



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Propuesta metodológica para la valoración  
ambiental de corrientes hídricas desde la  
perspectiva de la restauración fluvial  
Caso de estudio Quebrada Olivares-Minitas  
Manizales (Caldas)**

**Jesica Leandra Ramírez Cardona**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Manizales, Colombia

2015



# **Propuesta metodológica para la valoración ambiental de corrientes hídricas desde la perspectiva de la restauración fluvial**

## **Caso de estudio Quebrada Olivares-Minitas Manizales (Caldas)**

**Jesica Leandra Ramírez Cardona**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Medio Ambiente y Desarrollo**

Director:

Ph.D. Freddy Leonardo Franco Idarraga

Línea de Investigación:

Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Grupo de Trabajo Académico:

Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Manizales, Colombia

2015





## *Dedicatoria*

*A mi madre, por su amor, lucha y tenacidad.*

*A Juancho, por su amor y apoyo constante.*

*A mis hermanas Estela y Olga Lucía por hacer la labor de mi padre cuando yo estaba pequeña.*

*A mis hermanos Beatriz, Giovanni y John Fredy por consentirme y acompañarme.*

*A Maricel, por acompañarme y entenderme.*



## **Agradecimientos**

Al Profesor Freddy Leonardo Franco Idarraga, Docente Transitorio de la Universidad Nacional de Colombia y Director de la presente Tesis de Grado, por enseñarme sobre la Restauración de Ríos, guiarme y dejarme exigir lo mejor de mí para este proyecto de grado.





## **Resumen**

*Propuesta metodológica para la valoración ambiental de corrientes hídricas desde la perspectiva de la restauración fluvial. Caso de estudio Quebrada Olivares-Minitas Manizales (Caldas)*

En la propuesta metodológica para la valoración ambiental de corrientes hídricas desde la perspectiva de la restauración fluvial, se empleó como caso de estudio la Quebrada Olivares-Minitas del municipio de Manizales, ubicada en los Andes Colombianos y de orden 5 según método Horton-Strahler. Se realizó una revisión de información teórico-conceptual secundaria a nivel global y local, con el fin de establecer los criterios metodológicos para la valoración ambiental de corrientes hídricas de similares condiciones a las de la Quebrada Olivares-Minitas, esto se complementó con el análisis de aspectos político-institucionales relacionados con los ríos de Colombia. Se continuó con la valoración ambiental de la corriente hídrica objeto de estudio con base en la información secundaria disponible y siguiendo los criterios metodológicos previamente definidos. Se propusieron los estudios necesarios para completar la valoración ambiental, las acciones básicas para la restauración de la quebrada y las conclusiones y recomendaciones específicas.

### **Palabras clave**

Restauración de ríos, Recuperación fluvial, Quebrada Olivares-Minitas, zona andina Colombiana, valoración ambiental, corriente hídrica, caso de estudio

## **Abstract**

*Methodological proposal for environmental assessment of streams from the perspective of river restoration. Case study creek Olivares-Minitas Manizales (Caldas)*

The methodological proposal for environmental assessment of streams from the perspective of river restoration, was used as a case study the creek Olivares-Minitas the municipality of Manizales, located in the Colombian Andes and order 5 according to Horton-Strahler method. A review of theoretical and conceptual secondary information was made at global and local level, in order to establish the methodological criteria for environmental assessment of streams similar conditions to those of the creek Olivares-Minitas, this was complemented by the analysis of political and institutional aspects rivers Colombia. We continued environmental assessment for stream case study, based on secondary information available and following the predefined methodological criteria. The necessary studies were proposed to complete the environmental assessment, the basic actions for restoration of the creek and specific conclusions and recommendations.

### **Keywords**

River restoration, creek Olivares-Minitas, Colombian Andes, environmental assessment, stream, case study

## Tabla de contenido

1.	Introducción.....	1
1.1	Objetivo General.....	4
1.2	Objetivos Específicos.....	4
1.3	Metodología.....	5
1.4	Justificación.....	8
2.	CAPÍTULO I. Criterios metodológicos para valoración ambiental de corrientes hídricas de la zona andina colombiana.....	10
2.1	Aspectos político-institucionales.....	10
2.2	Condiciones hidrológicas de la corriente hídrica.....	18
2.2.1	Régimen natural de caudales.....	18
2.2.2	Calidad del agua.....	23
2.2.3	Conectividad hidrológica.....	31
2.3	Condiciones geomorfológicas de la corriente hídrica.....	37
2.3.1	Parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante.....	38
2.3.2	Historia geológica y tendencias.....	40
2.3.3	Balance de sedimentos cuenca-cauce.....	43
2.3.4	Clasificación geomorfológica del cauce.....	47
2.4	Condiciones ecosistémicas de la corriente hídrica.....	52
2.4.1	Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia.....	53
2.4.2	Dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña.....	57
2.4.3	Especies biológicas de importancia en la cuenca y ecosistema fluvial.....	63
2.5	Condiciones socio-culturales de la cuenca vertiente.....	70
2.5.1	Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial.....	72
2.5.2	Poblamiento de la cuenca hidrográfica.....	80
2.5.3	Coberturas y usos de la tierra en la cuenca.....	83



2.5.4	Usos del agua y demandas previstas .....	87
2.5.5	Agentes sociales en la cuenca hidrográfica.....	90
3.	CAPÍTULO II. Valoración ambiental de la Quebrada Olivares-Minitas, Manizales (Caldas)	94
3.1	Condiciones hidrológicas Q. Olivares-Minitas.....	102
3.1.1	Régimen natural de caudales.....	102
3.1.2	Calidad del agua .....	109
3.1.3	Conectividad hidrológica.....	126
3.2	Condiciones geomorfológicas Q. Olivares-Minitas.....	138
3.2.1	Parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante .....	138
3.2.2	Historia geológica y tendencias.....	140
3.2.3	Balace de sedimentos cuenca-cauce .....	151
3.2.4	Clasificación geomorfológica del cauce.....	154
3.3	Condiciones ecosistémicas Q. Olivares-Minitas.....	157
3.3.1	Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia.....	157
3.3.2	Dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña	163
3.3.3	Especies biológicas de importancia en la cuenca y ecosistema fluvial .....	167
3.4	Condiciones socio-culturales de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas .....	173
3.4.1	Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial.....	173
3.4.2	Poblamiento de la cuenca hidrográfica .....	190
3.4.3	Coberturas y usos de la tierra en la cuenca .....	200
3.4.4	Usos del agua y demandas previstas .....	212
3.4.5	Agentes sociales en la cuenca hidrográfica.....	214
4.	CAPÍTULO III. Estudios y acciones requeridas para la restauración fluvial de la Q. Olivares-Minitas .....	227
4.1	Condiciones hidrológicas.....	227
4.2	Condiciones geomorfológicas .....	230
4.3	Condiciones ecosistémicas.....	233
4.4	Condiciones socio-culturales.....	236
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	239
6.	Bibliografía.....	242
7.	Lista de anexos.....	262

## Lista de figuras

Figura 1. Articulación en el marco de la restauración de ríos entre los instrumentos para la GIRH y la GIBSE.....	17
Figura 2. Criterios metodológicos para valoración ambiental de una corriente hídrica de la zona andina colombiana.....	94
Figura 3. Ubicación de la Q. Olivares-Minitas en el municipio de Manizales.....	99
Figura 4. Microcuencas del río Chinchiná a escala 1:25000 y Q. Olivares-Minitas.....	100
Figura 5. Principales ríos en la cuenca del río Chinchiná.....	101
Figura 6. Distritos sanitarios de la ciudad de Manizales.....	110
Figura 7. Usos del suelo en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.....	113
Figura 8. Conducciones del agua de la bocatoma Olivares hasta la Planta Niza.....	128
Figura 9. Mancha de inundación de la Q. Olivares-Minitas, para un Tr: 25 y 100 años.....	134
Figura 10. Zonas de la ciudad de Manizales con el nivel freático muy próximo al alcantarillado.....	136
Figura 11. Modelo esquemático de circulación de aguas.....	137
Figura 12. Situación geológica de la zona antes de la depositación de la Formación Manizales.....	141
Figura 13. Inicio de la actividad volcánica explosiva en la parte media de la cordillera central.....	142
Figura 14. Depositación de los detritos volcánicos por flujos de escombros.....	142
Figura 15. Distribución de los detritos por un sistema fluvial de cauces entrelazados.....	143
Figura 16. Reactivación tectónica y fallamiento de la Formación Manizales.....	144
Figura 17. Resurgimiento de la actividad volcánica y depositación de la Formación Casabianca.....	145
Figura 18. Emplazamiento del Cerro San Cancio y del volcán Tesorito.....	145
Figura 19. Situación geológica de la zona de Manizales en la actualidad (Año 1989).....	146
Figura 20. Mapa de materiales geotécnicos ladera sur Q. Olivares-Minitas.....	147
Figura 21. Mapa de materiales y perfil geológico del sector Barrio La Sultana, Manizales....	148
Figura 22. Mapa geológico cuenca media (urbana) Q. Olivares-Minitas.....	149
Figura 23. Mapa geológico cuenca alta Q. Olivares-Minitas.....	149
Figura 24. Mapa y perfil geológico Reserva Río Blanco y Q. Olivares, Manizales.....	150
Figura 25. Mapa de procesos erosivos ladera sur Q. Olivares-Minitas.....	152
Figura 26. Mapa de procesos erosivos cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.....	153
Figura 27. Configuración “floodplain pockets” Q. Olivares-Minitas cuenca media (urbana). 156	
Figura 28. Esquema de repartición de Manizales en 1849.....	174
Figura 29. Principales zonas de desarrollo económico de Manizales entre 1850 y 1900.....	175

Figura 30. Zona urbana de Manizales y cuenca de la Q. Olivares-Minitas en 1940 .....	194
Figura 31. Localización de rellenos y obras de estabilización de taludes en Manizales .....	196
Figura 32. Expansión urbana de Manizales hacia zonas expuestas a amenazas naturales ....	197
Figura 33. Formas del relieve en la zona urbana de Manizales.....	197
Figura 34. Ocupación urbana de la cuenca media-baja de la Q. Olivares-Minitas .....	199
Figura 35. Ladera sur de la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas 1946, drenajes y erosión .....	203
Figura 36. Comparativo uso del suelo ladera sur cuenca media Q. Olivares-Minitas, años 1946–2003 .....	204
Figura 37. Comparativo de fotografías aéreas de 1963-1975, sector Barrio La Sultana.....	206
Figura 38. Comparativo fotografías aéreas de 1946-1993, antes y después de asentarse los Barrios La Sultana, Minitas y La Cumbre.....	207
Figura 39. Uso de la tierra en Cuenca Alta Q. Olivares-Minitas, jurisdicción de Reserva de Río Blanco y Quebrada Olivares.....	209

## Lista de tablas

Tabla 1. Instrumentos para la GIRH en Colombia.....	12
Tabla 2. Representatividad de ecosistemas acuáticos continentales en el PNiyMAPC.....	16
Tabla 3. Clasificaciones geomorfológicas de canales naturales .....	50
Tabla 4. Fases de sucesión biogeomorfológica en corredores ribereños.....	58
Tabla 5. Fuentes de información de caudales para la Q. Olivares-Minitas .....	102
Tabla 6. Estaciones de lluvia de utilidad para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas .....	104
Tabla 7. Registro de aforos de caudal en invierno y verano para la Q. Olivares-Minitas.....	106
Tabla 8. Caudales ambientales para la Q. Olivares-Minitas estimados bajo diferentes metodologías.....	107
Tabla 9. Caudales en Q. Olivares-Minitas a partir de modelación distribuida y agregada.....	108
Tabla 10. Cargas contaminantes de DBO <sub>5</sub> y SST aportadas por fuentes puntuales .....	111
Tabla 11. Principales características de campañas de monitoreo de calidad del agua realizadas en la Q. Olivares-Minitas.....	115
Tabla 12. Algunos parámetros geomorfológicos de Q. Olivares-Minitas.....	138
Tabla 13. Familias y especies con mayores IVI y VIF, confluencia Q. Olivares-Minitas y río Guacaica.....	166
Tabla 14. Fauna identificada en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.....	168
Tabla 15. Especies nativas en áreas de bosque de la cuenca superior de la Q. Olivares-Minitas .....	169
Tabla 16. Especies con categoría de amenaza Reserva Río Blanco y Q. Olivares.....	170
Tabla 17. Matriz y escala de prioridad para aves, Reserva de Río Blanco y Q. Olivares .....	170
Tabla 18. Matriz y escala de prioridad para mamíferos, Reserva de Río Blanco y Q. Olivares .....	171
Tabla 19. Eventos climáticos extremos y consecuencias, énfasis en cuenca Q. Olivares-Minitas .....	179
Tabla 20. Matriz FODA instrumentos de planificación del desarrollo y ordenamiento territorial, cuenca Q. Olivares-Minitas .....	185
Tabla 21. Barrios en terrenos que drenan hacia la Q. Olivares-Minitas y año de inicio de construcción .....	193
Tabla 22. Barrios ubicados actualmente en vertientes izquierda y derecha de la cuenca media-baja de la Q. Olivares-Minitas .....	199
Tabla 23. Densidades de población por comunas en la ciudad de Manizales (año 1998) .....	200
Tabla 24. Usos de la tierra en Cuenca alta Q. Olivares-Minitas.....	208
Tabla 25. Usos de la tierra en Cuenca Media Q. Olivares-Minitas.....	210
Tabla 26. Usos de la tierra en cuenca baja Q. Olivares-Minitas.....	211

Tabla 27. Comparativo de patrones de uso de recursos hídricos superficiales de mayor a menor demanda en diferentes niveles territoriales.....	213
Tabla 28. Matriz FODA Agentes Sociales, Sector Gubernamental.....	216
Tabla 29. Matriz FODA Agentes Sociales, Sector Privado.....	220
Tabla 30. Matriz FODA Agentes Sociales, Instancias Técnico-Científicas.....	222
Tabla 31. Matriz FODA Agentes Sociales, Sociedad Civil Organizada.....	224
Tabla 32. Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones hidrológicas.....	227
Tabla 33. Acciones básicas para la restauración de las Condiciones hidrológicas.....	228
Tabla 34. Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones geomorfológicas.....	230
Tabla 35. Acciones básicas para la restauración de las condiciones geomorfológicas.....	231
Tabla 36. Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones ecosistémicas.....	233
Tabla 37. Acciones básicas para la restauración de las condiciones ecosistémicas.....	233
Tabla 38. Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones socio-culturales.....	236
Tabla 39. Acciones básicas para el manejo de las condiciones socio-culturales (causas de la problemática ambiental reflejada en la corriente hídrica).....	237

## **Lista de fotos**

Foto 1. Descarga directa del Frigocentro S.A. a la Q. Olivares-Minitas, año 2006 .....	112
Foto 2. Q. Olivares-Minitas aguas arriba de la Bocatoma en el año 1940 .....	127
Foto 3. Vista de la Bocatoma Olivares en el año 1940.....	127
Foto 4. Vista general de la represa Olivares, 22 de noviembre de 2013 .....	127
Foto 5. Vista de cerca represa Olivares, 22 de noviembre de 2013.....	128
Foto 6. Vista transversal represa Olivares, 22 de noviembre de 2013 .....	128
Foto 7. Infraestructura en cuenca baja de la Q. Olivares-Minitas, 13 de noviembre de 2013	130
Foto 8. Reducción de la sección transversal del cauce de la Q. Olivares-Minitas.....	131
Foto 9. Agradación y degradación en el cauce.....	156
Foto 10. Explotación de material aluvial .....	156
Foto 11. Panorámica general, sector Bocatoma Niza y sus alrededores .....	159
Foto 12. Vista satelital a escala del K 6+376 al K 7+169, tramo de 797,28 m aprox.....	160
Foto 13. Vista satelital a escala del K 11+120 al K 11+490, tramo de 369,52 m aprox.....	161
Foto 14. Vista satelital a escala del K 10+461 al K 10+828, tramo de 367,09 m aprox.....	161
Foto 15. Vista satelital a escala del K 14+374 al K 14+973, tramo de 299,35 m aprox.....	162
Foto 16. Vista satelital a escala del K 14+977 al K 15+479, tramo de 501,62 m aprox.....	162
Foto 17. Vista satelital a escala del K 16+427 al K 16+827, tramo de 400 m aprox.....	162
Foto 18. Vista satelital a escala, desembocadura al río Guacaica, tramo de 120 m aprox.....	163
Foto 19. Sistema de bombeo para hacer lotes urbanizables en la antigua Manizales .....	194
Foto 20. Relleno de cañadas con fines urbanísticos en la antigua Manizales.....	195
Foto 21. Cañadas que había que rellenar para construir las calles en Manizales.....	195
Foto 22. Manizales y los valles de las Q. Olivares y “Estrella” deforestados, año 1940.....	201
Foto 23. Valles de la Q. Olivares desde el camino de Las Palomas, año 1940.....	201
Foto 24. Deforestación en Bocatoma Q. Olivares, año 1940 .....	202
Foto 25. Cobertura boscosa en Bocatoma Q. Olivares, año 2008 .....	202

## **Lista de gráficos**

Gráfico 1. Variabilidad intra-anual en Q. Olivares-Minitas, estación de aforo Olivares 1996-2012 .....	109
Gráfico 2. Variabilidad intra-anual en Q. Olivares-Minitas, modelación hidrológica 1981-2010 .....	109
Gráfico 3. Frecuencia de medición de parámetros de calidad del agua en los diferentes monitoreos realizados.....	117
Gráfico 4. Concentraciones históricas medias de DBO <sub>5</sub> y dispersión de los datos.....	118
Gráfico 5. Concentraciones históricas medias de SST y dispersión de los datos .....	119
Gráfico 6. Concentraciones históricas medias de OD y dispersión de los datos.....	119
Gráfico 7. Diferencias en DBO <sub>5</sub> entre monitoreos de los años 1987 y 2012.....	120
Gráfico 8. Diferencias en SST entre monitoreos de los años 1987 y 2012 .....	120
Gráfico 9. Diferencias en OD entre monitoreos de los años 1987 y 2012.....	121
Gráfico 10. Variación de concentraciones de DBO <sub>5</sub> según época climática.....	122
Gráfico 11. Variación de concentraciones de SST según época climática .....	122
Gráfico 12. Variación de concentraciones de OD según época climática .....	123
Gráfico 13. Intervención de orillas de la Q. Olivares-Minitas, cuenca alta y media.....	132
Gráfico 14. Número de obras en Q. Olivares-Minitas y objeto de construcción .....	132
Gráfico 15. Curva hipsométrica de la Q. Olivares-Minitas.....	139
Gráfico 16. Curva de distribuciones de alturas confluencia Q. Olivares-Minitas y río Guacaica .....	166
Gráfico 17. Crecimiento poblacional en Manizales 1851-2020.....	190
Gráfico 18. Diagrama multitemporal de usos del suelo, ladera sur cuenca media de la Q. Olivares-Minitas.....	205

## **Lista de abreviaturas**

- AAC: Autoridad Ambiental Competente
- ACA: Agencia Catalana del Agua, España
- ACCEFYN: Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia
- ANNA: Assesment by Nearest Neighbor Analysis.
- ASPT: Average Score per Taxon
- ASTPT: Promedio de Puntuación por Taxón
- AusRivASn: Australian Rivers Assesment System
- BEAST: Benthic Assesment Sediment
- BMPW: Biological Monitoring Working Party Score System
- CAR: Corporación Autónoma Regional
- CC: Carga Contaminante
- CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
- CF: Coliformes Fecales
- CIREF: Centro Ibérico de Restauración Fluvial, España y Portugal
- CIRF: Centro Italiano per la Riqualficazione Fluviale, Italia
- CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social, Colombia
- CORPOCALDAS: Corporación Autónoma Regional de Caldas, Colombia
- CRAMSA: Corporación Regional Autónoma para la defensa de Manizales, Salamina y Aranzazu, Colombia
- CT: Coliformes Totales
- CVC: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Colombia
- DAMA: Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, Bogotá D.C. - Colombia
- DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia
- DAP: Diámetro a la altura del pecho
- DBO<sub>5</sub>: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
- DCVR: Centre for River Restoration, Dinamarca
- DEM/MED: Modelo de Elevación Digital del Terreno
- DINIUS: Dinius Quality Indexes
- DQO: Demanda Química de Oxígeno
- EBI: Extended Biotic Index
- ECRR: European Centre for River Restoration



- ELOHA: Límites Ecológicos de la Alteración Hidrológica
- EMAS S.A. E.S.P: Empresa de Metropolitana de Aseo S.A. E.S.P., Manizales
- ENSO: El Niño Southern Oscillation
- EPT: Índice de Riqueza Total (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera)
- FFGs: Functional Feeding Groups
- FISRWG: Federal Interagency Stream Restoration Working Group, Estados Unidos
- FODA: Matriz de fortalezas, oportunidades, desafíos y amenazas
- FSCI: Florida Stream Condition Index
- GIAS-UTP: Grupo de Investigación en Aguas y Saneamiento Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- GIBSE: Gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos
- GIRH: Gestión integral del recurso hídrico
- GPS: Global Positioning System
- HBI: Hilsenhoff's Biotic Index
- IA: Índice de Aridez
- IAHRIS: Índices de Alteración Hidrológica en Ríos
- IAvH: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Colombia
- IBI: Index of Biotic Integrity
- ICA: Índice de Calidad del Agua
- ICA-CETESB: Índice de Calidad del Agua Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Brasil
- ICF: Índice de Conectividad Fluvial
- ICO: Índice de Contaminación del Agua
- ICOMI: Índice de Contaminación por Mineralización
- ICOMO: Índice de Contaminación por Materia Orgánica
- ICOSUS: Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos
- ICOTRO: Índice de Contaminación por Eutrofización
- IDEA U.N.: Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales
- IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia
- IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia
- IHA: Índices de Alteración Hidrológica de Richter
- IHG: Índice Hidrogeomorfológico
- ILPES: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social
- INDERENA: Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente, Colombia
- Índice NSF: National Sanitation Foundation Index, Estados Unidos
- Índice UWQI: Water Quality Index, Europa
- INDIC-SEDUE: Índice INDIC-SEDUE, México
- INFIMANIZALES: Instituto de Financiamiento y Promoción de Manizales, Colombia
- INGESAM LTDA: Ingeniería de Saneamiento Ambiental Ltda., Colombia

- IRD: Institut de recherche pour le développement, Francia
- IRH: Índice de Retención y Regulación Hídrica
- ITC: Index of Trophic Completeness
- IVF: Índice de Vegetación Fluvial
- IVI: Índice de Valor de Importancia
- MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia
- MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia
- MMA: Ministerio del Medio Ambiente, Colombia
- NH4: Amonio
- OD: Oxígeno Disuelto
- ONG: Organización No Gubernamental
- PADEM: Plan integral para la Prevención de Desastres en Manizales
- PASINAP: Plan de Acción del Sistema Nacional de Áreas Protegidas
- PAT: Plan de Acción Trienal
- PGAR: Plan de Gestión Ambiental Regional
- PIDUM: Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales
- PMAM: Plan de Manejo Ambiental de Microcuencas
- PMAMyA: Plan de Manejo Ambiental de Microcuenca y Acuíferos
- PNDF: Plan Nacional de Desarrollo Forestal
- PNGIBSE: Política para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos
- PNGIRH: Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico
- PNlyMAPC: Plan Nacional de Investigación y Monitoreo de Áreas Protegidas de Colombia
- POMCA: Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
- PORH: Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico
- POT: Plan de Ordenamiento Territorial
- PRAB: Planes Regionales de Acción en Biodiversidad
- PROCUENCA: Proyecto Forestal para la Cuenca del río Chinchiná
- PSMV: Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
- PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- Q.: Quebrada
- QBR: Índice de Calidad del Bosque de Ribera
- RFV: Evaluación Forestal Riparia
- RIVPACS: River Invertebrate Prediction and Clasification System
- RNA: Redes Neuronales Artificiales
- RQI: Índice de Calidad Riparia
- RRC: River Restoracion Centre, Reino Unido
- RUSLE: Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada
- SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno
- SAM: Manejo Adaptativo Estratégico
- SCS: Soil Conservation Service, Estados Unidos

- SECAB: Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello, Colombia
- SIG: Sistemas de Información Geográfica
- SINA: Sistema Nacional Ambiental, Colombia
- SISBÉN: Sistema de Identificación de Potenciales Usuarios de Programas Sociales, Colombia
- SST: Sólidos Suspendidos Totales
- ST: Sólidos Totales
- STAR: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
- SUMHA: Manejo Sostenible de las Alteraciones Hidrológicas
- TBI: Trent Biotic Index
- UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
- UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura/ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- USDA-ARS: U.S. Department of Agriculture - Agricultural Research Service, Estados Unidos
- UTP: Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- VIF: Valor de Importancia de Familias
- WWAP: Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos/ World Water Assessment Programme



# 1. Introducción

Los recursos hídricos mundiales han sido impactados de manera negativa tanto en calidad como en cantidad (disponibilidad), si bien el cambio climático ha venido incidiendo de gran manera en esta situación, han sido los diferentes procesos antrópicos los que más presión han ejercido; la degradación de lagos, ríos, pantanos y aguas subterráneas es más rápida que la de otros ecosistemas (Cosgrove y Cosgrove, 2012). Con un 1,6% del agua superficial y atmosférica, lo cual a su vez es escasamente un 0,4% de los recursos de agua dulce existentes a nivel global (UNESCO-WWAP, 2006), los ríos están entre los sistemas ambientales más deteriorados.

Por lo anterior, han tenido que emerger diversos acuerdos internacionales para el adecuado manejo y preservación de los recursos hídricos, desde la conferencia de Mar del Plata de 1977, la cual marcó el comienzo de una serie de actividades globales en torno al agua (UNESCO-WWAP, 2003), hasta el “Foro sobre los Futuros hidrológicos mundiales en el 2050” coordinado por la UNESCO, el cual fue desarrollado en el año 2012 como uno de los insumos para la Conferencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible Río+20, a desarrollarse en el mismo año en Río de Janeiro, Brasil (UNESCO, 2014).

De manera complementaria, en la década de los 90’s surgió la restauración de ríos como un nuevo enfoque, fundamentado en los avances obtenidos en Reino Unido con the River Restoracion Centre-RRC, en Dinamarca con el Centre for River Restoration-DCVR, a nivel de Europa con el European Centre for River Restoration-ECRR, en Italia con el Centro Italiano per la Riqualficazione Fluviale-CIRF y en Estados Unidos con el Federal Interagency Stream Restoration Working Group-FISRWG. Posteriormente, se emitió la Directiva Europea Marco del Agua en el año 2000, apuntalando la creación en España y Portugal del Centro Ibérico de Restauración Fluvial-CIREF y de las estrategias de restauración de ríos en diferentes países de esa región.

Si bien existen diversas definiciones de la restauración de ríos, Franco (2011a) plantea que es quizás la dada por CIRF en el año 2006, la que abarca mayor integralidad, definiéndola como un “Conjunto integrado y sinérgico de acciones y técnicas, aún de tipo diverso (del jurídico-administrativo-financiero, al estructural), que llevan un curso de agua, con su territorio más

estrechamente conexo (sistema fluvial), a un estado lo más natural posible, tal que siendo capaz de desplegar sus características y funciones ecosistémicas (geomorfológicas, físico-química y biológicas) y dotado de mayor valor ambiental, busque satisfacer al mismo tiempo incluso objetivos socio-económicos”.

En coherencia con lo antes mencionado, se considera de suma importancia tener un referente para la restauración de una corriente superficial, siendo la valoración ambiental del río o quebrada el punto de partida para priorizar las diferentes acciones de manejo. De acuerdo con González y García (2007) partiendo del análisis del estado actual de la corriente y comparándolo con el que debería tener sino hubiera sido alterado, se pueden observar las diferencias que reflejan el grado de conservación o deterioro del mismo; así, realizar un diagnóstico de la problemática que presenta un río permitirá priorizar las actuaciones para la mejora ambiental de éste, decidiendo en cada caso hasta donde es posible actuar sobre las causas.

En Colombia, la restauración de ríos es algo novedoso y apenas se ha vislumbrado en los círculos académicos y técnico-científicos, desde la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales con el Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental y la Tesis de Doctorado titulada “Urban river restoration in Colombia, viewed as whole in order to reduce hydraulic risk and pollution”, desde la Escuela de Ingeniería de Antioquia con el Grupo de Investigación Espiral y desde la Universidad de Los Andes y el Instituto Alexander von Humboldt, con el concepto de río protegido para la conservación de los sistemas fluviales en el país. En el mismo sentido, la valoración o diagnóstico ambiental de una corriente hídrica con miras a su restauración, también es una aplicación nueva a la cual se pretende contribuir con el actual documento.

A continuación, con el fin de presentar una “Propuesta metodológica para la valoración ambiental de corrientes hídricas desde la perspectiva de la restauración fluvial”, teniendo como caso de estudio la Quebrada Olivares-Minitas del municipio de Manizales, se exponen los objetivos general y específicos, la metodología empleada, la justificación y antecedentes del trabajo.

El Capítulo I que da cuenta de los criterios metodológicos definidos se aborda a partir de los aspectos político-institucionales relacionados con los ríos colombianos y las condiciones hidrológicas, geomorfológicas, ecosistémicas y socio-culturales del curso hídrico y su cuenca

vertiente que se deben evaluar, presentándose la siguiente estructura para cada uno de los criterios asociados: qué es el criterio, principales aspectos, forma de evaluarlo, avances en Colombia y propuesta resumida para realizar la valoración en corrientes de la zona andina colombiana

En el Capítulo II en donde se realiza la valoración ambiental de la Q. Olivares-Minitas, se emplean los anteriores criterios metodológicos definidos haciendo uso de la información secundaria disponible.

En el Capítulo III se plantean los estudios para completar la valoración ambiental de la Q. Olivares-Minitas, las acciones básicas propuestas para su restauración fluvial y las conclusiones y recomendaciones específicas.

## **1.1 Objetivo General**

Diseñar una propuesta metodológica para la valoración ambiental de corrientes hídricas desde la perspectiva de la restauración fluvial, caso de estudio Q. Olivares-Minitas en el municipio de Manizales (Caldas).

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Definir criterios de valoración ambiental para una corriente hídrica desde la perspectiva de la recuperación fluvial.
- Realizar la valoración ambiental de la Q. Olivares-Minitas con base en la información disponible y de acuerdo con los criterios metodológicos previamente definidos.
- Plantear los estudios que a futuro se requieran efectuar y sus orientaciones, a fin de completar los vacíos que tenga la información existente.
- Proponer acciones básicas a corto, mediano y largo plazo tendientes a la recuperación de la quebrada.



## **1.3 Metodología**

Los referentes teórico-metodológicos para la elaboración del actual documento fueron: la valoración ambiental de los ríos para su restauración (González y García, 2007); el análisis de las condiciones de un corredor hídrico (FISRWG, 2001); el entendimiento de la estructura y funciones de los ecosistemas fluviales y los procesos físicos, químicos y biológicos que les dan forma, así como de los procesos sociales, legales, institucionales y políticos que permiten inducir a la ocupación y alteración de los cursos de agua (Dourojeanni y Jouravlev, 1999) y finalmente; el enfoque interdisciplinario que busca conocer “la problemática ambiental” a una escala territorial determinada, en este caso la cuenca hidrográfica y la corriente hídrica (Díaz, 2007; Cubillos, 2010; Cubillos, 2014a).

Con el fin de delimitar el alcance de la presente Tesis de Maestría, se optó por enfocar la propuesta metodológica de valoración ambiental de corrientes, para aquellas de la zona andina colombiana, es decir, de similares características a las del caso de estudio de la Q. Olivares-Minitas.

En este orden de ideas, para el logro del *Primer Objetivo Específico* se realizó una búsqueda lo más exhaustiva posible de información de autores recomendados en los referente teórico-metodológicos, que permitiera definir los criterios de valoración ambiental para una corriente hídrica desde la perspectiva de la recuperación fluvial. Así, partiendo de la identificación de las condiciones a revisar: hidrológicas, geomorfológicas, ecosistémicas y socio-culturales de la corriente y su cuenca vertiente, se establecieron los diferentes criterios a evaluar y se comenzó a redactar la justificación de su establecimiento considerando la siguiente estructura:

- ¿Qué es el criterio?
- Principales aspectos del criterio
- Forma de evaluarlo, metodologías y técnicas.
- Avances al respecto en Colombia
- Recuadro en donde se presenta la propuesta resumida para evaluación del criterio en corrientes hídricas de la zona andina colombiana.

Para el cumplimiento del *Segundo Objetivo Específico* se realizó una búsqueda de la información secundaria disponible sobre la Q. Olivares-Minitas en las bibliotecas físicas y/o digitales de:

- La Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales y su Instituto de Estudios Ambientales-IDEA,
- La Universidad de Caldas,
- La Corporación Autónoma Regional de Caldas-CORPOCALDAS,
- Bibliotecas privadas de documentos históricos de Manizales,
- Vistas satelitales disponibles en internet (Google Maps, Yahoo Maps, youtube e IGAC),
- Servicio Geológico Colombiano,
- Aguas de Manizales S.A. E.S.P.,
- EMAS S.A. E.S.P.,
- Alcaldía de Manizales,
- Contraloría de Manizales,
- Informes Técnicos de Consultorías,
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE,
- INFIMANIZALES,
- Empresa de Renovación Urbana de Manizales,
- La Patria,
- Información no publicada aún del POMCA del río Chinchiná, PORH del río Guacaica e Informe “Línea base usuarios generadores de vertimientos puntuales a corrientes superficiales” del programa Tasa Retributiva de CORPOCALDAS, con el debido permiso de la Corporación y las Universidades encargadas del apoyo técnico.

Asimismo, se emplearon registros fotográficos de las salidas de observación en campo realizadas el 24 de abril de 2012 y 2 de julio de 2012 y los apuntes de la participación en el Taller “Parque Olivares”, desarrollado el 11 de septiembre de 2012 por la Secretaría de Planeación de Manizales en el marco del Macroproyecto San José.

La información obtenida para la valoración ambiental de la Q. Olivares-Minitas se analizó y utilizó a la luz de los criterios metodológicos previamente definidos con el logro del Primer Objetivo Específico.

Finalmente, para alcanzar el *Tercer y Cuarto Objetivo Específico* se establecieron matrices de estudios propuestos para completar la valoración ambiental de la Q. Olivares-Minitas y de acciones básicas a ejecutar en el corto, mediano y largo plazo para la recuperación fluvial de la quebrada.

## **1.4 Justificación**

La valoración ambiental de una corriente hídrica es el referente para su restauración fluvial, por tal motivo y con el objeto de continuar con la aplicación del enfoque conceptual de restauración de ríos al caso Colombiano<sup>1</sup>, en el actual documento se presenta una propuesta metodológica encaminada a realizar dicha valoración en corrientes hídricas de la zona andina del país, empleando como caso de estudio la Q. Olivares-Minitas del municipio de Manizales.

La restauración de ríos es una posibilidad real para solucionar la enorme problemática existente en Colombia, pues se busca disminuir el riesgo hidráulico, aumentar la calidad del agua y de paso, mejorar las características paisajísticas y recreativas relacionadas (Franco, 2011b).

Teniendo en cuenta que los ríos deben tener adecuadas condiciones naturales reflejadas en lo que se denomina el “buen estado ecológico” o “integridad ecológica”, para que así puedan ejercer las funciones ecosistémicas y servicios ambientales que le son inherentes (Franco 2011b; Andrade, 2011), considerando la degradación ambiental que tienen actualmente y la consecuente necesidad de su restauración, se requiere según González y García (2007) valorar ambientalmente los sistemas fluviales con el fin de analizar el grado de conservación o deterioro al que se encuentran sometidos, así abordar y priorizar las iniciativas de recuperación.

Aunque la propuesta de valoración ambiental parte de los avances ya obtenidos en países como España (González y García, 2007) y Estados Unidos (FISRWG, 2001), se intenta dar una coherencia con lo recomendado por Dourojeanni y Jouravlev (1999) en lo referente a la gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos de Latinoamérica y El Caribe, con los aportes conceptuales de Díaz (2007), Cubillos (2010), Cubillos (2014a) y Cubillos (2014b) respecto al concepto de problemática ambiental, sus causalidades, síntomas y aplicación en el tramo urbano de la cuenca del río Consota en Pereira y finalmente, con las directrices político-normativas colombianas en cuanto a gestión del recurso hídrico continental, enmarcadas principalmente en la Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico, la Política de Gestión

---

<sup>1</sup> La primera aproximación conceptual y aplicación en el país se dio con Franco (2011a).

## Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos y el Plan Nacional de Investigación y Monitoreo de Áreas Protegidas de Colombia.

En este orden de ideas, la propuesta metodológica de valoración ambiental de corrientes hídricas desde la perspectiva de la restauración fluvial, intenta darle aplicación a los avances logrados en materia de restauración de ríos en los países desarrollados, pero también busca complementar los avances obtenidos en Colombia respecto a cuencas hidrográficas, concepto de río protegido, ecosistemas acuáticos continentales y problemática ambiental urbana. Este complemento se da principalmente en lo relacionado con aspectos hidrológicos de regímenes de caudales naturales y de conectividad, con aspectos geomorfológicos como el balance de sedimentos cuenca-cauce y la clasificación geomorfológica, con aspectos ecosistémicos como la dimensión espacial del corredor de vegetación riparia y con aspectos socio-culturales como los procesos de desarrollo y ordenamiento territorial, el poblamiento y los agentes sociales de la cuenca, los cuales contribuyen a las causalidades de la problemática ambiental evidenciada en las corrientes hídricas colombianas.

# **CAPÍTULO I. Criterios metodológicos para valoración ambiental de corrientes hídricas de la zona andina colombiana**

En este Capítulo se realizará un análisis general de los instrumentos de política relacionados con el recurso hídrico continental en Colombia, con el fin de dilucidar los vacíos y posibilidades existentes respecto a la incorporación del enfoque de restauración de ríos

Seguidamente se expondrán los criterios para la valoración ambiental de corrientes hídricas de la zona andina colombiana, agrupados en las condiciones hidrológicas, geomorfológicas, ecosistémicas y socio-culturales, seleccionados a partir de revisión teórico-metodológica. Los tres primeros criterios permitirán conocer los síntomas de la problemática ambiental o “problemas ambientales puntuales” de la corriente hídrica objeto de estudio; el cuarto criterio posibilitará el conocimiento de las causas estructurales de la problemática ambiental presente en la corriente hídrica, es decir, los aspectos políticos, sociales, económicos y culturales que han llevado al sistema fluvial a su estado actual.

## **2.1 Aspectos político-institucionales**

La consolidación de la “institucionalidad ambiental” en Colombia ha sido un proceso clave en la gestión de los recursos hídricos: desde los instrumentos de política cuando con el Decreto 1381 de 1940 se dieron los primeros lineamientos para el manejo del agua, hasta la actual “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico–PNGIRH, 2010”, en donde se establecen metas como las de generar el Plan Hídrico Nacional en un horizonte de 12 años y la política CONPES para integrar los sectores productivos; asimismo desde las instituciones, cuando se estableció la División de Recursos Naturales dentro del Ministerio de Agricultura en 1952 y posteriormente el Instituto Nacional de Recursos Naturales-INDERENA como Agencia del mismo Ministerio en el año 1968 (MAVDT, 2010a; Carrizosa, 2008; Mance, 2008), para ejercer entre otras funciones las relacionadas con el manejo de los cuerpos de agua, hasta el

actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS con una Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico incorporada dentro de su estructura organizacional (MADS, 2013a). Se observa en este sentido, que el manejo de los recursos hídricos en el país ha venido adquiriendo una importancia cada vez más creciente y al parecer, un dimensionamiento más integral, posibilitando la incorporación de nuevas ideas y conceptos.

Actualmente para lograr una gestión integral del recurso hídrico continental en Colombia el MADS ha dispuesto de diferentes instrumentos, a saber: Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA, Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas y/o Acuíferos-PMAMyA, Planes para el Ordenamiento del Recurso Hídrico-PORH, Reglamentación de Usos del Agua y Vertimientos, Delimitación y Reglamentación de Rondas Hídricas y Comisiones Conjuntas MAVDT (2011b). La restauración de ríos como nuevo enfoque, puede posibilitar la adecuada implementación de estos instrumentos en los distintos niveles territoriales, proporcionando un soporte conceptual y metodológico que permita una mejor comprensión de los sistemas fluviales y los diferentes aspectos relacionados, los cuales no son solamente hidrológicos y socio-culturales sino también geomorfológicos y ecosistémicos, complementando así la visión dada desde los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y de ordenamiento de calidad y cantidad del recurso hídrico. La Tabla 1 expone más detalles de cada instrumento.

