lo cual se refleja en disminución de la cantidad de datos de entrada y, por tanto, de los costos, facilidad para realizar modelaciones con datos históricos y verificación más efectiva del modelo.

El proceso general de simulación de una corriente hídrica superficial (Figura 21) inicia con la identificación de las necesidades de la corriente a modelar y sigue con la etapa de selección del modelo, en esta etapa se puede elegir uno de los modelos existentes o se puede desarrollar uno nuevo. Posteriormente se inician las etapas de aplicación, calibración y verificación del modelo, las cuales permitirán finalmente predecir la calidad del agua de la corriente y tomar las medidas pertinentes o contar con una herramienta de planificación futura.

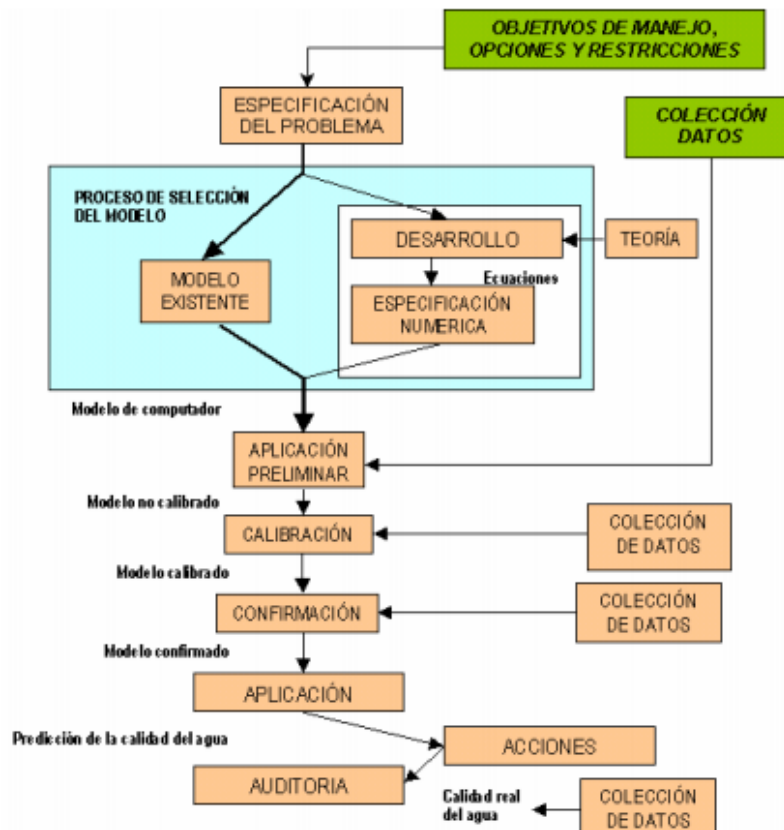


Figura 21. Proceso de Simulación de una Corriente Hídrica Superficial
Fuente: Lozano G. et al, 2003

Entidades como la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1988), perteneciente al gobierno de los Estados Unidos, han desarrollado una serie de modelos matemáticos mediante los cuales se puede estudiar el comportamiento de la calidad del agua en una fuente natural. Entre los modelos desarrollados por esta entidad se pueden mencionar: WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), QUAL2K y QUAL2Kw, entre otros. Otras instituciones de reconocimiento internacional también se han preocupado por el estudio y desarrollo de este tipo de herramientas, tal es el caso del Instituto de Hidráulica Danés, (DHI por sus siglas en inglés: Danish Hydraulic Institute), quien en 1999 desarrolló el modelo MIKE11⁹; el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)¹⁰, agencia especializada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), a través de su División de Salud y Ambiente (HEP), ha desarrollado y aplicado el modelo de calidad del agua RIOS; finalmente, otro software muy utilizado para modelar la calidad del agua en corrientes superficiales es el modelo Quality Simulation Along River Systems (QUASAR. Whitehead et al., 1997). A continuación, se realiza una descripción general de cuatro de los modelos utilizados en el mundo:

MODELO	DESCRIPCIÓN GENERAL
QUASAR	<p>Este software modela un río como una serie de tramos definidos por confluencias de tributarios, vertederos, tomas públicas de abastecimiento de agua o descargas de efluentes, y puede ser corrido en dos modos diferentes. En modo planificación el modelo puede proporcionar distribuciones de flujo y calidad en puntos clave, permitiendo así fijar niveles máximos de efluentes para mantener la calidad del río. En modo dinámico el modelo proporciona estimaciones de flujo y de calidad en los extremos de cada tramo en un período de tiempo, permitiendo evaluar cambios propuestos en el uso, caudal y calidad de agua del río.</p> <p>Durante su pasaje a través de un tramo las concentraciones de los determinantes de la calidad del agua se modifican de acuerdo a procesos físicos, biológicos y químicos. Pueden ser modelados los siguientes parámetros: caudal, amoníaco, pH, nitratos, temperatura, E. Coli, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, contaminante conservativo o trazador.</p>
MIKE 11	<p>Este programa fue desarrollado por el Instituto de Calidad del Agua de Dinamarca. Este modelo simula los aspectos básicos de la calidad del agua en áreas influenciadas por las actividades del hombre, como por ejemplo, el consumo de oxígeno debido a las descargas de materia. Simula los procesos de reacción de sistemas multicompuestos incluyendo la degradación de la materia orgánica, la fotosíntesis y respiración de las plantas, la nitrificación y el intercambio de oxígeno con la atmósfera.</p> <p>El modelo se acopla al modelo básico de advección - dispersión AD, lo cual significa que el modelo simula los procesos de transformación de diferentes compuestos y el modelo AD es utilizado para simular los procesos de transporte simultáneamente. El modelo resuelve un sistema de ecuaciones diferenciales acopladas que describen las interacciones físicas, químicas y biológicas en el río.</p>

⁹ Danish Hydraulic Institute DHI. (1999). MIKE 11: Comprehensive 1-d dynamic flow model, www.bossintl.com

¹⁰ Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. (1999). Modelo matemático de calidad de aguas RIOS.

RIOS	RIOS proporciona un método estándar, basado en la ciencia para el manejo de cuencas en contextos en todo el mundo; combina datos biofísicos, sociales y económicos para ayudar a los usuarios a identificar las mejores ubicaciones para la protección y las actividades de restauración con el fin de maximizar el retorno de la inversión ecológica, dentro de los límites de lo que es socialmente y políticamente factible.
QUAL2Kw	El QUAL2Kw es un modelo de calidad del agua que tiene la capacidad de simular una corriente principal y tres corrientes secundarias, las cuales pueden ser manejadas de manera independiente o integrarse a la corriente principal dependiendo de las necesidades del usuario. El modelo fue desarrollado por Chapra y Pelletier en el año 2008 para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Tabla 73. Descripción de Modelos de simulación más utilizados en el Mundo

Fuente: FUNDISPROS, 2014

En el país se han implementado diferentes modelos comerciales de calidad del agua sobre algunas corrientes superficiales entre las cuales destacan: río Bogotá, río Otún, río Cauca, río Medellín y el río Chinchiná. Los principales modelos que han sido utilizados en el país son MIKE – 11, QUASAR, OTIS, ADZ, RIOS, QUAL2E, QUAL2K y QUAL2Kw, siendo el modelo de calidad del agua QUAL2Kw uno de los más implementados por las ventajas y características que se mencionan más adelante.

3.1.1.3. Generalidades del QUAL2Kw

El modelo de calidad del agua QUAL2K fue desarrollado para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos por Chapra y Pelletier en el año 2003, posteriormente fue mejorado en el año 2008 y recibió por nombre QUAL2Kw. Este es un modelo de calidad del agua que tiene la capacidad de simular una corriente principal y tres corrientes secundarias, las cuales pueden ser manejadas de manera independiente o integrarse a la corriente principal dependiendo de las necesidades del usuario. Algunas de las características más representativas del modelo se describen a continuación (Chapra, et al., 2008).

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de software e interface gráfica	El modelo se ejecuta en ambiente Windows mediante el lenguaje Visual Basic. La interface gráfica funciona bajo el software Excel, lo que hace el modelo muy amigable y de fácil uso.
Segmentación del modelo	El modelo no presenta limitaciones en la especificación del número y longitud de tramos que se pueden modelar, por lo cual se pueden incluir múltiples fuentes puntuales o dispersas en cualquier tramo.
Dimensionalidad	El QUAL2Kw es un modelo unidimensional en la dirección del flujo, esto es debido a que en la mayoría de los ríos las dimensiones de la longitud son mucho mayores a las profundidades y anchos. Adicionalmente se asume que el río o canal se encuentra bien mezclado tanto vertical como horizontalmente.
Hidrodinámica	El flujo de agua se simula en condiciones hidráulicas estables, esto quiere decir en condiciones de flujo permanente, simulando periodos de caudal y cargas constantes en el tiempo

Modelación de sistemas hídricos de tipo dendrítico	El modelo permite realizar simulaciones en casos donde la simulación se extiende no solo a la corriente principal, sino también a tributarios. El modelo tiene capacidad de simular en total cuatro (4) corrientes superficiales de manera independiente o integrada al ramal principal dependiendo de las necesidades del usuario.
Entradas de masa y calor al sistema	Se simulan vertimientos y extracciones tanto puntuales como dispersas.
Parámetros modelados	Conductividad, sólidos suspendidos inorgánicos, oxígeno disuelto, DBO rápida, DBO lenta, nitrógeno orgánico disuelto, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo orgánico disuelto, fósforo inorgánico, fitoplancton, detritus, patógenos, alcalinidad, carbono orgánico total, algas de fondo, temperatura y cauda
Especies de DBO carbonácea	El modelo QUAL2Kw usa dos formas de DBO carbonácea para representar el carbono orgánico. Estas formas son: la DBO de lenta oxidación (DBO slow) y la DBO de rápida oxidación (DBO fast). Adicionalmente, se simula la materia orgánica particulada (Detritus), este material de detritus está compuesto por partículas de carbón, nitrógeno y fósforo en una estequiometría fija. Las diferentes formas de DBO que simula el modelo están en términos de DBO última
Patógenos	Se modela un patógeno genérico (Coliformes fecales o coliformes totales). La remoción de patógenos está determinada como función de la temperatura, la luz y la sedimentación.
Algas en el fondo (periphyton o plantas radiculadas fijas)	El modelo tiene un módulo completo de modelación de crecimiento de phytoplankton (plantas flotantes) y de periphyton y macrófitas (plantas radiculadas fijas) y simula explícitamente las formaciones de algas en el fondo. Los modelos de crecimiento son función de la disponibilidad de nutrientes (fósforo y nitrógeno), de la temperatura, y de la intensidad de luz que penetra en el cuerpo de agua. Esta última a su vez es función de la radiación solar incidente y de la turbidez del agua
Interacciones agua-sedimento.	Los flujos en la interfase agua-sedimento de OD y nutrientes se simulan internamente en el modelo. De esta forma el flujo de demanda béntica (SOD) y de nutrientes es simulado como función de la sedimentación de materia orgánica particulada, reacciones dentro de los sedimentos, y de concentraciones de las formas solubles en la columna de agua.

Tabla 74. Características del QUAL2Kw

Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.1.1.4. Esquematización del Modelo QUAL2Kw

La esquematización del modelo matemático de simulación QUAL2Kw corresponde a la representación de las características del sistema que se requiere modelar. En el caso de la modelación en corrientes superficiales dicha representación se refiere a las características hidrogeométricas y la definición de las fronteras del modelo (fronteras internas y externas). Las fronteras externas corresponden a las estaciones de monitoreo ubicadas aguas arriba y aguas abajo del tramo en estudio, mientras que las fronteras internas corresponden a los ríos tributarios, las extracciones y los vertimientos para los

cuales se dispone de información de caudales y calidad del agua. En el momento de seleccionar los tramos entre las estaciones se debe tener en cuenta que las propiedades físicas e hidráulicas (sección transversal, pendiente de la corriente, rugosidad etc), químicas y biológicas permanecen constantes a lo largo de cada tramo (CRC, 2012). En la Figura 22 se puede observar el esquema general del modelo QUAL2Kw con sus fronteras externas e internas.

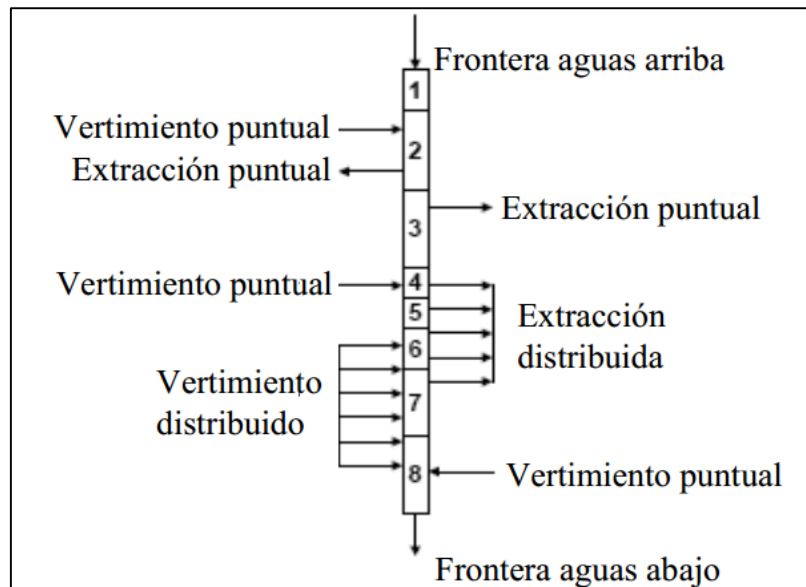


Figura 22. Esquema General del Qual2Kw
Fuente: (Chapra, et al., 2008)

En el modelo QUAL2Kw el tramo de la corriente estudiada se divide en una sucesión de pequeños subtramos o elementos computacionales que operan como reactores completamente mezclados. Para cada elemento computacional se realiza un balance hidrológico en términos del caudal, un balance térmico en términos de la temperatura y un balance de masa en términos de concentración de cada compuesto. Se tienen en cuenta procesos de transporte (advección y dispersión), fuentes externas (descarga de agua residual o extracciones de agua) y fuentes internas (demanda béntica o transformaciones bioquímicas).

3.1.1.5. Balance de Flujo

El modelo QUAL2Kw trabaja bajo régimen estacionario, o sea que el flujo entrante y saliente en cada uno de los elementos computacionales en análisis se mantiene constante a través del tiempo (*Ecuación 1*). El esquema del balance de flujo se puede ver en la Figura 23.

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i}$$

Ecuación 1. Balance de Flujo

En donde, Q_i : Caudal de salida del elemento computacional; Q_{i-1} : Caudal de entrada del elemento computacional; $Q_{in,i}$: Caudal de entrada neto lateral por fuentes puntuales y difusas; $Q_{ab,i}$: Caudal de salida neto lateral por fuentes puntuales y difusas (Chapra, et al., 2008)

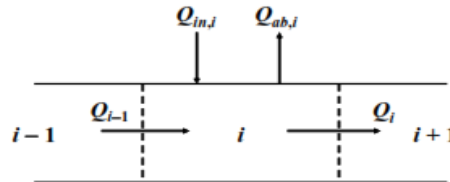


Figura 23. Esquema de Balance de Flujo
 Fuente: Chapra et. Al.,2008

3.1.1.6. Balance de Masa

El modelo QUAL2Kw considera por cada constituyente (parámetro fisicoquímico o biológico) un balance general de masa en cada elemento computacional (Figura 24), el cual se describe mediante la **Ecuación 2**, la cual involucra los efectos de advección, dispersión, dilución, consumo o generación de constituyentes por reacciones químicas o bioquímicas y la generación o pérdida de nutrientes por fuentes externas o internas (descargas puntuales, captaciones, etc).

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} C_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} C_i + \frac{Q_{ab,i}}{V_i} C_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (C_{i-1} - C_i) + \frac{E'_i}{V_i} (C_{i+1} - C_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i$$

Ecuación 2. Balance de Masa

En donde, C_i : Concentración; Q_i : Flujo en el i ésimo segmento; Q_{ab} : Salida en el elemento i debido a extracción puntual o difusa; V_i : Volumen incremental del i ésimo segmento; t : Tiempo; S_i : Fuentes y sumideros del constituyente debido a reacciones y mecanismos de transferencia de masa; E_i : Coeficiente de dispersión longitudinal entre segmentos i y $i+1$; S_i : Carga externa del constituyente en el elemento i . (Chapra, et al., 2008)

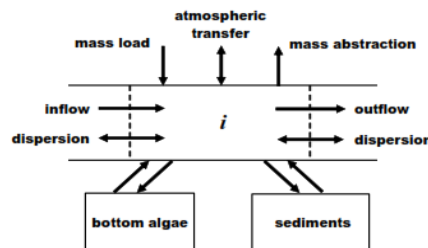


Figura 24. Esquema de Balance de Masa
 Fuente: (Chapra, et Al., 2008)

3.1.1.7. Modelo de reaireación

Las ecuaciones que permiten predecir el proceso de reaireación en los ríos están enfocadas a determinar la tasa de reaireación, también llamada coeficiente de reaireación (K_a), la cual mide la velocidad a la que el oxígeno presente en la atmósfera es transferido a los cuerpos de agua (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2007). En la Tabla 75 se resumen las ecuaciones que predicen las tasas de reaireación en el QUAL2Kw, a partir de parámetros hidráulicos.

Ecuación	K_a (d^{-1} a $20^{\circ}C$)	Unidades
O'Connor y Dobbins (1958)	$K_a = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}}$	U= m/s H=m
	0,305 m \leq H \leq 3,35 m 0,15 m/s \leq U \leq 0,49 m/s 0,05 d^{-1} \leq K_a \leq 12,2 d^{-1}	
Churchill et al. (1962)	$K_a = 5,026 \frac{U^{0,969}}{H^{1,673}}$	U= m/s H=m S=m/m
	0,61 m \leq H \leq 3,35 m 0,55 m/s \leq U \leq 1,5 m/s 0,000126 m/m \leq S \leq 0,002351 m/m 0,225 d^{-1} \leq K_a \leq 5.56 d^{-1}	
Owens et al. (1964)	$K_a = 5,34 \frac{U^{0,67}}{H^{1,85}}$	U= m/s H=m S=m/m
	0,122 m \leq H \leq 3,35 m 0,0305 m/s \leq U \leq 1,52 m/s 0,000156 m/m \leq S \leq 0,0106 m/m 0,31 d^{-1} \leq K_a \leq 49,17 d^{-1}	
Tsivoglou y Neal (1976)	$K_a = 0,3609 \frac{\Delta H}{t}$	$\Delta H= m$ T=d U= m/s S=m/m
	Para 0,028 m ³ /s \leq Q \leq 0,28 m ³ /s	
Thackston y Dawson (2001)	$K_a = 0,1772 \frac{\Delta H}{t}$	U= m/s H=m
	Para 0,708 m ³ /s \leq Q \leq 85 m ³ /s $K_a = 13566 US$	
	$k_a = 0,000025 \left(1 + 9F^{\frac{1}{4}} \right) * \frac{U}{H}$	

	$Ka = 517 (US)^{0,524} * Q^{-0,242}$	
USGS (pool – rifle)	Para $Q < 0,556$ m3/s	U=m/s Q=m3/s
	$Ka = 596 (US)^{0,528} * Q^{-0,136}$	
	Para $Q < 0,556$ m3/s	
	$Ka = 88 (US)^{0,313} * D^{-0,353}$	
USGS (Channel – control)	Para $Q < 0,556$ m3/s	U= m/s Q= m3/s
	$Ka = 142 (US)^{0,333} * D^{-0,66} * W^{-0,243}$	D=m W=m
	Para $Q > 0,556$ m3/s	

Tabla 75. Ecuaciones predictivas de las tasas de reaeración
 Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2007

3.1.1.8. Datos de entrada y salida del modelo

El modelo QUAL2Kw se ejecuta en ambiente Windows mediante el lenguaje Visual Basic. La interface gráfica funciona bajo el software Excel, lo que hace el modelo muy amigable y de fácil uso. El libro de Excel contiene varias hojas de trabajo en las cuales se ingresan los diferentes datos de entrada del modelo y desde donde éste es ejecutado.

Cada hoja de trabajo tiene un nombre que identifica el tipo de información que contiene y que puede resumirse de la siguiente forma: parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tomados en campo en las campañas de monitoreo, descripción de los tramos del río, constantes hidráulicas, los valores de las constantes cinéticas de calibración del modelo, condiciones meteorológicas (temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, velocidad del viento, nubosidad y sombra), y la información fisicoquímica correspondiente a fuentes puntuales y difusas como tributarios, captaciones y vertimientos (Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, 2012; Chapra et.al., 2008).

En el modelo se usan colores en las celdas para identificar si la información debe ser ingresada por el usuario o si corresponden a resultados del programa:

- **Celdas azules:** corresponden a las variables de diseño y los valores de los parámetros que deben ser ingresados por el usuario.
- **Celdas amarillas:** son los datos medidos en campo que deben ser ingresados por el usuario. Estos datos posteriormente se muestran en las gráficas generadas por el modelo.
- **Celdas verdes:** corresponden a los resultados del modelo.
- **Celdas oscurecidas:** se usan para títulos y nomenclatura y no deben cambiarse.

Después de que el modelo QUAL2Kw ha efectuado los cálculos necesarios para poder realizar las corridas de simulación, se generan diferentes hojas electrónicas y gráficas con los resultados. En las gráficas resultantes se pueden comparar las curvas correspondientes al perfil de concentraciones de los diferentes parámetros estimados por

el modelo a lo largo del río, con los datos medidos en campo en las estaciones de monitoreo (Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2011).

3.1.1.9. Información meteorológica

La información meteorológica necesaria para la implementación del modelo consiste en datos de temperatura, temperatura de punto de rocío, velocidad del viento, nubosidad, sombra en el río producida por la topografía o vegetación y radiación solar (Chapra et.al., 2008). Estos datos y la temperatura del agua del río permiten realizar el balance de energía térmica para el cálculo de la temperatura del agua como se mencionó anteriormente.

Esta información puede ser tomada en campo, se puede consultar la base de datos de la National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), o se pueden consultar estaciones meteorológicas existentes en la zona para obtener los valores correspondientes al día en el que se realizó el monitoreo de calidad del agua.

3.1.1.10. Calibración del Modelo

La calibración es un proceso iterativo encaminado a llevar a un margen de error mínimo la diferencia entre los datos simulados por el modelo y los valores medidos en campo para el mismo. En un modelo de calidad del agua se deben especificar las tasas de reacción o transformación de los determinantes de calidad del agua y tasas de transferencia de masa hacia o desde la superficie del agua y el fondo del canal. La cinética de las reacciones son particulares para cada tipo de río en las condiciones específicas que se presentan en el sistema físico modelado y las tasas de transferencia dependen en gran parte de la turbulencia de la corriente (Camacho et.al., 2003).

Las técnicas empleadas para encontrar las soluciones óptimas que permitan un error mínimo pueden basarse en algoritmos de optimización matemática integrados al modelo y a los resultados de sus corridas. Dentro de las técnicas de optimización matemática se pueden mencionar algunos procedimientos: amoeba, recocido simulado, algoritmos genéticos y colonia de hormigas, cada uno con un proceso de convergencia, costo y eficiencia computacional diferente (Vera, 2007). En general, el algoritmo seleccionado debe permitir disminuir el error secuencialmente para que el modelo converga hacia soluciones admisibles para el mismo. En la Figura 25 se presenta el esquema del proceso de calibración que sigue el modelo de calidad del agua.

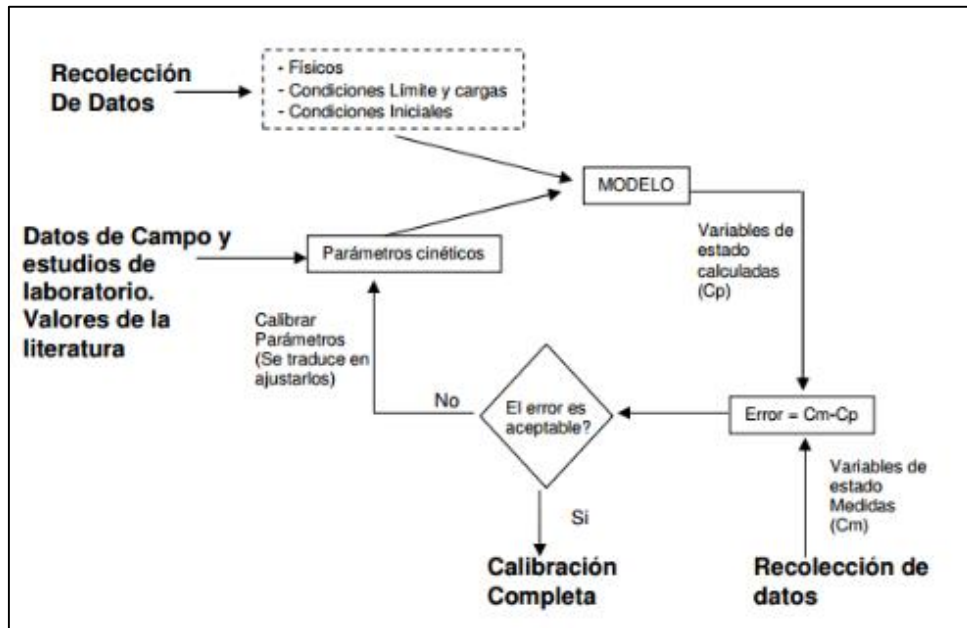


Figura 25. Esquema del Proceso de Calibración
Fuente: (Pelletier et.al., 2005)

El modelo QUAL2Kw realiza la calibración automática de los parámetros cinéticos mediante el AG-PIKAIA, el cual es un algoritmo genético (AG) que funciona como un sistema de búsqueda a través de un espacio de decisión, usando un proceso análogo al de la “selección natural de las especies” de Darwin, que busca la supervivencia, en mayor número, de los individuos más aptos. De esta forma, el QUAL2Kw determina los valores óptimos de los parámetros cinéticos entre máximos y mínimos especificados para cada parámetro, buscando maximizar la bondad de ajuste con respecto a los datos de campo (Arroyave et.al., 2012).

Para iniciar el proceso de optimización las variables de entrada del algoritmo genético AG-PIKAIA en el modelo QUAL2Kw son:

Random number seed: Semilla para la generación de las poblaciones iniciales en el generador de números aleatorios de Fortran. Puede introducirse cualquier valor entero real. Los números aleatorios generados están en un rango entre 0 y 1, y por ello debe introducirse rangos de variación de cada una de las variables que se van ingresar para poder reescalarlos en los valores usados para la generación aleatoria (Vera, 2007).

Model runs in a population: Corresponde al número de veces que corre el modelo en una generación. Representa el total de poblaciones de prueba que utiliza para cada generación. Se debe ingresar un número entero par, ya que si se ingresa un número entero impar el programa por defecto lo asume como el entero par anterior y realiza la corrida con ello. Puede introducirse hasta un máximo de 512 poblaciones (Vera, 2007).

Generations in the evolution: Es el número total de generaciones en que se desarrolla la población (Vera, 2007).

Digits to encode genotype: Corresponde al proceso de codificación del individuo utilizado para la población. Normalmente los algoritmos genéticos utilizan sistemas binarios para codificar los números susceptibles de calibración, esto se hace para generar un código único del individuo (asumido como el cromosoma del individuo) susceptible de cruzamiento en la siguiente generación y donde el padre deja su huella genética en la siguiente generación. Para el caso de PIKAlA este utiliza una codificación decimal es decir una variable susceptible de modificación será representada por números de 0 a 9 (ejemplo 0.235687 se representara como 235687) y este cambio se hace ya que no es muy fácil programar y manipular la codificación binaria en plataforma de Fortran. El máximo de dígitos para la codificación es de seis (Vera, 2007).

Crossover mode: El operador de cruzamiento actúa sobre el par de cromosomas padres para producir un par de cromosomas descendientes que se originaran a través de la selección e intercambio de partes de los cromosomas padres. Hay diferentes tipos de cruzamiento: cruzamiento un-punto, dos-puntos y uniforme. En el cruzamiento un-punto y dos-puntos el operador intercambia partes del cromosoma en puntos aleatoriamente seleccionados de los dos parámetros padres. Ellos difieren en el número de cortes hechos en los cromosomas padres (Pelletier et. al., 2006). En el cruzamiento uniforme son los genes individuales seleccionados aleatoriamente de los dos parámetros padres para el intercambio y no partes del cromosoma. Adicionalmente, a estos tres modos de cruzamiento el modelo QUAL2Kw presenta las opciones de cruzamiento aritmético y modos híbridos de cruzamiento que son combinaciones de un-punto, dos-puntos, uniforme y aritmético (Chapra et. al., 2008).

Crossover probability: Representa la probabilidad total de individuos susceptibles de cruzamiento, el valor estándar recomendado por múltiples autores es del 85% (0.85), esto quiere decir que por cada 100 individuos susceptibles de cruzarse se deben usar 85 de ellos para realizar el cruzamiento (Vera, 2007).

Mutation mode: Representa la mutación posible que puede realizar el programa, se presentan básicamente cinco métodos de mutación, todos están basados en una tasa de modificación que es susceptible de modificación de acuerdo al ajuste o a la distancia sobre las respuesta obtenidas, o también este proceso se puede realizar con una tasa fija. La mutación es el factor que permite la existencia de diversidad de especie en la población en cada generación siguiente a la inicial de manera que pueda evitar la rápida convergencia de la misma a una solución que puede ser la incorrecta y que no pueda salir de allí (Vera, 2007).

Initial mutation rate: Representa la tasa de mutación inicial en el caso que se usen planes de mutación diferentes a la tasa fija, si se utiliza la opción de tasa fija este será el valor de la tasa de mutación. Puede variar entre 0 y 1, pero se recomiendan valores bajos

(Martínez, 2000) debido a que si se fijan valores alto el algoritmo puede degradarse y perder la convergencia inicial planteada.

Minimun mutation rate: Representa el valor mínimo que puede asumir la tasa de mutación en caso de utilizar un método de mutación diferente al de la tasa fija. Puede variar entre cero y uno (Vera, 2007).

Maximun mutation rate: Representa el valor máximo que puede asumir la tasa de mutación en caso de utilizar un método de mutación diferente al de la tasa fija. Puede variar entre cero y uno (Vera, 2007).

Relative Fitness Differential: Se puede traducir como la presión de la selección, este parámetro indica cuanta ventaja supone tener una aptitud alta para ser elegido como padre. Cuando el valor es fijado en uno los individuos más aptos tienen las mayores ventajas para transmitir sus genes, mientras que cuando es fijado en cero se anula la presión de selección y los individuos serán elegidos al azar independiente de su aptitud eliminando así la componente de selección genética del algoritmo. Se recomienda usar el valor máximo de uno (Vera, 2007).

Reproduction Plan: Es el plan de reproducción que el algoritmo debe usar. La selección de los individuos en el algoritmo PIKAIA se realiza por el método de la rueda de la ruleta "roulette wheel" usando el ajuste relativo obtenido para la población como una medida de la probabilidad de selección. Esto puede representarse como un juego de ruleta, en la cual cada individuo obtiene una sección de la ruleta y los individuos más aptos obtienen mayores secciones de la ruleta, luego la ruleta se hace girar y para en los individuos que va utilizar para realizar generaciones siguientes o crear hijos. Una vez definidos estos se debe seleccionar el método de reproducción a utilizar, que básicamente se divide en tres: En la primera alternativa se realiza un reemplazo total de la población, esto quiere decir que el total de hijos creados reemplaza al total de padres originales; la segunda alternativa se denomina selección aleatoria de eliminación; y la tercera eliminación de los peores, para estas dos últimas los planes de reproducción difieren en los miembros de la población que se eliminan cuando la generación siguiente es incorporada (Vera, 2007).

Elitism: Es una forma de conservar los individuos más aptos de una población de padres para que puedan pasar sin modificaciones a la generación siguiente. Si se coloca el valor de cero no se realizara elitismo, mientras si se coloca el valor de uno se realizará dicha preservación, que será únicamente ejecutada si se utiliza el segundo o tercer plan de reproducción (Vera, 2007).

Restart from previous evolution: Si se selecciona el valor de cero, indica que todas las poblaciones iniciales para la corrida de autocalibración serán generadas de forma aleatoria cada vez que se corra, mientras si se selecciona el valor de uno, siempre el programa toma una población inicial como los valores que se presentan para las variables

a calibrar que se encuentren dentro de la hoja electrónica al momento de realizar la calibración (Vera, 2007).

Otro factor importante para llevar a cabo la calibración del modelo, es definir el tipo de error que se quiere manejar, o la función objetivo a calibrar, esto se hace bajo dos aspectos (Vera, 2007):

El primero de ellos obedece a la formulación matemática utilizada para el mismo, aquí se puede mencionar por ejemplo el error cuadrático medio que realiza una diferencia cuadrática de los datos observados contra los datos modelados. Para poderlo generalizar se realiza una sumatoria de estas diferencia puntuales que se estandariza entre la media de los datos usados para la calibración del mismo, o algún test de tipo estadístico que permita manejar un nivel de confianza para el modelo.

El segundo está definido en los rangos de error permitidos para que el modelo se aceptado como calibrado, o en los niveles de confianza sobre los cuales el modelo puede ser aceptado, esto es criterio del diseñador y debe estar fundamentado en una explicación racional del ajuste o nivel de confianza del mismo.

Esta función de error es programada de forma independiente dentro de la hoja "Fitness" del QUAL2Kw, todos los cálculos de la función objetivo se realizan de forma secuencial y el resultado se enlaza en la hoja de trabajo "Rates" para efectuar la calibración automática.

2.10.1.11. Confirmación del Modelo

En un modelo de calidad del agua es necesario evaluar la capacidad predictiva del modelo en condiciones hidrológicas y ambientales diferentes a las observadas en la calibración. Por este motivo, terminado el proceso de calibración del QUAL2Kw y establecidos los valores de las constantes cinéticas que mejor representan las características de la corriente modelada, es necesario corroborar el ajuste manteniendo las constantes fijas y alimentando el modelo con nueva información en los puntos usados para calibración, de esta forma bajo rangos de error o ajustes estadísticos se acepta o no la confirmación del modelo (Vera, 2007).

2.10.1.12. Aplicación del modelo para toma de decisiones

El uso de modelos de calidad del agua ha ido ganando importancia como herramienta para contribuir a la planificación integral de los recursos hídricos, puesto que al contar con un modelo confiable calibrado y confirmado, éste puede ser usado para representar esquemas de gestión e intervención directa. De esta forma, se convierte en una herramienta útil de planeación que puede soportar la toma de decisiones en problemas específicos que se quieran solucionar y estén afectando la calidad del agua de una corriente específica (Vera, 2007).

Una vez calibrado y confirmado el modelo de calidad QUAL2Kw, se cuenta con una herramienta capaz de predecir la respuesta de la corriente ante distintos escenarios de intervención, para esto, se deben formular los escenarios de posibles soluciones, por ejemplo la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, la implementación de sistemas individuales de saneamiento o la implementación de las áreas de retiro que permitan mejorar la calidad del agua de la corriente afectada. Una vez se formulan los escenarios, se deben definir los valores de calidad de entrada del modelo y se modela nuevamente con estos valores.

Es importante tener en cuenta que la toma de decisiones debe estar enfocada al monitoreo posterior a la realización de las medidas que se hayan tomado para solucionar el problema, y saber si el escenario de modelación tomado como base para tomar esa decisión, fue efectivo y tuvo el impacto esperado, o si el modelo debe ser ajustado (Vera, 2007).

3.1.2. Metodología para La implementación del Modelo QUAL 2Kw



Figura 26. Esquema de La Metodología Utilizada para La Implementación del Modelo QUAL2Kw

Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.1.2.1. Descripción Área de Estudio

La subcuenca hidrográfica del río Villavieja se encuentra ubicada dentro de la gran cuenca hidrográfica del río Magdalena en el departamento del Huila, y comprende los municipios de Tello y Villavieja. El río Villavieja nace a 2000 m.s.n.m. en la cordillera

Oriental en cercanías a los caseríos de San Andrés y Mesa Redonda, recorre aproximadamente 52.7 km y desemboca en el río Magdalena a 390 m.s.n.m. Durante su recorrido recibe las aguas de corrientes menores como la de quebradas como La Nutria, corriente que surte con sus aguas al acueducto de la cabecera municipal de Baraya, además de las quebradas: Las Juntas, Coscorrón, Quebradillas, Lalasa, El Tigre, Los Fieros, El Potrero, Los Pozos, Carboneros, La Arenosa y Bolsoncito. Otra corriente importante que alimenta al río Villavieja es el río Guaroco, el cual nace en la cuchilla Laureles en el municipio de Baraya.



Figura 27. Río Villavieja – Desembocadura en el Río Magdalena
Fuente: GOOGLE MAPS, 2014

El río Villavieja presenta bajos caudales en verano y en el invierno alcanza niveles bastantes altos. Se encuentra afectado desde su nacimiento por procesos de tala y quema de bosques para el aprovechamiento comercial de maderas y ampliación de la frontera agrícola y pecuaria. En la parte baja, su bosque de galería ha sido destruido para establecer cultivos de arroz y ampliar la zona de pastos.

Esta corriente superficial se considera importante por proveer el agua necesaria para los acueductos de los municipios de Baraya y Tello, así como para la Inspección de Policía de San Andrés (Tello). El río Villavieja es receptor a lo largo de su recorrido de múltiples vertimientos dispersos de aguas residuales domésticas y de las aguas residuales combinadas del alcantarillado del municipio de Tello y del centro urbano Polonia (Villavieja), los cuales no cuentan con un sistema de tratamiento y sus aguas son vertidas directamente al cauce del río.

Las principales actividades desarrolladas en el territorio de las subcuenca son: la ganadería extensiva, el cultivo de arroz, café, cacao, plátano y cultivos misceláneos que comprenden frutales como maracuyá y lulo, caña panelera, maíz y yuca. Estas actividades agropecuarias en su conjunto hacen usos diferentes de la tierra que

dependen del clima, del suelo, de la topografía y de la cercanía a las vías de acceso, de la disponibilidad de agua y acceso a los canales de mercadeo. Estos usos van desde el intensivo (como el cultivo del arroz y del café) con altas inversiones por unidad de área, con una importante incorporación de tecnología y mano de obra; hasta los usos pasivos del suelo (como en aquellos predios donde por procesos recesivos de la ganadería o de los cultivos, permiten a los suelos su recuperación natural, en la formación de rastrojos y bosque secundario)

3.1.2.2. Revisión de la Información Existente

El río Villavieja fue Reglamentado por la Resolución No.063 de fecha 04 de Febrero de 1999, emanada de la Dirección General de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM, dando cobertura a un total de 183 propietarios para 48 derivaciones, posteriormente en el año 2011, se realizó una actualización de la reglamentación de la corriente y sus afluentes principales por parte de la Fundación Desarrollo de las Ingenierías y Ciencias de la Salud para la Proyección Social – FUNDISPROS.

Para realizar la actualización de la reglamentación del río Villavieja, FUNDISPROS realizó el diagnóstico de la subcuenca del río y su afluente principal el río Guaroco, en este estudio se determinó la información climatológica (precipitación, humedad relativa, temperatura, evaporación), se realizaron los balances hídricos y se aforó la corriente y sus afluentes principales, se llevó a cabo el estudio de suelo y se determinó la oferta y la demanda de agua en la subcuenca tanto para tiempo de lluvia como para tiempo seco de acuerdo a los usuarios y las actividades productivas, todo esto con el fin de actualizar finalmente la reglamentación de la corriente. La revisión de la reglamentación del río Villavieja determinó que sobre el río existen 43 derivaciones para los usuarios de la corriente.

Por otra parte, se cuenta con un monitoreo de calidad del agua realizado sobre el vertimiento de aguas residuales del municipio de Tello y sobre la fuente receptora (río Villavieja) antes y después del vertimiento en el año 2013. A continuación se resume la información secundaria más importante y que sirvió para implementar el modelo de calidad del agua QUAL2Kw.

	Uni.	Valor											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T	°C	27.3	27.5	26.9	26.5	26.7	27.0	27.4	28.1	28.3	27.3	26.3	26.4
HR	%	70	69	72	74	74	70	65	63	62	68	74	75
EV	mm	143.1	142.9	131.9	119.8	133.1	125.1	167.9	185.4	182.1	160.3	118.7	129.2
ETP	mm	152.11	142.2	144.3	133.7	142.6	144.8	158.0	173.5	172.3	153.0	127.4	133.2
PP	mm	24.46	43.2	42.8	30.4	14.5	8.80	6.93	15.2	44.0	51.7	32.9	333.8

Tabla 76. Variables climatológicas, Datos mensuales. Estación Hda. La Manila

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2010

Sitio de Aforo	coordenadas		Caudal (L/s)	Elevación (m.s.n.m)
	X	Y		
Río Villavieja (Vda. Las Juntas - Mpio. Tello).	898681	827844	925.0	1088
Qda. La Juntas (Vda. La Cabaña - Mpio.	898717	828200	282.6	1082
Río Guaroco (Vda Caballerizas Mpio Baraya).	882919	837767	243.3	472

Tabla 77. Aforos río Villavieja y principales tributarios, Agosto del 2010

Fuente: FUNDISPROS, 2010

Sitio de Aforo	Descripción	Coordenadas		Caudal (L/s)
		X	Y	
B01	Aguas Arriba Vertimiento de Tello	882410	831345.7	3531.1
B02	Aguas Abajo Vertimiento de Tello	882128.9	831430.8	3598.3
B03	Vertimiento de Tello	882301.2	831360.6	7.83

Tabla 78. Puntos de monitoreo calidad del agua, año 2013

Fuente: FUNDISPROS, 2013

3.1.2.3. Monitoreo de la Calidad del Agua

Para efectos de evaluar la calidad del agua y realizar la modelación del río Villavieja, FUNDISPROS realizó una campaña de monitoreo en enero del 2015 sobre cinco (5) puntos ubicados a lo largo del recorrido de la corriente. A continuación se detallan los puntos monitoreados, la distancia acumulada hace referencia al kilómetro sobre la corriente sobre el cual se ubicaron las estaciones de monitoreo, para efectos de la modelación se toma que el kilómetro 0 es la desembocadura del río Villavieja en el río Magdalena.

Sitio de Aforo	Descripción	Coordenadas		Altura (m.s.n.m)	Distancia Acumulada (Km)
		X	Y		
A01	Antes del primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011)- bocatoma canal principal predio Los Andes- Vda. La Urraca-San Andrés (Tello)	898718.14	827829.1	1113	48.85
A02	Antes de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello.	890822.0	829332.7	765	36.65
A03	Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello.	882067.4	831638.4	553	26.27
A04	Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello.	881722.8	831768.0	555	25.90
A05	Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.	871268.2	845042.0	375	0.52

Tabla 79. Puntos de monitoreo calidad del agua, Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

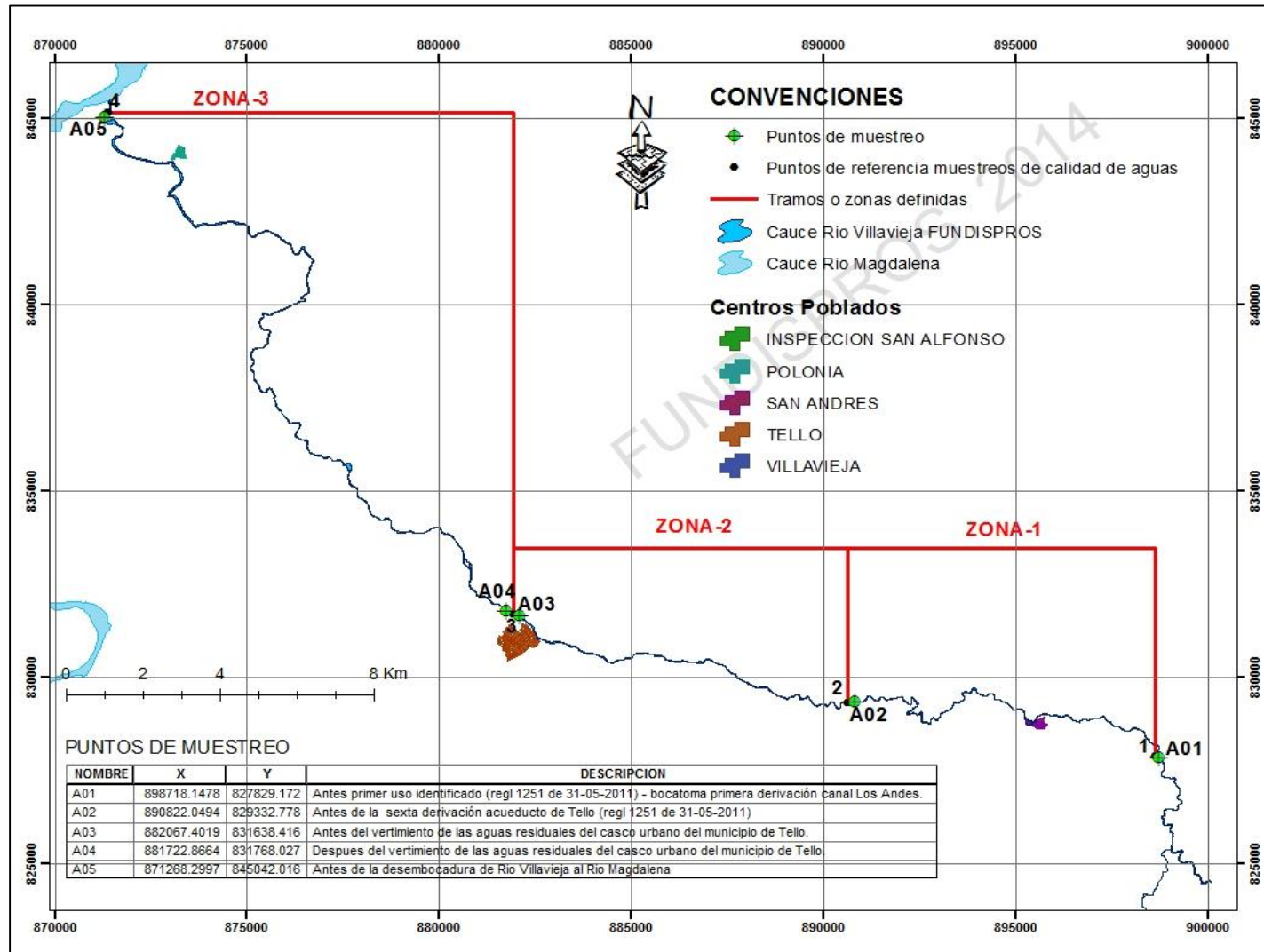


Figura 28. Ubicación de los puntos de Monitoreo sobre el Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la campaña de monitoreo realizada se evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que permitieron implementar el modelo de calidad del agua QUAL2Kw. Los resultados de los parámetros medidos in situ y los resultados de los parámetros determinados en el laboratorio se presentan 3.1.4 y 3.1.5 del presente documento.

Para efectos de la modelación, se tiene en cuenta que al modelo QUAL2Kw se deben ingresar valores de DBO última, se asumió una constante cinética para la DBO (K_{DBO}) igual a 0.22 d^{-1} , ya que de acuerdo a la literatura este valor oscila entre 0.05 y 0.3 d^{-1} (Pelletier et.al., 2004). A partir de los valores de DBO5 filtrada se calcularon los valores de DBO rápida que deben ingresarse al modelo, en el caso de la DBO lenta, no se contó con la medición del carbono orgánico disuelto, por lo cual se asumió que dadas las características de la corriente la DBO lenta se puede aproximar a cero. Para el caso del detritus, se asumió de acuerdo a la literatura que los sólidos suspendidos volátiles (SSV) representan el 83.33% de los sólidos suspendidos totales (SST), posteriormente se determinó que la DBO última de los SSV es igual a los detritus. A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas y se resumen los resultados.

$$DBO_{u\text{Total}} = DBO_{u\text{Detritus}} + DBO_{u\text{rápida}} + DBO_{u\text{Lenta}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$DBO_{u\text{Total}} = \frac{DBO_5}{1 - e^{-k*5}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$DBO_{u\text{Filtrada}} = \frac{DBO_5\text{ Filtrada}}{1 - e^{-k*5}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$DBO_{u\text{Rápida}} = DBO_{u\text{filtrada}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$DBO_{u\text{SSV}} = g \frac{SSV}{L} * \frac{40g\text{ C}}{g\text{ SSV}} * \frac{2.69g\text{ O}_2}{g\text{ C}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$DBO_{u\text{Detritus}} = DBO_{u\text{SSV}} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$DBO_{u\text{Lenta}} = 0 \quad \text{Ecuación 9}$$

Sitio de aforo	DBO ₅ Filtrada (mg/L)	SSV (mg/L)	DBO _u Rápida (mg/L)	DBO _u Detritus (mg/L)	DBO _u Lenta (mg/L)
A01	7	8.33	10.49	0.90	0.0
A02	1	22.50	1.50	2.42	0.0
A03	14	17.50	20.99	1.88	0.0
A04	10	16.67	14.99	1.79	0.0
A05	8	17.50	11.9	1.88	0.0

Tabla 80. Determinación de DBO rápida, lenta y Detritus
 Fuente: FUNDISPROS, 2014



3.1.2.4. Identificación de fuentes puntuales y difusas

El recorrido que realiza el río Villavieja desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Magdalena es de 52.7 Km, se identificaron aproximadamente 17 tributarios, sin embargo, debido a las condiciones de la zona de estudio, la mayoría de estos tributarios son corrientes menores que permanecen la mayor parte del año sin caudal. Al modelo de calidad del agua se ingresó la información de los dos tributarios principales del río Villavieja y sobre los cuales FUNDISPROS realizó aforos en el año 2010 como se detalló anteriormente (Quebrada Las Juntas y río Guaroco). En cuanto a captaciones de caudal sobre la corriente, de acuerdo a la actualización de la reglamentación del río Villavieja realizada por FUNDISPROS en el año 2011, existen 43 captaciones a las cuales se les concesionó un caudal en tiempo seco y un caudal en tiempo de lluvia. Teniendo en cuenta que el monitoreo de calidad del agua sobre el río Villavieja se realizó en el mes de enero del 2014, al modelo de calidad se ingresó la información de caudal concesionado para tiempo seco. En el caso de los vertimientos que se realizan directamente sobre el río, se identificaron 45 vertimientos provenientes de distintas actividades productivas, los cuales se encuentran aforados pero no fueron caracterizados mediante análisis físico-químicos. Finalmente, para la implementación del modelo de calidad del agua se despreció el aporte directo de fuentes difusas. A continuación se presentan los datos descritos anteriormente y que fueron ingresados al modelo como fuentes puntuales, la distancia acumulada hace referencia al kilómetro sobre la corriente sobre el cual se ubica cada fuente puntual.