En general, la compatibilidad de la restauración de ríos con la PNGIRH se visualiza en que la primera también propende por: “1) asegurar y regular naturalmente la oferta del recurso, 2) optimizar la demanda considerando no solo los usos antrópicos, 3) minimizar la contaminación apoyándose también en los procesos naturales y 4) prevenir los riesgos asociados a la oferta del recurso, e incluso más allá, entendiendo el riesgo como amenaza-vulnerabilidad de la población”<sup>2</sup> (Franco, 2011b).

---

<sup>2</sup> Franco (2011b) resalta en *cursiva* las disposiciones de la PNGIRH en Colombia y en subrayado los complementos y argumentos de su autoría para incorporar los conceptos de restauración de ríos.

**Tabla 1.** Instrumentos para la GIRH en Colombia

<i>Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA</i>	
<p>El Decreto 1640 de 2012 definió la estructura jerárquica para la aplicación de los instrumentos de planificación para el ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas del país, siendo desde el nivel superior al inferior como sigue:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planes Estratégicos para las Áreas Hidrográficas o Macrocuencas.</li> <li>2. Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico en 42 Zonas Hidrográficas del país.</li> <li>3. Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA, en 329 Subzonas Hidrográficas o su nivel subsiguiente.</li> <li>4. Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas-PMAM, en las cuencas de nivel inferior al del nivel subsiguiente de la Subzona Hidrográfica.</li> <li>5. Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos.</li> </ol>	
<i>Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico-PORH</i>	<i>Reglamentación de Usos del Agua y Vertimientos</i>
<p>Orientado a garantizar las condiciones de equilibrio entre los usuarios y la demanda de los cuerpos de agua, no solo como fuente abastecedora, sino como fuente receptora de sus descargas líquidas. El principal aporte es la fijación de objetivos de calidad del recurso hídrico de acuerdo con un uso deseado y establecido. Mediante el Decreto 3930 de 2010 se establecen unos criterios mínimos para la priorización de las corrientes en donde se va a aplicar.</p>	<p>Busca una mayor eficiencia y efectividad en los procesos de asignación de caudales para el uso del recurso o el permiso de verter aguas residuales en el medio natural, considerando todos los usos, todas las necesidades y todos los actores; en el marco del concepto de GIRH se deberá preferir la “Reglamentación” por encima de la concesión o el permiso de vertimiento usuario por usuario.</p>
<i>Delimitación y Reglamentación de las Rondas Hídricas</i>	<i>Comisiones Conjuntas</i>
<p>Se reglamentan como tal en la Ley 1450 de 2011. Las falencias jurídicas han hecho que se carezca de una adecuada definición técnica, que hace que las rondas hídricas continúen siendo utilizadas en usos no coherentes con la categoría de manejo de protección, preservación o restauración; por ello se propone como fundamento conceptual la funcionalidad del sistema fluvial, pues a través de la ronda el sistema puede cumplir con sus funciones hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas.</p>	<p>Integradas por dos o más CAR's que comparten una cuenca hidrográfica o un ecosistema, tienen por objeto concertar, armonizar y definir políticas para el manejo ambiental correspondiente.</p>

*Fuente:* MADS (s.f.); MAVDT (2010b); MAVDT (2011b) y MADS y U.N. Colombia Sede Medellín (2012)



De los instrumentos para la gestión integral del recurso hídrico se puede decir que la Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas es la de mayor relevancia, pues se constituye en un determinante para las disposiciones generales de los demás ordenamientos administrativos ambientales, los Planes de Ordenamiento Territorial-POT, la planificación sectorial y los Planes de Gestión Ambiental Regional-PGAR y Planes de Acción de las Autoridades Ambientales (MAVDT, 2011b) y considerando los tres procesos transversales a las fases y actividades de los POMCA, es decir, la gestión del riesgo, la implementación de estrategias de participación y la gestión de información, es necesario destacar que la restauración de ríos puede articularse con estos dado que:

- En cuanto a *gestión del riesgo*, uno de los objetivos de la restauración de ríos es la disminución del riesgo hidráulico, evitando y disminuyendo la vulnerabilidad de personas y bienes, procurando restablecer el equilibrio geomorfológico, limitando las clásicas intervenciones de protección-regularización y permitiendo convivir con el riesgo (Franco, 2011a).
- A su vez incorpora la *participación social*, incluso desde la valoración ambiental, pues busca conseguir información de la historia del río a través de los ribereños o conocedores del lugar, con el fin de complementar los análisis realizados sobre la información secundaria y de campo obtenida, así como otorgarle la importancia debida a la participación pública en el proceso de diagnóstico de los cursos hídricos; según CIREF (2010) la participación pública activa es de relevancia, puesto que desde siempre los sistemas fluviales han sido ejes de comunicación entre núcleos habitados, fuente de recursos y motivo de conflictos por su ocupación y uso, por lo que si se pretende restaurar o rehabilitar un tramo fluvial ha de lograrse que quien vive o disfruta del territorio vertebrado por el río, sienta como suyo el proyecto y participe.
- También dimensiona la importancia de la *gestión de la información*, en el sentido que parte de la recopilación de datos para el proceso de valoración ambiental y recomienda criterios metodológicos a tener en cuenta dentro de este proceso, pues debe haber un soporte científico para establecer la condición de referencia del río (González y García, 2007); además buscar incorporar dentro de la participación pública activa los sectores académico-investigativo, privado y público relacionados con el sistema fluvial (CIREF, 2010), los cuales podrían proporcionar información existente sobre el río y enlazar plataformas de difusión y administración de la información.

Sin embargo, considerando el enfoque de la restauración de ríos, sería importante articular a la PNGIRH otros instrumentos que permitan no solo mayor integralidad en el entendimiento y manejo de los sistemas fluviales, sino también una mayor coherencia y complementariedad entre los diferentes ordenamientos administrativos ambientales aplicables en el país con el fin de lograr una adecuada conservación y gestión de los ríos, estos son:

- La Política para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos-PNGIBSE, a la cual el MAVDT (2010c) la configura como una política sombrilla ambiental para las demás políticas ambientales colombianas y como política base intersectorial. Adicionalmente, MADS (2012a) plantea que la estructuración ecológica del territorio deberá ser orientada por los Planes Regionales de Acción en Biodiversidad-PRAB, los cuales a su vez deberán ser la base para los instrumentos de planificación de las Autoridades Ambientales y para los POMCA especialmente en lo relacionado con la protección del ciclo de regulación hídrica, así, finalmente constituir los determinantes ambientales del ordenamiento territorial a nivel municipal.
- El Plan Nacional de Restauración: Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas (MADS, 2012b) y las guías metodológicas de soporte existentes:
  - Guía Metodológica de Restauración de Ecosistemas a partir del Manejo de la Vegetación (MAVDT, 2003).
  - Guías Técnicas para la Restauración Ecológica de Ecosistemas (MAVDT y ACCEFYN, 2010).
- El Plan Nacional de Investigación y Monitoreo de Áreas Protegidas de Colombia-PNIyMAPC desarrollado en el marco del Plan de Acción del Sistema Nacional de Áreas Protegidas-PASINAP de Colombia 2010-2020, el cual define como una de sus cinco prioridades temáticas la “representatividad de los sistemas acuáticos continentales” debido a que con los actuales instrumentos político-legislativos colombianos (entre ellos la PNGIRH), no se han podido controlar y revertir los procesos de deterioro a los que estos sistemas se ven sometidos, evidenciándose desde el Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SINAP la necesidad de incorporarlos en las prioridades nacionales y objetivos de conservación (Guerra, et. al, 2013). Para lo anterior, el PNIyMAPC propone diferentes elementos de discusión, requerimientos de investigación y monitoreo y aportes conceptuales y metodológicos, los dos últimos de acuerdo con dos casos de

estudio: inclusión de ecosistemas acuáticos como objetos de conservación en áreas protegidas de la Amazonia (Trujillo et. al, 2013) y priorización de áreas de conservación y manejo de ecosistemas de agua dulce en la cuenca del río Magdalena – Cauca (Téllez et. al, 2013). La Tabla 2 detalla más sobre el tema.

- Otras Políticas/Planes existentes en Colombia para diferentes temáticas, tales como: Fauna Silvestre, Bosques, Ordenación Forestal, Humedales Interiores, Especies Migratorias, Control de Incendios Forestales, Especies Amenazadas, Control del Tráfico Ilegal de Especies, Ecosistemas de Alta Montaña y Lucha contra la Desertificación y Sequía (MADS, 2012a).

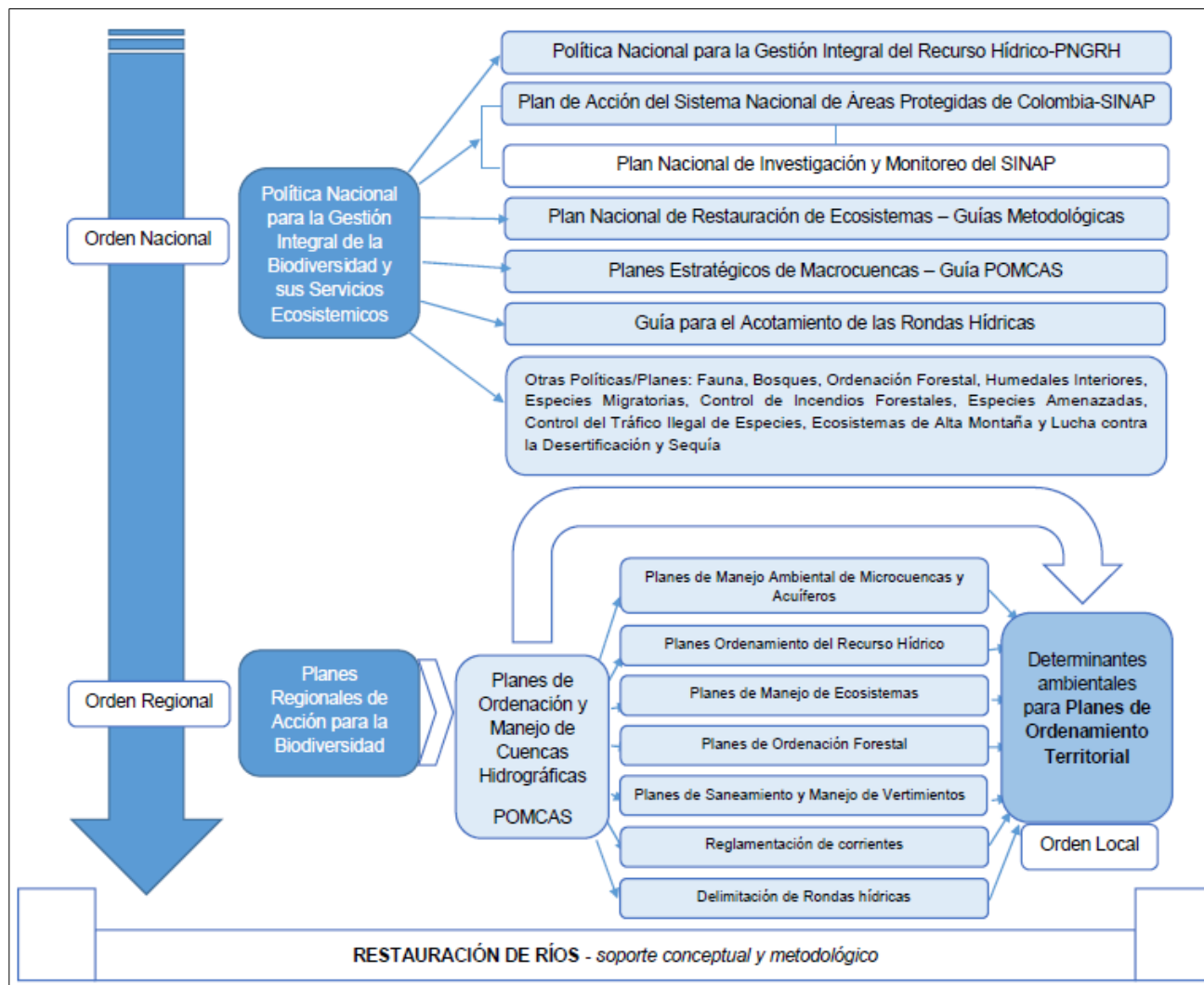
La Figura 1 expone en el marco del enfoque de restauración de ríos, la articulación de políticas, planes y guías metodológicas en Colombia para la gestión integral del recurso hídrico-GIRH y de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos-GIBSE.

**Tabla 2.** Representatividad de ecosistemas acuáticos continentales en el PNiyMAPC

<i>Elementos de discusión</i>	<i>Requerimientos de investigación y monitoreo</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los planes nacionales y regionales que identifican áreas críticas para la conservación deben incluir componentes representativos de la biodiversidad de agua dulce.</li> <li>• Los modelos para la identificación y clasificación de los sistemas ecológicos acuáticos continentales que existen en el país deben integrar variables abióticas (régimen hidrológico y aspectos geomorfológicos), bióticas, socio-culturales y los posibles impactos por minería y megaproyectos de infraestructura.</li> <li>• Teniendo en cuenta que proponer nuevas categorías es jurídica y normativamente más complejo, es necesario potenciar el tema de conservación y uso de los sistemas acuáticos desde las categorías existentes (Decreto 2372 de 2010).</li> <li>• Se deben promover las figuras de sitio Ramsar y Reserva de Biósfera en el sistema de categorías, pues cuentan con el reconocimiento internacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atributo de conectividad</li> <li>• Composición y estructura biótica</li> <li>• Régimen hidrológico (estacionalidad)</li> <li>• Hábitats físicos (heterogeneidad)</li> <li>• Oferta de energía</li> <li>• Calidad del agua</li> <li>• Uso de los recursos</li> <li>• Umbrales de resiliencia ecosistémica</li> <li>• Visión de integridad ecológica</li> <li>• Cuenca hidrográfica como unidad de análisis</li> <li>• Estrategias y figuras de manejo de ecosistemas, más que de una sola especie</li> <li>• Línea base de procesos en marcha en cada una de las grandes cuencas y acceso a la información</li> <li>• Análisis de categorías y figuras de conservación existentes</li> <li>• Metodologías estandarizadas para su identificación</li> </ul>

*Fuente:* Guerra et. al (2013)

**Figura 1.**Articulación en el marco de la restauración de ríos entre los instrumentos para la GIRH y la GIBSE



Fuente: MAVDT, 2003; MAVDT y ACCEFYN (2010); MAVDT (2011b); MADS (2012a) y Guerra et. al (2013)

## **2.2 Condiciones hidrológicas de la corriente hídrica**

Valorar las condiciones hidrológicas de una corriente hídrica debe ser la primera tarea e incluso se puede decir que es la más importante dentro de la diagnosis de problemas y potencialidades de un río, puesto que solo garantizando la oferta necesaria de agua, la buena calidad de la misma y la conectividad fluvial desde el nacimiento hasta la desembocadura, entre el cauce y las llanuras de inundación y entre el lecho y el nivel freático, el sistema podrá seguir prestando los servicios ecológicos y socio-económicos que se le atribuyen y demandan.

Teniendo en cuenta lo anterior, se deben revisar los siguientes aspectos:

- Régimen natural de caudales, el cual basado en un periodo representativo de años permitirá conocer la oferta de agua en términos de variabilidad temporal y espacial.
- Calidad del agua, fuentes de contaminación puntual y difusa y formas de evaluarla.
- Conectividad hidrológica en su dimensión longitudinal, transversal y vertical.

### **2.2.1 Régimen natural de caudales**

El régimen natural de caudales es el principal condicionante de la integridad ambiental de un río, que de alterarse perturbaría ecosistemas aledaños, modificaría procesos vitales de la biodiversidad acuática y ribereña y facilitaría la proliferación de especies invasoras. Cada sistema fluvial y cada tramo de río posee un régimen de caudales propio del cual la comunidad científica ofrece una opinión generalizada sobre los aspectos de éste que poseen mayor significación y por ende deben ser tenidos en cuenta a la hora de proyectar cualquier evaluación, estos son magnitud, frecuencia, estacionalidad, duración y tasas de cambio de los caudales (González y García, 2007; Franssen et. al, 2007; Martínez y Fernández Yuste, 2008; Yongxuan et. al, 2009; Mazouz et. al, 2013; Rolls y Arthington, 2014).

La magnitud determina la disponibilidad general de agua en el ecosistema; la frecuencia es aquella con la que un evento se produce en un intervalo de tiempo dado, indicativa de la variabilidad del régimen de caudales y condicionante de la dinámica geomorfológica y ecológica y por ende de sus diversidades; la estacionalidad es la regularidad con que un evento acontece en una época determinada del año, siendo un aspecto estrechamente vinculado y en sincronía con los ciclos de vida de las especies; la duración está asociada al intervalo de tiempo

en que se producen unas determinadas condiciones de flujo, en situaciones extremas de avenidas y sequías, estando íntimamente ligada a los umbrales de resiliencia de las diferentes especies y finalmente, las tasas de cambio hacen referencia a la rapidez con la que se producen los cambios de unas magnitudes a otras, afectando la capacidad de respuesta de la biota (Lytle y Poff, 2004; Martínez y Fernández Yuste, 2008).

Magdaleno (2012) dice que para obtener el régimen natural de caudales de un río existen aplicaciones informáticas libres que permiten realizar este análisis de una manera sencilla y estructurada:

- Los IHA-Índices de Alteración Hidrológica de Richter, son uno de los índices más empleados y recomendados (González y García, 2007; Martínez y Fernández Yuste, 2008; Yongxuan et. al, 2009) porque contemplan los cinco componentes del régimen de caudales (Crisci et. al, 2012) y ya han sido aplicados en Colombia tal como se mencionará más adelante.
- Los ELOHA-Límites Ecológicos de la Alteración Hidrológica, que surgieron a mediados del año 2000 al comenzarse a trabajar sobre las respuestas ecológicas a diferentes tipos de alteración hidrológica y las adaptaciones biológicas a la variabilidad histórica de los caudales, razón por la cual la comunidad global en torno al tema de caudales ambientales la ha venido adoptando en los últimos años (Poff y Mathews, 2013). Igualmente se ha desarrollado otra metodología en el marco de ELOHA para el Manejo Sostenible de las Alteraciones Hidrológicas, SUMHA por sus siglas en inglés, que introduce las ciencias sociales como parte esencial de la evaluación, incluyendo el análisis de los sistemas de gobierno y gestión pues estos interactúan con el diseño e implementación de las políticas (Pahl-Wostl et. al, 2013) y por tanto, con el establecimiento de los regímenes hidrológicos y caudales ambientales.
- Los IAHRIS- Índices de Alteración Hidrológica en Ríos son una adaptación de los IHA de Richter a las condiciones de España, en donde se reduce la cantidad de parámetros analizados, se proveen indicadores diferenciados para año húmedo, medio y seco y se otorga información de aportaciones anuales, mensuales y de eventos extremos (Martínez y Fernández Yuste, 2008).

En Colombia se emplean dos indicadores que sintetizan las características del régimen hidrológico en las cuencas hidrográficas, el Índice de Aridez-IA y el Índice de Retención y Regulación Hídrica-IRH. De otro lado, el cálculo espacializado de escorrentía y rendimiento hídrico para año medio, seco y húmedo que se presentó en el Estudio Nacional del Agua del año 2010 da indicios generales del régimen existente en las diferentes regiones del país (IDEAM, 2010; MADS, 2013a).

En el caso de caudales ambientales se han empleado diferentes metodologías para su estimación, publicadas del año 2000 al 2013, a saber: el Caudal Mínimo para el Sostenimiento de Ecosistemas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, la reducción por caudal ecológico de la metodología para determinar el Índice de Escasez para Aguas Superficiales actualmente denominado Índice de Aridez del antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT, la metodología propuesta para la Estimación del Caudal Ecológico de la Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello-SECAB, la Metodología para la Estimación de Caudales Ambientales en Proyectos Licenciados de la U.N. Sede Bogotá y MAVDT con su más reciente versión publicada por el MADS en el año 2013 y, la Propuesta Metodológica de Cálculo de Caudal Ambiental para Ríos Pequeños y Quebradas-IDEAM (Dies y Ruiz, 2007; Redondo y Rodríguez, 2011; MADS s.f.; MADS, 2013b).

No obstante, únicamente la metodología definida por U.N. Sede Bogotá y MAVDT contempla objetivos similares a las metodologías internacionales como los IHA, incorporándola incluso como paso sexto, presentando valores de caudal ambiental para cada mes del año y buscando representar de mejor manera el régimen natural de caudales; las demás metodologías de estimación de caudales, si bien proporcionan mayor facilidad para el cálculo, sobre todo para el caso de corrientes con escasa información, no se recomiendan ya que proponen un único valor de caudal ambiental para el año, que no refleja la hidrología real del cuerpo de agua (Redondo y Rodríguez, 2011; MADS, 2013b). El manejo integral de los ríos que se está promoviendo en Colombia debe cimentarse en unos regímenes de caudales ambientales que posibiliten un aprovechamiento equilibrado de los bienes y servicios que ofrece el medio fluvial, pero conservando el patrimonio hidrobiológico y sociocultural, las dinámicas geomorfológicas, ecológicas, culturales, recreativas, deportivas y estéticas (Dies y Ruiz, 2007).

Como avance en el tema de caudales ambientales desde el ámbito institucional el antes MAVDT organizó con el apoyo del Programa Iniciativa del Agua y la Naturaleza-WANI de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza-UICN un curso corto en el año 2010, con



el fin de trabajar en la reglamentación respectiva; en el evento participaron con presentaciones de diferentes experiencias a nivel internacional el Gobierno de Chile, Institut de recherche pour le développement-IRD, UICN Sur, UICN Mesoamérica, The Nature Conservancy, a nivel nacional MAVDT, IDEAM y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC. Sin embargo, pese a la propuesta presentada para reglamentación de caudal ambiental en proyectos licenciados, corrientes instrumentadas y corrientes no instrumentadas (MAVDT, 2010d), a la fecha no se ha expedido la norma relacionada, solo se tiene incluida la definición de caudal ambiental en el Decreto 3930 de 2010 como: “volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socio-económicas de los usuarios aguas debajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas”.

Teniendo en cuenta que en la anterior definición de caudal ambiental se evidencian por lo menos tres de los cinco aspectos clave en el régimen hidrológico de un río, es importante continuar con el proyecto de reglamentación de caudales ambientales, pues no solo se requiere en el caso de proyectos licenciados, o para evaluar los impactos de la agricultura y la urbanización, sino también para dar luces a las autoridades ambientales respecto al ordenamiento del recurso hídrico y las cuencas hidrográficas, considerando la explotación de los cursos fluviales que se viene dando en el país (Dies y Ruiz, 2007; Redondo y Rodríguez, 2011; Mazouz et. al, 2013). Otro avance en la materia a resaltar, es que en la metodología que se está preparando para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia se expone la importancia del régimen de caudales, pues este determina en gran parte el tamaño, forma y entorno de cauce, dependiendo de aspectos como el momento, la duración, la frecuencia y magnitud de los caudales circulantes y extraordinarios (MADS y U.N. de Colombia Sede Medellín, 2012); incorporando en el país el concepto de régimen de caudales ya no solamente en el ámbito académico, sino también en el político-institucional.

## **Resumen del criterio metodológico “Régimen natural de caudales en corrientes de la zona andina colombiana”**

1. Se deberá revisar la información de caudales y/o niveles de la lámina de agua existente para la corriente hídrica, intentando tener conclusiones para cuenca alta, media y baja.
2. De no contarse con series hidrológicas de al menos 15 años (Martínez y Fernández Yuste, 2008), se deberá complementar la información existente empleando modelación lluvia-escorrentía con el tipo de modelo (agregado o distribuido) que más se ajuste a la disponibilidad y características de los datos de precipitación.
3. Se podrán emplear aplicaciones informáticas libres como los IHA o los IAHRIS para la obtención del régimen de caudales naturales. Los primeros ya han sido utilizados en Colombia, los segundos, aunque aún no han sido aplicados en el país, se podrían revisar puesto que ofrecen al parecer un análisis más depurado que los IHA.
4. Se debe tratar de obtener el régimen hidrológico a resolución diaria, según la disponibilidad de información; de no poder hacerlo, las aportaciones mensuales exponen un panorama que permite visualizar de manera general el régimen de caudales de la corriente.
5. La obtención del régimen de caudales naturales para una corriente hídrica permitirá contar al menos con datos de caudal mensual diferenciados y se podrán observar otros parámetros como frecuencia, estacionalidad, duración y tasas de cambio, los cuales podrán ser relacionados posteriormente con las condiciones geomorfológicas y ecosistémicas del cauce y socio-culturales de la cuenca vertiente. Estos insumos serán a su vez de gran importancia para los PORH y/o reglamentación de corrientes en términos de cantidad, planes de manejo de ecosistemas fluviales, planes de manejo ambiental de microcuencas y delimitación de rondas hídricas, ésta última teniendo en cuenta la debida modelación hidráulica.

## **2.2.2 Calidad del agua**

La calidad del agua está en función de condiciones naturales como el drenaje superficial y la infiltración en el suelo, así como del uso y ocupación de la cuenca hidrográfica con la generación de vertimientos domésticos e industriales, escorrentías agrícolas, mineras y urbanas. Los diversos componentes presentes en el agua y que alteran su grado de pureza pueden expresarse de una manera amplia y simplificada en términos de sus características físicas, químicas y biológicas, dichas características pueden ser traducidas en la forma de parámetros de calidad del agua, los cuales generalmente están asociados a un conjunto de normas (Von Sperling, 2012; Gazzaz, et. al, 2012).

Existen básicamente dos formas en las que los contaminantes pueden alcanzar un cuerpo de agua: de forma puntual llegando de manera concentrada en el espacio o de forma difusa entrando al cuerpo de agua de manera distribuida en parte o toda su extensión; en épocas de verano la principal fuente de contaminación son los vertimientos puntuales, en épocas de invierno lo son las fuentes difusas (Von Sperling, 2012; Wu y Chen, 2012; Gyawali, et. al, 2013 a). Generalmente el uso agrícola del suelo tiene una fuerte influencia en el aporte de nutrientes como nitrógeno y fósforo a los cuerpos hídricos, considerados como la mayor causa de degradación de la calidad del agua superficial atrayendo últimamente una creciente preocupación pública; mientras que los usos urbanos e industriales están asociados a contaminación orgánica, por nutrientes, por microorganismos y por metales pesados y han sido la preocupación tradicional de entidades gubernamentales y de control ambiental (Hongmei, et. al, 2014).

En los países desarrollados hoy día se le presta considerable atención a la contaminación difusa puesto que los vertimientos puntuales ya han sido abordados en gran medida; mientras que en los países en desarrollo prácticamente está todo por hacer en términos de control de la contaminación puntual proveniente de ciudades e industrias, ya que el tratamiento de las aguas residuales es limitado y las inversiones en infraestructura que se requieren no han seguido el ritmo de crecimiento poblacional y los consecuentes volúmenes de aguas servidas, reportándose que apenas un 20-28% de estas aguas son tratadas antes de ser descargadas a cursos hídricos (UNESCO-WWAP, 2012; Von Sperling, 2012; Toshio, et. al, 2013).

Para efectos de evaluación de la calidad del agua en corrientes hídricas, ésta debe relacionarse con el régimen de caudales circulante y con los usos del suelo más frecuentes en el entorno del

río estudiado, completando su valoración con la descripción de los principales vertidos y focos de contaminación puntual que existan en la cuenca, del mismo modo con el análisis del origen y forma de llegada a los cauces de la posible contaminación difusa (González y García, 2007). Teniendo en cuenta las fuentes de contaminación y la forma de evaluarlas, se podrá dimensionar el estado del cuerpo de agua y los usos del recurso, así direccionar las medidas de restauración, pues si se emprenden iniciativas de recuperación del régimen de caudales y de las condiciones geomorfológicas de un río sin tener en cuenta los aspectos de calidad hídrica, no se logrará la mejora necesaria en la salud del ecosistema (FISRWG, 2001).

Existen diferentes formas de evaluar la calidad del agua tanto a nivel de vertimientos puntuales o difusos, así como a nivel de corrientes superficiales, empleando diferentes parámetros ya sea físicos, químicos y/o biológicos, sin embargo, los vertimientos difusos son más difíciles de medir que los puntuales, debido a los complejos procesos hidrometeorológicos, bioquímicos y la variabilidad espacial involucrados en el transporte y transformación de los contaminantes (Wu y Chen, 2012; Gyawali, et. al, 2013a; Fonseca, et. al, 2014).

Para medir la contaminación aportada por fuentes puntuales, se emplea la medición in situ y la recolección de muestras para el posterior análisis en laboratorio de diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos, tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales y sus constitutivos, Coliformes Fecales-CF y Totales-CT, Grasas y Aceites, Sustancias Activas al Azul de Metileno-SAAM, Temperatura, Color, Olor, pH, Turbiedad, Fósforo, Alcalinidad, Cloruros, Nitrógeno Total y sus constitutivos; llegando a utilizar en el caso de las industrias, parámetros más específicos respecto a cada actividad productiva como lo son los metales y los microcontaminantes orgánicos (Von Sperling, 2012; IDEAM, s.f.).

En lo concerniente a la valoración de la contaminación difusa, en la literatura más actualizada se encuentra el empleo del modelo hidrológico SWAT de libre acceso desarrollado por Agricultural Research Service-USDA-ARS y Texas A&M AgriLife Research, el cual tiene como fin explorar los efectos del clima y las prácticas de uso del suelo en el agua, los sedimentos y los rendimientos químicos agrícolas (Wu y Chen, 2012). Aunque en Latinoamérica se ha empleado este modelo en países como Venezuela, Brasil, México, Argentina y Colombia para estimar caudales y producción de sedimentos en cuencas agrícolas (Salas et. al, 2014; Galharte, et. al, 2014; Kraemer et. al, 2011; Sevilla, et. al, 2009; Díaz-Granados, et. al, 2005), es necesario profundizar la investigación en el potencial que tiene el modelo para estimar la contaminación difusa aportada, en comparación con la de tipo puntual (Kraemer et. al, 2011); para ello se

podrían revisar los últimos trabajos realizados: con una versión extendida del modelo hacia cuencas de pequeña escala a través de la aplicación SWEM, con experimentos de campo y simuladores de lluvia y con estimaciones realizadas a partir de cargas per capita de nutrientes como Fósforo y Nitrógeno para diferentes actividades ganaderas y agrícolas (Zhenyao, et. al, 2014; Chansheng, et. al, 2014; Ruimin, et. al, 2014; Wei, et. al, 2014; Fonseca, et. al, 2014); también se pueden revisar los trabajos realizados con otras aplicaciones informáticas que pueden ser de utilidad tales como HSPF and SHETRAN/ GOPC e and INCA-P (Shore, et. al, 2013).

Para el caso de las corrientes superficiales, tradicionalmente se han empleado índices de contaminación basados en diferentes parámetros físico-químicos, determinados in situ o en laboratorio, puesto que ningún parámetro de manera individual puede expresar suficientemente la calidad del agua de un cuerpo hídrico. Un índice es un número sin unidades que asigna un valor a un conjunto agregado de parámetros medidos y describe la condición en una localización particular y tiempo específico (Gazzaz, et. al, 2012; Calvo y Mora, 2012), también puede ser representado por un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color (Fernández y Solano, 2008).

Así, diferentes organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el seguimiento y control del recurso hídrico, han usado de manera regular índices físico-químicos, por lo que al menos 30 índices de calidad de agua son de uso común alrededor del mundo y consideran un número de variables que van de 3 a 72, pero prácticamente todos ellos incluyen por lo menos 3 de los siguientes parámetros: O<sub>2</sub>, DBO<sub>5</sub> y/o DQO, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N, pH y sólidos totales (Fernández y Solano, 2008). Orientados al empleo del agua para consumo humano se pueden citar el Índice NSF (Estados Unidos) y el Índice UWQI (Comunidad Europea) como los más usados, a nivel latinoamericano el desarrollado en México Índice INDIC-SEDUE basado en el de DINIUS y en Brasil el ICA-CETESB que adaptó el Índice NSF a condiciones tropicales (Samboni, et. al, 2007), se debe resaltar que el DINIUS aunque también contempla este uso, tiene en cuenta además otros como la agricultura, pesca, industria y recreación (González, et. al, 2013).

Contando con datos sistemáticos sobre parámetros físico-químicos y microbiológicos se pueden desarrollar modelaciones de calidad del agua que permitan inferir posibles escenarios futuros, así como tomar decisiones relacionadas con la planificación, la reglamentación, la administración, el control y el monitoreo de los cuerpos de agua. Existe una amplia gama de

modelos, los cuales se seleccionan de acuerdo con las necesidades, la legislación y la capacidad de implementación, siendo los software más ampliamente usados: SIMCAT, TOMCAT, QUAL2K, QUASAR, MIKE-11 e ISIS; la mayoría de las aplicaciones están diseñadas para modelar parámetros tradicionales como son DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub> y OD, sin embargo, el modelo más usado es QUAL2K por ser un software libre y estar asociado a gran disponibilidad de literatura para su implementación (Cox, 2003; Castro, 2006).

No obstante, dada la complejidad y relativamente costosa implementación del modelo QUAL2K, es importante considerar modelos más simplificados, los cuales si son usados con responsabilidad y criterio, permiten tomar decisiones idóneas y costo-efectivas. Uno de estos es el Modelo Streeter and Phelps, el cual se identifica como uno de los recomendados por agencias internacionales para la gestión eficaz de los recursos hídricos en los países en vía de desarrollo, aplicable a cuerpos de agua lóticos (Castro, 2006).

Otra herramienta útil referenciada por diversos autores para el manejo de múltiples datos físico-químicos y biológicos y/o de índices de calidad del agua son las Redes Neuronales Artificiales-RNA"; ésta es una técnica de análisis de datos empíricos usada en diferentes aplicaciones de modelación y previsión no solo en temáticas de calidad del agua, sino también en caudales y modelación lluvia-escurrentía, constituyéndose cada vez más en una alternativa útil ante los tradicionales métodos estadísticos multivariados que implican largos cálculos, errores involuntarios, suposiciones de normalidad y dependencia lineal entre las variables analizadas, generando de paso resultados más rápidos, fiables y representativos de un ecosistema fluvial (Rodríguez, 2008; Gazzaz, et. al, 2012).

Un aspecto a resaltar es que los estudios de calidad del agua han evolucionado desde basarse solamente en la química hasta considerar una evaluación más completa de los ecosistemas acuáticos, por lo que cada vez se profundiza más sobre el tema (Beyene et al., 2009). Así se vuelve necesaria la complementariedad entre las valoraciones físico-químicas y las biológicas, pues los índices hidrobiológicos muestran la perturbación del equilibrio ecológico, la integración de numerosos factores ambientales y la sostenibilidad del ecosistema, mientras que la medida química expone las concentraciones de los contaminantes y por ende la identificación de sus fuentes (Samboni, et. al, 2007; Fernández y Solano, 2008; Li, et. al, 2010).

Las valoraciones biológicas de calidad del agua están basadas en la observación de especies bioindicadoras, los macroinvertebrados son quizás los más empleados, pero las macrófitas, el

perifiton con las diatomeas como organismo más utilizado y los peces, son requeridos por ejemplo en la Directiva Marco Europea del Agua, incluso se han generado ejercicios de intercalibración de métodos entre países de esta región para fines comparativos (Królak, et. al, 2009; Li, et. al, 2010; Almeida, et. al, 2014).

Tanto el perifiton como los macroinvertebrados permiten observar cambios en la calidad del agua superficial en el corto plazo, mientras que los peces lo permiten en el largo plazo (Li, et. al, 2010). En lo referente a las diatomeas que a diferencia de los macroinvertebrados y peces se desarrollan en una gran variedad de ambientes hídricos, su estudio ha aumentado para tratar de superar las limitaciones encontradas con los otros bioindicadores, incluso son más fiables para evaluar altos grados de contaminación como es el caso de los ríos urbanos, ya que se encuentran en donde los macroinvertebrados están ausentes (Beyene et al., 2009).

Respecto a las diferentes técnicas de biomonitoreo éstas se pueden clasificar en:

- Índices de diversidad: Shannon-Wiener, Simpson y Margalef.
- Índices bióticos, que combinan la diversidad con la tolerancia a gradientes ambientales:
  - Los de macroinvertebrados y perifiton ampliamente usados en países europeos: Trent Biotic Index-TBI, Extended Biotic Index-EBI, Chandler's Score System, Biological Monitoring Working Party Score System-BMPW (recomendado por la Directa Marco Europea del Agua), Average Score per Taxon-ASPT e Hilsenhoff's Biotic Index-HBI.
  - Los de macrófitas: MMOR en Polonia, MTR en Gran Bretaña, IBMR en Francia, IVAM en España y TIM en Alemania (Królak, et. al, 2009; Li, et. al, 2010).
- Aplicaciones que representan varios atributos estructurales y funcionales de un ecosistema y su sensibilidad a cambios ambientales, por ejemplo el Index of Biotic Integrity-IBI basado en peces<sup>3</sup>.
- Aplicaciones que adoptan análisis estadísticos para predecir patrones de fauna que responden a cambios ambientales: RIVPACS-River Invertebrate Prediction and Clasification System, AusRivASn-Australian Rivers Assesment System, BEAST-Benthic Assesment Sediment y ANNA-Assesment by Nearest Neighbor Analysis.

---

<sup>3</sup> Estos índices han sido integrados a la estimación de caudales ambientales.

- Aplicaciones funcionales, las cuales reconocen que una adecuada caracterización de los ecosistemas fluviales requiere información tanto en estructura (patrones) como en funciones (procesos), por lo que se emplean los Functional Feeding Groups-FFGs como componentes clave del concepto de continuidad fluvial y su aplicación mediante índices tales como: Index of Trophic Completeness-ITC y Florida Stream Condition Index-FSCI (Li, et. al, 2010).

Sin embargo, la aplicación de cualquiera de los métodos de biomonitoreo de calidad del agua mencionados depende del conocimiento de los organismos bioindicadores, de cierta experticia técnica y de los recursos disponibles; aunque tienen como ventajas la simplicidad metodológica y rapidez de los resultados, se requiere de un amplio conocimiento de la fauna así como de la información física y química de los ríos, situación que ya ha sido abordada en Europa y Estados Unidos, pero no en países menos desarrollados como los latinoamericanos (Gutierrez et. al, 2004; Azrina, et. al, 2006; Li, et. al, 2010).

---

En Colombia, los esfuerzos respecto a calidad del agua aún se concentran en las problemáticas asociadas a los vertimientos puntuales de industrias y redes de alcantarillado municipal, con la implementación de mecanismos de comando y control, así como de instrumentos económicos como lo son las tasas retributivas, por lo que la evaluación de las fuentes difusas de contaminación hídrica se encuentra considerablemente atrasada desde el ámbito político-institucional, e incluso desde el académico. Para la valoración de calidad del agua en corrientes superficiales se ha usado el Índice NSF, el DINIUS y el ICA-CETESB (Montoya, et. al, 2011; Samboni, et. al, 2007; González, et. al, 2013), pero el IDEAM como encargado de la materia, ha adoptado un índice propio de calidad del agua, el ICA, el cual se ha venido usando en los Estudios Nacionales del Agua; también se han aplicado los ICO's o Indicadores de Contaminación desarrollados por Ramírez et. al (1997) para diferentes componentes físico-químicos y biológicos (Fernández y Solano, 2008; IDEAM, 2010).

En lo que tiene que ver con modelación de calidad del agua el software más empleado cuando se cuenta con información histórica es el QUAL2K. También se tiene referencia de aplicación de RNA en bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados en la sabana de Bogotá y en el embalse del Muña del municipio de Sibaté, resaltándose las ventajas de la técnica, pues el número de interacciones resultantes entre las variables físico-químicas y los organismos



acuáticos se constituye en un problema matemático de gran complejidad, donde las RNA ofrecen una posibilidad debido a su habilidad para reconocer, clasificar, relacionar patrones y relaciones en una serie de datos y su capacidad para hacer inferencias (Gutierrez et. al, 2004; Rodríguez, 2008).

En lo referente a bioindicadores se han aplicado índices como el BMPW, modificado y adaptado al país teniendo en cuenta el tipo de macroinvertebrados acuáticos establecidos en algunas regiones (González, et. al, 2013; Meza et. al, 2012), Índices de Diversidad, Índice de Riqueza Total (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera)-EPT (Meza et. al, 2012) y el Promedio de Puntuación por Taxón-ASTPT por sus siglas en inglés (Montoya et. al, 2011).

Si bien desde los años 70 se han venido empleando los macroinvertebrados para determinar la calidad del agua, los trabajos de identificación de la biodiversidad acuática en general han sido fragmentarios y con poca continuidad en el tiempo (von Hessberg, et. al, 2009; Montoya et. al, 2011). El perifiton se ha investigado desde hace 40 años y como uno de los avances se tiene que en el ensamble algal perifítico tanto en los ambientes lóticos, como en los embalses y en los sistemas acuáticos de páramos colombianos, se encuentra dominancia de diatomeas pero también se observaron clorofíceas, cianofíceas y euglenofíceas; sin embargo, el conocimiento del perifiton se encuentra en un estado preliminar, ya que no hay personal científico dedicado a su exploración, descripción y publicación, las investigaciones en su mayoría corresponden a trabajos de grado de estudiantes y no a campañas de monitoreo permanentes en los sistemas acuáticos y existe mucha información que no está disponible para la circulación científica ya que se encuentra en los centros de documentación de las Corporaciones Ambientales (Montoya y Aguirre, 2013).

Respecto a macrófitas en la base de datos de revistas científicas latinoamericanas “SciELO”, se encontraron 12 publicaciones que van desde el año 2010 al 2014, haciendo referencia a las funciones de remediación de aguas residuales y ampliación de conocimiento en regiones específicas, sin observarse una relación directa con los sistemas de biomonitoreo de la calidad del agua. Igual sucedió para peces con las 98 publicaciones encontradas en revistas científicas colombianas desde el año 2010 al 2013, en donde el tema más relacionado que se encontró fue la evaluación de contaminantes particulares en estas especies.

## Resumen del criterio metodológico “Calidad del agua en corrientes de la zona andina colombiana”

1. Se deberán identificar para cuenca alta, media y baja los usos del suelo presentes en la cuenca drenante y a partir de esto las fuentes de contaminación puntuales y difusas. En lo posible será importante geo-referenciar esta información.
2. Se deberá revisar la información existente sobre caracterización físico-química y/o biológica de calidad del agua superficial y de los vertimientos puntuales hacia el cuerpo hídrico, intentando tener conclusiones para cuenca alta, media y baja. Para el caso de los vertimientos puntuales determinar además las cargas contaminantes aportadas.
3. Se deberá implementar en lo posible una modelación de la contaminación difusa aportada, de no poderse realizar esta actividad, se recomienda determinar per cápita de cargas contaminantes de materia orgánica, sólidos y nutrientes, por área de suelo en determinado uso: agrícola, pecuario, forestal, urbano y/o minero.
4. Con base en la información de calidad del agua superficial calcular índices físico-químicos y biológicos de calidad del agua que permitan priorizar acciones de manejo:
  - ICA, empleado por el IDEAM.
  - ICA-CETESB, Índice NSF adaptado a condiciones tropicales.
  - DINIUS, el cual está orientado no solo al consumo humano, sino también a otros usos del agua.
  - Índice BMPW –ya que ha sido aplicado y adaptado a las condiciones del país- u otro bioindicador que sea viable según la información y experticia disponible.
5. La información de calidad de calidad del agua disponible permitirá modelar la calidad del agua para predecir escenarios futuros y orientar acciones de manejo, ya sea mediante la implementación del software QUAL2K y/o el Modelo Streeter and Phelps.
6. La obtención de información de calidad del agua mediante cargas contaminantes aportadas a la corriente hídrica por fuentes puntuales y difusas, índices físico-químicos y biológicos y modelación compleja o simplificada, permitirá direccionar las acciones de recuperación y/o conservación del cuerpo de agua, proporcionando insumos para: los PORH y/o reglamentación de corrientes en términos de calidad, planes de manejo de ecosistemas fluviales, planes de manejo ambiental de microcuencas, planes de manejo y saneamiento de vertimientos, permisos de vertimiento y tasas retributivas por vertimientos puntuales.

### **2.2.3 Conectividad hidrológica**

González y García (2007) recomiendan evaluar dentro de las condiciones hidrológicas de una corriente hídrica la “continuidad fluvial” y los “niveles freáticos y humedad edáfica”, lo primero referido al mantenimiento de los flujos de agua, sedimentos y organismos a lo largo del río estudiado, lo segundo por la conexión permanente de los caudales circulantes del río y por el régimen de humedad de los suelos riparios. Ollero (2009) habla de la conectividad o continuidad en el sentido amplio del sistema fluvial, otorgándole gran importancia en el funcionamiento geomorfológico y ecológico, además del valor ambiental y paisajístico, sin embargo, para los propósitos del actual documento se propone integrar los anteriores criterios en uno solo denominado “conectividad hidrológica”, pues al haber determinado el régimen de caudales y la calidad de las aguas, solo queda por establecer la dimensión espacial en la que los recursos hídricos se transportan sustentando diferentes ambientes: dentro del cauce, en los corredores ribereños y en las zonas hiporreicas y subterráneas.

En el contexto del ciclo del agua y a escala de cuenca hidrográfica la conectividad se refiere a la transferencia de materia, energía y organismos mediada por el agua, dentro o entre los diferentes elementos del ciclo hidrológico (Bracken, et. al, 2013); a escala del sistema fluvial, la cual interesa para la presente tesis, se recoge la conceptualización antes mencionada enfatizando en la estructura espacial de la corriente hídrica, es decir, a nivel longitudinal desde su nacimiento hasta su desembocadura, a nivel transversal desde el cauce hasta las paredes del valle y a nivel vertical enlazando los ambientes superficiales con los hiporreicos y subterráneos; características distintivas de los ecosistemas lóticos que requieren una comprensión integral basada en el concepto de conectividad (Ward, 1989; Ollero, 2009). Así, garantizando la existencia de calidad y cantidad de agua necesaria en el río, así como el espacio requerido para su movilidad, se podrán seguir cumpliendo las funciones ecosistémicas, geomorfológicas y socioeconómicas que ellos ejecutan (Brunke y Gonser, 1997; Ollero y García, 2007; Ollero, et. al, 2010; Franco, 2011).

Con el fin de valorar la continuidad fluvial es necesario realizar un reconocimiento de campo y elaborar un inventario de infraestructuras existentes que puedan suponer una barrera física para la retención de sedimentos o el tránsito de los organismos; de igual manera revisar la interrupción de la corriente debido a regulación de caudales y/o derivaciones de agua directas desde el cauce, duración y época de dichas interrupciones, distancia entre pozas, dimensión de

la lámina de agua circulante y velocidad de la corriente, tratando de describir las condiciones hidráulicas generadas por dichas actuaciones y diferenciándolas de las condiciones naturales de la corriente. Estas actividades van a permitir identificar las infraestructuras que suponen un obstáculo para la deriva de semillas y macroinvertebrados, el transporte de sedimentos y las migraciones de las especies piscícolas.

A su vez se deben analizar los niveles freáticos que tienen conexión permanente o temporal con los caudales circulantes y el régimen de humedad asociado a dichos niveles que presentan los suelos riparios a lo largo del año, igualmente valorar hasta qué punto se ha tenido alteración por actividades humanas tales como extracción de aguas subterráneas mediante bombeos, drenaje de terrenos y canalización de cauces, los cuales pueden producir cambios significativos en los caudales de estiaje o en el contenido de humedad de los suelos ribereños, vegetación, comunidades biológicas o calidad de las aguas (González y García, 2007).

La llanura de inundación que refleja la dimensión transversal del sistema fluvial, es también uno de los atributos medibles para describir las condiciones del corredor fluvial y las relaciones entre el agua sub-superficial y el cauce, aunque se debe considerar que esta varía a través de la cuenca y en general la conexión más fuerte se da en las corrientes con lechos de grava y llanuras aluviales bien desarrolladas (FISRWG, 2001).

Si bien se citan los anteriores elementos a tener en cuenta en la evaluación de la conectividad hidrológica de una corriente, sería importante disponer además de un índice que valore dicho criterio con el fin de estandarizar el proceso y permitir mayor flexibilidad para su posterior aplicación en otros cauces naturales. Ordeix, et. al (2012) dice que se han desarrollado muchos métodos para evaluar la integridad de las condiciones hidrológicas y morfológicas, pero casi ninguno centrado en la conectividad longitudinal de los ríos y aunque ciertos métodos aplicados a ríos europeos registran la presencia de obstáculos transversales, como el RHS al Reino Unido -y sus adaptaciones posteriores a muchos otros países-, SERCON en Escocia, SEQ-Physique de Francia, LRS en Alemania, DSHI en Dinamarca o incluso la norma CEN aprobada recientemente, éstos no cuantifican el grado en el que los obstáculos afectan la conectividad del río para las comunidades bióticas, por ejemplo para los peces, por lo tanto, la única herramienta que superaría estas limitaciones es el Índice de Conectividad Fluvial-ICF desarrollado por la Agencia Catalana del Agua en el año 2006, modificado para su mejor implementación en el año 2011.

Algunos índices de conectividad fluvial se usan solo en el sentido longitudinal de la corriente, caso específico de la obstrucción que genera la infraestructura hidroeléctrica y los impactos negativos sobre la ictiofauna (Agencia Catalana del Agua, 2006; Sola, et. al, 2011; Grill, et. al, 2014). Otros autores hacen referencia al sentido transversal del sistema fluvial, aunque también relacionando la existencia de represas y sus efectos, con el empleo de índices como el Cociente de Conectividad Fluvial, obtenido de la relación entre el número de días de inundación dividido por el número de días secos e integrando dicho resultado a las condiciones del hábitat ripario (Stevaux, et. al, 2013). El énfasis en los impactos negativos de las represas, construidas ya sea para generación de energía, operación de acueductos o “regulación de avenidas”, se debe a que este tipo de infraestructura se convierte en el más dramático ejemplo de la fragmentación de la continuidad fluvial a nivel longitudinal (Ward, 1989; González y García, 2007; Ollero y García, 2007).

Un índice más completo, que permite mayor flexibilidad en su implementación y ajuste a las necesidades de determinación de la conectividad hidrológica teniendo en cuenta la conceptualización abordada en el actual documento, es el Índice Hidrogeomorfológico-IHG, además, para llegar a éste se evaluaron los existentes a nivel europeo, norteamericano y australiano, por lo que se puede considerar se realizó un barrido interesante de las aplicaciones existentes y su funcionalidad. El IHG considera aspectos de naturalidad del régimen de caudales, caudales sólidos, funcionalidad de la llanura de inundación, naturalidad del trazado y de la morfología en planta, continuidad y naturalidad del lecho, procesos longitudinales, verticales y transversales y elementos del corredor ribereño; todo ello mediante descriptores cualitativos a los que se les otorga una valoración cuantitativa que permite comparar el estado del río con el de otros sistemas fluviales (Ollero, et. al, 2007; Ollero, et. al, 2008; Ollero, 2009).

Debido a que el IHG considera aspectos de las condiciones geomorfológicas y ecosistémicas tratadas más adelante, para los fines del criterio de conectividad hidrológica se deberá ajustar teniendo en cuenta la interrupción de la dimensión longitudinal, no solamente con la existencia de presas e impactos negativos sobre los peces nativos en el caso que aplique, sino también en lo referente a retención de sedimentos y otras infraestructuras transversales que puedan ejercer similar presión; considerando la dimensión transversal, con la presencia de recubrimientos en concreto o especies vegetales foráneas en las bancas así como la ocupación antrópica de llanuras de inundación, antiguos brazos del río y fragmentación del bosque

ripario, finalmente, la dimensión vertical, en donde se debe establecer la proporción longitudinal del lecho del río que tiene recubrimiento en concreto o si el cauce se encuentra canalizado.

---

En Colombia el criterio de conectividad hidrológica de los ríos no se ha materializado como tal en la caracterización de las cuencas hidrográficas y el recurso hídrico, pues aunque en las guías metodológicas para ordenamiento de cuencas y ordenamiento del recurso se habla de la necesaria diagnosis en materia socio-natural, dicha información solo es interpretada a la luz de indicadores de calidad y cantidad de agua, dejando de lado lo relacionado con los sedimentos, el régimen de caudales y la dinámica espacial y de movilidad que requiere un río para el trabajo geomorfológico.

La única restricción respecto a infraestructura que obstaculice la conectividad hidrológica, aunque solo en las dimensiones longitudinal y transversal, es el licenciamiento ambiental de las presas hidroeléctricas o multipropósito, supeditando el otorgamiento a la acción de garantizar los caudales ambientales; este licenciamiento no tiene en cuenta la retención de sedimentos y su descarga intempestiva con los efectos negativos que conlleva para el ecosistema fluvial y el equilibrio geomorfológico, tampoco se consideran las reales implicaciones de laminación de las avenidas, las cuales no permiten la debida continuidad entre el cauce, las bancas, las llanuras de inundación y los ecosistemas ribereños.

Por otro lado se tiene la ejecución desenfrenada de estructuras y obras civiles que intentan brindar protección ante el riesgo de avalancha, inundación y/o socavación de orillas o facilitar la extracción de agua de los acuíferos, obras que han sido entendidas en general con objetivos benéficos, pero la experiencia ha mostrado que los resultados a largo plazo degradan el ambiente y por ende deprimen los beneficios deseados (IDEAM, 2001, Franco, 2011). Es de considerar que estas obras civiles, a excepción de las represas, se desarrollan con permisos de ocupación de cauce y/o concesión de aguas sub-superficiales como parte de los instrumentos de comando y control con que cuentan las Autoridades Ambientales, sin embargo, los tiempos que se requieren para dichos trámites no son compatibles con los tiempos de diseño y construcción de las obras, que para el caso de las de ocupación de cauce están enmarcadas generalmente en situaciones de contingencia, por lo que no se pueden revisar y analizar cuidadosamente las implicaciones sobre el sistema fluvial, además de que no se cuenta con la

información y capacidad técnica para ello, dando lugar a la masiva canalización de ríos y quebradas sobre todo en las zonas urbanas, así como a la pavimentación de los lechos de éstos y extracción indiscriminada de aguas freáticas.

Pese a que se ha resaltado la importancia de diferentes formas del cauce como ciénagas, ambientes pantanosos, humedales, lagos, lagunas y planos inundables para la regulación hídrica de los sistemas fluviales y el mantenimiento de la humedad del suelo y subsuelo, es decir, para la conectividad hidrológica, además que son lugares de refugio transitorio de especies migratorias y de alta productividad biológica por la disposición de nutrientes durante las avenidas, en la región Andina colombiana por ejemplo existe una ocupación humana de los márgenes de los ríos y los desastres ocurridos ante el incremento de las lluvias se han atribuido regularmente a fenómenos naturales, no al desconocimiento sistemático de las funciones hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas que tienen las corrientes hídricas (IDEAM, 2001; IDEAM, 2010).

No obstante, a finales del año 2012 se generó desde el MADS y la U.N. de Colombia Sede Medellín, una versión preliminar de la metodología de acotamiento de rondas hídricas para ser aplicada por las Autoridades Ambientales, sobre lo que se puede decir es un avance de gran importancia en lo referente al concepto de conectividad hidrológica. En el documento<sup>4</sup> se expone que el componente hidrológico de la ronda hídrica es el área requerida para el transporte y almacenamiento temporal del agua y los sedimentos que produce la cuenca para las distintas escalas de tiempo (ciclo anual o semianual y la interanual asociada al fenómeno ENSO) y para su definición se requiere:

- Determinar el cauce principal.
- En cauces naturales definir la mancha de inundación correspondiente al periodo de retorno de 15 años, la cual define la zona o faja de terreno correspondiente al componente hidrológico en el caso de cauces naturales o poco intervenidos.
- En cauces que han perdido su naturalidad definir la mancha de inundación correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, la cual define la zona o faja de terreno correspondiente al componente hidrológico en el caso de cauces intervenidos de las zonas urbanas (MADS y U.N. de Colombia-Sede Medellín, 2012).

---

<sup>4</sup> Se logró acceder para propósitos académicos a una versión del documento antes de su publicación.

Con esta evolución por parte del ente gubernamental del país encargado de la materia, queda claro que por lo menos se empezarán a ejecutar acciones fundamentales para la conectividad transversal de los ríos en Colombia, logrando superar la vaga reglamentación existente al respecto a nivel nacional, con lo estipulado en el Código Nacional de Recursos Naturales No Renovables Decreto-Ley 2811 de 1974.

### **Resumen del criterio metodológico “Conectividad hidrológica en corrientes de la zona andina colombiana “**

1. Se deberá hacer un ajuste a los criterios de obtención del Índice Hidrogeomorfológico-IHG, con el fin de valorar cuali-cuantitativamente las obstrucciones de la conectividad hidrológica tanto a nivel longitudinal, transversal y vertical, empleando únicamente los siguientes criterios del índice: naturalidad del régimen de caudal; funcionalidad de la llanura de inundación; naturalidad del trazado y morfología en planta; continuidad y naturalidad del lecho; naturalidad de las márgenes y de la movilidad natural.
2. Se deberá hacer un inventario de las obras, estructuras y ocupaciones que obstaculizan la conectividad hidrológica con base en los requerimientos del IHG ajustado para poder proceder a su aplicación.
3. Se deberán calcular las rondas hídricas de acuerdo con la metodología establecida por el MAVDT y la U.N. de Colombia Sede Medellín.
4. La obtención de información acerca de la conectividad hidrológica de la corriente hídrica, permitirá direccionar las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: delimitación de rondas hídricas, planes de manejo de ecosistemas fluviales, planes de manejo ambiental de microcuencas, planes de ordenación forestal y planes de ordenamiento territorial.



## **2.3 Condiciones geomorfológicas de la corriente hídrica**

La geomorfología fluvial es una disciplina de síntesis con raíces en la geología, la geografía y la ingeniería de ríos y se basa en campos como la hidrología, la química, la física, la ecología y la historia natural y humana. Las teorías de mayor influencia han sido el “ciclo de la erosión” y la “frecuencia-magnitud de los caudales”, pero es de anotar que la geomorfología fluvial ha desarrollado relativamente pocas teorías originales tendiendo más bien a importarlas de campos aliados. Existen cinco tipos principales de preguntas y herramientas asociadas a la geomorfología fluvial: 1. marco histórico: asociado a las tendencias históricas geomorfológicas; 2. marco espacial: asociado a revelar la estructura espacial y el carácter anidado de las formas fluviales; 3. métodos biológicos, físicos y químicos: para datos y estudios de la estructura espacial y los procesos fluviales; 4. análisis de procesos y formas: el tradicional corazón de la disciplina basada en estudios de campo, medidas de sedimento y caudales y 5. marco futuro: para discriminar, simular y modelar procesos y tendencias (Kondolf y Piegay, 2003).

Lo anterior debido quizás al creciente interés por conservar los ríos como ecosistemas y por su carácter integrador en la ordenación del territorio, de manera que han surgido en la mayor parte de los países desarrollados iniciativas tendentes a la clasificación y evaluación del estado de estos (Sánchez y Ollero, 2003). Así, las condiciones geomorfológicas de un curso hídrico son otro aspecto de vital importancia en la valoración ambiental de las corrientes de agua, pues los ríos poseen una complejidad dinámica que no solo está ligada, como tradicionalmente se ha considerado, a la hidrología, la calidad del agua y la biodiversidad, sino que son a su vez el resultado de continuos y cambiantes procesos geológicos que se reflejan en la superficie terrestre en tiempos que trascienden la vida humana y que tienen como motor principal el agua y la escorrentía superficial.

En la interacción clima-geología-relieve-biodiversidad se generan los sistemas fluviales con todo un conjunto de formas y procesos, los cuales han venido siendo modificados por la actividad antrópica, por lo que si se busca conocer el origen, evolución y dinamismo asociado, es posible comprender de mejor manera su funcionamiento y respuesta ante la interacción con la vida humana y el medio construido. Sintetizando fundamentos teóricos, así como procesos y aspectos recomendados para la valoración de las condiciones geomorfológicas de una cuenca drenante y su curso hídrico por parte de Posada (1994), González y García (2007) y FISRWG

(2001), se concluye que son los siguientes criterios los que se deben considerar para el caso de la presente propuesta:

- Parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante
- Historia geológica y tendencias
- Balance de sedimentos cuenca-cauce
- Clasificación geomorfológica del cauce

### **2.3.1 Parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante**

Las características relativas a la forma de la cuenca y su relieve, así como a la red de cauces que la conforman, permiten confirmar la importancia de los controles geológicos y climáticos sobre la estructura de la red de canales facilitando las predicciones en la hidrología superficial de una cuenca dada (Posada, 1994).

En este orden de ideas, utilizando información cartográfica y topográfica, se deberán evaluar parámetros de forma como: área, longitud, perímetro y ancho de la cuenca, con el fin de identificar diferentes relaciones: factor de forma de Horton, relación de aspecto, coeficiente de compacidad o índice de Gravelius, relación de elongación, relación de circularidad y rectángulo equivalente, pues dichas relaciones validan la componente probabilística en la determinación de la cuenca mediante parámetros característicos de la red de drenaje. Asimismo se deben identificar parámetros relativos al relieve, los cuales pueden tener incluso más influencia sobre la respuesta hidrológica de una cuenca que los parámetros de forma, a saber: perfil altimétrico del cauce, pendiente promedio del canal y de la cuenca, curva hipsométrica de análisis área-elevación asociada a las edades de los ríos, histograma de frecuencias altimétricas, altura promedio del relieve y relación de relieve (Posada, 1994 y Vélez, 2011).

Finalmente, se debe tener en cuenta lo respectivo a la caracterización de la red de canales de la cuenca, en Colombia se emplea el método de Gravelius puesto que es la clasificación adoptada, considerando que el río más grande es de orden 1 y los afluentes que llegan a él directamente son de orden 2, los afluentes de las corrientes de orden 2 son de orden 3 y así sucesivamente; no obstante, aunque existen otros métodos como el de Horton, Panov, Strahler, Scheidegger y Shreve, se recomienda utilizar el método de Horton-Strahler, por ser el modelo de jerarquización más utilizado en la actualidad y ser la base de varios hidrogramas unitarios

geomorfológicos, posibilitando por tanto fines comparativos con otras cuencas (Posada, 1994 y Vélez, 2011). Otros parámetros como la densidad de drenaje, constante de estabilidad de un río, densidad hidrográfica, relación de longitud de las corrientes, función de ancho, tiempo de concentración e índice topográfico también pueden ser de utilidad para describir la hidromorfometría de la cuenca (Vélez, 2011).

Las herramientas básicas para un análisis morfométrico de cuencas son los mapas, las fotografías aéreas y las imágenes de satélite, asimismo las ortofotografías a las cuales se les ha debido corregir la deformación de los bordes propia de las imágenes aéreas, han adquirido especial importancia por su variada utilidad en Sistemas de Información Geográfica-SIG. Con estas herramientas se pueden hacer cálculos de áreas, longitudes de los cauces, densidad de drenaje, razón de bifurcación, altitudes, perfil longitudinal del río, razón de relieve y pendiente media del cauce (Elosegi y Sabater, 2009).

---

En Colombia se han realizado estudios morfométricos de cuencas, los cuales se pueden observar en Benavides et. al (2009) para el río Bobo en el departamento de Nariño y en Montoya y Montoya (2009) para la Q. Los Andes en Antioquia. Una herramienta que puede ser de gran utilidad es el software HIDROSIG 4.0 desarrollado por la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la U.N. de Colombia Sede Medellín, ya que a partir de éste se pueden calcular diferentes variables hidromorfométricas (U.N. de Colombia Sede Medellín, 2011).

## **Resumen del criterio metodológico “Parámetros geomorfológicos de la cuenca en corrientes de la zona andina colombiana “**

1. Se deberán identificar los mapas, fotografías aéreas, imágenes de satélite, modelos de elevación digital (MED) y ortofotografías disponibles y de utilidad para los análisis morfométricos de la cuenca en estudio.
2. Se deberán obtener los parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante que permitan concluir sobre la hidrología superficial y la respuesta ante diferentes eventos, para lo cual se pueden utilizar software SIG, dentro de los que se recomienda emplear HIDROSIG 4.0. para determinar los parámetros relativos a la forma de la cuenca y su relieve.
3. La obtención de información acerca de los parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante, permitirá direccionar las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: planes de manejo de ecosistemas fluviales, planes de manejo ambiental de microcuencas y planes de ordenamiento territorial.

### **2.3.2 Historia geológica y tendencias**

Una buena clasificación del sistema fluvial deberá tener en cuenta la componente geológica: el tipo de roca y su distribución, estructura y grado de fracturamiento, lineamiento de fallas, procesos de formación y sus efectos sobre la hidrología y el suelo; la geología es uno de los procesos físicos que gobiernan la respuesta de una cuenca y los sedimentos en un río son el resultado de la historia geológica de la misma (Posada, 1994).

La mayoría de problemas contemporáneos en geomorfología fluvial requieren una perspectiva histórica si el objetivo es entender los patrones naturales de variación en la forma del cauce, establecer la naturaleza de los impactos humanos o definir condiciones de referencia para el manejo y restauración del canal (Kondolf y Piegay, 2003); para el caso de la geología fluvial ésta se encuentra determinada por la composición litológica del lecho del cauce y sus orillas y las estructuras geológicas que influyen en este, es por tanto importante tener conocimiento de la geomorfología del cauce y sus orillas dado que la composición de los materiales cuaternarios está generalmente asociada a las geoformas (Vargas, 2012).

Respecto a herramientas metodológicas se puede emplear la geología superficial con técnicas comunes como la sedimentología, geocronología, pedología y estratigrafía y el uso de datos históricos, éste último dependerá de la integración de variedad de fuentes de información tales como estudios topográficos y fotografías aéreas y satelitales (Kondolf y Piegay, 2003).

Las herramientas mencionadas sirven para establecer la historia geológica y las tendencias futuras del cauce natural y son de utilidad en Colombia, debido a la capacidad técnica y académica para la aplicación de la geología superficial, así como la disponibilidad de información que puede haber: datos históricos, informes de investigación, tesis de grado y/o publicaciones de instituciones como el IDEAM, Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC y Servicio Geológico Colombiano.

---

En Colombia, el uso de geología superficial para estudios de sistemas fluviales se puede ilustrar con trabajos realizados por empresas privadas<sup>5</sup> en conjunto con instituciones académicas, incluso de orden internacional, tales como la caracterización estratigráfica y composicional de las unidades del Campaniano al Paleógeno en la subcuenca del Cesar, que permitió establecer el cambio en los ambientes sedimentarios en el norte de Colombia (Ayala, et. al, 2009); conocimiento del ambiente de depósito, procedencia y paleogeografía de los Conglomerados de Tatamá mediante estudio estratigráfico, petrográfico y geocronológico (U/Pb en circones detríticos), que permitió sugerir un ambiente fluvial de ríos trenzados, probablemente asociados a abanicos aluviales (Ávila, et. al, 2012); análisis geomorfológicos, correlación de terrazas, perfiles longitudinales y dataciones de huellas de fisión y carbono 14 para entender parcialmente la evolución geomorfológica del valle de Aburrá y la distribución de los depósitos de vertiente (Aristizábal y Shuichiro, 2008) y estudio estratigráfico y palinológico de los sedimentos cuaternarios de la llanura deltaica del río Mira en Tumaco, Nariño, empleando los 10 m superiores del pozo Tumaco 1-ST-S perforado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos, en donde los cambios verticales en la granulometría del depósito indicaron la migración de canales y la formación de lagunas en llanuras de inundación donde se acumulaba la materia orgánica, igualmente la presencia de dinoflagelados y de palinomorfos característicos de zonas

---

<sup>5</sup> Entes financiadores de proyectos geológicos con objeto de exploración y/o explotación petrolera y minera.

de manglar en la mayoría de las placas analizadas sugirió influencia marina durante la sedimentación (López, et. al, 2012).

En lo que tiene que ver con la utilización de datos históricos para la comprensión de sistemas fluviales en Colombia, los estudios deben estar soportados por los registros cartográficos, fotográficos y satelitales del cauce del río en un periodo de tiempo de por los menos 30 años, para lo cual se debe constituir un sistema georeferenciado de mapas, fotografías aéreas e imágenes de satélite con el fin de interpretar las orillas del cauce activo (Vargas, 2012); en el marco de un estudio de amenaza por inundación para el río Hacha en Florencia-Caquetá, se emplearon datos históricos que se reunieron por medio de periódicos, revistas y entrevistas a la comunidad que se encontraba bajo amenaza con el fin de validar la calidad de los datos de las series hidrológicas, también se empleó la paleohidrología obteniendo datos a partir de la posición estratigráfica de los depósitos que reflejan la altura de las inundaciones pasadas y uso de técnicas geoquímicas como la del Carbono 14 (Hortua, 2004).

De manera similar, la utilización de diferentes estudios y compilaciones desde el año 1963 sobre el Valle de Aburrá, referidos al estudio de los depósitos y formaciones superficiales que se encuentran a lo largo del valle, permitió entender el origen del mismo (García, 2006); por último, a partir de la obtención de cartografía morfotectónica a escala 1:20.000, utilizando fotointerpretación, realizando visitas de campo y haciendo tratamiento de datos a través de ArcGIS con un Modelo de Elevación Digital del Terreno-DEM, se encontró para un tramo del río Herradura departamento de Antioquia, una región dominada por desplazamientos y levantamientos diferenciales del periodo Cuaternario que afectan los sistemas fluviales tanto en su dinámica actual como en su registro sedimentológico reciente (Noriega, et. al, 2012).

Desde el ámbito institucional, la información geológica es requerida en la caracterización de las cuencas hidrográficas para la elaboración de los POMCAS (MADS, 2013a); sin embargo, se considera importante siempre que sea posible, contextualizar la dinámica geológica y geomorfológica del cauce como tal, con el fin de determinar tendencias de movilidad y erosión que puedan afectar principalmente los usos antrópicos de la tierra existentes.

## **Resumen del criterio metodológico “Historia geológica y tendencias en corrientes de la zona andina colombiana”**

1. Se deberá revisar la información secundaria existente sobre levantamientos de la geología local, con lo cual se pueda concluir sobre el origen y posible evolución del cauce en estudio.
2. De ser posible, se obtendrá mediante trabajo de campo con técnicas de geología superficial y/o de gabinete (análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales) la información geológica complementaria que se necesite para poder completar la valoración de la corriente hídrica.
3. La obtención de información acerca de la historia geológica y tendencias de la corriente hídrica, permitirá direccionar las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: los planes de manejo ambiental de microcuencas y los planes de ordenamiento territorial, principalmente en lo referente a la gestión del riesgo.

### **2.3.3 Balance de sedimentos cuenca-cauce**

La superficie de la tierra está cambiando continuamente a causa de los fenómenos de erosión, transporte, depositación y compactación de los sedimentos, haciendo parte de procesos naturales en el marco de los ciclos globales. El desplazamiento de los sedimentos se puede dar por gravedad o por agentes erosivos como ríos, corrientes oceánicas, viento y glaciares; una vez desprendidas, las partículas deben ser resuspendidas antes de ser transportadas, este proceso depende de la forma, tamaño y peso de la partícula y de las fuerzas ejercidas por el flujo sobre ésta, cuando estas fuerzas se reducen a tal magnitud que el transporte se interrumpe es donde ocurre la depositación (Posada, 1994; Hinderer, 2012; Koiter, et. al, 2013).

A causa de las actividades antrópicas se han venido alterando los ciclos naturales de erosión y sedimentación, ocasionando desequilibrios y contribuyendo a la degradación de los ecosistemas que dependen de estos procesos; algunas prácticas de usos del suelo resultan incluso en tasas de erosión más altas que las mismas tasas de producción de suelo (Koiter, et. al, 2013).

En general, existen los siguientes tipos de erosión:

- Remoción en masa: Se subdivide en flujo lento (reptación y solifluxión) y en flujo rápido (corrientes terrosas, corrientes de lodo, derrumbamiento de escombros, deslizamiento rotacional).
- Erosión hídrica: Se subdivide en erosión laminar, erosión en cárcavas y erosión lineal de una corriente hídrica o del lecho (también denominada socavación).
- Fenómeno de Karstificación: disolución de una roca fisurada por el agua.

En lo que respecta a una corriente hídrica o sistema fluvial, cuando la cantidad de sedimentos que llega es mayor que la que ésta es capaz de transportar, el exceso deberá depositarse en algún punto del canal y en consecuencia, el nivel del lecho subirá o se agrandará y se formarán barras; al contrario, si la tasa a la cual llegan los sedimentos es menor que la capacidad de transporte de la corriente y el lecho y/o las bancas son erodables, la corriente los erodará o degradará para suplir la deficiencia. En cualquier caso el asunto es esencialmente un problema de balance entre la carga de sedimento que recibe el canal y la habilidad del flujo para transportar dicha carga a través del mismo (Posada, 1994).

Lo sedimentos constituyen una intersección entre el recurso suelo y el recurso hídrico, particularmente en las corrientes, cambios en los patrones de sedimentos pueden ser reflejados en cambios en el uso del suelo en la cuenca o en el aprovechamiento de la misma; del mismo modo, intervenciones sobre la corriente casi siempre tienen manifestaciones en el régimen de sedimentos, por lo que estos deben ser adecuadamente diagnosticados y evaluados (González y Montoya, 2010).

Una de las herramientas que puede proporcionar un panorama cualitativo, cuantitativo o ambos de los procesos de erosión y sedimentación en una corriente hídrica es el balance de sedimentos, éste sirve para vincular las áreas fuente de sedimentos y las áreas de depositación de los mismos, sustentándose conceptualmente en la ecuación de continuidad de masa, describiendo la entrada, transporte, almacenamiento y salida de sedimentos del sistema (Kondolf y Piégay, 2003; Hinderer, 2012). El balance provee una estructura de organización de la información cualitativa acerca de las interacciones en los procesos -diagrama de flujo que generalmente es el inicio de los estudios geomorfológicos- y de la información cuantitativa acerca de las proporciones, por lo que han sido utilizado para cuantificar tasas y procesos de



erosión en una cuenca, establecer tasas de extracción apropiadas en la minería, planificar el mantenimiento de un hábitat para determinadas especies biológicas, regular el uso del suelo y preparar evaluaciones de impacto ambiental (Kondolf y Piégay, 2003).

Para calcular la producción de sedimentos, tradicionalmente se han estimado las tasas de erosión a través de ecuaciones como la de Musgrave, la del Soil Conservation Service-SCS, la de Thompson y la RUSLE o Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (Posada, 1994).

Para la medición de la carga de sedimentos de fondo o del lecho se emplean diferentes equipos muestreadores como el Helley-Smith, Arnhem y los de tipo almeja o tipo cucharón, aunque la técnica básica más eficiente es el conteo de piedras de Wolman, mientras que para estimar la carga en suspensión se utilizan muestreadores instantáneos o integradores, además se siguen distintos lineamientos para la obtención de parámetros hidráulicos al momento de la medición con el fin de hacer relaciones y brindar la mayor objetividad posible (Posada, 1994; Henao, et al, 2009). No obstante, se debe tener en cuenta que el costo de las mediciones de caudal sólido es alto, sobretodo en pequeñas cuencas de montaña, además que requiere un monitoreo prolongado en el tiempo dada su extrema variabilidad (Iroumé y Uyttendaele, 2009).

Los balances de sedimentos exigen además de la cuantificación de los sedimentos producidos, transportados y depositados, la de los existentes en diferentes almacenamientos que pudieron haber quedado en la cuenca, debido a que gran parte del material desprendido de la parte alta puede ser re-depositado en el piedemonte formando coluviones. Las herramientas que permiten obtener esta información, desarrolladas en las dos últimas décadas son: 1. Datación de materiales clásticos estériles, 2. Exploración geofísica extensiva de la superficie incluyendo tomografías 3D, 3. Sensores remotos, modelos de elevación digital y sistemas de información geográfica, 4. Modelos computacionales de erosión, transporte de sedimentos, depositación y geodinámica y 5. Avances en conceptos como la secuencia estratigráfica (Hinderer, 2012).

Los modelos que simulan la producción y transporte de sedimentos a escala de cuenca como CASC2D-SED y TETIS-SED, así como a escala de cauce CCHE2D (Vélez, 2013; Duque y Posada, 2011) pueden ser de gran utilidad para proporcionar insumos cuali-cuantitativos para el balance de sedimentos cuenca-cauce. Pese a ello, Vélez (2013) expone que en Colombia aún no hay información simultánea y de buena resolución de precipitación sobre la cuenca e hidrogramas y sedimentogramas en los cauces, como para poder implementar, calibrar y

validar este tipo de modelos, por lo que se debe recurrir a hacer calibraciones aproximadas empleando la información disponible (Vélez, 2013).

---

En Colombia, como ejemplos de revisión de procesos de agradación y degradación en cauces, Ceballos (2011) analizó los procesos de erosión y sedimentación aluvial en tres tramos de la Q. Marinilla para conocer su movilidad, la cual está condicionada por la intervención antrópica y las fluctuaciones del nivel de base en la desembocadura al río Negro. Dicha movilidad fue evaluada a través del modelo numérico CCHE2D, que permite simular los procesos de agradación y degradación del canal y los cambios morfológicos del mismo, proporcionando apoyo para futuras intervenciones del canal natural.

Posada y Lozano (2004) a su vez, hicieron la identificación de los sitios de agradación y degradación en el río La Vieja mediante la integración del análisis geomorfológico para estimar el comportamiento probable del sistema en estudio. Adicionalmente, con el fin de dar una descripción cualitativa de los procesos dinámicos del cauce y cuantificar los cambios en el lecho del río, usaron el modelo HEC-6 versión 4.1 denominado "Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs".

En general, desde el ámbito académico la medición de sedimentos y previsión de posibles desequilibrios geomorfológicos en cauces se ha realizado mediante proyectos de investigación, consultoría y/o trabajos de grado, con aportes de investigadores de la Universidad Nacional de Colombia en las Sedes Medellín, Manizales y Bogotá. En lo que respecta al ámbito institucional, IDEAM (2010) dice que la cuantificación real de producción de sedimentos – sobre todo la que obedece a procesos naturales- aún no está estimada en el país, asimismo identifica las cuencas con mayor producción de sedimentos por unidad de área a partir de los datos obtenidos de la red de monitoreo operada por el instituto, concluyendo que el mayor aportante es el río Magdalena de acuerdo con lo registrado en la estación Calamar, con un transporte anual de 140 millones de toneladas equivalente a un volumen de 52,8 millones de m<sup>3</sup> de sedimentos en suspensión.

### **Resumen del criterio metodológico “Balance de sedimentos cuenca-cauce en corrientes de la zona andina colombiana”**

1. Mediante revisión de información secundaria o en su defecto, observación en campo, se deberán identificar las áreas fuente de sedimentos en cuenca alta, media y baja, así como los tramos en que la corriente posee mayor turbiedad debida a sedimentos en suspensión y procesos de depositación. Con la información obtenida se construirá el balance de sedimentos cualitativo a manera de diagrama de flujo.
2. Se deberá revisar la información secundaria existente sobre estimación de tasas de erosión en cuenca alta, media y baja, almacenamientos en la cuenca, mediciones de sedimentos en el cauce y extracción de materiales pétreos.
3. De no encontrarse información representativa sobre erosión, almacenamiento, transporte y depositación, se deberán emprender al menos los estudios de estimación de pérdida de suelo en la cuenca, jornadas de medición de carga de fondo y en suspensión del cauce e inventario minero (de tenerse extracción de material de arrastre).
4. Posterior a la compilación u obtención de información cuantitativa sobre sedimentos en la cuenca y en el cauce, se deberá elaborar el balance de sedimentos que permita inferir sobre las proporciones y desequilibrios.
5. El conocimiento del balance de sedimentos cuenca-cauce, permitirá direccionar las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: los planes de manejo ambiental de microcuencas (procesos de reforestación, recuperación de áreas erosionadas, conservación de cuencas abastecedoras de plantas de agua potable), planes de manejo de ecosistemas, expedición de títulos mineros y licencias ambientales para explotación de material de arrastre y planes de ordenamiento territorial (gestión del riesgo, clasificación de zonas de extracción de áridos).