Nombre	Coordenadas		Altitud	Distancia Acumulada
	X	Y		
Quebrada Guadualeja	899148	827221	1156	49.92
Quebrada Juntas	898710	828147	1117	48.41
Quebrada Canoas	895841	828993	967	44.85
Quebrada La Estrella	895065	829153	934	43.75
Quebrada El Cerro	894778	829289	933	43.36
Quebrada El Vergel	891195	829482	785	37.11
Quebrada La Sierra	887275	830352	663	32.21
Quebrada El Limón	883963	830639	585	28.61
Quebrada Los Carbones	882960	830942	568	27.51
Quebrada Ovejas	882634	831026	563	27.17
Quebrada Malpaso	879107	833900	499	21.74
Río Guaroco	876652	841054	414	9.85
Quebrada El Vilivil	874931	842164	398	7.03
Quebrada Lindero	872983	842932	391	4.55
Quebrada Seca	873233	843235	389	4.13
Quebrada El Caucho	873024	843858	386	3.37
Quebrada El Tigre	872018	843978	387	2.32

Tabla 81. Tributarios del Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Para el ingreso al modelo de la caracterización físico-química de los tributarios, se asumió la caracterización físico-química de la estación de monitoreo sobre el río Villavieja más cercana a su desembocadura en el mismo, esto teniendo en cuenta que no se contó con información de campo para los tributarios.

Nombre	ID	Coordenadas		Altitud	Distancia Acumulada	Caudal Tiempo
		X	Y			
Primera Derivación _Canal los Andes	D1	899051	825402	1282	48.71	8.3
Segunda Derivación	D2	898630	827871	1114	47.89	2.38
Tercera Derivación _Canal la Primavera	D3	898355	828449	1082	47.53	5.25
Cuarta Derivación _Canal el Porvenir	D4	898097	828644	1080	46.83	1.4
Quinta Derivación _Acueducto San Andrés Tello	D5	897507	828708	1034	45.25	5.44
Sexta Derivación _Acueducto Mpio Tello	D6	896212	828935	979	36.42	41.87
Séptima Derivación _Canal Plan del Salto	D7	890613	829314	762	34.31	28
Octava Derivación _Canal Vega de Los Rosos	D8	889017	829415	712	33.58	2.25
Novena Derivación _Boca del Potrero	D9	888416	829723	694	32.43	23.39
Décima Derivación _Canal Boca del Potrero	D10	887463	830245	668	32.24	1.1
Décima Primera Derivación _Canal La Esperanza	D11	887306	830343	666	31.84	32.25
Décima Segunda Derivación _Canal La Esperanza	D12	886935	830477	651	31.47	17.5
Décima Tercera Derivación _Canal San Miguel	D13	886599	830401	650	30.72	80.92
Decima Cuarta Derivación _Canal La Paz	D14	885880	830492	631	29.85	0
Décimo Quinta Derivación _Canal Guasimal	D15	885063	830606	617	29.55	51.73
Décimo Sexta Derivación _Canal La Aurora	D16	884809	830481	607	29.53	70.37
Décimo Séptima Derivación _Canal La Palma	D17	884788	830471	607	28.17	6.4
Décimo Octava Derivación _Canal San Lorenzo	D18	883580	830795	581	28.05	109.54
Décimo Novena	D19	883474	830834	580	26.44	77

Derivación _Canal Alta Gracia						
Vigésima Derivación _Canal Tundama	D20	882145	831570	564	26.43	88.8
Vigésima Derivación _Bombeo La Paz	D21	882188	831537	557	26.38	97.27
Vigésima Segunda Derivación Canal El Triunfo	D22	882192	831534	554	25.30	10.2
Vigésima Tercera Derivación _Canal La Compañía	D23	881268	832104	545	24.59	96.75
Vigésima Cuarta Derivación _Canal Santa Lucía 1	D24	880771	832507	534	24.50	26.92
Vigésima Quinta Derivación _Canal Santa Lucía 2	D25	880811	832893	532	24.2	1.54
Vigésima Sexta Derivación _Canal Santa Lucía 3	D26	880798	832596	531	23.66	24.5
Vigésima Séptima Derivación _Canal Santa Rita 1	D27	880611	833343	516	22.71	42.05
Vigésima Octava Derivación _Canal Santa Rita 2	D28	879901	834035	515	22.59	56.16
Vigésima Novena Derivación _Canal La Isla 1	D29	880006	833998	511	21.66	1.75
Trigésima Derivación _Canal La Isla 2	D30	879021	833894	497	21.31	0.7
Trigésima Primera Derivación _Canal Mendias	D31	878737	834046	493	20.80	50
Trigésima Segunda Derivación _Canal San Joaquín	D32	878426	834239	489	18.83	115.3
Trigésima Tercera Derivación _Canal El Edén	D33	877583	835749	477	18.82	6.16
Trigésima Cuarta Derivación _Canal La Palma	D34	877576	835744	477	18.04	4.43
Trigésima Quinta Derivación _Canal San Isidro 1	D35	876969	835902	462	17.27	77.29
Trigésima Sexta Derivación _Canal San Isidro 2	D36	876505	836367	460	17.23	131.23
Trigésima Séptima Derivación _Canal Mesa Redonda	D37	876467	836373	460	16.71	28.91
Trigésima Octava Derivación _Canal El Jordán	D38	876355	836728	458	11.87	70.59
Trigésima Novena Derivación _Canal Salamina	D39	875700	839793	425	11.10	19.6

Cuadragésima Derivación _Canal San Camilo	D40	876394	840091	425	9.53	42
Cuadragésima Primera Derivación _Bombeo El Tambo	D41	872973	842985	388	4.49	2.14
Cuadragésima Segunda Derivación _San Cristóbal	D42	872978	842996	388	4.48	140
Cuadragésima Tercera Derivación _Asoporvenir	D43	872737	843824	387	3.07	0

Tabla 82. Captaciones del río Villavieja, tiempo seco

Fuente: FUNDISPROS, 2011

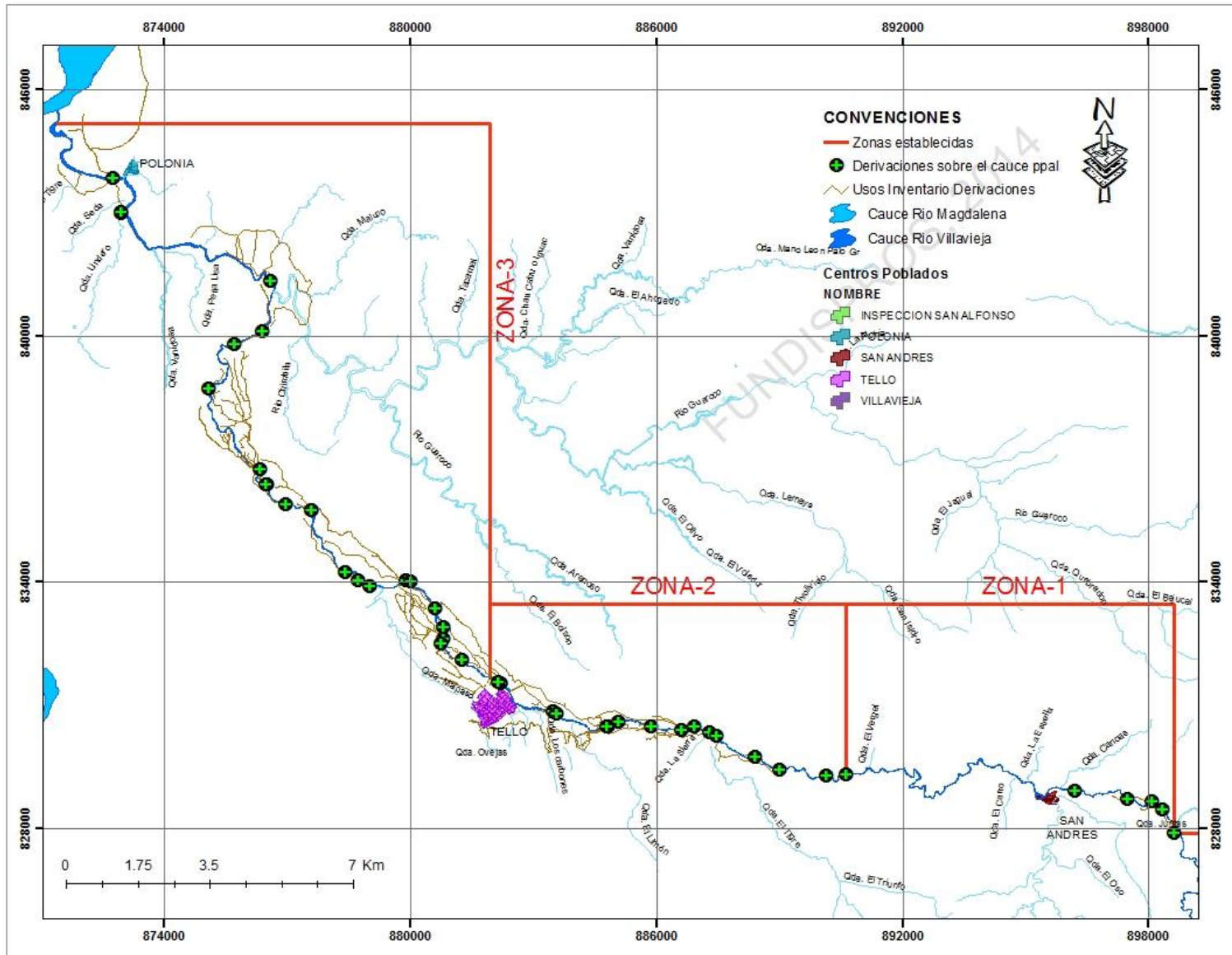


Figura 29. Localización de Derivaciones Ubicadas por Zonas
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre	Cód.	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)	Distancia Acumulada	Caudal
		X	Y			
Acueducto San Andrés	V1	896088	828925	1046	45.13	0.62
Residencial	V42	895530	828844	937	44.99	0.03
Residencial-Rural_A	V32	895531	828849	937	44.90	0
Residencial-Rural_B	V3	895512	828818	936	44.46	0.0225
Residencial-Rural_C	V2	895505	828808	936	44.45	0.045
Residencial-Rural_D	V4	895511	828807	936	44.42	0.045
Residencial-Rural_E	V6	895487	828791	938	44.41	0.015
Residencial-Rural_F	V5	895481	828785	938	44.41	0.017
Residencial-Rural_G	V43	895476	828774	938	44.40	0.015
Cdi San Andrés	V44	895466	828750	942	44.40	0.007
Residencial-Rural_H	V7	895438	828745	940	44.39	0.01
Residencial-Rural_I	V8	895416	828750	942	44.38	0.015
Residencial-Rural_J	V9	895388	828730	950	44.37	0.092
Residencial-Rural_K	V33	895355	828720	957	44.37	0.019
Matadero Veredal	V10	895327	828702	980	44.35	0
Finca Divino Niño	V11	890530	829284	802	44.32	0.022
Vertimiento De Sedimentos	V12	889748	829230	732	44.30	0
Finca Fontaine	V13	889530	889530	750	44.27	0.0092
Vertimiento Municipal-Tello	V14	881933	831677	554	44.23	10.63
Finca La Paz	V15	880728	832339	527	44.19	
Finca El Cotento	V16	875026	838552	476	36.34	0.77
Lote Contreras	V17	875256	839509	455	35.28	25.17
Lote de algodón -Polonia	V18	871241	844496	388	34.92	0.28
Finca El Establo	V35	882489	831217	560	33.76	14.23
Vertimiento Inspección-Polonia	V45	873067	843851	392	33.28	0.2
Predios Vereda San Isidro	V36	876087	837511	444	33.26	125.15
Predios Vereda San Isidro	V34	875224	838259	473	33.23	0
Lote Chagres	V24	875403	838232	437	26.90	75.3
Lote Balso 1	V19	875411	838446	451	26.14	0
Lote De Arroz-San Isidro	V20	876176	839704	421	24.72	0
Finca San Camilo	V37	875782	842438	409	23.72	0
Residencial-Rural_L	V38	895885	829003	1054	18.91	0.0138
Bodega De Cueros	V39	895460	828797	938	18.46	0
Finca Vega De Los Rosos	V41	888089	829816	673	16.67	0
Finca El Molino	V26	888596	829732	726	15.66	0.0092
Finca Vega De Los Rosos	V40	888119	829810	677	15.58	0
Finca Alta Gracia	V28	880625	833291	524	14.43	0
Finca Santa Rita	V27	877652	835751	468	14.36	137.45
San Joaquín	V29	877380	836015	472	14.07	399.12
Finca La Isla	V21	875716	837477	448	13.95	46.69
Finca El Milagro	V22	876437	836776	450	12.52	61.16
Tubería De Sedimentos	V30	895964	828952	1056	11.49	0
Residencial-Rural_M	V31	895499	828801	936	7.95	0.0069
Residencial-Rural_N	V25	895498	828801	936	3.42	0.0069
Finca Vega De Los Rosos	V23	888143	829824	682	1.55	0.0046

Tabla 83. Vertimientos al Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

La información detallada de los vertimientos identificados se presenta en el numeral 3.2 del presente documento. Para el ingreso al modelo de la caracterización físico-química de los vertimientos producto de actividades domésticas, del riego de cultivos de arroz y del lavado de sedimentadores, se recurrió a la literatura dado que no se contaba con información tomada en campo. En el caso de los vertimientos producto de los sistemas de alcantarillado se utilizó la información del monitoreo realizado en el año 2013 sobre el vertimiento de alcantarillado del municipio de Tello. A continuación se presenta la caracterización físico-química que se ingresó al modelo de acuerdo al tipo de vertimiento.

Parámetro	Unidades	Vertimiento de ARD ¹¹	Vertimiento de Riego – Cultivo de Arroz	Vertimiento de Sedimentadores
pH	Unid.	6.8	6.9	6
Conductividad	µS/cm	350	400	404
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	3	4.5	4.9
DBO Lenta	mg/L	115.2	218.8	4.69
DBO rápida	mg/L	164.8	146.9	22.9
Nitrógeno orgánico	µg/L	15000	500	1400
Nitrógeno amoniacal	µg/L	25000	500	4500
Fósforo orgánico	µg/L	3000	100	262
Fósforo inorgánico	µg/L	5000	100	38
Sólidos suspendidos inorgánicos	mg/L	36.67	16.67	75.97

Tabla 84. Caracterización de Vertimientos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.1.2.5. Definición de Constantes Hidráulicas y Cinéticas

3.1.2.5.1. Constantes Hidráulicas

En un modelo de calidad es indispensable definir en forma correcta el componente hidráulico, ya que la velocidad media de la corriente, la pendiente del tramo, el ancho y la profundidad de la sección transversal, determinan la tasa de reaireación de la corriente y por lo tanto su capacidad de autodepuración, así mismo la velocidad del flujo determinan los tiempos de viaje o de residencia de los contaminantes en el tramo (Chapra et.al., 2008).

El QUAL2Kw tiene dos opciones para definir las constantes hidráulicas como se muestra a continuación, el primer método se conoce como Rating Curves y el segundo utiliza la fórmula de Manning. La elección de cualquiera de estos métodos depende de la información con la que se cuente y la confiabilidad de la misma.

- Rating Curves:

¹¹ ARD: Aguas Residuales Domésticas

$$U = k * Q^m$$

Ecuación 10

$$H = c * Q^f$$

Ecuación 11

$$W = a * Q^b$$

Ecuación 12

$$c * k * a = 1$$

Ecuación 13

$$f + b + m = 1$$

Ecuación 14

Donde Q: caudal; U: velocidad; H: profundidad; W: ancho; k, c, a: constantes; f, b, m: coeficientes.

- **Manning Formula:**

$$Q = \frac{S_o^{1/2} A_c^{5/3}}{nP^{2/3}}$$

Donde Q: caudal; So: pendiente del fondo; Ac: área transversal; P: perímetro mojado; n: coeficiente de Manning.

Teniendo en cuenta que en el año 2010 se realizaron aforos y el levantamiento de la sección transversal en diferentes puntos sobre el río Villavieja y sus principales tributarios, se aprovechó esta información para determinar las constantes hidráulicas de la corriente mediante el método de Rating Curves. A continuación se resumen los datos de los aforos realizados:

Fuente de Aforo	Ancho (m)	Profundidad (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
Río Villavieja	2.95	0.437	0.804	0.661
Río Villavieja	2	0.162	0.121	0.282
Quebrada Las Juntas	3.3	0.184	0.283	0.421
Río Villavieja	4.8	0.358	1.366	0.68
Río Villavieja	8	0.434	1.675	0.506
Río Villavieja	9.4	0.388	1.359	0.378
Río Villavieja	6.6	0.345	1.174	0.423
Río Villavieja	6	0.414	1.107	0.429
Río Villavieja	8.1	0.358	0.569	0.155

Río Villavieja	7.3	0.338	0.398	0.154
Río Villavieja	3	0.097	0.027	0.087

Tabla 85. . Detalles de aforos realizados en el año 2010

Fuente: FUNDISPROS, 2011

A partir de la información anterior se determinaron por medio de regresiones potenciales (Rating Curves) las relaciones hidráulicas entre el caudal, la velocidad y la altura de la lámina de agua. Las relaciones hidráulicas sostenidas en las secciones, permiten expresar los parámetros por medio de las siguientes expresiones:

$$U = aQ^b \text{ Ecuación 15}$$

$$H = \alpha Q^\beta \text{ Ecuación 16}$$

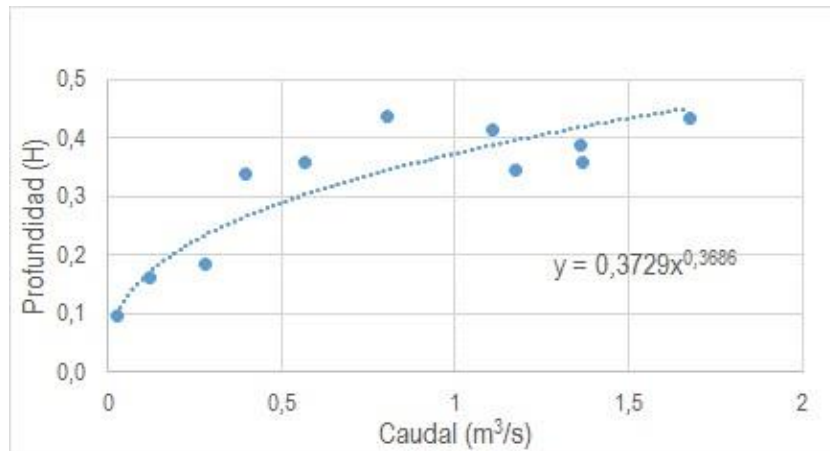
Donde a, b, α y β son coeficientes empíricos que se determinan de las curvas velocidad - caudal y de profundidad – caudal. Los valores de las constantes hidráulicas que se determinaron para el río Villavieja se presentan a continuación:

Parámetro	Valor
a	0.4162
b	0.3875
α	0.3729
β	0.3686

Tabla 86. Definición de constantes hidráulicas

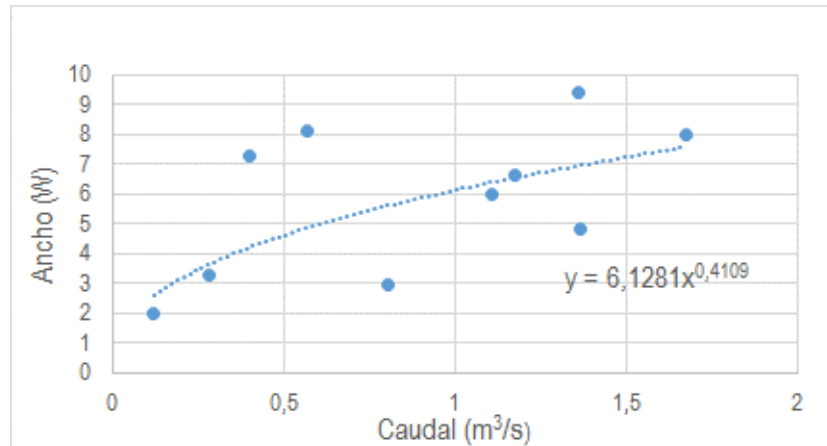
Fuente: FUNDISPROS, 2014

A continuación se presentan las gráficas con las regresiones potenciales de las curvas:

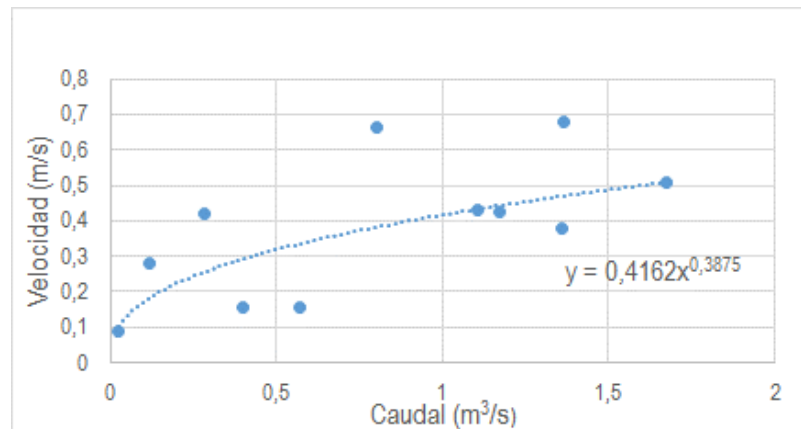


Gráfica 4. Relación Profundidad – Caudal

Fuente: FUNDISPROS, 2014



Gráfica 5. Relación Ancho – Caudal
Fuente: FUNDISPROS, 2014



Gráfica 6. Relación Velocidad – Caudal
Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.1.2.5.2. Constantes Cinéticas

El artículo 7 del Decreto 3930 del 2010 establece los siguientes parámetros mínimos a tener en cuenta para implementar los modelos de simulación de la calidad del agua con fines de ordenamiento del recurso hídrico: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, pH, temperatura, oxígeno disuelto, caudal, coliformes totales y coliformes fecales.

Teniendo en cuenta los parámetros que permite modelar el QUAL2Kw y las constantes cinéticas involucradas, así como lo que establece la norma vigente para los modelos implementados con fines de ordenamiento, se definió calibrar las constantes cinéticas de la Tabla 87.

Constantes cinéticas	Abreviación	Unidades
Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos inorgánico	VS - SSI	m/d
Tasa de hidrólisis de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa hidrólisis DBO slow	1/d
Tasa de oxidación de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa oxidación DBO- DBO slow	1/d
Tasa de oxidación de la materia orgánica de rápida degradación	T. Oxidación DBO fast	1/d
Hidrólisis de nitrógeno orgánico	Hidrólisis NO	1/d
Velocidad de sedimentación de nitrógeno orgánico	VS-NO	m/d
Tasa de nitrificación de amonio	Tasa Nitrificación	1/d
Tasa de desnitrificación de nitratos (importante cuando existen condiciones anaeróbicas)	Tasa Desnitrificación	1/d
Coefficiente de transferencia por desnitrificación de sedimentos	CT- Desnitrificación Sed.	m/d
Hidrólisis del Fósforo Orgánico	Hidrólisis PO	m/d
Velocidad de sedimentación del Fósforo Orgánico	VS - PO	1/d
Velocidad de sedimentación del Fósforo Inorgánico	VS - PI	m/d
Hidrólisis de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	Hidrólisis POM	m/d
Velocidad de sedimentación de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	Vel. Sedimentación POM	1/d

Tabla 87. Constantes cinéticas para calibración

Fuente: (SANEAR & CORPOCALDAS, 2010)

Los valores iniciales de las constantes cinéticas son los que traen el ejemplo del programa al descargarse, se revisó que los valores estuvieran en los rangos establecidos en la literatura y a partir de estos valores se inició la calibración automática del modelo.

3.1.2.6. Determinación de Variables Meteorológicas

Para la subcuenca del río Villavieja se contó con los datos meteorológicos determinados en el estudio: Revisión y actualización de las reglamentaciones de las corrientes ríos Villavieja y su afluente río Guaroco, Municipios de Tello, Baraya y Villavieja, realizado por FUNDISPROS en el año 2011. Para implementar el modelo de calidad del agua se utilizaron los datos mensuales del mes de enero para cada variable, teniendo en cuenta que la campaña de monitoreo se realizó en el mes de enero del año 2014.

VARIABLE	ENERO
Precipitación (mm)	24,46
Temperatura del aire (°C)	27,3
Humedad Relativa (%)	70
Velocidad del Viento (m/s)	2,7

Tabla 88. . Variables meteorológicas, datos mensuales

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Los valores de temperatura de rocío se determinaron a partir de la temperatura del aire y la humedad relativa. En el caso de la sombra y la nubosidad, estos datos se ingresaron de acuerdo a las observaciones realizadas en campo en cada punto de monitoreo.

3.1.2.7. Alimentación del Modelo

Como se mencionó anteriormente, para implementar el modelo QUAL2Kw en una corriente es necesario dividirla en una sucesión de pequeños subtramos o elementos computacionales que operan como reactores completamente mezclados, de esta forma, para cada elemento computacional se realiza un balance hidrológico en términos del caudal, un balance térmico en términos de la temperatura y un balance de masa en términos de concentración de cada compuesto. En la Figura 30 se presenta la segmentación por tramos que se realizó sobre el río Villavieja para alimentar el modelo de calidad, se ubican en esta segmentación las fronteras externas e internas del modelo.

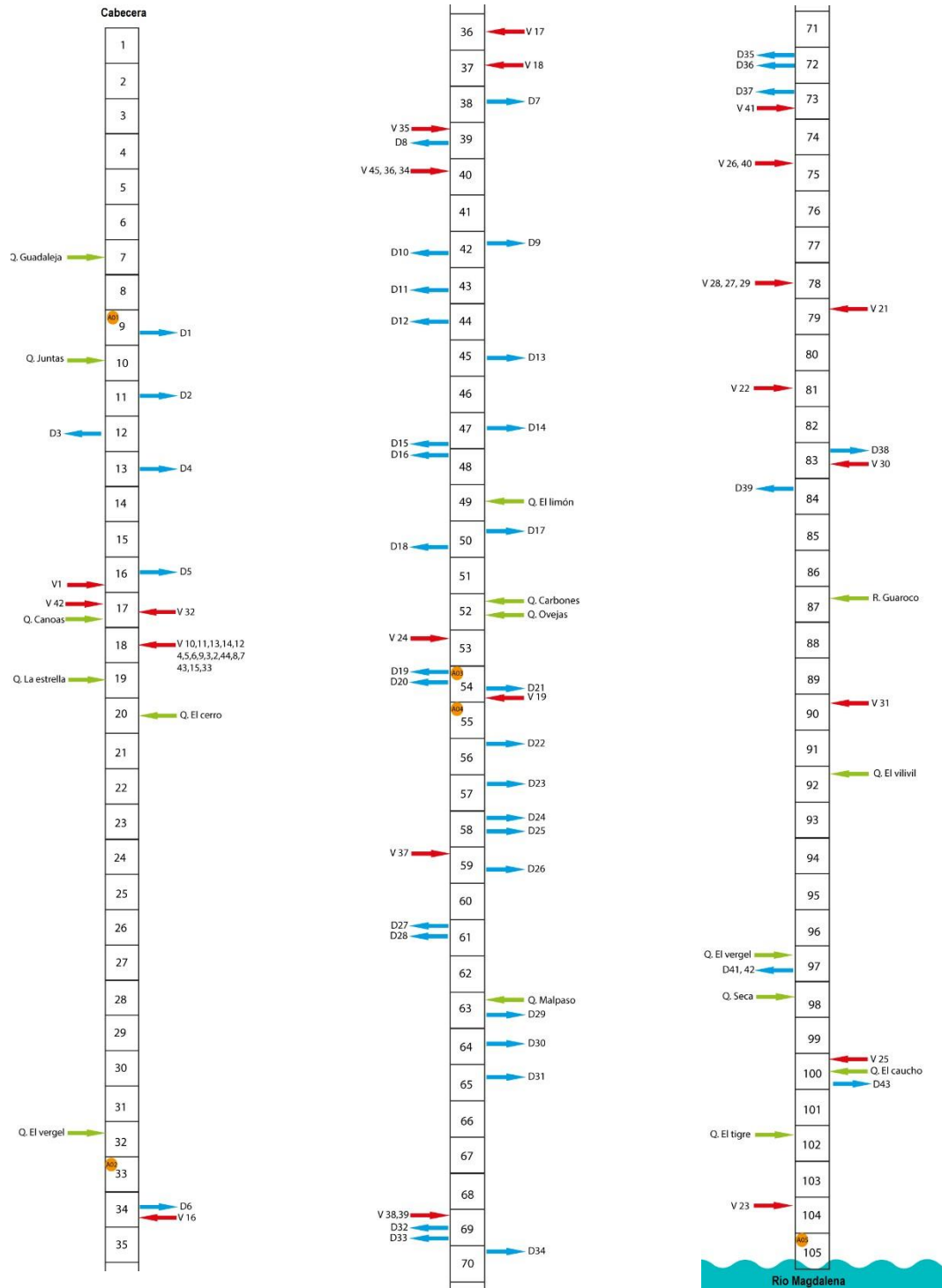


Figura 30. Segmentación y fronteras para el río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014



La información general que se alimentó en el modelo de calidad del agua QUAL2Kw es la que se describió en los ítems anteriores y se puede resumir de la siguiente forma: datos de calidad y cantidad tanto de las estaciones de monitoreo ubicadas sobre la corriente, tributarios, vertimientos y captaciones, características hidráulicas de la corriente, las constantes cinéticas y la información climatológica, entre otras consideraciones necesarias.

1	QUAL2Kw (version 5.1)		
2	Stream Water Quality Model		
3	Greg Pelletier, Steve Chapra, and Hua Tao		
4	Department of Ecology and Tufts University		
5		<input type="button" value="Open File"/>	<input type="button" value="Run VBA"/>
6			<input type="button" value="Run Fortran"/>
7	System ID:		
8	River name	Rio Villavieja	
9	Saved file name		
10	Directory where the input/output files are saved		
11	Month	1	
12	Day	19	
13	Year	2014	
14	Local standard time zone relative to UTC	-5	hours
15	Daylight savings time	Yes	
16	Simulation and output options:		
17	Calculation step	11,25	minutes
18	Number of days	3	days
19	Solution method (integration)	Euler	
20	Solution method (pH)	Newton-Raphson	
21	Simulate hyporheic exchange and pore water quality	No	
22	Display dynamic diel output	No	
23	State variables for simulation	All	
	QUAL2K	Headwater	Reach
		Reach Rates	Initial Conditions
		Air Temperature	Dew Point Temperature
	LISTO		

Figura 31, Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37 se presentan algunas de las hojas de trabajo del QUAL2Kw en las cuales se ingresó toda la información al modelo.

1 **QUAL2Kw (version 5.1)**

2 **Stream Water Quality Model** Open File Run VBA Run Fortran

3 **Greg Pelletier, Steve Chapra, and Hua Tao**

4 **Department of Ecology and Tufts University**

5

6

7 **System ID:**

8 River name	Río Villavieja
9 Saved file name	
10 Directory where the input/output files are saved	
11 Month	1
12 Day	19
13 Year	2014
14 Local standard time zone relative to UTC	-5 hours
15 Daylight savings time	Yes
Simulation and output options:	
17 Calculation step	11,25 minutes
18 Number of days	3 days
19 Solution method (integration)	Euler
20 Solution method (pH)	Newton-Raphson
21 Simulate hyporheic exchange and pore water quality	No
22 Display dynamic diel output	No
23 State variables for simulation	All

QUAL2K Headwater Reach Reach Rates Initial Conditions Air Temperature Dew Point Temperature

LISTO

1 **QUAL2Kw (version 5.1)**

2 **Stream Water Quality Model** Open File Run VBA Run Fortran

3 **Greg Pelletier, Steve Chapra, and Hua Tao**

4 **Department of Ecology and Tufts University**

5

6

7 **System ID:**

8 River name	Río Villavieja
9 Saved file name	
10 Directory where the input/output files are saved	
11 Month	1
12 Day	19
13 Year	2014
14 Local standard time zone relative to UTC	-5 hours
15 Daylight savings time	Yes
Simulation and output options:	
17 Calculation step	11,25 minutes
18 Number of days	3 days
19 Solution method (integration)	Euler
20 Solution method (pH)	Newton-Raphson
21 Simulate hyporheic exchange and pore water quality	No
22 Display dynamic diel output	No
23 State variables for simulation	All

QUAL2K Headwater Reach Reach Rates Initial Conditions Air Temperature Dew Point Temperature

LISTO

Figura 31. Hoja de trabajo del QUAL2Kw
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

1 **QUAL2Kw**
 2 **Stream Water Quality Model**
 3 **Río Villavieja (1/19/2015)**
 4 **Air Temperature Data:**

Open File Run VBA Run Fortran

Upstream Label	Reach Label	Downstream Label	Reach Number	Upstream Distance km	Downstream Distance km	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM
Cabecera			1	52.71	52.29	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			2	52,29	51,79	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			3	51,79	51,29	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			4	51,29	50,79	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			5	50,79	50,28	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			6	50,28	49,78	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			7	49,78	49,28	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			8	49,28	48,78	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
	Pto Monitoreo A01		9	48,78	48,27	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			10	48,27	47,77	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			11	47,77	47,27	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			12	47,27	46,77	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			13	46,77	46,27	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
			14	46,27	45,76	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00

QUAL2K Headwater Reach Reach Rates Initial Conditions Air Temperature Dew Point Temperature Wind Speed Cloud Cover Shade So

Figura 34. Ingreso de datos climatológicos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

1 **QUAL2Kw**
 2 **Stream Water Quality Model**
 3 **Río Villavieja (1/19/2015)**
 4 **Point Source Data:**

Open File Run VBA Run Fortran

Name	Location (km)	Point Abstraction m3/s	Point Inflow m3/s	Temperature mean °C	range/2 °C	time of max
QUEBRADA GUADUALEJA	49,92		0,0000000			
Primera Derivación_Canal los Andes	48,72	0,0083				
QUEBRADA JUNTAS	48,41		0,2742200	19,00		
Segunda Derivación	47,89	0,0024				
Tercera Derivación_Canal la Primavera	47,54	0,0053				
Cuarta Derivación_Canal el Porvenir	46,84	0,0014				
Quinta Derivación_Acueducto San Andres Tello	45,25	0,0054				
ACUEDUCTO SAN ANDRES TELLO	45,13		0,0006200	19,00		
RESIDENCIAL	44,99		0,0000300	19,00		
RESIDENCIAL-RURAL_A	44,90		0,0000000			
QUEBRADA CANOAS	44,85		0,0000000			
RESIDENCIAL-RURAL_B	44,46		0,0000225	19,0000		
RESIDENCIAL-RURAL_C	44,45		0,0000450	19,0000		
RESIDENCIAL-RURAL_D	44,42		0,0000450	19,0000		

Cloud Cover Shade Solar Light and Heat Point Sources Diffuse Sources Rates Fitness Auto-calibration wa

Figura 35. Ingreso de fuentes puntuales
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

1 **QUAL2Kw**
 2 **Stream Water Quality Model** [Open File] [Run VBA] [Run Fortran] [Run Auto-cal] [Fitness: 1,6068]
 3 **Rio Villavieja (1/19/2015)**
 4 **Global rate parameters**

Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
				Auto-cal	Min value	Max value
Stoichiometry:						
Carbon	40	gC	gC	No	30	50
Nitrogen	7,2	gN	gN	No	3	9
Phosphorus	1	gP	gP	No	0,4	2
Dry weight	100	gD	gD	No	100	100
Chlorophyll	1	gA	gA	No	0,4	2
Inorganic suspended solids:						
Settling velocity	1,59922	m/d	v_i	Yes	0	2
Oxygen:						
Reaeration model	O'Connor-Dobbins			f(u h)		
Temp correction	1,024		θ_a			
Reaeration wind effect	None					
O2 for carbon oxidation	2,69	gO ₂ /gC	r_{oc}			
O2 for NH4 nitrification	4,57	gO ₂ /gN	r_{on}			
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential					

Ready

Figura 36. Ingreso de constantes cinéticas
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

1 **QUAL2Kw**
 2 **Stream Water Quality Model** [Open File] [Run VBA] [Run Fortran]
 3 **Rio Villavieja (1/19/2015)**
 4 **Water Quality Data:**

Distance km	Cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO (mgO ₂ /L)	CBODs (mgO ₂ /L)	CBODf (mgO ₂ /L)	Norg (ugN/L)	NH4 (ugN/L)	NO3 (ugN/L)	Porg (ugN/L)	Inorg P (ugP/L)
9	48,85	100,00	1,67	7,80	0,00	10,49	50,0	852,00	836,00	70,00
10	36,65	162,00	4,50	7,60	14,07	1,50	59,0	736,00	366,00	70,00
11	26,27	239,90	3,50	7,90	1,11	20,99	50,0	500,00	1630,00	70,00
12	25,90	251,40	3,33	7,30	2,70	14,99	63,0	794,00	1640,00	70,00
13	0,52	442,00	3,60	6,70	4,11	11,99	50,0	1490,00	1360,00	26,00

Ready

Figura 37. Ingreso de datos de calidad del agua en los puntos de muestreo
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.1.2.8. Calibración

Antes de iniciar la calibración del modelo de calidad, se definió el modelo de reaireación que más se ajustaba a las características de la corriente, para esto, se ensayaron todos los modelos que se describieron en la Tabla 75, hasta encontrar que el modelo O'Connor-Dobbins es el que mejor se ajustaba.

Teniendo en cuenta que el QUAL2Kw realiza la calibración automática de las constantes cinéticas mediante algoritmos genéticos para obtener un margen de error mínimo entre los datos medidos en campo y los datos simulados por el modelo, se seleccionó la función objetivo recomendada por Kannel et. Al y Pelletier et al. Que se presenta a continuación.

$$f(x) = \left[\sum_{i=1}^q W_1 \right] \left[\sum_{i=1}^q \frac{1}{W_1} \left[\frac{\frac{\sum_{j=1}^m O_{ij}}{m}}{\left[\frac{\sum_{j=1}^m (P_{i,j} - O_{i,j})^2}{m} \right]^{1/2}} \right] \right]$$

Ecuación 17

Donde: O_{ij} es el valor observado, P_{ij} es el valor predicho por el modelo, m es el número de pares de valores observados y predichos, w_i es el factor de peso y q es el número de variables de estado.

El peso asignado a cada variable se definió de acuerdo a la importancia del parámetro en la modelación y a la confiabilidad del dato, por esta razón variables como conductividad, oxígeno disuelto, pH y sólidos suspendidos totales, tuvieron pesos más altos que las otras variables fisicoquímicas.

La función objetivo se programó en la hoja de trabajo "Fitness" del programa y se enlazó al algoritmo genético y las constantes cinéticas a calibrar en la hoja de trabajo "Rates". En el algoritmo genético los valores de velocidad de mutación inicial, velocidad de mutación mínima y máxima, y el número de dígitos para codificar el genotipo correspondieron a los valores que trae el ejemplo del programa. Se seleccionó una población de 10 y un número de generaciones de 10 con el fin de disminuir el tiempo de cálculo. En la Tabla 89 se resumen los datos del AG utilizado para la calibración.

Auto-calibration genetic algorithm control:		
Random number seed	123456	seed
Model runs in a population (<=512)	10	np
Generations in the evolution	10	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	pmutmn
Maximum mutation rate (0-1):	0.25	pmutmx
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

Tabla 89. Algoritmo genético para calibración

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Una vez se ingresó al modelo toda la información de la campaña de monitoreo seleccionada para la calibración, se programó la función objetivo, se seleccionaron las constantes cinéticas a calibrar y se definieron los parámetros del algoritmo genético, se ejecutó la opción “Run Auto-cal” del modelo. Al finalizar la calibración se obtuvieron las gráficas con los resultados para los parámetros modelados.

3.1.2.9. Planteamiento de Escenarios

Una de las mayores utilidades de los modelos matemáticos de simulación está determinada por su capacidad predictiva, siendo esta la capacidad del modelo de describir otras series de tiempo sin que se requiera el ajuste de alguno de los parámetros calibrados. Con el objetivo de comparar el nivel de asimilación y/o depuración de los parámetros más representativos de la calidad del agua en el río Villavieja ante escenarios futuros probables, se formularon tres posibles situaciones y se ingresaron al modelo de calidad para predecir la respuesta de la corriente.

El primer escenario formulado corresponde a la necesidad de implementar buenas prácticas agrícolas y respetar las determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes, de tal forma que se realice la demarcación de las áreas de retiro, lo anterior, teniendo en cuenta la gran cantidad de cultivos de arroz, cacao y algodón existentes en la zona de estudio, los cuales canalizan sus aguas residuales y las conducen hasta el cauce principal del río Villavieja. El segundo escenario contempla tanto la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento del municipio de Tello como la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado Polonia (Villavieja), ya que actualmente estas aguas residuales son recolectadas por los sistemas de alcantarillado y se vierten directamente al cauce principal sin ningún tipo de tratamiento. Finalmente, el tercer escenario contempla la posibilidad que en un periodo de 20 años no se hayan construido las plantas de tratamiento pero la población haya aumentado de acuerdo a las proyecciones. En la Figura 38 se resumen los escenarios formulados y que fueron ingresados al modelo.

ESCENARIO 1



Implementación de buenas prácticas agrícolas y determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes.

ESCENARIO 2



Construcción PTAR Municipio de Tello+
Construcción PTAR Municipio de Polonia.

ESCENARIO 3



No se han construido las PTAR's en un periodo de 20 años.

Figura 38. Descripción de Los Escenarios
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Las buenas prácticas agrícolas se encuentran consignadas en las guías ambientales para cada sector productivo, en estas guías se incentiva la producción agrícola a partir de procesos productivos más sostenibles con menor afectación al medio ambiente. La afectación del río Villavieja por las actividades agrícolas asociadas a los cultivos de arroz, cacao y algodón existentes en la zona, se debe principalmente a la contaminación de suelos y agua con agroquímicos, la erosión por pérdida de cobertura vegetal, la contaminación del agua con algunos residuos sólidos y la reducción del caudal del agua por métodos de riego inadecuados, por este motivo, el escenario formulado contempla la implementación de medidas que controlen o mitiguen los anteriores impactos, de tal forma que la concentración de contaminantes en los vertimientos actuales se pueda reducir por lo menos al 50%. Por otra parte, las determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes que permitan la demarcación de las áreas de retiro, será determinada con base en estudios técnicos, ambientales y socioeconómicos adoptados por el Ministerio de Ambiente. En el caso del río Villavieja, se determinó que el área mínima de retiro de los cultivos a la corriente debe ser de 15 metros, lo anterior teniendo en cuenta que la corriente es de orden de drenaje 1.

La construcción de las PTAR's supone una importante mejora en la calidad de los vertimientos de estos dos municipios, por lo cual para ingresar los escenarios al modelo, se asumió una posible caracterización de acuerdo a la resolución 631 de 2015, dado que en su artículo 8 establece los valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas (ARD) y de las aguas residuales (ARD-ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales. Se determinó la carga de DBO₅ en Kg/día para el municipio de Tello y el Centro Poblado Polonia (Villavieja), a partir de los datos de caudal y concentración de DBO₅ de los dos vertimientos como se presenta a continuación:

$$Carga = [DBO_5] * Caudal * 0,0864$$

Donde: Carga (Kg/día), DBO₅ (mg/L), Caudal (L/s)

PARAMETRO	MUNICIPIO DE TELLO	CENTRO POBLADO DE POLONIA (VILLAVIEJA)
DBO ₅	576,8	576,8
Caudal	10,63	0,2
Carga	576,75	9,97

Tabla 90. Calculo carga contaminante

Fuente: FUNDISPROSM 2014

Como se observa, se encontró que tanto el municipio de Tello como el Centro Poblado de Polonia tienen una carga inferior a 625 Kg/día, por lo cual se tomaron los siguientes valores de acuerdo a la normativa:

Parámetro	Valor límite permitido	Unidades
DBO5	90	mg/l O ₂
DQO	180	mg/l O ₂
SST	90	mg/l

Tabla 91. Límites máximos permisibles para vertimientos en PTAR´s
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

En el caso del tercer escenario, se determinó la proyección de la población y los caudales asociados para ambos municipios a partir de las especificaciones del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) como se presenta a continuación:

Proyección población - Método geométrico:

$$Pf = Pi (1 + 0,01)^n$$

Donde Pf es la población futura, Pi es la población del año inicial, n son los años de proyección.

Caudal Proyectado:

$$Q = \frac{D * Pf * R * K}{86400}$$

Donde: Q es el caudal proyectado, D es la dotación neta, Pf es a población proyectada, R es el factor de retorno, K es el factor de mayoración.

Descripción	Municipio de Tello	Municipio de Villavieja
Población actual (hab)	6627*	580**
Años de proyección	20	20
Población proyectada (hab)	8086	708
Nivel de complejidad	Medio	Bajo
Dotación (L/hab.día)	125	100
Factor retorno	0.8	0.8
Factor mayoración	1.3	1.3
Caudal (L/s)	12.17	0.85

Tabla 92. Información para tercer escenario

Fuente: * DANE. Resultados y proyecciones 2005 -2020; ** Alcaldía Municipal de Villavieja Huila

La caracterización de los vertimientos para el tercer escenario se determinó a partir los valores promedio de aportes de carga contaminante por habitante por día ajustados para Colombia que se encuentran en la literatura (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012), a continuación se presentan los datos mencionados.

Parámetro	Aporte de 1 habitante equivalente	Unidades
DBO5	60	g(hab/día)
DQO	135	g(hab/día)
SST	90	g(hab/día)
N	10	g(hab/día)
P	4	g(hab/día)

Tabla 93. Aportes de carga contaminante por habitante y por día para Colombia

Fuente: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012

3.1.2.10. Resultados y Análisis

3.1.2.10.1. Calibración del Modelo mediante algoritmo Genético

La calibración del modelo de calidad de agua mediante el algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et. Al y Pelletier et al., permitió determinar las constantes cinéticas que se adaptan mejor para el río Villavieja. En la Tabla 94 se presenta las constantes cinéticas calibradas para la corriente.

Constante Cinética	Abreviación	Unidades	Rango de calibración	Calibración río Villavieja
Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos inorgánicos	VS – SSI	m/d	0 – 2	1.59
Tasa de hidrólisis de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa hidrólisis DBO slow	1/d	0 – 5	0.09
Tasa de oxidación de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa oxidación DBO- DBO slow	1/d	0 – 0,5	0.04
Tasa de oxidación de la materia orgánica de rápida degradación	T. Oxidación DBO fast	1/d	0 - 5	4.49
Hidrolisis de nitrógeno orgánico	Hidrolisis NO	1/d	0 - 5	4,92
Velocidad de sedimentación de nitrógeno orgánico	VS-NO	m/d	0 - 2	0,32
Tasa de Nitrificación de amonio	Tasa nitrificación	1/d	0 - 10	9,89
Tasa de desnitrificación de nitratos (importante cuando existen condiciones anaeróbicas)	Tasa nitrificación	1/d	0 - 2	0,52
Coefficiente de transferencia por desnitrificación de sedimentos	CT-Desnitrificación Sed.	m/d	0 - 1	0,24
Hidrólisis del Fósforo Orgánico	Hidrólisis PO	m/d	0 - 5	4,56
Velocidad de sedimentación del Fósforo Orgánico	VS – PO	1/d	0 - 2	0,27
Velocidad de sedimentación del Fósforo Inorgánico	VS – PI	m/d	0 - 2	1,97

Hidrólisis de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	Hidrólisis POM	m/d	0 – 5	1.326
Velocidad de sedimentación de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	Vel. Sedimentación POM	1/d	0 – 5	0.023

Tabla 94. Constantes calibradas para el río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Teniendo en cuenta la naturaleza de la modelación, los datos recopilados en campo y las constantes cinéticas calibradas, se presentan a continuación los resultados de la calibración del modelo para los parámetros más representativos medidos in situ y los parámetros de calidad más relevantes para evaluar determinados en el laboratorio. Los resultados para los otros parámetros que permite modelar el QUAL2Kw se pueden observar en su totalidad en el archivo Cal_.Rio_Villavieja.exe (ANEXO 5)

En las gráficas que se observan a continuación la línea continua representa la predicción que realiza el modelo, mientras que los puntos representan los datos medidos en campo a lo largo de la corriente durante la campaña de monitoreo.

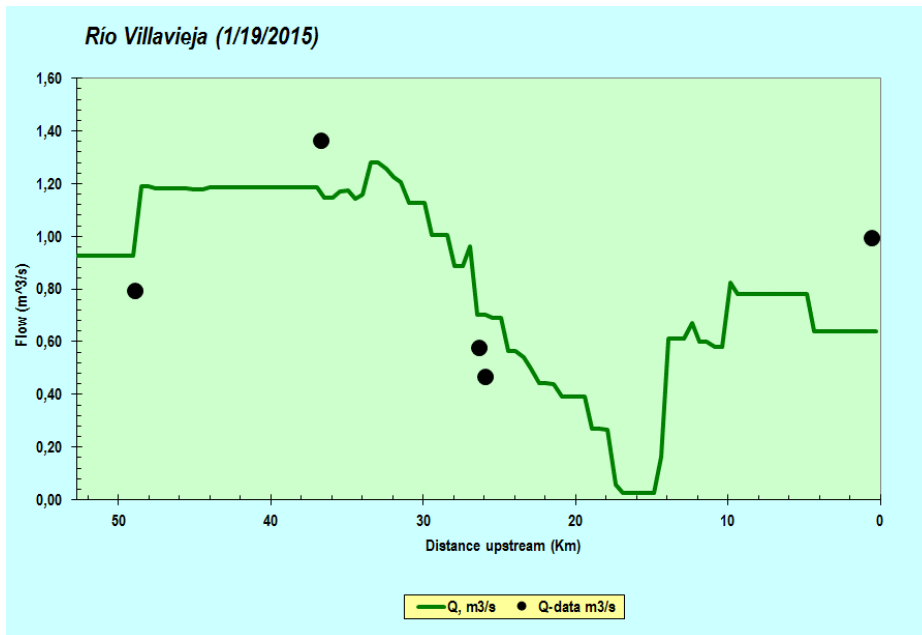


Figura 39. Calibración del caudal
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

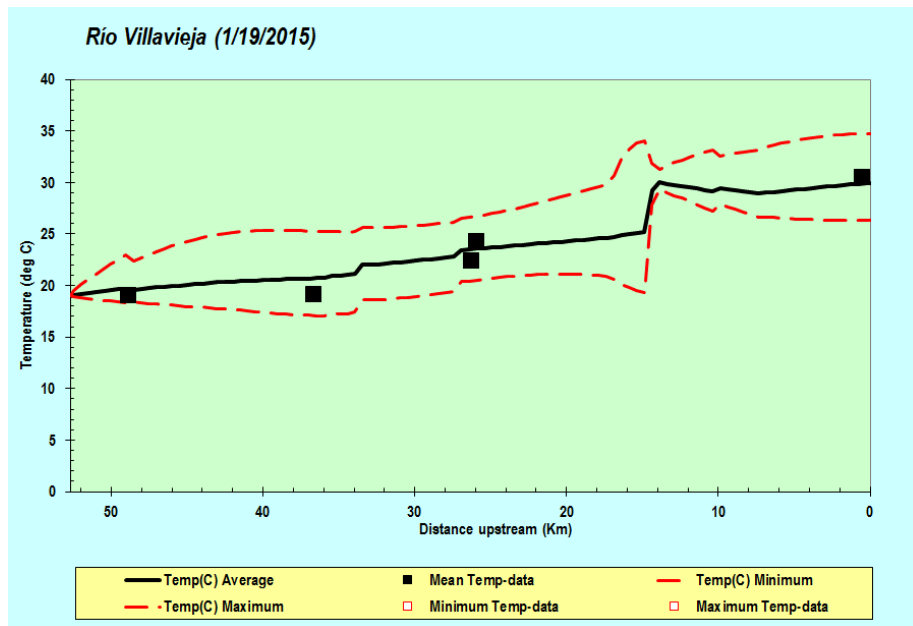


Figura 40. Calibración de la Temperatura
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

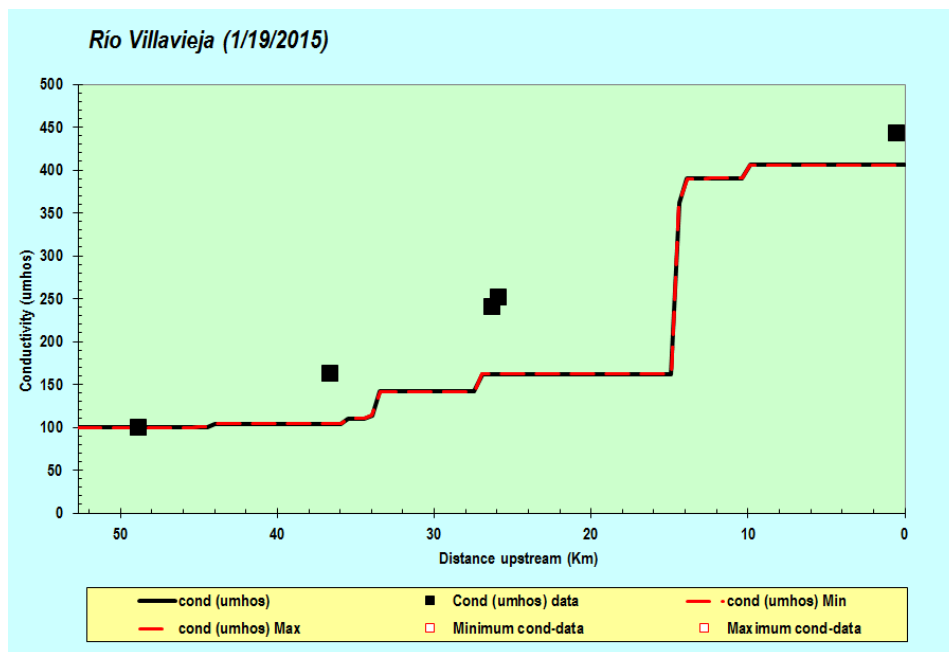


Figura 41. Calibración de la Conductividad
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

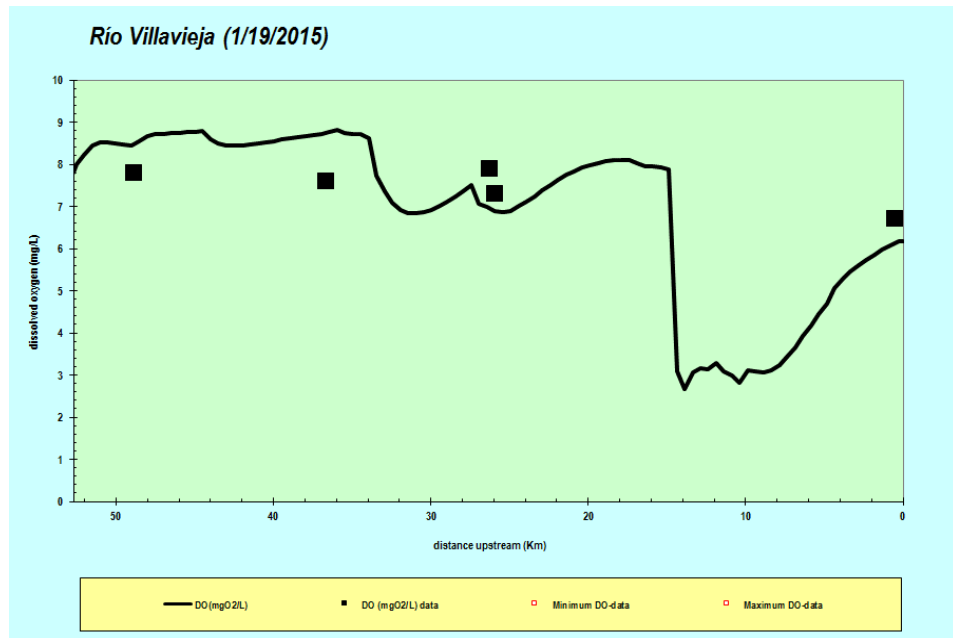


Figura 42. Calibración del Oxígeno Disuelto
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

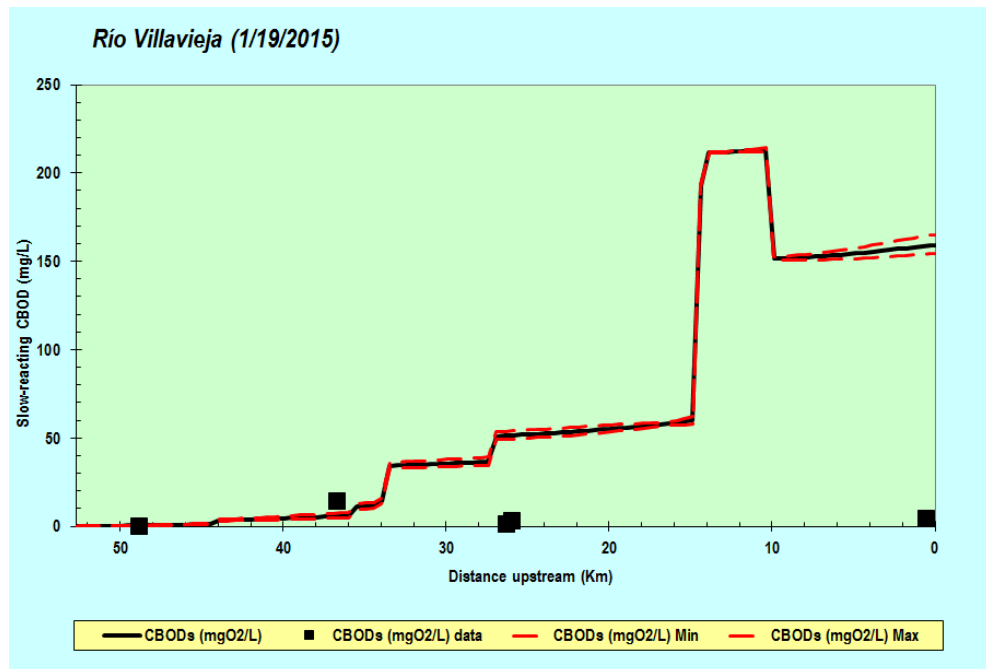


Figura 43. Calibración DBO Lenta
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

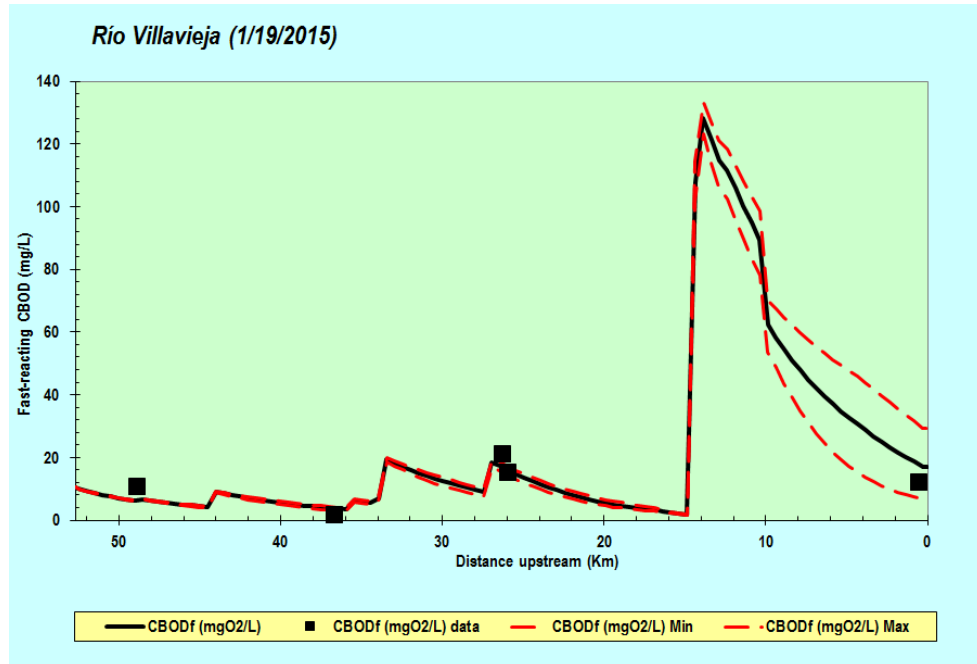


Figura 44. Calibración DBO Rápida
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

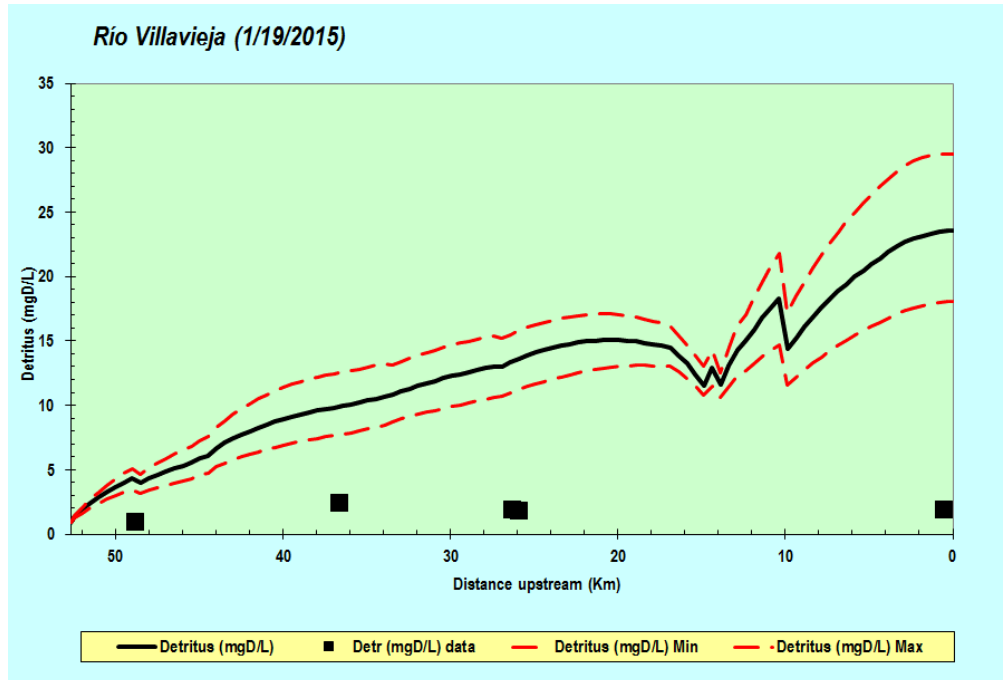


Figura 45. Calibración del detritus
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

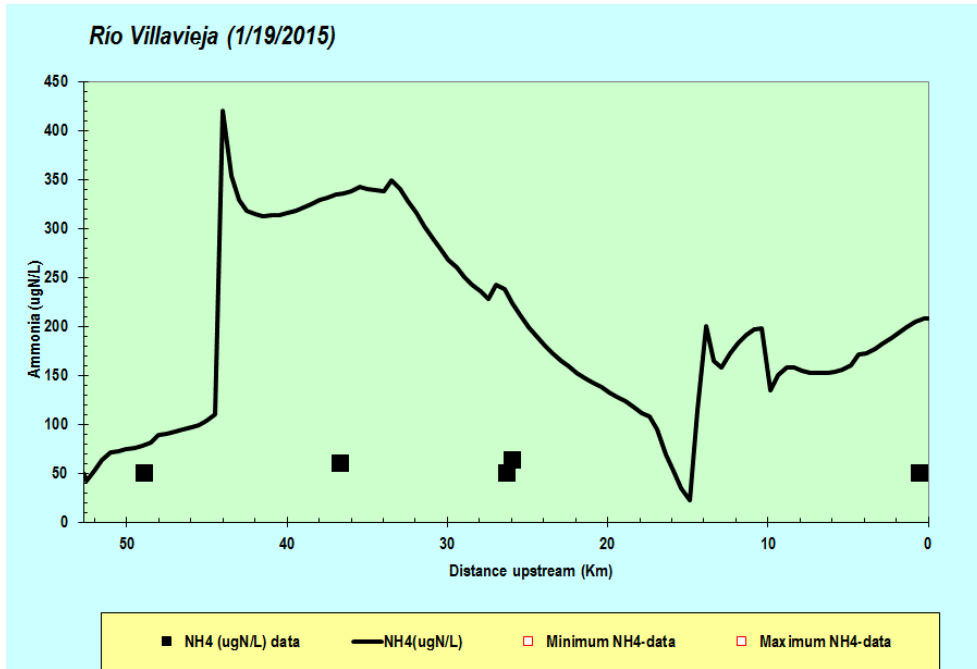


Figura 46. Calibración del Nitrógeno Amoniacal
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

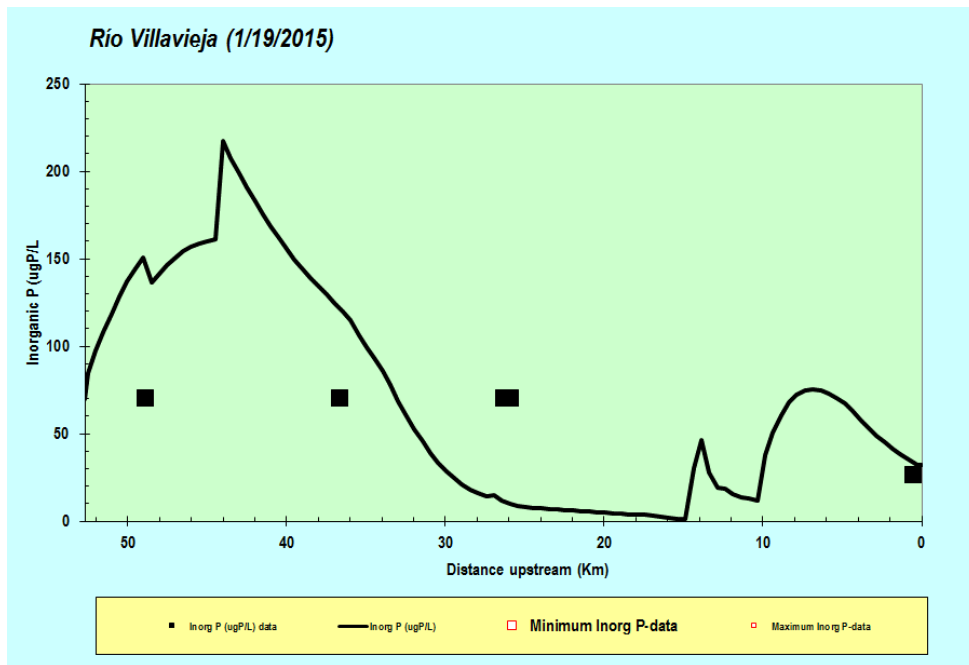


Figura 47. Calibración del Fosforo Inorgánico
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

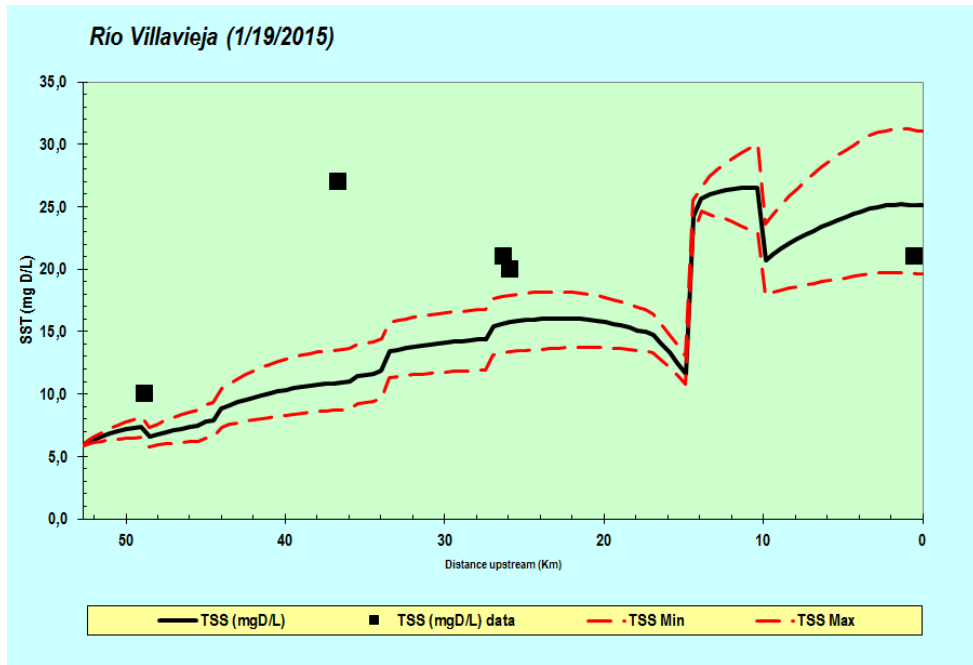


Figura 48. Calibración SST
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

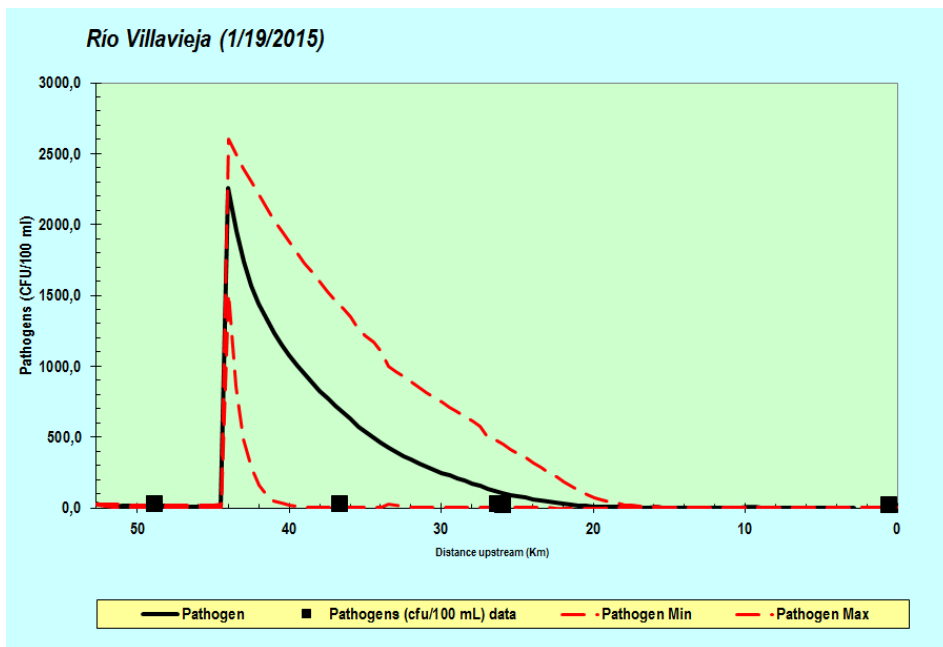


Figura 49. Calibración de Los Patógenos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

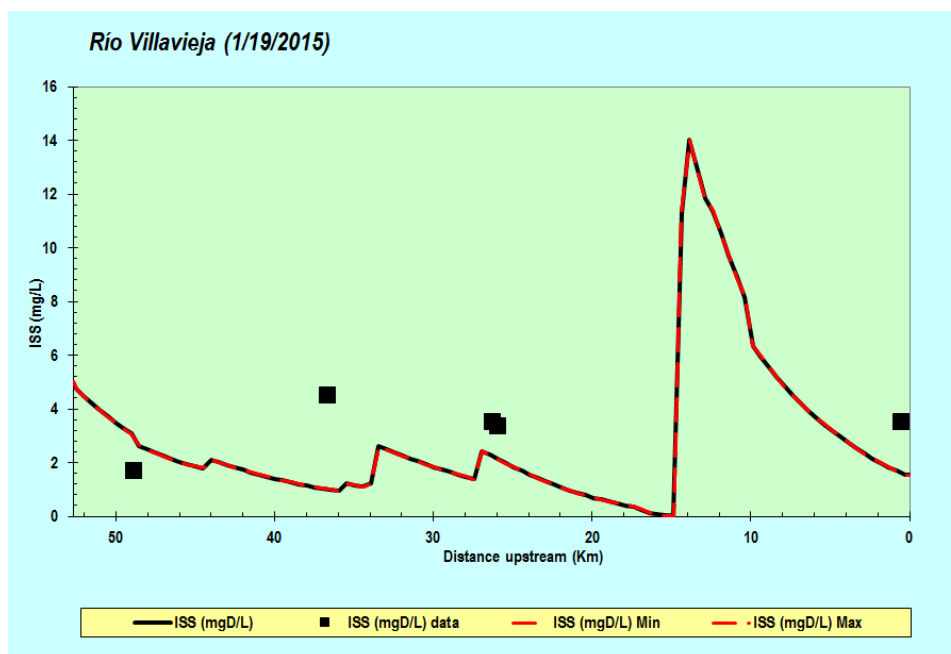


Figura 50. Calibración SSI
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Tabla 95 se resumen los datos medidos en campo y los resultados del modelo para los puntos de monitoreo sobre el río Villavieja.

PARAMETRO	PUNTO MONITOREO	VALORES CAMPO	VALORES SIMULADOS
Caudal (m3/s)	A01 (48.845Km)	0.79	0.93
	A02 (36.649 Km)	1.36	1.15
	A03 (26,274 Km)	0.57	0.70
	A04 (25.899 Km)	0.46	0.691
	A05 (0.524 Km)	0.99	0,64
Temperatura (°C)	A01 (48.845Km)	19.00	19.69
	A02 (36.649 Km)	19.10	20.70
	A03 (26,274 Km)	22.40	23.50
	A04 (25.899 Km)	24.20	25.43
	A05 (0.524 Km)	30.50	0.29
Conductividad (µS/cm)	A01 (48.845Km)	100.00	100.00
	A02 (36.649 Km)	162.00	104.01
	A03 (26,274 Km)	239.9	162.09
	A04 (25.899 Km)	251.4	162.09
	A05 (0.524 Km)	442.00	405.69
OD (mg/L)	A01 (48.845Km)	7.80	8.48
	A02 (36.649 Km)	7.60	8.78
	A03 (26,274 Km)	7.90	6.78
	A04 (25.899 Km)	7.30	6.6
	A05 (0.524 Km)	6.70	5.42

DBO Fast (mg/L)	A01 (48.845Km)	10.49	6,19
	A02 (36.649 Km)	1.50	3.75
	A03 (26,274 Km)	20.99	17.08
	A04 (25.899 Km)	14.99	14.43
	A05 (0.524 Km)	11.99	16.23
SST (mg/L)	A01 (48.845Km)	10.00	6.59
	A02 (36.649 Km)	27.00	8.41
	A03 (26,274 Km)	21.00	12.27
	A04 (25.899 Km)	20.00	12.25
	A05 (0.524 Km)	21.00	18.67
Nitrógeno Amoniacal (µg/L)	A01 (48.845Km)	50.00	46.05
	A02 (36.649 Km)	59.00	176.01
	A03 (26,274 Km)	50.00	108.33
	A04 (25.899 Km)	63.00	82.00
	A05 (0.524 Km)	50.00	59.13
Fósforo inorgánico (µg/L)	A01 (48.845Km)	70.00	142.45
	A02 (36.649 Km)	70.00	94.83
	A03 (26,274 Km)	70.00	7.78
	A04 (25.899 Km)	70.00	5.67
	A05 (0.524 Km)	26.00	28.55
Detritus (mg/L)	A01 (48.845Km)	0.90	3.50
	A02 (36.649 Km)	2.42	7.41
	A03 (26,274 Km)	1.88	9.98
	A04 (25.899 Km)	1.79	10.28
	A05 (0.524 Km)	1.88	17.13
Patógenos (UFC/100 ml)	A01 (48.845Km)	28.00	10.92
	A02 (36.649 Km)	26.00	667.09
	A03 (26,274 Km)	23.00	117.01
	A04 (25.899 Km)	21.00	90.36
	A05 (0.524 Km)	20.00	0.99
Alcalinidad (mg/L)	A01 (48.845Km)	1.67	3.08
	A02 (36.649 Km)	4.50	0.99
	A03 (26,274 Km)	3.50	2.29
	A04 (25.899 Km)	3.33	1.97
	A05 (0.524 Km)	3.50	1.54

Tabla 95. Resumen valores de campo y valores simulados en los puntos de monitoreo

Fuente: FUNDISPROS, 2014

A partir del análisis de las figuras y la tabla anterior, se puede determinar que en forma general los resultados de la calibración del modelo de simulación muestran un ajuste moderado entre los valores calculados por el modelo y los valores medidos en campo de las diferentes variables. Es importante tener en cuenta que no se calibraron todas las constantes cinéticas, dado que esto haría mucho más compleja la calibración, por lo cual se determinó calibrar las constantes más relevantes dada la finalidad de la implementación del modelo como se mencionó anteriormente.

En la Figura 39 se puede observar el resultado del modelo para el caudal, este parámetro es determinado por el software mediante los balances de flujo, partiendo del caudal de cabecera del río (925 L/s) y los aportes por tributarios (517.5 L/s) y

vertimientos (897.2 L/s) a lo largo de su recorrido, así como también tiene en cuenta las extracciones (1699.38L/s) producto de las captaciones para el abastecimientos de los diferentes usuarios del recurso. Es importante tener en cuenta que al modelo solo se ingresó la información de caudal para los dos tributarios más importantes del río Villavieja (Q. Las Juntas y R. Guaroco), ya que se determinó que los tributarios restantes permanecen la mayor parte del año secos o su caudal es muy pequeño y no se cuenta con datos de campo. Se tiene entonces que el caudal de río Villavieja en tiempo seco (tiempo para el cual se implementó el modelo), permanece con pocas variaciones hasta que alcanza el kilómetro 30 (630 m.s.n.m.) aproximadamente antes de su desembocadura en el río Magdalena, a partir de este punto el caudal empieza a disminuir hasta alcanzar un valor de 30 L/s en el kilómetro 12 (428 m.s.n.m.) de acuerdo a los resultados del modelo, se recuerda que el kilómetro 0 es la desembocadura del río Villavieja en el Magdalena y el kilómetro 52.7 el nacimiento del río. A partir de este punto crítico el caudal del río se empieza a recuperar y desemboca en el río Magdalena con aproximadamente 993 L/s de acuerdo al aforo realizado en campo. Se encontró que en el tramo en el cual disminuye notablemente el caudal de la corriente, se concentran la mayor parte de las captaciones con un caudal total otorgado de 1052.9 L/s en tiempo seco, esta situación influye directamente en los resultados para los parámetros evaluados como puede observarse de la Figura 40 a la Figura 50, ya que en general en este tramo la calidad del agua disminuye por el aumento en la concentración de los contaminantes.

Por otra parte, se tiene que en el mismo tramo en el cual disminuye notablemente el caudal y se ve afectada la calidad del río Villavieja, tienen lugar importantes vertimientos de tipo agrícola provenientes del riego de cultivos de arroz, cacao y algodón, los cuales poseen los caudales más altos de todos los vertimientos aforados y por consiguiente su impacto en la fuente receptora es mayor. En cuanto a los vertimientos de tipo doméstico, se tiene a partir del aforo que son caudales muy pequeños y su impacto no es tan notorio, incluso los vertimientos provenientes de los alcantarillados del municipio de Tello (kilómetro 44.23) y Polonia (kilómetro 33.59) no evidencian un fuerte impacto de acuerdo a los resultados del modelo.

En el caso de la temperatura (Figura 40), se observa que el modelo predijo con un buen ajuste la temperatura del río en todo su recorrido, en la parte alta en donde nace el río Villavieja la temperatura del agua tiene valores de 19°C y cuando desemboca en el río Magdalena alcanza los 30.5°C. En cuanto a la conductividad (Figura 41), este parámetro representa no solamente la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica, sino que está directamente relacionada con los sólidos disueltos, puesto que cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. Para el río Villavieja, se encontró que la calibración de la conductividad fue mejor en la parte alta, en el nacimiento del río la conductividad tiene valores de 100 μ S/cm y se estabiliza en 400 μ S/cm antes de desembocar en el río Magdalena.

En la Figura 42 se observa el comportamiento del oxígeno disuelto en el río, se puede ver que se encontró un buen ajuste entre los valores predichos por el modelo y los datos tomados en campo. De acuerdo a los estándares de calidad del agua, se sabe que oxígenos disueltos menores a 5 mg/L afectan la diversidad biológica, en este caso se encontró que el río Villavieja presenta altas concentraciones de oxígeno disuelto muy cercanas al oxígeno de saturación en la mayor parte de su recorrido, esta característica es muy importante ya que le confiere a la corriente una gran capacidad de autodepuración. En el tramo crítico que se ha venido mencionando, el oxígeno disuelto disminuye hasta alcanzar valores de 3 mg/L aproximadamente, sin embargo, se recupera rápidamente y antes de desembocar en el río Magdalena tiene valores de 6 mg/L.

La DBO lenta representa la materia orgánica que es lentamente biodegradable, los datos de entrada al modelo se determinaron a partir de los resultados de la DBO medida en el laboratorio y la aplicación de ecuaciones como se describió en la metodología, esto teniendo en cuenta que al modelo no se pueden ingresar valores de DBO5 o DQO, sino que se deben ingresar valores de DBO última. En la Figura 43 se encuentran los resultados para la DBO lenta a lo largo del río Villavieja, como se puede ver la calibración fue mejor en la parte alta, sin embargo, la DBO rápida (Figura 44) tuvo un buen ajuste en todo el recorrido del río. Nuevamente se observa en los resultados del modelo para estos dos parámetros, que en el tramo crítico la concentración de los contaminantes aumenta y deteriora la calidad del cuerpo de agua y sus posibles usos.

La calibración de sólidos suspendidos totales en el río Villavieja tuvo un buen ajuste en la parte alta y en la parte baja (Figura 48), sin embargo, en la parte media se evidencia que el valor obtenido en la campaña de monitoreo se aleja del resultado que predijo el modelo, por este motivo, es importante contar con otra campaña de monitoreo que permita validar las constantes cinéticas calibradas o en su defecto ajustarlas.

3.1.2.10.2. Análisis de los Escenarios Futuros

A partir de la calibración del modelo QUAL2Kw para el río Villavieja, se ingresaron por separado los datos de los tres escenarios futuros formulados y descritos anteriormente en detalle. A continuación se presentan de la Figura 51 a la Figura 54, la comparación de los resultados y los análisis del modelo para 4 de los parámetros de calidad del agua más representativos de acuerdo a la naturaleza de la modelación (OD, DBO lenta, DBO rápida y SST). Los resultados para los otros parámetros que permite modelar el QUAL2Kw se pueden observar en su totalidad en los archivos Escenario_1_Rio_Villavieja.exe, Escenario_2_Rio_Villavieja.exe, Escenario_3_Rio_Villavieja.exe que se entregan como anexo de este documento. (ANEXO 6)

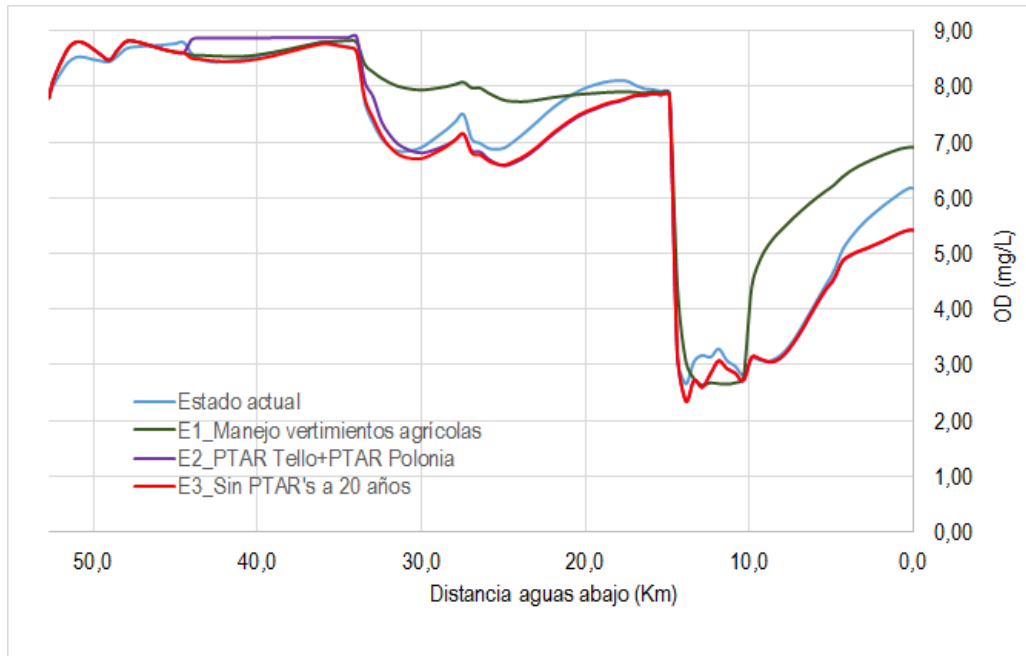


Figura 51. Escenarios para OD
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

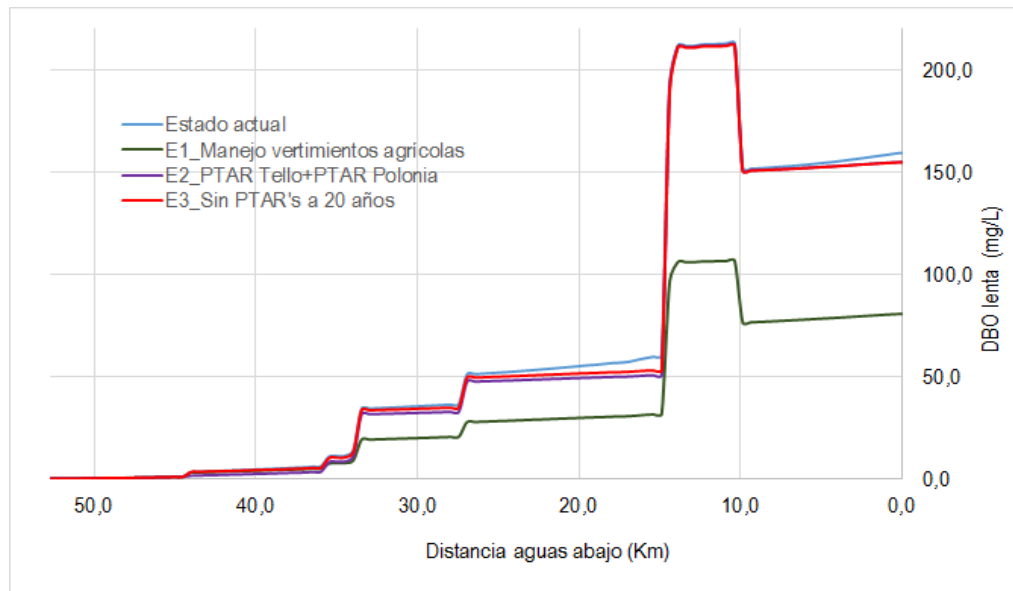


Figura 52. Escenarios para La DBO Lenta
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

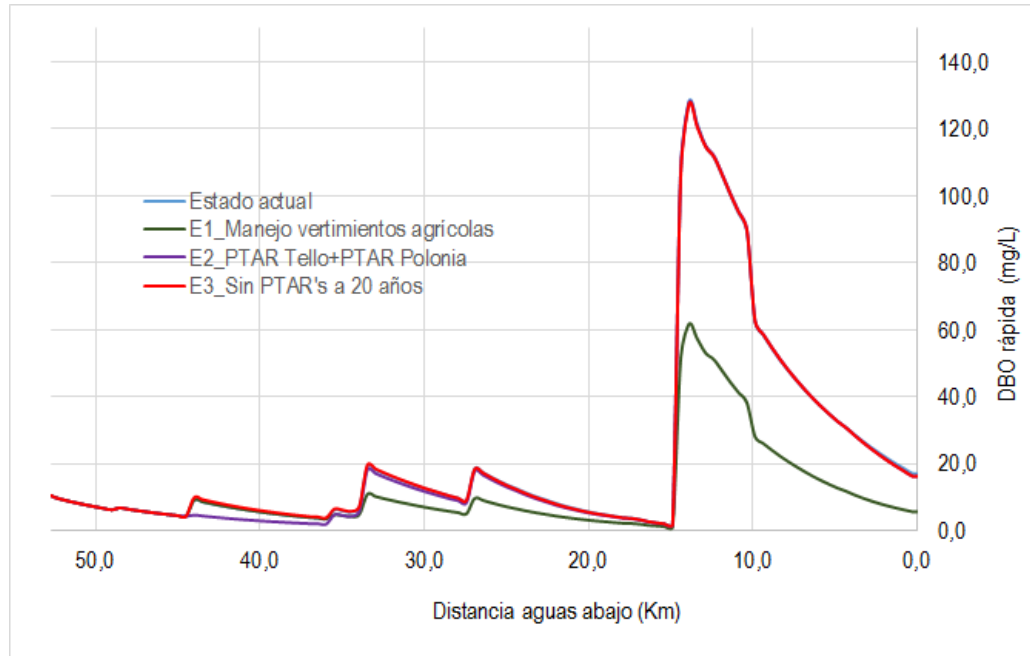


Figura 53. Escenarios para La DBO Rápida
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

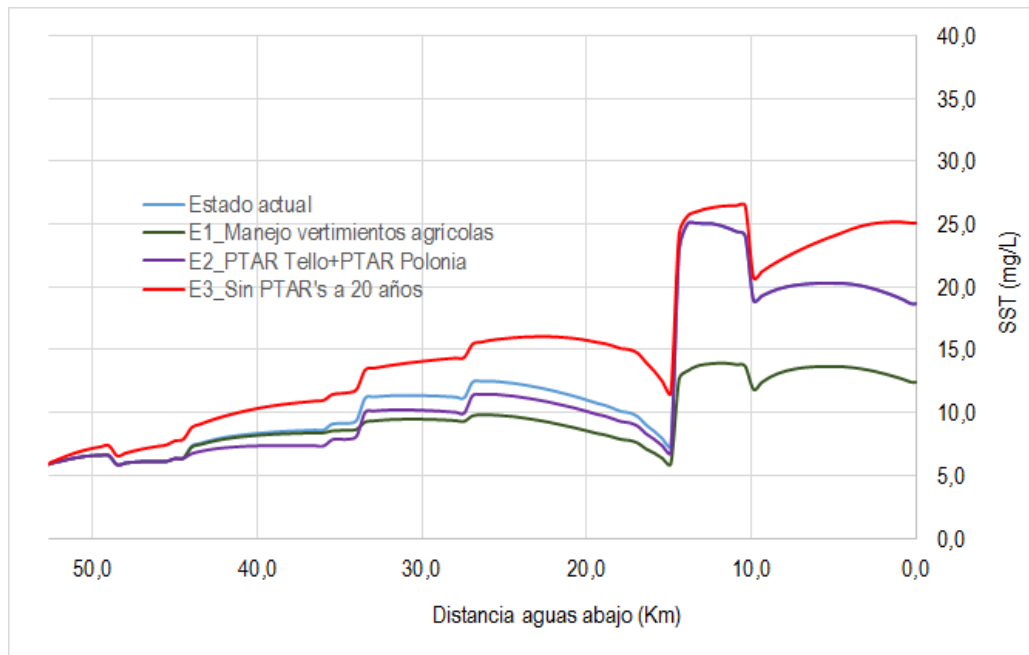


Figura 54. Escenarios para SST
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Los escenarios de modelación planteados permitieron predecir la asimilación y/o degradación de los parámetros físico-químicos en la corriente ante distintas situaciones futuras. La formulación de estos escenarios contempló las tres situaciones más probables que impactarán directamente la calidad del agua del río Villavieja, y por consiguiente a sus usuarios.

Los resultados del modelo de calidad para los tres escenarios planteados se compararon con el estado actual de la corriente como puede evidenciarse en las figuras anteriores, esto permite realizar un análisis más rápido y llegar a mejores conclusiones. En general, se encontró que al ingresar la información correspondiente a cada escenario descrita en la metodología (Figura 38) y correr el modelo con las constantes calibradas, el QUAL2Kw predijo que el escenario 1, en el cual se contempla la implementación de buenas prácticas agrícolas y el respeto de las determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes y la demarcación de las áreas de retiro para los cultivos de arroz, cacao y algodón existentes en la zona de estudio, es el escenario con los resultados más favorables para el río Villavieja.

Por otra parte, no se evidencian cambios significativos en los parámetros de calidad del agua para el escenario 2, el cual contempla la construcción y puesta en marcha de las plantas de tratamiento de agua residual de los municipios de Tello y Polonia, ya que como se mencionó a partir de los resultados de la calibración, los vertimientos de los municipios de Tello (kilómetro 44.23) y Polonia (kilómetro 33.59) presentan caudales bajos y no se realizan en sitios críticos en comparación a otro tipo de vertimientos que están afectando en mayor medida la calidad del río Villavieja. Finalmente, se puede evidenciar que el escenario 3, el cual contempla una proyección de la población a 20 años sin que las plantas de tratamiento de los municipios de Tello y Polonia existan, es el escenario en el cual se vería más afectada la calidad del agua de la corriente en comparación con la situación actual.

3.1.2.11. Conclusiones y Recomendaciones de la Modelación

La campaña de monitoreo realizada en el río Villavieja y la información histórica existente, permitieron contar con los datos de campo necesarios para calibrar el modelo QUAL2Kw, obteniéndose un buen ajuste entre los valores calculados por el modelo y los valores medidos en campo, especialmente para los parámetros en los cuales sus constantes fueron calibradas.

Los resultados de la calibración del modelo de calidad permitieron evidenciar un tramo crítico sobre la corriente, en el cual tienen lugar la mayor parte de las captaciones existentes con un caudal otorgado de 1052.9 L/s en tiempo seco. En este mismo tramo se presentan importantes vertimientos de tipo agrícola provenientes del riego de cultivos de arroz, los cuales poseen los caudales más

altos de todos los vertimientos aforados y por consiguiente su impacto en la fuente receptora es mayor.

El impacto sobre el río Villavieja de los vertimientos sin tratar de las aguas residuales provenientes de los municipios de Tello y el Centro Urbano Polonia (Villavieja) no es grande de acuerdo a los resultados del modelo, lo anterior debido a la buena asimilación y la aireación que tiene la corriente en el tramo de influencia de estos vertimientos.

Se formularon tres escenarios futuros para predecir el impacto que cada uno de ellos tendría sobre el río Villavieja, el primer escenario contempló la implementación de buenas prácticas agrícolas y la demarcación de las áreas de retiro de los cultivos existentes con respecto al río, el segundo escenario contempló la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento del municipio de Tello y del Centro Urbano Polonia (Villavieja); el tercer escenario contempló una proyección a 20 años de la población de los municipios de Tello y del Centro Urbano Polonia sin que se hayan construido las PTAR's.

Los resultados de la predicción del modelo para los escenarios futuros evidenciaron que la acción más favorable para la corriente es la contemplada en el escenario 1, mientras que el escenario 3 será el que más impacte de manera negativa la calidad del agua del río Villavieja.

Los resultados presentados en este informe permitieron conocer el estado actual del río Villavieja y su respuesta ante los escenarios futuros formulados, sin embargo, se recomienda contar con una segunda campaña de monitoreo que permita validar las constantes cinéticas calibradas o en su defecto ajustarlas, de tal forma que se aumente el ajuste de la calibración y se pueda predecir más acertadamente la calidad del agua en la corriente ante distintos escenarios.

La información de calidad del agua correspondiente a vertimientos se asumió de acuerdo a la literatura, sin embargo, se recomienda contar con valores reales tomados en campo para cada tipo de vertimiento. Por otra parte, se recomienda contar con aforos actualizados de los tributarios del río Villavieja, así como contar con una caracterización físico-química de los mismos.

Teniendo en cuenta que al modelo de simulación QUAL2Kw se deben ingresar valores de DBO última, se recomienda incluir este parámetro en otras campañas de monitoreo, de esta forma se contaría con datos de campo más confiable.

3.2. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Para establecer el diagnóstico de la calidad del agua de la corriente Rio Villavieja en cuanto a usos, objetivos de calidad y metas de reducción de carga contaminante se tendrá en cuenta la información anteriormente procesada, correspondiente antecedentes existentes sobre estudios de calidad de agua en la zona, los análisis de calidad de agua sobre los puntos de monitoreo realizados para el presente ordenamiento y el modelo de simulación de calidad de agua desarrollado mediante el software QUAL2Kw.

3.2.1. Identificación de características naturales del cuerpo de agua

El Río Villavieja es una corriente de uso público que nace en las estribaciones de la cordillera oriental, sector de las veredas Alto Roblal y medio roblal, jurisdicción del municipio de Tello, desembocando en el Río Magdalena, por la margen derecha.

La cuenca denominada Rio Villavieja tiene una longitud de 63.426, 44 m, vierte sus aguas al río Magdalena, recorre al municipio de Tello en una longitud de 60.130,94 metros y es el que abastece de agua al Municipio en el cascos urbano así como a las veredas El Bosque, Alto Roblal, Medio Roblal, Brasilia, La Urraca, Líbano, Alto Urraca, La Cabaña, San Andrés, El Vergel, San Isidro bajo y Mesa Redonda; le siguen en importancia el río Fortalecillas con una longitud de 55.461.67 metros y sirve de límite con el Municipio de Neiva, entrega sus aguas al río Magdalena. (Aguas del Huila, 2009)

Los principales afluentes del Rio Villavieja son: Río Guaroco, y las quebradas las juntas. Al río Magdalena, rinden sus aguas las quebradas la Viuda, la Arenosa, el Aceite, el río Fortalecillas. Son afluentes del río Fortalecillas las quebradas del Tachuelo, la Resbalosa, la Tafur, el Candado y Río Negro. Para captación del cuerpo de agua se caracterizaron 125 usuarios y 45 vertimientos dispersos de aguas residuales domésticas, aguas residuales combinadas del alcantarillado del municipio de Tello y el centro poblado de Polonia (Villavieja), así como aguas residuales de tipo agrícola.

3.2.2. Identificación actual de los usos existentes y potenciales del recurso

Para la identificación actual de los usos existentes y potenciales del recurso se tendrá en cuenta lo reglamentado en la resolución 1251 del 2011 donde se establece que dentro de los objetivos a considerar para la adjudicaciones de caudales está el del darle un cubrimiento general a todos los usuarios localizados dentro del área de influencia de esta fuente destinando el recurso hídrico a las actividades propias: uso doméstico, agrícola (arroz, cacao, pasto, pancoger- yuca y

plátano, maíz, sorgo y algodón, frutales – papaya y uva, cítricos), pecuario (piscícola, vacuno) y consecuentemente garantizar el no agotamiento del caudal de la corriente asegurando la preservación de cualquier forma de vida ictiológica que en dicho cauce existan.

3.2.3. Definición de objetivos de calidad del recurso hídrico (corto, mediano y largo plazo)

Se entiende por objetivo de calidad como el conjunto de parámetros (criterios de calidad) y niveles de contaminantes (estándares) que deben conseguirse en un programa destinado al manejo de la calidad del agua. Debe quedar claro entonces para los alcances de esta Guía que el criterio de calidad define la contaminación en función de un parámetro y el estándar la dimensiona en función de un índice o límite establecido por la norma generalmente, o través de un criterio técnico especializado. (Metodología MESOCA, 2006)

Siendo consecuente con el decreto 3440 de 2004, el cual modifica el decreto 3100 de 2003, donde determina la necesidad de las autoridades ambientales competentes a establecer objetivos de calidad de los cuerpos de agua de acuerdo a su uso y a los planes ordenamiento del recurso hídrico.

Para establecer los objetivos de calidad se utilizara la metodología MESOCA, afirmando que cumple con las siguientes tres condiciones esenciales:

1. Permite definir escenarios objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la jurisdicción, con énfasis en las sustancias reglamentadas en el decreto 3100 de 2003.
2. Dichos escenarios pueden ser retomados y validados en el proceso integral y definitivo de Ordenamiento de los recursos hídricos, como lo establecen los requisitos normativos establecidos en el Capítulo IV del Decreto 1594 de 1984, el cual reglamenta la implementación de los PORH.
3. Se adapta a la mejor información disponible en la Autoridad Ambiental Competente.

Así mismo se sustrae de la metodología Mesoca los Compromisos estratégicos necesarios para el establecimiento de los objetivos de calidad, los cuales se presentan a continuación:

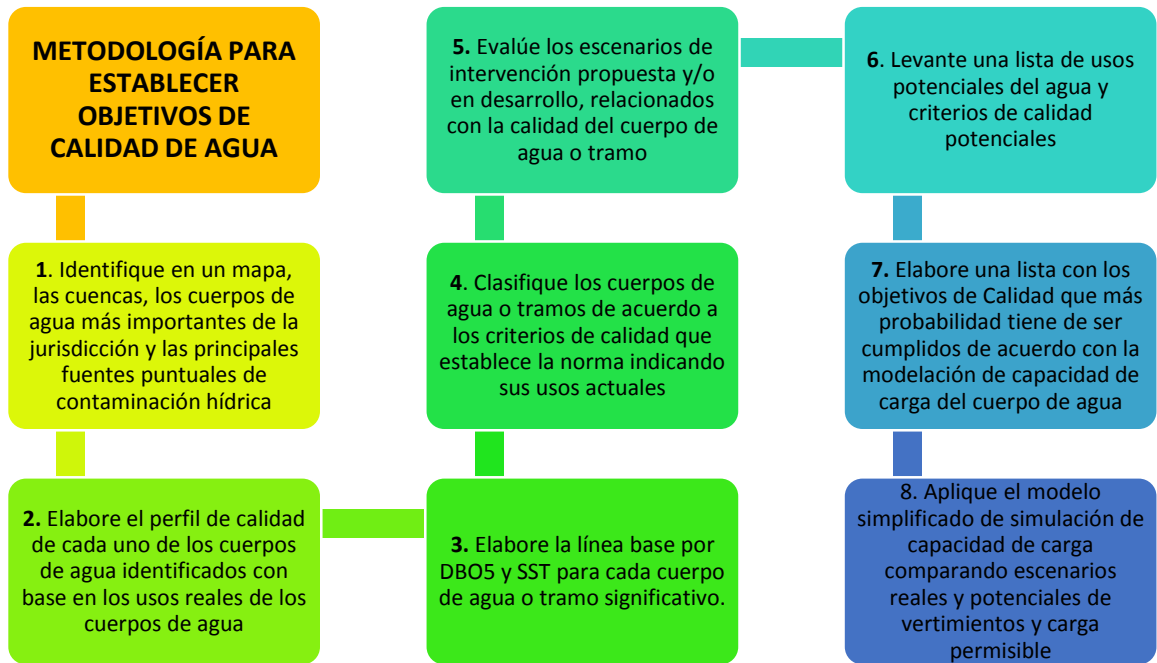


Figura 55. Metodología para Establecer Los Objetivos de Calidad

Fuente: (MESOCA, 2006)

1. Identifique en un mapa, las cuencas, los cuerpos de agua más importantes de la jurisdicción y las principales fuentes puntuales de contaminación hídrica:

En el proceso de georreferenciación del cauce principal del río, se identificó y referenció cada uno de los vertimientos puntuales de aguas residuales que se observaron sobre el cauce del Río.