#### **2.3.4 Clasificación geomorfológica del cauce**

La clasificación geomorfológica del cauce tiene como finalidad fragmentar las complejas unidades de estudio en unidades discretas, permitiendo en una variedad de escalas simplificar los procesos complejos en un grupo con características comunes (Quinonez, 2007; Orr, et. al, 2008) las clasificaciones de ríos proveen importantes herramientas para el manejo y conservación de estos, así como para la comunicación entre diferentes disciplinas y regiones (Kondolf y Piegay, 2003; Vaughan, et. al, 2013). Sin embargo, se debe considerar que estas

clasificaciones son puntuales y temporales, pues los eventos extremos por ejemplo, puede redefinir el paisaje fluvial de un momento a otro.

Según Sánchez y Ollero (2003) respecto a tipos de clasificaciones geomorfológicas existentes se tienen:

- Las clásicas: de cauces rectos, trenzados y meandriformes de Leopold y Wolman (1957); la tipificación de Schumm (1963, 1977) basada en la estabilidad del canal, la carga sedimentaria y sus dimensiones.
- Las de tipo complejo: a partir de fotografía aérea por Kellerhals et al. (1972, 1976), Galay et al. (1973) y Mollard (1973).
- Las de tipo descriptivo y más recientes: las de Brice & Blodgett (1978), Church & Rood (1983), Mosley (1987), Nanson & Croke (1992), Downs (1995), Montgomery y Buffington (1993, 1997, 1998) o Bernot et Creuzé des Châteliers (1998).

Guevara, et. al (2008) también lista veinticinco (25) diferentes clasificaciones de tipología fluvial y ribereña que han sido publicadas desde el año 1875 hasta el año 2006. Asimismo, Kondolf y Piegay (2003) exponen diversas clasificaciones de acuerdo con determinadas variables y escalas espaciales (ver Tabla 3).

No obstante, una de las clasificaciones más completas y aplicables es la que propuso Rosgen en los años 1994 y 1996, combinando criterios hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos; dicha clasificación es la más citada en la bibliografía internacional con aplicación a numerosos ríos de todo el planeta, además es la más destacada y popular en las últimas décadas (Sánchez y Ollero, 2003; Quinonez, 2007; Elosegi y Sabater, 2009), aunque se debe tener en cuenta que su mayor utilidad es para propósitos administrativos (Kondolf y Piegay, 2003).

Para la aplicación de la metodología de Rosgen, Sánchez y Ollero (2003) recomiendan desarrollar de manera general las siguientes actividades:

- Aprendizaje de la metodología con especial atención a sus parámetros de clasificación, con el fin de elaborar un sistema de trabajo.
- Reconocimiento de los cursos fluviales en estudio y subdivisión de los mismos en sectores funcionales.

- Obtención en gabinete de los parámetros de pendiente y sinuosidad, los SIG y DEM son especialmente útiles para esto.
- Elección de puntos de muestreo y trabajo de campo, haciendo mediciones del perfil transversal abarcando el cauce y el llano de inundación, de los indicadores de banca llena y de los materiales del cauce.

Cabe resaltar que Horacio y Ollero (2011) propusieron una metodología que únicamente comprende actividades de gabinete, obteniendo una clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de SIG; dichos autores plantean que se cuenta con antecedentes desde la escuela canadiense y el programa australiano “Australian River Assessment System”, adicionalmente, que con su aplicación se tienen ventajas en la medida en que permiten obtener una visión en planta del cauce, o fijar un análisis global donde no solamente se incluye este sino el ambiente por el que transita, posibilitando generar una clasificación fluvial rápida, eficaz y desde una perspectiva diferente a la obtenida en campo.

---

En Colombia las clasificaciones geomorfológicas de cauces no son generalmente empleadas en los diagnósticos de planes de manejo y/o estudios y diseños de obras civiles, generalmente apenas se mencionan algunos aspectos como forma del valle, tipo de cauce y estilo fluvial (Sánchez y Posada, 2011; Posada y Lozano, 2004; Henao, et. al, 2009). Pero es de destacar el trabajo realizado por Gonzáles y Montoya (2010) para la Q. Doña María ubicada en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en donde con base en las clasificaciones de Biedenharn et. al (1998), Schumm (1977) y Rosgen y Silvey (1996) se aportó a una propuesta metodológica de análisis morfo-sedimentológico para una corriente altamente urbanizada.

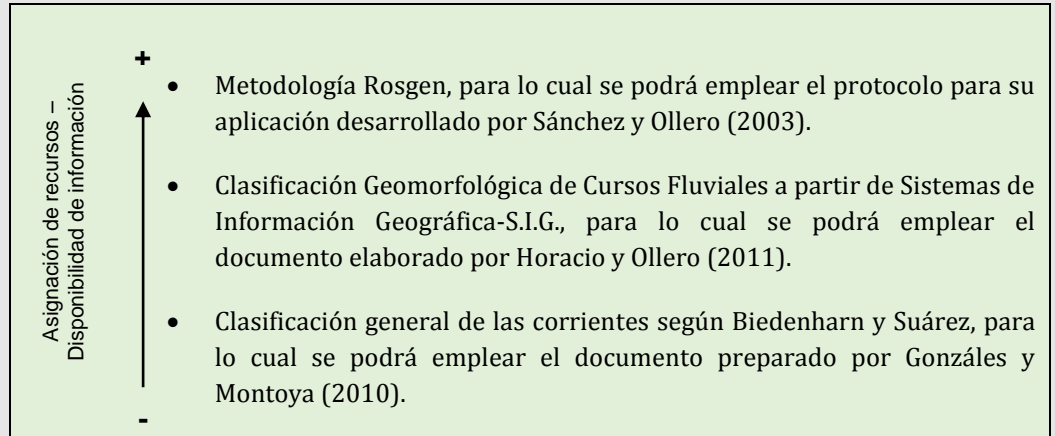
**Tabla 3.** Clasificaciones geomorfológicas de canales naturales

	Unidades Geográficas (Geología, Relieve...)	Morfología Valle o fondo de Valle	Patrón del Canal, sinuosidad	Morfología del Canal	Gradiente	Poder de la Corriente	Tamaño del grano en el fondo del Canal	Carga sedimentaria (tipo y/o intensidad)	Unidades morfoodinámicas	Ajustes Morfoodinámicos	10 <sup>3</sup> y superiores	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>
	Variables										Escala espacial (km <sup>2</sup> )					
Leopold y Wolman (1957)			●										●	●	●	
Rust (1978)			●										●	●	●	
Lotspeich (1980)	●										●	●	●	●		
Cloots y Maire (1980)	●	●	●	●								●	●	●		
Ferguson (1981)			●			●							●	●		
Maire y Wilms (1984)		●	●	●	●		●			●				●	●	
Brussock y otros (1985)	●										●					
Frissel y otros (1986)	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Hugues y otros (1993)	●										●					
Cupp (1989a, b)		●	●										●	●	●	
Agencia del Agua Rhin - Meuse y otros (1991)	●			●	●								●	●	●	
Otto (1991))		●	●		●		●						●	●	●	
Nanson y Croke (1992)		●	●	•		●	●	●		●			●	●		
Corbonnois y Zumstein (1994)	●	●											●	●		
Downs (1994, 1995)	●				●					●			●	●	●	
Rosgen (1994, 1996)		●	●	●	●		●							●	●	●
Petit (1995)			●			●				●			●	●		
Nanson y Knighton (1996)	●	●	●	●	●	●	●			●			●	●		
Bethermont y otros (1996)	●	●	●	●	●				●		●	●	●	●	●	●
Bernot y otros (1996)	●			●	●	●	●						●	●		
AQUASCOP (1997)	●	●	•	•	•	●	•	●			●	●				
•	Variable tomada parcialmente en el muestreo															

Fuente: Kondolf y Piegay (2003)

## Resumen del criterio metodológico “Clasificación geomorfológica en cauces de la zona andina colombiana”

1. Como primer paso se deberá identificar la información disponible así como los recursos económicos asignados para el trabajo de clasificación geomorfológica del cauce.
2. Una vez realizado lo anterior, se definirá la metodología a emplear según el siguiente recuadro y se procederá a su aplicación para obtener la clasificación geomorfológica del cauce.



3. La clasificación geomorfológica del cauce permitirá documentar los estilos fluviales preponderantes y concluir sobre la relación con las diferentes condiciones hidrológicas, geomorfológicas, ecosistémicas y socio-económicas de la corriente hídrica y su cuenca vertiente.
4. A su vez, facilitará análisis comparativos con otras cuencas hidrográficas y direccionará las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para:
  - Planes de manejo ambiental de microcuencas y Planes de manejo de ecosistemas.
  - Planes de ordenamiento del recurso hídrico y planes de saneamiento y manejo de vertimientos (de acuerdo con la morfología del cauce se generan características que facilitan o dificultan la asimilación de la contaminación).
  - Planes de ordenación forestal (permitirá identificar sitios idóneos de la cuenca para el establecimiento de plantaciones forestales protectoras y/o productoras).
  - Expedición de títulos mineros y licencias ambientales para explotación de material de arrastre y Delimitación de rondas hídricas.
  - Planes de ordenamiento territorial (gestión del riesgo, ordenamiento del suelo rural y urbano, clasificación de zonas de extracción de áridos).

## **2.4 Condiciones ecosistémicas de la corriente hídrica**

Las corrientes hídricas en adecuado estado natural pueden presentar alto grado de conectividad con otros ecosistemas como son los bosques terrestres (Elosegi y Sabater, 2009). La presencia de agua abundante sumada a una vegetación diversa que provee de alimento y protección, representa un hábitat ideal para el desarrollo de diferentes ensambles de animales, por lo que diversas especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios e insectos se asientan en el bosque aluvial (Guevara, et al, 2008).

Los ríos con sus riberas y llanuras de inundación tienen diferentes funciones ecosistémicas: realizan función de hábitat puesto que proveen espacios de reproducción, alimentación, refugio y desplazamiento a numerosas especies animales y vegetales; ejecutan función de barrera ya que pueden ser un límite físico natural para la migración o expansión de ciertas especies de fauna y flora. A través de su función de filtro retienen selectivamente nutrientes, sedimentos, organismos y escurrimientos tanto del cauce hacia las orillas y viceversa; desarrollan la función corredor debido a que son conductos predilectos de las especies florísticas y faunísticas que se desplazan para cumplir sus funciones vitales. Tienen función de fuente puesto que en forma continua y extraordinariamente con las avenidas, emiten materia al exterior; finalmente son sumidero, ya que almacenan agua, materia y disipan la energía de las crecientes (FISRWG, 2001; González y García, 2007).

Por lo anterior se deberán considerar los siguientes criterios para la valoración de las condiciones biológicas de una corriente hídrica:

- Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia
- Dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña
- Especies biológicas de importancia en la cuenca y el ecosistema fluvial



### **2.4.1 Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia**

La valoración ambiental de las riberas fluviales es hoy día un tema de gran interés, no solo para el desarrollo científico del funcionamiento ecológico de los ríos, sino también para la gestión de los recursos hídricos, por lo que en términos espaciales dos atributos son particularmente importantes para la ejecución de las funciones ecológicas de estos sistemas: la conectividad y la amplitud de las franjas ribereñas. Debe existir una continuidad longitudinal de la vegetación riparia en el corredor hídrico que haga posible el funcionamiento como hábitat, conectando además diversos ecosistemas a través de la función corredor; asimismo debe existir un ancho suficiente en el corredor de vegetación riparia, que define la calidad de este espacio y capacidad de acogida de caudales líquidos, sólidos y organismos (González, et. al, 2006; González y García, 2007).

Teniendo en cuenta lo anterior, franjas de vegetación riparia muy estrechas y alargadas pueden incrementar el efecto de borde del ecotono y limitar el hábitat y la dispersión de las especies (Elosegi y Sabater, 2009); igualmente se puede interrumpir la función de buffer biológico, facilitando la entrada al río de contaminación difusa (Fernández, et. al, 2009), proveniente de escorrentías agrícolas y/o urbanas. En general, la vegetación riparia regula la cantidad y la calidad del agua, reduce los sedimentos que llegan al cauce, recupera el hábitat para los animales y las interacciones bióticas, restablece corredores biológicos de flora y fauna, aumenta la conectividad y contribuye al mejoramiento estético y visual del entorno (Acero y Cortés, 2014). Así, las variadas funciones ecológicas exhibidas por la vegetación ribereña realzan su utilidad como un excelente indicador en la gestión y planificación territorial, permitiendo su inclusión como elemento clave para la calificación del estado ecológico de los ríos (Fernández, et. al, 2009).

Para determinar la extensión, anchura y continuidad de la vegetación de ribera lo más adecuado es trabajar con un Sistema de Información Geográfica-SIG sobre ortofotografías y/o fotografías aéreas, aunque en caso de no disponer de éstas, se puede cartografiar mediante trabajo de campo y con ayuda de un GPS (Elosegi y Sabater, 2009). Índices como el de Calidad del Bosque de Ribera-QBR, el de Calidad Riparia-RQI o el de Evaluación Forestal Riparia-RFV, exponen en sus metodologías la forma de medir los atributos de continuidad y anchura o dimensión longitudinal y transversal del corredor de vegetación ripario (ACA, 2006; González, et. al, 2006; Magdaleno, et. al, 2010). El Índice QBR ya ha sido adaptado a ríos andinos con

aplicación en cuencas de Ecuador, Perú, Chile y Colombia (Acosta, et. al, 2009; Fernández, et. al, 2009; Arroyave, et. al, 2011).

---

En Colombia según el IDEAM, en el año 1996 existía un área con cobertura ribereña de 3'907.090 hectáreas, equivalente a 3,4% de la superficie total del país (Guevara, et. al, 2008); a su vez, para 1997 se tenía en el compendio del estado aproximado de los biomas existentes en el país, que los bosques aluviales o vegas comprendían un área de 95.000 Km<sup>2</sup>, indicando una pérdida del 20% de la superficie original (MAVDT y QUINAXI, 2007). Estas dimensiones superficiales de los corredores ribereños posiblemente difieran en cuanto a metodologías de cálculo, lo cual podría ocasionar las diferencias observadas entre valores, sin embargo, debido a la carencia de datos disponibles se debió recurrir a estos.

Pese a la importancia ya expuesta de los corredores ribereños y de que en el país se cuente con diferentes protocolos y metodologías de restauración ecosistémica en los que se hace alusión a las áreas de vegetación riparia, aún no se han definido acciones claras y concretas para la recuperación y manejo de estas. Apenas la Metodología para el Acotamiento de las Rondas Hídricas, que es todavía un documento sin publicarse, brinda un aporte significativo en este sentido, pues al delimitarse las rondas que hidrológica, geomorfológica y ecosistémicamente le pertenecen a las corrientes hídricas colombianas, solo quedaría por implementar los procesos de recuperación y/o conservación vegetal.

Desde el ámbito académico-investigativo cabe exponer como ejemplos en el país:

- El análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo en el departamento de Cundinamarca, que realizado mediante aplicación de índices de conectividad y SIG, permitió evidenciar el alto grado de conectividad espacial que presentó la vegetación riparia, determinada por sus formas lineales y de carácter conector del paisaje (Correa, 2008).
- La evaluación del estado del ecosistema ripario del río La Miel en el área de influencia del Embalse Miel I ubicado en el departamento de Caldas, desarrollada mediante la aplicación del Índice de Calidad del Bosque de Ribera-QBR y por ende, teniendo en cuenta la dimensión espacial del corredor (Arroyave et. al, 2011).
- La evaluación de quince (15) quebradas de la cuenca del río La Vieja ubicada en el eje cafetero colombiano, en donde solo cinco (5) de estas tenía vegetación riparia,

permitió demostrar la utilidad de los corredores ribereños en la reducción del impacto negativo del pastoreo en microcuencas, al disminuir el deterioro de la calidad del agua y proveer un hábitat físico más favorable para la fauna acuática (Chará, et. al, 2007).

- Chará, et. al (2011) plantean que el restablecimiento de los corredores ribereños en la zona andina colombiana es una de las medidas más efectivas para la protección de las corrientes hídricas y sus ambientes acuáticos, principalmente ante los impactos generados por los sistemas agropecuarios.

## Resumen del criterio metodológico “Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia en corrientes de la zona andina colombiana”




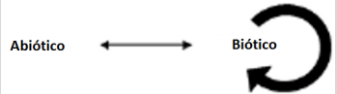
1. Con base en ACA (2006), Gonzáles, et. al (2006) y Magdaleno, et. al (2010), se definieron dos parámetros y sus correspondientes métodos de estimación: Grado de cobertura de la vegetación ribereña y Continuidad longitudinal de la vegetación riparia a lo largo del cauce.
2. Para medir el “Grado de cobertura de la vegetación ribereña” se deberá proceder a lo siguiente. Observar también Bloque 1 Índice QBR (ACA, 2006):
  - Definir el ancho de orilla y el ancho óptimo de ribera. El primero determinando el caudal a banca llena y la ronda hídrica cubierta por éste, lo cual se obtiene considerando un periodo de retorno de 1,5 años y actividades de observación en campo. El segundo, de acuerdo con la disponibilidad de información: superponiendo después de la orilla un ancho de dos veces el caudal a banca llena para ambas márgenes de la corriente; estableciendo según criterios de ACA (2006) un ancho de 20 m a lado y lado del río para cuencas entre 20-200 Km<sup>2</sup> separando de la evaluación a realizar el ancho de la orilla y por último, teniendo en cuenta lo establecido en el marco de la delimitación de las rondas hídricas (metodología adoptada a nivel nacional u otra metodología regional adoptada temporalmente por la AAC).
  - Acceder a fotografías aéreas u otras tecnologías de información geográfica que permitan visualizar la cobertura riparia de la corriente hídrica en estudio.
  - Medir a través de SIG las áreas que tienen vegetación riparia y establecer porcentaje de cobertura según el área total óptima previamente definida.
3. Para medir la “Continuidad longitudinal de la vegetación riparia a lo largo del cauce” en ambas márgenes se deberá proceder a lo siguiente:
  - Acceder a fotografías aéreas u otras tecnologías de información geográfica que permitan visualizar la cobertura riparia de la corriente hídrica en estudio.
  - Medir la longitud de los tramos de la corriente hídrica que tienen cobertura ribereña, con el fin de establecer el porcentaje de continuidad según longitud total del cauce. No se considerará una discontinuidad la inexistencia de vegetación riparia como consecuencia de un sustrato rocoso en las riberas o la presencia de afluentes o canales secundarios en el cauce.
4. La obtención de información sobre dimensión espacial del corredor de vegetación riparia, direccionará las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (permitirá identificar los sitios que requieren la recuperación de la vegetación riparia), Delimitación de rondas hídricas y Planes de ordenamiento territorial (delimitación de zonas de conservación, recuperación y ocupación con restricciones).

## **2.4.2 Dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña**

La dinámica de sucesión vegetal presente en el corredor de vegetación ribereña es de gran importancia porque introduce una dimensión temporal en la evolución de las comunidades biológicas. Teniendo en cuenta la interrelación constante entre los elementos bióticos y abióticos que se da en un ecosistema fluvial, se recomienda acoger el concepto de sucesión biogeomorfológica, propuesto con el fin de otorgar mayor comprensión a los procesos que se desarrollan en una corriente hídrica, los cuales son de carácter estocástico, no predecibles y fuertemente dependientes del régimen de caudales líquidos y sólidos propios; lo anterior, en contraste a la visión clásica de la sucesión vegetal, que implica un proceso simplificado y altamente predecible, donde se espera que las comunidades vegetales converjan linealmente hacia un estado final estable denominado el clímax.

Así las cosas, se deberá revisar en qué fase de la sucesión biogeomorfológica se puede encontrar el curso hídrico: fase geomorfológica, fase de vegetación pionera, fase biogeomorfológica o fase ecológica (Ver Tabla 4). La distribución espacial de las comunidades de vegetación riparia y su composición específica es controlada en gran medida por la frecuencia, duración, intensidad y temporalidad de las inundaciones; mientras que los regímenes de bajos caudales y de mayor frecuencia, intervienen principalmente en la composición de las barras aluviales y el mantenimiento de las demás comunidades existentes en el corredor ribereño (Corenblit, et. al, 2007). Los índices RQI y RFV también evalúan los procesos de regeneración natural en las riberas, el segundo, incluso incorporando aspectos hidrogeomorfológicos de gran importancia como lo es el caudal a banca llena o caudal formador del cauce (González, et. al, 2006; Magdaleno, et. al, 2010).

**Tabla 4.** Fases de sucesión biogeomorfológica en corredores ribereños

Fase biogeomorfológica	Principales procesos bióticos y abióticos	Duración del proceso	Estructura de las interacciones
(1) Geomorfológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción total de la vegetación</li> <li>• Dispersión de esporas y semillas</li> <li>• Erosión del paisaje fluvial</li> <li>• Depositación transitoria en el canal o formación de barras aluviales</li> </ul>	De unas pocas horas a unos pocos meses tras la inundación	
(2) Pionera	Establecimiento de vegetación pionera en las barras de sedimentos	De unas pocas horas a unos pocos meses	
(3) Biogeomorfológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de vegetación</li> <li>• Sucesión alogénica secundaria</li> <li>• Formas fluviales vegetadas (bancas, islas, llanura de inundación)</li> </ul>	De unos pocos meses a unas pocas décadas	
(4) Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sucesión vegetal autóctona</li> <li>• Estabilización de la vegetación fluvial y desconexión de los disturbios hidrogeomorfológicos</li> </ul>	De unas pocas décadas a unas pocas centurias	

*Fuente:* Corenblit et. al (2007)

La estructura de los ecosistemas fluviales está ligada entre otros aspectos de índole hidrogeomorfológica, a la diversidad de hábitats y distintas comunidades biológicas que se establecen en los mismos (Elosegi y Sabater, 2009), la vegetación ribereña presenta un mosaico heterogéneo de microhábitats donde la composición de especies es distintiva (Gutiérrez, et. al, 2010). En este sentido, en el marco de la estructura y composición de la vegetación ribereña se valora qué hay dentro de ésta y cuáles son las características de la cubierta vegetal existente, lo cual debe estar relacionado con las condiciones de referencia o de la vegetación potencial que corresponde al río en estudio, según las características hidrológicas, geomorfológicas y de región biogeográfica en que se ubica (González, et. al, 2006), así como los porcentajes de árboles y arbustos presentes en el corredor ribereño y la disposición espacial de los diferentes estratos de vegetación que se tienen (ACA, 2006).

La vegetación existente en las áreas de ribera de los cuerpos de agua cumple con diversas funciones ambientales y sociales como la regulación hídrica, el mejoramiento de la calidad del agua, la conservación de los suelos, la preservación de la biodiversidad y la oferta de productos como leña, madera y alimento para la comunidad asentada en las áreas aledañas. El cumplimiento de estas funciones se relaciona con el ancho de la franja de retiro y las características de las plantas asociadas a estas áreas (Arroyave, et. al, 2011).

Los Índices QBR, RQI y RVF exponen en sus metodologías diferentes formas de medir la estructura y composición de la vegetación riparia (ACA, 2006; González, et. al, 2006; Magdaleno, et. al, 2010). Del mismo modo, el Índice de Vegetación Fluvial-IVF incorpora inventarios de hidrófitas, franjas de vegetación leñosa autóctona, unidades de vegetación, especies e individuos, integrando información florística de mayor detalle (ACA, 2006; Magdaleno, et. al, 2010).

También se recomiendan métodos tradicionales como la selección de parcelas de muestreo para determinar el número de estratos de vegetación que se observan, medición de altura y DAP de árboles dominantes, identificación de especies, cálculo de área basimétrica como indicador de densidad de arbolado y revisión de la abundancia de plántulas de árboles. A su vez se debe evaluar la capacidad de aportar sombra, pues esta se relaciona directamente con la continuidad y porte de la vegetación de ribera, así como con la generación de microclimas benéficos para la ecología del lugar, la obstaculización de la luz solar para los procesos fotosintéticos (Elosegi y Sabater, 2009) y la disminución de la temperatura del agua, a su vez importante en la disolución del oxígeno o el aumento de concentración de sales.

---

En Colombia si bien no existen planes, protocolos y/ o metodologías desarrolladas por las entidades oficiales para evaluar la dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña, si se han generado otros documentos para guiar procesos de restauración ecológica, los cuales incluyen a los corredores riparios. Tal es el caso del “Protocolo Distrital de Restauración Ecológica” de la ciudad de Bogotá, que expone diferentes tipos de tratamiento de restauración entre los que cabe resaltar los dirigidos a nacimientos de agua, microcuencas abastecedoras y cordones protectores de márgenes de ríos y quebradas (DAMA Santa Fé de Bogotá D.C, 2000); la “Guía Metodológica de Restauración de Ecosistemas a partir del Manejo de la Vegetación”, que es visualizada como herramienta para que los

técnicos de las Corporaciones Autónomas Regionales, profesionales independientes y académicos, pongan en marcha los propósitos del Gobierno y del Plan Nacional de Desarrollo Forestal-PNDF relacionados con la reforestación protectora y la restauración ecológica, exponiendo en el documento aspectos conceptuales, de planificación, de ejecución y de monitoreo para proyectos de este tipo, además se da un ejemplo práctico de lo que sería un proyecto de restauración vegetal en una Reserva Municipal del departamento de Boyacá, incluyendo entre otros aspectos, las márgenes de quebradas (MAVDT, 2003).

La “Guía Técnica para la Restauración de Áreas de Ronda y Nacederos en el Distrito Capital” busca servir como instrumento metodológico para que cualquier usuario comunitario o institucional pueda abordar la formulación, ejecución, seguimiento y monitoreo de proyectos de restauración ecológica asociada al recurso hídrico; dicha guía propone modelos de restauración de áreas de ronda con presencia de agricultura, pastoreo, erosión superficial, expansión urbana y restauración de nacimientos, teniendo en cuenta análisis ambientales preliminares, elaboración de diseños florísticos y procesos de seguimiento, además, se anexan las fichas técnicas de las especies vegetales recomendadas para la restauración (DAMA Santa Fé de Bogotá D.C, 2000).

El documento “Oportunidades para la conservación de la biodiversidad local: Conectividad ecológica en la zona urbano-rural de la localidad de Suba, Bogotá D.C.” presenta diagramas de siembra y especies sugeridas para restauración de corredores riparios, recuperación de nacimientos y zonas de ronda (Ramírez, et al, 2008). Las “Guías Técnicas para la Restauración Ecológica de Ecosistemas”, orientan sobre la restauración de ecosistemas de agua dulce a través de una secuencia de pasos que incluye aspectos hidrológicos, geomorfológicos y biológicos, además se recomiendan técnicas para la restauración de la estructura física de los bancos de los ríos (MAVDT y ACCEFYN, 2010).

El “Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas” elaborado en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 y como parte de la iniciativa de una política nacional de restauración de ecosistemas, tiene como fin encaminar acciones de restauración de las zonas disturbadas por los sectores de infraestructura, agro, vivienda, innovación, minería y otras causas de degradación ecológica; con dicho plan se espera lograr que desde los instrumentos de planificación a nivel regional y local se incorporen las áreas para restauración, tomando como base para la articulación los POMCA, POT, planes de ordenación forestal, PAT, PGAR, planes de gestión ambiental sectorial



y planes de desarrollo. Igualmente se plantea que el sector académico se articule, brindando información base, insumos y recomendaciones para las futuras experiencias piloto, programándolas dentro de sus planes, programas y estrategias internas de gestión, además considera pertinente que en la priorización local, los proyectos incluyan consideraciones ambientales, particularidades y necesidades regionales vinculando a centros e institutos de investigación del ámbito regional (MADS, 2012b).

Con relación a los aportes académico-investigativos en el país, diferentes autores han reconocido la importancia de los ecosistemas fluviales y su vegetación riparia, por ejemplo en proyectos de restauración ecológica de riberas se identificaron y propagaron especies nativas encontradas en el río La Vega departamento de Boyacá, encontrándose la técnica de rescate de plántulas como la más efectiva (Acero y Cortés, 2014). En el estudio “Biodiversidad en el área de influencia de la Estación Primates de Colosó en el departamento de Sucre”, se hace referencia a la vegetación riparia de los arroyos aledaños, la caracterización de estratos florísticos y el perfil diagramático del bosque ripícola (Galván, et. al, 2009).

En la caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo en el departamento de Cundinamarca, realizada mediante muestreo de vegetación para evaluar parámetros estructurales como altura, cobertura y diámetro, se encontró que los bosques ribereños son la formación que más aporta a la riqueza vegetal, se resaltó además que este tipo de ecosistemas es fundamental para mantener la conectividad de la estructura ecológica principal de Bogotá y de la región, por lo que se debía dar prioridad a su conservación, al monitoreo de su diversidad y al aumento de su superficie con procedimientos de restauración ecológica activa y pasiva (Cortés, 2008).

En el departamento de Magdalena mediante muestreo de parcelas en tres estaciones, cada una en cuenca alta, media y baja del río Gaira, se intentó lograr una aproximación al conocimiento de la composición florística del bosque ribereño (Gutiérrez, et. al, 2010). En el departamento de Caldas se evaluó el estado del ecosistema ripario del río La Miel en el área de influencia del Embalse Miel I, para conocer la estructura y composición de las especies florísticas estableciendo tres parcelas de muestreo y así calcular el Índice de Valor de Importancia-IVI de cada especie (Arroyave et. al, 2011).

## **Resumen del criterio metodológico “Dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña en corrientes de la zona andina colombiana”**

1. Se deberá compilar y analizar la información secundaria existente sobre la estructura y composición de la vegetación riparia de la corriente hídrica en estudio.
2. Una vez se haya hecho lo anterior, se deberá planificar y ejecutar el trabajo de campo necesario para complementar la información que se debe obtener:
  - Observación general de las márgenes ribereñas para identificar la estructura de la vegetación, la fase de sucesión biogeomorfológica y la capacidad de aportar sombra; se deberán documentar todas las características distintivas y/o representativas de la cuenca alta, media y baja. De ser posible se podrá hacer uso de fotografías aéreas que puedan ayudar al análisis, se puede revisar la técnica de medición de cobertura mediante fotos cenitales, recomendada por Elosegí y Sabater (2009) para medir la capacidad de aportar sombra y el Bloque 2 del Índice QBR u otra metodología idónea para identificar la estratificación vegetal.
  - Previa definición de la ubicación de las parcelas de muestreo de tal manera que sean representativas de la cuenca alta, media y baja, se deberá realizar el inventario de la vegetación existente en estas para determinar su composición, a partir de la información obtenida se podrán calcular los índices y/o indicadores que permitan generar conclusiones al respecto; como bosque de ribera se entenderá la existencia de taxones arbóreos o arbustivos autóctonos y no la presencia de taxones de herbáceas (Magdaleno, et. al, 2010). Dichas parcelas se emplearán también para el muestreo de fauna que se deberá realizar en el marco del siguiente criterio de las condiciones ecosistémicas, sobre lo cual se detallará más adelante.
3. La obtención de información sobre dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña, direccionará las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (permitirá identificar los sitios que requieren la recuperación de la vegetación riparia), Delimitación de rondas hídricas y Planes de ordenamiento territorial (delimitación de zonas de conservación, recuperación y ocupación con restricciones).

### **2.4.3 Especies biológicas de importancia en la cuenca y ecosistema fluvial**

Las especies son la piedra angular de la biodiversidad pues proveen servicios esenciales como lo son comida, combustible, ropa y medicina, pero a su vez contribuyen a la purificación del agua y el aire, prevención de procesos erosivos, regulación del clima y polinización de cultivos; en este sentido, proveen recursos vitales para el desarrollo de actividades económicas como el turismo, la pesca y la silvicultura, además que tienen significado cultural, estético y espiritual. En consecuencia, la pérdida de especies disminuye la calidad de vida y la seguridad económica básica.

Dado que los esfuerzos en la biología de conservación se han orientado a las especies, ya que éstas son más fáciles de identificar y categorizar que los ecosistemas y de medir que los genes, proporcionando así indicadores más útiles del estado y pérdida de biodiversidad, las especies han sido ampliamente estudiadas por más de dos siglos y hay una cantidad considerable de información dispersa en todo el mundo, la cual una vez compilada y estandarizada puede ser usada para desarrollar estrategias que hagan frente a la actual crisis de extinción (Vié, et. al, 2008).

Los ríos y sus márgenes albergan buena parte de la biodiversidad del mundo, así como algunas de las zonas de mayor productividad biológica; albergan cerca del 20% de los peces y en general unas 126.000 especies de flora y fauna, entre los que caben reptiles, anfibios, aves, mamíferos, plantas y un significativo número de invertebrados -60.000 especies- (Vié, et. al, 2008; Elozegi y Sabater, 2009; Gutiérrez, et. al, 2012). Sin embargo, una medida completa del estado del corredor fluvial o incluso un censo completo de todas las especies presentes es inviable; por lo tanto, unos buenos indicadores de la condición de este ecosistema deben poder sintetizar la salud de éste sin tener que hacer mediciones para la totalidad del mismo (FISRWG, 2001).

En Latinoamérica se presenta una constante degradación de los ecosistemas lóticos por el aumento de la explotación del recurso y la contaminación de las aguas, lo que conlleva la consecuente pérdida de una biodiversidad antes de ser conocida (Acosta, et. al, 2009); a nivel global las incipientes investigaciones con que se cuenta indican que en los ecosistemas fluviales puede haber mayor número de especies amenazadas en comparación con otros ecosistemas (Vié, et. al, 2008). En lo referente a especies introducidas o exóticas se tiene el

ejemplo de Europa, donde el 69% de las especies acuáticas que se han establecido tienen impactos ecológicos y cerca del 24,3% causan pérdidas económicas (Gutiérrez, et. al, 2012); además, en hábitats de agua dulce la introducción de especies es la segunda causa de extinción de las autóctonas (MADS, 2012b)

Reconocer las especies biológicas de importancia en el ecosistema fluvial es de gran relevancia, pues con el fin de evitar y mitigar los principales impactos negativos sobre éstas se debe contar con información sobre el estado, distribución y valor de la biodiversidad. Asimismo, las especies de agua dulce requieren ser objeto de conservación y no solo de consumo humano, la necesidad de conservación de la biodiversidad de estos ecosistemas necesita hacerse más visible y abierta al público, puesto que los ecosistemas fluviales son únicos por sus altos niveles de conectividad y habilidad para transportar biota de manera rápida y amplia; por ende, las áreas protegidas deben ser mejor diseñadas para protegerlos, ya que la mayoría a excepción de los sitios Ramsar, son diseñadas para protección de la fauna terrestre y escasamente involucran los ríos y lagos como límites de las mismas (Vié, et. al, 2008).

A raíz de la importancia de los sistemas fluviales para mantener la integridad biológica, ya que tanto el cauce como la zona de ribera y la llanura de inundación son elementos indispensables para funcionamiento ecosistémico (Elosegi y Sabater, 2009), se ha empezado a plantear que no solo se debe buscar la protección de las especies de fauna y flora, sino también de los hábitats donde viven, otorgándole con esto mayor relevancia a los elementos abióticos de los ecosistemas fluviales tratando de conservar los procesos hidrogeomorfológicos, de los cuales dependen los organismos, en su estado más natural posible o restaurarlos en el caso que estén degradados (Sánchez y Ollero, 2003; Ollero y García, 2007).

En general, el manejo de los recursos hídricos debe tener en cuenta los requerimientos de la biodiversidad, por ejemplo el mantenimiento del régimen de caudales ambientales (Vié, et. al, 2008). La conservación de los ecosistemas de agua dulce necesita reconocer la dualidad e incluso competitividad existente entre objetivos sociales y ecológicos, por tal motivo desde la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza-UICN se ha propuesto una metodología de “Manejo Adaptativo Estratégico”, SAM por sus siglas en inglés, con el fin de guiar una conservación efectiva de estos ecosistemas (Kingsford y Biggs, 2012), abriendo paso con ello a su integración dentro de categorías de áreas protegidas.

Como herramientas metodológicas para medir la biodiversidad en un ecosistema fluvial, se pueden emplear las citadas por Becerra (2003), las cuales se nombran a continuación:

- A nivel de población-especie:
  - Índice de abundancia
  - Índice de distribución
- A nivel comunidad-ecosistema:
  - Índice de diversidad
  - Índice de riqueza de especies
  - Proporción de especies endémicas, amenazadas y en peligro de extinción
  - Tipos de hábitat (lagos, lagunas, pantanos, bosques, etc.)
  - Proporción de área de bosque natural, bosque secundario, claros y plantaciones.
  - Extensión de factores de perturbación (por ejemplo fuegos).
  - Abundancia y densidad de elementos estructurales (camino, casas, otros).

---

Colombia ocupa respecto a riqueza de especies y dentro de los 14 países catalogados como megadiversos, el 4to lugar en diversidad de plantas, 5to en mamíferos, 1ro en aves, 3ro en reptiles, 2do en anfibios, 2do en peces dulceacuícolas y 2do en mariposas. No obstante, se tienen amenazadas 1178 especies de plantas, 43 de mamíferos, 112 de aves, 35 de reptiles, 48 de anfibios, 43 de peces dulceacuícolas y 10 de mariposas, por nombrar algunos grupos; de estas especies apenas un 26% se encuentran en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia y un 14% están en red de reservas de la Sociedad Civil y municipales (Andrade, 2011).

En el país la mayoría de los ecosistemas acuáticos se encuentran seriamente alterados debido a la contaminación, la deforestación para expandir la frontera agropecuaria y urbana, el represamiento de las aguas que interrumpe las vías de los peces migratorios, la sobrepesca, la introducción y expansión de especies invasoras, la sedimentación y la minería; estas amenazas llegan a sobrepasar los umbrales de perturbación y vulneran el mantenimiento de los procesos ecológicos (Lasso y Morales, 2011; Guerra, et. al, 2013). Respecto a recursos hidrobiológicos continentales en el país, Gutiérrez et. al (2010) dice que no existe un inventario nacional, por tanto nombra algunas especies de peces, reptiles, anfibios, aves y mamíferos de acuerdo con la información disponible, discriminando en ciertos casos su origen marino o continental;

asimismo plantea que pese a la categorización de 45 especies de peces dulceacuícolas en diferentes grados de amenaza, no se han diseñado planes de manejo o de recuperación de sus poblaciones por parte de las autoridades gubernamentales.

La “Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos” reconoce la contaminación hídrica así como el represamiento y cambios en los cursos de agua como motores de transformación y pérdida de biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos asociados. En cuanto a los recursos hidrobiológicos destaca que no hay una línea de acción y base de información clara, siendo necesario implementar medidas de ordenación drásticas que orienten la conservación de las especies en el tiempo y espacio, por lo tanto, proyecta como una de las actividades priorizadas a ejecutar en el corto plazo (año 2014), la formulación de la política nacional de recursos hidrobiológicos (MADS, 2012a).

Pese a que no se han diseñado políticas y/o planes encaminados a la conservación y adecuado manejo de los recursos hidrobiológicos, como parte de la línea de investigación sobre biodiversidad acuática continental que se viene desarrollando desde el año 2010 en el IAvH, se han generado diferentes publicaciones que contribuyen al diagnóstico del estado actual, a saber:

- Diagnóstico de la pesca ornamental, en donde se habla que Colombia en conjunto con Brasil y Perú abastecen el 15% de la producción mundial de peces de acuario con 430 especies, con un tipo de pesca artesanal que en su mayoría la ejercen personas que tienen bajo nivel económico (Ajiaco, et. al, 2012).
- Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y transplantada, que define 40 especies entre moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves (Gutiérrez, et. al, 2012).
- Catálogo de los recursos pesqueros continentales, presentando 173 especies aprovechadas y utilizadas para el consumo, no solo por su interés comercial sino también debido a que son fundamentales para la seguridad alimentaria y la subsistencia, en aquellas zonas donde son el principal recurso proteico y sustento laboral (Lasso y Morales, 2011; Lasso, et. al, 2011).
- Biología y conservación de las tortugas continentales, en donde se expone que Colombia es el séptimo país en el mundo en riqueza de tortugas continentales y el segundo en Suramérica después de Brasil; además, de las 27 especies existentes en el país y distribuidas por todo su territorio, 11 de ellas (40%) se encuentran en peligro de extinción, teniendo como principales amenazas la sobre-explotación para consumo

de su carne y huevos, la pérdida y alteración del hábitat y la colecta para el comercio de mascotas (Páez, et. al, 2012).