Es importante resaltar que no se incluyeron cargas dispersas de contaminantes, ni se consideraron como vertimientos: lavados de suelos por aguas lluvias, arrastres por erosión, aguas cargadas con turbas orgánicas, etc.; solo se consideraron las fuentes puntuales de aguas residuales. Se consideró como un vertimiento los aliviaderos o canales de riego, ya que durante su recorrido por los predios cultivados arrastran partículas de suelo ricas en fungicidas, herbicidas y demás abonos químicos utilizadas en las labores agrícolas.

A continuación se presenta la localización de las fuentes puntuales de vertimientos ubicados sobre cada tramo en el que fue dividido el Río:

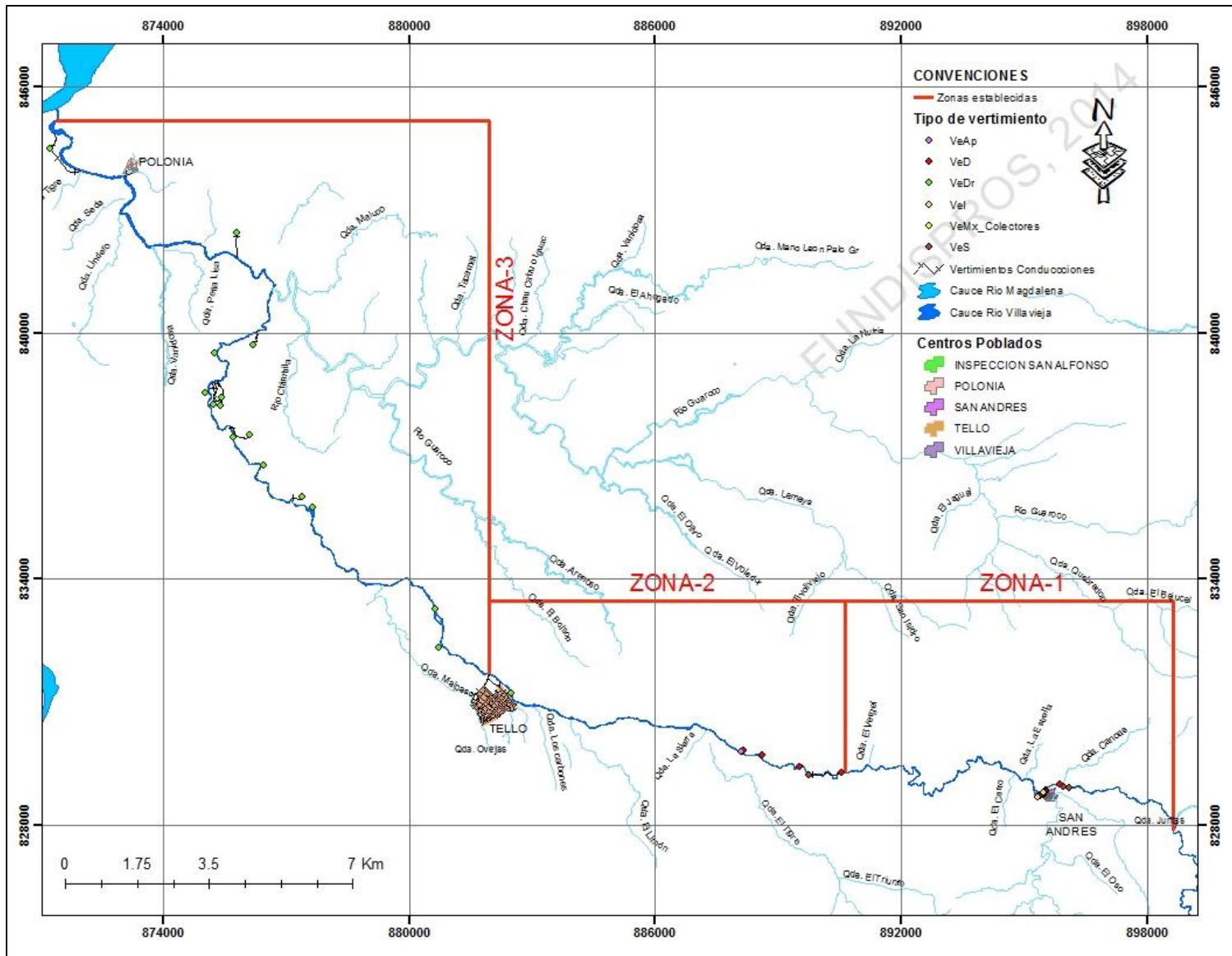


Figura 56. Vertimientos Puntuales sobre el Rio Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

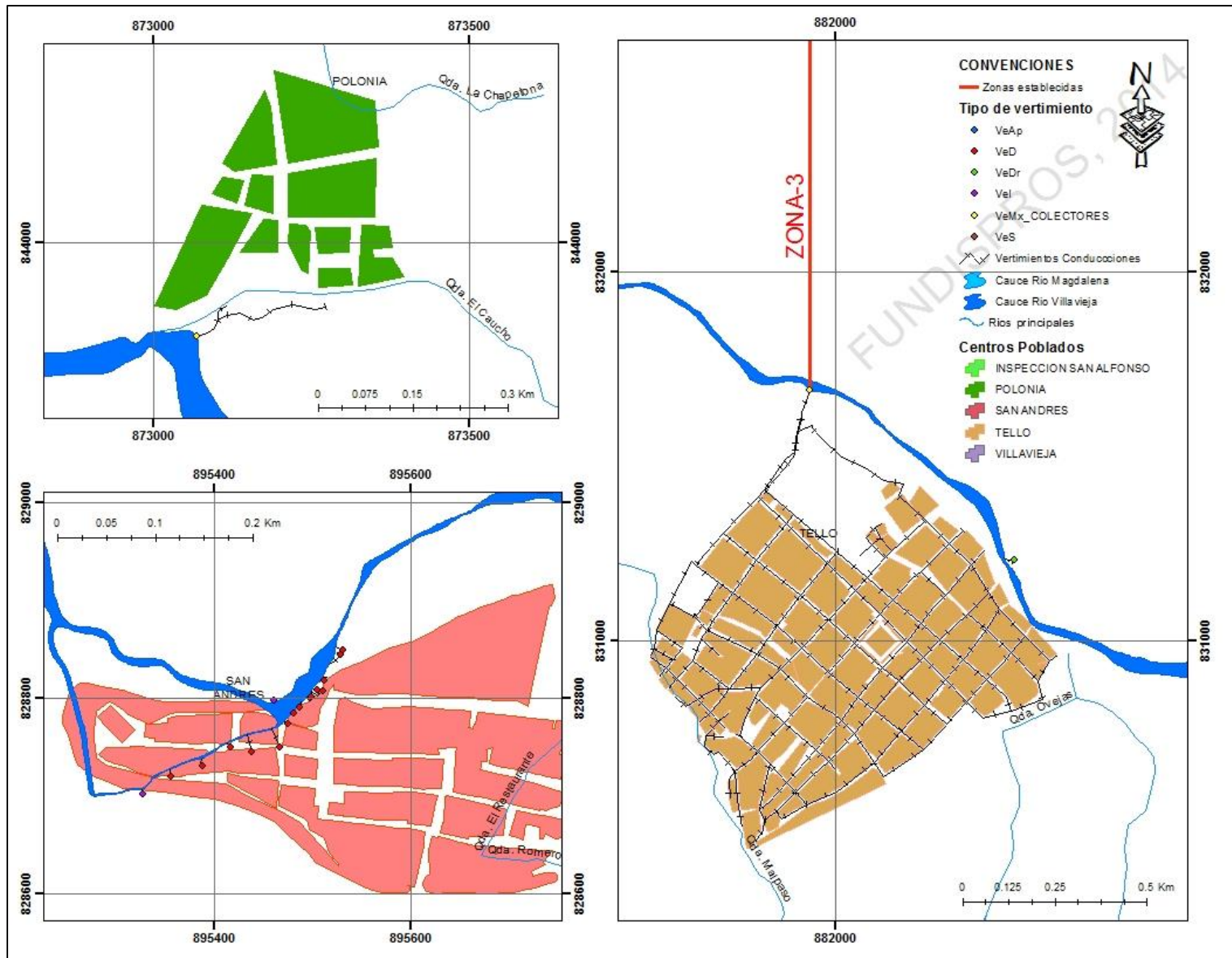


Figura 57. Detalles de Vertimientos en los Centro Poblados (Municipio Tello y Villavieja)

Fuente: FUNDISPROS, 2014

2. Elabore el perfil de calidad de cada uno de los cuerpos de agua identificados con base en los usos reales de los cuerpos de agua.

Una vez determinadas las zonas o tramos en los que se dividió el río, se consignó en la siguiente tabla los parámetros más representativos encargados de su caracterización y que definirán su perfil de calidad.

RIO	ZONA O TRAMO	PUNTO MONITOREADO	PARAMETRO ¹²	VALOR MEDIDO O ASUMIDO
RIO VILLAVIEJA	ZONA 1	A01	DBO5 (mg/L)	7,0
			DQO (mg/L)	11,7
			SST (mg/L)	10,0
			OD (mg/L)	7,8
			OD de saturación	97,5
			PH (unidad Ph)	8,36
			T (C)	19,0
			Coliformes Totales (NMP/100ml)	121,0
			Coliformes Fecales (NMP/100ml)	28,0
			Sulfatos (mgSO ₄ /L)	2,97
	Cloruros (mgCl/L)	3,5		
	Nitratos (mg NO ₃ /L)	0,852		
	Nitritos (mgNO ₂ /L)	0,052		
	Grasas y aceites (mg/L)	8,0		
	DBO5 (mg/L)	12,0		
	DQO (mg/L)	34,7		
	SST (mg/L)	27,0		
	OD (mg/L)	7,6		
	OD de saturación	97,8		
	PH (unidad Ph)	8,46		
T (C)	19,1			
A02	Coliformes Totales (NMP/100ml)	289,0		
	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	26,0		
	Sulfatos (mgSO ₄ /L)	3,21		
	Cloruros (mgCl/L)	0,8		
	Nitratos (mg NO ₃ /L)	0,736		
	Nitritos (mgNO ₂ /L)	0,055		
	Grasas y aceites (mg/L)	5,34		
	DBO5 (mg/L)	16,0		
	DQO (mg/L)	53,4		
	SST (mg/L)	21,0		
OD (mg/L)	7,9			
OD de saturación	97,6			
PH (unidad Ph)	8,69			
T (C)	22,4			
A03	Coliformes Totales (NMP/100ml)	372,0		
	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	23,0		
	Sulfatos (mgSO ₄ /L)	18,84		
	Cloruros (mgCl/L)	1,5		
	Nitratos (mg NO ₃ /L)	0,50		
	Nitritos (mgNO ₂ /L)	0,053		
	Grasas y aceites (mg/L)	5,34		
	DBO5 (mg/L)	13,0		
	DQO (mg/L)	36,0		
	SST (mg/L)	20,0		
OD (mg/L)	7,3			
OD de saturación	92,6			

¹² Parámetros escogidos de acuerdo a lo estipulado en el Capítulo IV del Decreto 1594 de 1984.



RIO VILLAVIEJA	ZONA 3	A05	PH (unidad Ph)	8,61
			T (C)	24,2
			Coliformes Totales (NMP/100ml)	296,0
			Coliformes Fecales (NMP/100ml)	21,0
			Sulfatos (mgSO ₄ /L)	21,22
			Cloruros (mgCl/L)	0,4
			Nitratos (mg NO ₃ /L)	0,794
			Nitritos (mgNO ₂ /L)	0,073
			Grasas y aceites (mg/L)	5,34
			DBO ₅ (mg/L)	12,0
			DQO (mg/L)	28,0
			SST (mg/L)	21,0
			OD (mg/L)	6,7
			OD de saturación	88,0
			PH (unidad Ph)	8,28
			T (C)	30,5
			Coliformes Totales (NMP/100ml)	289,0
			Coliformes Fecales (NMP/100ml)	20,0
			Sulfatos (mgSO ₄ /L)	35,78
			Cloruros (mgCl/L)	7,2
Nitratos (mg NO ₃ /L)	1,49			
Nitritos (mgNO ₂ /L)	0,078			
Grasas y aceites (mg/L)	5,34			

Tabla 96. Perfil de Calidad de Agua – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

3. Elabore la línea base por DBO₅ y SST para cada cuerpo de agua o tramo significativo

LÍNEA BASE DE CALIDAD DE AGUA

Se define la Línea Base, como el marco de condiciones que definen la tendencia de carga contaminante por DBO₅ y SST, para un periodo de cinco años. El Decreto 3100 de 2003¹³ establece como primer período, el comprendido entre el año 2005 y el año 2010. (Hernández, 2004)

En este sentido La Línea Base es una suma de factores de referencia, los cuales sirven como condición básica para la negociación de metas de reducción de cargas contaminantes para las sustancias reglamentadas, así como para la estructuración de los elementos que definen el desempeño de los compromisos que se adquieren entre las partes interesadas y la autoridad ambiental.

La Línea Base Global de carga contaminante la corporación la estableció por tramos para toda la cuenca alta del Río Magdalena, por tramos para el quinquenio 2013 – 2018, esta línea base se tendrá en cuenta y será objeto de comparación de cargas contaminantes en el Río Villavieja.

Debido a lo anterior las nuevas metas quinquenales se realizará para el quinquenio (2014-2018), sabiendo que el en año 2018 termina el quinquenio establecido para la meta global establecida un año atrás por la corporación se hallará carga

¹³ **Decreto 3100 de 2003:** Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones

domestica para los vertimientos de aguas residuales domésticas, carga agrícola y carga por vertimientos de sedimentos.

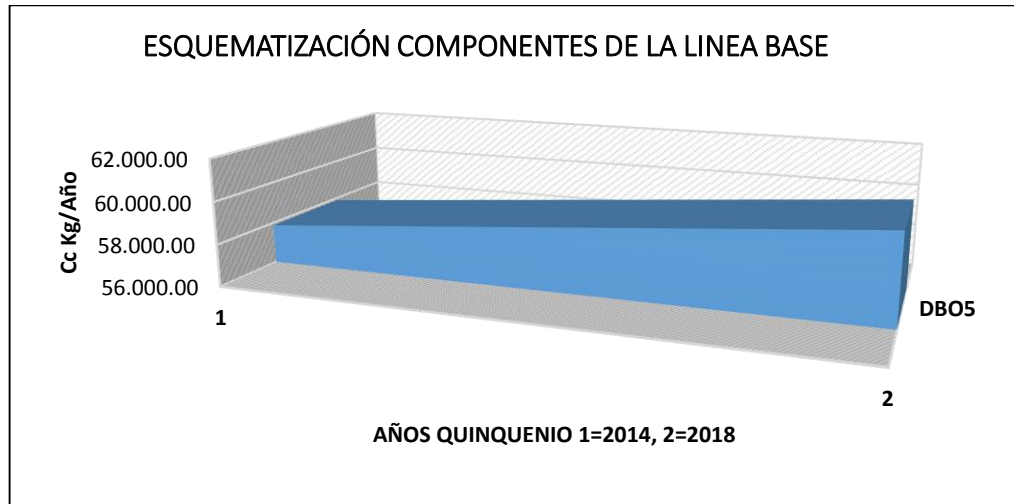


Figura 58. Esquemmatización de Componentes de una Línea Base
Fuente: FUNDISPROS, 2014

A continuación se hallan las cargas contaminantes domésticas, agrícolas y de vertimientos de sedimentos por DBO5 y SST, se escogieron estos tipos de vertimientos por tener incidencia sobre la fuente hídrica, y que fueron caracterizados en modelo de calidad de agua.

Carga domestica de DBO5 y SST para el Río Villavieja

Para estimar crecimientos o declinación futura de las cargas de contaminación doméstica, se sugiere ajustarse a los índices de crecimiento poblacional oficiales que reporta el DANE¹⁴. En este sentido, el crecimiento se calculará con base en la fórmula de proyecciones geométricas.

Cabe resaltar que se tiene en cuenta La Resolución 631 de 2015¹⁵ en cuanto a límite máximo permisible para vertimientos puntuales y la carga contaminante máxima generada por una persona.

Carga Contaminante Domestica presente 2014

¹⁴ DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

¹⁵ Resolución 631 de 2015: Establece los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y los sistemas de alcantarillado público, se tiene en cuenta que aun no entrando a regir, pero se tiene en cuenta porque las metas de reducción se prolongan hasta el año 2018.

El Decreto 2667 de 2012 establece los parámetros necesarios para hallar cargas contaminantes diarias, para ello se requiere de información de la fuente, el cual se presenta a continuación:

Datos:

A continuación se presentan los datos con los cuales se hallara la carga contaminante generada por vertimientos domésticos, sabiendo que no hay caracterización fisicoquímica sobre dichos vertimientos, se utilizaran datos de la bibliografía revisada para cada tipo de vertimiento.

DBO₅= 164,8 mg/L

SST= 36,67 mg/L

Q= 11,29 L/s

Fórmula para Hallar Carga Contaminante:

$$C_c = Q \times C \times 0.0036$$

Donde:

C_c = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q = Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (l/s)

C = Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (mg/l)

0.0036 = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

Carga Contaminante (C_c) de DBO₅ a 2014:

$$C_{C_{DBO_5}} = 11,29 \text{ L/s (164,8 mg/L) (0,0036)}$$

$$C_{C_{DBO_5}} = 6.69 \text{ Kg/h (24h/1dia) (360dias/1año)}$$

$$C_{C_{DBO_5}} = 57.871,85 \text{ Kg/año}$$

Carga Contaminante (C_c) de SST a 2014:

$$C_{C_{SST}} = 11,29 \text{ L/s (36,67 mg/L) (0,0036)}$$

$$C_{C_{SST}} = 1,49 \text{ Kg/h (24h/1dia) (360dias/1año)}$$

$$C_{C_{SST}} = 12.877,18 \text{ Kg/año}$$

Carga Domestica proyectada a 2018

La fórmula para la proyección y para estimar la carga contaminante de origen doméstico en un tiempo futuro (C_{cp}), será:

$$C_{cp} = C_c (1 + r)^{1/n}$$



Datos:

Ccp= Carga Contaminante

Ccp_{DBO5} = 57.871,85 kg/año

Ccp_{SST} = 12.877,18 kg/año

n = 5 Años

r= tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual por el método geométrico descrito en el título B.2.2.4 del RAS – 2000.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

Dónde: P_{uc} es la población (hab) correspondiente al último año censado con información, P_{ci} es la población (hab) correspondiente al censo inicial con información, T_{uc} es el año correspondiente al último año censado con información, T_{ci} es el año correspondiente al censo inicial con información.

P_{uc}= (Población en el año 2014)

P_{uc}= 7049 Hab.

P_{ci}= (Población en el año 1998)

P_{ci}= 4802 Hab.

T_{uc} = 2014

T_{ci} = 1998

$$r = \left(\frac{7049}{4802} \right)^{\frac{1}{(2014-1998)}} - 1$$

$$r = (1.47)^{(0.058)} - 1$$

$$r = 0,022$$

$$r = 2.2\%$$

Carga Proyectada de DBO₅ a 2018 (Ccp)

$$Ccp_{DBO5} = Cc (1 + r)^{1/n}$$

$$Ccp_{DBO5} = (57.871,85 \text{ kg/año}) (1+ 0,022)^{1/5}$$

$$Ccp_{DBO5} = (57.871,85 \text{ kg/año}) (1,004)$$

$$Ccp_{DBO5} = 60.219,80 \text{ kg/año}$$

Carga Proyectada de SST a 2018 (Ccp)

$$Ccp_{SST} = Cc (1 + r)^{1/n}$$

$$Ccp_{SST} = (12.877,18 \text{ kg/año}) (1 + 0,022)^{1/5}$$

$$Ccp_{SST} = (12.877,18 \text{ kg/año}) (1,0040)$$

$$Ccp_{SST} = 13.399,62 \text{ kg/año}$$

Carga Contaminante Agrícola de DBO5 y SST para el Río Villavieja

Carga Contaminante Agrícola presente 2014

Datos:

$$C_c = Q \times C \times 0.0036 \times t$$

Donde:

Cc = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q = Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (l/s)

C = Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (mg/l)

0.0036 = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

Q = 885,32 L/s (Vertimientos Agrícolas)

C_{DBO5} = 146,9 mg/L

C_{SST} = 16,67 mg/L

Carga Agrícola Contaminante (Cc) de DBO5 a 2014:

$$Cc_{DBO5} = 885,32 \text{ L/s} (146,9 \text{ mg/L}) (0,0036)$$

$$Cc_{DBO5} = 468,19 \text{ Kg/h} (24\text{h}/1\text{día}) (360\text{días}/1\text{año})$$

$$Cc_{DBO5} = 4.045.184,3 \text{ Kg/año}$$

Carga Agrícola Contaminante (Cc) de SST a 2014

$$Cc_{SST} = 885,32 \text{ L/s} (16,67 \text{ mg/L}) (0,0036)$$

$$Cc_{SST} = 53,12 \text{ Kg/h} (24\text{h}/1\text{día}) (360\text{días}/1\text{año})$$

$$Cc_{SST} = 459.041,67 \text{ Kg/año}$$

Carga Agrícola Proyectada de DBO5 a 2018 (Ccp)

$$Ccp_{DBO5} = Cc (1 + r)^{1/n}$$

$$C_{cp_{DBO5}} = (4.045.184,3 \text{ kg/año}) (1 + 0,022)^{1/5}$$

$$C_{cp_{DBO5}} = (4.045.184,3 \text{ kg/año}) (1,0040)$$

$$C_{cp_{DBO5}} = 4.209.303,87 \text{ kg/año}$$

Carga Agrícola Proyectada de SST a 2018 (Ccp)

$$C_{cp_{SST}} = C_c (1 + r)^{1/n}$$

$$C_{cp_{SST}} = (459.041,67 \text{ kg/año}) (1 + 0,022)^{1/5}$$

$$C_{cp_{SST}} = (459.041,67 \text{ kg/año}) (1,0040)$$

$$C_{cp_{SST}} = 477.665,72 \text{ kg/año}$$

Carga Contaminante por Sedimentos de DBO5 y SST para el Río Villavieja

Carga Contaminante por Sedimentos presente 2014

Datos:

$$C_c = Q \times C \times 0.0036 \times t$$

Donde:

C_c = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q = Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (l/s)

C = Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (mg/l)

0.0036 = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

$$Q = 0,62 \text{ L/s}$$

$$C_{DBO5} = 22,9 \text{ mg/L}$$

$$C_{SST} = 75,97 \text{ mg/L}$$

Carga Contaminante por Sedimentos (C_c) de DBO5 a 2014:

$$C_{c_{DBO5}} = 0,62 \text{ L/s} (22,9 \text{ mg/L}) (0,0036)$$

$$C_{c_{DBO5}} = 0,051 \text{ Kg/h} (24\text{h}/1\text{día}) (360\text{días}/1\text{año})$$

$$C_{c_{DBO5}} = 441,6 \text{ Kg/año}$$

Carga Contaminante por Sedimentos (C_c) de SST a 2014:

$$C_{c_{SST}} = 0,62 \text{ L/s} (75,97 \text{ mg/L}) (0,0036)$$

$$C_{cSST} = 0,169 \text{ Kg/h (24h/1dia) (360dias/1 año)}$$

$$C_{cSST} = 1.465,04 \text{ Kg/año}$$

Carga Contaminante por sedimentos Proyectada de DBO5 a 2018 (Ccp)

$$C_{cpDBO5} = Cc (1 + r)^{1/n}$$

$$C_{cpDBO5} = (441,6 \text{ kg/año}) (1+ 0,022)^{1/5}$$

$$C_{cpDBO5} = (441,6 \text{ kg/año}) (1,0040)$$

$$C_{cpDBO5} = 459,51 \text{ kg/año}$$

Carga Contaminante por sedimentos Proyectada de SST a 2018 (Ccp)

$$C_{cpSST} = Cc (1 + r)^{1/n}$$

$$C_{cpSST} = (1.465,04 \text{ Kg/año}) (1+ 0,022)^{1/5}$$

$$C_{cpSST} = (1.465,04 \text{ Kg/año}) (1,0040)$$

$$C_{cpSST} = 1524,47 \text{ kg/año}$$

LÍNEA BASE GLOBAL

La LINEA BASE global de contaminación, será la conjugación al último año del periodo que estima el modelo, de las cargas domésticas, agrícolas y por sedimentos proyectadas para una cuenca, tramo o región hidrográfica. Es la sumatoria de la totalidad de usuarios domésticos, agrícolas, comerciales e industriales y sus cargas de DBO5 y SST proyectadas para una cuenca, tramo o región hidrográfica. (Hernández, 2004)

- Línea Base Global de DBO5 Actual

$$LBG_{DBO5} \text{ (kg/año)} = C_{cDBO5} \text{ Domestica} + C_{cDBO5} \text{ Agrícola} + C_{cDBO5} \text{ por sedimentos}$$

$$LBG_{DBO5} \text{ (kg/año)} = 57.871,85 \text{ Kg/año} + 4.045.184,3 \text{ Kg/año} + 441,6 \text{ Kg/año}$$

$$LBG_{DBO5} \text{ (kg/año)} = 4.103.497,75 \text{ kg/año}$$

- Línea Base Global de SST Actual

$$LBG_{SST} \text{ (kg/año)} = C_{cSST} \text{ Domestica} + C_{cSST} \text{ Agrícola} + C_{cSST} \text{ por sedimentos}$$



$LBG_{SST} \text{ (kg/año)} = 12.877,18 \text{ Kg/año} + 459.041,67 \text{ Kg/año} + 1.465,04 \text{ Kg/año}$

$LBG_{SST} \text{ (kg/año)} = 473.383,89 \text{ kg/año}$

- **Línea Base Global de DBO5 a Cinco Años**

$LBG_{DBO5} \text{ (kg/año)} = CC_{DBO5} \text{ Domestica Proyectada} + CC_{DBO5} \text{ Agrícola Proyectada} + CC_{DBO5} \text{ por sedimentos Proyectada}$

$LBG_{DBO5} \text{ (kg/año)} = 60.219,80 \text{ kg/año} + 4.209.303,87 \text{ kg/año} + 459,51 \text{ kg/año}$

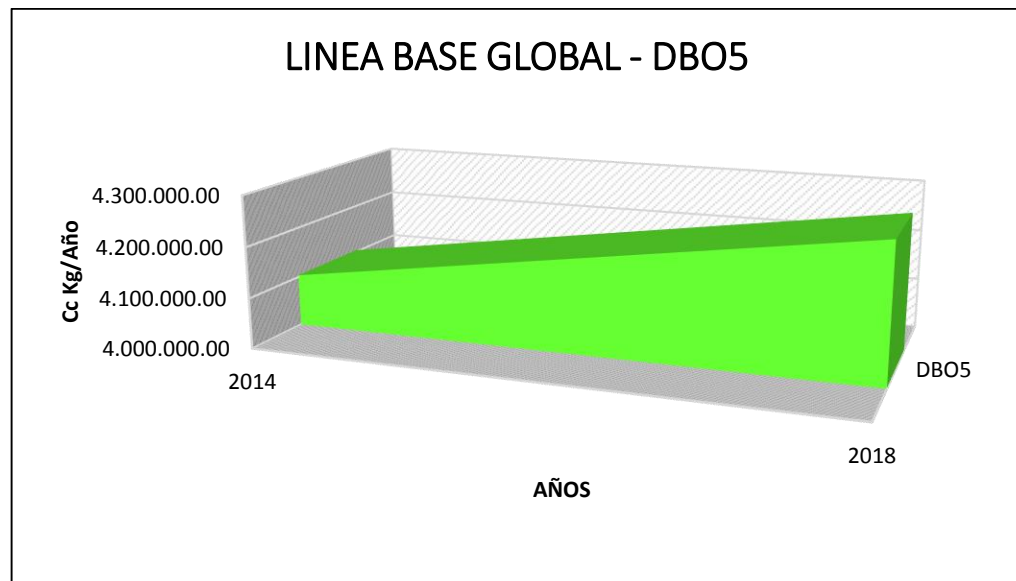
$LBG_{DBO5} \text{ (kg/año)} = 4.269.983,18 \text{ kg/año}$

- **Línea Base Global de SST a Cinco Años**

$LBG_{SST} \text{ (kg/año)} = CC_{SST} \text{ Domestica Proyectada} + CC_{SST} \text{ Agrícola Proyectada} + CC_{SST} \text{ por sedimentos Proyectada}$

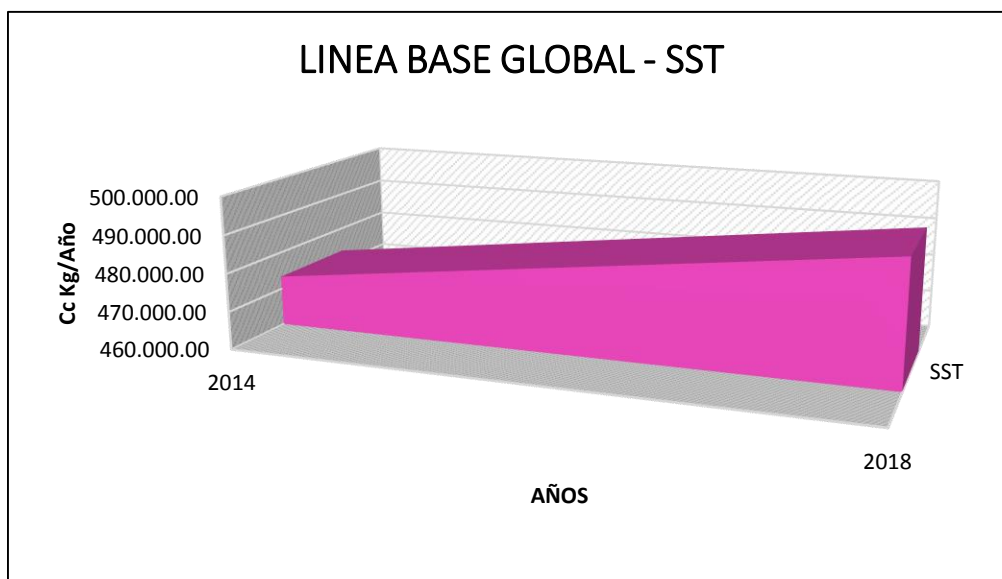
$LBG_{SST} \text{ (kg/año)} = 13.399,62 \text{ kg/año} + 477.665,72 \text{ kg/año} + 1524,47 \text{ kg/año}$

$LBG_{SST} \text{ (kg/año)} = 492.589,81 \text{ kg/año}$



Gráfica 7. Línea Base Global de Carga Contaminante de DBO5

Fuente: FUNDISPROS, 2014



Gráfica 8. Línea Base Global de Carga Contaminante de SST
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Proyecciones de Cargas contaminantes a Corto, Mediano y Largo Plazo para establecimiento de Objetivos de Calidad

Sabiendo que los Objetivos de Calidad deben establecer a corto, mediano y largo plazo, se deben proyectar las cargas contaminantes generadas en los tiempos que se establecen a continuación:

RIO VILLAVIEJA		VERTIMIENTOS DOMESTICOS	VERTIMIENTOS AGRICOLAS	VERTIMIENTOS SEDIMENTADORE	
Caudal (L/s)		11,29	885,32	0,62	
Concentración DBO (mg/l)		164,8	146,9	22,9	
Concentración SST (mg/l)		36,67	16,67	75,97	
Plazos para proyeccion	Corto	5			
	Mediano	10			
	Largo	15			
Escenarios de proyección C.C - BO5 (Kg/Año)	Actual		57.871,85	4.045.184,3	441,6
	Corto Plazo	Carga Contaminante Generada	60.219,80	4.209.303,87	459,51
	Mediano Plazo		62.663,01	4.380.082,03	478,15
	Largo Plazo		65.205,34	4.557.788,94	497,54
Escenarios de proyección C.C - SST (Kg/Año)	Actual		12.877,18	459.041,67	1.465,04
	Corto Plazo	Carga Contaminante Generada	13.399,62	477.665,72	1.524,47
	Mediano Plazo		13.943,26	497.045,37	1.586,32
	Largo Plazo		14.508,96	517.211,29	1.650,67

Tabla 97. Proyecciones de Cargas contaminantes de vertimientos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

4. Clasifique los cuerpos de agua o tramos de acuerdo a los criterios de calidad que establece la norma indicando sus usos actuales

N°	PARAMETROS	RIO VILLAVIEJA					Unid.	Estándar Normativo			Usos Reales del Cuerpo de Agua		
		TRAMO I		TRAMO II		TRAMO III		Dec. 1594/1984			(A)	(P)	(H)
		A01	A02	A03	A04	A05		(A)	(P)	(H)	(A)	(P)	(H)
1	pH	8,36	8,46	8,69	8,61	8,28	und	4.5 -9.0		5.0-9.0	X		X
2	Temperatura	19,0	19,1	22,4	24,2	30,5	°C	<40	<40	<40	X	X	X
3	Boro	<0,84	<0,84	<0,84	<0,84	<0,84	mg/L	0.3-4.0	5.0		X	X	
4	Cloruros	3,5	0,8	1,5	0,4	7,2	mg/L			250			X
5	Nitratos	0,852	0,736	<0,50	0,794	1,49	mg/L		90	10		X	X
6	Nitritos	0,052	0,055	0,053	0,073	0,078	mg/L		10	1.0		X	X
7	Nitrógeno Amoniacal	<0,05	0,059	<0,05	0,063	<0,05	mg/L			1.0			X
8	Sulfatos	2,97	3,21	18,84	21,22	35,78	mg/L			400			X
9	Coliformes Fecales	28,0	26,0	23,0	21,0	20,0	NMP	1000		2000	X		X
10	Coliformes Totales	121,0	289,0	372,0	296,0	289,0	NMP	5000		20000	X		X

CONVENCIONES

Uso Agrícola (A)
Uso Pecuario (P)
Uso Humano Domestico (H)

Tabla 98. Usos Reales del Cuerpo de Agua – Rio Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Tabla 98 se presenta los usos reales del cuerpo de agua, estos definidos con base en la resolución 2151 de 2011 que reglamenta los usos y aprovechamiento de las aguas de la corriente denominada Rio Villavieja; se clasificaron los usos de acuerdo a los valores permisibles contenidos en el decreto 1594 de 1984 para cada uso, de acuerdo a los resultados de los monitoreos de calidad de agua realizados sobre los tres tramos en los que fue dividido el Rio. A Continuación se detalla el uso real de mayor preponderancia por cada tramo, de acuerdo a lo reglamentado en la resolución:

FUENTE	TRAMO	ZONA	USO REAL DE MAYOR PREPONDERANCIA			
			Agrícola (A) (Has)	Pecuario (P) (Has) (Cab)		Doméstico (H) (Hab)
Río Villavieja	Tramo I	Zona Alta	530,6	4,57	431	10.785
	Tramo II	Zona Media	827,35	0,07	468	0
	Tramo III	Zona Baja	518,7	0,6	410	0
TOTAL			1876,65	5,24	1.309	10.785

Tabla 99. Usos Reales de Mayor Preponderancia – Río Villavieja

Fuente: Resolución N°1251 de 2011 (CAM)

Se puede apreciar en la Tabla 99 los usos reales de mayor preponderancia que se presentan en el Río Villavieja, destacando que en la zona alta de la cuenca el mayor uso corresponde al doméstico, seguido del uso agrícola y finalmente por el uso pecuario, en la zona media solo se presentan el uso agrícola y el uso pecuario, en la zona baja se presenta de igual modo el uso agrícola y pecuario, siendo el uso agrícola el de mayor preponderancia.

5. Evalúe los escenarios de intervención propuesta y/o en desarrollo, relacionados con la calidad del cuerpo de agua o tramo.

La metodología Mesoca propone que los objetivos de calidad para los recursos hídricos pueden darse en el marco de dos escenarios:

1. Que corresponda a un proceso sobre el cual ya se hayan dado algunos avances.
2. Que sea un proceso totalmente nuevo.

Para el Río Villavieja se tendrá en cuenta el escenario 1, pues existen avances sobre calidad de agua sobre la fuente, realizado por empresas públicas de Tello.

En este sentido se cuenta con avances de calidad de agua sobre la fuente realizados en el año 2013 por el laboratorio DIAGNOSTICAMOS SAS, contratado por Empresas Públicas de Tello, allí se evaluó el Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas y Fuente Receptora del Municipio de Tello: Aguas Arriba, Aguas Abajo y sobre el vertimiento.

N°	PARÁMETROS DE CALIDAD	UNIDADES	RESULTADOS		
			PUNTOS MONITOREADOS		
			B01	B02	B03
1	Caudal Aforado	L/s	3,5311	3,5983	7.83
2	Temperatura del Agua	°C	22,97	23,78	27.66
3	pH	Unidades de pH	8,57	8,65	7.61
4	Fosfatos	mgPO ₄ /L	0,35	0,43	27.67
5	Nitratos	mg NO ₃ /L	0,16	*	1.07
6	Sólidos Totales	mg/L	*	*	1024.91
7	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	150,0	176,0	714.0
8	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	144,0	82,0	308.0
9	Sólidos Sedimentables	mg/L	*	*	2.91
10	DBO ₅	mgO ₂ /L	2,8	*	576.8
11	DQO	mgO ₂ /L	14,2	*	721.0
12	Turbiedad	NTU	110	*	278
13	Coliformes Fecales	UFC/100 ml Muestra	5,5x10 ³	17x10 ³	*
14	Oxígeno Disuelto	Mg/L	8,04	7,92	*
15	Saturación de Oxígeno	%		99,68	*

CONVENCIONES

B01: Aguas Arriba Vertimiento de Tello (Fuente Receptora del Municipio de Tello)

B02: Aguas Abajo Vertimiento de Tello (Fuente Receptora del Municipio de Tello)

B03: Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas (Municipio de Tello)

(*) No Existen Datos del parámetro

Tabla 100. Antecedentes de Calidad de Agua sobre el Río Villavieja

Fuente: DIAGNOSTICAMOS SAS, 2013

Es importante resaltar que para la presente actualización de reglamentación y ordenamiento de la cuenca del Río Villavieja, se realizaron análisis de calidad de agua de tipo físico, químico y microbiológico y que son objeto de aplicación del modelo de simulación de calidad de agua desarrollado para la fuente.

Así mismo también se contemplan los objetivos de calidad de los cuerpos de agua receptores de aguas domésticas en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, establecidos bajo la resolución N°0825 del 19 de Mayo del 2006.

A continuación se detalla los objetivos de calidad de Río Villavieja como fuente receptora de los vertimientos domésticos del Municipio Tello, establecidos por la Autoridad Ambiental:

Cuenca	Corriente	Municipio	Tramo	Usos del Agua	Principal usos del agua	Parametro Fisicoquimico			
						Unidad de Medida	Valor Actual	Valor tecnico - Normativo	Objetivo de Calidad
RIO MAGDALENA	Río Villavieja	Tello	Zona 1. Antes de área urbana de Tello	Abastecimiento para consumo doméstico	Abastecimiento para consumo doméstico	pH (unidades de pH)	7- 9	7 - 9	7 - 9
						DB05 (mg/L)	<2	≤ 5	≤ 5
						SST (mg/L)	1	≤10	≤10
						OD (mg/L)	4 a 7	≥2	≥4
						Conformes Totales (NMP)	15	≤20000	≤20000
						Conformes Fecales (NMP)	3	≤2000	≤2000
						Sustancias de interés sanitario	Ausentes	Ausente	Ausente
	Río Villavieja	Tello	Zona 2. Luego de área urbana de Tello hasta desembocadura	Asimilacion y agricola	Asimilación y Agrícola	pH (unidades de pH)	5 a 9		7- 9
						DB05 (mg/L)	8	< 20	≤15
						OD (mg/L)	2 a 4	>2	≥ 3
						Material Flotante	Presentes	Ausentes	Ausentes
						Grasas y aceites	Presentes		Ausentes
						Olores Agresivos	Presentes	ausentes	Ausentes

Tabla 101. Objetivos de Calidad “Fuente receptora de los vertimientos domésticos del Municipio de Tello”

Fuente: Resolución N°0825 del 2006 – Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM

6. Levante una lista de usos potenciales del agua y criterios de calidad

En la Tabla 98 se relacionaron los usos reales actuales sobre el Río Villavieja, indicando los criterios de calidad que deben cumplirse, además en la Tabla 99 se mencionan los usos de mayor preponderancia en cada uno de los tramos del Río. El paso siguiente es mencionar los usos potenciales que pueden existir sobre el Río de acuerdo a los análisis de calidad realizados y los Criterios de calidad establecidos por la Norma, presentando en la siguiente Tabla:

N°	PARAMETROS	USOS POTENCIALES - RÍO VILLAVIEJA					ESTANDAR NORMATIVO – USOS (DECRETO 1594/1984)						Unid.	
		TRAMO I		TRAMO II		TRAMO III	Art. 38	Art. 39	Art. 40	Art. 41	Art. 42	Art. 43		Art. 45
		A01	A02	A03	A04	A05	H	h	A	P	R	r		F
1	Oxígeno disuelto	F	F	F	F	F							4.0	mg/L
2	% Saturación de Oxígeno	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr				70	70			%
3	pH	HhARrF	HhARrF	HARrF	HARrF	HhARrF	5.0-9.0	6.5-8.5	4.5-9.0		5.0-9.0	5.0-9.0	4.5-9.0	und
4	Temperatura	HhAPRrF	HhAPRrF	HhAPRrF	HhAPRrF	HhAPRrF	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	°C
5	Boro	AP	AP	AP	AP	AP			0.3-4.0	5.0			mg/L	
6	Cloruros	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh	250	250					mg/L	
7	Nitratos	HhP	HhP	HhP	HhP	HhP	10	10		90			mg/L	
8	Nitritos	HhP	HhP	HhP	HhP	HhP	1.0	1.0		10			mg/L	
9	Nitrógeno Amoniacal	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh	1.0	1.0				0.1 CL	mg/L	
10	Sulfatos	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh	400	400					mg/L	
11	Turbiedad	h	h	h	h	h		190					NTU	
12	Coliformes Fecales	HAR	HAR	HAR	HAR	HAR	2000		1000	200			UFU/100cm3	
13	Coliformes Totales	HARr	HARr	HARr	HARr	HARr	20000		5000	1000	5000		UFU/100cm3	

CONVENCIONES

- (H) consumo humano y doméstico, se requiere solamente tratamiento convencional
- (h) consumo humano y doméstico, se requiere sólo desinfección
- (A) uso agrícola
- (P) uso pecuario
- (R) Uso recreativo mediante contacto primario
- (r) Uso recreativo mediante contacto secundario
- (F) preservación de flora y fauna

Tabla 102. Usos Potenciales del Cuerpo de Agua y criterios de Calidad – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Tabla 102 se presenta los posibles usos potenciales que se pueden dar sobre el cuerpo de agua, se clasificaron los usos de acuerdo a los valores permisibles contenidos en el decreto 1594 de 1984 para cada uso, de acuerdo a los resultados de los monitoreos de calidad de agua realizados sobre los tres tramos en los que fue dividido el Río. A Continuación se detalla el uso potencial de mayor preponderancia por cada tramo, de acuerdo a lo clasificado en la tabla anterior.

RIO	TRAMO	ZONA	PUNTO	USOS POTENCIALES DE MAYOR PREPONDERANCIA						
				(H)	(h)	(A)	(P)	(R)	(r)	(F)
VILLAVIEJA	TRAMO I	ZONA ALTA	A01	X	X	X	X	X	X	X
			A02	X	X	X	X	X	X	X
	TRAMO II	ZONA MEDIA	A03			X	X	X	X	X
			A04			X	X	X	X	X
	TRAMO III	ZONA BAJA	A05			X	X	X	X	X

Tabla 103. Usos Potenciales de Mayor Preponderancia – Rio Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014 (Decreto 1594 de 1984)

En la Tabla 103 se presentan los usos preponderantes de acuerdo a los resultados y valores permisibles para cada uso, se resalta el uso doméstico y agrícola como usos preponderante en la fuente hídrica.

7. Elabore una lista con los objetivos de Calidad que más probabilidad tiene de ser cumplidos de acuerdo con la modelación de capacidad de carga del cuerpo de agua

Para establecer los objetivos de calidad se debe elegir el uso real y potencial de mayor preponderancia en cada punto monitoreado, teniendo en cuenta los resultados de calidad de agua.

RIO	TRAMO	ZONA	PUNTO	USOS DEL RECURSO HIDRICO	REAL	POTENCIAL
VILLAVIEJA	TRAMO I	ZONA ALTA	A01	Consumo Humano y Doméstico	P	P
				Agrícola	P	X
				Pecuario	P	X
				Recreativo		X
				Industrial		
				Preservación De Flora y Fauna		X
	TRAMO I	ZONA ALTA	A02	Transporte		
				Estético		X
				Consumo Humano y Doméstico	P	P
				Agrícola	P	X
				Pecuario	P	X
				Recreativo		X
	TRAMO II	ZONA MEDIA	A03	Industrial		X
				Preservación De Flora y Fauna		X
				Transporte		X
				Estético		
				Consumo Humano y Doméstico		
				Agrícola	P	P
TRAMO II	ZONA MEDIA	A03	Pecuario	P	X	
			Recreativo		X	
			Industrial		X	
			Preservación De Flora y Fauna		X	
			Transporte		X	
			Estético			

RIO	TRAMO	ZONA	PUNTO	USOS DEL RECURSO HIDRICO	REAL	POTENCIAL
				Consumo Humano y Doméstico		
			A04	Agrícola	P	P
				Pecuario	P	X
				Recreativo		X
				Industrial		X
				Preservación De Flora y Fauna		X
				Transporte		X
				Estético		
				Consumo Humano y Doméstico		
			A05	Agrícola	P	P
				Pecuario	P	X
				Recreativo		X
				Industrial		X
				Preservación De Flora y Fauna		X
				Transporte		X
				Estético		
	TRAMO III	ZONA BAJA				

P= Preponderante

Tabla 104. Usos Reales y Potenciales Preponderantes del Rio Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Teniendo en cuenta que en los tramos en los que fue dividido el Río se presentan múltiples usos, se tiene en cuenta el artículo 22 del decreto 3930 de 2010 donde establece que: “En aquellos tramos del cuerpo de agua o acuífero en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponderán a los valores más restrictivos de cada referencia”

Es preciso aclarar que para definir los criterios de calidad para uso doméstico, agrícola y pecuario se recurrió a la Resolución N° 0825 del 2006, por medio de la cual se definieron los objetivos de calidad para los cuerpos de agua o tramos de los mismos, de los municipios de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM.

Así mismo se aclara que los valores asignados para los objetivos de calidad se establecieron con base en los límites permisibles dados por la normatividad colombiana y los resultados de los parámetros en la modelación realizada.

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS
DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

C UENCA	TRAMO	PUNTO	USOS DEL AGUA	USOS PRINCIPALES DEL AGUA	PARAMETRO FISICOQUIMICO				OBJETIVOS DE CALIDAD
					Unidad	Valor Medido	Valor Modelado QUAL2Kw	Valor tecnico o Normativo	
RIO VILLAVIEJA	TRAMO I Zona Alta	A01	Consumo Humano y Doméstico, Agrícola, pecuario.	Consumo Humano y Doméstico, Agrícola, pecuario	pH (unid.)	8,36	8,69	5 - 9	7 - 9
					DB05 (mg/L)	7,0	10,49	≤ 20,0	≤ 15,0
					SST (mg/L)	10,0	7,28	≤ 10	≤ 10
					OD (mg/L)	7,80	8,45	≥ 2	≥ 5
					Coliformes Fecales (NMP)	28,0	28,0	≤ 2000	≤ 2000
					Coliformes Totales (NMP)	121,0	*	≤ 20000	≤ 20000
					Grasas y Aceites (mg/L)	8,0	*	≤ 20	< 10
					pH (unid.)	8,46	9,26	5 - 9	7 - 9
					DB05 (mg/L)	12,0	1,50	≤ 2,0	≤ 4,0
					SST (mg/L)	27,0	10,94	≤ 10	≤ 10
	OD (mg/L)	7,60	8,73	≥ 2	≥ 5				
	Coliformes Fecales (NMP)	26,0	721,45	≤ 2000	≤ 2000				
	Coliformes Totales (NMP)	289,0	*	≤ 20000	≤ 20000				
	Grasas y Aceites (mg/L)	5,34	*	≤ 20	< 10				
	TRAMO II Zona Media	A03	Uso Agrícola y uso pecuario	Uso Agrícola y uso pecuario	pH (unid.)	8,69	8,69	4,5 - 9	7 - 9
					DB05 (mg/L)	16	20,99	≤ 20	≤ 20
					OD (mg/L)	7,90	7,30	≥ 4	≥ 5
					Coliformes Fecales (NMP)	23,0	119,69	1000	1000
					Conductividad (µs/cm)	239,90	162,09	0-250	0-250
					Grasas y Aceites (mg/L)	5,34	*	≤ 20	< 10

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RÍO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS
DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

			pH (unid)	8,61	8,61	4.5 -9	7 - 9	
			DB05 (mg/L)	13	14,99	≤20	≤15	
			OD (mq/L)	7,30	6,89	≥ 4	≥ 5	
	A04	Uso Agrícola y pecuario	Uso Agrícola y uso pecuario	Coliformes Fecales (NMP)	21,0	105,54	1000	1000
				Conductividad (μs/cm)	251,40	162,09	0-250	0-250
				Grasas y Aceites (mg/L)	5,34	*	≤20	<10
				pH (unid.)	8,28	8,28	4.5 -9	7 - 9
				DB05 (mg/L)	12	11,99	≤20	≤15
				OD (mq/L)	6,70	6,08	≥ 4	≥ 5
				Coliformes Fecales (NMP)	20,0	20,0	1000	1000
				Conductividad (μs/cm)	442,0	405,6	<500	<500
				Grasas y Aceites (mg/L)	5,34	*	≤20	<10
TRAMO III Zona Baja	A05	Uso Agrícola y uso pecuario	Uso Agrícola y uso pecuario					

Tabla 105. Objetivos de Calidad para Cada punto Monitoreado– Río Villavieja
Fuente: FUNDISPROS, 2014

A continuación se presentan los objetivos de calidad establecido para cada uso asignada en cada tramo del Río Villavieja:

CUENCA	TRAMO	USOS	CRITERIOS DE CALIDAD	UNIDAD	OBJETIVOS DE CALIDAD
RÍO VILLAVIEJA	TRAMO I Zona Alta	Consumo Humano y Doméstico, Agrícola, pecuario	pH	(unid.)	7 - 9
			DB05	(mg/L)	≤ 15,0
			SST	(mg/L)	≤ 10
			OD	(mg/L)	≥ 5
			Coliformes Fecales	(NMP)	≤ 2000
			Coliformes Totales	(NMP)	≤ 20000
	TRAMO II Zona Media	Uso Agrícola y uso pecuario	Grasas y Aceites	(mg/L)	< 10
			pH	(unid.)	7 - 9
			DB05	(mg/L)	≤ 20
			OD	(mg/L)	≥ 5
			Coliformes Fecales	(NMP)	1000
			Conductividad	(µs/cm)	0-250
	TRAMO III Zona Baja	Uso Agrícola y uso pecuario	Grasas y Aceites	(mg/L)	< 10
			pH	(unid.)	7 - 9
			DB05	(mg/L)	≤ 20
OD			(mg/L)	≥ 5	
Coliformes Fecales			(NMP)	1000	
Conductividad			(µs/cm)	500	
		Grasas y Aceites	(mg/L)	< 10	

Tabla 106. Objetivos de Calidad para Cada Tramo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

El cumplimiento de los objetivos de calidad propuestos para el Río Villavieja deberá darse en el corto plazo, es decir en los próximos 5 años a partir del momento de su aprobación bajo Resolución.

Para conocer los objetivos de calidad en el mediano y largo plazo se tendrá en cuenta el escenario futuro (Escenario 1) que mejor se ajustó a la modelación realizada sobre el Río Villavieja, pues este permitió predecir la asimilación y/o degradación de los parámetros físico-químicos en la corriente.

En relación a lo anterior se afirma que el QUAL2Kw predijo que el escenario 1, en el cual se contempla la implementación de buenas prácticas agrícolas y el respeto de las determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes y la demarcación de las áreas de retiro para los cultivos de arroz, cacao y algodón existentes en la zona de estudio, es el escenario con los resultados más favorables para el río Villavieja, es decir que este escenario representa los valores

de los parámetros adecuados para cumplir con los objetivos de calidad a mediano y largo plazo.

En este sentido se presenta a continuación los valores de los parámetros de calidad que fueron modelados, siendo estos los valores ideales para asimilar la carga contaminante que se genera en cada tramo del Río Villavieja con respecto a los usos desarrollados en las actividades de los usuarios de la cuenca.

CUENCA	TRAMO	USOS	PUNTOS	CRITERIOS DE CALIDAD	UNIDAD	CALIBRACION CORTO PLAZO	ESCENARIO 1 MEDIANO Y LARGO PLAZO
RÍO VILLAVIEJA	TRAMO I Zona Alta	Consumo Humano y Doméstico, Agrícola, pecuario	A01	pH	(unid.)	8,71	8,72
				DB05	(mg/L)	10,49	6,39
				SST	(mg/L)	7,96	7,28
				OD	(mg/L)	8,45	8,48
			Coliformes Fecales	(NMP)	28,0	28	
			A02	pH	(unid.)	9,30	9,21
				DB05	(mg/L)	1,50	4,30
				SST	(mg/L)	10,36	8,38
	OD	(mg/L)		8,77	8,75		
	TRAMO II Zona Media	Uso Agrícola y uso pecuario	A03	Coliformes Fecales	(NMP)	721,45	667,99
				pH	(unid.)	8,69	9,18
				DB05	(mg/L)	20,99	9,74
				OD	(mg/L)	7,30	7,90
			Coliformes Fecales	(NMP)	119,69	116,38	
			A04	Conductividad	(µs/cm)	162,09	122,70
pH				(unid.)	8,61	9,18	
DB05	(mg/L)	14,09		9,04			
TRAMO III Zona Baja	Uso Agrícola y uso pecuario	A05	OD	(mg/L)	6,89	7,90	
			Coliformes Fecales	(NMP)	105,54	116,38	
			Conductividad	(µs/cm)	162,09	122,78	
			pH	(unid.)	8,28	8,64	
			DB05	(mg/L)	11,99	6,19	
OD	(mg/L)	6,08	6,70				
Coliformes Fecales	(NMP)	20,0	20				
Conductividad	(µs/cm)	405,69	269,25				

Tabla 107. Objetivos de Calidad Propuestos en el Corto, Mediano y Largo Plazo – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

- Aplique el modelo simplificado de simulación de capacidad de carga comparando escenarios reales y potenciales de vertimientos y carga permisible.

Para aplicar el modelo de simulación, se tuvieron en cuenta los resultados del monitoreo realizado en el río en Enero de 2014 y la literatura disponible sobre la calidad del agua exigida dependiendo de los usos del agua proyectados.

En la simulación de la capacidad de carga de cada tramo, se corrió el modelo Qua2Kw, este permitió determinar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias.

La aplicación del modelo tuvo como fin evaluar el estado actual del Río en términos de calidad del agua, además de predecir la respuesta de la corriente ante el planteamiento de escenarios futuros en los cuales se tienen en cuenta aspectos ambientales, sociales, culturales y económicos, así como la gradualidad de las actividades a realizar.

Siendo el escenario 1 en el cual se contempla la implementación de buenas prácticas agrícolas y el respeto de las determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes y la demarcación de las áreas de retiro para los cultivos de arroz, cacao y algodón existentes en la zona de estudio, el que presentó los resultados más favorables para el río Villavieja.

A continuación se presenta la información correspondiente a la simulación de la capacidad de carga de cada uno de los tramos del río Villavieja.

PARAMETRO	UNIDAD	ACTUAL	SUSTENTACIÓN
TRAMO I (ZONA ALTA)	Desde Antes del primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011)-bocatoma canal principal predio Los Andes, Hasta Antes del puente vía Tello-Villavieja.		
VERTIMIENTOS DOMESTICOS			
Caudal	L/s	11,29	Medido en Campo
Oxígeno Disuelto O.D	mg/L	3	Literatura Consultada
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/L	164,8	Literatura Consultada
Solidos Suspendidos Totales SST	mg/L	36,67	Literatura Consultada
Ph	Unidades	6,8	Literatura Consultada
Conductividad	µS/cm	350	Literatura Consultada
Nitrógeno Amoniacal	µg/L	25000	Literatura Consultada
Nitrógeno Orgánico	µg/L	15000	Literatura Consultada
Fosforo Orgánico	µg/L	3000	Literatura Consultada
Fosforo Inorgánico	µg/L	5000	Literatura Consultada
CALCULOS DE SIMULACION DE CAPACIDAD DE CARGA			
Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos inorgánico	m/d	1.599	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.



PARAMETRO	UNIDAD	ACTUAL	SUSTENTACIÓN
Tasa de hidrólisis de la materia orgánica de lenta descomposición	1/d	0.095	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Tasa de oxidación de la materia orgánica de lenta descomposición	1/d	0.045	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Tasa de oxidación de la materia orgánica de rápida degradación	1/d	4.491	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Hidrólisis de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	m/d	1.326	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Velocidad de sedimentación de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	1/d	0.023	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
concentración de DBOu inmediatamente después del punto de descarga	mg/L	245,97	$DBO_u = \frac{DBO_5}{1 - e^{-k \cdot t}}$, Donde $DBO_5 = 164,8$ mg/L y $k = 0,22$ d ⁻¹
DBOu máxima carga orgánica admisible por unidad de tiempo	Kg/h	10	Fórmula para hallar carga contaminante Extraída del Decreto 1267 de 2012. "Cc=Q*C*0,0036*t"
DBO5 Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	Kg/h	6,69	Fórmula para hallar carga contaminante Extraída del Decreto 1267 de 2012. "Cc=Q*C*0,0036*t"
DBO5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (Max Permissible)	Kg/día	160,56	Conversión de la DBO5 a días
Factor Percápita DBO5	Kg/P-día	0,05	Utilizado por CAM en los Procesos de tasas retributivas y establecido por MINIAMBIENTE.
Carga Equivalente	Personas	2.676	Aporte de 1 habitante equivalente (h-eq) DBO5=0,06 Kg/día. Carga equivalente= 160,56 Kg/día / 0,06 Kg/día
Población Actual	Personas	10.785	Cantidad de habitantes que hacen realizan actividades relacionadas con Uso doméstico, caracterizadas en la resolución de reglamentación de los usos del Río Villavieja (Resolución N° 1251 de 2011)
Carga de DBO5	Kg/día	669	Este es la carga que genera la población actual del tramo (10.785 personas), se

PARAMETRO	UNIDAD	ACTUAL	SUSTENTACIÓN
equivalente a la población actual			observa que la carga que puede asimilar el río es de 160,56 Kg/día que es una carga aportada por 2.676 personas

Tabla 108. Modelo de Simulación “QUAL2Kw” de Capacidad de Carga para El Tramo I del Río Villavieja
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

PARAMETRO	UNIDAD	ACTUAL	SUSTENTACIÓN
TRAMO II (ZONA MEDIA)			Desde Antes del puente vía Tello-Villavieja, Hasta Antes de la primera captación San Isidro (canal principal-trigésima quinta derivación canal San Isidro, según reglamentación 1251 de 31-05-2011)
TRAMO III (ZONA BAJA)			Desde Antes de la primera captación San Isidro (canal principal-trigésima quinta derivación canal San Isidro, según reglamentación 1251 de 31-05-2011), Hasta Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena.

VERTIMIENTOS AGRICOLAS

Caudal	L/s	885,32	Medido en Campo
Oxígeno Disuelto O.D	mg/L	4.5	Literatura Consultada
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅	mg/L	146,9	Literatura Consultada
Solidos Suspendedos Totales SST	mg/L	16,67	Literatura Consultada
Ph	Unidades	6,9	Literatura Consultada
Conductividad	µS/cm	400	Literatura Consultada
Nitrógeno Amoniacal	µg/L	500	Literatura Consultada
Nitrógeno Orgánico	µg/L	500	Literatura Consultada
Fosforo Orgánico	µg/L	100	Literatura Consultada
Fosforo Inorgánico	µg/L	100	Literatura Consultada

CALCULOS DE SIMULACION DE CAPACIDAD DE CARGA

Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos inorgánico	m/d	1.599	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Tasa de hidrólisis de la materia orgánica de lenta descomposición	1/d	0.095	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Tasa de oxidación de la materia orgánica de lenta descomposición	1/d	0.045	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Tasa de oxidación de la materia orgánica de rápida degradación	1/d	4.491	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Hidrólisis de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	m/d	1.326	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y

PARAMETRO	UNIDAD	ACTUAL	SUSTENTACIÓN
			la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
Velocidad de sedimentación de la materia orgánica particulada (Detritus (POM))	1/d	0.023	La calibración del modelo de calidad de agua mediante el Algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por Kannel et al y Pelletier et al.
concentración de DBOu inmediatamente después del punto de descarga	mg/L	219,25	$DBO_u = \frac{DBO_5}{1 - e^{-k \cdot 5}}$, Donde $DBO_5 = \text{mg/L}$ y $k = 0,22 \text{ d}^{-1}$
DBOu máxima carga orgánica admisible por unidad de tiempo	Kg/h	67,34	Fórmula para hallar carga contaminante Extraída del Decreto 1267 de 2012. "Cc=Q*C*0,0036*t"
DBO5 Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	Kg/h	468,19	Fórmula para hallar carga contaminante Extraída del Decreto 1267 de 2012. "Cc=Q*C*0,0036*t"
DBO5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (Max Permissible)	Kg/día	11.236,62	Conversión de la DBO5 a días

Tabla 109. Modelo de Simulación "QUAL2Kw" de Capacidad de Carga para El Tramo II y Tramo III del Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.2.4. Riesgos asociados a la reducción de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico.

Los Riegos asociados a la oferta y a la disponibilidad de agua, se derivan a partir de los resultados del índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH) actual y el índice de calidad fisicoquímico (ICA). (MINIAMBIENTE, 2014)

En este sentido se hallara el índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento y el índice de calidad Fisicoquímica de agua:

Vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH)

El Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH), permite identificar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) – podría generar riesgos de desabastecimiento. (IDEAM, 2010)

El Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico - IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA).

INDICE DE USO DE AGUA - IUA	INDICE DE REGULACION HIDRICA - IRH	CATEGORIA DE VULNERABILIDAD
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy Bajo	Medio
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy Bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy Bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy Bajo	Muy Alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy Bajo	Muy Alto

Tabla 110. Interpretación de Resultados de IVH

Fuente: Estudio Nacional de Agua – ENA, 2010

A continuación se halla el índice de regulación hídrica e índice de uso de agua para hallar la vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento.

- Índice de regulación hídrica (IRH)

“Este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación.” (ENA, 2010)

$IRH = V_p/V_t$ Ecuación 18

Dónde:

IRH: Índice de Retención y Regulación Hídrica.

Vp: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio.

Vt: Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.



DESCRIPCIÓN	RANGO DEL INDICADOR	CALIFICACIÓN
Muy baja retención y regulación de e humedad	(< 0.50)	Muy baja
Baja retención y regulación de humedad	(0.50 – 0.65)	Baja
Media retención y regulación de humedad media	(0,65 – 0.75)	Moderada
Alta retención y regulación de humedad	(0.75 - 0.85)	Alta
Muy alta retención y regulación de humedad	(> 0.85)	Muy alta

Tabla 111. Interpretación de la Calificación del IRH

Fuente: Estudio Nacional de Agua – ENA, 2010

Debido a que no existen registros de caudales diarios en la cuenca del Rio Villavieja, reportados por el IDEAM, no es posible hallar el Índice de Regulación Hídrica por el método mencionado; por tanto esto se convierte e igual modo en una limitante para hallar la vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento.

Debido a lo anterior, se extrae la información del estudio nacional de Agua, en donde en su ANEXO 1 se registra la oferta e indicadores hídricos en 309 Subzonas hidrográficas para condiciones medias y secas.

Así se tiene en cuenta la zona del alto Magdalena, pues el Rio Villavieja es afluente directo del rio Magdalena en la parte alta de la cuenca, por tanto el Índice de Regulación Hídrica es de 0,74; es decir que el Rio Villavieja tiene Media retención y regulación de humedad media, siendo así una regulación hídrica Moderada.

- Índice de uso de agua Superficial (IUA)

El Índice de uso del agua (IUA) corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo de tiempo t (anual, mensual) y en una unidad espacial de referencia j (área, zona, Subzonas, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales. (ENA, 2010)

$$IUA = (Dh / OH) * 100 \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

IUA: Índice de uso del agua

Dh: Demanda hídrica sectorial que corresponda

OH: oferta hídrica superficial disponible

DESCRIPCIÓN	RANGO DEL INDICADOR	CALIFICACIÓN
La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible	(> 50)	Muy Alto
La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible	(20.01 – 50)	Alto
La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible	(10.01 -20)	Moderado
La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible	(1-10)	Bajo
La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible	(≤ 1)	Muy Bajo

Tabla 112. Interpretación de la Calificación del IUA

Fuente: Estudio Nacional de Agua – ENA, 2010

ZONAS	OFERTA HIDRICA TOTAL		DEMANDA HIDRICA TOTAL	
	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO
ZONA ALTA	1208.00 Lps	777,62 Lps	376.81 Lps	654.19 Lps
ZONA MEDIA	1173.50 Lps	742,99 Lps	820.06 Lps	1004.08 Lps
ZONA BAJA	985.34 Lps	483, 40 Lps	655.55 Lps	704.12 Lps
TOTAL	3.366,84 Lps	2.004,01 Lps	1.852,42 Lps	2.362,39Lps

Tabla 113. Oferta y Demanda Hídrica – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2011

Índice de uso de Agua Superficial para época de invierno

Zona Alta

$$IUA = (Dh / OH) * 100$$

$$IUA = (376.81 \text{ Lps} / 1208.00 \text{ Lps}) * 100$$

$$IUA = 31,19$$

Zona Media

$$IUA = (Dh / OH) * 100$$

$$IUA = (820.06 \text{ Lps} / 1173.50 \text{ Lps}) * 100$$

$$IUA = 69,88$$

Zona Baja

$$IUA = (Dh / OH) * 100$$



$$IUA = (655.55 \text{ Lps} / 985.34 \text{ Lps}) * 100$$

$$IUA = 66,53$$

$$IUA_{\text{Invierno}} = IUA \text{ Zona Alta} + IUA \text{ Zona Media} + IUA \text{ Zona Baja} / 3$$

$$IUA_{\text{Invierno}} = (31,19 + 69,88 + 66,53) / 3 = 55,86 \text{ (Muy Alto)}$$

Índice de Uso de Agua Superficial para época de verano

Zona Alta

$$IUA = (Dh / OH) * 100$$

$$IUA = (654.19 \text{ Lps} / 777,62 \text{ Lps}) * 100$$

$$IUA = 84,12$$

Zona Media

$$IUA = (Dh / OH) * 100$$

$$IUA = (1004.08 \text{ Lps} / 742,99 \text{ Lps}) * 100$$

$$IUA = 135,14$$

Zona Baja

$$IUA = (Dh / OH) * 100$$

$$IUA = (704.12 \text{ Lps} / 483,40 \text{ Lps}) * 100$$

$$IUA = 145,65$$

$$IUA_{\text{Verano}} = IUA \text{ Zona Alta} + IUA \text{ Zona Media} + IUA \text{ Zona Baja} / 3$$

$$IUA_{\text{Verano}} = (84,12 + 135,14 + 145,65) / 3 = 121,63 \text{ (Muy Alto)}$$

Se puede apreciar que el índice de uso de agua para época de invierno y verano es muy alto, pues la presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.

Después de conocer el índice de regulación hídrica y el índice por uso de agua, se halla la vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento; según lo registrado en la Tabla 110, la vulnerabilidad es Alta; pues el índice de uso de agua es Muy alto y el índice de regulación hídrica es Moderado.

Índice de calidad fisicoquímico (ICA)

Teniendo en cuenta que en el numeral 3.1.8.1 del presente documento se determinó el índice de calidad de agua, se tendrá en cuenta los resultados de la Tabla 53 y se resumen a continuación en la siguiente tabla:

ZONAS DEL RIO VILLAVIEJA	PUNTOS DE MONITOREO	RESULTADO CRÍTICO DEL ICA CALCULADO	RANGO ICA	CLASIFICACIÓN
Alta	A01	78,55	70-90	Buena Calidad
	A02	71,77	70-90	Buena Calidad
Media	A03	68,42	50-70	Mediana Calidad
Baja	A04	69,26	50-70	Mediana Calidad
	A05	71,00	70-90	Buena Calidad

Tabla 114. Índice de Calidad Fisicoquímica – ICA “Río Villavieja”

Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.2.4.1. Riesgo Asociado a la Reducción de Oferta

La guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico, formulado por el ministerio de ambiente establece las orientaciones para el Análisis del riesgo asociado a la reducción de oferta, las cuales se describen a continuación:

La amenaza se considerará media y alta en los tramos donde el Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH) sea alto y muy alto respectivamente.

La vulnerabilidad se determinará identificando las captaciones para abastecimientos doméstico, agrícola y piscícola en los tramos previamente identificados con amenaza alta y media, considerando como de vulnerabilidad alta las que capten agua para uso doméstico y como de vulnerabilidad media las que se capten para los dos usos restantes. (MINIAMBIENTE, 2014)

Realizar el análisis cualitativo para determinar el riesgo, considerando la condición más crítica, por ejemplo: vulnerabilidad alta y amenaza alta: riesgo alto; alguna de las dos en nivel alto y la otra en medio: riesgo alto; las dos en nivel medio: riesgo medio.

Se puede determinar el riesgo por tramos como se muestra a continuación:

CORRIENTE HÍDRICA	TRAMOS	VULNERABILIDAD	AMENAZA	RIESGO
Río Villavieja	Tramo I Zona Alta	Alta	Media	Alto
	Tramo II Zona Media	Media	Media	Medio
	Tramo III Zona Baja	Media	Media	Medio

Tabla 115. Riesgos Asociados a la Reducción de la Oferta por Tramos

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Para hallar el riesgo global asociado a la reducción de la oferta sobre la Corriente, se determina la amenaza, sabiendo que la vulnerabilidad de la corriente hídrica es Alta, entonces la amenaza es media, generando así un Riesgo de Nivel Alto.

3.2.4.2. Riesgo Asociado a la Disponibilidad

La amenaza asociada a la disponibilidad se relacionará con la calidad del agua del recurso, mediante el análisis cualitativo de los resultados del ICA, por tramos.

La categorización de la amenaza se realizará asignando a los tramos la categoría de la condición más desfavorable del índice de calidad fisicoquímico, asociando la categoría de la amenaza al anterior resultado así:

- Calidad aceptable (Buena Calidad) con amenaza baja;
- Calidad regular (Mediana Calidad) con amenaza media y;
- Calidad mala con amenaza alta

Para hallar la vulnerabilidad por calidad, la información de las captaciones para abastecimientos doméstico, agrícola y piscícola. Para aquellas captaciones localizadas en tramos con amenazas media y alta, realizar el respectivo análisis cualitativo de vulnerabilidad de acuerdo con la priorización del uso, según el artículo 41 del Decreto 1541 de 1978, considerando vulnerabilidad alta lo correspondiente a los literales a y b; media lo correspondiente a los literales c y d; baja para el resto de usos. La categorización del riesgo (alto, medio y bajo) resultará de superponer los dos análisis anteriores predominando la condición más crítica entre los dos.

El Decreto 1541 de 1978 en su artículo 41 establece el orden de prioridades para otorgar concesiones de agua, así:

- Utilización para el consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural;
- Utilización para necesidades domésticas individuales;
- Usos agropecuarios comunitarios, comprendidas la acuicultura y la pesca;
- Usos agropecuarios individuales, comprendidos la acuicultura y la pesca;
- Generación de energía hidroeléctrica;
- Usos industriales o manufactureros;

- g.) Usos mineros;
- h.) Usos recreativos comunitarios, e
- i.) Usos recreativos individuales.

CORRIENTE HÍDRICA	TRAMOS	VULNERABILIDAD	AMENAZA	RIESGO
Río Villavieja	Tramo I Zona Alta	Alta	Baja	Alto
	Tramo II Zona Media	Media	Media	Medio
	Tramo III Zona Baja	Media	Baja	Medio

Tabla 116. Riesgos Asociados a la Disponibilidad por Tramos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Tabla 116 se presenta el nivel de riesgo asociado a la disponibilidad, encontrando que en el tramo I, el Riesgo es alto y en los tramos II y III el nivel de riesgo es medio.

3.2.5. Usos a asignar

A partir de los usos potenciales establecidos en la Tabla 103 y de los usos consignados en la Resolución N°1251 de 2011, se establecen a continuación los siguientes usos para los tres tramos en los cuales fue dividido el Río Villavieja, como fase fundamental del proceso de ordenación de la Corriente:

FUENTE	TRAMO	ZONA	USOS DEFINITIVOS A ASIGNAR		
			Doméstico (H)	Agrícola (A)	Pecuario (P)
Río Villavieja	Tramo I	Zona Alta	X	X	X
	Tramo II	Zona Media		X	X
	Tramo III	Zona Baja		X	X

Tabla 117. Usos a Asignar
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

En la Tabla 117 se establecen los usos definitivos asignar sobre la corriente del Río Villavieja que discurre por el municipio de Tello y Villavieja, estableciendo que para la zona alta de la cuenca se podrá hacer uso Doméstico, agrícola y pecuario; y zona media y baja, uso agrícola y pecuario; cabe resaltar que para estos usos se debe cumplir con las normas de calidad para los respectivos vertimientos generados en las actividades correspondientes a los usos descritos.

3.2.6. Definición de criterios de calidad por usos

El Decreto 3930 de 2010 define como criterios de calidad al conjunto de parámetros y sus valores utilizados para la asignación de usos al recurso y como base de decisión para el Ordenamiento del Recurso Hídrico.

Así mismo se cita el artículo 21 del decreto mencionado, donde se establece el rigor subsidiario para definir los criterios de calidad del recurso hídrico, pues la autoridad ambiental tiene competencia en hacer más estrictos los criterios de calidad de agua para los distintos usos previa la realización del estudio técnico que lo justifique, con fundamento en el artículo 63 de la Ley 99 de 1993. El criterio de calidad adoptado en virtud del principio del rigor subsidiario por la autoridad ambiental competente, podrá ser temporal o permanente.

En este sentido la definición de los criterios de calidad por usos para el Río Villavieja se realizara para usos múltiples, es decir que en aquellos tramos del Río en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponden a los valores más restrictivos de cada referencia; así:

CUENCA	TRAMOS	USOS	CRITERIOS DE CALIDAD	UNIDAD
RIO VILLAVIEJA	Tramo I	Consumo Humano y Domestico Agrícola Pecuario	pH	(unid.)
			DB05	(mg/L)
			SST	(mg/L)
			OD	(mg/L)
			Coliformes Fecales	(NMP)
			Coliformes Totales	(NMP)
	Tramo II	Agrícola y Pecuario	Grasas y Aceites	(mg/L)
			pH	(unid.)
			DB05	(mg/L)
			OD	(mg/L)
			Coliformes Fecales	(NMP)
			Conductividad	(μ s/cm)
	Tramo III	Agrícola y Pecuario	Grasas y Aceites	(mg/L)
			pH	(unid.)
			DB05	(mg/L)
			OD	(mg/L)
			Coliformes Fecales	(NMP)
			Conductividad	(μ s/cm)
		Grasas y Aceites	(mg/L)	

Tabla 118. Criterios de Calidad definidos por Usos

Fuente: FUNDISPROS, 2014

3.2.7. Fijación de zonas en donde se prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales.

De acuerdo a los resultados de calidad de agua en cada punto monitoreado sobre el Río Villavieja y los criterios de calidad establecidos por la normatividad colombiana se condiciona la descarga de aguas residuales en las siguientes zonas:

CUENCA	ZONAS	PUNTO MONITOREADO	DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES "CONDICIONADA"	DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES "PROHIBIDA"
> _ _ _ _		A01		X

Zona Alta	A02		X
Zona Media	A03	X	
Zona Baja	A04	X	
	A05	X	

Tabla 119. Zonas en las que se Condiciona y Prohíbe la descarga de Aguas Residuales

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Según lo Registrado en la Tabla 119 se prohíbe la descarga de aguas residuales en la Zona Alta de la cuenca, pues en esta zona predomina el uso doméstico, por ende se prohíbe la descarga de aguas residuales de vertimientos de cualquier índole que no cumpla con los criterios de calidad establecidos para el cumplimiento de los objetivos de calidad.

De otro lado se condiciona la descarga de aguas residuales en la zona media y baja pues según los análisis de calidad de agua parámetros como coliformes fecales, totales y conductividad eléctrica condiciona los usos potenciales que pueden darse en esta zona como el uso agrícola para cultivos de consumo directo y recreación mediante contacto primario.

3.2.8. Determinación de los casos en que deba prohibirse el desarrollo de actividades varias.

Para determinar los casos en los que se requiera la prohibición del desarrollo de actividades se debe tener en cuenta los usos asignados a cada tramo de división del Río, además la normatividad vigente en cuanto a calidad y cantidad del recurso hídrico.

3.2.9. Metas quinquenales de reducción de cargas contaminantes (Decreto 2667 de 2012)

De acuerdo con el Decreto 2667 de 2012 para el establecimiento de las metas quinquenales de reducción de carga contaminante se debe contar con la siguiente información:

- ✓ Estado del cuerpo de agua o tramo del mismo en términos de calidad y cantidad
- ✓ Identificación los usuarios que realizan vertimientos en cada cuerpo de agua.
- ✓ Calculo de la línea base como el total de carga contaminante de cada elemento, sustancia o parámetro contaminante vertida al cuerpo de agua o tramo del mismo
- ✓ Objetivos de calidad de los cuerpos de agua o tramos de los mismos
- ✓ Presentación de los escenarios de metas, de acuerdo al análisis de las condiciones que más se ajusten al objetivo de calidad y la capacidad de carga

del tramo o cuerpo de agua definidos a partir de evaluaciones y/o modelaciones de calidad del agua.

Estos requerimientos ya se encuentran definidos en el presente informe; a continuación se presentan un resumen de las cargas contaminantes generadas por los vertimientos sobre el Río Villavieja:

RESUMEN CARGA ACTUAL CONTAMINANTE POR VERTIMIENTOS				
TIPO DE USUARIO	DBO5 (Kg/Año)	SST (Kg/Año)	DBO5 (%)	SST (%)
Domestico	57.871,85	12.877,18	1,41 %	2,72 %
Agrícola	4.045.184,3	459.041,67	98,57 %	96,97 %
Lav. Sedimentadores	441,6	1.465,04	0,010 %	0,30%
TOTAL	4.103.497,75	473.383,89	100,0 %	100,0 %

Tabla 120. Resumen Cargas Contaminantes por DBO5 y SST

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Es importante mencionar que el municipio de Tello no se encuentra priorizado en el plan de departamental de agua del departamento del Huila para obras de colectores, interceptores y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, por lo tanto no existen metas de reducción reales que se puedan aplicar en la zona de estudio para vertimientos de origen domésticos, debido a que el municipio de Tello no cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas que puedan remover la carga contaminante generada por uso doméstico y poder cumplir con la meta de reducción que se plantean.

Por lo anterior se plantea porcentajes de reducción de acuerdo a los límites permisibles de concentraciones por DBO5 y SST para vertimientos establecidos por la resolución N° 631 de 2015, teniendo en cuenta que de acuerdo a los resultados de calidad de agua y a la modelación el mayor impacto generado es por vertimientos agrícolas de los cultivos de arroz, cacao y algodón. Por ende las metas estarán enfocadas en el escenario que mayor capacidad de asimilación tiene frente a los vertimientos generados sobre la fuente.

TIPO DE VERTIMIENTO	RIO VILLAVIEJA			RIO VILLAVIEJA		
	DBO5		CARGA TOTAL GENERADA EN CINCO AÑOS Kg/Año	SST		CARGA TOTAL GENERADA EN CINCO AÑOS Kg/Año
	CARGA ACTUAL 2014 (Kg/Año)	CARGA A VERTER 2018 (Kg/Año)		CARGA ACTUAL 2014 (Kg/Año)	CARGA A VERTER 2018 (Kg/Año)	
Doméstico	57.871,85	60.219,80	2.347,95	12.877,18	13.399,62	522,44
Agrícola	4.045.184,3	4.209.303,87	164.119,57	459.041,67	477.665,72	18.624,05
Sedimentadores	441,6	459,51	17,91	1.465,04	1.524,47	59,43
TOTAL	4.103.497,75	4.269.983,18	166.485,43	473.383,89	492.589,81	19.205,92

Tabla 121. Carga Contaminante Total Generada en el Quinquenio 2014 – 2018

Fuente: FUNDISPROS, 2014

TIPO DE VERTIMIENTO	CAUDAL (L/s)	PARAMETRO	RIO VILLAVIEJA CARGA ADMISIBLE		CARGA ACTUAL (Kg/Año)	NECESIDAD DE REDUCCIÓN	
			CONCENTRACIÓN ADMISIBLE (mg/ L)	CARGA ADMISIBLE (Kg/Año)		(Kg/Año)	%
Doméstico	11,29	DBO5	90	31.604,77	57.871,85	-26.042,33	45%
		SST	90	31.604,77	12.877,18	18.727,59	0%
Agrícola	885,32	DBO5	70	1.927.589,53	4.045.184,3	- 2.022.592,15	50%
		SST	70	1.927.589,53	459.041,67	1.468,547,86	0%
Sedimentadores	0,062	DBO5	70	134,9	441,6	-309,12	70%
		SST	70	134,9	1.465,04	-1.318,54	90%

Tabla 122. Cargas máximas Admisibles y Necesidades de Reducción para el Quinquenio 2014 - 2018

Fuente: FUNDISPROS, 2014

La Tabla 122 presenta las cargas máximas admisibles que se pueden generar sobre el agua del Rio Villavieja, esta se halló con las concentraciones máximas permisibles para DBO5 y SST establecidas por la resolución N° 631 del 2015 y el caudal medido en campo en los tres tipos de vertimientos caracterizados; después de tener la carga máxima

permisible se halló la necesidad de reducción de carga para cada vertimiento, restándole a la carga actual la carga máxima permisible, así se establece el porcentaje de reducción de carga contaminante para cada tipo de vertimiento.

META GLOBAL DE CARGA CONTAMINANTE PARA EL QUINQUENIO 2014 - 2018						
TIPO DE VERTIMIENTO	DBO5 (Kg/Año)			SST (Kg/Año)		
	CARGA ACTUAL	META GLOBAL	% DE REDUCCIÓN	CARGA ACTUAL	META GLOBAL	% DE REDUCCIÓN
Domestico	57.871,85	31.829,52	45	12.877,18	12.877,18	0
Agrícola	4.045.184,3	2.022.592,15	50	459.041,67	459.041,67	0
Sedimentadores	441,6	132,48	70	1.465,04	146,51	90
TOTAL	4.103.497,75	2.054.554,15		473.383,89	472.083,36	

Tabla 123. Meta Global de Reducción de Carga Contaminante para DBO5 y SST

Fuente: FUNDISPROS, 2014

La meta global de carga contaminante corresponde a la suma de las metas individuales de reducción para cada año del quinquenio, esta se determinó mediante la diferencia de la carga actual y la necesidad de reducción para cada tipo de vertimiento.

RIO VILLAVIEJA		METAS DE REDUCCIÓN				
TIPO DE VERTIMIENTO	CARGA ACTUAL	DBO5 (Kg/Año)				
		REDUCCIÓN DE CARGA				
		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Domestico	57.871,85	57.871,85	51.361,26	44.850,68	38.340,10	31.829,52
Agrícola	4.045.184,3	4.045.184,3	3.539.536,26	3.033.888,22	2.528.240	2.022.592,15
Sedimentadores	441,6	441,6	364,32	287,04	209,76	132,48
TOTAL	4.103.497,75	4.103.497,75	3.591.261,84	3.079.025,94	2.566.789,86	2.054.554,15

Tabla 124. Cronograma de Cumplimiento Meta Global Carga Contaminante por DBO5

Fuente: FUNDISPROS, 2014

RIO VILLAVIEJA		METAS DE REDUCCIÓN				
TIPO DE VERTIMIENTO	CARGA ACTUAL	SST (Kg/Año)				
		REDUCCIÓN DE CARGA				
		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Domestico	12.877,18	12.877,18	12.877,18	12.877,18	12.877,18	12.877,18
Agrícola	459.041,67	459.041,67	459.041,67	459.041,67	459.041,67	459.041,67
Sedimentadores	1.465,04	1.465,04	1.135,40	805,77	476,14	146,51
TOTAL	473.383,89	473.383,89	473.054,25	472.724,62	472.394,99	472.083,36

Tabla 125. Cronograma de Cumplimiento Meta Global Carga Contaminante por SST

Fuente: FUNDISPROS, 2014

La Tabla 124 y Tabla 125 presenta la carga contaminante por DBO5 y SST respectivamente, que se debe verter en cada año correspondiente al quinquenio 2014 – 2018 para el cumplimiento de la meta global establecida para el Río Villavieja.

Se puede observar que los vertimientos domésticos y agrícolas tienen carga contaminante por SST por debajo de la carga admisible reglamentada por la Resolución 631 de 2015, por lo anterior no existirá porcentaje de reducción para esta variable, teniendo en cuenta que se mantenga a lo largo del quinquenio.

Después de conocer las metas individuales de reducción y la meta global de carga contaminante sobre el Río Villavieja, se procede a detallar a las acciones a realizar para el cumplimiento de las metas; estas acciones se proyectarán con base en el escenario que más se ajustó a la capacidad de asimilación de carga contaminante en el Río Villavieja.

El escenario que mejor se adaptó a la capacidad de asimilación en la modelación es el escenario 1 correspondiente a la implementación de buenas prácticas agrícolas y el respeto de las determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes y la demarcación de las áreas de retiro para los cultivos de arroz, cacao y algodón existentes en la zona de estudio, debido a que la mayor carga contaminante es generada por vertimientos agrícolas.

A continuación se presenta un listado de acciones de buenas prácticas agrícolas que se pueden aplicar en la cuenca del Río Villavieja para el cumplimiento de las metas de reducción de carga contaminante:

La FAO define las buenas prácticas agrícolas como el conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas aplicables a la producción, procesamiento y transporte de alimentos, orientadas a cuidar la salud humana, proteger al medio ambiente y mejorar las condiciones de los trabajadores y su familia. (FAO, 2007).

Buenas prácticas agrícolas en los Cultivos

➤ **Lugar para Sembrar**

- Conocer la historia del predio.
- Reconocer tierras más fértiles y con disponibilidad de agua
- No sembrar en predios con contaminantes químicos
- El predio debe estar libre de basuras, papeles, plásticos y envases vacíos
- Ver que no exista riesgos de contaminación de aguas
- Conocer los tipos de plagas, enfermedades y malezas existentes, principalmente en el área de cultivo.
- Revisar posibles fuentes de contaminación desde terrenos vecinos
- Señalizar el lugar donde se sembrará el cultivo con números de lote o nombre del cultivo.

➤ **Preparación del Suelo**

- Con apoyo de un técnico agrícola analizar el tipo de suelo y su profundidad para el buen crecimiento de las raíces.
- Considerar la pendiente del predio donde se va a cultivar
- Realizar la mínima labranza posible
- Evitar la erosión y compactación
- Practicar rotación de cultivos

➤ **Manejo del Cultivo**

- Elegir semillas que se adapten a los suelos del predio
- Elegir semillas mejoradas y resistentes a las enfermedades más frecuentes de acuerdo a la recomendación de los técnicos
- Elegir fecha de siembra en el momento adecuado evitando las sequías, plagas y enfermedades
- Instalar basureros en zonas estratégicas del predio y arrojar la basura en éstos una vez terminado el día de trabajo
- Sembrar a distancia adecuada
- Usar Herramientas limpias y desinfectadas

➤ **Manejo del agua**

- Analizar el agua del predio al menos una vez al año para saber si está contaminada
- Usar la cantidad de agua necesaria para ahorro y cuidado del cultivo
- No realizar aplicaciones y preparaciones de agroquímicos cerca de las fuentes de agua.

➤ **Uso del Agua y el Riego**

- El uso del riego puede aumentar la cantidad de producción.
- Identificar las fuentes de agua que se usan para el riego y con asistencia de un técnico verificar que no está contaminada.
- Proteger los depósitos y canales de agua de animales, pájaros, etc.
- Mantener libre de basura los canales por donde circula el agua.
- Usar siempre el método de riego recomendado para su cultivo.
- Tener en cuenta la necesidad de agua del cultivo (no regar de más)
- El uso incorrecto de agua puede perjudicar la calidad del producto, por ello es necesario planificar el uso del riego.

➤ **Uso de Agroquímicos**

- Conocer el tipo de malezas, plagas y enfermedades que afectan a su cultivo
- Analizar si se puede aplicar un control biológico en vez de químico.
- Los agroquímicos que utilice deben estar permitidos, es decir, registrados en el País.
- No se deben usar agroquímicos vencidos o en mal estado (Verificar fecha de vencimiento)
- Consultar a un técnico para saber qué agroquímicos se recomienda usar de acuerdo a su cultivo y al tipo de malezas y enfermedades que lo afectan
- Se debe construir un lugar especial en el predio para guardar agroquímicos.
- Los agroquímicos deben estar debidamente separados y aislados de las semillas, forrajes, productos cosechados y fertilizantes

➤ **Uso de Fertilizantes**

- Consultar con un técnico para ver si es necesario aplicar fertilizantes químicos o se puede usar sólo abonos orgánicos
- Consultar a un técnico para saber qué fertilizante y qué cantidad se recomienda usar para su cultivo
- Aplicar sólo la dosis necesaria según la recomendación del técnico.
- No aplicar más de lo necesario para evitar contaminar aguas y suelos
- Se debe construir un lugar especial en el predio para guardar fertilizantes

➤ **Uso de Abonos orgánicos**



- Analizar si puede utilizar abono de origen animal o vegetal en los predios.
- El mal uso de abonos es una de las principales fuentes de contaminación
- Sólo utilizar abonos estabilizados
- Usar solamente abonos con un previo tratamiento de compostaje
- Aplicar el abono orgánico siempre antes de plantar los cultivos
- El abono debe prepararse en lugares lejanos al área de cultivo
- El abono debe prepararse en lugares lejanos a fuentes de agua y de terrenos inundables.

3.2.10. Normas de preservación de la calidad del recurso de manera temporal y definitiva.

Para preservar la calidad del agua que se logre con el cumplimiento de las metas de reducción de carga contaminante generada por vertimientos puntuales sobre el Río Villavieja, se debe atender a la normatividad establecida en cuanto al cumplimiento de los criterios de calidad.

Debido a lo anterior se mencionan los siguientes artículos contenidos en el decreto 1541 de 1978 se deben cumplir en cuanto a casos de vertimientos domésticos y agrícolas sobre el Río Villavieja, además de lo establecido en el decreto 1594 de 1984:

El artículo 221 del decreto 1541 de 1978 afirma que para iniciar la construcción, ensanche o alteración de habitaciones o complejos habitacionales o industriales, requerirá la presentación y aprobación de los planos de desagüe, cañerías y alcantarillado, y métodos de tratamiento y disposición de aguas residuales, previamente.

Otro caso pertinente para tener en cuenta en los vertimientos de origen domestico es el siguiente: Artículo 222, Cuando las aguas servidas no puedan llevarse a sistemas de alcantarillado público, regirá lo dispuesto en el artículo 145 del Decreto-ley número 2811 de 1974, y su tratamiento deberá hacerse de modo que no produzca deterioro de las fuentes receptoras, los suelos, la flora o la fauna.

Así mismo el artículo 223 establece que todo sistema de alcantarillado se deberá someter los residuos líquidos a un tratamiento que garantice la conservación de las características de la corriente receptora con relación la clasificación de la corriente receptora con relación a la siguiente clasificación (artículo 205):

Clase I. Cuerpos de agua que admiten vertimientos.

Clase II. Cuerpos de aguas que admiten vertimientos con algún tratamiento.

Para los vertimientos de uso agrícola, riego y drenaje se tendrá en cuenta lo definido en los siguientes artículos correspondientes al decreto 1541 de 1978 y decreto 1594 de 1984:

Artículo 225. Los desagües provenientes de riego pueden ser concedidos preferencialmente para nuevos usos en riego. La concesión puede imponer a su beneficiario la obligación de contribuir a los gastos de construcción, mantenimiento y operación de las obras de captación y conducción construidas por el concesionario original. (Decreto 1541 de 1978)

Artículo 67. Para el control del cumplimiento de las normas de vertimiento por parte de cada usuario, se deberá tener en cuenta que cuando la captación y la descarga se realicen en un mismo cuerpo de agua, en las mediciones se descontarán las cargas de los contaminantes existentes en el punto de captación. (Decreto 1594 de 1984).

Artículo 68. Los usuarios existentes que amplíen su producción, serán considerados como usuarios nuevos con respecto al control de los vertimientos que correspondan al grado de ampliación. (Decreto 1594 de 1984).

Artículo 70. Los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistema de tratamiento de agua o equipos de control de contaminación ambiental, y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo, no podrán disponerse en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistemas de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos. (Decreto 1594 de 1984).

Artículo 71. Para efectos del control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos, se tendrá en cuenta:

- a) Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de tres (3) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.
- b) Se prohíbe la aplicación aérea de agroquímicos dentro de una franja de treinta (30) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.
- c) La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente requerirá concepto previo del Ministerio de Salud o de su entidad delegada

3.2.11. Programa de seguimiento al recurso hídrico con el fin de verificar eficiencia y efectividad del ordenamiento.

Después de conocer la calidad del agua del Rio Villavieja, y afirmar que esta fuente tiene alta capacidad de autodepuración de contaminantes, además de conocer el escenario que más se adapta a las condiciones reales del rio, en cuanto a capacidad

de asimilación de contaminantes; se plantea el programa de seguimiento al recurso hídrico en cuanto calidad de agua con el objetivo de poder verificar la eficiencia y efectividad del proceso de ordenamiento adelantado sobre la cuenca.

Este programa relaciona proyectos encaminados a mejorar y preservar las condiciones de cantidad y calidad del Río Villavieja, para esto dentro de los proyectos identificados se encuentra, la recuperación de la ronda hídrica, actividades relacionadas con educación ambiental e implementación de buenas prácticas agrícolas. A continuación se presentan los proyectos del programa de seguimiento del recurso hídrico, teniendo en cuenta que estén incluidos dentro de los programas de plan de acción 2012 – 2015, establecido por la corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, teniendo como soporte las acciones establecidas dentro del programa de gestión Integral del recurso hídrico.

Proyecto 1: Campañas de Monitoreo y Aforo del Agua del Río Villavieja

Es conveniente realizar campañas de monitoreo de calidad de agua sobre el cauce principal del Río y sobre los vertimientos caracterizados, con el fin de verificar las metas de reducción de carga contaminante para cada año del quinquenio.

Proyecto 2: Recuperación capa vegetal Ronda Hídrica

En el cauce principal del Río Villavieja se observa un deterioro de la capa vegetal y desprotección de la ronda hídrica, por lo que se hace necesario realizar acciones que conlleve a la mitigación de estos impactos, para reestablecer la función y estructura de los ecosistemas asociados a la cuenca.

Proyecto 3: Educación Ambiental encaminada al cumplimiento de las metas establecidas en el Ordenamiento del Recurso Hídrico

Este proyecto busca sensibilizar y dar a conocer la importancia de los recursos naturales mediante actividades que conlleven a la protección del medio ambiente, desde una perspectiva de desarrollo sostenible. Proyectando actitudes y comportamientos ambientalista en los usuarios de la cuenca.

Proyecto 4: Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en los Cultivos

El Objetivo fundamental de este programa es la de reducir la carga contaminante por vertimientos agrícolas, generados principalmente por los descoles de riego de cultivos de arroz en la zona, así se busca implementar buenas prácticas agrícolas para mitigar el impacto ambiental ocasionado por este tipo de vertimientos, la implementación de las buenas prácticas agrícolas se da después de que los usuarios cuenten con la información de cómo aplicarlas, para ello se deben brindar capacitaciones de las diferentes prácticas para seguidamente realizar su implementación.

A continuación se presenta el cronograma de actividades del programa de seguimiento al recurso hídrico del Río Villavieja, en Jurisdicción de los municipios de Tello y Villavieja:



PROGRAMA DE SEGUIMIENTO AL RECURSO HIDRICO						
PROYECTOS	ACTIVIDADES	%EJECUCIÓN - QUINQUENIO				
		2014	2015	2016	2017	2018
Proyecto 1: Campañas de Monitoreo y Aforo del Agua del Río Villavieja	- Campañas de Monitoreo fisicoquímico sobre el cauce	20%	20%	20%	20%	20%
	- Campañas de Monitoreo fisicoquímico sobre los vertimientos	20%	20%	20%	20%	20%
	- Aforos sobre puntos de monitoreo	20%	20%	20%	20%	20%
	- Seguimiento		25%	25%	25%	25%
Proyecto 2: Recuperación capa vegetal Roda Hídrica	- Compra y adquisición de Predios		30%	40%	20%	10%
	- Adquisición de material vegetal	10%	20%	40%	15%	15%
	- Siembra		40%	40%	20%	
	- Mantenimiento			30%	40%	30%
	- Seguimiento y Monitoreo			30%	30%	40%
Proyecto 3: Educación Ambiental encaminada al cumplimiento de las metas establecidas en el Ordenamiento del Recurso Hídrico	- Identificación de Comunidad (Usuarios)	100%				
	- Capacitaciones sobre Normatividad ambiental recurso Agua	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones sobre uso eficiente y ahorro de agua	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones para dar a conocer objetivos de calidad	50%	50%			
	- Concertación y consolidación de las metas de reducción	50%	50%			
	- Cumplimiento de las metas en cada año del Quinquenio	20%	20%	20%	20%	20%
	- Evaluación y seguimiento	20%	20%	20%	20%	20%
Proyecto 4: Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en los Cultivos	- Capacitaciones a los usuarios en manejo de agroquímicos	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones a los usuarios en manejo de Fertilizantes	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones sobre la selección del lugar para sembrar	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones sobre la preparación del suelo para cultivar	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones sobre el manejo adecuado de los cultivos	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones sobre el manejo del agua y el riego	20%	20%	20%	20%	20%
	- Capacitaciones sobre uso de abonos orgánicos	20%	20%	20%	20%	20%
	- Evaluación y seguimiento	20%	20%	20%	20%	20%

Tabla 126. Programa de seguimiento al Recurso Hídrico – Río Villavieja

Fuente: FUNDISPROS, 2014

4. ELABORACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO

4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

De acuerdo a los resultados medidos en los puntos de monitoreo sobre el Río Villavieja y a los resultados de laboratorio se plantea clasificar el agua teniendo en cuenta los siguientes parámetros contenidos en la legislación colombiana:

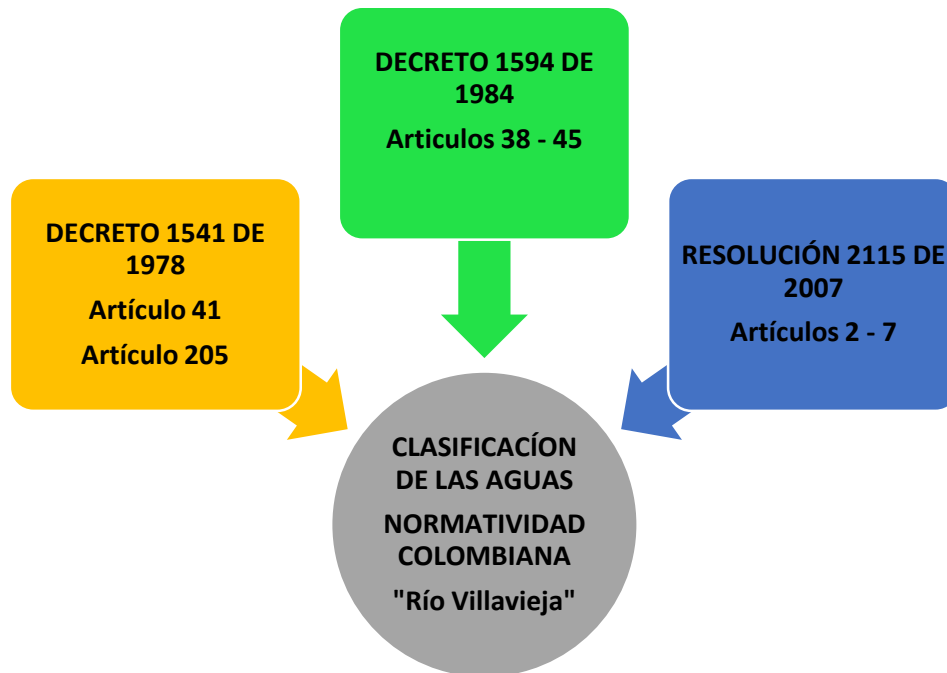


Figura 59. Clasificación de las Aguas – Normatividad Colombiana
Fuente: FUNDISPROS, 2014

4.1.1. Clasificación de las aguas (según artículo 41 del decreto 1541 de 1978)

El Decreto 1541 de 1978 reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973¹⁶, para clasificar el agua del Río Villavieja se tendrá en cuenta el artículo 41 y artículo 205 que definen lo siguiente:

¹⁶ **Ley 23 de 1973:** Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.

El Artículo 41 establece el orden prioridades que debe tener en cuenta para otorgar concesiones de agua sobre una corriente hídrica, siendo el orden el siguiente:

1	Utilización para el consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural	2	Utilización para necesidades domésticas individuales	3	Usos agropecuarios comunitarios, comprendidas la acuicultura y la pesca
4	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	5	Generación de energía hidroeléctrica	6	Usos industriales o manufactureros
7	Usos mineros	8	Usos recreativos comunitarios	9	Usos recreativos individuales.