- Documento sobre rayas de agua dulce de Suramérica, contando 11 especies para Colombia que son objeto de pesquería comercial con fin alimenticio y ornamental; igualmente, en el marco de la pesca de subsistencia por parte de las comunidades indígenas e incluso rurales en toda su área de distribución, es de resaltar que estas especies también son importantes para la salud pública a causa de los accidentes ocasionados por las picaduras (Lasso, et. al, 2013).

Los peces dulceacuícolas con cerca de 1450 especies, reflejan los altos grados de alteración antrópica en muchas de las cuencas del país, manteniéndose en esta última década las amenazas sobre estos, incluso de manera intensificada, tales como: deforestación, contaminación, desecación de ciénagas y sobrepesca. La conservación de estas especies es prioritaria, no sólo por el papel que desempeña en la diversidad, sino también por su importancia socioeconómica para una amplia porción de población pobre del país; la cuenca Magdalena por ejemplo, registra un descenso cercano al 90% de las capturas en el lapso de los últimos 40 años, pasando de 80.000 toneladas anuales en la década de 1970 a menos de 10.000 a finales del siglo pasado. Adicional a las amenazas antes citadas, se tiene el desarrollo urbano y densidad poblacional, la fragmentación de hábitat por represas y la regulación del régimen de caudales, sin que a pesar de las condiciones antes reportadas, se cuente con áreas protegidas que incluyan a los peces dulceacuícolas entre sus objetos de conservación y aprovechamiento sostenible (Mojica, et. al, 2012).

En lo que tiene que ver con mamíferos acuáticos, se han registrado en Colombia 40 especies (incluyendo ecosistemas de agua dulce y salada) que representan cerca del 40% de las especies reportadas en el mundo, pero presentan amenazas similares a las de otros países suramericanos como las pesquerías y degradación del hábitat; por lo anterior se tiene gran responsabilidad en la promoción de iniciativas de manejo y conservación a escalas local, nacional y regional, pues si bien se ha avanzado en la investigación y conservación de estas especies, aún falta conocimiento por obtener y existen zonas geográficas no evaluadas. Como especies de la región andina en categoría de amenaza se tiene el manatí *Trichechus manatus* (En Peligro) y la nutria neotropical *Lontra longicaudis* (Vulnerable) (Trujillo, et. al, 2013).

De otro lado, se tienen las amenazas por especies exóticas invasoras, las cuales son a menudo más peligrosas en los corredores fluviales que en otros ecosistemas; las cuencas hidrográficas con mayor número de especies ícticas introducidas y trasplantadas fueron: el medio Cauca con 90, el alto Cauca con 89 y el medio Magdalena con 80. Por departamentos y considerando especies introducidas y trasplantadas, el Valle del Cauca poseía 91 especies de 27 familias, Caldas 76 especies de diez familias y Antioquia 72 especies de doce familias (Gutiérrez, et. al, 2012).

En lo referente a aves la mayor parte de las especies amenazadas se encuentran en las regiones andinas y montañas, en algunos casos esta situación es irreversible, como es el caso de *Podiceps andinus*, un zambullidor endémico de los humedales de la cordillera Oriental que se extinguió como consecuencia de los efectos combinados de la cacería, la degradación de los lagos altoandinos que habitaba y la introducción de peces exóticos con fines recreativos. Así las cosas, cualquier política de conservación que pase por alto una adecuada protección de los hábitats y en algunos casos la restauración de los mismos, también está destinada a tener un beneficio marginal en la conservación de la avifauna colombiana (Renjifo, et. al, 2002).

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, tal como plantea Gutiérrez (2010) se necesita de manera urgente un plan nacional de manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos que considere la implementación de zonas de manejo especial (reservas ecológicas, uso exclusivo de pesca artesanal y áreas de exportación de energía biológica), el desarrollo de estudios de dinámica poblacional de los recursos hidrobiológicos, así como el desarrollo social de las comunidades y la optimización de sus posibilidades económicas. No puede haber manejo de las especies si no existe una gestión de los espacios que las albergan, por ejemplo la conservación de los ecosistemas fluviales (Andrade y Castro, 2012).



### **Resumen del criterio metodológico “Especies biológicas de importancia en los ecosistemas fluviales de la zona andina colombiana”**

1. Se deberá compilar y analizar la información secundaria existente sobre especies de flora y fauna de importancia en la corriente hídrica en estudio.
2. Se deberá planificar y ejecutar el trabajo de campo que permita complementar la información. Empleando las parcelas de muestreo previamente seleccionadas para inventariar la composición de la vegetación riparia, se procederá a realizar un muestreo de la fauna asociada a esta zona; asimismo, se deberá muestrear la ictiofauna existente.
3. Una vez se tengan los listados de las especies faunísticas y florísticas identificadas en el ecosistema fluvial, se deberán categorizar según los siguientes criterios:
  - Especies autóctonas y alóctonas
  - Especies con categoría de amenaza
  - Tipos de hábitat (humedales, bosques, corriente hídrica como tal)
  - Índice de distribución
  - Índice de valor de importancia
4. Como análisis generales del ecosistema fluvial se estimarán los índices de diversidad y riqueza de especies.
5. La obtención de información sobre especies biológicas de importancia en el ecosistema fluvial, direccionará las acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (permitirá identificar los sitios que requieren la recuperación de la vegetación riparia), Delimitación de rondas hídricas y Planes de ordenamiento territorial (delimitación de zonas de conservación, recuperación y ocupación con restricciones).

## **2.5 Condiciones socio-culturales de la cuenca vertiente**

El objetivo de evaluar las condiciones socio-culturales de la cuenca vertiente parte del enfoque interdisciplinario que busca conocer “la problemática ambiental” a una escala territorial determinada, en este caso la cuenca hidrográfica. Dicho enfoque sugiere el reconocimiento de tres aspectos fundamentales:

- Los problemas ambientales puntuales o aquellas manifestaciones de la problemática ambiental que se dan desde las dimensiones biofísicas, evidenciándose generalmente en procesos de degradación de los recursos naturales (agua, suelo, aire, paisaje).
- Las causas estructurales de la problemática ambiental que, desde el corazón de la cultura, dan cuenta de la desarticulación sociedad-naturaleza y originadas en un contexto superior a cualquier área de estudio (ciudad, barrio, cuenca), se han encontrado predeterminadas históricamente por factores religiosos, políticos, económicos y científico-tecnológicos.
- Los problemas socio-ambientales, como aquellos que surgen directamente de la relación de alianza o de conflicto entre los diferentes agentes sociales involucrados con el territorio, desde donde se pueden leer las pugnas e intereses frente a los procesos de inclusión y exclusión social (Díaz, 2007; Cubillos, 2010; Cubillos, 2014a; Cubillos, 2014b).

En este contexto, es de aclarar que los problemas ambientales puntuales se identificarían a partir de la evaluación de las condiciones hidrológicas, geomorfológicas y biológicas de la corriente hídrica y su cuenca vertiente. Pero las causas estructurales de la problemática ambiental y los problemas socio-ambientales entre los diferentes agentes sociales involucrados, se identificarían mediante la valoración de las condiciones socio-culturales de la cuenca vertiente.

Díaz (2007) reconoce la presión demográfica, los procesos de desarrollo, la planificación y control por parte de las entidades gubernamentales, la ocupación y especulación de la tierra, el déficit de vivienda y el acceso a recursos, como las principales causalidades de la problemática ambiental urbana. Asimismo, expone que las dificultades que afronta la problemática ambiental en Colombia radican en que las políticas ambientales siguen ligadas a

las premisas neoliberales con la objetivización de la naturaleza como recurso, el “optimismo tecnológico” sin integrar las soluciones a las raíces sociales y económicas, las deficiencias presupuestales de los entes territoriales y entidades descentralizadas y la baja capacidad técnica e investigativa de los agentes vinculados.

Según Franco (2011a) usualmente se considera que el deterioro de los ecosistemas hídricos comenzó a incrementarse a partir de los años 50 debido a:

- Gran ocupación y transformación del paisaje, como resultado del crecimiento explosivo de la población humana.
- Los severos cambios en los usos del suelo y el empleo de grandes volúmenes de agua, dada la expansión agrícola y urbana.
- La construcción de canales, presas y reservorios, con el objeto de regadío de cultivos y/o propósitos eléctricos, resultado de la gran demanda para comida y energía.
- La contaminación de diferente naturaleza y el incremento de los riesgos ligados al agua, consecuencia de la gran producción de bienes y servicios y el acelerado cambio inducido al ambiente.

Así, la valoración ambiental de una corriente hídrica no debe limitarse solo a los estudios de sus características hidrológicas, geomorfológicas y biológicas, sino también incluir aspectos de carácter histórico, sociocultural y económico, los cuales contribuyen a conocer el estado actual del río e influir en su restauración (Franco, 2012a). El análisis socio-cultural de la cuenca vertiente permitirá valorar el tipo de presiones que están actuando sobre el río y predecir de alguna manera cuál va a ser la tendencia esperada en la evolución de su calidad ambiental (González y García, 2007), por ello se recomiendan los siguientes aspectos como mínimos a evaluar:

- Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial
- Poblamiento de la cuenca
- Coberturas y usos de la tierra en la cuenca vertiente
- Usos del agua y demandas previstas
- Agentes sociales en la cuenca hidrográfica

## **2.5.1 Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial**

El concepto de desarrollo ha tenido diferentes orientaciones a lo largo del tiempo; hasta antes de la crisis internacional de la década del 30 los países latinoamericanos se concentraban en su crecimiento económico con base en la expansión de sus exportaciones y así continuaron después de la ruptura ocasionada por la Gran Depresión, pero con la variante de que debieron desarrollar la producción interna, pues las importaciones ya no abastecían los bienes y servicios que se requerían para una población cada vez más creciente.

Este crecimiento interno necesitó crear condiciones de todo orden que condujeran a una nueva estructura productiva —desde las inversiones en infraestructura que proveerían el capital social básico, hasta las políticas de estímulo y protección a la producción nacional—, por lo que se hizo imprescindible la participación del estado para orientar la actividad económica. No obstante, estas funciones del gobierno se dieron con cierta inorganicidad, generándose algunos desequilibrios que significaron un uso ineficiente de recursos y un ritmo de crecimiento menor al que podía esperarse, por lo que se fue afirmando la necesidad de dar mayor coherencia a estos procesos, siendo los sistemas de planificación y planes de desarrollo estatal los medios que podían dar una solución.

Así, en la Carta de Punta del Este de agosto de 1961 los gobiernos de América Latina decidieron adoptar medidas que condujeran a un mayor ritmo de crecimiento y orientar su acción mediante la planificación, condicionando la formulación de los planes de desarrollo a la cooperación financiera internacional que permitiera complementar el esfuerzo realizado. Para este periodo los países estaban experimentando un fuerte crecimiento demográfico con la tasa de crecimiento más alta del mundo, acompañado de un fenómeno de éxodo rural, por lo que surgió la necesidad de asignar ingentes recursos a mejorar la infraestructura urbana y llevar a cabo amplios programas de mejoramiento social (en sectores como salud, vivienda, educación y reformas tributaria y agraria), intento no logrado plenamente y que se tradujo en numerosos tipos de déficit en viviendas urbanas, electrificación domiciliaria, previsión de agua potable y otros servicios (Martner y Máttar, 2012).

Hacia el final de la década de los 60 ya se muestran ciertas preocupaciones por el deterioro ambiental generado por el proceso de desarrollo, especialmente en los círculos académicos; en el ámbito político, la economía y la naturaleza todavía eran concebidas como factores independientes. En 1972 se celebra la Conferencia de Naciones Unidas en Estocolmo en donde

se plantea por primera vez la problemática ambiental en su conjunto, dejando claro que “lo ambiental” no era un movimiento únicamente conservacionista, sino que poseía un carácter político y social; tras las posiciones adoptadas por los países subdesarrollados se establece una clara diferencia entre la problemática ambiental de éstos y los países industrializados, teniéndose para los primeros un problema fundamental como la pobreza rural y urbana y más que hablar de calidad de vida se trataba de supervivencia, por lo que pese a la degradación ambiental que se venía observando se debía continuar con las tendencias del desarrollo para poder alcanzar los niveles de vida perseguidos.

Fue solo en 1985 cuando se habló del concepto de “Desarrollo Sostenible” al emitirse el Informe Brundtland denominado “Nuestro Futuro Común”, el cual aunque incluyó aspectos de equidad intra e intergeneracional para hacer que el desarrollo fuera viable desde la perspectiva ambiental, no modificó los patrones de crecimiento económico (Díaz, 2007), dados a expensas del aprovechamiento irracional de los bienes y servicios ecosistémicos y de la desigual distribución de la riqueza monetaria.

Posteriormente, se dieron otros eventos mundiales sobre medio ambiente y desarrollo: en Río de Janeiro en 1992, Johannesburgo en 2002 y nuevamente Río de Janeiro en 2012; el primero conocido más comúnmente como “Cumbre de la Tierra” institucionalizó el concepto de “Desarrollo Sostenible” y generó la Agenda 21 que fijó las metas ambientales y de desarrollo para el siglo XXI, la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo que adoptó los derechos y deberes de los estados, por último los Convenios Internacionales sobre la Diversidad Biológica, Lucha contra la Desertificación y Cambio Climático; los dos eventos seguidos a Río 92 se enfocaron principalmente en hacer seguimiento a la Agenda 21. A grandes rasgos, es la década de los 90 la que sorprende las agendas políticas internacionales con los nuevos retos ambientales como respuesta, entre otros aspectos, a la presión de los movimientos ambientalistas mundiales y al reconocimiento de los grandes problemas ambientales globales (Cubillos, 2014b).

Si bien desde el ámbito principalmente académico se ha encontrado evidencia que refuta la creencia de considerar el crecimiento económico como el indicador fundamental de la medición del desarrollo, presentando y promoviendo otros enfoques del discurso como el desarrollo sostenible, desarrollo a escala humana, desarrollo humano y desarrollo libertario, los cuales también incorporan la distribución y re-distribución de la riqueza como mecanismo de equidad, el cuidado del medio ambiente, el fomento a la innovación y al progreso técnico, la

satisfacción de las necesidades humanas espirituales y materiales, la promoción y creación de oportunidades sociales y la garantía de las libertades básicas que permitan fomentar las capacidades de los individuos (Mujica y Rincón, 2010), es el desarrollo económico y el sostenible los que han sido oficialmente adoptados por las naciones en sus planes y políticas de desarrollo, por lo que son estos instrumentos los que se deben evaluar para dimensionar la evolución de la problemática ambiental en los ríos y cuencas hidrográficas.

Adicionalmente, cabe resaltar que aunque a nivel subnacional existen dos formas metodológicas que concentran la práctica de la planificación, siendo la primera de estas orientada al desarrollo de los factores económicos, sociales, institucionales y/o culturales (procesos de desarrollo) y la segunda de tipo físico-espacial asociada a zonificaciones y ordenamiento territorial, relaciones urbano-rurales, planificación de cuencas hidrográficas y gestión de riesgos e infraestructura, la presencia de amplias brechas entre estas dos dimensiones claves en un territorio (región o a nivel local), hace que las propuestas que se presentan en la mayoría de los países de América Latina no se integren suficientemente a nivel de fines, objetivos, alcances y/o temporalidad, generando que los lineamientos resultantes carezcan de la fortaleza necesaria para enfrentar los complejos problemas territoriales que se buscan resolver y/o los cambios estructurales que se requieren (Sandoval, 2014), entre ellos la problemática ambiental de las corrientes hídricas y sus cuencas vertientes y los procesos de restauración fluvial necesarios.

Solamente el enfoque de la planificación sobre la base de políticas públicas es una de las pocas iniciativas que busca entregar alguna respuesta a esta necesidad de interrelación entre las orientaciones de los procesos desarrollo y el ordenamiento territorial (Sandoval, 2014), por lo que las políticas de gestión integral de recursos hídricos, restauración de ecosistemas, biodiversidad y servicios ecosistémicos, deben ser transversales a las de tipo sectorial, relacionadas con la infraestructura, la industria, el planeamiento urbano, el uso de tecnologías, el sector extractivo, el sector agropecuario y los programas sociales.

La brecha entre planificación del desarrollo y planificación territorial se evidencia claramente en las ciudades de América Latina y El Caribe, en donde la expansión se ha dado más allá de los planos o de las líneas establecidas por los gobiernos sin considerar un real conocimiento de la ecología de cada ciudad, demostrándose con ello que persisten las dificultades para incorporar la temática ambiental de manera transversal (Gligo, 2006; ILPES, 2012), pero pese al panorama se insiste en que el enfoque territorial es el instrumento para mejorar la

funcionalidad y habitabilidad de las ciudades (ILPES, 2012), siempre y cuando se preserve la estructura ecológica de los territorios.

En este orden de ideas, los procesos de desarrollo adoptados por los gobiernos han contribuido como causa de las problemáticas ambientales observadas en los territorios y por ende en las corrientes hídricas y sus cuencas vertientes, al tenerse según Díaz (2007) debilidad en los procesos de planificación y control territorial, corrupción o permisividad en la esfera política y orientaciones generalmente soportadas en visiones económicas y tecnocráticas, en detrimento de los valores locales y sin un reconocimiento de los límites ecosistémicos (Díaz, 2007).

En cuanto a la problemática ambiental de los ríos, las soluciones se siguen buscando en la ingeniería, no en la ordenación del territorio, si se da un paso más, se utiliza la bioingeniería o la revegetación, nunca la restauración hidrogeomorfológica-ecológica integrada. Los ríos son un patrimonio público, de interés general, de enorme valor social, elementos intuitivos de comunicación, de valores simbólicos y culturales, por todo lo cual deberían ser un patrimonio natural, escénico y cultural protegido (Ollero y García, 2007). El hecho de que las ciudades incorporen un cauce natural o río en su plan de ordenamiento territorial aunque no necesariamente significa la prohibición de su alteración, al menos indica el emprendimiento de acciones para promover un uso sostenible (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

En los territorios de las cuencas hidrográficas se produce la interrelación o interdependencia entre los sistemas físico-bióticos y el sistema socio-económico formado por los usuarios de las cuencas, sean habitantes o interventores externos de las mismas (Jouravlev, 2003); además como el agua interrelaciona los recursos naturales, el medio ambiente y la actividad humana, el manejo de las cuencas es un tema central para el ordenamiento territorial y debe existir una correlación, coherencia y consistencia entre éste y los demás instrumentos de planificación (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

En este contexto, se propone con el fin de evaluar la causalidad e incidencia de los procesos de desarrollo y ordenamiento territorial en la problemática ambiental de una corriente hídrica, la realización de un análisis situacional basado en los enfoques de planeación situacional y estratégica, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Planeación situacional: aporta desde lo conceptual, pues desde este enfoque se entiende la planificación mediante el diseño de cambios situacionales a raíz del

contexto de fuerzas oponentes o con distintos proyectos que intervienen en una realidad específica.

- Planificación estratégica: aporta desde el método, pues como una forma de articular la relación de las condiciones externas e internas se apoya en el uso de la matriz de fortalezas, oportunidades, desafíos y amenazas-FODA, que por lo general, alimenta el diagnóstico conjugando el estudio del entorno en relación con las propias condiciones de lo analizado (Sandoval, 2014).

Para cumplir con este objetivo se podrán listar los instrumentos de planificación del desarrollo y del ordenamiento territorial relacionados con la corriente hídrica objeto de estudio y enmarcados dentro de los conceptos de desarrollo económico y sostenible oficialmente adoptados en Colombia; posteriormente, realizar el análisis FODA, concluyendo sobre lo que pueda incidir en la degradación, conservación y/o restauración del curso de agua, concluyendo acerca de explotaciones mineras, situaciones de riesgo ante desastres naturales, áreas protegidas o reservas ambientales, patrimonio cultural e histórico, infraestructura de servicios, equipamientos colectivos y sistemas habitacionales, productivos y de transporte.

---

En Colombia, respecto a avances relacionados con el análisis de los procesos de desarrollo y ordenamiento territorial y su incidencia en las problemáticas ambientales del país, se tienen los diagnósticos para las políticas públicas, puesto que todos los fenómenos de degradación de los bienes y servicios ecosistémicos tienen su origen allí. Como ejemplos desde lo institucional se puede considerar el aspecto de gobernabilidad para la gestión del recurso hídrico incluido en el resumen de la problemática y conflictos para la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (MAVDT, 2010a), así como las políticas económicas y sectoriales como un factor del diagnóstico estratégico de la problemática asociada a la gestión de la biodiversidad, en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (MADS, 2012a).

Considerando aportes académico-investigativos se puede citar la operación de centrales hidroeléctricas y la minería y sus efectos negativos, la primera ocasionado represamiento de los ríos con las consecuentes modificaciones de flujo, calidad y pulso de las aguas que afectan humedales y ecosistemas en los planos de inundación, con situaciones documentadas para la



cuenca de los ríos Sinú y Yaguará y se espera que se presenten en Ituango en el Cauca y Urrá; la segunda, considerando los 7.264 títulos mineros otorgados entre 2000 y 2010 y los 17.479 títulos que se encuentran en trámite cubriendo una superficie de 5,8 millones de hectáreas (área mayor a la ocupada por el uso agrícola), sin tener en cuenta que el impacto acumulado de la minería es evidente en el deterioro de ríos y cuencas, por ejemplo la actividad aurífera genera residuos tóxicos (principalmente mercurio) que concluyen en altas tasas de morbilidad de poblaciones de peces dulceacuícolas y en riesgos para la salud humana (Andrade y Castro, 2012). También es de considerar la contribución realizada por Díaz (2007) para el estudio de la problemática ambiental del tramo urbano de la cuenca del río Consota en el departamento de Risaralda, en donde se hace una clara exposición de factores estructurales como los procesos de desarrollo y planificación territorial que llevaron a la degradación ambiental de esta corriente hídrica a su paso por la ciudad de Pereira.

En general se tiene que la década de los años 50 se concibe como el momento histórico a partir del cual el concepto de desarrollo toma auge en Colombia. Son dos tipos de modelos, el “desarrollo hacia adentro” hasta la década de los 90, teniendo en cuenta las recomendaciones de dos expertos estadounidenses Lauchlin Currie y David Lilienthal enviados después del discurso de Truman que lanzó el desarrollo como alternativa política al paraíso comunista, quienes con sus ideas fundamentaron muchas de las políticas tendientes a manejar el territorio colombiano, de otro lado, la “apertura económica”, que se dio a partir de los años 90 con la expedición de la nueva Constitución Política de 1991 y la instauración del neoliberalismo, pero posteriormente acompañada de la Ley 99 de 1993 que creó el Sistema Nacional Ambiental-SINA, generando uno de los arreglos institucionales ambientales más ambiciosos de América Latina (Díaz, 2007; Carrizosa, 2008; Mance, 2008).

Así, son las anteriores visiones del desarrollo en Colombia las que influyen en el devenir de la economía, la industria, el comercio, la agricultura, la urbe y la interacción con los ecosistemas, siendo las prácticas a través de las cuales se institucionalizan (principalmente planes de desarrollo y actuaciones institucionales) las que inciden en los procesos de transformación del territorio (Díaz, 2007). La expedición de la Ley 99 de 1993 y la Ley 152 de 1994 reconfiguran los procesos de planificación y de gestión ambiental, e incorporan programas y proyectos ambientales en los planes de desarrollo de las entidades territoriales (Cubillos, 2014b).

Adicionalmente, la Ley 152 de 1994 estableció la estructura para la planeación en el territorio colombiano con dos pilares fundamentales: el Plan de Desarrollo Municipal y el Plan de

Ordenamiento Territorial-POT, los cuales han determinado el escenario político, económico, ambiental y social de la planeación (Hernández et al, 2013). Los POT son a su vez regulados mediante la Ley 388 de 1997 con una vigencia de diez años y es evidente que constituyen uno de los instrumentos con más potencialidades para la gestión ambiental y en general para la gestión territorial del país, pese a ello, los efectos no parecen ser los esperados debido a los fenómenos de urbanización, ubicación inadecuada de complejos habitacionales de estratos altos y bajos e industrias en zonas vulnerables ambientalmente, como lo son las pendientes de alta montaña y las riberas de los ríos (Canal y Rodríguez, 2008).

El discurso institucional de la planeación del territorio se enmarca en la idea de una región competitiva, tecnologizada y de optimización de la infraestructura, que genera contradicciones con las metas sociales y ambientales; el POT tiene en su concepción fundamental un sesgo, pues desde su definición se precisa que la intervención sobre el territorio se hace básicamente desde la planificación física y solo de manera complementaria se consideran el desarrollo ambiental, socioeconómico y político, dejando de lado los componentes culturales, sociales y de representación del territorio y sus habitantes (Hernández et al, 2013).

Complementariamente se tienen instrumentos de planificación para las Autoridades Ambientales Regionales creadas y/o re-estructuradas por la Ley 99 de 1993, como lo son: los “Planes de Gestión Ambiental Regional” (largo plazo), los “Planes de Acción” (mediano plazo) y los “Planes Operativos Anuales de Inversión” (corto plazo); mediante estos se administra dentro del área de jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y se propende por el desarrollo sostenible de conformidad con las disposiciones del hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, quien es la máxima autoridad en el tema a nivel nacional (Canal y Rodríguez, 2008). Adicionalmente estas Autoridades tienen la función de expedir los determinantes ambientales para el ordenamiento territorial a nivel municipal, pudiendo tener una influencia considerable en la planificación del uso del suelo de conformidad con la estructura ecológica de los territorios.

Finalmente, otro instrumento de planificación y de ordenamiento ambiental territorial en Colombia son los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA, reglamentados por el Decreto 1640 de 2012 que derogó los Decretos 1729 de 2002 y 1604 de 2002. Los POMCA fueron concebidos de mayor jerarquía que los POT y demás instrumentos de planificación territorial y ambiental, por lo que son clave para la conservación y restauración de las corrientes hídricas.

## **Resumen del criterio metodológico “Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial en cuencas de la zona andina colombiana”**

1. En primera instancia se deberá buscar información sobre el crecimiento económico-productivo que se dio en la cuenca hidrográfica a partir de los asentamientos humanos que empezaron a haber desde el siglo XIX en la zona andina colombiana (MMA, 1998). Esta información histórica servirá para comprender la dinámica evolutiva de los procesos de desarrollo y planificación territorial que llevaron a la corriente hídrica al estado actual de deterioro ambiental.
2. Posteriormente, se deberán listar los diferentes instrumentos vigentes de planificación del desarrollo, del territorio y ambientales que inciden positiva o negativamente en la corriente hídrica objeto de estudio, a saber: Plan de Desarrollo Municipal, Plan de Ordenamiento Territorial, Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica, Planes Sectoriales de influencia (sector agropecuario, energético, infraestructura, sector extractivo), Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico y Plan de Gestión Ambiental Regional.
3. Una vez se hayan identificado los anteriores instrumentos de planificación se deberá realizar el análisis FODA, que permitirá reconocer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de dichos instrumentos para la conservación y/o restauración de la corriente hídrica y su cuenca vertiente.
4. La anterior información sobre procesos de desarrollo y ordenamiento territorial en la cuenca hidrográfica en estudio, aportará conocimiento sobre las causas de la problemática ambiental evidenciada en la corriente hídrica, además posibilitará el direccionamiento de acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para la elaboración de futuros Planes de Desarrollo y Planes de Ordenamiento Territorial (delimitación de zonas de conservación, recuperación y ocupación con restricciones), así como para los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico, Reglamentación de Corrientes, Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (identificación de zonas forestales de conservación, recuperación y/o uso sostenible), Delimitación de rondas hídricas (negociación de predios, actividades de re-ubicación, uso sostenible de las rondas).

## **2.5.2 Poblamiento de la cuenca hidrográfica**

La demografía es uno de los diez factores previstos como de mayor influencia en los escenarios futuros del agua a nivel global, pues teniendo como base una población de 6,9 billones de personas en el año 2010 se espera un incremento en 2,4 billones para el año 2050, de las cuales un 83% viviría en las regiones menos desarrolladas del mundo y un 70% residiría en las áreas urbanas (Gallopín, 2012; Cosgrove y Cosgrove, 2012). Actualmente América Latina y el Caribe es la región más urbanizada de los países en desarrollo con alrededor de un 80% de su población viviendo en áreas urbanas, además continuará con esta dinámica alrededor de las próximas dos décadas hasta alcanzar un 85% y casi un 90% para el año 2050 (CEPAL, 2011).

En cuencas donde se asientan poblaciones o que abastecen zonas urbanas –en particular aquellas que están ocupadas por grandes sectores poblacionales, mineros e industriales- los conflictos de la sociedad con su entorno, es decir, la cuenca y por ende el agua, se agudizan (Dourojeanni y Jouralev, 1999). La urbanización con el consecuente consumo de agua y generación de residuos líquidos, plantea una serie de desafíos para la gestión de las cuencas hidrográficas; según UNESCO y WWAP (2012) con esta se genera una gran presión sobre los recursos hídricos y ecosistemas asociados al contaminarse las aguas, ocupar los cauces y afectar la hidrología local dada la impermeabilización del suelo.

La urbanización involucra un grado significativo de artificialización del medio, una más alta densidad demográfica genera mayores presiones por unidad de territorio, típicamente jalonados por elevados estilos de vida y mayores ingresos de la población urbana asociados a patrones de producción, consumo y generación de residuos más impactantes para el ecosistema, además, las secuelas no se restringen al territorio ocupado o a su entorno, sino que llegan a ecosistemas lejanos, como es el caso de la contribución al cambio climático (CEPAL, 2012). En este sentido, la gestión de los recursos de agua dulce debe encaminarse hacia una distribución equitativa que satisfaga las necesidades de agua de la población pero también de los ecosistemas (Aguilimpia y Castro, 2012).

El poblamiento de una cuenca influye de gran manera sobre el estado del sistema fluvial, por lo que un adecuado análisis de este proceso será fundamental para identificar los impactos asociados a los ríos, rondas hídricas y ecosistemas acuáticos. Así, considerando los alcances técnicos de la caracterización de una cuenca hidrográfica en Colombia (MADS, 2013a), se propone emplear como guía en la valoración de este a algunas de las variables contempladas

para la temática “sistema social”, a saber: información de población actual, densidad poblacional, tasas de crecimiento poblacional y dinámicas de ocupación y apropiación del territorio.

---

En Colombia la información poblacional oficial y más actualizada es la del Censo Nacional 2005 y sus proyecciones municipales hasta el año 2020 (DANE, 2005); asimismo para realizar análisis históricos de reportes poblacionales, densidad y tasas de crecimiento poblacional, se pueden revisar los demás censos nacionales de población –en total dieciséis- los cuales se encuentran disponibles en la página web oficial del Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. Para el caso de áreas rurales pobladas (veredas, centros poblados), comunas y barrios de la zona urbana, se puede conseguir información que quizás sea más actualizada y detallada de las bases de datos del SISBÉN<sup>6</sup> a nivel municipal y/o departamental y de los documentos diagnósticos de los planes de ordenamiento territorial y planes de desarrollo.

La recopilación de información debe servir para entender los atributos que han llevado al río en tiempo y espacio a su estado actual (González y García, 2007), para este fin los documentos históricos con que se cuenta en cada ciudad en las diferentes bibliotecas públicas o privadas, también son de gran importancia para conocer como fue el poblamiento de una cuenca en particular.

Como ejemplos del análisis del poblamiento de una cuenca en Colombia se pueden citar los aportes realizados para la resignificación de la cuenca del río Consota en Pereira (Arias, et. al, 2014), la gestión del riesgo en Valle de Aburrá o cuenca urbana del río Medellín (Coupé, 2011), la caracterización social de la cuenca del Orinoco (Sánchez, 2003) y la historia de la localidad de Tunjuelito en el valle medio del río Tunjuelo en Bogotá (Zambrano, 2004).

---

<sup>6</sup> Sistema de Identificación de Potenciales Usuarios de Programas Sociales-SISBÉN de Colombia.

## **Resumen del criterio metodológico “Poblamiento de la cuenca en corrientes de la zona andina colombiana”**

1. Se deberá revisar la información histórica poblacional de la cuenca a partir de fuentes como DANE, SISBÉN y diagnósticos de POT y Planes de Desarrollo Municipales o Departamentales.
2. De contarse con investigaciones desde la Ecología Histórica o Política se podrían tener conclusiones sobre cambios en las sociedades y ambientes de la cuenca a una escala de larga duración (Por ejemplo época precolombina). Ver más detalles en López y Cano (2014) y Sánchez (2003).
3. Sin embargo, el mayor énfasis a dar debe ser a partir de la fundación como tal de las ciudades relacionadas con la cuenca, pues son los impactos de la urbanización los que más han aportado a la degradación de las corrientes hídricas.
4. Por lo anterior, la información histórica de la ciudad (es) asentada sobre la corriente hídrica y su cuenca vertiente, obtenida de bibliotecas públicas o privadas, también dará luces sobre las dinámicas de ocupación y apropiación del territorio y por ende, de la desarticulación sociedad-naturaleza.
5. Información como densidad y tasas de crecimiento poblacional, analizada en función de las causas de que unas zonas de la cuenca estén más o menos pobladas o de que en estas la población crezca a un mayor o menor ritmo, será de gran utilidad para concluir sobre aspectos importantes del poblamiento.
6. La obtención de información sobre poblamiento de la cuenca, aportará conocimiento sobre las causas de la problemática ambiental evidenciada en la corriente hídrica, por tanto posibilitará el direccionamiento de acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (permitirá identificar las zonas que deben restringirse a protección forestal), Delimitación de rondas hídricas (identificación de predios en las rondas) y Planes de ordenamiento territorial (delimitación de zonas de conservación, recuperación y ocupación con restricciones).

### **2.5.3 Coberturas y usos de la tierra en la cuenca**

El hombre ocupa y transforma de diferentes formas el espacio geográfico a lo largo del tiempo, sus distintas actividades ocasionan cambios permanentes en los territorios que habita, generando una preocupación por estudiar la dinámica y los impactos que sus modos de expansión y crecimiento producen en el medio, razón por la cual se han venido desarrollando investigaciones relacionadas con el cambio en el uso del suelo, la cobertura de la tierra y el análisis multitemporal (Silva y Rubio, 2013). En este orden de ideas es importante reconocer que las coberturas y usos del suelo se vuelven realidades socioambientales históricamente coproducidas por fuerzas inductoras de tipo biofísico y socioeconómico, que se encuentran en continuo proceso de cambio y transformación (Otero y Boada, 2007).

Muchos ecosistemas terrestres están siendo degradados gravemente debido a que las decisiones sobre el uso del suelo desconocen con frecuencia las funciones no económicas de los ecosistemas y los límites biofísicos de la productividad, por ejemplo las demandas de alimento y forraje para el ganado que aumentan rápidamente debido al crecimiento de la población humana y a los cambios en la dieta, promueven el establecimiento de sistemas productivos como los agrícolas y pecuarios. Las demandas de biocombustibles y materias primas también han crecido gracias a la industrialización y las políticas de apoyo para el uso de fuentes de energía renovables, promoviendo la expansión de la frontera agrícola. Las áreas urbanas como centros de los procesos sociales originan cambios en el uso del suelo, la biodiversidad y los recursos hídricos (UNESCO y WWAP, 2012).

A su vez los diferentes patrones de uso del suelo tienen importantes efectos en la calidad del agua de los ríos y en los ecosistemas acuáticos, numerosos problemas han sido referenciados debido a la urbanización, actividades agrícolas e industriales (Gyawali, et. al, 2013b; Hongmei, et. al, 2014). Las áreas agrícolas son fuente importante de contaminación al transportar hacia las corrientes hídricas mediante la escorrentía sedimentos, nutrientes y otros compuestos químicos; por su parte, el desarrollo urbano ocasiona modificaciones sustanciales en los tiempos de viaje y volúmenes de las escorrentías superficiales, igualmente en la calidad del agua (Gyawali, et. al, 2013b).

Asimismo, con la instalación de infraestructuras mineras uno de los recursos más fuertemente impactados es el agua, pues además de que se requieren volúmenes significativos especialmente en las fases de extracción y procesamiento, se ocasionan graves efectos sobre

la calidad de los cuerpos hídricos por los drenajes ácidos debidos al lavado del mineral expuesto y a la lixiviación de los metales usados en el proceso de beneficio (Miranda y Sauer, 2010).

En este sentido, en la evaluación de la cobertura y usos de la tierra de la cuenca vertiente se debe considerar la diferencia conceptual entre estos términos, el uso de la tierra se define como el conjunto de actividades provenientes de la intervención humana, cíclica o permanente, sobre los recursos que hacen parte de la misma con el fin de satisfacer sus necesidades, en otras palabras el uso que la población da a los diferentes tipos de coberturas.

Así, teniendo en cuenta los alcances técnicos de la caracterización de una cuenca hidrográfica en Colombia, se propone emplear como guía en la valoración de los usos del suelo asociados a una corriente hídrica, algunos aspectos contemplados para la temática “cobertura y uso de la tierra” a saber: mapa de coberturas y usos actuales de la tierra utilizando la metodología Corine Land Cover, salida gráfica de análisis multitemporal (empleando el Indicador Tasas de Cambio) y los índices de ambiente crítico, vegetación remanente y de fragmentación. También se deberá analizar la capacidad de uso de las tierras y los conflictos de uso del suelo (MADS, 2013a).

---

En Colombia la ocupación de tierras involucra tres problemas, uno de los cuales es el uso agropecuario de laderas empinadas y ríos (MADS, 2012b)<sup>7</sup>, resaltándose el proceso de ganaderización con 39,2 millones de has. (Andrade y Castro, 2012), lo que conlleva procesos importantes de contaminación difusa por escorrentías agrícolas y pecuarias hacia los cuerpos hídricos receptores.

Muchos ríos y otros sistemas acuáticos continentales del país sufren impactos antropogénicos debido a cambios en la cobertura vegetal, uso y manejo del suelo relacionados con la minería de carbón y oro principalmente, la agricultura, la ganadería y los asentamientos humanos, observándose especialmente en las cuencas Magdalena y Cauca, la ciénaga de Zapatosa y ciénaga Grande de Santa Marta, el tramo medio del río Meta, los ríos Saldaña, Coello, Lebrija y

---

<sup>7</sup> Los otros dos problemas son: 1. Los conflictos por la ocupación del suelo con actividades agrícolas y pecuarias y 2. La ocupación por parte de las comunidades pobres de tierras de productividad agropecuaria marginal expuestas a la violencia.



Chulo, la parte media y baja del río Cesar, los humedales del altiplano cundiboyacense y con inicios puntuales en algunos cuerpos o cursos de agua de la Amazonia, comprometiendo así la calidad y cantidad de agua y el suministro de diversos servicios ecosistémicos. En general, los cambios se alternan en el perfil longitudinal de las corrientes (nacimiento hasta desembocadura), siendo generalmente menores en las cabeceras y mayores en la parte media y baja de las cuencas (Andrade y Castro, 2012; Guevara, 2014).

No obstante, se debe tener en cuenta que la degradación de los sistemas acuáticos continentales en Colombia se encuentra subvalorada en las estadísticas de cambio de uso del suelo, porque muchos espacios de humedales no son reconocidos o son considerados tierras “inundables” en sabanas estacionales pluviales o de desborde y en planos de inundación de los ríos (Andrade y Castro, 2012).

Como ejemplos de análisis de usos de la tierra, sus transformaciones históricas e impactos en la degradación de los ecosistemas colombianos se pueden observar los trabajos desarrollados para humedales del Valle del Cauca (Núñez y Madero, 2009), sabanas de los Llanos Orientales (Santana y Salas, 2007) y expansión urbana del corregimiento de Pasquilla en Bogotá (Hernández et al, 2013).

## **Resumen del criterio metodológico “Coberturas y usos de la tierra en cuencas de la zona andina colombiana”**

1. Se deberán determinar las coberturas de la tierra según la metodología adoptada a nivel nacional “Corine Land Cover”. Para el estudio de la cobertura de la tierra se pueden utilizar imágenes de satélite de alta resolución espacial y fotografías aéreas.
2. Para el estudio del uso de la tierra se utilizará como base la cartografía y la cobertura de la tierra obtenida previamente, complementando con revisión en campo.
3. Respecto al análisis multitemporal se podrá emplear la cobertura actual de la tierra, cartografía de épocas anteriores y el indicador “Tasa de cambio” (MADS, 2013a). También se pueden revisar las metodologías utilizadas por Santana (2007), Hernández et al, 2013 (2013) y Núñez y Madero (2009).
4. Los software para tratamiento de la información cartográfica que se pueden emplear son ERDAS 9.21, Autodesk Map y ARC-GIS (Núñez y Madero, 2009; Hernández et al, 2013; Silva y Rubio, 2013).
5. Otros índices e indicadores que se consideran de utilidad para concluir sobre los procesos de transformación de las coberturas y usos de la tierra son el Indicador de Vegetación Remanente, el Índice de Fragmentación, el Indicador de Presión Demográfica sobre las coberturas de la tierra y el Índice de Ambiente Crítico, los detalles de cálculo se presentan en MADS (2013a). También es de importancia evaluar los conflictos de uso del suelo de acuerdo con su capacidad de uso (clases agrológicas) (MADS, 2013a).
6. La obtención de información sobre coberturas y usos de la tierra en la cuenca vertiente, aportará conocimiento sobre las causas de la problemática ambiental evidenciada en la corriente hídrica, posibilitando el direccionamiento de acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (zonas de recuperación y/o protección forestal), Delimitación de rondas hídricas y Planes de ordenamiento territorial (delimitación de zonas de conservación, recuperación y ocupación con restricciones).

## **2.5.4 Usos del agua y demandas previstas**

Las principales demandas del agua a nivel mundial son generalmente desglosadas en cinco grandes usuarios: 1) alimentación y agricultura, 2) energía, 3) industria, 4) asentamientos humanos y 5) ecosistemas (provisión de servicios ecosistémicos). A nivel suramericano la alimentación y agricultura representan el 63% de las extracciones, la industria un 12% y los asentamientos humanos un 25%; para la energía no se tienen estimaciones, pero se sabe que las diferentes fuentes requieren de agua en varios de sus procesos de producción (extracción de materias primas, enfriamiento de procesos térmicos, limpieza de materiales, cultivo de biocombustibles y movimiento de turbinas); respecto a ecosistemas tampoco se posee información.

Respecto a demandas proyectadas de agua para la alimentación y agricultura se prevé un aumento en el año 2050, debido al incremento poblacional proyectado con la consecuente demanda de comida y el cambio de dieta alimentaria inclinada hacia mayor consumo de productos derivados de la actividad pecuaria; para la energía se ha pronosticado un incremento del 60% para el año 2050; el caso de la industria depende del crecimiento económico del país o región; el uso del agua para los asentamientos humanos también estará influenciado por el incremento poblacional y el alto grado de urbanización esperado para el año 2050 (Cosgrove y Cosgrove, 2012). Considerando que para los ecosistemas no se cuenta con información actual disponible, se vuelve cada vez más prioritario determinar los regímenes de caudales necesarios para el mantenimiento de los recursos de agua dulce, teniendo en cuenta además las condiciones actuales de cambio climático que generan a su vez riesgo e incertidumbre.

Como forma de evaluar los usos del agua y demandas previstas en la corriente hídrica en estudio se deberán revisar las concesiones de aguas superficiales otorgadas y existentes en los expedientes de las Autoridades Ambientales Competentes; así, totalizar los caudales concesionados y generar reporte por sectores. De la misma manera analizar la información de los planes y/o proyectos de desarrollo que puedan tener influencia en el sistema fluvial, con el fin de identificar posibles demandas futuras del agua para abastecimiento humano, generación hidroeléctrica, irrigación de cultivos, actividades recreativas y turísticas, entre otros. IDEAM (2010) para el Estudio Nacional de Agua tuvo en cuenta además de los reportes de concesiones de agua superficiales, coeficientes empleados en los procesos de pos-cosecha para diferentes

productos agrícolas, adopción de módulos de consumo aplicados diferencialmente en la cadena de producción pecuaria, per capita de consumo doméstico, porcentajes de pérdida en redes de acueducto, demandas del sector industrial suplidas por empresas de servicios públicos, volúmenes de agua reportados por la Encuesta Ambiental Industrial y por la infraestructura hidroeléctrica y factores unitarios de consumo de agua en generación de energía termoeléctrica. Complementario a lo anterior, un indicador que consolida la información es el Índice de Uso de Agua Superficial y el detalle metodológico se expone en MADS (2013a).

---

En Colombia la demanda hídrica es de 67,42% para el sector agrícola y pecuario, 19,44% para el sector energético, 8,73% para los asentamientos humanos (consumo doméstico y sector servicios) y 4,39% para el sector industrial. Para la sostenibilidad de servicios ecosistémicos no se tiene información sobre requerimientos hídricos (IDEAM, 2010).

En lo referente a avances académico-investigativos se pueden observar ejemplos de cálculos de demanda hídrica sectorial en la estimación del consumo requerido de agua para el proceso productivo de sacrificio de aves y procesamiento de productos cárnicos en la ciudad de Bogotá (Casas, 2012), en los detalles metodológicos para la estimación de la demanda potencial de agua en Colombia (Domínguez, et. al, 2008), en el escenario de demanda hídrica agrícola para la optimización del riego de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca del río Guabas en el departamento del Valle del Cauca (Paz, et. al, 2012) y en el estudio de la demanda hídrica de la cuenca del río Barbas en el Eje Cafetero (Sabas y Paredes, 2009).

## **Resumen del criterio metodológico “Usos del agua y demandas previstas en corrientes de la zona andina colombiana”**

1. Se deberán identificar los usuarios y sectores que consumen agua de la corriente hídrica en actividades domésticas y/o productivas.
2. Una vez se haya realizado lo anterior, se deberá clasificar a los usuarios que se abastecen de sistema de acueducto, fuente superficial y/o subterránea. Para los primeros se podrá buscar información de consumo con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado correspondiente; para los segundos se podrán revisar los expedientes de concesiones de agua existentes en el archivo de la Autoridad Ambiental respectiva.
3. Cuando se hayan identificado los usuarios con información de consumo de agua para actividades domésticas y/o productivas, se deberán determinar los usuarios que no cuentan con información y por tanto se debe recurrir a presuntivos teóricos.
4. El consumo de agua por parte de los usuarios identificados deberá ser expuesto para cada mes del año, con el fin de comparar y analizar la información a la luz del régimen de caudales naturales obtenido (oferta natural de la corriente).
5. Se deberán revisar Planes de Desarrollo, Planes de Ordenamiento Territorial y Planes Sectoriales (Infraestructura Energética, Sector de la Construcción, Sector Minero, Sector Industrial, Sector Agropecuario) que incidan en las demandas hídricas futuras, con el fin de analizar la viabilidad de permitir mayores consumos de agua de la corriente hídrica y/o brindar manejos alternativos.
6. Finalmente, se establecerá el porcentaje de uso de agua correspondiente a cada usuario y sector de la cuenca hidrográfica evaluada y se concluirá sobre posibles ajustes o no que se deban hacer a las concesiones de aguas otorgadas por la Autoridad Ambiental competente.
7. La obtención de información sobre usos del agua y demandas previstas, aportará conocimiento sobre las causas de la problemática ambiental evidenciada en la corriente hídrica (por ejemplo la escasez de agua), por tanto posibilitará el direccionamiento de acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico, Reglamentación de Corrientes, Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (definición de zonas protectoras y a reforestar con fines de regulación de la oferta hídrica) y Planes de ordenamiento territorial (identificación de límites de crecimiento de acuerdo con la oferta hídrica, para el perímetro urbano y/o sector productivo).

## 2.5.5 Agentes sociales en la cuenca hidrográfica

Para el actual criterio metodológico se tendrá en cuenta la posición teórica adoptada por Cubillos (2012)<sup>8</sup> quien plantea que en lugar de las categorías de actor social propio de tendencias funcionalistas o de sujetos sociales pertenecientes a versiones fenomenológicas y comprensivas de los estudios socio-culturales, acoge la teoría de los campos de Bourdieu que propone el término *agentes sociales*, quienes constituyen sus acciones a partir de sus habitus o principios generadores de estrategias culturales, que a su vez dependen de la percepción, apropiación y recreación de una determinada situación de acuerdo con las disposiciones adquiridas de los *agentes sociales* que les permiten sentir, pensar y actuar de una cierta manera.

Por su parte Galfioni, et. al (2013) habla de *agentes ambientales* desde la perspectiva de los conflictos socio-ambientales, quienes basándose en el soporte conceptual de Bru (1997) los definen como todos aquellos sujetos, públicos y privados, individuales y colectivos, cuyas decisiones y acciones inciden, cualitativa y/o cuantitativamente, sobre el medio ambiente y que a su vez, son influenciados por los cambios inducidos en él. En este contexto, reconocen cuatro tipos de *agentes*: el sector privado, que agrupa a las formas y estructuras de producción; el sector público, que actúa como productor directo, suministrador de servicios y encargado de emitir las normativas y controlar su cumplimiento; las instancias técnicas-científicas ofrecidas por organismos de investigación aplicada y la ciudadanía, que incluye actores individuales y grupales.

Así, consolidando los aportes de Cubillos (2012) y Galfioni, et. al (2013) se optó por adoptar el término *agentes sociales* para objeto de la valoración ambiental de una corriente hídrica y su cuenca vertiente, pero complementando con la definición y clasificación de agentes ambientales.

La razón por la cual se debe realizar un análisis de los *agentes sociales* involucrados con la corriente hídrica y cuenca hidrográfica, es que los intereses contrapuestos de estos aportan a la configuración de la problemática ambiental en un territorio, en este caso, a las causas de la degradación ambiental del sistema fluvial, dado que los intereses del mercado, así como las

---

<sup>8</sup> Investigador en torno a la “problemática ambiental”. Profesor Asociado de la Universidad Tecnológica de Pereira. Ph.D. en Sociología del Desarrollo.

impuestas y heredadas dinámicas de organización derivadas de decisiones político-administrativas de carácter liberal y capitalista, conllevan en ocasiones adversas consecuencias para el equilibrio de los ciclos de la naturaleza y de la sustentabilidad de las culturas. Al mismo tiempo, estos intereses encuentran su contraparte en la resistencia socio-cultural de otros *agentes sociales* que a través de estrategias académicas y/o institucionales, buscan con medios y herramientas sociales, un entendimiento de las desarticulaciones entre los ecosistemas y la cultura, proponiendo acciones de manejo alternativas (Durán, et. al, 2014).

Tal como plantea Tobasura (2009) el problema del medio ambiente no es sólo tecnológico sino social y simbólico; por lo tanto, se necesita estudiar cómo influye una determinada forma de organización social en el medio ambiente. Para ello, Cubillos (2014b) propone realizar un *análisis situacional* de las interrelaciones entre los *agentes sociales* institucionales, académicos y comunitarios. En el marco del objetivo del actual documento, dicho análisis permitirá develar las implicaciones de los agentes sociales en la degradación ambiental de la corriente hídrica y por ende, en su recuperación fluvial.

El análisis situacional se podría basar en los enfoques de planeación situacional y planeación estratégica, ya mencionados en el criterio “Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial”:

- Planeación situacional: aporta desde lo conceptual, incorporando de manera temprana y meticulosa el relevante juego de actores (para el actual documento se adopta *agentes sociales*) y las fuerzas políticas y sociales de estos en relación con sus intereses y posturas respecto a los procesos sociales.
- Planificación estratégica: aporta desde el método, pues como una forma de articular la relación de las condiciones externas e internas se apoya en el uso de la matriz de fortalezas, oportunidades, desafíos y amenazas (FODA), que por lo general, alimenta el diagnóstico conjugando el estudio del entorno en relación con las propias condiciones de lo analizado (Sandoval, 2014).

---

En Colombia los alcances técnicos de la caracterización de una cuenca hidrográfica contenidos en MADS (2013a) especifican que se debe identificar y describir en el componente político-administrativo la oferta institucional y organización ciudadana en perspectiva ambiental. Posteriormente, en conjunto con la demás información diagnóstica de la cuenca, realizar un

análisis situacional que contemple potencialidades, limitantes y condicionamientos, conflictos ambientales y territorios funcionales, aunque ningunos de estos aspectos considera en particular a los agentes sociales involucrados con la cuenca.

En lo referente a avances académico-investigativos se pueden observar como ejemplos de análisis de agentes sociales involucrados en una problemática ambiental al espacio social de los conflictos en torno al manejo del territorio y el patrimonio en el municipio minero de Marmato departamento de Caldas (Arias, 2013) y en la propuesta de gestión ambiental territorial para el mejoramiento integral del sector de Esperanza Galicia, en el marco del desarrollo del plan parcial del Parque Temático de Flora y Fauna del municipio de Pereira departamento de Risaralda (Cubillos, 2014b).

En el contexto colombiano se reconoce que en el imaginario colectivo del país se ha logrado mayor sensibilización en materia ambiental, se tiene mayor comprensión de los problemas y aunque las preocupaciones han variado, continúan teniendo como ejes la defensa del agua, la diversidad biológica, el ambiente urbano afectado por graves problemas de contaminación, el problema del glifosato, los transgénicos y unido a todas estas reflexiones, los derechos humanos (Londoño, 2008). No obstante, desde el año 2003 se han acrecentado los conflictos ambientales generados entre el sector privado y/o público (empresas nacionales o extranjeras y entidades estatales) y la sociedad civil (grupos étnicos, campesinos y población urbana), principalmente debido a la minería, hidrocarburos, hidroeléctricas e infraestructura, siendo los ecosistemas principalmente afectados los ríos y los bosques (Pérez, 2014).

En general Andrade y Castro (2012) reconocen que una de las causas de degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad en Colombia son los valores culturales, los cuales permanecen de manera general representados en imaginarios simplificadores que no reconocen la complejidad y vulnerabilidad de la base natural, pues la emergente conciencia ambiental no ha producido todavía cambios importantes en la visión del país, persistiendo una brecha entre la visión científica, –que tienen coincidencias con algunos saberes tradicionales– y la cultura de masas, siendo únicamente un cambio cultural del significado de la biodiversidad en el territorio lo que podría revertir esta tendencia.



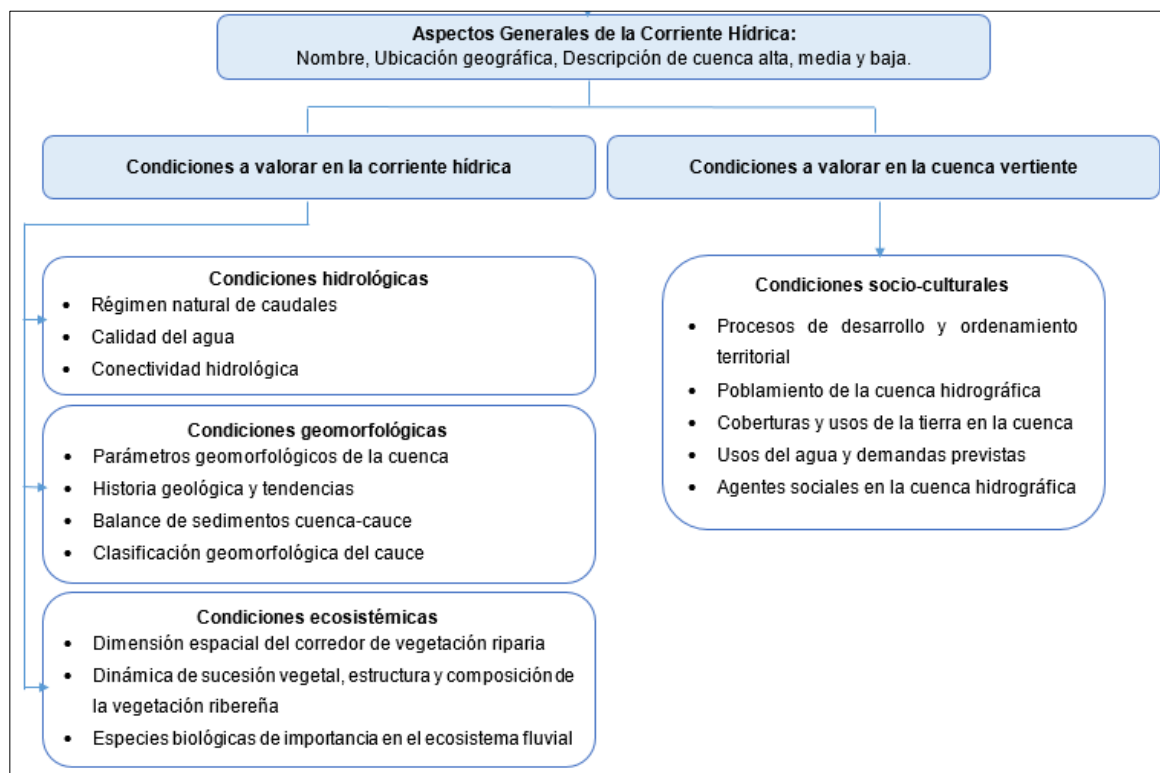
## **Resumen del criterio metodológico “Agentes sociales en cuencas de la zona andina colombiana”**

1. Se deberán identificar los diferentes agentes sociales presentes o de influencia en la cuenca, posteriormente se deben clasificar en sector gubernamental, sector privado, instancias técnico-científicas y ciudadanía (sociedad civil organizada).
2. Luego de identificados y clasificados los agentes sociales se debe proceder a realizar el análisis situacional mediante una matriz FODA, en donde se determinan las fortalezas y debilidades de los agentes sociales en relación con el sistema fluvial, así como las oportunidades y amenazas de estos respecto al entorno. El entorno de los agentes sociales será entendido como acciones posibles que influyan en la degradación, conservación y/o recuperación de la corriente hídrica y su cuenca hidrográfica.
3. Los resultados obtenidos mediante la matriz FODA permitirán reconocer posibles conflictos socio-ambientales, así como relaciones positivas potenciales frente al manejo del sistema fluvial en evaluación.
4. La anterior información sobre los agentes sociales aportará conocimiento sobre las causas de la problemática ambiental evidenciada en la corriente hídrica, además posibilitará el direccionamiento de acciones de recuperación y/o conservación proporcionando insumos para: Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico, Reglamentación de Corrientes, Planes de manejo ambiental de microcuencas, Planes de manejo de ecosistemas, Planes de manejo de áreas protegidas, Planes de ordenación forestal (identificación de zonas forestales de conservación, recuperación y/o uso sostenible), Delimitación de rondas hídricas (negociación de predios y/o actividades de re-ubicación) y Planes de ordenamiento territorial (delimitación de zonas de conservación, recuperación y ocupación con restricciones).

## CAPÍTULO II. Valoración ambiental de la Quebrada Olivares-Minitas, Manizales (Caldas)

Para la valoración ambiental de la Quebrada (Q.) Olivares-Minitas se tendrá en cuenta el detalle de los criterios metodológicos expuestos en el Capítulo I y la información secundaria disponible. En la Figura 2 se presenta un mapa conceptual que resume los diferentes aspectos a considerar.

**Figura 2.** Criterios metodológicos para valoración ambiental de una corriente hídrica de la zona andina colombiana



La Q. Olivares-Minitas nace a 3.223 m.s.n.m. en el Alto de La Coca, en el Corregimiento Río Blanco del municipio de Manizales y en inmediaciones de las veredas Las Palomas y Buenavista; realiza su recorrido por la zona norte de Manizales en dirección Este-Oeste y luego de cruzar la ciudad se encañona y cambia su dirección de Sur a Norte hasta su confluencia a los 1.385 m.s.n.m. con el río Guacaica, tributario del río Chinchiná, (INGESAM LTDA., 2007). Pertenece a la cuenca media-alta del río Chinchiná y recibe las aguas de las quebradas La Peña, La Arenosa, Alisales, Peñas Blancas, Los Alpes, Sietecuecos, El Popal, El Silencio, El Solferino, El Mico, Villapilar, Aguas Frías, Corinto, Del Medio, La Changra y El Águila (Londoño, 1995; INGESAM LTDA., 2007; CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013b).

La quebrada se cataloga como una corriente de montaña con una configuración geomorfológica denominada “flood plane pockets” o “collar de perlas”, lo cual indica que en unos tramos se encañona y en otros se disipa en pequeñas planicies.

CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b) expone que según un estudio de 1998 la corriente hídrica se divide en tres zonas de acuerdo con su aspecto estético: Zona uno: del nacimiento a 3.323 m.s.n.m. hasta la bocatoma de Aguas de Manizales S.A. E.S.P. a 2.250 m.s.n.m.; Zona dos: desde la bocatoma de Aguas de Manizales S.A. E.S.P. hasta la entrada a la Hacienda La Aurora a 2.150 m.s.n.m. y Zona tres: desde la Hacienda La Aurora hasta la desembocadura en el río Guacaica a 1.385 m.s.n.m.

Sin embargo, con base en las apreciaciones de Franco (2011a), INGESAM LTDA. (2007) y la valoración realizada mediante la presente tesis de investigación, se expone a continuación una sectorización de la quebrada que comprende cuenca alta, media y baja, considerando no solo aspectos de calidad del agua sino también geomorfológicos y de ocupación antrópica.

### Cuenca Alta

Va desde el nacimiento hasta el sector de La Aurora, se caracteriza por ser zona de producción hídrica y presentar algunas obstrucciones de su conectividad hidrológica, esto último gracias a diferentes obras civiles como la represa de la Bocatoma para la Planta de Agua Potable Niza que abastece la ciudad de Manizales y otras infraestructuras construidas con fines de protección de la banca de la vía y de los taludes aledaños.

Respecto a calidad del agua se tiene que desde su nacimiento hasta la entrada a la Hacienda La Aurora, la corriente hídrica aún conserva características de corriente superficial con baja contaminación, gracias a que se cuenta con la Reserva Natural Municipal de Río Blanco creada con el propósito de proteger una de las zonas abastecedoras del acueducto de la ciudad, en donde se han realizado diferentes procesos de reforestación, investigación y turismo ecológico. No obstante, en el último tramo de esta cuenca alta la quebrada empieza a recibir las descargas de aguas residuales domésticas de la zona rural de Manizales contigua al barrio La Sultana.

La producción de sedimentos se da debido a la base geológica pero intensificada con la deforestación para expandir la frontera pecuaria y forestal productora, así como con los movimientos de tierra generados en el marco de la urbanización del último tramo de esta parte de la cuenca. Hasta antes de la confluencia con la Q. El Popal se tienen diferentes zonas de explotación artesanal de material de río que han modificado el transporte de sedimentos y los fenómenos de depositación, ocasionando impactos negativos en la morfología natural del cauce.

El uso predominante del suelo es el de bosque protector-productor y pastizales para ganadería extensiva. El asentamiento humano es escaso y disperso ya que está en jurisdicción de la zona rural del municipio y del corregimiento con la menor densidad poblacional.

Es de resaltar que el sector denominado La Aurora es una de las áreas proyectadas como de expansión urbana de Manizales para construcción de vivienda de interés social. Asimismo se tienen los estudios de pre-factibilidad para aprovechar la infraestructura del acueducto en generación hidroeléctrica.

### Cuenca Media

Va aproximadamente desde el sector de La Aurora hasta el puente que cruza la vía hacia el municipio de Neira.

En esta zona de la cuenca se han recibido gran parte de los afluentes de la quebrada, 103 descoles de aguas residuales domésticas de una población aferente de más de 188.000 habs., vertimientos industriales significativos como los de la Central Lechera y el Frigocentro y la

escorrentía urbana que por sus características llega más rápido a la corriente hídrica, lo que genera un aumento del caudal pero a la vez un alto grado de contaminación.

Debido a las considerables cargas contaminantes aportadas, el caudal existente no es suficiente para amortiguar por dilución el efecto negativo y a pesar de que se han construido en el marco del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de la ciudad gran parte de los colectores e interceptores de aguas residuales proyectados, éstos aún no funcionan.

El curso de agua se incorpora completamente al paisaje urbano pues la ciudad ha ocupado sus orillas, paralelo a la quebrada se encuentra la segunda vía de importancia para la ciudad, la Avenida Kevin Ángel o Avenida del Río, por lo que con el fin de proteger la infraestructura vial y las áreas residenciales se han construido obras civiles que han constreñido el cauce y su patrón natural de alineamiento.

A su vez, dada la extracción de material aluvial finalizando la cuenca alta, la cuenca media se ve impactada por procesos de incisión y socavación de orilla que han tenido que ser mitigados con fuertes medidas ingenieriles.

Por todo lo anterior, en las márgenes de la corriente no se tienen las franjas de vegetación riparia necesarias para garantizar los servicios ecosistémicos y por ende este tramo es el más problemático al respecto de todo el curso fluvial.

### *Cuenca baja*

Va desde el puente que cruza la vía hacia Neira hasta la desembocadura en el río Guacaica. Debido al encañonamiento del curso de agua en este tramo se tiene una alta capacidad de aireación, manteniendo niveles de oxígeno disuelto por encima de 2,5 mg/L, a pesar de las grandes concentraciones de materia orgánica de más de 100 mg/L de DBO<sub>5</sub> (INGESAM LTDA., 2007).

La forma abrupta del relieve en esta parte de la cuenca ha impedido de manera general la ocupación urbana del suelo cerca de la corriente hídrica, aunque en la Comuna San José se observan algunos asentamientos subnormales que incluso están en zona de riesgo de deslizamiento y en proceso de re-ubicación en el marco del Plan de Ordenamiento Territorial.

Asimismo, en el marco del Macroproyecto Comuna San José, se tiene previsto después de realizar el proceso de re-ubicación de los asentamientos en zona de riesgo, delimitar y construir el “Parque Olivares”, con el cual se pretende potencializar con el ecoturismo la ladera sur de la Q. Olivares-Minitas.

En la mayoría de las áreas adyacentes a la quebrada se tiene un uso del suelo agrícola con café y plátano principalmente, lo que implica escorrentías agrícolas que deterioran la calidad del agua. Sin embargo, existen ciertas zonas boscosas que propician la existencia de algunas especies de fauna silvestre y contribuyen a la filtración de la contaminación difusa.

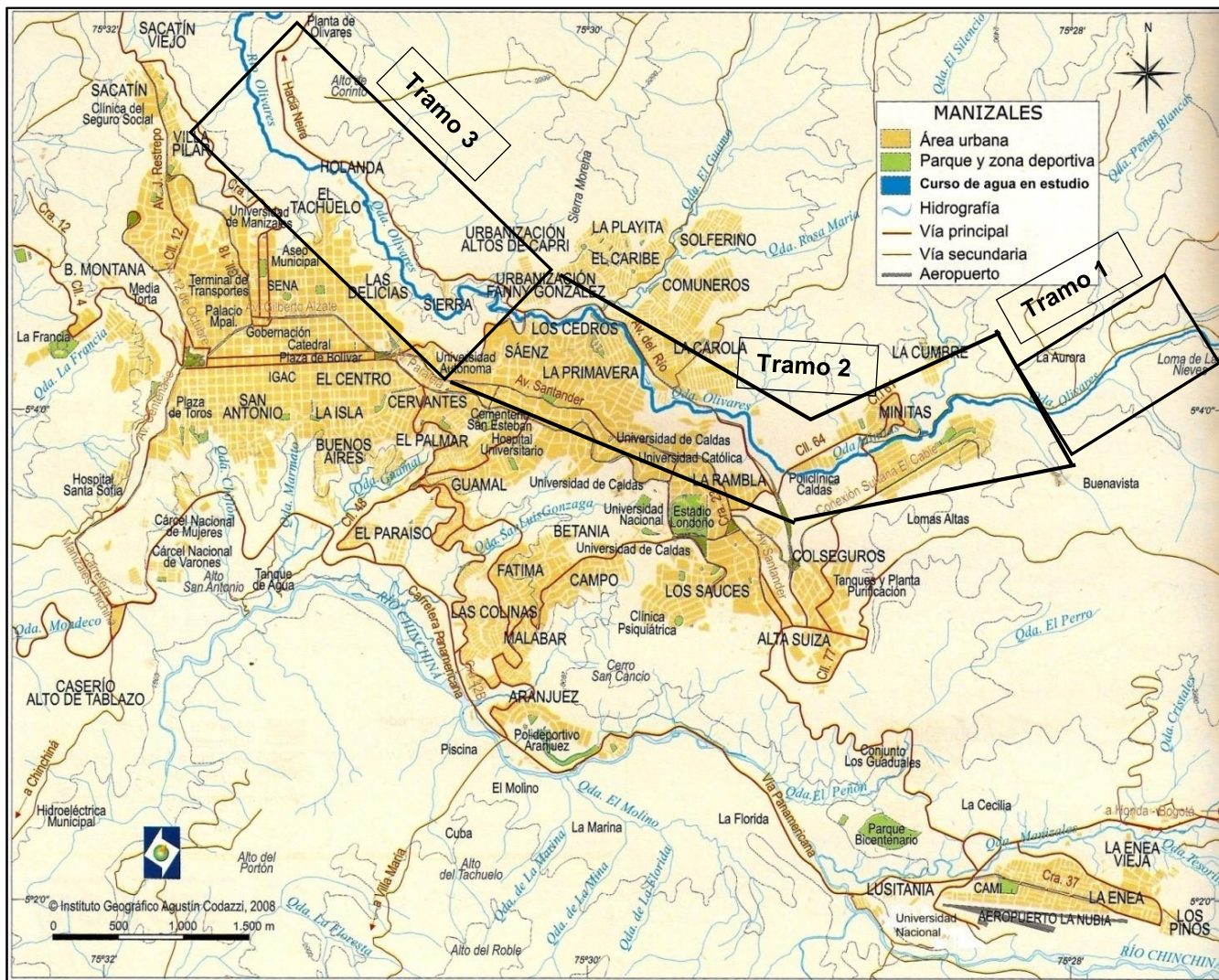
Se reciben diferentes afluentes con cargas contaminantes considerables, aguas residuales domésticas y escorrentías urbanas de las comunas Cumanday, San José y Atardeceres así como de algunos barrios de la comuna Ciudadela del Norte; del mismo modo, los lixiviados del R. Sanitario Regional La Esmeralda que a pesar de tener un tratamiento secundario previo, se vierten a la Q. Olivares-Minitas a través de la Q. Aguas Frías con concentraciones de DBO<sub>5</sub> de 1.176 mg/L (CORPOCALDAS y GIAS-UTP, 2014).

En la cuenca baja de la Q. Olivares-Minitas no se han inventariado las obras civiles construidas, sin embargo, este tramo es al parecer el que menos tiene obstruida su conectividad hidrológica, debido a las dificultades impuestas por el relieve para la ocupación antrópica. Las áreas fuente de sedimentos en esta zona son principalmente los deslizamientos que se han tenido en la comuna San José.

---

En la Figura 3 se expone la sectorización de la corriente en cuenca alta, media y baja en coherencia con lo antes descrito, la Figura 4 ilustra sobre las diferentes microcuencas pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Chinchiná destacándose la de la Q. Olivares-Minitas y en la Figura 5 se observan las principales corrientes hídricas de la cuenca del río Chinchiná, en donde se puede visualizar la Q. Olivares-Minitas.

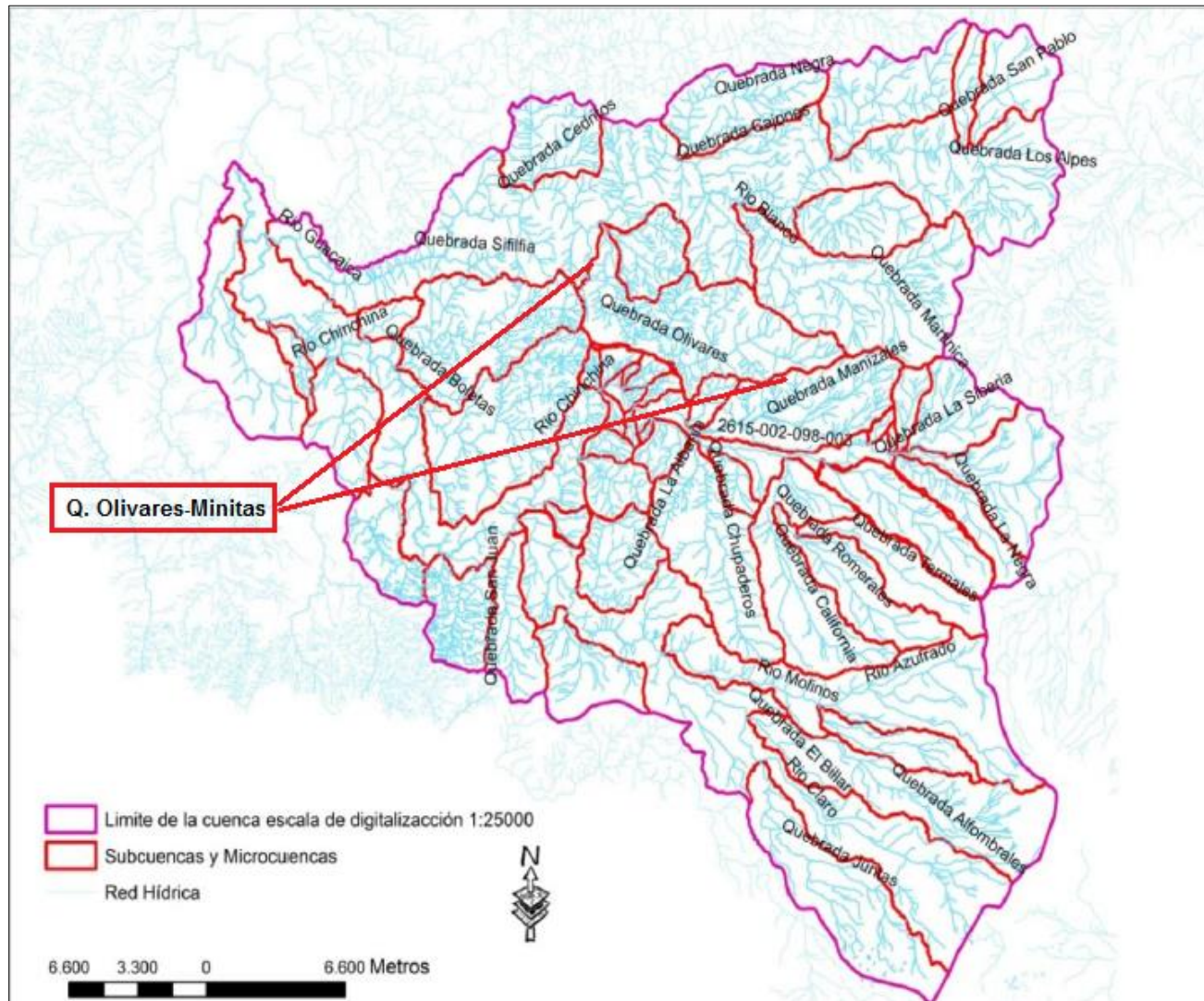
Figura 3. Ubicación de la Q. Olivares-Minitas en el municipio de Manizales



Fuente: Franco (2011a)



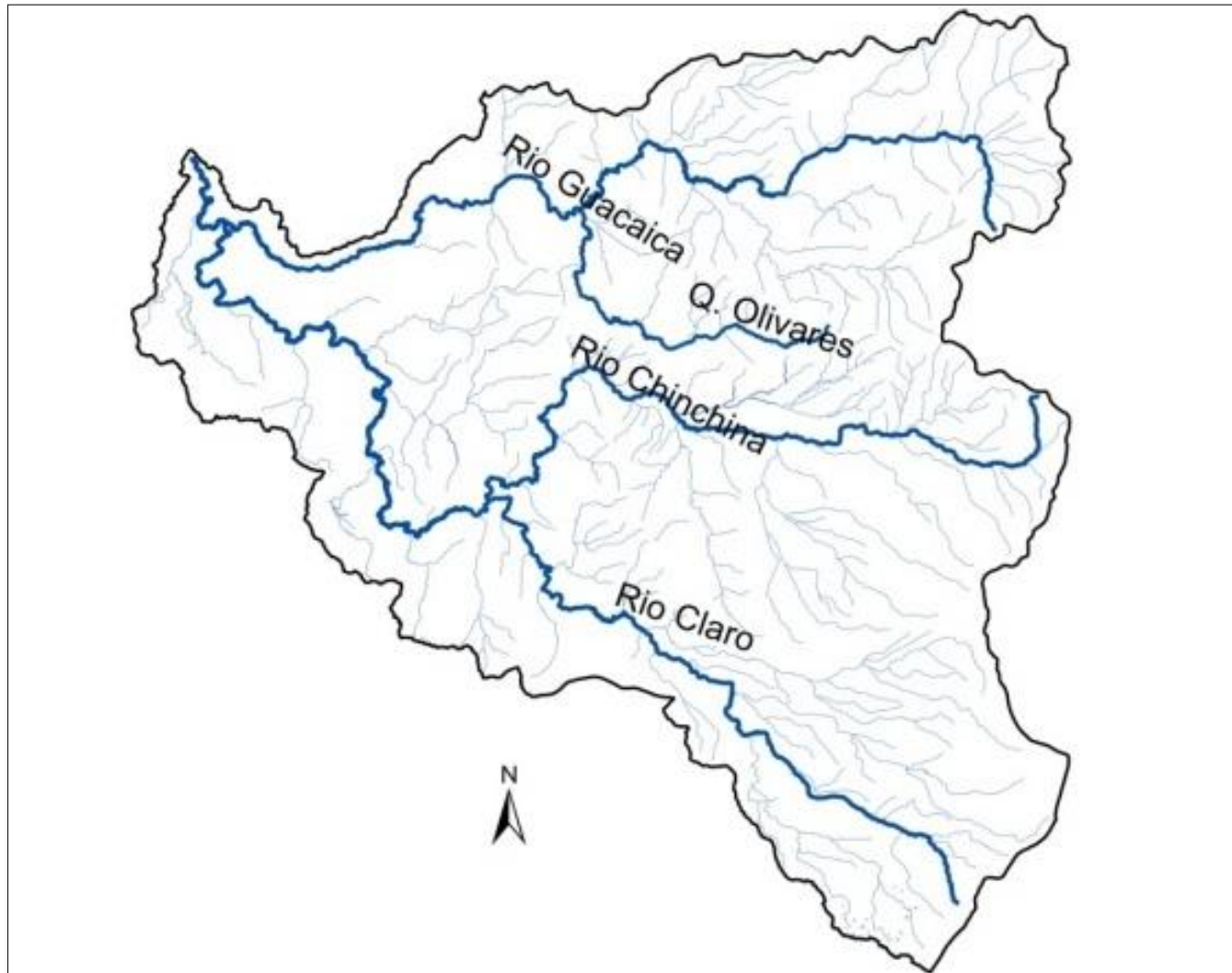
Figura 4. Microcuencas del río Chinchiná a escala 1:25000 y Q. Olivares-Minitas



Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a)



**Figura 5.** Principales ríos en la cuenca del río Chinchiná



Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a)

## 3.1 Condiciones hidrológicas Q. Olivares-Minitas

### 3.1.1 Régimen natural de caudales

La Q. Olivares-Minitas no cuenta con registros históricos de caudales a resolución diaria horaria que permitan establecer el régimen natural de caudales mediante la aplicación de los IHA y/o IAHRIS, además la escasa información existente no es representativa de toda la cuenca. Como soporte de lo anterior se presenta la Tabla 5.

**Tabla 5.** Fuentes de información de caudales para la Q. Olivares-Minitas

Punto de medición	Ubicación en la cuenca	Periodo de medición	Frecuencia de medición	Unidad	Observaciones
Bocatoma Olivares		Enero/1994 a Febrero/1995	Datos diarios discontinuos	L/seg	
Hacienda La Aurora	Cuenca alta	Febrero-Septiembre/1993	Datos diarios discontinuos	L/seg	No Aplica
Bocatoma Olivares		Septiembre/1996-Actualidad	Datos semanales (aforo)	L/seg	
Estación El Popal sobre la Q. Olivares-Minitas	Inicio de Cuenca media	Septiembre/2010-Actualidad	Datos horarios (cada cinco minutos)	cm	Medición de niveles de la lámina de agua

*Fuente:* Londoño (1995), IDEA-U.N. de Colombia Sede Manizales (2012) y CORPOCALDAS e IDEA U.N. Sede Manizales (2013b)

El caudal de la Q. Olivares en el año 1926 cuando se construyó la bocatoma era de 160 L/seg y la tubería en estiaje llevaba 130 L/seg (Ministerio de Minas y Petróleos, 1940), datos que se pueden comparar con la Tabla 7 y resultan un poco coherentes para la Estación Bocatoma solo en tiempo de verano.