Figura 60. Orden de Importancia para otorgar concesiones de agua superficiales

Fuente: Artículo 41 - Decreto 1541 de 1978

Las concesiones de aguas superficiales que se otorgaran en la reglamentación de los usos y aprovechamientos de las aguas del Río Villavieja corresponden a los cuatro primeros órdenes de importancia que se establecen en la Figura 60, específicamente uso doméstico, uso agrícola y uso pecuario; se tiene en cuenta que se reparten caudales para cada usuarios de acuerdo a las condiciones del predio, a las épocas de invierno y verano, teniendo en cuenta que una vez se otorgue la resolución de los usos y aprovechamiento para poder hacer uso de los caudales asignados deben estar en funcionamiento de las obras de control de caudales.

A demás se debe tener en cuenta que la mayoría de usos por parte de los usuarios corresponde a usos agrícolas; así mismo se tiene en cuenta el primer escenario arrojado por el modelo de simulación de calidad de agua, donde se contempló la implementación de buenas prácticas agrícolas y la demarcación de las áreas de retiro de los cultivos existentes con respecto al río.

4.1.2. Clasificación de las aguas (según artículo 205 del decreto 1541 de 1978)

El artículo 205 del decreto 1541 de 1978 establece la clasificación de las aguas con respecto a los vertimientos:

Clase I. Cuerpos de agua que admiten vertimientos.

Clase II. Cuerpos de aguas que admiten vertimientos con algún tratamiento.

Pertenece a la Clase I:

1. Las cabeceras de las fuentes de agua;
2. Las aguas subterráneas;
3. Los cuerpos de agua o zonas costeras, utilizadas actualmente para recreación;
4. Un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, conjuntamente con el Ministerio de Salud;
5. Aquellos que declare el Inderena como especialmente protegidos de acuerdo con lo dispuesto por los artículos 70 y 137 del Decreto-ley 2811 de 1974.

Pertencen a la Clase II, los demás cuerpos de agua no incluidos en Clase I

Para clasificar las aguas del Rio Villavieja con respecto a los vertimientos se tiene en cuenta que se localizaron en total 45 vertimientos directos de aguas residuales de diferente naturaleza en la corriente principal de Rio Villavieja.

Los 45 vertimientos identificados pertenecen a la clase II, según los análisis de calidad de agua realizados sobre la fuente y los resultados arrojados por el modelo de simulación de calidad de agua; pues el rio Villavieja tiene alto grado de autodepuración de cargas contaminantes contenidas en los vertimientos, teniendo en cuenta que lo ideal es mitigar la contaminación existente y aplicar estrategias de conservación de la fuente, es decir que los vertimientos deben tener algún tratamiento para mitigar los impactos que se generan.

A continuación se presenta los tipos de vertimientos y su respectiva descripción, encontrados sobre el Río:

N°	TIPO DE VERTIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD VERTIMIENTOS
1	VERTIMIENTO DESCOLES DE RIEGO	Provenientes de actividades de riego en cultivos (arroz, cacao, etc)	16
2	VERTIMIENTOS DOMÉSTICOS	Provenientes de baterías sanitarias, lavaplatos, lavaderos, duchas.	20
3	VERTIMIENTOS AGROPECUARIOS	Provenientes de procesos agrícolas: procesamiento de cacota de café, lavado de cocheras, establos.	2
4	VERTIMIENTOS INDUSTRIALES	Provenientes de curtiembres de cueros, procesamiento de alimentos.	2
5	VERTIMIENTOS SEDIMENTOS	Provenientes de lavado de tanques de sedimentación del acueducto.	3
6	VERTIMIENTOS MIXTOS_COLECTORES	Aguas provenientes de aliviaderos o descargas de la red de acueducto y alcantarillado municipal	2
TOTAL VERTIMIENTOS			45

Tabla 127. Tipos de Vertimientos sobre el Río Villavieja
Fuente: FUNDISPROS, 2014

El Decreto 1594 de 1984 reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979¹⁷, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974¹⁸ en cuanto a usos del agua y residuos líquidos; para clasificar los usos de agua del agua del Rio Villavieja se tiene en cuenta el “Capítulo IV, de los criterios de calidad para destinación del recurso”, en sus artículos 38 al 45, así:

ARTÍCULOS	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
Art. 38	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional	(H)
Art. 39	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico, e indican que para su potabilización se requiere sólo desinfección	(h)
Art. 40	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola	(A)
Art. 41	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario	(P)
Art. 42	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario	(R)
Art. 43	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario	(r)
Art. 44	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso estético.	(E)
Art. 45	Donde se establece los criterios admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas.	(F)

Tabla 128. Criterios de Calidad para destinación del recurso Hídrico
Fuente: DECRETO 1594 DE 1984

4.1.3. Clasificación de las aguas (según artículos 2 al 7 de la Resolución 2115 de 2007)

La resolución 2115 de 2007 establece las características, instrumentos básicos, y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Para la evaluación de los parámetros permisibles contemplados en la resolución 2115 de 2007 se tendrá en cuenta el capítulo II de la Resolución, referente a las

¹⁷ **Ley 09 de 1979:** Establece las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana.

¹⁸ **Decreto 2811 de 1974:** Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente

características físicas, químicas y microbiológicas del agua. En cuanto a características físicas de calidad contenidas en la resolución 2115 y los parámetros físicos evaluados en los monitoreos se encuentran los siguientes:

- ✓ Turbiedad
- ✓ Conductividad
- ✓ Potencial del hidrogeno

Para las características químicas se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Carbono Orgánico Total
- ✓ Nitritos
- ✓ Nitratos
- ✓ Cloruros
- ✓ Magnesio
- ✓ Sulfatos
- ✓ Fosfatos

Finalmente se tuvieron en cuenta las características microbiológicas del agua, determinadas mediante la técnica de filtración por membranas (SM22 9221 B) las cuales están representadas por:

- ✓ Coliformes Fecales
- ✓ Coliformes Totales

Es importante resaltar que se evalúan las anteriores características con el propósito de determinar la calidad del agua del Rio Villavieja en jurisdicción de los Municipios de Tello y Villavieja y las implicaciones sobre la salud humana, si se encuentran por encima del límite permisible por la resolución. Así mismo se aclara que la presente resolución adopta criterios señalados en el Decreto 1575 de 2007, que establece el sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano.

A continuación se especifica los criterios evaluados y su comparación con el decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007:

ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CORRIENTE DE RIO VILLAVIEJA QUE DISCURRE POR LOS MUNICIPIOS
DE TELLO Y VILLAVIEJA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
Contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013

Nº	PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO DEL DECRETO 1594/84 Y RESOLUCION 2115 DE 2007 DE ACUERDO A LOS VALORES PERMISIBLES PARA CADA USO								VALORES PERMISIBLES DEC. 1594/84							VALORES PERMISIBLES RESOLUCION 2115/2007	Otros Autores (Uso Agrícola)	UNID
		A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02	B03	Art. 38	Art. 39	Art. 40	Art. 41	Art. 42	Art. 43	Art. 45	Art. 2,3,4,5,6 y 7		
	SITIO DE MUESTREO								H	h	A	P	R	r	F	C ¹⁹			
	RESPONSABLE DEL MONITOREO	CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA.																	
1	Oxígeno disuelto	F	F	F	F	F	F	F	*							4.0		mg/L	
2	% Saturación de Oxígeno	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	*				70	70				%	
3	pH	HhA	HhA	HAR	HAR	HhA	HAR	HAR	HhA	5.0-	6.5-	4.5-		5.0-	5.0-	4.5-		und	
		RrF	RrF	rF	rF	RrF	rF	rF	RrF	9.0	8.5	9.0		9.0	9.0	9.0			
		C	C	C	C	C	C	C	C							6.5 – 9,0			
4	Temperatura	HhA	HhA	HhA	HhA	HhA	HhA	HhA	HhA	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40		°C	
		PRr	PRr	PRr	PRr	PRr	PRr	PRr	PRr										
		F	F	F	F	F	F	F	F										
5	Boro	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP			0.3-	5.0					mg/L	
		A	A	A	A	A	*	*	*			4.0						mEq/L	
6	Cloruros	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh	*	*	*	250	250							mg/L	
		C	C	C	C	C	*	*	*							250			
7	Nitratos	HhP	HhP	HhP	HhP	HhP	HhP	HhP	HhP	10	10		90					mg/L	
		C	C	C	C	C	C	C	C							10			
8	Nitritos	HhP	HhP	HhP	HhP	HhP	*	*	*	1.0	1.0		10					mg/L	
		C	C	C	C	C	*	*	*							0,1			
9	Nitrógeno Amoniacal	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh	*	*	*	1.0	1.0				0.1	CL	mg/L		
10	Sulfatos	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh	*	*	*	400	400							mg/L	
																250			
11	Turbiedad	h	h	h	h	h	h	h	NC		190							NTU	

¹⁹ C: Cumple con los Límites permisibles para consumo Humano según resolución 2115 de 2007.



Nº	PARÁMETRO SITIO DE MUESTREO	CUMPLIMIENTO DEL DECRETO 1594/84 Y RESOLUCION 2115 DE 2007 DE ACUERDO A LOS VALORES PERMISIBLES PARA CADA USO									VALORES PERMISIBLES DEC. 1594/84							VALORES PERMISIBLES RESOLUCION 2115/2007	Otros Autores (Uso Agrícola)	UNID
		A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02	B03	Art. 38	Art. 39	Art. 40	Art. 41	Art. 42	Art. 43	Art. 45	Art. 2,3,4,5,6 y 7			
										H	h	A	P	R	r	F	C ¹⁹			
	Porcentaje de Sodio Posible (PSP)			A														< 50% pero menos de 10 mEq/l de Sodio	%	
23	Salinidad Efectiva	A	A	A	A	A	*	*	*									<3 ²⁴	mEq/l	
24	Salinidad Potencial	A	A	A	A	A	*	*	*									<3 ¹⁰	mEq/l	
25	Carbonato de Sodio Residual	A	A	A	A	A	*	*	*									<1.25	mEq/l	

Tabla 129. Comparación de Parámetros con el Decreto 1594/84 y La Resolución 2115/2007

Fuente: FUNDISPROS, 2014

²⁴Límite propuesto por Valverde (1998) para uso Agrícola

Para los puntos monitoreados sobre el Río Villavieja y de acuerdo a lo contenido en el Decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007 para fines correspondientes a la calidad del recurso hídrico de la fuente se identificaron los siguientes usos:

A01: En el sitio denominado A01 correspondiente al punto identificado antes del primer uso (Bocatoma Canal principal predio Los Andes) el agua si es apta para uso Agrícola y Pecuario; se encuentra condicionada para consumo humano y doméstico. Teniendo en cuenta lo indicado en los límites permisibles del Decreto 1594/84, la potabilización de la fuente hídrica se puede realizar mediante Tratamiento Convencional o solo Desinfección.

A02: Las características del agua en este sitio monitoreado aguas arriba de la Bocatoma del Acueducto municipal de Tello son muy similares a las del monitoreo A01, por tanto los usos permitidos en esta zona corresponden Agrícola y Pecuario, y usos condicionados para consumo humano y doméstico.

A03: Los resultados obtenidos en el monitoreo realizado Aguas Arriba del Vertimiento de ARD del Municipio de Tello muestra un comportamiento similar al de los dos sitios anteriores, con la diferencia que en este sitio el criterio de pH indica que para la potabilización del recurso hídrico se requiere Tratamiento Convencional.

A04: Con el monitoreo realizado Aguas Abajo del Vertimiento de ARD del Municipio de Tello se encontró que la fuente en este punto empieza a ser condicionada para uso Agrícola debido a que no se cumple lo establecido en la norma en lo que respecta a los límites permisibles de Conductividad Eléctrica, es decir, se presenta un aumento en las sales presentes en la fuente, este incremento se le atribuye a la descarga de aguas residuales producto de actividades domésticas de la cabecera urbana del municipio de Tello y a posibles filtraciones de procesos de lixiviación.

A05: Finalmente los resultados obtenidos en el muestreo realizado Antes de la desembocadura del Río Villavieja al Río Magdalena indican que a pesar de recibir descargas contaminantes como las ARD del Municipio de Tello y vertimientos agropecuarios, la fuente hídrica logra autodepurarse antes de llegar a su desembocadura, siendo la conductividad eléctrica el único parámetro.

B01: La localización de este monitoreo es la misma del sitio de A03, sin embargo B01 fue evaluado en el año 2013, año en el cual arrojó como resultado que de acuerdo a los valores admisibles establecidos por el decreto 1594 de 1984 para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico, con los parámetros evaluados se tiene que el punto aguas arriba del Vertimiento Municipal es apto en relación a los nitratos, Turbiedad, pH y Temperatura, sin embargo los coliformes fecales restringen su destinación para consumo Humano, Agrícola y Recreacional.

B02: Este monitoreo fue realizado en el mismo sitio que A04 Aguas Abajo del Vertimiento Municipal pero en el año 2013, del cual se tiene las mismas limitantes que en B01.

B03: Correspondiente al vertimiento de Tello evaluado en el año 2013, en este punto los usos se ven limitados por la falta de datos y los exigentes no cumple con los valores permisibles contemplados en el decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007

SITIOS DE MONITOREO	USOS PERMITIDOS	USOS CONDICIONADOS	USOS PROHIBIDOS	PARÁMETROS QUE RESTRINGEN LA DESTINACIÓN DEL RECURSO
A01. Río Villavieja, Antes del primer uso identificado en la reglamentación (1251 de 31-05-2011) bocatoma canal principal predio Los Andes	Agrícola, Pecuario, Recreativos mediante contacto primario y secundario y preservación de Flora y Fauna.	Consumo Humano y Doméstico		Coliformes Fecales y Coliformes Totales
A02. Río Villavieja, Aguas arriba de la Bocatoma del Acueducto Municipal de Tello	Agrícola, Pecuario, Recreativos mediante contacto primario y secundario y preservación de Flora y Fauna.	Consumo Humano y Doméstico		Coliformes Fecales y Coliformes Totales
A03. Río Villavieja, Aguas Arriba del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello	Pecuario, Recreativos mediante contacto secundario y preservación de Flora y Fauna.	Agrícola Y Recreativos mediante contacto primario.	Consumo Humano y Doméstico	Coliformes Fecales
A04. Río Villavieja, Aguas Abajo del Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Tello	Pecuario, Recreativos mediante contacto secundario y preservación de Flora y Fauna.	Agrícola y Recreativos mediante contacto primario	Consumo Humano y Doméstico	Conductividad Eléctrica Coliformes Fecales Coliformes Totales
A05. Río Villavieja, Antes de la desembocadura al Río Magdalena	Agrícola (cultivos consumo indirecto) Pecuario, Recreativos mediante contacto primario y secundario y preservación de Flora y Fauna.	Agrícola (cultivos consumo directo)	Consumo Humano y Doméstico	Conductividad Eléctrica

Tabla 130. Posibles Usos del Cuerpo de Agua en cada sitio Monitoreado, según Decreto 1594/84 y Resolución 2115 de 2007.

Fuente: FUNDISPROS, 2014

4.2. ASPECTOS AMBIENTALES

OBJETIVO GENERAL

Definir y zonificar ambientalmente la corriente del Rio Villavieja en jurisdicción de los municipios Tello y Villavieja en el marco de ordenamiento del recurso hídrico y la normatividad vigente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar los aspectos ambientales que definen la corriente del Rio Villavieja en los municipios de Tello y Villavieja articulando la oferta ambiental que proporciona la cuenca.
- Establecer las directrices legales y ambientales necesarias para la zonificación del proceso de ordenamiento de recurso hídrico del Rio Villavieja.
- Construir la línea base en relación a los aspectos ambientales para la definición del diagnóstico ambiental de la cuenca.
- Emitir un diagnóstico en relación los impactos ambientales generados en la cuenca y la zonificación ambiental que se establezca.

4.2.1. Recopilación y análisis de la Información Básica para el Estudio

Con el propósito de dar cumplimiento a los requisitos establecidos para la realización del estudio con respecto al componente ambiental y la zonificación de la cuenca hidrográfica del Rio Villavieja en jurisdicción de los municipios de Tello y Villavieja, se recopiló información confiable de fuentes primarias y secundarias (**Tabla 131**) las cuales se mencionan a continuación:

FICHA BIBLIOGRAFICA	LUGAR Y FECHA DE CREACIÓN	FORMATO	INFORMACIÓN
Esquema de ordenamiento Territorial Municipio de Villavieja Huila.	Villavieja, 2000	Digital (.PDF)	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensión Ambiental del Municipio. • Amenazas del Municipio • Ecosistemas Estratégicos
Plan de Desarrollo del Municipio de Tello 2012 - 2015	Tello, 2012	Digital (.PDF)	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico de la dimensión ambiente natural. • Amenazas del Municipio • Áreas de interés ambiental
Elaboración de los Estudios y Diseños de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de las zonas urbanas, centros poblados y sistemas Regionales que fueren necesarios de la subregión Uno, Norte del Departamento del Huila	Tello, 2009	Digital (.DOC)	<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos físicos del Municipio • Estudio Hidrológico • Características socioeconómicas • Características hidrográficas de la cuenca
Estudio General de Amenazas sísmicas de Colombia	Bogotá, 1984	En Línea	<ul style="list-style-type: none"> • Reportes de Amenazas en la Zonas de estudio
Diagnóstico Ambiental del Departamento del Huila. CAM.	Neiva Huila, 2010	Digital (.PDF)	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del recurso Hídrico en el Huila • Biodiversidad • Suelos • Ecosistemas
Código Nacional de los Recursos Naturales "Decreto 2811 de 1974"	Santafé de Bogotá, 1974	Digital (.DOC)	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas y Normas para Zonificación
Decreto 1729 de 2002	Santafé de Bogotá, 2002	Digital (.DOC)	<ul style="list-style-type: none"> • Reglamentación para ordenación de cuencas Hidrográficas • Conservación de la estructura físico-biótica de la Cuenca

Tabla 131. Recopilación de Información
 Fuente. FUNDISPROS, 2014

4.2.2. Metodología del Estudio

Todas las actividades realizadas por el hombre están relacionadas directa o indirectamente con el medio ambiente, es decir, existe una estrecha relación con los componentes bióticos y abióticos del entorno, estas actividades inducen a la generación de impactos que provocan desequilibrio en los ecosistemas y por ende en la sostenibilidad ambiental. Es así como se busca establecer los aspectos ambientales que enmarcan la cuenca y la respectiva zonificación ambiental con el objetivo de garantizar el ordenamiento del Rio Villavieja; para ello se parte de los lineamientos dados por la ubicación geográfica, aspectos metodológicos, línea base que permita llegar a un diagnóstico ambiental, articulación de la oferta y la demanda del ecosistema y así mismo tener claras las unidades de zonificación.

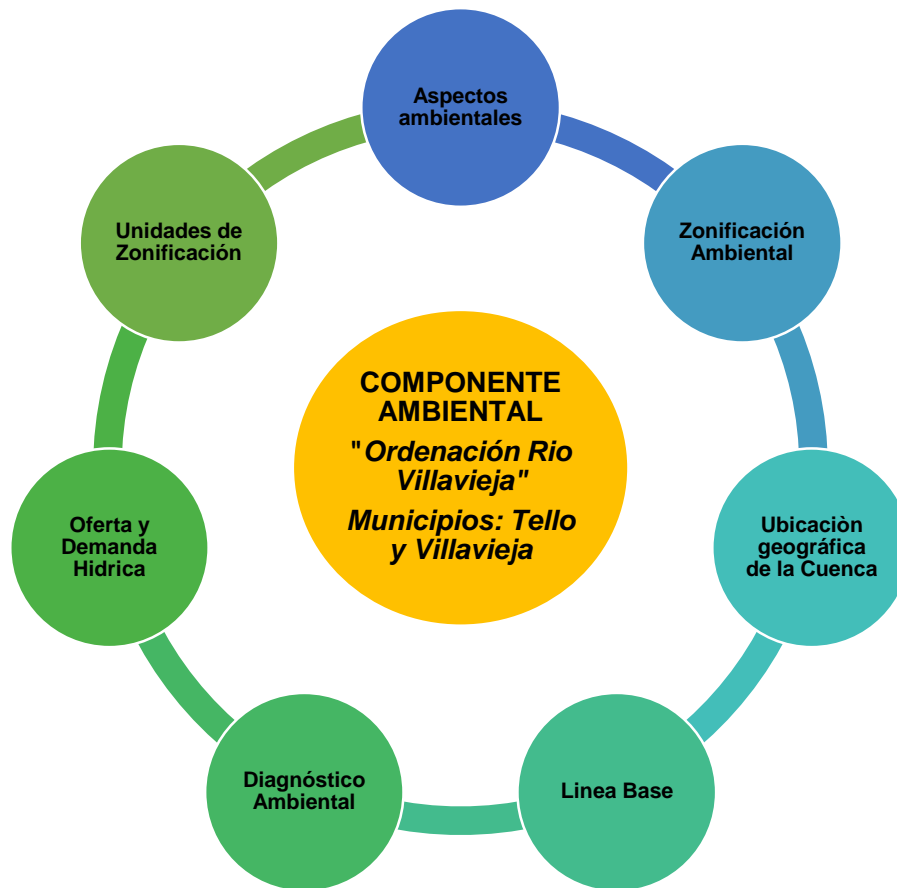


Figura 61. Metodología Componente Ambiental – Río Villavieja
Fuente. FUNDISPROS, 2014

4.2.3. Aspectos Ambientales

Los aspectos ambientales están reflejados por las situaciones o acciones que impactan, afectan o inciden positiva o negativamente en la cuenca en un tiempo determinado.

En este sentido es importante resaltar que el ordenamiento del recurso hídrico de la corriente del Río Villavieja en los municipios de Tello y Villavieja está orientado a la protección, conservación, recuperación, control y manejo adecuado de los recursos naturales y el medio ambiente.

La información recopilada, los recorridos en campo y las reuniones con los actores sociales de la cuenca, permitieron identificación de las situaciones ambientales que serán descritas a lo largo del estudio.

4.3. ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

La zonificación ambiental se entiende como un proceso dinámico que permite la división el territorio en unidades relativamente homogéneas, teniendo en cuenta aspectos biofísicos, económicos, legales y sociales.

El Código de los Recursos Naturales, en su Artículo 30, establece que “para la adecuada protección del ambiente y de los recursos naturales, el Gobierno Nacional establecerá políticas y normas sobre zonificación. Los Departamentos y Municipios tendrán sus propias normas de zonificación”²⁵ (Decreto 2811, 1974).

De acuerdo con el Decreto 1729 de 2002, “La ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. La ordenación así concebida constituye el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica”.²⁶ (Decreto 1729, 2002).

A demás establece que la ordenación de cuencas se hará teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes principios y directrices:

²⁵ Decreto - Ley 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales. “El Ambiente es patrimonio común, el Estado y los particulares deben participar en su preservación, manejo y defensa del ambiente y sus elementos”

²⁶ Decreto 1729 de 2002: Reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993.

1. El carácter de especial protección de las zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de aguas y zonas de recarga de acuíferos, por ser considerados áreas de especial importancia ecológica para la conservación, preservación y recuperación de los recursos naturales renovables.
2. Las áreas a que se refiere el literal anterior, son de utilidad pública e interés social y por lo tanto deben ser objeto de programas y proyectos de conservación, preservación y/o restauración de las mismas.
3. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso y deberá ser tenido en cuenta en la ordenación de la respectiva cuenca hidrográfica.
4. Prevención y control de la degradación de la cuenca, cuando existan desequilibrios físicos o químicos y ecológicos del medio natural que pongan en peligro la integridad de la misma o cualquiera de sus recursos, especialmente el hídrico.
5. Prever la oferta y demanda actual y futura de los recursos naturales renovables de la misma, incluidas las acciones de conservación y recuperación del medio natural para asegurar su desarrollo sostenible.
6. Promover medidas de ahorro y uso eficiente del agua.
7. Considerar las condiciones de amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales que puedan afectar el ordenamiento de la cuenca.
8. Los regímenes hidroclimático de la cuenca en ordenación.

Teniendo en cuenta que los anteriores puntos representan una idea real para llegar a la zonificación ambiental de la zona objeto de estudio; se tomará algunos de los puntos anteriores para fortalecer el avance en la metodología que se plantea a continuación:

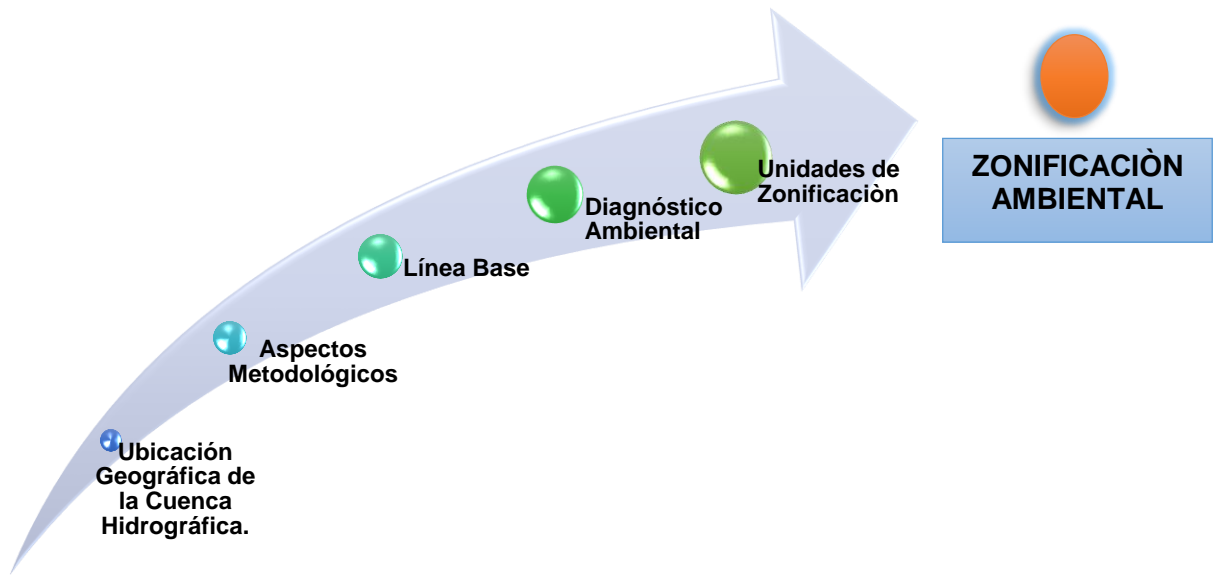
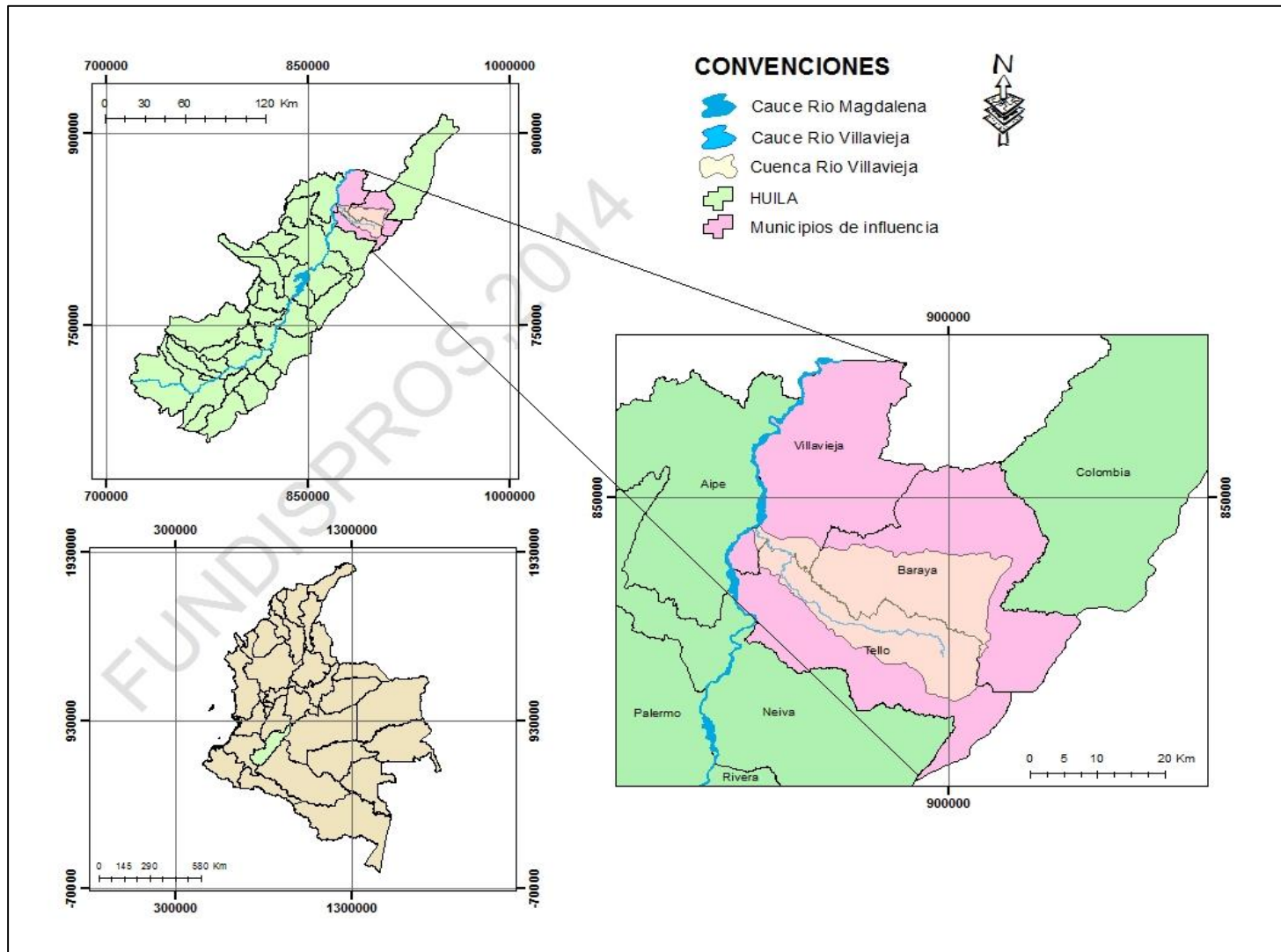


Figura 62. Metodología Zonificación Ambiental – Rio Villavieja
Fuente. FUNDISPROS, 2014

4.4.1. Ubicación Geográfica de la Cuenca Hidrográfica

La subcuenca hidrográfica del río Villavieja se encuentra ubicada dentro de la gran cuenca hidrográfica del río Magdalena en el departamento del Huila, y comprende los municipios de Tello y Villavieja. El río Villavieja nace a 2000 m.s.n.m. en la cordillera Oriental en cercanías a los caseríos de San Andrés y Mesa Redonda, recorre aproximadamente 52.7 km y desemboca en el río Magdalena a 390 m.s.n.m.

Durante su recorrido recibe las aguas de corrientes menores como la de quebradas como La Nutria, corriente que surte con sus aguas al acueducto de la cabecera municipal de Baraya, además de las quebradas: Las Juntas, Coscorrón, Quebradillas, Lalasa, El Tigre, Los Fieros, El Potrero, Los Pozos, Carboneros, La Arenosa y Bolsoncito.



4.4.2. Aspectos Metodológicos

Para llegar a la zonificación ambiental que se plantea en la corriente del Rio Villavieja en los municipios de Tello y Villavieja, se establece aspectos metodológicos, basados en la información recopilada del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Tello y del municipio de Villavieja.

Además para establecer la parte ambiental del proceso de ordenamiento del Rio Villavieja, la metodología está proyectada en una línea base y en un diagnóstico ambiental que contendrá los antecedentes que se tiene con respecto a factores ambientales en las zonas de los municipios de Tello y Villavieja.

4.4.3. Línea Base

La zonificación ambiental está encaminada a un análisis prospectivo de las situaciones o problemáticas que se presentan en la cuenca del Rio Villavieja en jurisdicción de los municipios de Tello y Villavieja, así la línea base para el estudio de Zonificación ambiental parte de la información recopilada de los esquemas de ordenamiento territorial de los municipio de Tello y Villavieja, normatividad vigente en cuanto procesos de ordenación y zonificación de los recursos naturales del ecosistema y planes de desarrollo que contengan información pertinente para fijar la base para la elaboración del diagnóstico ambiental del estudio.



Figura 64. Línea Base – Zonificación Ambiental “Río Villavieja”

Fuente: FUNDISPROS, 2014

MUNICIPIO DE VILLAVIEJA - HUILA

➤ Generalidades

El municipio de Villavieja se encuentra al Norte del departamento del Huila, su territorio está emplazado en el Valle Superior del Alto Magdalena, cuenta con un clima cálido seco, su economía está basada principalmente por actividades agropecuarias en terrenos planos y semiáridos. En cuanto a amenazas y riesgos el municipio está localizado en una zona de alta sismicidad en las riberas de los Ríos Magdalena, Villavieja y Cabrera, debido a que son de alto riesgo a la inundación.

Es importante mencionar que en jurisdicción se ubica el Desierto de La Tatacoa, representando un importante valor paisajístico, científico y paleontológico para la región.

➤ Ecosistemas Estratégicos

Dentro de los ecosistemas estratégicos en el municipio de Villavieja se encuentra el Desierto de la Tatacoa, importante por sus características únicas de área natural y ser yacimiento fosilífero para la investigación científica y paleontológica. Este ecosistema es fuente de una actividad turística importante en el contexto Regional y Nacional; siendo un área de valor paisajístico en el entorno ambiental natural del Departamento del Huila. (Municipio de Villavieja, 2000)

Así mismo en sus extremos se localizan estribaciones de las cordilleras Oriental y Central, dando lugar a las mayores alturas del relieve municipal como la Cuchilla del Saltaren, el Cerro Panadero, El Cerro Chacarron y Los Cerros Buenos Aires, Parcaní, Pico de la Buitrera en inmediaciones de la Cuchilla de Llano Hondo y El Valle, mencionados por ser relevantes en el espacio geográfico del municipio de Villavieja.

➤ Amenazas

Se parte de la definición de amenaza, entendida como el evento de origen natural, socio natural o de origen antrópico, cuya manifestación genera consecuencias negativas sobre los elementos implicados o cercanos al sitio de ocurrencia. Así mismo también se puede definir como el peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o antrópico que puede manifestarse en un lugar específico, en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, servicios y el medio ambiente. Finalmente se concluye que matemáticamente, la amenaza se expresa como la probabilidad de ocurrencia de un evento con una determinada intensidad, en un sitio específico, en un periodo de tiempo determinado.²⁷ (Corporación Autónoma Regional Del Alto Magdalena , 2010)

²⁷ Diagnóstico Ambiental del Departamento de Huila, realizado por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM, 2010. Pág. 44.

El municipio de Villavieja es afectado por amenazas de inundación a lo largo de las riberas de los ríos Cabrera, Magdalena, Villavieja y las quebradas La Arenosa, Tatacoa, Lajas, Rio Verde, La Chapetona, Bateas y La Gutiérrez; provocando afectaciones en los cultivos y asentamientos humanos en la cabecera municipal, los centros poblados de Potosí, La Victoria, San Alfonso, La Calera y Polonia, la vereda Golondrinas y el resguardo indígena Tatacoa.

De otro lado es importante mencionar que el municipio se encuentra en una zona de sismicidad alta de ocurrencia de un movimiento telúrico, además en un área de amenaza eólica media, debido a la presencia de vendavales y eventualidades de sequía, por sus condiciones climáticas y la transformación del paisaje.

➤ Usos del Suelo

El Municipio de Villavieja tiene un área total aproximada de 670 Km², esta área es utilizada en cultivos agrícolas, bosques, rastrojos, pastos y tierras sin uso agropecuario. A continuación se presenta una breve descripción de los usos de suelo:

USO DEL SUELO	DESCRIPCIÓN
CULTIVOS AGRICOLAS	El área aproximada de estos cultivos es del 10% del área total del municipio (670Km ²). Estos cultivos agrícolas son de carácter semestral, semipermanente y permanente. Y se efectúan en áreas planas. Los de carácter semestral pueden ser tradicionales o mecanizados; los tradicionales se encuentran representados por yuca, maíz y sandía realizados en pequeñas áreas ubicadas en la parcelación, en la vereda La manguita y en las riberas de los ríos Magdalena y Cabrera. Los cultivos semestrales mecanizados son los que más área ocupa dentro de los cultivos agrícolas; el arroz principalmente seguido por el sorgo y el algodón son los únicos cultivados en el municipio.
BOSQUES Y RASTROJOS	Representan aproximadamente un 35% del área total del municipio (234,5 Kms ²). Existen reductos de bosques naturales y de galería en algunas áreas de la cuchilla saltaren y región montañosa del Nororiente del municipio. El rastrojo xerofítico se distribuye en la mayoría de la zona plana del municipio.
PASTOS	El área aproximada de estos corresponde al 45% del área total del municipio 301,5 Kms ²). El "Teatino" es el pasto natural predominante que con mayor frecuencia se observa alejado o mezclado con rastrojo, en suelos de baja calidad. Los pasto manejados como el Angleton, Saboya y Puntero realmente son escasos y se encuentran bastante disminuidos por muchos sitios de todo el municipio en forma de pequeños potreros.
TIERRA SIN USO AGROPECUARIO	Representa aproximadamente el 10% del total (67Kms ²). El cual se encuentra conformado por las zonas urbanas corresponden a las veredas de La Calera, San Alfonso, Potosí, La Victoria, Doche, Polonia y hato nuevo, como también la cabecera municipal. Las tierras eriales, erosionadas y afloramiento

rocosos son las que más ocupan área en este grupo; vale la pena mencionar que los sitios turísticos conocidos con los nombres de los Hoyos, Cusco y cardón corresponden a este grupo.

Tabla 132. Usos de Suelo del Municipio de Villavieja

Fuente. Diagnostico Plan Básico de Ordenamiento Territorial – Villavieja Huila, 2000

MUNICIPIO DE TELLO – HUILA

➤ Generalidades

El Municipio de Tello se encuentra ubicado en el noroeste del departamento de Huila, sobre la vertiente occidental de la Cordillera Oriental, a 22 Kilómetros de la ciudad de Neiva, sobre territorios en los que se distinguen dos regiones diferentes: la primera al occidente, la extensa llanura comprendida entre el río Magdalena y el pie de la cordillera oriental y la segunda al oriente, que abarca desde el pie de la cordillera oriental hasta sus cimas, con más de 3000 m.s.n.m, regados por las aguas de los ríos Fortalecillas, Magdalena y Villavieja, posee una extensión de 55.719 Has.

➤ Ecosistemas Estratégicos

En el Municipio de Tello se encuentran presentan zonas que requieren protección ambiental especial, entre los que están los ecosistemas de las Fincas Sircaría y Las Brisas, con extensión aproximada de 400 hectáreas, allí nacen afluentes que surten acueductos veredales.

Así mismo La Finca Santa Martha en la vereda Las Juntas. Ha sido declarada como ecosistema estratégico por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. Cabe resaltar que el municipio ha venido adquiriendo zonas estratégicas ambientales e hidrográficas 731 hectáreas que a la fecha se encuentran bajo protección del estado. (Municipio de Tello, 2012).

➤ Amenazas y Riesgos

En cuanto amenazas el municipio de Tello, específicamente el casco urbano se encuentra ubicado en una zona de amenaza sísmica alta. (Ingeominas y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica , 1984).

Además de las amenazas de origen sísmico se presentan las amenazas y riesgos:

- ✓ **Amenazas de origen Geológico:** Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o evento geológico que pueda afectar negativamente el área de estudio. Para el caso de la cabecera municipal de Tello se considera que las amenazas de origen geológico se reducen a amenaza sísmica, por ser los eventos sísmicos los únicos de origen geológico con probabilidad de afectar el área de estudio.



En general, se entiende por amenaza sísmica a la probabilidad de que un sismo de cierta magnitud ocurra en una zona en un periodo futuro, es decir, que un determinado valor de aceleración iguale o supere un nivel de referencia; más técnicamente, la amenaza sísmica hace referencia a la probabilidad de que un determinado valor de aceleración máxima a nivel local sea excedido en un periodo de retorno especificado (Sarria, 1995).

- **Remoción en Masa:** En el área urbana y suburbana del municipio de Tello, los lugares que presentan Amenaza Baja por Remoción en Masa debido a la pendiente que presentan y al material del que están conformados son los siguientes: El talud de la terraza 1 ubicado cerca a "El Diamante" y el ubicado en el extremo suroccidental del casco urbano aledaño a la quebrada Malpaso, también presenta este tipo de amenaza la parte sur y occidental del área suburbana. (Aguas del Huila, 2009)
- **Inundación:** El Casco urbano del municipio de Tello cuenta con varias corrientes de agua, algunas de carácter intermitente que recorren el área urbana y suburbana generando amenaza por inundación, entre las que se encuentra caño Lava Bollos, Quebrada Ovejas y Rio Villavieja.
- ✓ **Amenazas de Origen Geomorfológico:** Esta clase de amenaza se presenta unos kilómetros antes de llegar al casco urbano del municipio de Tello por la vía que conduce Neiva – Baraya, el proceso de erosión es altamente progresivo.
 - **Erosión:** Este fenómeno se presenta en la parte baja del Cerro de La Cruz, la erosión ha sido acelerada por la actividad extractiva de una pequeña ladrillera ubicada en el sector, ocasionando procesos de surcamiento y erosión lamina, dada su cercanía al área urbana y a la zona de expansión sugerida, este sector se considera como de amenaza baja por erosión. (Aguas del Huila, 2009)
 - **Erosión por Dinámica Fluvial:** Se presenta contra el talud de la terraza 2, que se encuentra recostada en la margen izquierda del Rio Villavieja, este talud ha sufrido un retroceso producto de la socavación del río en los últimos años, lo cual puede generar averías y/o desplomes en las viviendas ubicadas en este lugar; esta zona se considera de Amenaza Alta a Erosión por Dinámica Fluvial.

A continuación se presenta los tipos de riegos que se presentan en el Municipio de Tello Huila:



TIPO DE RIESGO NATURAL	CARACTERÍSTICAS	VEREDAS
Sismo Avalanchas	Tectonismo – Evolución del Paisaje Terrestre	San Isidro Bajo, Sierra de la Cañada, Mesa del Trapiche, Cucharita, Sierra del Gramal, Buenavista.
Sismo e Hidrogeológico procesos Denudativos Locales	Tectonismo, Fallamiento, Topografía y Pendientes Abruptas	El Vergel, La Estrella, Guimal, San Andrés, La Cabaña, Las Juntas, El Jordán, Líbano, San Joaquín, La Esperanza, Cerro Castañal, Sierra de la Cañada, San Isidro, Alto – Medio Roblal, Bolivia, Bajo Roblal, El Cedral, Brasilia, El Espejo, La Reforma, Bajo Oriente, Alto Medio Origen, La Cascada, El bosque, Cucuana, El Cadilo, Corregimiento Arcleto García, Sierra del Gramal, La nata, Barranquilla, Río Negro, Puerta del Sol, Alto Urraca.
Sísmico e inundaciones	Tectonismo, Altas Precipitaciones y Doble Drenaje	Mesa del Trapiche, Cucharito.
Sísmicos y Sequías	Tectonismo, niveles bajos de Precipitación y Altas Temperaturas	Cucharito, Mesa Redonda, San Isidro Bajo, Mesa del trapiche.
Sísmico Inundaciones y Sequías	Tectonismo, deficiente drenaje, bajos niveles de Precipitación	Cucharito, Mesa redonda, San Isidro Bajo.

Tabla 133. Tipos de Riegos en el Municipio de Tello Huila
 Fuente. Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Tello

Normatividad Vigente

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Decreto Ley 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y no Renovables y de Protección del medio Ambiente. El Ambiente es patrimonio común, el Estado y los particulares deben participar en su preservación, manejo y defensa del ambiente y sus elementos.
Ley 99 de 1993	Crea El Ministerio Del Medio Ambiente y organiza El Sistema Nacional Ambiental SINA.
Ley 373 de 1997	Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un Programa Para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua; el cual se entiende como el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las Entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riesgo y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

Tabla 134. Normatividad Vigente para establecer la línea Base
 Fuente. Programa de Uso Eficiente y ahorro de agua – Municipio de Campoalegre, 2010



4.4.4. Diagnóstico Ambiental

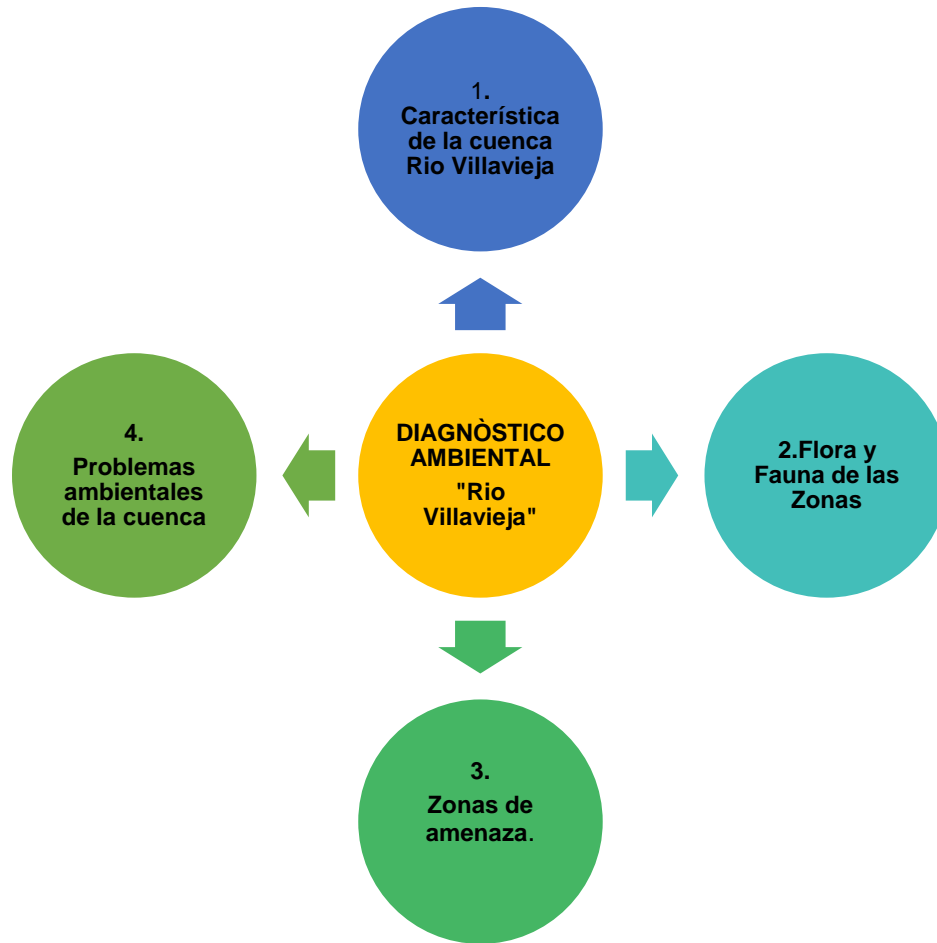


Figura 65. Diagnóstico Ambiental Río Villavieja – Municipios de Tello y Villavieja.
Fuente. FUNDISPROS, 2014

➤ Características de la Cuenca Abastecedora

La cuenca abastecedora denominada Río Villavieja tiene una longitud de 63.426, 44 m, vierte sus aguas al río Magdalena, recorre al municipio de Tello en una longitud de 60.130,94 metros y es el que abastece de agua al Municipio en el casco urbano así como a las veredas El Bosque, Alto Roblal, Medio Roblal, Brasilia, La Urraca, Líbano, Alto Urraca, La Cabaña, San Andrés, El Vergel, San Isidro bajo y Mesa Redonda; le siguen en importancia el río Fortalecillas con una longitud de 55.461.67 metros y sirve de límite con el Municipio de Neiva, entrega sus aguas al río Magdalena. (Aguas del Huila, 2009)

Los principales afluentes del Río Villavieja son: Río Guaroco, y las quebradas las juntas. Al río Magdalena, rinden sus aguas las quebradas la Viuda, la Arenosa, el Aceite, el río Fortalecillas. Son afluentes del río Fortalecillas las quebradas del Tachuelo, la Resbalosa, la Tafur, el Candado y Río Negro.

➤ Flora del Municipio de Villavieja Huila

En cuanto a la vegetación del Municipio de Villavieja se encuentra flora nativa e incorporada correspondientes a especies arbóreas y arbustivas inherentes a las características geográficas y climáticas, además de flora fósil, correspondiente a xilópalos (madera petrificada) de árboles gigantescos, que permiten idealizar una vegetación de una región selvática o pantanosa a finales de la era secundaria (periodo Cretácico). (Municipio de Villavieja, 2000).

La vegetación introducida corresponde a especies que se utilizan para la explotación productiva, como plantaciones de plátano (dominico, hartón, cachaco y guineo), pastos (buffel, angleton, puntero e india) y cultivos como el sorgo, maíz, algodón, arroz y frutas como el mango, mamoncillo y patilla.

La Flora nativas corresponde a vegetación xerofítica, en ella se destacan los árboles y arbustos de las familias cactáceas (arepos y cabecenegros), Mimosáceas (payandé, ambuco y pela) y las euforbiáceas (Mosquero y Pringamosa); característico de zonas cálidas, áridas y semiáridas del municipio de Villavieja. A continuación se relacionan las especies de flora del municipio de Villavieja:

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Mosquero	<i>Croton leptostanchyus</i>
Frailejón Calentano	<i>Jatropha gossypifolia</i>
Pringamosa	<i>Jatropha urenis</i>
Payandé	<i>Dulce (Roxh) beth</i>
Pela	<i>Vachellia farnesiana</i>
Ambula	<i>Propamox torituesa</i>
Uñegato Panelo	<i>Acacia huilana</i>
Chilinchil Cafetero	<i>Senna occidentalis</i>
Chilinchil	<i>Senna tora</i>
Cardon	<i>Cephalocereus colombianod</i>
Arepo-Tuna	<i>Opuntia elatier miller</i>
Melcocha	<i>Opuntia sp</i>
Calentur	<i>Opuntia depauperatus br</i>
Cardon Liso	<i>Pilocereus s.p.</i>
Cardon Rabo De Zorro	<i>Monvillea smithia</i>
Pitahaya Roja	<i>Hylocereus undatus</i>
Cruceto	<i>Randia aculeata</i>
Calambrino	<i>Ipomoea arborescens</i>
Tatamaco	<i>Bursera tomentosa</i>
Indio Pelao	<i>Bursera simaruba</i>

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Patillo	<i>Banisteriopsis cornifolia</i>
Amargoso	<i>Aspidosperma cuspe</i>
Cachovenado	<i>Randia formosa</i>
Igua	<i>Pseudosamanea guachapele</i>
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia lam</i>
Guadua	<i>Guadua angustifolia</i>
Dinde	<i>Chalorophora tintorea</i>
Cabecenegro	<i>Melocactus communis</i>
Dormidera	<i>Mimosa pudica</i>
Cují	<i>Prosopis juliflora</i>
Escoba De Puerco	<i>Sida procumbens</i>
Escoba De Puerco	<i>Sida graminea S.W</i>
Pajarito	<i>Oryetanthus occidentalis</i>
Caguanejo	<i>Croton glabellus 1.</i>
Calambrito	<i>Ipomea arborescens</i>
Naranjuelo	<i>Capparis indica</i>
Cadillo	<i>Tridax procumbens 1.</i>
Algodón De Castilla	<i>Calotropis gigantea</i>
Gomo	<i>Cordia lutea lam</i>
Uvito	<i>Cordia alba roem et schult</i>
Huesito	<i>Malpighia s.p.</i>
Salvia De Monte	<i>Cordia globosa</i>
Carreton	<i>Cenchrus brownii</i>
Carreton	<i>Cenchrus echinatus</i>
Barbasco	<i>Tephorosia emerginata</i>
Varason	<i>Aspidosperma megalocarpum</i>
Curubo	<i>Solanum autocephalum</i>
Abrojo	<i>Alternanthera sesiflora</i>
Vidrio	<i>Portulaca pilosa</i>
Guevas De Gato	<i>Salanum s.p</i>

Tabla 135. Flora Presente en el Municipio de Villavieja

Fuente. Diagnostico EOT Municipio de Villavieja, tomado de Revista "Villavieja Paraíso oculto de tranquilidad y matices"

➤ Fauna del Municipio de Villavieja Huila

El municipio de Villavieja posee diversidad de fauna, entre las que se destaca la presencia Fauna Nativa, Fauna Domestica y Fauna Fósil, las cuales se mencionan a continuación:

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Lechuza	<i>Athene cunicularia</i>
Coscongo	<i>Jabiru brasiliensibus</i>
Garrapatero	<i>Crotophaga ani</i>
Murciélago	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>
Gavilán	<i>Accipiter nisus</i>

Cernícalo	<i>Falco tinnunculus</i>
Mirla	<i>Turdus fuscater</i>
Zorrillos	<i>Mephitis macroura</i>
Cascabel	<i>Crotalus simus</i>
Conejo	<i>Oryctolagus cuniculis</i>

Tabla 136. Fauna Nativa del Municipio de Villavieja Huila

Fuente. Diagnostico EOT Municipio de Villavieja, 2000

El municipio de Villavieja a pesar de ser una zona árida presenta diversidad de fauna domesticas como Caprinos, Ovinos, Caballos, Ganado Vacuno, Mulares y aves de corral.