En lo relacionado con estaciones de lluvia se dispone de mayor información, en este caso las series existentes servirían para modelación hidrológica con el fin de obtener los datos de caudales necesarios para la aplicación de los IHA y/o IAHRIS. En la Tabla 6 se exponen diferentes aspectos de las estaciones con que se cuenta, entre los que cabe destacar periodo, frecuencia de registro y ubicación o no en la cuenca; el tiempo de registro es importante ya que para la obtención del régimen hidrológico a partir de IAHRIS por ejemplo, se requiere de una longitud de serie de mínimo 15 años.

De manera ilustrativa y con el fin de hacerse una idea sobre el régimen hidrológico de la Q. Olivares-Minitas, así como de los caudales ambientales calculados a partir de diferentes metodologías no representativas del régimen natural, se muestran las Tablas 7, 8 y 9.

- En la primera se pueden observar diferentes datos de caudal aforados para diferentes estudios en sectores conocidos de la corriente hídrica; sin embargo, tal como se puede evidenciar con las medias y desviaciones estándar calculadas, los datos difieren en alto grado, quizás debido a los diferentes métodos de aforo, tratamiento de datos y localización exacta del punto de aforo.
- En la segunda, se pueden visualizar datos de caudales ambientales estimados que dan una idea de las aplicaciones en la materia que se han tenido a partir de diversas metodologías; no obstante, es importante aclarar que debido a que estos datos de caudales son únicos para el año y para la corriente, no reflejan la variabilidad intra-anual y espacial que se requiere para garantizar el adecuado estado de los ecosistemas asociados.
- En la tercera, se exponen los datos de caudales mensuales y anuales obtenidos mediante modelación hidrológica distribuida y agregada bajo el software TETIS, siendo estos los datos más actualizados y representativos de la hidrología de la corriente.

**Tabla 6.** Estaciones de lluvia de utilidad para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas

Estación	Localización (coordenadas)				Altitud (msnm)	Tipo de estación	Periodo de registro	Tiempo registro	Entidad Encargada	Frecuencia	Observaciones
	X	Y	Lat N	Long W							
Agronomía	842242,3	1050624,5	5°3'	75°30'	2088	Climatológica	Ene/1956 - Dic/2011 Actualidad	55 años	CENICAFÉ	Diario	Series largas, estadísticamente confiables. No están ubicadas dentro de la cuenca.
Aeropuerto La Nubia	845930,68	1048100,1	5°1'47,1"	75°28'0"	2058	Sinóptica	Ene/1968 - Abr/2012 Actualidad	44 años	IDEAM	Diario	
Alta Suiza	843929,76	1051284,5	5°3'30,6"	75°29'5,4"	2055	Pluviométrica	Jul/1975 - Jul/2012 Actualidad	37 años	CHEC	Diario	Serie larga, estadísticamente confiable. Está ubicada dentro de la cuenca.
Mirador	848903,73	1053529,4	5°04'44"	75°26'24"	2645	Meteorológica	Ene/1999 - Nov/2012	13 años	Aguas Manizales S.A. E.S.P.	Cada 10 min	
EMAS	841261,86	1053711,4	5°4,49'42"	75°30'32,19"	2060	Climatológica	Agos/1997 - Dic/2012 Actualidad	15 años	EMAS	Cada 10 min	Series representativas y/o estadísticamente confiables. Están ubicadas dentro de la cuenca.
Olivares	847670,22	1052425,9	5°04'08"	75°27'04"	2237	Pluviométrica	Ene/1996 - Oct/2012	16 años	Aguas Manizales S.A. E.S.P.	Diario	
El Popal	SD	SD	SD	SD	1960	Pluviográfica	2010 - Actualidad	2 años	Alcaldía de Manizales	SD	Series cortas, no son estadísticamente confiables. Tienen resolución horaria.

Estación	Localización (coordenadas)				Altitud (msnm)	Tipo de estación	Periodo de registro	Tiempo registro	Entidad Encargada	Frecuencia	Observaciones
	X	Y	Lat N	Long W							
Niza	844472,29	1050822,1	5°3'15,57"	75°28'47,67"	2256	Meteorológica	Ene/2009 - Dic/2012 Actualidad	3 años	Alcaldía de Manizales	Cada 5 min	Están ubicadas dentro de la cuenca, Se requeriría de complementación con series sintéticas para su empleo en modelación hidrológica.
Yarumos	844319,11	1051805,8	5°3'47,6"	75°28'52,63"	2195	Meteorológica	Ene/2004 - Dic/2012 Actualidad	8 años	Alcaldía de Manizales	Cada 5 min	
Bosques del Norte	843514,15	1054002,2	5°4'59"	75°29'19"	2126	Meteorológica	Sep/2006 - Dic/2012 Actualidad	6 años	Alcaldía de Manizales	Cada 5 min	
INGEOMINAS	839551,5	1052725,5	5°4'17,2"	75°31'27,5"	2226	Meteorológica	Jul/2003 - Dic/2012 Actualidad	9 años	Alcaldía de Manizales	Cada 5 min	Series cortas, no son estadísticamente confiables. Tienen resolución horaria.
La Palma	838991,87	1055440,2	5°5'45,5"	75°31'45,9"	1967	Meteorológica	Nov/2006 - Dic/2012 Actualidad	6 años	Alcaldía de Manizales	Cada 5 min	Están ubicadas dentro de la cuenca, Se requeriría de complementación con series sintéticas para su empleo en modelación hidrológica.
Q. Olivares	844774,3	1051995,1	5°03'53,8"	75°28'38"	1960	Climatológica	Sep/2010 - Agos/2012	2 años	CORPOCALDAS	Cada 5 min	

Fuente: INGESAM LTDA. (2007); Narváez (2007); Gómez (2009) y CORPOCALDAS e IDEA U.N. Sede Manizales (2013a)

**Tabla 7.** Registro de aforos de caudal en invierno y verano para la Q. Olivares-Minitas

Estación	Caudal en invierno (L/seg)						Caudal en verano (L/seg)					
	Paredes (1995)	Gaona - U. Nal. Mzles. (1996)	INGESAM (2006)	Pérez y Bohórquez (2011)	Media	Desviación estándar	Paredes (1995)	Gaona - CORPOCALDAS (1997)	INGESAM (2006)	Pérez y Bohórquez (2011)	Media	Desviación estándar
<b>Bocatoma</b>	-	-	663,09	760,00	711,55	68,53	-	-	213	30	121,50	129,40
<b>La Aurora</b>	99	493,95	-	-	296,48	279,27	434	116	-	-	275,00	224,86
<b>Barrio Minitas</b>	332	985,3	1051,58	150,00	629,72	455,77	580	464	336,7	370	437,68	109,13
<b>Confamiliares La Asunción</b>	713	1902,8	-	800,00	1138,60	663,24	1268	778	-	740	928,67	294,48
<b>Barrio Villa Julia</b>	-	1511,1	-	190	850,55	934,16	-	953	-	1000	976,50	33,23
<b>Puente Olivares</b>	-	1511,1	2174	-	1842,55	468,74	-	1078	846	-	962,00	164,05
<b>Desembocadura al río Guacaica</b>	-	2943,8	3200,35	310	2151,38	1599,84	-	1858	1317,6	-	1587,80	382,12

*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria

**Tabla 8.** Caudales ambientales para la Q. Olivares-Minitas estimados bajo diferentes metodologías

Caudal ambiental			Fuente
Método	Valor (L/seg)		
Q75% CDC	54	Índice de Escaséz MAVDT (2004) aplicado por UTP y CORPOCALDAS (2010)	
Q95% CDC	31,8		
Estaciones de aforo Modelación hidrológica	Qmínimo mensual multianual	52	Índice de Escaséz MAVDT (2004) aplicado por CORPOCALDAS e IDEA U.N. (2013)
	Q97,5% CDC	23	
	25% Qmínimo	13	
	Afectación por calidad de agua 25% Qmínimo	13	
	Qmínimo mensual multianual	796,8	
	Q97,5% CDC	278	
	25% Qmínimo	199,2	
	Afectación por calidad de agua 25% Qmínimo	199,2	
Estaciones de aforo	IRH	0,271: muy baja retención y regulación de humedad	Índice de Retención y Regulación Hídrica, Estudio Nacional del Agua IDEAM (2010) aplicado por CORPOCALDAS e IDEA U.N. (2013)
	Q75%	53	
Modelación hidrológica	IRH	0,2018 muy baja retención y regulación de humedad	Índice de Retención y Regulación Hídrica, Estudio Nacional del Agua IDEAM (2010) aplicado por CORPOCALDAS e IDEA U.N. (2013)
	Q75%	667,5	
Q90 Curva duración de caudales-CDC semanal promedio	38	Índices Q95 Paso 5 Metodología MAVDT-UNAL (2008) aplicado por CORPOCALDAS e IDEA U.N. (2013)	

Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

**Tabla 9.** Caudales en Q. Olivares-Minitas a partir de modelación distribuida y agregada

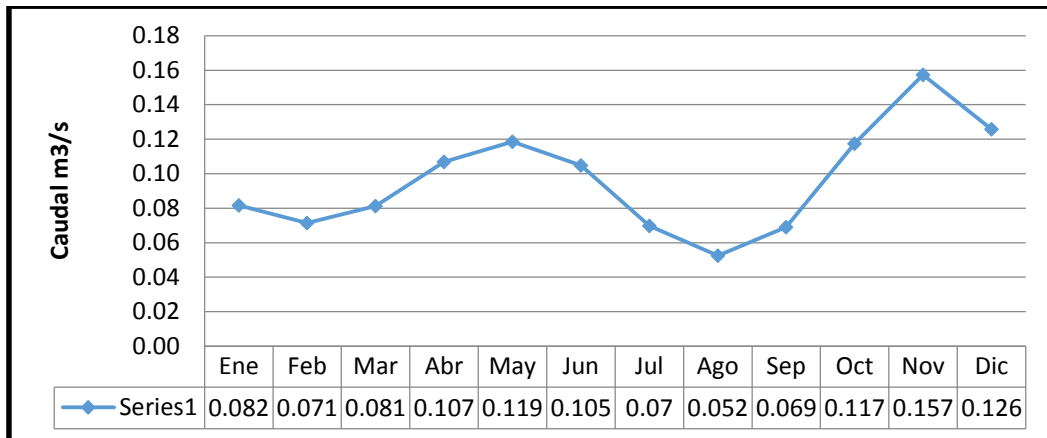
<b>Modelo hidrológico distribuido Balance 1981-2010</b>		<b>Modelo hidrológico agregado</b>
<i>Mes</i>	<i>Caudal (L/seg)</i>	<i>Caudal (L/seg)</i>
Enero	1460,30	
Febrero	1383,00	
Marzo	1563,70	
Abril	2201,30	
Mayo	2182,50	
Junio	1783,10	
Julio	859,20	1720,00
Agosto	796,80	
Septiembre	1117,30	
Octubre	2294,90	
Noviembre	2829,50	
Diciembre	2174,30	
<i>Promedio</i>	<i>1720,49</i>	

*Fuente:* CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

Los Gráficos 1 y 2 a su vez permiten visualizar el comportamiento variable de los caudales a lo largo del año para la Q. Olivares-Minitas: empleando datos de la estación de aforo “Olivares” periodo 1996-2012 y a partir del balance hidrológico obtenido mediante modelación del periodo 1981-2010. Con estos Gráficos se puede corroborar el comportamiento bimodal de la hidrología de la Q. Olivares-Minitas expuesta por Londoño (1995) y Montoya y Ospina (2004), con dos periodos de sequía comprendidos de diciembre a febrero y de junio a agosto y dos periodos de lluvia en los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre.

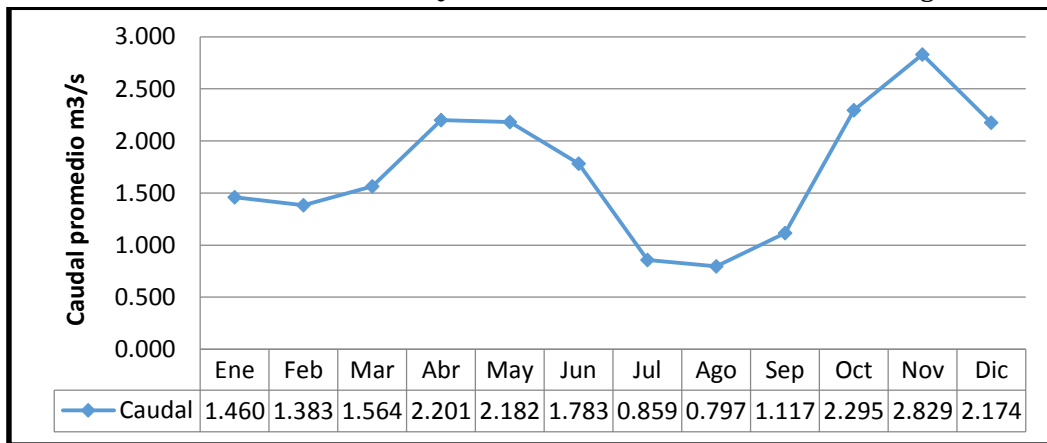


**Gráfico 1.** Variabilidad intra-anual en Q. Olivares-Minitas, estación de aforo Olivares 1996-2012



Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

**Gráfico 2.** Variabilidad intra-anual en Q. Olivares-Minitas, modelación hidrológica 1981-2010



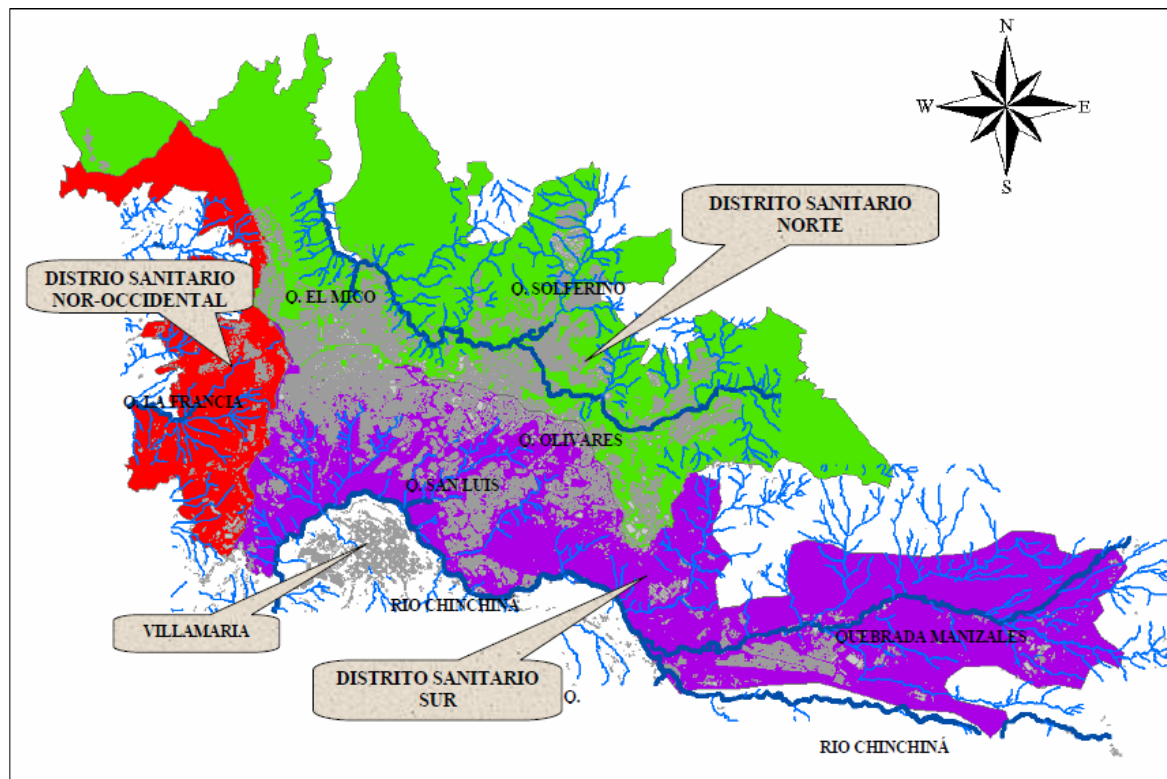
Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

### 3.1.2 Calidad del agua

Históricamente la Q. Olivares-Minitas ha tenido considerable afectación de la calidad del agua debido a la expansión de la ciudad de Manizales, con el consecuente aporte de aguas residuales domésticas de lo que actualmente es el distrito sanitario norte y de las escorrentías urbanas, ver Figura 6; el alcantarillado del distrito mencionado aporta en comparación con los distritos sur y noroccidente de la ciudad de Manizales, el 51,96% de la carga contaminante total tanto para DBO<sub>5</sub> como para SST, es decir, 4.122, 21 Ton de DBO<sub>5</sub> o SST/año, ver Tabla 10

(CORPOCALDAS y GIAS-UTP, 2014). Adicionalmente existen otras fuentes de contaminación puntual como las industrias asentadas en el sector de la Alta Suiza, el Frigocentro (Central de Beneficio Animal del municipio), los lixiviados del Relleno Sanitario Regional La Esmeralda y estaciones de servicio y lavaderos de carros que descargan sus vertimientos ya sea al alcantarillado o a afluentes de la quebrada, éstos últimos aportando sobre todo en términos de grasas y aceites (Ver Tabla 10).

**Figura 6.** Distritos sanitarios de la ciudad de Manizales



Fuente: INGESAM LTDA. (2007)

**Tabla 10.** Cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub> y SST aportadas por fuentes puntuales

Fuente Contaminante	Corriente Receptora	CC Línea Base TR Año 2013	
		DBO <sub>5</sub> Kg/Año	SST Kg/Año
69 descoles de ARD	Q. Olivares-Minitas	2.107.437,00	2.107.437,00
22 descoles de ARD	Q. El Solferino	845.187,00	845.187,00
2 descoles de ARD	Q. Aguas Frías	57.006,00	57.006,00
6 descoles de ARD	Q. El Mico	871.445,00	871.445,00
4 descoles de ARD	Q. Villapilar	241.141,00	241.141,00
<i>Subtotal Sector Doméstico</i>		<i>4.122.216,00</i>	<i>4.122.216,00</i>
<i>Porcentaje Sector Doméstico respecto al total de CC aportada</i>		<i>92,03%</i>	<i>97,85%</i>
Central Lechera de Manizales S.A	Alcantarillado	295.059,65	74.136,58
Invermec S.A - (INCOLMA)	Alcantarillado	1.794,08	4.031,37
Mabe Colombia S.A.S.	Alcantarillado	2.287,20	1.424,90
<i>Subtotal Industrias</i>		<i>299.140,93</i>	<i>79.592,85</i>
<i>Porcentaje Industrias respecto al total de CC aportada</i>		<i>6,68%</i>	<i>1,89%</i>
Frigocentro S.A.	Alcantarillado	4.799,00	4.799,00
<i>Subtotal C. Beneficio Animal</i>		<i>14.517,00</i>	<i>4.799,00</i>
<i>Porcentaje C. Beneficio Animal respecto al total de CC aportada</i>		<i>0,32%</i>	<i>0,11%</i>
EMAS S.A. E.S.P. Relleno Sanitario	Q. Aguas Frías	6.274,52	6.274,52
<i>Subtotal Relleno Sanitario</i>		<i>43.098,04</i>	<i>6.274,52</i>
<i>Porcentaje Relleno Sanitario respecto al total de CC aportada</i>		<i>0,96%</i>	<i>0,15%</i>
<b>Total CC aportada a Q. Olivares-Minitas</b>		<b>4.478.971,96</b>	<b>4.212.882,37</b>

*Fuente: CORPOCALDAS y GIAS-UTP (2014)*

Actualmente el Frigocentro S.A. trata las aguas residuales producidas con eficiencias reportadas a CORPOCALDAS del 93% y 96% para DBO<sub>5</sub> y SST respectivamente (CORPOCALDAS y GIAS-UTP, 2014), pero esto no siempre fue así, Paredes (1995) hablaba de las descargas sin tratamiento del “matadero municipal” e incluso INGESAM LTDA. (2007) reportó una descarga directa a la Q. Olivares-Minitas en el año 2006, ver Foto 1.

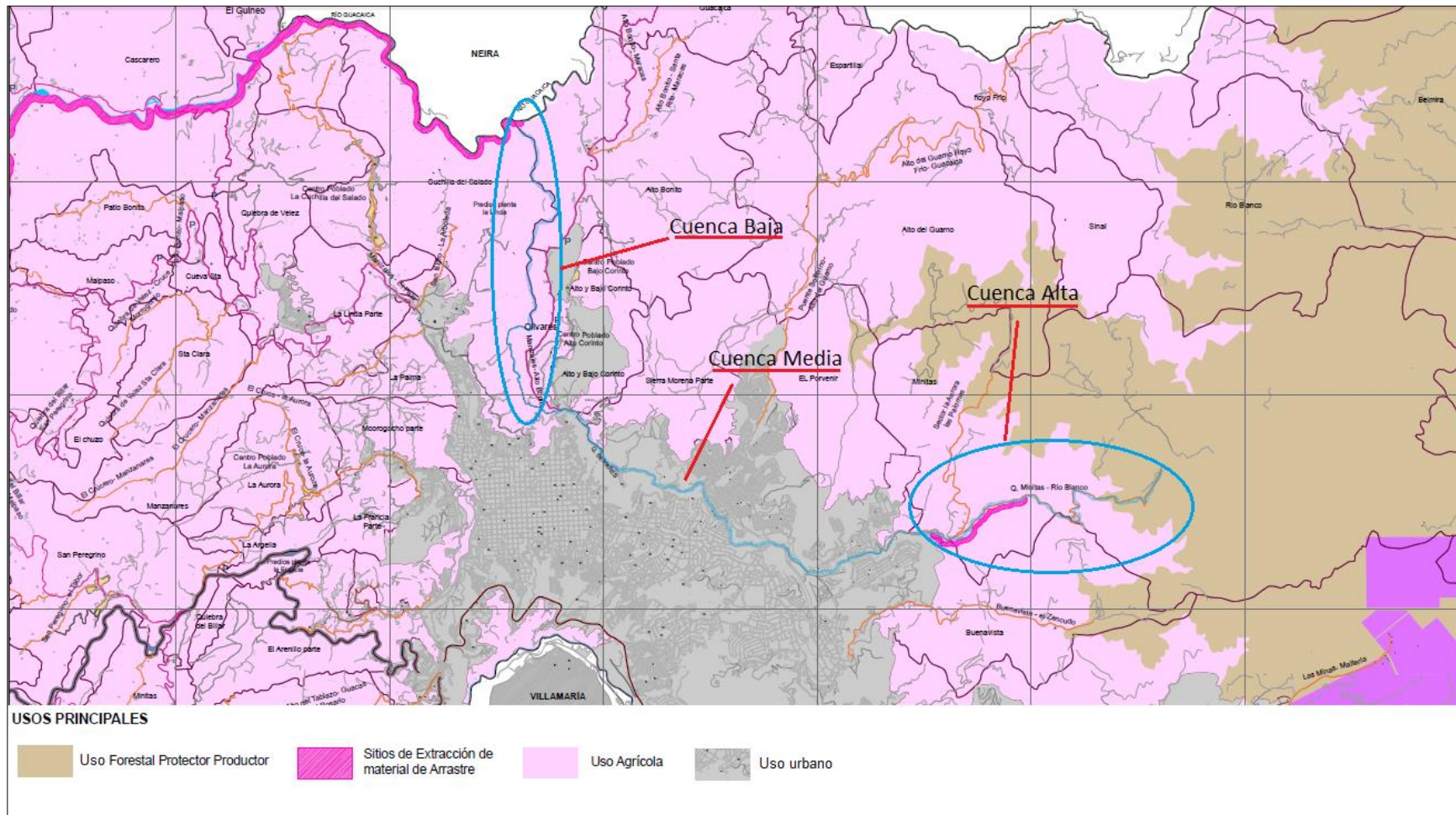
**Foto 1.** Descarga directa del Frigocentro S.A. a la Q. Olivares-Minitas, año 2006



*Fuente:* INGESAM LTDA. (2007)

Como fuentes de contaminación difusa se tienen las escorrentías urbanas ya citadas, así como las provenientes del uso agrícola (café y plátano) y pecuario (ganadería), principalmente en la cuenca alta y baja de la corriente hídrica, ver Figura 7. Sin embargo, no se poseen para este caso datos de cargas contaminantes aportadas.

**Figura 7.** Usos del suelo en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas



Fuente: Alcaldía de Manizales (2007). Modificado por el autor.



En lo referente a monitoreo de calidad del agua superficial, en la Q. Olivares-Minitas se han realizado desde el año 1987 hasta la fecha 16 campañas, en la Tabla 11 se pueden observar detalles de 15 de estas<sup>9</sup>. Teniendo en cuenta un análisis de los resultados de dichos muestreos (Ver Anexo 1) se derivan las siguientes conclusiones generales:

- No se dispone de detalle respecto a representatividad de los muestreos, además éstos han sido realizados en diferentes puntos a lo largo del cauce que no coinciden necesariamente entre las distintas campañas que se han llevado a cabo, posiblemente debido a su manejo por parte de diferentes instituciones.
- Los parámetros muestreados no han sido siempre los mismos, aunque en 12 de los 15 muestreos se observan aquellos más comunes tales como: OD, DQO, DBO5, SST y pH, lo que posibilita la realización de algunos análisis comparativos, ver Gráfico 3.
- Los dos mayores periodos sin monitoreos registrados fueron de 1987-1995 y de 2007-2011, es decir, 7 y 4 años respectivamente; no obstante el resto de tiempo se han realizado muestreos casi anuales por parte de alguna institución.
- Únicamente la mitad de los monitoreos fueron realizados en sitios representativos de toda la cuenca. Además, estos han sido realizados por distintas entidades o instituciones, incluso haciendo parte de trabajos de grado.
- El promedio de estaciones monitoreadas es de 5, encontrándose mínimo 2 y máximo 14.
- No en todos los muestreos se emplearon bioindicadores de calidad de agua, apenas en 4 de los 15; en general, predominan los muestreos físico-químicos.

---

<sup>9</sup> No se tuvo acceso a la información de CORPOCALDAS y Omega y Asociados Ltda. (2011).

**Tabla 11.** Principales características de campañas de monitoreo de calidad del agua realizadas en la Q. Olivares-Minitas

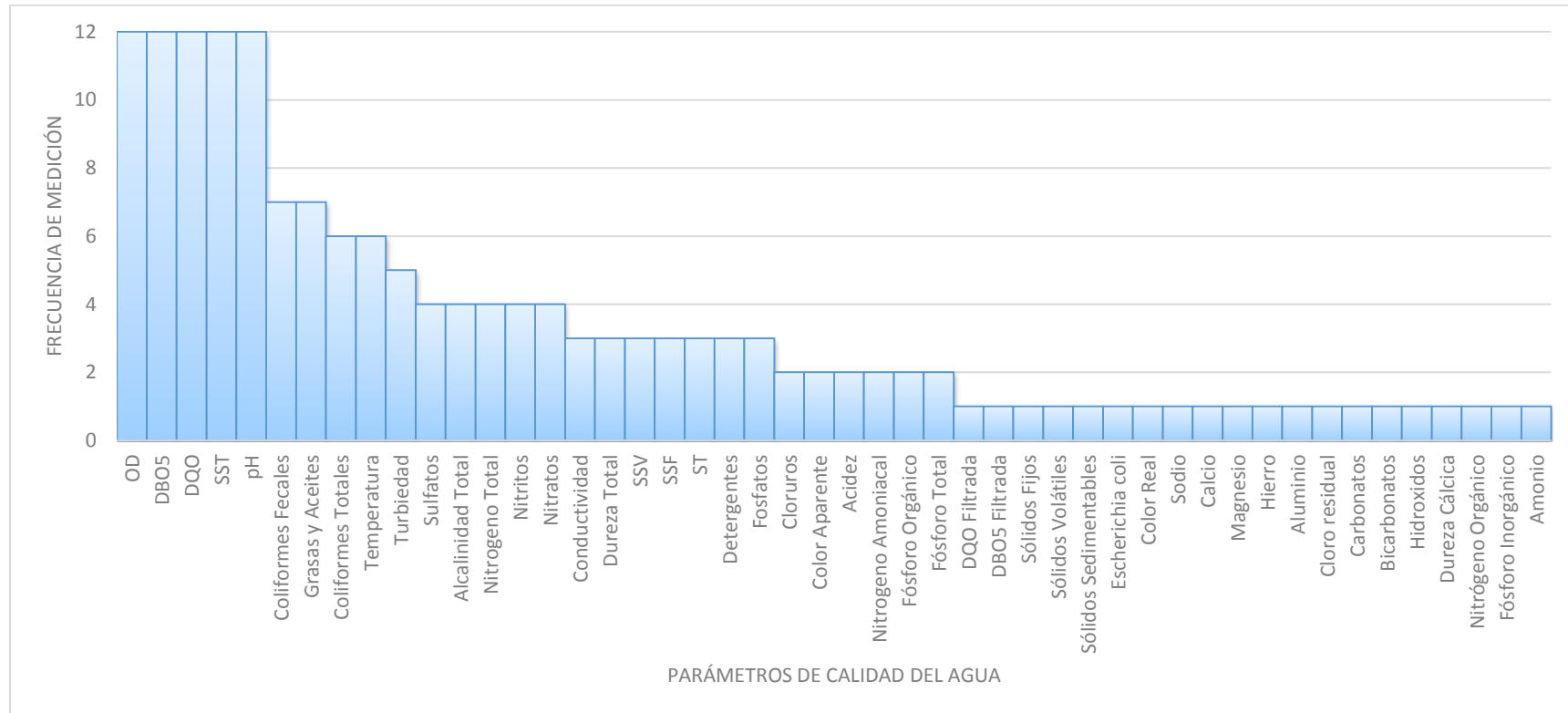
Número	Año	Número de estaciones monitoreadas	Ubicación de la estaciones dentro de la cuenca	Parámetros monitoreados	Especificaciones del muestreo	Entidad relacionada	Fuente
1	1987	3	Cuenca alta y Cuenca media (Inicio)	Biológicos	Aplicación de índice de diversidad biológica. Toma de dos muestras por estación. No se especifica verano o invierno durante el muestreo.	Universidad de Caldas	Jaramillo (1987)
2	1988	14	Cuenca alta, media y baja	Físico-químicos y microbiológicos	Se expone sobre macroinvertebrados para tres sectores. No se especifica verano o invierno durante el muestreo.	CRAMSA (hoy CORPOCALDAS)	Gómez y Santamaría (1988)
3	1995	4	Cuenca alta y Cuenca media	Físico-químicos y microbiológicos	El muestreo se realizó en verano e invierno.	Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá	Paredes (1995)
4	1996	5	Cuenca alta, media y baja	Físico-químicos y microbiológicos	No se especifica verano o invierno durante el muestreo.	Aguas Manizales S.A E.S.P.	Jiménez (1996) - Contraloría General de Manizales
5	1996	6	Cuenca alta, media y baja	Químicos	El muestreo se realizó en verano.	Universidad Católica de Manizales	Gaona (1997)
6	1997	6	Cuenca alta, media y baja	Químicos y microbiológicos	El muestreo se realizó en verano.	Universidad Católica de Manizales	Gaona (1997)
7	1997	5	Cuenca alta, media y baja	Físico-químicos	No se especifica verano o invierno durante el muestreo.	CORPOCALDAS - Universidad de Caldas	CORPOCALDAS y Universidad de Caldas (1997)

Número	Año	Número de estaciones monitoreadas	Ubicación de la estaciones dentro de la cuenca	Parámetros monitoreados	Especificaciones del muestreo	Entidad relacionada	Fuente
8	1998	7	Cuenca alta, media y baja	Químicos, microbiológicos y biológicos	No se especifica verano o invierno durante el muestreo.	CORPOCALDAS - Contraloría General del municipio de Manizales	Contraloría General del municipio de Manizales (1999)
9	1999	3	Cuenca media	Físico-químicos	El muestreo se realizó en verano e invierno.	Aguas Manizales S.A E.S.P.	Aguas Manizales S.A. E.S.P. (1999)
10	2001	6	Cuenca alta y media	Químicos	El muestreo se realizó en verano	Aguas Manizales S.A E.S.P.	Aguas Manizales S.A. E.S.P. (2001)
11	2002	2	Cuenca media	Físico-químicos	No se especifica verano o invierno durante el muestreo.	CORPOCALDAS	CORPOCALDAS (2002)
12	2003	3	Cuenca alta y media	Químicos	No se especifica verano o invierno durante el muestreo.	CORPOCALDAS	CORPOCALDAS (2003)
13	2006	7	Cuenca alta, media y baja	Físico-químicos y microbiológicos	El muestreo se realizó en verano.	Aguas Manizales S.A E.S.P.	INGESAM (2007)
14	2011	6	Cuenca alta, media y baja	Físico-químicos, biológicos y microbiológicos	El muestreo se realizó en verano e invierno.	Universidad de Caldas	Pérez y Bohórquez (2012)
15	2012	4	Cuenca alta, media y baja	Físico-químicos, biológicos y microbiológicos	El muestreo se realizó en verano.	CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales	CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013)

*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria



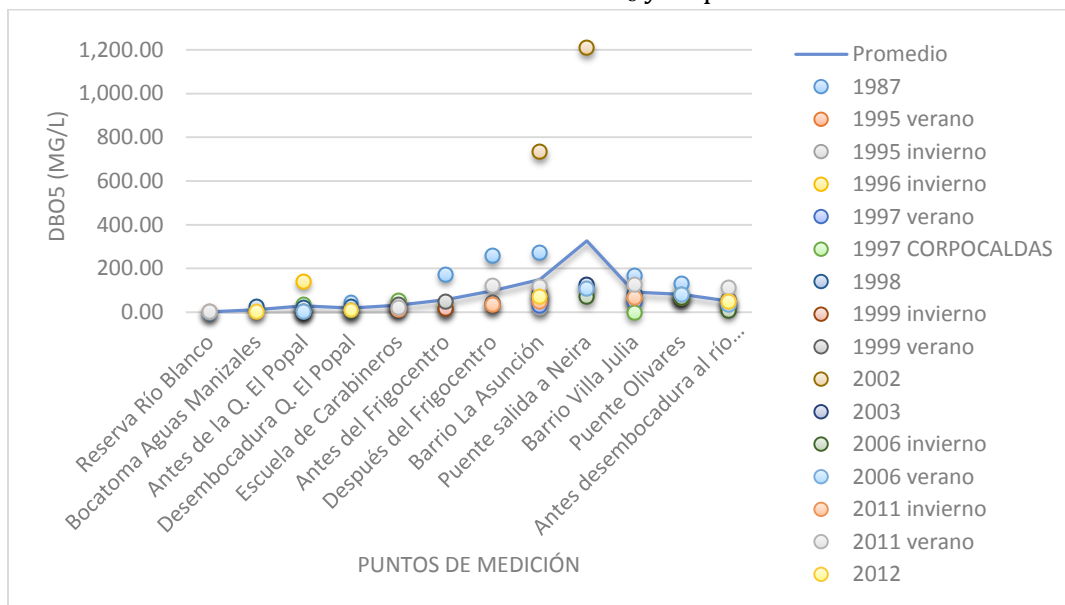
**Gráfico 3.** Frecuencia de medición de parámetros de calidad del agua en los diferentes monitoreos realizados



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

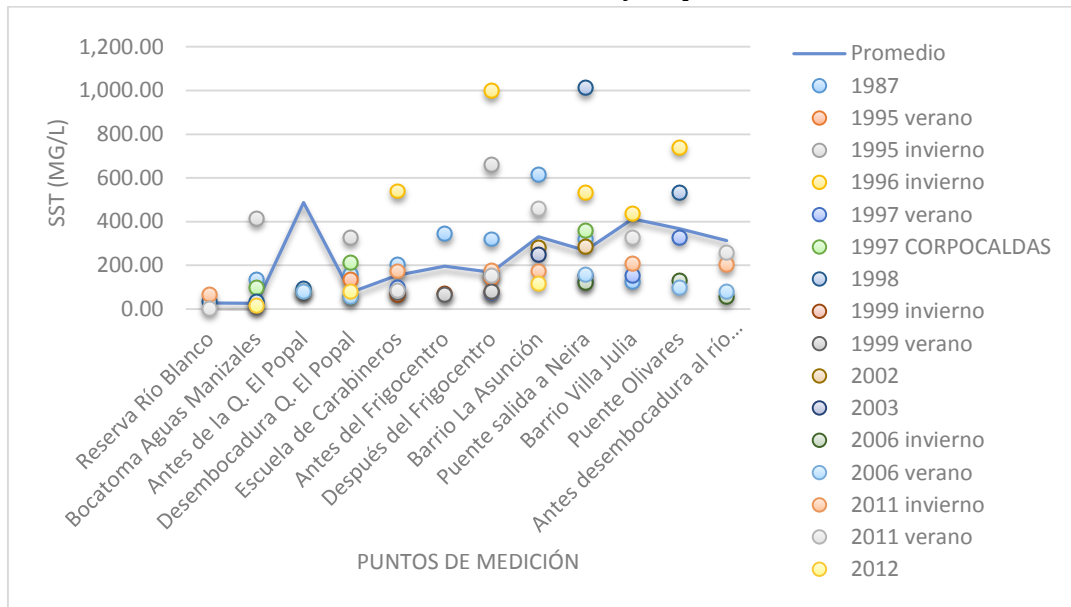
- Para DBO<sub>5</sub> se tuvo en el año 1987 una generalidad en valores altos a través de las diferentes estaciones de monitoreo, ver Gráfico 4. Posiblemente debido a que en esa época aún no había mayor control de vertimientos, puesto que la Autoridad Ambiental era CRAMSA la cual se enfocaba en el control de procesos erosivos de los municipios de Aranzazu, Manizales y Salamina; apenas después de la Ley 99 de 1993 la entidad pasó a ser lo que hoy es CORPOCALDAS, asumiendo entre sus funciones el monitoreo de vertimientos y calidad del agua superficial.
- Existen datos de diferentes parámetros físico-químicos extremos (muy mayores o menores que los demás), lo que permite deducir que los muestreos no fueron representativos de la generalidad de vertimientos que se tenían para la estación, y/o reflejaron alguna descarga de residuos líquidos imprevista o puntual en el tiempo. Esta situación se puede observar en los Gráficos 4 a 6 que ilustran las medias y dispersión de los datos para DBO<sub>5</sub>, SST y OD, además los sectores de mayor y menor contaminación a lo largo de la corriente hídrica.