Así mismo la presencia de fauna fósil hallada en los yacimientos fosilíferos, que son producto de investigaciones científicas y hallazgos de esta fauna que data de más de quince millones de años, correspondientes al periodo cretácico de la era geológica mesozoica.

➤ **Zonas de amenaza**

Municipio de Villavieja:

En el numeral de aspectos ambientales del presente estudio, se tocaron temas de interés ambiental en cuanto a la zona objeto de estudio, entre los que se destacan las amenazas presentes en la zona; así se habla de las siguientes amenazas en el municipio de Villavieja.

Entre las principales se encuentra la Erosión como fuerza destructora de la corteza Terrestre debido al desgaste y disgregación de partículas, sedimentos y gravasen el territorio del municipio de Villavieja, catalogado como el mayor de los focos erosivos del departamento de Huila, por sus distintas acciones físicas: El agua de lluvia y rio (Erosión Fluvial) y el Viento (Erosión Eólica).

El desierto de la Tatacoa, sufre procesos de erosión natural llamado desertización y en la zona de cultivos permanentes un proceso de erosión natural y artificial, de origen antrópico, denominado desierto verde, este ocasionado por la intensidad de cultivos, la tala indiscriminada de árboles, la ausencia de seres vivos y la no rotación de los cultivos.

Las clases de erosión presente en el Desierto de la Tatacoa se relacionan en la siguiente tabla:

TIPO DE EROSIÓN	DESCRIPCIÓN
Erosión Laminar	Difícil de detectar porque la capa vegetal va desapareciendo uniformemente.
Erosión por Surcos	Es propio de terrenos pendientes donde el agua entra por las irregularidades del terreno formando surcos.



Erosión Por Cárcavas	Cuando los terrenos son muy inclinados y el agua, al correr, adquiere mayor fuerza formando una hendidura cada vez más profunda que le permite a la Cárcava su ensanchamiento con la consecuente repetición del ciclo.
-----------------------------	--

Tabla 137. Tipos de Erosión en el Municipio de Villavieja
Fuente. Diagnostico EOT Municipio de Villavieja, 2000

A demás de la erosión también se presentan amenazas derivadas de procesos naturales como las amenazas sísmicas, amenazas por inundaciones, amenazas eólicas.

Municipio de Tello:

El municipio de Tello cuenta con varios sitios de riesgo crítico, declarado por la Corporación Autónoma regional de Alto Magdalena CAM, y se encuentran localizados en: Quebrada Lava Bollos, Barrio Rosa Blanca y Barrio la portada, la zona fue declarada de Amenaza Alta por inundación, la fuente se encuentra canalizada en toda su travesía por el casco urbano. Quebrada Malpaso, Barrio Rosa Blanca, sobre la urbanización La Victoria; zona declarada de Amenaza Alta por Inundación y Amenaza Baja por Remoción en Masa. Quebrada Las Ovejas; sector salida a PTAP; zona declarada de Amenaza Nula, pero la parte posterior de sus viviendas están alinderados con la zona declarada de Amenaza Baja por Remoción en Masa y Amenaza Alta por Inundación. Río Villavieja, Barrio Las Brisas, salida a Baraya zona declarada de Amenaza Nula, pero la parte posterior de sus viviendas están alinderados con la zona declarada de Amenaza Alta por Inundación y Amenaza Alta por Erosión Fluvial. (Municipio de Tello, 2012)

➤ **Problemas ambientales de la cuenca**

El hombre en su afán por conseguir los recursos necesarios para su supervivencia se encargado de provocar grandes desequilibrios en los ecosistemas que se ven reflejados en problemáticas ambientales a futuro.

En relación a lo anterior la Cuenca hidrográfica de Rio Villavieja presenta un acelerado proceso de deforestación a causa de las actividades agrícolas y ganaderas sin la implementación de prácticas adecuadas, además de la ubicación de asentamientos humanos sin tomar metodologías de diseño aptas para la protección de los recursos naturales de la zona.

En este sentido se pretende establecer los impactos ambientales que afectan la cuenca del Rio Villavieja en jurisdicción de los municipios de Tello y Villavieja en el Departamento del Huila:



Figura 66. Problemáticas Ambientales en el Municipio de Tello Huila
 Fuente. Plan de Desarrollo Municipal 2012 – 2015



Figura 67. Problemáticas Ambientales en el Municipio de Villavieja Huila
 Fuente. Plan de Desarrollo Municipal 2012 – 2015

Como parte inicial y fundamental en el manejo de los impactos ambientales generados en la cuenca de Rio Villavieja y a su proceso de ordenación es importante continuar por parte de la empresa de servicios públicos y la autoridad ambiental la concientización ambiental a la comunidad a cerca de la necesidades de hacer uso sostenible de los recursos naturales que se encuentra en la cuenca. Además de campañas de uso eficiente de agua.

Sin embargo se destaca la riqueza ecosistémicas en estos dos municipios (Tello y Villavieja), que a través del tiempo se ha visto deteriorada por actividades antrópicas y por procesos naturales; es importante reconocer el valor medioambiental que presentan los recursos naturales que interactúan en la cuenca del Rio Villavieja, con miras a potencializar estos recursos desde el punto de vista social, ambiental y económico, siempre con una visión enmarcada por el desarrollo sostenible.

En conclusión los ítems descritos anteriormente representan el diagnóstico ambiental de la cuenca del Rio Villavieja, es decir el estado actual en el que se encuentra la cuenca y además que los recursos que posee y que son objeto de protección y conservación para el bienestar de las presentes y futuras generaciones.

4.4.5. Oferta y Demanda Ambiental

La oferta y demanda ambiental de la cuenca del Rio Villavieja está representada por la cantidad de recursos naturales, específicamente recurso hídrico que esta ofrece a sus usuarios y la cantidad de agua que estos usuarios requieren de la cuenca para llevar a cabo sus actividades diarias; así la oferta y la demanda de la cuenca del Rio se resume a continuación:

ZONAS	OFERTA		DEMANDA	
	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO
Zona Alta	1208.00 Lps	777,62 Lps	376.81 Lps	654.19 Lps
Zona Media	1173.50 Lps	742,99 Lps	820.06 Lps	1004.08 Lps
Zona Baja	985.34 Lps	483, 40 Lps	655.55 Lps	704.12 Lps
TOTAL	3.366,84 Lps	2.004,01 Lps	1.852,42 Lps	2.362,39Lps

Tabla 138. Oferta y Demanda Ambiental

Fuente. FUNDISPROS, 2014

4.4.6. Unidades de Zonificación Ambiental

Para establecer la zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica del Río Villavieja se utilizó la metodología de superposición cartográfica, teniendo como base estudios ambientales verificados en las regiones que abarca el área de influencia y los esquemas de ordenamiento territorial de los municipios de Tello, Baraya y

Villavieja. A continuación se describen las unidades de zonificación presentes en el área de la cuenca objeto de estudio:

UNIDAD DE ZONIFICACIÓN	SÍMBOLO	ÁREA (Has.)	DESCRIPCIÓN
Área de producción agrícola baja	APAb	9309,60	se alojan cultivos como café y plátano combinados con pastos que se pueden explotar de en actividades como granjas avícolas y la silvicultura, gran parte de esta zona se debe dedicar para uso forestal protector
Área de producción agrícola Intensiva	APAi	1942,52	Allí se pueden dar cultivos semestrales mecanizados y altamente mecanizados siempre dejando como mínimo el 10 % del área para uso forestal protector
Área de producción Agropecuaria Moderada	APAm	5144,91	Sobre las áreas aledañas a los valles de los ríos y quebradas en las partes bajas donde la velocidad del agua no es turbulenta y deposita los sedimentos que transporta de la parte alta.
Área de recuperación Ambiental desprotegida	ARAD	855,44	corresponden a espacios que han sido sometidos por el ser humano a procesos intensivos e inadecuados de apropiación y utilización, o que por procesos naturales presentan fenómenos de erosión, sedimentación, inestabilidad, contaminación, entre otros
Área de recuperación ambiental por erosión	ARAE	8023,93	Corresponden a ésta zona aquellas áreas que han sufrido deterioro y presentan degradación por erosión, causada por factores antrópicos y/o naturales. Estas áreas deben ser recuperadas o rehabilitadas mediante la plantación de árboles, la remoción de especies exóticas, la utilización de quemas controladas, el control de la erosión, la fertilización, mejoramiento de la estructura, del subsuelo y demás actividades tendientes a evitar procesos de mayor impacto o contaminación visual por degradación del paisaje, corresponde a la franja de 30 metros a lado y lado de quebradas y 100 metros de la redonda de los nacimientos y los 20 metros comprendidos entre estas
Áreas ambientales forestales de protección	AAFPT	7501,58	Son ecosistemas estratégicos para el abastecimiento hídrico y los procesos productivos desarrollados
Área ambientales forestales productoras	AAFpd	3507,66	Están caracterizadas por la baja erosión pero con restricciones por la pendiente que presentan. Se pueden explotar forestalmente pero con las especies que allí se alojan y de manera sostenible, nunca dejando desprovista ni minimizando la cobertura vegetal.
Áreas ambientales forestales	AAFPTpd	12873,25	Constituidas por zonas y áreas localizadas dentro del suelo rural que por sus características geográficas, geomorfológicas, topográficas o ecológicas deben tener un manejo especial en cuanto a la explotación

protectoras productoras			de los recursos naturales y la producción agropecuaria.
Áreas protección ambiental	AA	1497,19	Constituido por las zonas y áreas de terrenos localizados dentro de los suelos rural, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos para la población o para uso agropecuario o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse.
Zonas de manejo Integrado	ZMI	1688,71	Corresponden a terrenos en laderas que por sus condiciones edafológicas, pendientes del terreno climáticas y ventajas socioeconómicas comparativas, admiten un aprovechamiento agropecuario restringido o controlado.
Zonas de producción agropecuaria ecoeficiente	ZPAE	1201,28	Suelos edafológicamente adecuados para su utilización en producción y productividad agropecuaria mediante la debida planificación.

Tabla 139. Unidades de Zonificación Ambiental – Cuenca Río Villavieja
 Fuente. FUNDISPROS, 2014

5. CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA

Para la estructuración y desarrollo del sistema de información geográfica del presente proyecto, se estableció la metodología descrita a continuación.

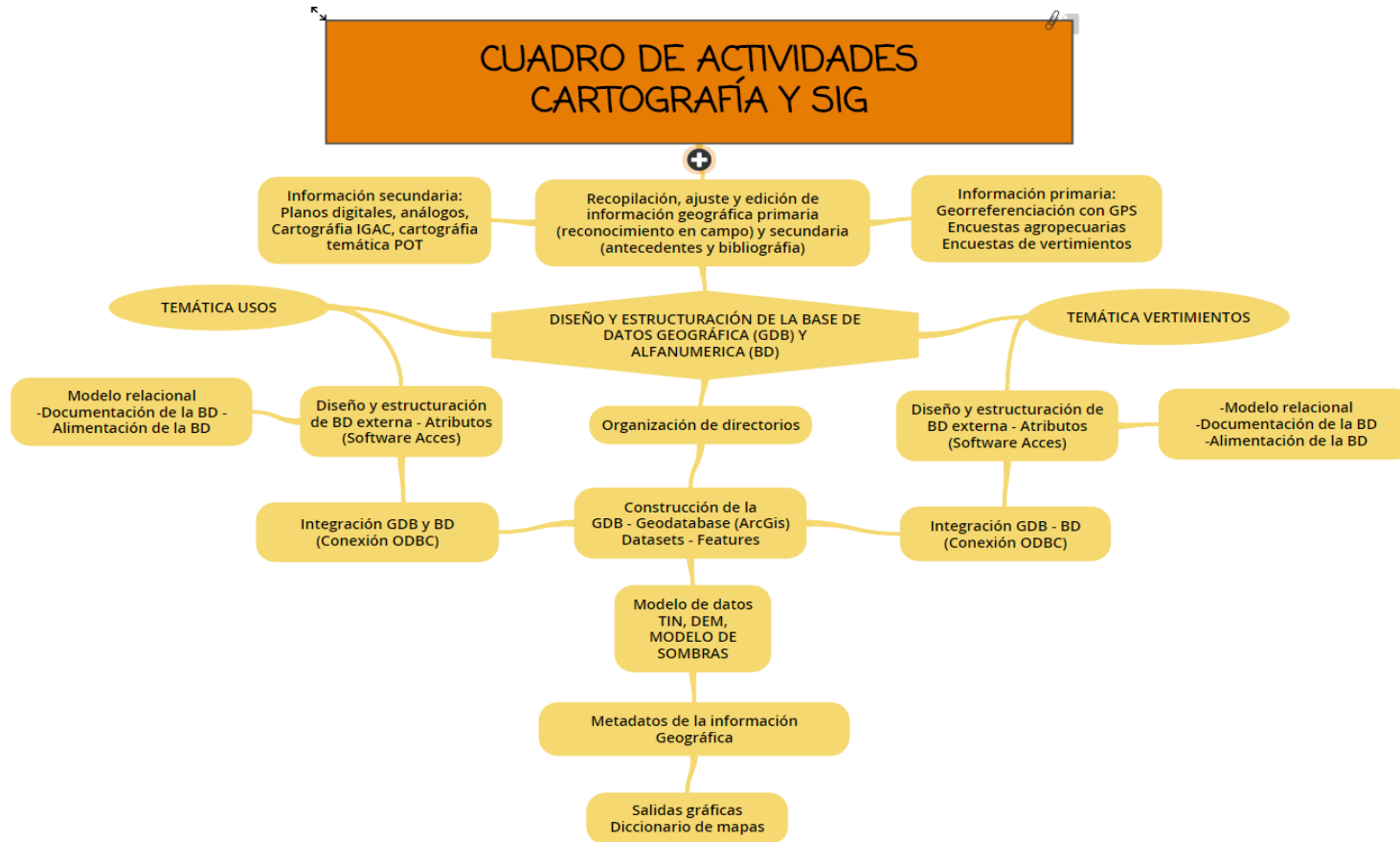


Figura 69. Descripción de actividades en el proceso SIG del Río Villavieja
Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.1. RECOPIACIÓN, AJUSTE, ESTRUCTURACIÓN Y EDICIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Para el desarrollo del presente trabajo se hizo necesario la recopilación, ajuste, edición y validación de información primaria y secundaria. Toda la información recolectada puede ser validada y considerada confiable en todo sentido ya que los datos provienen de fuentes precisas y reglamentadas bajo normas técnicas.

5.1.1. Información primaria

Se consideró información primaria aquella recolectada directamente de la zona de estudio, mediante inspección ocular, llenado de encuestas, georreferenciación de puntos, aforos puntuales, archivo fotográfico, etc; para esto se realizó la recolección de la siguiente información.

1. Información geográfica y alfanumérica proveniente de la georreferenciación metro a metro del cauce principal de la corriente del río.
2. Información de localización de obras hidráulicas, conducciones primarias, secundarias y prediales, extraída de la cartografía temática creada para la reglamentación expedida mediante resolución 1251 de 31-05-2011 la cual se editó y ajustó a las condiciones actuales del río.
3. Puntos de control para el ajuste y actualización de condiciones actuales de toda la información extraída de la cartografía temática de la anterior reglamentación.
4. Información de identificación de usuarios mediante el diligenciamiento del formato de encuesta agropecuaria (ANEXO 2)
5. Información de identificación de obras hidráulicas (derivaciones, toma predial, bocatomas, aforadores, etc.), mediante diligenciamiento de formato de encuesta (ANEXO 1).
6. Información de identificación de focos generadores de vertimientos mediante encuesta de vertimientos (ANEXO 3).

Para los procesos de georreferenciación se utilizó el GPS GARMIN GPSMAP64, con receptor de alta sensibilidad y precisión de 3 – 7 metros.

Para la captura de coordenadas se utilizó el sistema de referencia WGS 84, posteriormente los datos almacenados se proyectaron al datum del observatorio astronómico de Bogotá, utilizando para ello el sistema de coordenadas planas conforme de Gauss y en elocuencia con el protocolo de entrega de información cartográfica y SIG de la CAM.

Descripción proyección para Colombia:

Nombre: Sistema de proyección Gauss kruger

Según su superficie: "CILINDRICA" (Superficie desarrollada para representar la superficie terrestre en un plano.

Según su posición: "TRASVERSAL" (Coincide el eje del cilindro con el del ecuador)

Según su distorsión: "CORNIFORME" (Tiene como prioridad conservar el territorio, la forma antes que el área).

5.1.2 Información secundaria

Se consideró información secundaria aquella procedente de fuentes que ya habían recolectado los datos. Estas fuentes son en su mayoría de carácter institucional y proporcionan información como:

- Cartografía base del IGAC, escala 1:25000, de la cual se extrajeron, ajustaron, y agruparon por temáticas las planchas 324-I-C, 324-I-B, 324-I-A, 323-II-B, 324-I-D, 323-IV-D, 323-IV-B, 323-II-D, 323-II-B, 303-IV-C, 303-IV-A, 303-III-D, 303-III-B, 303-I-C, 303-III-C, 303-III-A, 302-IV-D, 302-IV-B, 302-II-D, 324-III-B, 324-III-A, 324-II-A, 324-II-C que corresponden y contienen información cartográfica del municipio de Tello, Villavieja y Baraya (ver Figura 70).

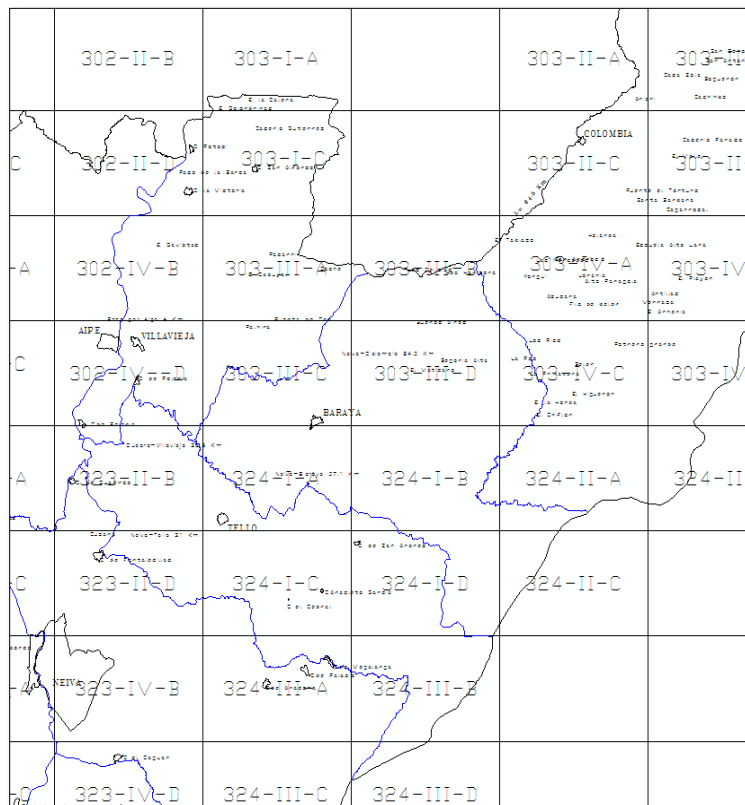


Figura 70. Localización de planchas IGAC 1:25.000 para el municipio de Villavieja, Tello y Baraya
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

- Cartografía base del Esquema de Ordenamiento Territorial y Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Villavieja y Tello, Año 2000.
- Modelo digital de elevación - Imagen Aster Gdem
- ASTGTM_N03W075
- ASTGTM_N03W076
- ASTGTM_N02W075
- ASTGTM_N02W075
- Información catastral correspondiente a la zona rural de los municipios de Tello, Villavieja y Baraya; cartografía base municipal y veredal del Huila, además de la extraída del Sistema de Información Geográfico para el Ordenamiento Territorial-SIGOT.
- Planchas catastrales de la zona de influencia del cauce del Rio Villavieja que provee el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

5.1.3 Edición y ajuste de información geográfica

Al utilizarse diferentes fuentes de información, fue necesario llevar a cabo actividades de edición, ajuste y estructuración de toda la información, algunas de las actividades realizadas fueron:

1. Descarga de información en formato gpx
2. Migración de información en formato DWG (Autocad) a formato DXF (archivo de intercambio), para posteriormente utilizando ArcGis 10. 3 exportarlo a formato Feature Class para ser almacenada en una Personal Geodatabase).
3. Para información en formato shapefile y feature class, se verificaron aspectos de consistencia lógica de los atributos, exactitud temática y topológica.
4. Extracción y suavizado de curvas de nivel del modelo digital de elevación ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model) para la zona de influencia del proyecto. Este mapa topográfico digital fue creado con imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y ofrecen resolución espacial de 30 metros.
5. Suavizado de polilíneas y polígonos; labor realizada para los puntos obtenidos con GPS del cauce principal del Rio, conducciones primarias y secundarias (usos y vertimientos). Esta actividad se realiza con el fin de suavizar ángulos cerrados para mejorar la calidad estética o cartográfica de las entidades.
6. Todas las entidades que hacen parte de la base de datos geográfica se proyectaron y ajustaron al sistema de referencia exigido por el protocolo de

entrega y manejo de la información geográfica de la CAM código I-CAM-017, Datum Bogotá Observatorio (ver Figura 71).

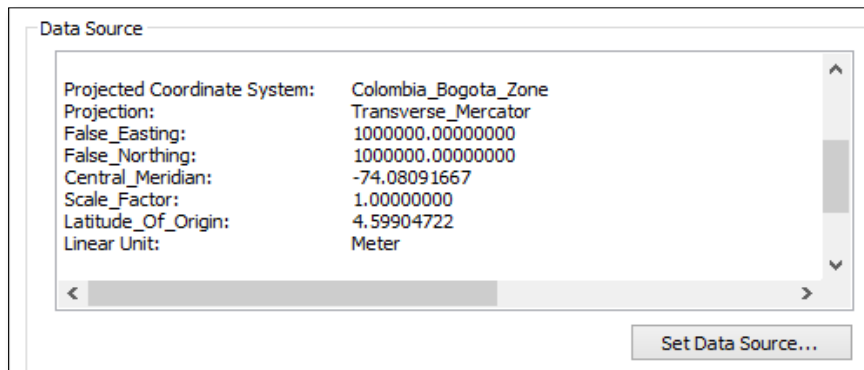


Figura 71. Información de referencia para cada entidad de la GDB
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Todas las capas/entidades se exportaron a la Personal Geodatabase GDB_0312_O_RV mediante la utilización de ArcCatalog, con el fin de almacenar toda la información geográfica del proyecto por temáticas según los parámetros exigidos por el protocolo de entrega de información geográfica de la CAM. (CAM, 2009).

La ruta de acceso para esta base de datos es la siguiente 2. RIO VILLAVIEJA/SIG_RIO_VILLAVIEJA/GDB/GDB_0312_O_RV_VILLAVIEJA GDB_0312_O_RV

5.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

5.2.1. Estructuración de directorios

Para el manejo y almacenamiento de la información cartográfica generada en el desarrollo de este proyecto, se siguió el protocolo para la entrega y manejo de la información cartográfica y SIG de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena -CAM (Código I-CAM-017; Versión 1; fecha 29 de octubre de 2009) y se definió la estructura de almacenamiento de la información en directorios independientes, según fueron utilizados e implementados en el SIG. (Ver Figura 72) (CAM, 2009)

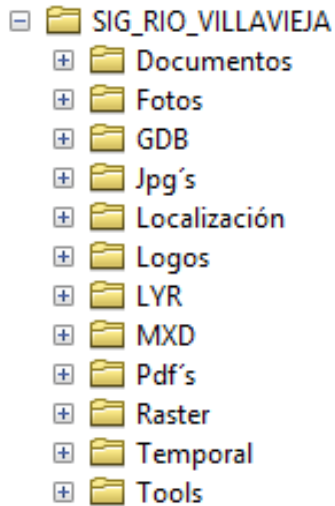


Figura 72. Esquema general para el almacenamiento de la información de usos y vertimientos

Fuente: FUNDISPROS, 2014

Cada una de las carpetas contiene la información que a continuación se describe:

Documentos

En esta carpeta se encuentran todos los documentos en formato Word, generados y obtenidos durante el desarrollo del proyecto de ordenamiento y revisión de la reglamentación de la corriente del Río Villavieja.

Fotos

Almacena el material fotográfico en formato jpg obtenido en el transcurso del trabajo en campo, cada foto contiene un archivo auxiliar en formato xml que lo conecta con la Personal Geodatabase, de esta manera es posible observar un archivo fotográfico por punto referenciado para las capas "Vertimientos_Usuarrio_Generador y Usos_Obras_Hidraulicas_Evaluadas"; dentro de esta carpeta se encuentran dos subcarpetas una con el nombre "usos" y otra "vertimientos"; En la carpeta vertimientos se almacenaron 45 archivos concernientes a los 45 vertimientos identificados y a los drenajes o tributarios de mayor interés; En la carpeta usos, se almaceno el archivo fotográfico de las obras hidráulicas evaluadas mediante el formato de encuesta.

GDB

Esta carpeta contiene la personal Geodatabase en formato mdb, donde está almacenada la información espacial según el modelo de Geodatabase suministrado por la CAM, el nombre de la base de datos geográfica es GDB_0312_O_RV.mdb, la carpeta GDB también contiene las bases de datos externas creadas para el

ingreso de información recopilada en campo, las cuales se diseñaron en formato Access, son tablas sin referencia espacial pero si con un código que la relaciona con un determinado elemento geográfico según la temática, de este modo se tiene una para la temática “usos” (BD_0312_USOS_RV_VILLAVIEJA) y otra para “vertimientos” BD_0312_VERTIMIENTOS_RV_VILLAVIEJA).

Jpg's

En esta carpeta se encuentran almacenadas dos carpetas, una con el nombre “otros - figuras cartográficas” que contiene las figuras usadas en los documentos y en los espacios de participación, es una figura adimensional, es decir sin escala referida; otra carpeta con el nombre “figuras para metadatos” que almacena las figuras usadas para documentar los feature class. Todos los archivos se almacenan en formato jpg.

Localización

Almacena la información en formato shapefile utilizada para realizar la localización nacional, departamental y regional del área de estudio.

Logos

Almacena los logos de las entidades participantes en el desarrollo del proyecto y que han de ser incluidos en la estructura grafica de los mapas. En este proyecto los logos de la CAM y de FUNDISPROS.

Layer

En esta carpeta se almacena simbología y etiquetas predeterminadas, que ilustran los componentes geométricos y sus atributos en los mapas; se usan cuando se quiere usar continuamente las mismas simbologías y se almacenan en archivos extensión o formato lyr. Los archivos de estilo **LYR** no son archivos shapefiles. Corresponden a “máscaras” que asignan estilos y tramas a nuestra cartografía. Para este proyecto se crearon dos carpetas una con el nombre “usos” y otra con el nombre “vertimientos”, que almacenan la información de referencia respectivamente.

Mxd

Almacena los proyectos en formato MXD desarrollados en Arc Map para la visualizar la información espacial; son mapas dinámicos administrados por medio de índices de mapas creados con la herramienta Data Drive Pages de ArcToolbox. Los proyectos en formato MXD se almacenaron por temáticas en 2 subcarpetas “usos y vertimientos” la cual almacena los proyectos en formato mxd para la creación de mapas finales y otra denominada “otros – figuras cartográficas”, que almacena los proyectos en formato mxd de las figuras cartográficas creadas para el desarrollo de informes.

Pdf's

En esta carpeta se encuentran almacenadas en formato pdf los mapas finales desarrollados durante el proyecto. el número de mapas finales en formato Pdf corresponde al número de proyectos en formato MXD almacenados en la carpeta usos vertimientos.

Raster

En esta carpeta se encuentra la información en formato raster (Imágenes de satélite, modelo digital de elevación, mapa de sombras, etc.) utilizados en el desarrollo del proyecto, estos productos se almacenan en formato Tiff.

Tools

En esta carpeta se encuentran almacenados los diferentes modelos cartográficos realizados en ArcToolbox para el desarrollo de diferentes procesos (TIN, modelo digital de elevación, mapa de sombras), además de algunas modelos para sistematizar los procesos creados mediante la herramienta model Builder.

5.2.2. Diseño de la base de datos

La recopilación de la información del proyecto y su posterior procesamiento es una parte fundamental, esta actividad solo se puede llevar a cabo mediante la utilización de programas que administren eficientemente la información, para esto existen las bases de datos, las cuales necesitan ser estructuradas y diseñadas para cada fin específico, en el caso del presente proyecto se optó por la utilización del software ArcGis para la estructuración de la base de datos geográfica en formato mdb, la cual contiene la información geográfica y alfanumérica de las entidades espaciales agrupadas por temáticas para el desarrollo del proyecto y Microsoft Access para el diseño de la base de datos externa relacional con información procedente de las encuestas agropecuarias. La base de datos externa almacena la información en forma de tablas sin referencia espacial, pero si con un código que la relaciona con un determinado elemento gráfico contenido en otro archivo.

El propósito del diseño de esta base de datos descriptiva consiste en poder integrarla efectivamente con las tablas de atributos internos de las entidades geográficas utilizadas en el Sistema de Información Geográfica. En cualquier caso, las tablas obtenidas en la base de datos alfanumérica y la base de datos geográfica no se diferencian en absoluto, ni tienen ninguna otra característica especial, salvo que todos los datos de la base de datos geográfica tienen una referencia espacial o territorial.

Para el desarrollo de este proyecto se crearon 2 bases de datos descriptivas, una para la temática "Usos" y otro para la temática "Vertimientos", enlazadas a una sola estructura de base de datos geográfica por medio de la creación de una llave.

Para los temáticos usos:
BD_0312_USOS_RV_VILLAVIEJA
Para los temáticos vertimientos:
BD_0312_VERTIMIENTOS_RV_VILLAVIEJA
Base de datos geográfica:
GDB_0312_O_RV_VILLAVIEJA

5.2.2.1. Estructura de la base datos externa de atributos - USOS

Para el manejo de la información no espacial procedente de las encuestas agropecuarias, se diseñó una base de datos externa en Microsoft Acces con el nombre “BD_0312_USOS_RV_VILLAVIEJA” en donde se almacenó toda la información no espacial recolectada en campo; siguiendo los lineamientos metodológicos se realizó el diseño matriz para la creación de la base de datos en Microsoft Acces, con sus respectivas tablas y vínculos relacionales. Esta base de datos se alimenta en forma de cascada mediante tablas conectadas con llaves primarias. Para la conexión con la base de datos geográfica, la tabla CONCESIONES_PREDIO de Microsoft Acces, posee un ID único que se encuentra relacionado con un ID único del feature class TF025_Usos_Predial_RV, que posteriormente se conecta a la base de datos geográfica mediante la conexión OLE DB “**Microsoft Office 12.0 Acces Database Engine OLE DB Provider**” de ArcCatalog para la generación de consultas.

El producto obtenido en esta actividad corresponde al diseño de la matriz con sus respectivas, tablas, vínculos relacionales y consultas, conforme a esto la información es ordenada de tal manera que se torna de fácil acceso.

5.3.2.1.1. Esquema relacional de la base de datos para – USOS

El esquema relacional de la base de datos ayuda a agrupar de forma lógica la información recopilada en la encuesta agropecuaria, agilizando la búsqueda de la información y minimizando los errores por repetición o duplicación de datos; Para la temática usos se desarrollaron 8 tablas con identificadores claves para llevar a cabo el enlace y la comunicación entre ellas mismas a lo que llamamos llaves primarias (primary key) y llaves foráneas; estas tablas son: MUNICIPIO, VEREDA, PREDIO, PROPIETARIO, INFORMACION_DEL_AGUA, USOS, CULTIVOS Y PRODUCCION_PECUARIA, las cuales funcionan en eslabón o con relaciones uno a muchos que organizan los datos de acuerdo a la jerarquía con la que se va ingresando, simulando un efecto cascada. La Figura 73, presenta el esquema relacional diseñado.

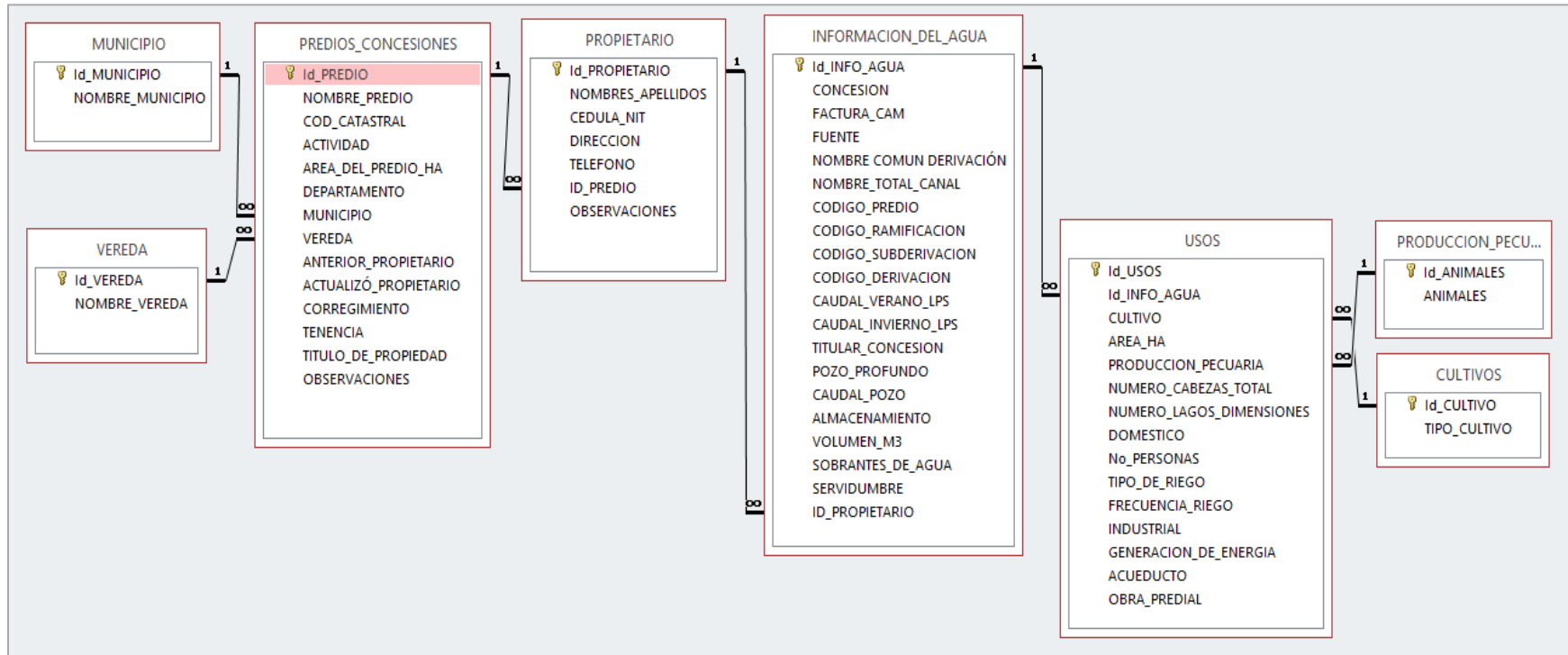


Figura 73. Esquema relacional de la base de datos de atributos para usos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

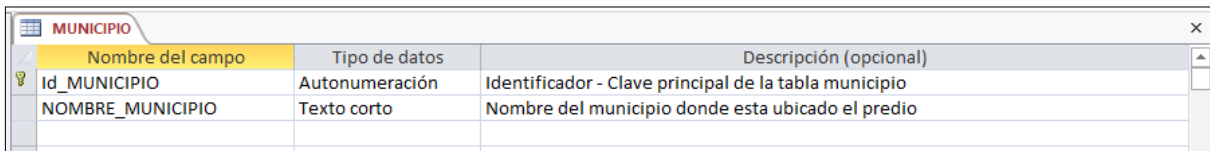
5.3.2.1.2 Documentación de la base de datos

Tablas:

Una tabla de una base de datos es similar en apariencia a una hoja de cálculo, en cuanto a que los datos se almacenan en filas y columnas. Para lograr la máxima flexibilidad para una base de datos, la información tiene que estar organizada en tablas, para que no haya redundancias y se evite trabajar con una tabla de gran tamaño que entorpezca las actividades de ingreso y consulta de registros.

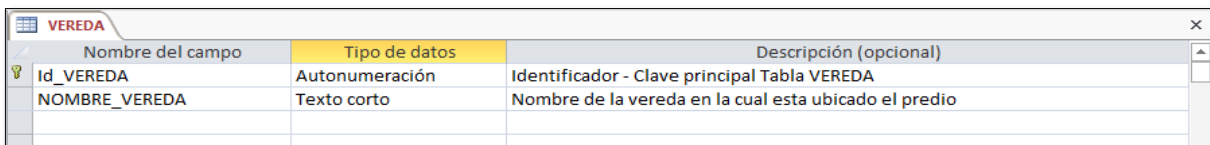
Cada fila de una tabla se denomina registro. En los registros es donde se almacena cada información individual. Cada registro consta de campos (al menos uno). Los campos corresponden a las columnas de la tabla. Los campos se deben configurar con un determinado tipo de datos, ya sea texto, fecha, hora, numérico, o cualquier otro tipo.

A continuación se describe de manera general la información contenida en los campos de las tablas que forman la base de datos descriptiva o externa, la documentación completa de los campos de cada una de las tablas se consigna en el ANEXO 7.



Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_MUNICIPIO	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla municipio
NOMBRE_MUNICIPIO	Texto corto	Nombre del municipio donde esta ubicado el predio

Figura 74. Tabla MUNICIPIO
Fuente: FUNDISPROS, 2014



Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_VEREDA	Autonumeración	Identificador - Clave principal Tabla VEREDA
NOMBRE_VEREDA	Texto corto	Nombre de la vereda en la cual esta ubicado el predio

Figura 75. Tabla VEREDA
Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_PREDIO	Autonumeración	Identificador - clave principal de la tabla PREDIO
NOMBRE_PREDIO	Texto corto	Nombre del predio
COD_CATASTRAL	Texto corto	Código catastral del predio
ACTIVIDAD	Texto corto	Tipo de actividad que se desarrolla en el predio
AREA_DEL_PREDIO_HA	Número	Área del predio según título de propiedad
DEPARTAMENTO	Texto corto	Llave foránea para conectar con la tabla DEPARTAMENTO
MUNICIPIO	Número	Llave foránea para conectar con la tabla MUNICIPIO
VEREDA	Número	Llave foránea para conectar con la tabla vereda
ANTERIOR_PROPIETARIO	Texto corto	Nombre del anterior propietario del predio
CORREGIMIENTO	Texto corto	Nombre del corregimiento donde se encuentra ubicado el predio
TENENCIA	Texto corto	Clase o tipo de tenencia del predio
TITULO_DE_PROPIEDAD	Texto corto	Número y fecha de escritura pública mediante la cual se le concede propiedad del predio
OBSERVACIONES	Texto largo	Anotaciones sobre características particulares o relevantes que deban ser tenidas en cuenta

Figura 76. Tabla PREDIO
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_PROPIETARIO	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla PROPIETARIO
NOMBRES_APELLIDOS	Texto corto	Nombres y apellidos del propietario del predio
CEDULA_NIT	Texto corto	Número de documento de propiedad del propietario
DIRECCION	Texto corto	Dirección de residencia del propietario
TELEFONO	Texto corto	Número telefónico del propietario
NOMBRE_PREDIO	Número	Llave foránea para conectar con la tabla PREDIO
OBSERVACIONES	Texto corto	Descripción de cualquier aspecto de importancia sobre el propietario

Figura 77. Tabla PROPIETARIO
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_INFO_AGUA	Autonumeración	Identificador - Clave principal asignada a la tabla INFORMACION_DEL_AGUA
CONCESION	Sí/No	Si tiene o no concesión de aguas
FACTURA_CAM	Texto corto	Cual es el código de la factura CAM de la concesión
FUENTE	Texto corto	Nombre del río del cual se abastece su predio
CANAL	Texto corto	Nombre del canal por donde transporta el agua para riego
NOMBRE_TOTAL_CANAL	Texto corto	Nombre completo del canal según reglamentación
CODIGO_PREDIO	Texto corto	Código del predio según resolución
CODIGO_RAMIFICACION	Texto corto	Código de la ramificación según resolución
CODIGO_SUBDERIVACION	Texto corto	Código de la subderivación según resolución
CODIGO_DERIVACION	Texto corto	Código de la derivación según resolución
CAUDAL_VERANO_LPS	Texto corto	Caudal asignado para época de verano en la anterior reglamentación
CAUDAL_INVIERNO_LPS	Texto corto	Caudal asignado para época de invierno en la anterior reglamentación
TITULAR_CONCESION	Texto corto	Nombre del propietario de la concesión de aguas
POZO_PROFUNDO	Texto corto	Si tiene o no pozo profundo
CAUDAL_POZO	Texto corto	Caudal que almacena en el pozo
ALMACENAMIENTO	Sí/No	Si tiene o no algún otro tipo de almacenamiento
VOLUMEN_M3	Texto corto	Volumen de almacenamiento
SOBRANTES_DE_AGUA	Sí/No	Si riegan o no con sobrantes de agua
SERVIDUMBRE	Sí/No	Si tienen o no servidumbres
ID_PROPIETARIO	Número	Llave foránea para conectar con la tabla PROPIETARIO

Figura 78. Tabla INFORMACION_DEL_AGUA
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_USOS	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla USOS
Id_INFO_AGUA	Número	Llave foranea para conectar con la tabla INFORMACION_DEL_AGUA
CULTIVO	Número	Llave foranea para conectar con la tabla CULTIVO
AREA_HA	Número	Area cultivada reportada en la encuesta
PRODUCCION_PECUARIA	Número	Llave foranea para conectar con la tabla PRODUCCION_PECUARIA
NUMERO_CABEZAS_TOTAL	Número	Numero total de animales reportado en la encuesta
NUMERO_LAGOS_DIMENSIONE	Texto corto	Si la produccion es piscicola cual es el número de lagos
DOMESTICO	Sí/No	Si el agua la utilizan o no con fines domesticos
No_PERSONAS	Número	Numero de personas
TIPO_DE_RIEGO	Texto corto	Cual es el tipo de riego que utilizan
FRECUENCIA_RIEGO	Texto corto	Cual es la frecuencia con la que se riega
INDUSTRIAL	Texto corto	Si el agua la utilizan con fines de desarrollo de actividades industriales
GENERACION_DE_ENERGIA	Texto corto	Si el agua la utilizan con fines de generación de energia
ACUEDUCTO	Texto corto	Si el agua es o no para un acueducto veredal o municipal
OBRA_PREDIAL	Sí/No	Si tienen o no obra predial

Figura 79. Tabla USOS
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_CULTIVO	Autonumeración	Identificador - Clave principal asignada a la tabla CULTIVOS
TIPO_CULTIVO	Texto corto	Uso del predio reportado por el usuario en la encuesta

Figura 80. Tabla CULTIVOS
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
Id_ANIMALES	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla PRODUCCION_PECUARIA
ANIMALES	Texto corto	Tipo de animal

Figura 81. Tabla PRODUCCION_PECUARIA
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.3.2.1.3 Alimentación de la base de datos – Usos

La base de datos se alimentó conforme los usuarios suministraron la información necesaria para el registro de concesiones (plasmadas en el formulario de censo agropecuario). Una vez allegada cada formato de encuesta, se inició la digitalización de la información en la BD asignándole un identificador único desde la tabla PREDIOS_CONCESIONES, esta tabla genera los contadores o llaves únicas para cada una de las concesiones por predio, llave con un par igual dentro de la base de datos geográfica de la capa TF025_Usos_Predial_RF.

La BD cuenta con 128 registros en la tabla PREDIOS_CONCESIONES, la cual incluye los predios que no allegaron la información solicitada para el proceso de actualización, por lo que se procedió a extraer la información de usos de la actual reglamentación vigente (Res 1251 de 31-05-2011).

5.2.2.2. Esquema relacional de la base de datos –VERTIMIENTOS

El esquema relacional de la base de datos descriptiva diseñada para el tema vertimientos, consta de 6 tablas con identificadores claves para llevar a cabo el enlace y la comunicación entre ellas mismas por medio de llaves o identificadores únicos (primary key); estas tablas son: VEREDA, MUNICIPIO, PREDIO_GENERADOR, PROPIETARIO, VERTIMIENTO y DETALLE DE VERTIMIENTO; estas tablas funcionan de eslabón con relaciones uno a muchos que organizan los datos de acuerdo a la jerarquía con la que se va ingresando, simulando un efecto cascada. La información de be ser suministrada desde la tabla PREDIO_GENERADOR en cascada como lo indica el esquema relacional el cual se ilustra en la siguiente figura.

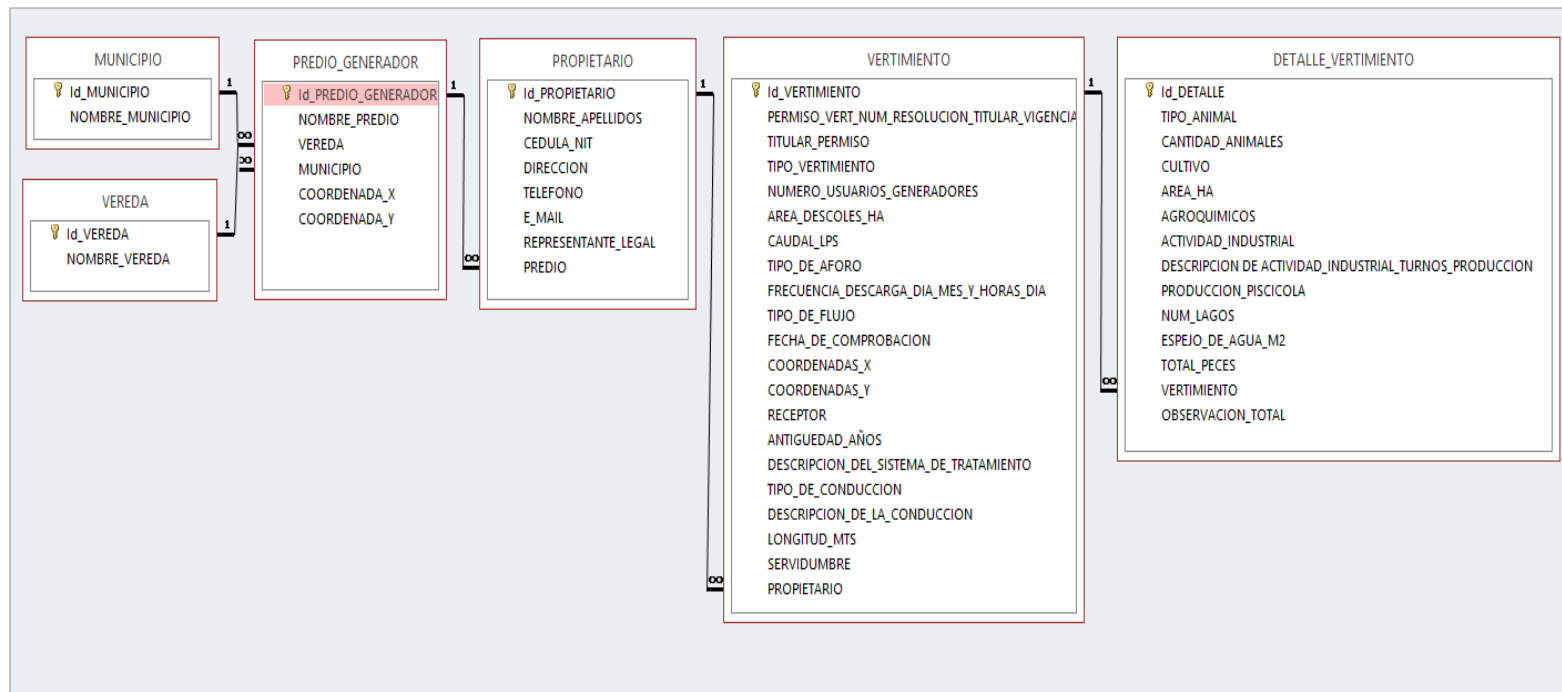


Figura 82. Esquema relacional de la base de datos de atributos para vertimientos
Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.2.2.1. Documentación de la base de datos “VERTIMIENTOS”

Tablas:

A continuación se describe de manera general la información contenida en los campos de las tablas que forman la base de datos descriptiva. La documentación completa de los campos de cada una de las tablas se consigna en el ANEXO 7.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
d_MUNICIPIO	Autonumeración	identificador - Clave principal de la tabla MUNICIPIO
NOMBRE_MUNICIPIO	Texto corto	Nombre del municipio donde esta ubicado el predio

Figura 83. Tabla MUNICIPIOS
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
d_VEREDA	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla DEREDA
NOMBRE_VEREDA	Texto corto	Nombre de la vereda donde esta ubicado el predio

Figura 84. Tabla VEREDA
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
d_PREDIO_GENERADOR	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla PREDIO_GENERADOR
NOMBRE_PREDIO	Texto corto	Nombre del predio
VEREDA	Número	Vereda ubicación del predio
MUNICIPIO	Número	Municipio ubicación del predio
COORDENADA_X	Texto corto	Coordenada x indicada con el GPS
COORDENADA_Y	Texto corto	Coordenada y indicada con el GPS
ZONA	Texto corto	Zona en la que se encuentra ubicado el vertimiento

Figura 85. Tabla PREDIO_GENERADOR
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
d_PROPIETARIO	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla PROPIETARIO
NOMBRE_APELLIDOS	Texto corto	Nombre del propietario del predio
CEDULA_NIT	Texto corto	Documento de identidad del propietario
DIRECCION	Texto corto	Dirección de residencia del propietario
TELEFONO	Texto corto	Numero de telefonico del propietario
E-MAIL	Texto corto	Correo electronico del propietario
REPRESENTANTE_LEGAL	Texto corto	Nombre del responsable o representante legal del predio
PREDIO	Número	Llave foranea para conectar con la tabla_PREDIO

Figura 86. Tabla PROPIETARIO
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
id_VERTIMIENTO	Autonumeración	Clave principal asignada a la tabla VERTIMIENTO
PERMISO	Sí/No	Si tiene o no permiso de vertimientos
NUM_RESOLUCION	Texto corto	Numero de la resolucion de permiso de vertimientos
TITULAR_PERMISO	Texto corto	Nombre del titular del permiso de vertimiento
FECHA Y VIGENCIA	Fecha/Hora	Fecha y vigencia del permiso de vertimiento
TIPO_VERTIMIENTO	Texto corto	De que naturaleza el vertimiento
NUM_USUARIOS_GENERADOR	Texto corto	Numero de usuarios generadores si el vertimiento es domestico
AREA_DESCOLES (HA)	Texto corto	Area del terreno generador si los vertimientos son descoles de riego
TIPO_DE_AFORO	Texto corto	Tipo de aforo realizado para medir el caudal
CAUDAL (LPS)	Texto corto	Caudal en LPS del vertimiento de descoles
FRECUENCIA_DESCARGA(DIA/MES)	Texto corto	Frecuencia de descarga en dias por mes del vertimiento
TIEMPO_DESCARGA(HORAS/DIA)	Texto corto	Frecuencia de descarga en dias por mes del vertimiento
TIPO_DE_FLUJO	Texto corto	El tipo de flujo del vertimiento
FECHA_DE_COMPROBACION	Fecha/Hora	Fecha del día de la inspección o visita
COORDENADAS_X	Texto corto	oordenada en x registrada con el GPS del lugar donde el vertimiento entra al rio
COORDENADAS_Y	Texto corto	Coordenada en y registrada con el GPS del lugar donde el vertimiento entra al rio
RECEPTOR	Texto corto	Nombre del rio receptor del vertimiento
ANTIGUEDAD (AÑOS)	Texto corto	Antigüedad del vertimiento
SISTEMA_DE_TRATAMIENTO	Sí/No	Si el vertimiento tiene o no un sistema de tratamiento
DESCRIPCION_BREVE	Texto corto	Breve descripción del sistema de tratamiento
TIPO_DE_CONDUCCION	Texto corto	Tipo de conducción del vertimiento hasta el río
LONGITUD(MTS)	Texto corto	Longitud de la conducción
SERVIDUMBRE	Sí/No	Si tiene o no permiso de servidumbre
PROPIETARIO	Número	Llave foranea para conectar con la tabla _PROPIETARIO

Figura 87. Tabla VERTIMIENTO
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción (opcional)
id_DETALLE	Autonumeración	Identificador - Clave principal de la tabla DETALLE_VERTIMIENTO
TIPO_ANIMAL	Texto corto	Tipo de animal reportado en la encuesta por el encuestado o el encuestador
CANTIDAD	Texto corto	Cantidad de animales
CULTIVO	Texto corto	Tipo de cultivo o uso de la tierra que genera el vertimiento
AREA (HA)	Texto corto	Area cultivada reportada
AGROQUIMICOS	Texto corto	Agroquimicos utilizados en los procesos productivos de los cultivos
ACTIVIDAD_INDUSTRIAL	Sí/No	Si realizan o no actividad industrial
TIEMPO_FUNCIONAMIENTO	Texto corto	Tiempo de realizacion de la actividad industrial en horas por día
TURNOS(DIA)	Texto corto	Turnos en un día de realización de la actividad industrial
HORAS_TURNO	Texto corto	Horas de realización de la actividad industrial en un turno
PRODUCCION_DIA_VISITA	Texto corto	Produccion de vertimientos registrado el día de la visita
PRODUCCION_MENSUAL	Texto corto	Produccion mensual de vertimientos industriales
PRODUCCION_PISCICOLA	Sí/No	Si tienen o no produccin piscicola
NUM_LAGOS	Texto corto	Numero de lagos usados para produccion de peces
ESPEJO_DE_AGUA(M2)	Texto corto	Area en m2 de cada uno de los lagos
TOTAL_PECES	Texto corto	Total de peces producidos
VERTIMIENTO	Número	Llave foranea para conectar con la tabla VERTIMIENTO
OBSERVACION_GENERAL	Texto largo	Observacion general sobre el vertimiento

Figura 88. DETALLE_VERTIMIENTO
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.2.2.2. Alimentación de la base de datos externa– Vertimientos

La base de datos se alimentó conforme se localizaron e identificaron cada uno de los vertimientos a los largo del recorrido del cauce principal del rio. La información se recolecto en campo mediante el diligenciamiento de un formato de encuesta “encuesta vertimientos” y se digitalizó en la BD asignándole un identificador único

desde la tabla PREDIO_GENERADOR esta tabla genera los contadores o llaves únicas para cada una de los vertimientos, llave con un par igual dentro de la base de datos geográfica de la capa TF025_Vertimiento_usuario_generador

La BD cuenta con 45 registros en la tabla PREDIO_GENERADOR, correspondiente a los 65 vertimientos identificados

5.2.2.3. Consultas-Tablas master

Una de las principales utilidades de una base de datos consiste en la posibilidad de realizar consultas específicas de la información almacenada en diferentes tablas, ya que al estar relacionadas entre sí, se pueden realizar consultas cruzadas, proveyendo posibilidades variadas para la creación de informes.

Las consultas son las que verdaderamente hacen el trabajo en una base de datos. Pueden realizar numerosas funciones diferentes. Los datos que deseamos ver generalmente suelen estar distribuidos en varias tablas, gracias a las consultas, se pueden ver en una sola hoja de datos. Además, puesto que normalmente no se desea ver todos los registros a la vez, las consultas permiten agregar criterios para "filtrar" los datos hasta obtener solo los registros que se deseen.

Las consultas desarrolladas en Microsoft Access son "actualizables", lo que significa que es posible editar los datos de las tablas base mediante la hoja de datos de la consulta, es decir que los cambios que se producen en las tablas, también se realizan en las consultas y viceversa.

Las consultas creadas en el desarrollo de este proyecto, permiten que la información sea ordenada de tal manera que se torna de fácil acceso; para la temática "usos" y la temática "vertimientos" se crearon las siguientes consultas.



Figura 89. Consultas realizadas
Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.3. Estructura de la base datos geográfica – Geodatabase

Para el almacenamiento de la información geográfica recolectada durante el desarrollo del proyecto, se implementó la Personal Geodatabase (formato mdb), que es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica (Metadatos Geográficos), ya sea en archivos dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos (Microsoft Access, Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 e Informix). Para los procesos de edición y procesamiento se utilizó el programa ArcGIS 10.3 con los módulos ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox.

A la Geodatabase creada para el proyecto de reglamentación y ordenamiento del cauce del Villavieja se le asignó el nombre GDB_0312_R_O_RIO_VILLAVIEJA (formato mdb) y se estructuró teniendo en cuenta los lineamientos establecidos por la CAM.

La BDG está formada por Feature Datasets encargados de administrar y agrupar los Features Class por temáticas previamente establecidas; los Feature Class son entidades que contienen la información geografía y alfanumérica de cada elemento; una de las ventajas del uso del formato mdb es que no necesita comprar programas adicionales para acceder y almacenar la geobase de datos. El resultado final se convertirá en una herramienta importante para la administración del recurso hídrico, para el control, toma de decisiones; además de que es un sistema flexible en cuanto al ingreso de nueva información o actualizaciones futuras

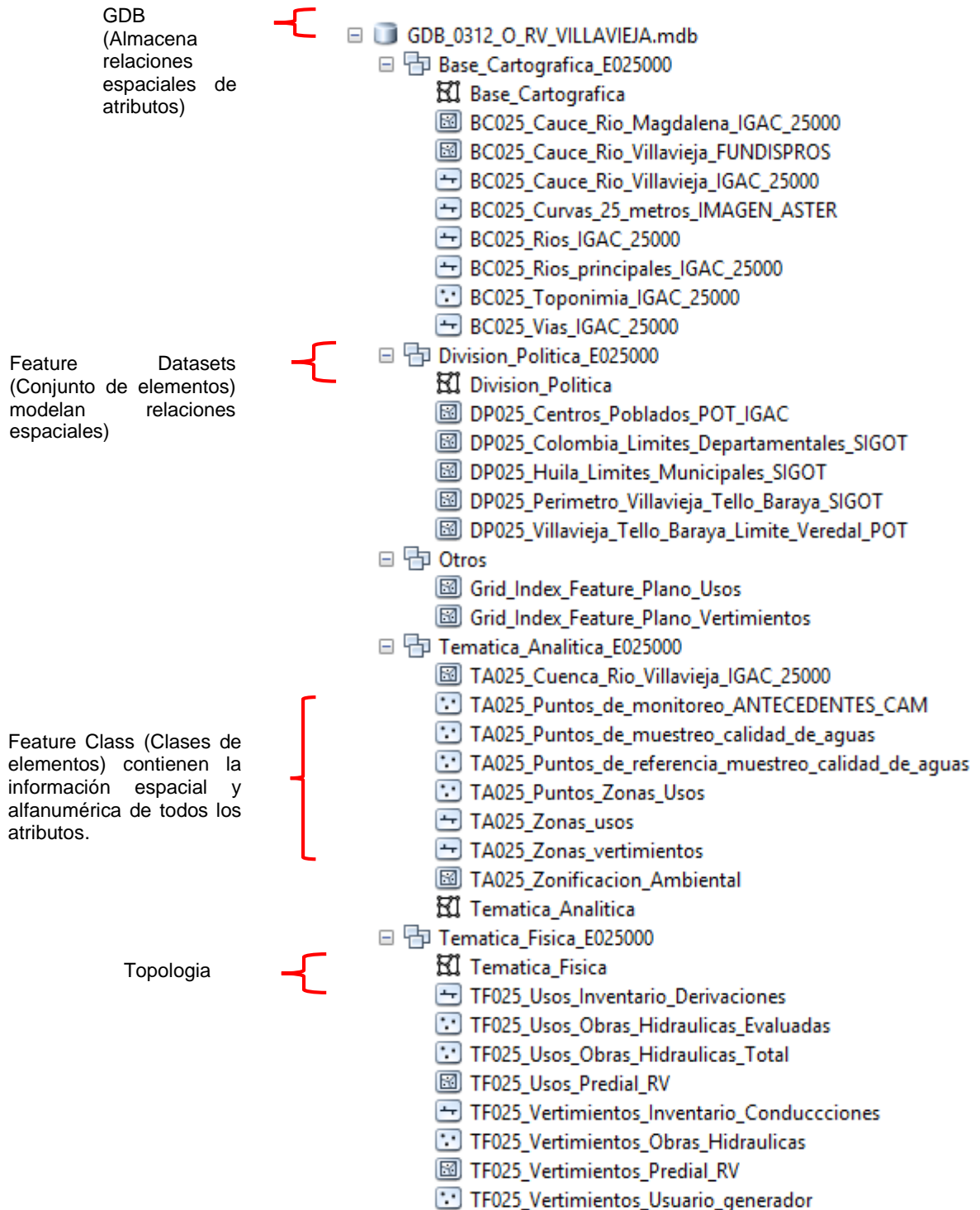


Figura 90. Estructura de la base de la base de datos geográfica
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.3.1. Asignación de llaves primarias a entidades de la base de datos geográfica

Para asignar un identificador único a cada uno de los elementos del feature class que representa los predios y crear así una relación con la base de datos externa Access, se tuvo en cuenta su correlación con la información suministrada por los usuarios y que fue almacenada en la tabla PREDIOS_CONCESIONES de Microsoft Access para la temática “USOS”, este contador generado automáticamente al ingresar la información tiene un mismo par en el feature class TF025_Usos_Predial_RF; para la temática “VERTIMIENTOS” el contador de la tabla PREDIO_GENERADOR tiene un para idéntico en el feature class TF025_Vertimiento_Usuario_generador.

5.2.3.2. Creación de campo de atributos tipos “raster”

Para la realización del diagnóstico del estado de las obras hidráulicas que se encuentran sobre el cauce principal del río y sobre los canales de distribución de caudal, se generó un archivo fotográfico enlazado a cada uno de los puntos de localización espacial de obras hidráulicas almacenados en la base de datos geográfica.

Para esto se utilizó el Feature Class TF025_Obras_Hidraulicas_Evaluadas y se creó un campo tipo raster que enlaza este atributo de cada una de las obras hidráulicas al archivo donde esta almacenada la fotografía. Los archivos enlazados pueden ser de distintos tipos, como imágenes, videos, documentos, y más. Los adjuntos requieren una ArcGIS for Desktop Standard o ArcGIS for Desktop Advanced de la licencia de ArcGIS 10.3 for Desktop en adelante, ya que utilizan clases de relación para relacionar las entidades con los archivos.

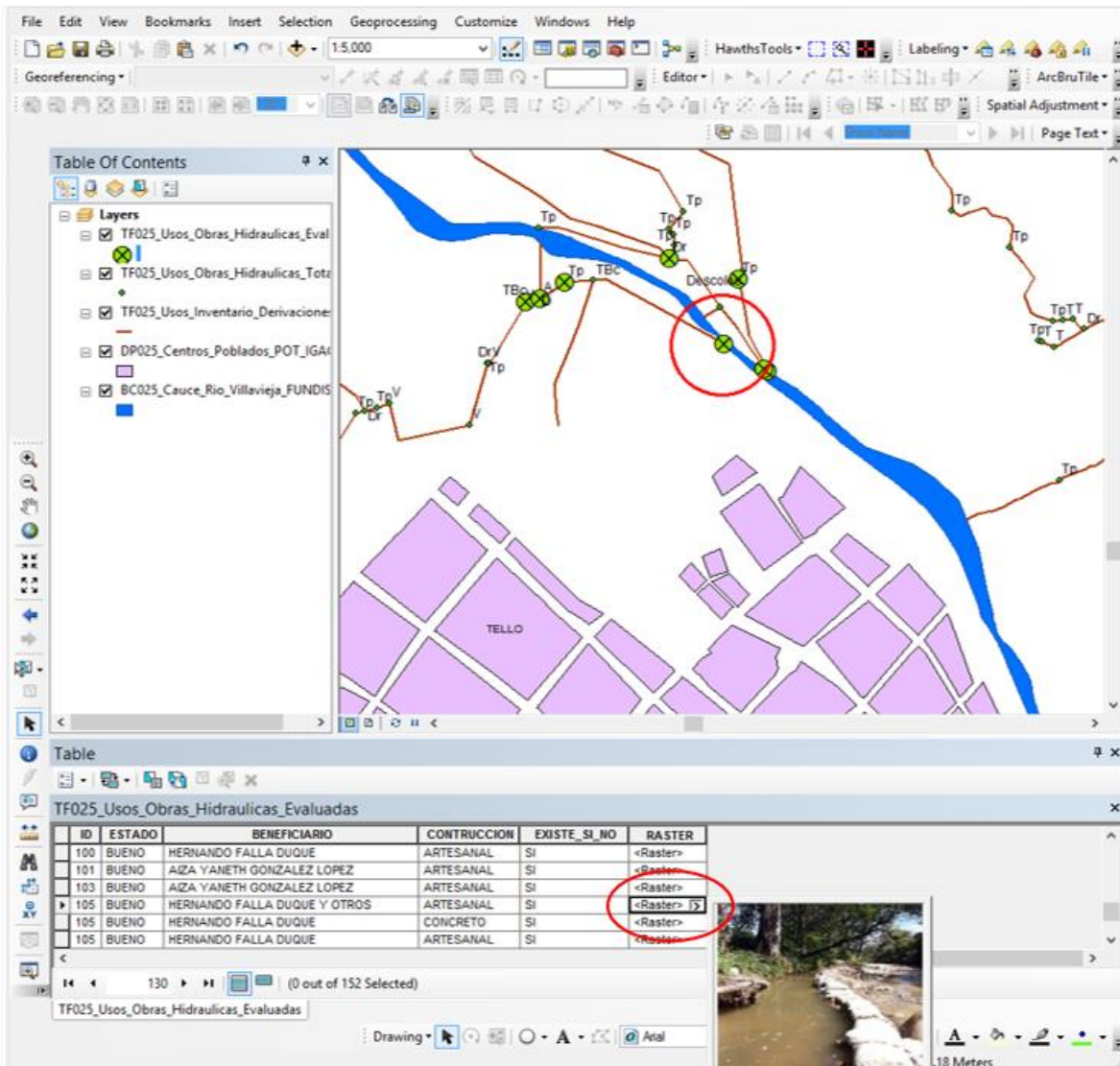


Figura 91. Visualización del campo “raster” desde ArcMap con información fotográfica del punto, Feature Class Obras hidráulicas evaluadas
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

Los campos raster se crearon para los feature class:
 TF025_Usos_Obras_Hidraulicas_Evalaudas
 TF025_Vertimietos_usuario_generador.

5.3.3.3. Dominios y Subtipos

Los datos recolectados en campo mediante el diligenciamiento de un formato de encuesta para la realización del diagnóstico de las obras hidráulicas del área de influencia del río, con información sobre (sobre tipo de obra, estado, características constructivas, entre otras), se anexó a la localización espacial del punto dentro de la base de datos geográfica en forma de atributos con campos que diligenciaron usando dominios y subtipos.

El objetivo es establecer valores predeterminados y dominios de atributo para los campos y de esta manera aumentar la exactitud temática de los datos.

La siguiente imagen ilustra algunos de los subtipos establecidos para los campos. La descripción de cada uno se muestra con detalle en el diccionario de datos

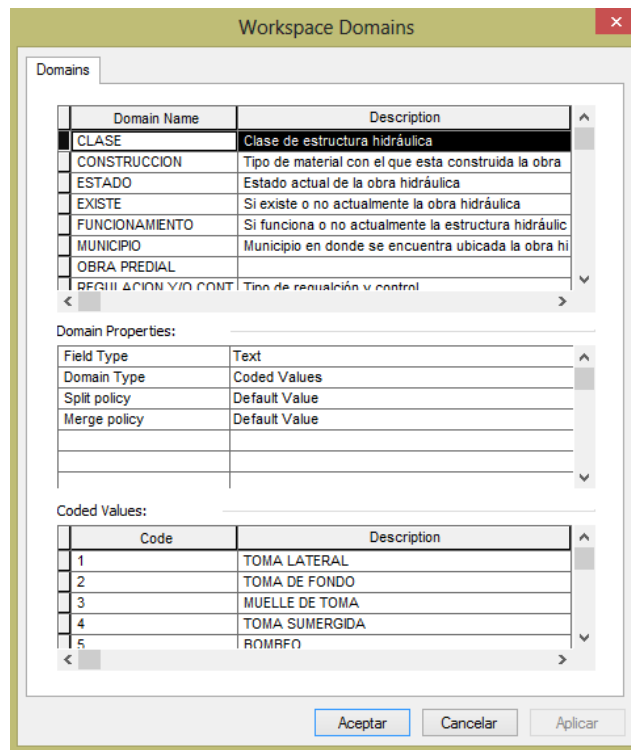


Figura 92. Visualización de algunos subtipos creados en el Feature Class TF025_Obras_Hidraulicas_Evaluadas
Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.4. Integración de la información bd-gdb para “usos” y “vertimientos”

El propósito integral del diseño de una base de datos consiste en poder realizar una integración efectiva entre las tablas de atributos internos de las entidades geográficas utilizadas en el Sistema de Información Geográfica, con las tablas generadas en bases externas.

Una vez generados los identificadores dentro de cada uno de las entidades involucradas o feature class, se procedió a realizar los vínculos relacionales con las tablas de atributos externas y así generar el puente integrador de información. Este puente integrador se creó por medio de una “Conexión ODBC” entre Access y ArcCatalog que se puede visualizar desde ArcMap.

La conexión de la base de datos geográfica a la base de datos externa Access se creó usando la opción “Add Database Connection” opción **Connection OLE DB (Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider)**. Para poder realizar esta conexión, la base de datos externa creada en Microsoft Access 2013 (formato .accdb) debe ser guardada en formato .mdb, de esta forma los componentes tabulares son visibles desde ArcCatalog y ArcMap.

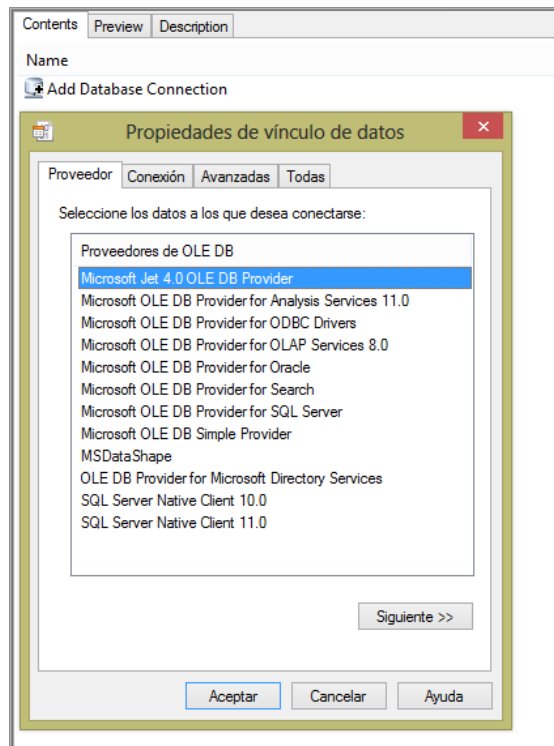


Figura 93. Protocolo Jet 4.0 para conexión desde ArcCatalog a bases de datos externa
Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.5. Modelo de datos

Según el protocolo de entrega e información cartográfica I-CAM-017 en el diccionario de datos se debe describir de forma detallada el conjunto de datos espaciales incluidos dentro del proceso SIG y que establece los elementos necesarios para articular y construir la base de datos relacional. En el modelo de datos se describen con detalle cada uno de los datos incluidos en la BD, estableciendo sus atributos y las características de los mismos. (CAM, 2009)

El diccionario de datos de este proyecto se describe en anexos del proyecto.

5.2.6. Modelos cartográficos

Los modelos cartográficos se refieren a la utilización de las funciones de análisis de un sistema de información geográfica bajo una secuencia lógica, de tal manera que se puedan resolver problemas espaciales complejos. Las características de estos modelos son (IGAC, 1995):

- Presentación de una secuencia lógica de operaciones analíticas expresadas en diagramas de flujo
- Usualmente están codificadas en macros
- Apoyan el uso de SIG en planeamiento, realización de consensos y resolución de conflictos.
-

Según el protocolo de entrega de información cartográfica y SIG de la CAM, los modelos cartográficos deben detallar cada proceso y cada operación de análisis espacial o de transformación de los datos que ingresarán al SIG y se convierten por tanto en un diagrama de flujo del proceso cartográfico y en una herramienta de planeación y memoria técnica gráfica del proceso efectuado para el logro de los objetivos cartográficos del SIG.

Los modelos cartográficos utilizados para el desarrollo de este proyecto, se establecieron mediante la herramienta Model Builder que permite realizar de forma automatizada cualquier proceso que normalmente hacemos en ArcGis, en este caso se el proceso de obtener un TIN (Red de triangulación irregular), y un modelo de sombras a partir de DEM (Modelo Digital de Elevación).

Creación de tin, dem y modelo de sombras.

Para la creación de una Red de Triangulación Irregular – TIN, se requiere como información base un archivo Shapefile de curvas de nivel limitadas a un perímetro, el cual generalmente se obtiene de la cartografía básica oficial para cada municipio y pueden ser descargadas de portales geográficos oficiales para cada país. Para este proyecto fueron utilizadas las curvas de nivel obtenidas del mapa topográfico

digital ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model) creado con imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), que viaja sobre el satélite TERRA propiedad de la NASA; estas imágenes se encuentran disponibles en línea en el enlace referenciado²⁸

Una vez obtenidas las curvas de nivel cada 25 metros a partir del DEM, se procedió a generar el TIN y el modelo de sombras mediante la caja de herramientas ArcToolbox como lo describe el siguiente Model Marker.

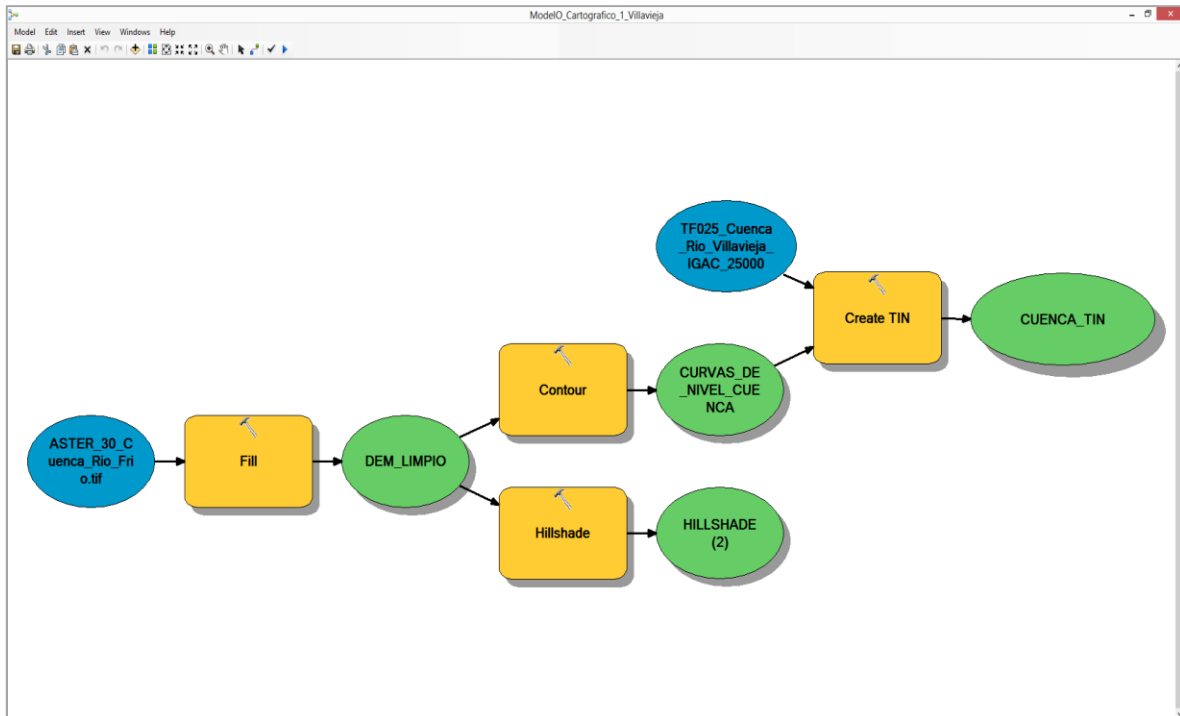
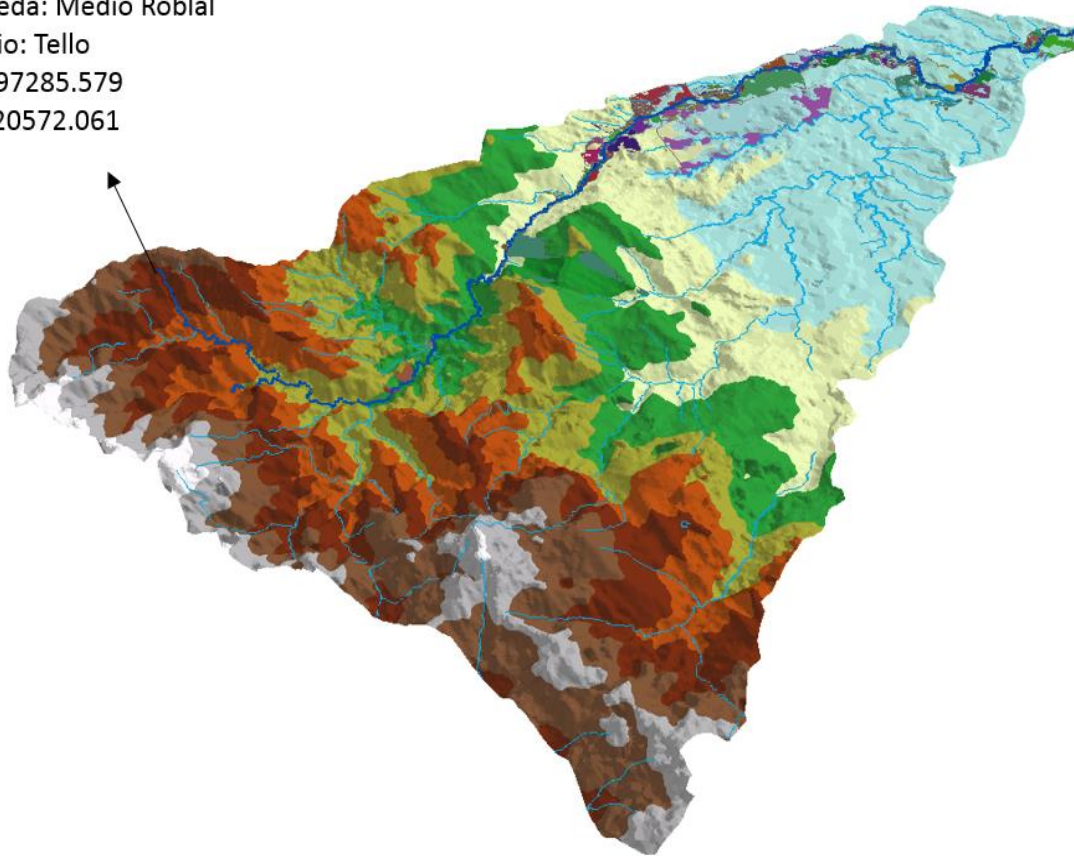


Figura 94. Model Maker para la creación de un TIN a partir de un DEM
Fuente: FUNDISPROS, 2014

²⁸ ASTER GDEM: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/index.jsp>. Consulta en línea: Octubre/9/2014

Nacimiento Rio Villavieja
Vereda: Medio Roblal
Mpio: Tello
X:897285.579
Y:820572.061



Desembocadura Rio Villavieja
Vereda: Polonia
Mpio: Villavieja
X: 871393.565
Y:845484.918

Figura 95. Modelo TIN para la representación de cuenca hídrica río Villavieja
Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.7. Unidad mínima de mapeo

Se entiende como la unidad mínima que se debe representar cartográficamente y siempre está en función de la escala de trabajo.

Para la definición de la unidad mínima de mapeo se tuvo en cuenta la escala de trabajo (1: 25.000); para lo cual $\frac{1}{2}$ cm en el papel, equivale a 125 mts en el terreno, es decir el área es de 15625 m² (1.56ha.); para la escala 1:50.000 $\frac{1}{2}$ cm en el papel, equivale a 250 mts, es decir el área es de 62500 m² (6.25 ha.)

5.2.8. Elaboración de planos cartográficos

Uno de los productos finales del proyecto fue la digitalización, diagramación, dibujo y elaboración de planos cartográficos, los cuales se elaboraron en formato mxd, utilizando el programa ArcGis 10.3, en el que se representaron y visualizaron los datos alfanuméricos y espaciales obtenidos en el desarrollo del proyecto de modo que los usuarios finales logren comprender de forma rápida e intuitiva todos los datos.

Para administrar de forma consecuente los mapas, se crearon libros de mapas “Data Driven Pages” el cual permite obtener en formato mxd como mapa dinámico, impreso o Adobe PDF una serie de páginas de diseño a partir de un único documento de mapa o layout. Los libros de mapas se crean a partir de una capa índice que divide el mapa en secciones y de esta forma genera una página por cada entidad de índice.

La siguiente imagen ilustra el proceso de creación de un libro de mapas.

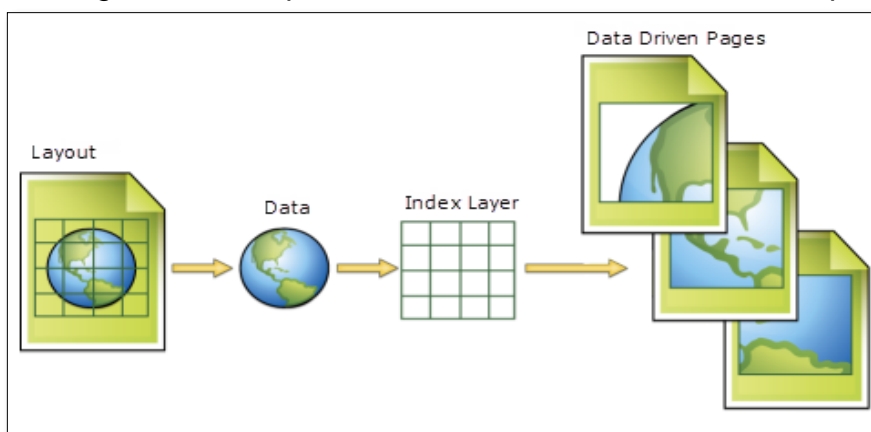


Figura 96. Ilustración de la creación de un libro de mapas
Fuente: ArcGIS Resources, 2014

Los rótulos diseñados para las planchas cartográficas temáticas contienen además de la información del proyecto, la información geográfica de referencia implementada para todas las capas. Este layout se utilizó previa aprobación y visto bueno por parte del coordinador e interventor del proyecto.

LABELS

Para la asignación y visualización de labels en las salidas gráficas, con información proveniente de la base de datos externa "Acces", se generaron tablas de consulta independientes o tablas master, las cuales fueron exportadas y almacenadas en formato dbs en la base de datos geográfica del proyecto, las tablas generadas poseen un campo con un identificador único e idéntico que permite la realización de enlaces con el campo único de las entidades geográfica TF025_Usos_Predial_RV y TF025_Vertimientos_Usuario_Generador, por medio de la herramienta Join and relate.

La siguiente tabla relaciona la lista de planos definitivos en formato mxd y pdf elaborados en desarrollo del proyecto.

ITEM	NOMBRE	ESCALA DE DETALLE	ESCALA DE IMPRESION
01	Detallado censo de usuarios_A01	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_A02	1:25.000	1:10.000
	Detallado censo de usuarios_A03	1:25.000	1:5.000
	Detallado censo de usuarios_A04	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_A05	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_A06	1:25.000	1:5.000
	Detallado censo de usuarios_B01	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_B02	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_C01	1:25.000	1:5.000
	Detallado censo de usuarios_C02	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_C03	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_D01	1:25.000	1:5.000
	Detallado censo de usuarios_D02	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_E01	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_E02	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_F01	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_G01	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_G02	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_H01	1:25.000	1:2.500
	Detallado censo de usuarios_H02	1:25.000	1:5.000
Detallado censo de usuarios_H03	1:25.000	1:2.500	

	Detallado censo de usuarios_I01	1:25.000	1:5.000
	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_A01	1:25.000	1:5.000
	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_B01	1:25.000	1:500
	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_C01	1:25.000	1:5.000
	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_D01	1:25.000	1:5.000
	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_E01	1:25.000	1:5.000
02	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_F01	1:25.000	1:5.000
	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_G01	1:25.000	1:5.000
	Distribución detallada de vertimientos de aguas residuales_A01	1:25.000	1:5.000
03	Lugares de muestreo calidad de aguas según zonificación establecida	1:25.000	1:40.000

Tabla 140. Lista de Planos Cartográficos
 Fuente: FUNDISPROS, 2014

5.2.9. Metadatos

Los metadatos de un elemento registran la información de importancia que debe conocer el usuario u organización que manipulara la información. Esto puede incluir información sobre lo preciso y reciente que es el elemento, las restricciones asociadas con utilizar y compartir el elemento, la validez, confiabilidad, detalle, escala(s), procedimientos, personas contacto, entre otros.

Los metadatos de un elemento se visualizan y editan en la pestaña **Descripción**, ya sea en **ArcCatalog** o al abrir la ventana **Descripción del elemento** desde otras aplicaciones de ArcGIS for Desktop.

ArcCatalog utiliza los estándares establecidos por el Federal Geographic Data Comité (FGDC) para la documentación de datos geográficos.

Para el desarrollo de este proyecto se adiciono los metadatos a cada una de los Feature Class incluidos en la base de datos geográfica, con información sobre fuente, valides, y algunas procesos de edición realizados.

BC025_Rios_principales_IGAC_25000

Personal GeoDatabase Feature Class



Tags

Hidrografía ppal cuenca Hidrografica Río Villavieja IGAC 25000

Summary

Hidrografía ppal cuenca Río Villavieja. Creado con el propósito de hacer parte de la temática "cartografía básica" de la base de datos geográfica elaborada en el contrato de apoyo interinstitucional 0312 de 2013 "Ordenamiento del recurso hídrico de la corriente de Villavieja que discurre por los municipios de Tello y Villavieja".

Description

Contiene la ubicación espacial e información alfanumérica de ríos, quebradas, zanjones y drenajes que hacen parte de la red hídrica de la cuenca Río Villavieja ubicada en los municipios de Tello y Villavieja. Extraído de la cartografía oficial del IGAC para el Huila a escala 1:25.000 y ajustado conforme a la información cartográfica del plan de ordenamiento territorial 2005, escala 1:5000.

Credits

Cartografía Temática realizada en desarrollo del convenio interadministrativo 0312 del 2013 celebrado entre la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM y La Fundación Desarrollo de las Ingenierías y Ciencias de la Salud para la Proyección Social - FUNDISPROS.

Use limitations

Derechos reservados. Para la reproducción parcial o total de la presente obra, se requiere la previa autorización de FUNDISPROS o la CAM. El texto, la cartografía y gráficos están sujetos a derechos de copia y de propiedad intelectual (Ley 23 de 1982).

Extent

West -75.239074 **East** -74.903427
North 3.191434 **South** 2.970663

Scale Range

Maximum (zoomed in) 1:5,000
Minimum (zoomed out) 1:150,000,000

Figura 97. Metadato Feature Class BC025_Rios_principales_IGAC_25000

Fuente: FUNDISPROS, 2014

CONCLUSIONES

El ordenamiento del recurso hídrico de la corriente del Río Villavieja que discurre por los municipios de Tello y Villavieja tuvo como objetivo principal evaluar la calidad del agua, del presente estudio y análisis se concluye lo siguiente:

- Se definieron cinco puntos de monitoreo sobre el cauce del río, repartidos en tres zonas, en la zona alta se encuentra los puntos de monitoreo A01 y A02, en la zona media el punto A03 y en la zona baja los puntos A04 y A05; a estos puntos se le realizaron análisis fisicoquímico y Bacteriológico, para ello se determinaron parámetros In situ y parámetros en Laboratorio, Con los resultados obtenidos se determinaran índices de calidad del agua, de acuerdo a la normatividad y a lo que la bibliografía define al respecto, también se estudiaron la RAS (relación adsorción de sodio), CSR (carbonato de sodio residual), arrojando resultados dentro del rango permisible por la normatividad.
- Los índices de calidad de agua determinados corresponden al Índice de calidad de agua ICA, encontrando que la zona alta de la cuenca el agua es de Buena Calidad, en la parte media de la cuenca el agua presento un índice de mediana calidad y a medida que el agua corre, se autodepura por la condiciones del Río termina en su parte baja con agua de buena calidad.
- Así mismo se determinó el índice de contaminación por materia orgánica ICOMO encontrando que la contaminación por Materia Orgánica del Río Villavieja son generados por datos puntuales de la campaña de calidad realizada, por tanto los valores reportados están relacionados con la influencia de las comunidades aledañas, afectaciones al agua y suelos presentes durante la campaña, lo que limita la certeza de los mismos, por lo cual se recomienda el establecimiento de un Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua.
- El índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS hallado arrojó que el río ha tenido una fuerte autodepuración pues el ICOSUS que se calculó para el año 2013 en 3 puntos y para el año 2014 en 5 puntos sobre el cauce del Río, se muestra una fuerte diferencia entre los resultados pues son mayores a los obtenidos sobre los puntos monitoreados en el año 2013; pues el punto B01 es mismo punto A03 y el punto B02 es el mismo punto A04; mostrando la autodepuración de contaminación de sólidos suspendidos por sólidos suspendidos que ha tenido el Río.
- Finalmente en cuanto a determinación de índices se halló el índice de contaminación por fosforo total, presentando en la zona alta Eutrofia es decir

que el cuerpo de agua se encuentra en la etapa de máxima capacidad productiva, es decir, cuerpo de agua con exceso de nutrientes, especialmente fosforo y nitrógeno, y en la zona media y baja se encontró Hipereutrofia.

- De otro lado se realizó el respectivo análisis hidrobiológico en la fuente encontrando y afirmando que la Cantidad de fitoplancton, zooplancton y peces depende de la oferta alimenticia y el caudal de la cuenca, la presencia de Perifiton depende de la cantidad y calidad del sustrato natural para poder formar las biopelículas y finalmente los Macroinvertebrados presentes depende de su morfología, caudal del río y sustrato de orilla para su formación.
- El Procesamiento de la información se determinó mediante la aplicación del Software de calidad de agua QUAL 2Kw, permitiendo hallar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables en la corriente.
- La calibración del modelo de calidad del agua fue una herramienta fundamental para el correcto ordenamiento y planificación del recurso hídrico, ya que apoyó la determinación de los usos potenciales del río, el establecimiento de los objetivos de calidad a alcanzar en el corto, mediano y largo plazo, el establecimiento de las metas quinquenales de reducción de cargas contaminantes.
- Se determinaron tres escenarios futuros que fueron modelados en el software, los escenarios corresponden a la Implementación de buenas prácticas agrícolas y determinantes ambientales para el manejo de áreas forestales protectoras de corrientes; el segundo escenario contempla tanto la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento del municipio de Tello como la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado Polonia (Villavieja); y el tercer escenario contempla la posibilidad que en un periodo de 20 años no se hayan construido las plantas de tratamiento pero la población haya aumentado de acuerdo a las proyecciones.
- Los resultados de la predicción del modelo para los escenarios futuros evidenciaron que la acción más favorable para la corriente es la contemplada en el escenario 1, mientras que el escenario 3 será el que más impacte de manera negativa la calidad del agua del río Villavieja.
- De otro lado se realizó la clasificación de las aguas de acuerdo a la normatividad colombiana de Aguas (Decreto 1541 artículos 41 y 205; Decreto

1594 de 1984 artículos 38 y 45 y la Resolución 2115 de 2007 artículos 2 al 7); logrando establecer la clasificación de los posibles usos para cada zona, donde se prohíbe consumo humano y doméstico en la zona media y baja de la cuenca siendo los coliformes fecales y totales los parámetros limitantes de este uso.

- Teniendo en cuenta lo anterior se determinó el diagnóstico de la calidad del Agua, mediante la aplicación de la metodología Mesoca; se realizaron los perfiles de calidad, se determinó la línea base de calidad de agua Para DBO5 y SST, hallando la carga contaminante actual y la proyectada para los próximos 5 años sobre la corriente.
- Con lo anterior se definieron los usos a asignar en cada tramo o zonas en los que fue dividido el río, en la tramo 1 se establecieron como usos definitivos el consumo humano y doméstico, uso agrícola y uso pecuario, en el tramo 2 uso agrícola y pecuario y finalmente en el tramo 3 uso agrícola y pecuario; a estos usos se le asignaron unos objetivos de calidad con sus respectivos criterios.
- Se determinaron los riegos asociados a la reducción de la oferta y la demanda, encontrando que el riego global asociado a la reducción de la oferta contempla la amenaza como media y la vulnerabilidad como alta, generando así un riego alto; en cuanto al riesgo asociado a la disponibilidad del recurso hídrico se encontró que en el tramo I, el Riesgo es alto y en los tramos II y III el nivel de riesgo es medio.
- En cuanto a la fijación de zonas donde prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales, se estableció que en la zona alta se prohíbe la descarga de aguas residuales, por ser la zona de protección de la cuenca y en la zona media y baja se condiciona, debido al resultado de coliformes con respecto al límite permisible por la norma.
- Así mismo se prohíbe actividades domésticas en la zona media y baja de la cuenca del Río Villavieja, con el fin de prevenir afectaciones al ser humano y cumplir con lo dispuesto en la reglamentación de usos y aprovechamiento del agua del Río Villavieja.
- Se establecieron metas quinquenales de reducción de carga contaminante para vertimientos domésticos, agrícolas y sedimentadores para el quinquenio 2014 – 2018, siendo congruente con el último año del quinquenio de la meta global establecido para toda la cuenca alta del Río Magdalena.

- Para disminuir la cargas contaminantes generadas en mayor proporción y siguiendo el escenario futuro arrojado por el modelo de simulación se plantea la aplicación de buenas prácticas agrícolas por parte de los usuarios de la cuenca.
- Se proyectó el programa de seguimiento al recurso hídrico teniendo en cuenta lo registrado en el plan de acción 2012 – 2015, con el fin de ser congruentes y articular los programas y proyectos establecidos para cuencas hídricas del departamento del Huila.
- Finalmente se concluye que el ordenamiento de esta cuenca hídrica permitió establecer los componentes ambiental, social y económico del entorno y los usuarios de la misma, con el fin de garantizar sostenibilidad del recurso hídrico en cuanto a calidad y cantidad para las futuras generaciones.

ANEXOS

ANEXO 1. Formato de encuesta evaluación de obras hidráulicas

ANEXO 2. Formato de encuesta Censo de Usuarios y Agropecuario

ANEXO 3. Formato de encuesta de vertimientos

ANEXO 4. Resultados de calidad del agua

ANEXO 5. Calibración Modelo Rio Villavieja, (Cal_Rio_Villavieja.exe)

ANEXO 6. Escenarios Propuestos para Evaluar Capacidad de Asimilación de Carga Contaminante. (Escenario_1_Rio_Villavieja.exe, Escenario_2_Rio_Villavieja.exe, Escenario_3_Rio_Villavieja.exe)

ANEXO 7 Documentación completa de base de datos en formato Access para la temática “Usos” y “Vertimientos”

ANEXO 8 Modelo de datos

ANEXO 9 Resumen topológico

BIBLIOGRAFÍA

- Aguas del Huila. (2009). - *Elaboración de los Estudios y Diseños de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de las zonas urbanas, centros poblados y sistemas Regionales que fueren necesarios de la subregión Uno, Norte del Departamento del Huila.* Tello - Huila.
- Arroyave D.M., M. A. (2012). Estudio del modelamiento de la calidad del agua del río Sinú, Colombia.
- CAM. (2013). *CONCERTACIÓN DE METAS DE REDUCCIÓN - TASAS RETRIBUTIVAS POR VEERTIMIENTOS PUNTUALES.*
- CAM, C. A. (2009). *Protocolo entrega y manejo información cartográfica y SIG – I-CAM-017.* Neiva - Huila: Versión 31 de oct.
- Castillo G. (2008). Modelos de Calidad de Agua.
- Corporación Autónoma Regional Del Alto Magdalena . (2010). *Diagnóstico Ambiental del Departamento de Huila.* Neiva.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. (2014). *Análisis de los Índices de contaminación de los años 2008 a 2012 del Río Las Ceibas y La Quebrada Los Micos, 2014 .* Neiva Huila.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. (2014). *Análisis de los Índices de contaminación de los años 2008 a 2012 del Río Las Ceibas y La Quebrada Los Micos4.* Neiva Huila: CAM.
- Decreto 1729. (2002). *Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas.* Santafé de Bogotá: República de Colombia.
- Decreto 2811. (1974). *Código Nacional de Recursos Naturales.* Santafé de Bogotá: Presidencia de la República de Colombia.

- ENA. (2010). *Estudio Nacional de Agua*. Bogotá, DC: Sistema Nacional de Información Ambiental - SIAC.
- FAO. (2007). *MANUAL DE BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS PARA LA AGRICULTURA FAMILIA*. Bogotá: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Farham, D., Ayers, R., & Hasek, R. (1979). *Water Quality affects ornamental plant production. University of California*. California: Division of Agricultural Sciences Leaflet 2995.
- García Q. (2008). Modelación de la calidad del agua en corrientes naturales mediante sistemas no lineales acoplados.
- Greg, C. S. (2008). *QUAL2Kw theory ando documentation (Version 5.1)*. A modeling framework for simulating river and stream water quality.
- H.A, G. (2008). Modelación de la calidad del agua en corrientes naturales mediante sistemas no lineales acoplados.
- Hernández, L. F. (2004). *A LINEA BASE POR CONTAMINACIÓN CON VERTIMIENTOS*.
- IDEAM. (2010). *Vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH)*.
- Ingeominas y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica . (1984). *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia*. Bogotá. D.C .
- Kannel Pr, L. S. (2007). *Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal*. Ecol Model, Vol. 202, 503 -517, 2007.
- Lozano G., Z. M. (2003). *Selección del Modelo de Calidad del Agua en el Proyecto "Modelación de corrientes hídricas superficiales en el departamento del Quindío"*.
- Marín, G., Aragón, R., & Gómez, B. (2002). *Análisis Químico de Suelos y Aguas. Manual de Laboratorio*. Valencia, España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Metodología MESOCA. (2006). *Guía metodología para el establecimiento del objetivos de calidad de los cuerpos de agua en ausencia de los planes de ordenamiento del recurso hídrico*. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente , Vivienda y desarrollo Territorial.
- MINIAMBIENTE. (2014). *GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO*. Bogota, DC .
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 631 de 2015*. Bogotá D.C: "Por la cual se establecen los parámetros y valores límites

máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Decreto 3930 de 2010*. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. .
- Municipio de Tello. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012 - 2015*. Tello - Huila.
- Municipio de Villavieja. (2000). *Diagnóstico Plan Básico de Ordenamiento Territorial* . Villavieja - Huila .
- Pelletier, G. J. (2005). *A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration*. . Environmental Modelling & Software. Vol. 21, 419 -425,.
- Pelletier, G. J., & Chapra, S. C. (2003). A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. *Documentation and user's Manual*., Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA. 2003.
- Pérez León, J. M. (2011). *Manual para determinar la Calidad del Agua para riego Agrícola* . Xalapa de Enríquez, Veracruz : Facultad de Ciencias Agrícolas UV.
- Pizarro, F. (1978). *Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos*. Madrid, España: Editorial Agrícola de España.
- SANEAR, & CORPOCALDAS. (2010). Modelación de la calidad del agua del Río Chinchiná. Manizales, Departamento de Caldas. *Fundacion SANEAR y Corporación Autónoma Regional de Caldas*.
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (1988). *Water Quality Analysis Simulation Program (WASP)*. version 6.0, draft: User's manual, Ambrose R., Corner E., Martin J., Wool T., U.S. Environmental Protection Agency – Region 4, Athens U.S.
- UNIV LAB - FUNDACORH. (2011). *Informe de Caracterización de los vertimientos líquidos y monitoreo cuerpo Receptor, 2011*. Neiva - Huila: Empresas Publicas de Rievera - S.A. E.S.P.
- Whitehead et al., W. R. (1997). *Quality simulation along rivers*. QUASAR: Part 1: Model theory and development science of the total environment, 194/195.447-456.