**Gráfico 4.** Concentraciones históricas medias de DBO<sub>5</sub> y dispersión de los datos



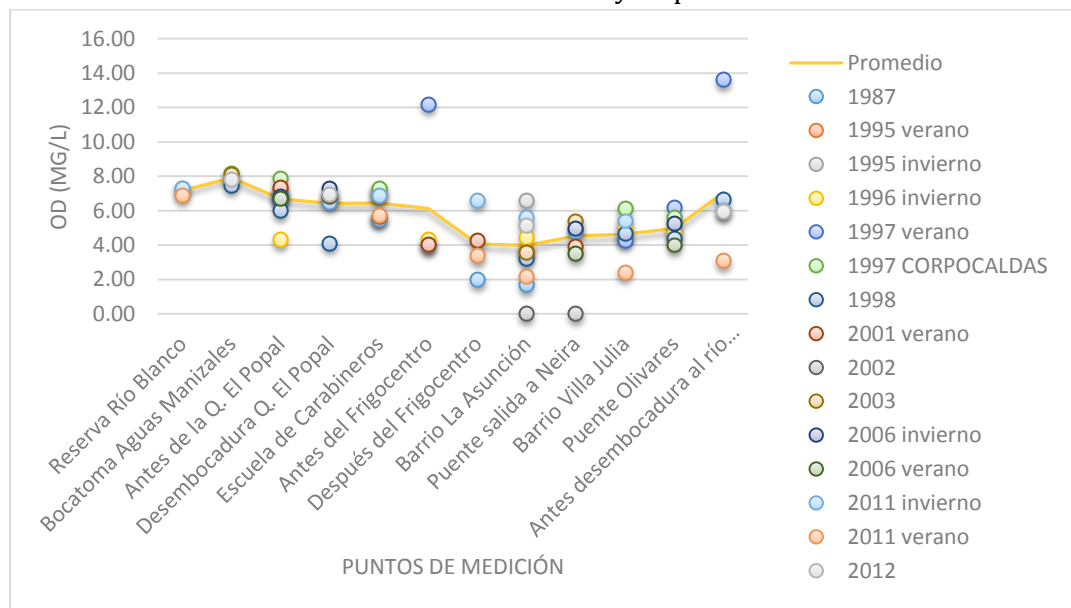
Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

**Gráfico 5.** Concentraciones históricas medias de SST y dispersión de los datos



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

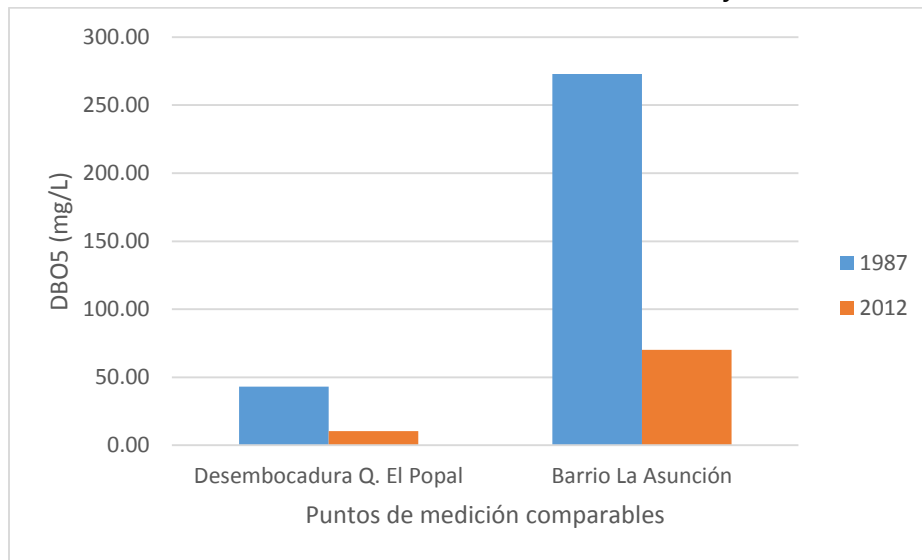
**Gráfico 6.** Concentraciones históricas medias de OD y dispersión de los datos



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

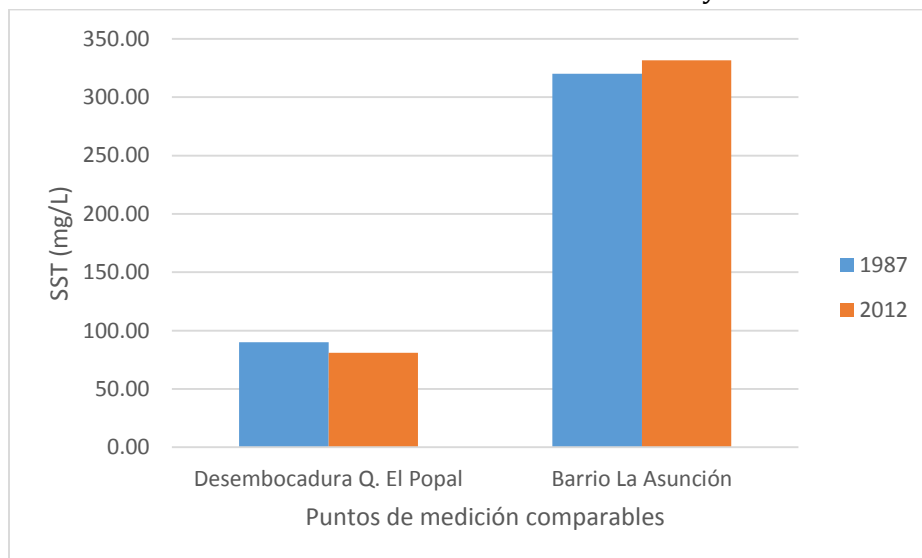
- Teniendo en cuenta el primer monitoreo de calidad del agua en el año 1987, así como el último realizado en el año 2012, se pueden observar solo dos estaciones comparables: la desembocadura de la Q. El Popal y el barrio La Asunción. Según los Gráficos 7 a 9 se tiene que para  $DBO_5$  las concentraciones han bajado, para SST las concentraciones se han mantenido similares y para OD se evidencian mejoras significativas de los niveles de OD, especialmente en la estación Barrio La Asunción.

**Gráfico 7.** Diferencias en  $DBO_5$  entre monitoreos de los años 1987 y 2012



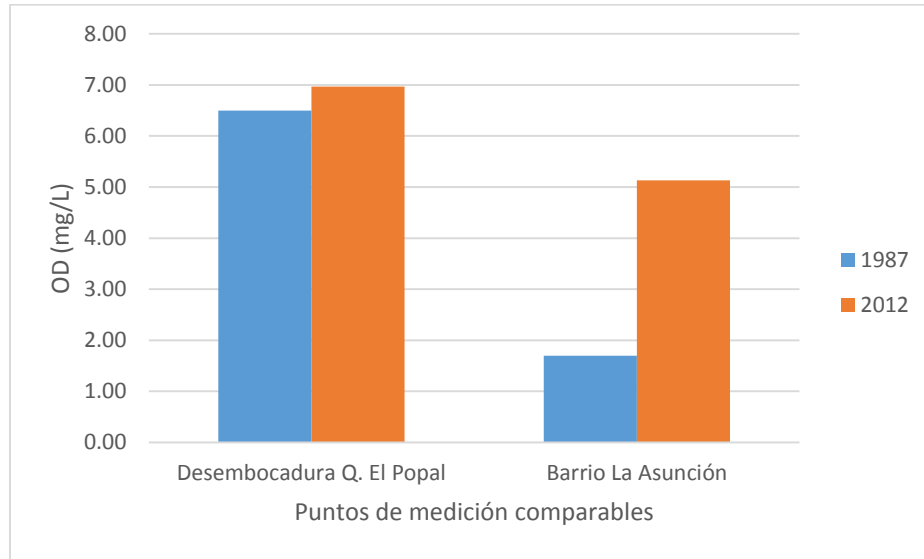
Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

**Gráfico 8.** Diferencias en SST entre monitoreos de los años 1987 y 2012



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

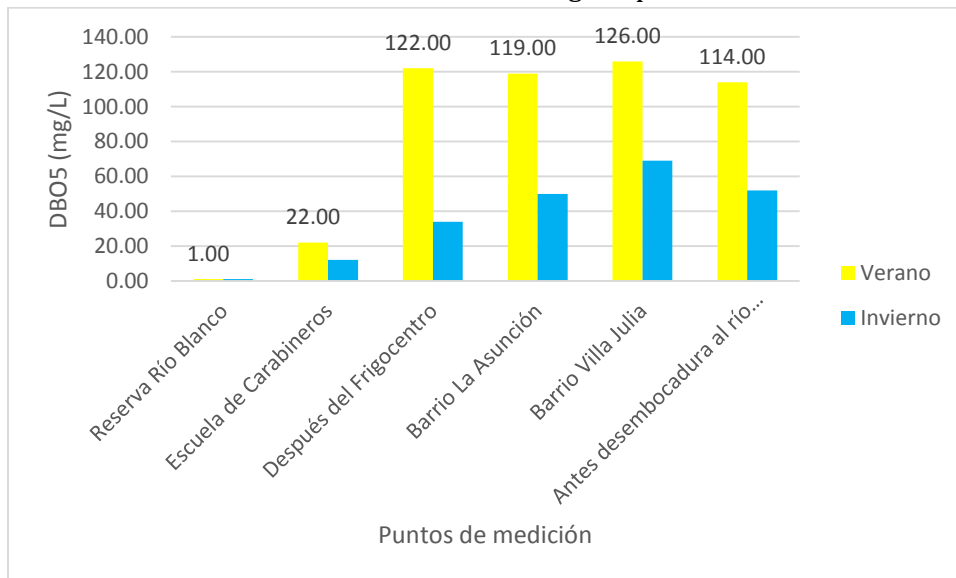
**Gráfico 9.** Diferencias en OD entre monitoreos de los años 1987 y 2012



*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria

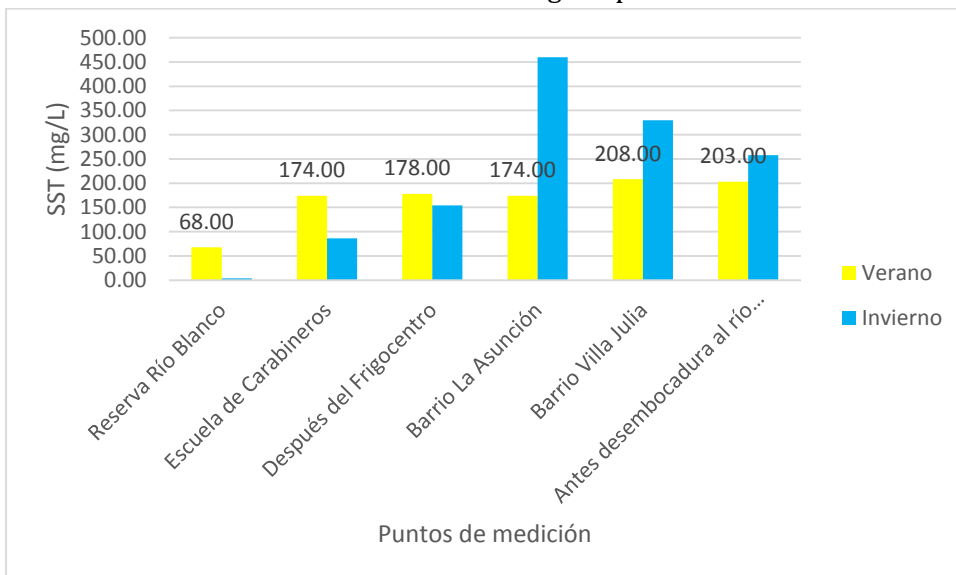
- Solo en 4 de los 15 monitoreos se tomaron muestras representativas del régimen hidrológico bimodal, sin embargo, los resultados arrojados no permiten concluir sobre una tendencia determinada. Tomando el monitoreo del año 2011 que quizás es uno de los más completos, se puede observar que para  $DBO_5$  en verano las concentraciones son más altas, respecto a SST se presentan las concentraciones más altas en invierno en la cuenca media-baja, posiblemente debido a la depositación de los sedimentos producidos y transportados por la cuenca alta y parte de la media. En lo referente a OD, en verano las concentraciones son más altas en toda la cuenca. Los Gráficos 10 a 12 exponen lo mencionado.

**Gráfico 10.** Variación de concentraciones de DBO<sub>5</sub> según época climática



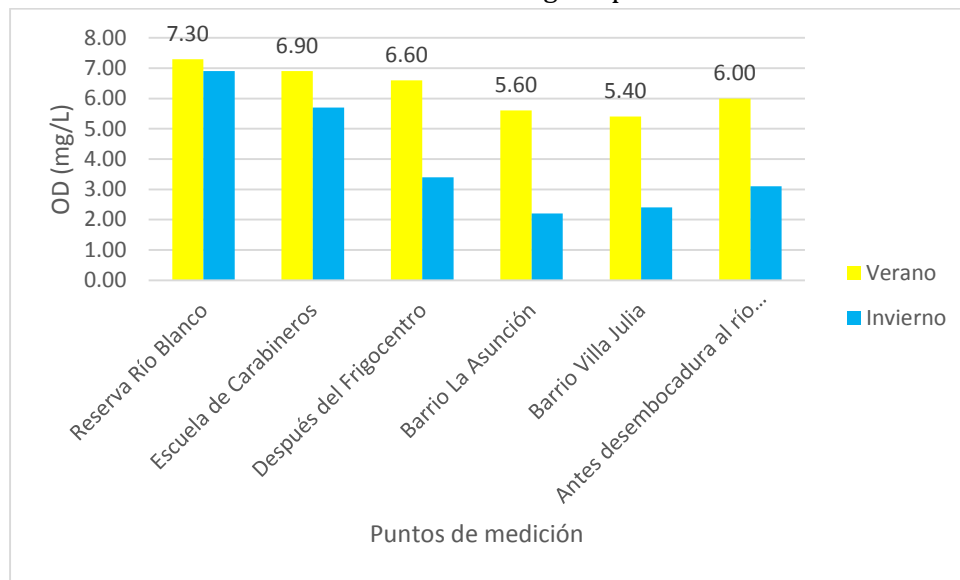
*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria

**Gráfico 11.** Variación de concentraciones de SST según época climática



*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria

**Gráfico 12.** Variación de concentraciones de OD según época climática



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

En la Q. Olivares-Minitas también se ha realizado el ejercicio de estimar indicadores de calidad del agua o de contaminación, incluso considerando parámetros biológicos:

- En el año 1987 se calculó el ISFN a partir del muestreo realizado antes de la desembocadura de la Q. El Porvenir (Q. El Solferino) y se encontró una calidad del agua pésima (Paredes, 1995). Asimismo se calcularon Índices de Diversidad de Macroinvertebrados a partir del muestreo realizado en estaciones de cuenca alta y media, para la primera se indicaban aguas claras con poca contaminación, aptas para recreación y consumo humano y para la segunda se indicaban aguas moderadamente a altamente contaminadas (Jaramillo, 1987).
- En el año 2011 se calcularon los siguientes: BMWP/Col, EPT, CETESB, ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO, a partir de muestreos realizados en estaciones representativas de toda la cuenca, tanto para época de verano como de invierno.
  - Según el BMWP/Col para época de lluvia en la parte alta de la cuenca se tienen aguas contaminadas, para la media aguas muy contaminadas y fuertemente contaminadas y para la baja aguas muy contaminadas; en la época seca la situación se agrava para la parte baja de la cuenca.

- Según el EPT para época de lluvia en la parte alta de la cuenca se tiene agua de calidad buena y en la parte media el agua es de calidad mala; en época seca la situación se agrava para la parte alta, tornándose el agua de regular calidad.
- Según el CETESB para época de lluvia en la parte alta de la cuenca se tuvo agua de buena calidad, para la media aguas de media y mala calidad y para la baja aguas de mala calidad; en la época seca la situación permaneció igual.
- Según el ICOMI en época de lluvia la contaminación por mineralización para la cuenca alta y media fue nula y para la cuenca baja fue de bajo grado; en época seca la situación se agrava para la cuenca media y alta evidenciándose contaminación baja, media y alta.
- Según el ICOMO en época de lluvia la contaminación por materia orgánica para la cuenca alta fue nula, para la cuenca media fue de grado medio y para la cuenca baja fue de grado medio-alto; en época seca la situación en la cuenca media y baja se agrava, tornándose en grado alto y muy alto de contaminación.
- Según el ICOSUS en época de lluvia la contaminación por sólidos suspendidos para la cuenca alta fue nula, para la cuenca media y baja fue de grado medio; en época seca la situación para la cuenca baja se agrava, tornándose en grado alto la contaminación.
- Según el ICOTRO en época de lluvia la cuenca alta se encontró eutrofizada y la cuenca media baja con hipereutrofia; en época seca la situación permaneció igual (Pérez y Bohórquez, 2012).
- En el año 2012 se calcularon el ICA IDEAM, ICA CETESB y el Índice BMWP a partir de muestreos realizados en estaciones representativas de toda la cuenca, tanto para época de verano como de invierno. Igualmente, el Índice de Integridad Biótica-IIB para macroinvertebrados y perifitión, así como el Índice de Integridad de Hábitat.
  - Según el ICA IDEAM la cuenca alta tuvo calidad del agua entre grado aceptable y regular, la cuenca media grado regular y la cuenca baja grado malo.
  - Según el ICA CETESB la cuenca alta tuvo calidad del agua en grado bueno, la cuenca media entre aceptable y malo y en la cuenca baja grado malo.
  - Según el BMPW la cuenca alta tuvo aguas contaminadas y la cuenca media aguas fuertemente contaminadas.
  - Según el Índice de Integridad del Hábitat la cuenca alta presenta una alta integridad biótica que evidencia un excelente estado de la comunidad perifítica



y en la cuenca media (Barrio La Asunción) se evidencia una baja integridad biótica que se traduce en un estado deficiente de la comunidad perifítica. De acuerdo con el Índice de Integridad Biótica Compuesto en la cuenca alta se tiene un estado moderado de la comunidad acuática y en la cuenca media declina evidenciando un estado ecológico deficiente (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013b).

En general pese a algunos vacíos de información ya descritos, se considera que la información expuesta es provechosa para deducir sobre el estado de calidad del agua de la Q. Olivares-Minitas, además es evidente la coherencia con lo observado en campo a lo largo de la corriente. Así, los resultados tanto de parámetros físico-químicos de manera individual como de indicadores de calidad del agua y/o contaminación indican que en la parte alta de la cuenca se visualiza bajo grado de alteración de la calidad del agua, pero esto va empeorando a medida que se tienen las descargas en el tramo urbano del cauce o cuenca media, teniendo su punto máximo en el sector de La Asunción; sin embargo, desde el puente de salida al municipio de Neira hasta desembocar al río Guacaica (cuenca baja), la Q. Olivares-Minitas alcanza a tener ciertos grados de recuperación, lo cual se ha relacionado con el encañonamiento que posee el río en este sector, el incremento de las pendientes, la disminución de fuentes de contaminación y el consecuente proceso de oxigenación (Paredes, 1995; INGESAM LTDA., 2007).

Es de anotar que según la aplicación del índice BMWP (Pérez y Bohórquez, 2012), desde la Reserva de Río Blanco, es decir en la cuenca alta donde la corriente hídrica se encuentra más protegida, las aguas ya tienen algún grado de contaminación; el ICA-IDEAM también confirma que el estado de la calidad de agua superficial en esta zona no alcanza a ser “bueno”, sino apenas “aceptable” (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013b). Por su parte, el ICOTRO que indica contaminación por nutrientes permite concluir que toda la corriente hídrica presenta grados de eutrofización (Pérez y Bohórquez, 2012), siendo mayor después de haber recibido las escorrentías agropecuarias de la parte alta y baja de la cuenca, en coherencia con los usos del suelo ya mencionados.

Finalmente, se tiene que INGESAM LTDA. (2007) realizó modelación de calidad del agua de la Q. Olivares-Minitas con el software QUAL2K, con dicha modelación se valida el estado de contaminación de la corriente ya expuesto, el cual consiste en que en la cuenca alta el tramo se encuentra en buen estado, en la cuenca media se ve claramente afectado por el impacto de las

zona urbana y en la cuenca baja, aunque se alcanza a tener cierto grado de recuperación, se continua teniendo niveles altos de contaminación.

### **3.1.3 Conectividad hidrológica**

La primera obra de infraestructura que se encuentra a lo largo del cauce de la Q. Olivares-Minitas es la bocatoma para el acueducto urbano de Manizales. Según Aguas de Manizales S.A. E.S.P (s.f.) es un sistema de reja de fondo ubicada a 2.242 m.s.n.m. y seguidamente se tiene la “represa de Olivares” la cual corresponde a un tanque desarenador con capacidad de 5.200 m<sup>3</sup>, que acopia las aguas provenientes de río Blanco, Q. Pinares, Q. La Guerra, Q. La Arenosa, Q. La Ye y Q. Olivares-Minitas.

De acuerdo con Londoño (1995) la bocatoma de Olivares es una presa de vertedero construida en concreto reforzado en el año 1927; desde allí se conducían las aguas a Planta de Niza por un Box Couvert en concreto reforzado de 0,70 x 0,80 m y una longitud de 6,12 Km, se reportaba una capacidad total de transporte del agua de 450 L/seg en la primera conducción y de 350 L/seg en la conducción final debido a que la caja había sufrido algunos asentamientos.

Por su parte, Aguas Manizales S.A. E.S.P. (s.f.) habla que en la actualidad las aguas se conducen mediante dos sistemas: la caja de concreto que tiene 5.900 m de longitud y capacidad de 500 L/seg, así como a presión por medio de tubería GRP con capacidad de 600 L/seg. La Foto 2 ilustra sobre la corriente aguas arriba de la Represa en el año 1940, las Fotos 3 a 4 el contraste de la Represa Olivares en el año 1940 y en el año 2013, las Fotos 5 a 6 una vista de cerca y transversal en el año 2013 y la Figura 8 sobre la ubicación de las conducciones hacia la Planta de Niza.

Londoño (1995) expone sobre otras obras de infraestructura que irrumpen la conectividad hidrológica de la Q. Olivares-Minitas tales como: estructura de represa inhabilitada en áreas aledañas a la Planta El Popal, barreras de mampostería en el cauce como estructuras transversales utilizadas para corrección de las pendientes, muros de protección de orillas en donde el cauce tiene cambios bruscos de orientación, trinchos o cebaderos para extracción de material de arrastre que consisten en barreras transversales (en piedra y restos de madera) con el objeto de disminuir la velocidad y energía del agua logrando la fijación de sedimentos y estructuras de entrega de aguas freáticas.

**Foto 2.** Q. Olivares-Minitas aguas arriba de la Bocatoma en el año 1940



*Fuente:* Ministerio de Minas y Petróleos (1940)

**Foto 3.** Vista de la Bocatoma Olivares en el año 1940



*Fuente:* Ministerio de Minas y Petróleos (1940)

**Foto 4.** Vista general de la represa Olivares, 22 de noviembre de 2013



*Fuente:* Cortesía Alex Hurtado (2013)



**Foto 5.** Vista de cerca represa Olivares, 22 de noviembre de 2013



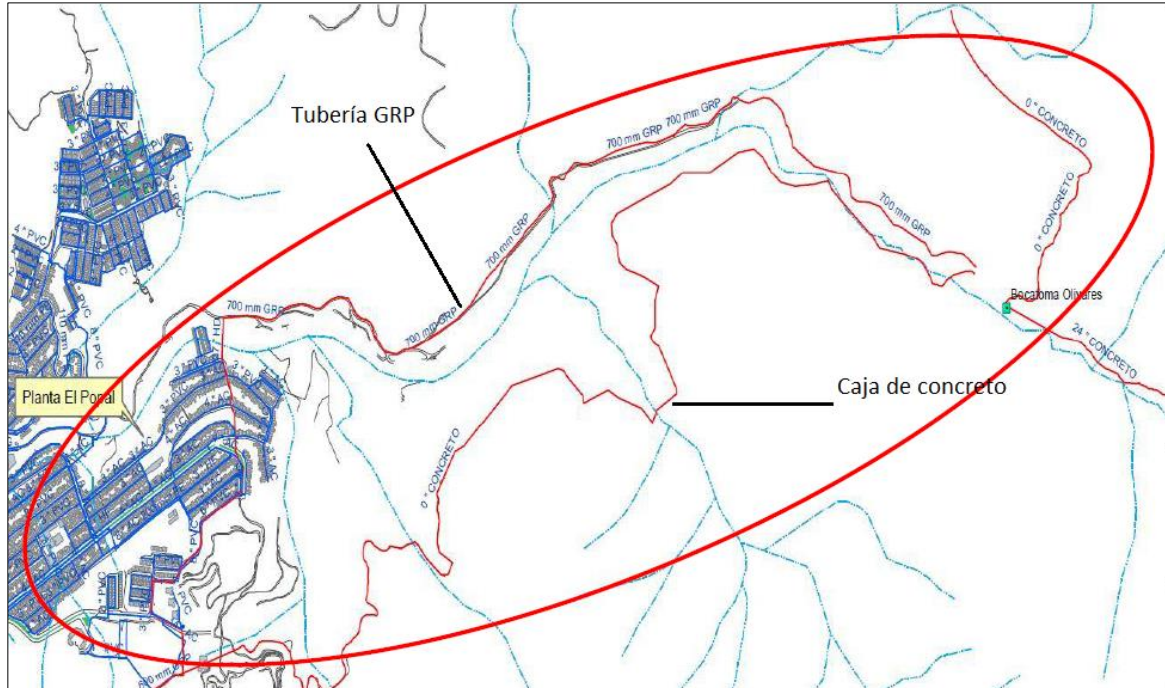
Fuente: Cortesía Alex Hurtado (2013)

**Foto 6.** Vista transversal represa Olivares, 22 de noviembre de 2013



Fuente: Cortesía Alex Hurtado (2013)

**Figura 8.** Conducciones del agua de la bocatoma Olivares hasta la Planta Niza



Fuente: Aguas de Manizales S.A. E.S.P. (2012)

Información más actualizada y detallada proporcionan Rojas y Tobar (2012) puesto que identificaron a lo largo de la quebrada un total de 104 obras de control de cauce, de estabilidad de laderas y de protección de la aducción del acueducto y del colector-interceptor del alcantarillado. De éstas, 70 están en buen estado debido en parte a su reciente construcción, 30 se encuentran en regular estado, aunque no presentan daños considerables y por ello todavía cumplen con su funcionalidad y 4 obras se observaron en mal estado (3 de ellas ubicadas en el tramo Popal-Puente Toscana). Adicionalmente, generaron las siguientes conclusiones:

- La construcción del interceptor que interviene el cauce directamente en el sector de Bajo Rosales - Villa del Rio y en el sector de los Cedros - Puente salida hacia Neira, aunque invade el lecho y márgenes de inundación del afluente, busca liberarlo del vertimiento de aguas residuales conllevando en un futuro enormes beneficios al ecosistema acuático y salubridad para los habitantes de la zona.
- Aunque algunas obras invaden el cauce natural de la quebrada, se observa que muchas son necesarias para conservar la estabilidad de las laderas y estructuras que protegen, no se encontraron obras que no prestaran una función acorde a su construcción.
- En el sector del Popal, varios diques que retienen sedimentos conllevan a que el cauce aguas abajo socave las márgenes de la quebrada amenazando la estabilidad de las obras, como es el caso de las ubicadas en el sector de las bodegas de Unitrans, Lavautos Minitas, Matadero. Sería pertinente evaluar esta situación para determinar si es conveniente la demolición de alguno de estos diques, dándole a la quebrada los sedimentos que requiere para su normal funcionamiento hasta la entrega en el río Guacaica y así contrarrestar la acción que ejerce el cauce sobre los taludes y obras de estabilidad.
- Se debe ejercer mayor control ante nuevos proyectos de urbanización cerca a la quebrada y con la construcción de más obras de estabilidad, ya que se están invadiendo exageradamente las márgenes de inundación.

**Foto 7.** Infraestructura en cuenca baja de la Q. Olivares-Minitas, 13 de noviembre de 2013



*Fuente:* LA PATRIA Digital (2013)

Adicionalmente, haciendo un análisis propio de la información de Rojas y Tobar (2012) se concluye que:

- Con el inventario de obras sobre la Q. Olivares-Minitas realizado se cubre la cuenca alta y media, quedando pendiente revisar las obras existentes en la cuenca baja del curso hídrico. Ver Foto 7, en donde se observa la cancha del barrio Villa Julia, ocupando el espacio fluvial, así como un muro construido al frente, posiblemente con el objeto de contener y/o estabilizar parte de la ladera sur de la quebrada.
- Restringiendo la dimensión longitudinal del sistema fluvial se tienen en total 9 obras y restringiendo la dimensión transversal se tienen en total 82 obras, éstas últimas corresponden en muchos casos a protección de bancas por la socavación de orilla que afectaría otras infraestructuras aledañas. En algunos casos estas obras reducen la sección transversal de la quebrada, como es el caso de los espolones ubicados en la vía hacia La Aurora. Ver Foto 8.
- Se tienen en total 14 puentes entre vehiculares y peatonales sobre la Q. Olivares-Minitas desde que se entra al casco urbano de Manizales (tramo medio de la cuenca). Siendo importante verificar las dimensiones de los puentes existentes para reconocer en cuáles casos se restringe la capacidad hidráulica de la corriente a diferentes periodos de retorno, de acuerdo con las modelaciones hidráulicas ya realizadas.



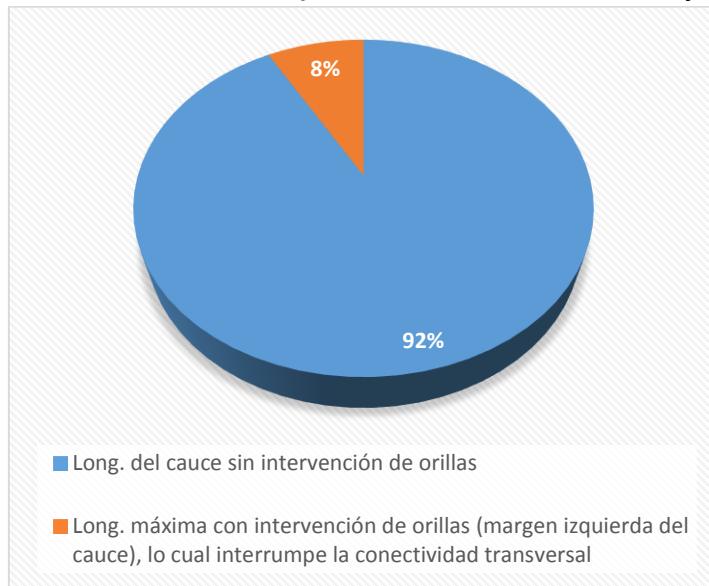
**Foto 8.** Reducción de la sección transversal del cauce de la Q. Olivares-Minitas



*Fuente:* Elaboración propia

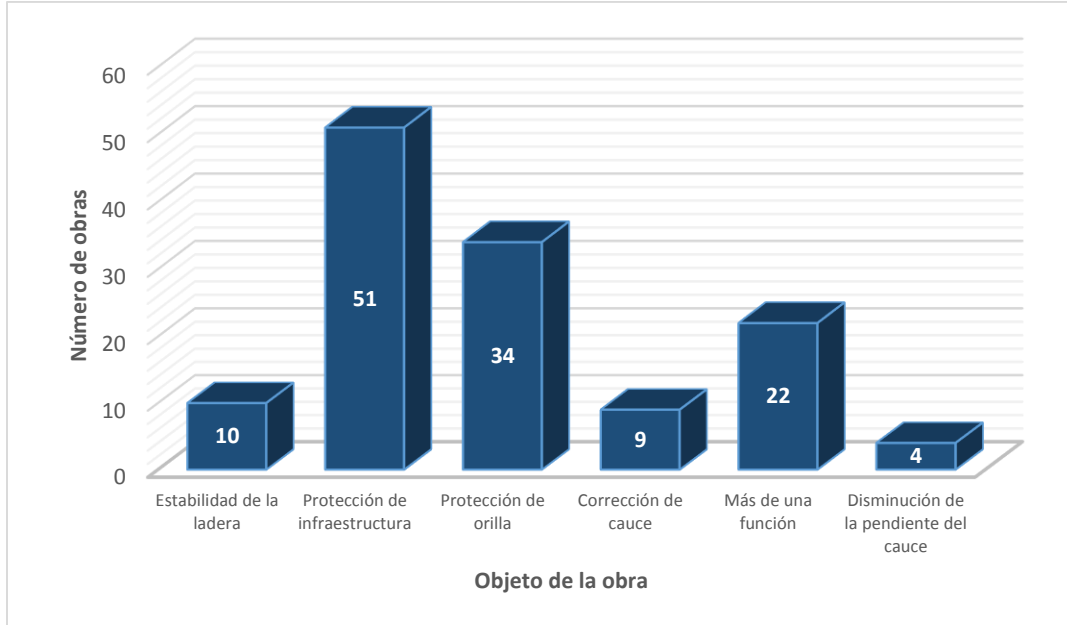
- El Gráfico 13 expone sobre los porcentajes de longitud de cauce intervenido con obras y sin intervenir, lo cual se derivó a partir del conteo de los metros lineales de los muros observados en las orillas de la quebrada según Rojas y Tobar (2012) y la longitud total del cauce dada por CORPOCALDAS y U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a). Tal como se puede observar en el gráfico, apenas un 8% de la longitud total del cauce se encuentra restringida en su dimensión transversal, aunque se debe terminar el inventario en la cuenca baja de la quebrada para concluir realmente sobre el cauce completo.
- El tramo de quebrada que más se encuentra intervenido con protección de orillas es el de las oficinas de Aguas de Manizales-barrio La Asunción con 823 m.
- En el Gráfico 14 se puede visualizar de manera general el objeto de las obras realizadas tanto a nivel transversal como longitudinal de la quebrada. El objeto más común es de la protección de la infraestructura: PTAR El Popal, Lavaderos de autos, oficinas de Aguas de Manizales, Tubo Interceptor de aguas residuales domésticas-ARD, entre otros.

**Gráfico 13.** Intervención de orillas de la Q. Olivares-Minitas, cuenca alta y media



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

**Gráfico 14.** Número de obras en Q. Olivares-Minitas y objeto de construcción



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria



Por su parte, Montoya y Ospina (2004) analizaron la amenaza por inundación en el tramo comprendido entre el puente que une los barrios Minitas-La Sultana y el sector de Aguas Manizales bajo el software HEC-RAS, encontrando que las oficinas de Aguas de Manizales y la Escuela de Carabineros en La Toscana son las zonas que mayor amenaza por inundación presentan.

En adición a lo anterior, Gómez (2009) habla que según la modelación hidráulica realizada para el tramo urbano asentado en la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas bajo el software HEC-RAS, se podrían ver afectadas en periodos de retorno de incluso 5 años gran número de infraestructuras ubicadas sobre terrazas y llanuras de inundación del sistema fluvial, que definidas en el sentido nacimiento-desembocadura son:

- Vía a La Hacienda La Aurora
- Caserío vía al popal invasión
- Vía al Popal
- Puente Perfecta
- Calle 64 A
- Escuela de Carabineros
- Puente peatonal carabineros
- Puente Minitas
- Lavautos El Puente
- Cra. 17 Vía que comunica la central de sacrificio con el sector carabineros
- Puente vehicular y peatonal que comunica aguas de Manizales con La Central de Sacrificio
- Aguas de Manizales
- Lavautos Los Sauces
- Estación de Servicio Av. Del rio
- Centro de Diagnóstico Automotor
- Puente peatonal comunica Baja Leonora con Villa del Río
- Puente La Asunción
- Cancha La Asunción
- Confamiliares La Asunción
- 2 puentes peatonales conectan el Barrio La Asunción con la AV Kevin

- Puente hacia B del norte desde La Asunción y la vía Cra. 15<sup>a</sup>
- Puente Salida a Neira

Finalmente, CORPOCALDAS y U.N. de Colombia Sede Manizales (2013) realizaron una modelación hidráulica más actualizada con el software IBER para el tramo urbano de la Q. Olivares-Minitas, en el marco de un proyecto de gestión del riesgo. Tal como se puede observar en la Figura 9, La Escuela de Carabineros, el sector de Aguas de Manizales y el sector de La Asunción se pueden ver claramente afectados con periodos de retorno de 25 y 100 años.

**Figura 9.** Mancha de inundación de la Q. Olivares–Minitas, para un Tr: 25 y 100 años



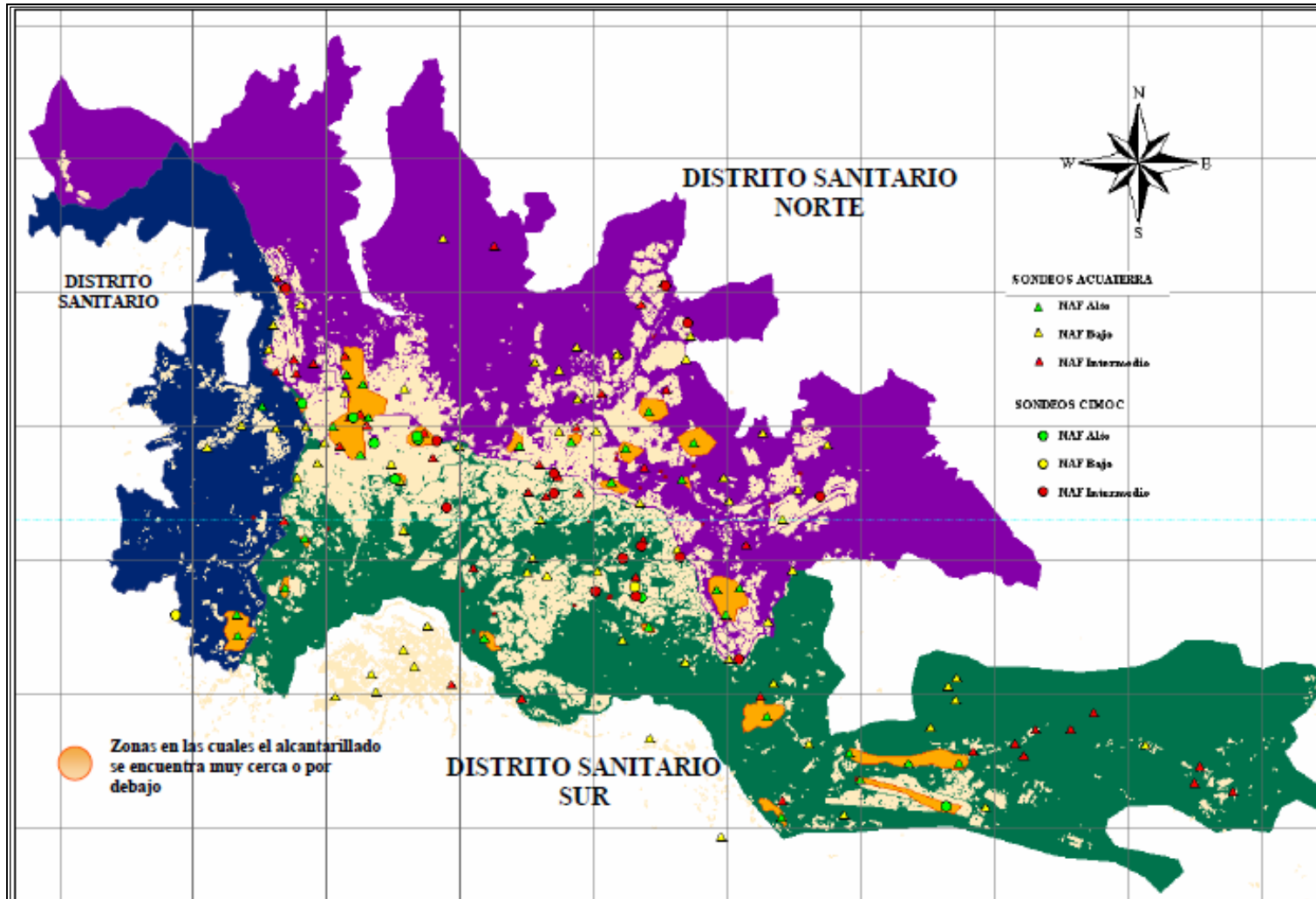
*Fuente:* CORPOCALDAS y U.N. de Colombia Sede Manizales (2013)

Con lo anterior, es claro que la conectividad hidrológica longitudinal y transversal de la corriente en la cuenca media, ha sido altamente restringida con el poblamiento y ocupación antrópica.

En lo correspondiente a conectividad hidrológica vertical para la Q. Olivares-Minitas se cuenta con lo expuesto por INGESAM LTDA. (2007), en donde se habla de que a excepción de algunos sondeos, los suelos altamente permeables como conglomerados, arenas y gravas se encuentran a profundidades relativamente grandes, lo que permite inferir que el nivel de aguas freáticas en la mayor parte del área urbana se encuentra a gran profundidad. La Figura 10 muestra para el área urbana de Manizales las zonas con el nivel freático próximo a la red de alcantarillado, allí se puede observar que para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas se tienen niveles variados de las aguas freáticas: altos, medios y bajos (círculos y triángulos rojos, amarillos y verdes).

Por su parte, Dallos y García (2004) describen un modelo esquemático de circulación de aguas a través de las diferentes unidades hidrogeológicas para la ladera sur de la Q. Olivares-Minitas, específicamente en las tierras donde están asentados los barrios Santa Helena, Los Cedros, San Jorge, Sáenz, El Sol, La Primavera, La Argentina, La Asunción, La Leonora, Los Rosales, La Rambla y Los Laureles, el cual se puede observar la Figura 11. En general, la Unidad I (Secuencia de Tefras) presenta porosidad, permeabilidad y alta capacidad de retención de humedad; la Unidad II (Flujo de escombros alterado) retiene agua, presentando alta saturación, debido a su fuerte meteorización y matriz arcillosa. La Unidad III (Flujo de escombros inalterado) deja circular libremente el agua, permitiendo su paso a la Unidad infrayacente (Unidad IV); la Unidad hidrogeológica IV (Complejo Quebradagrande) presenta condiciones favorables para ser un potencial hídrico aprovechable.

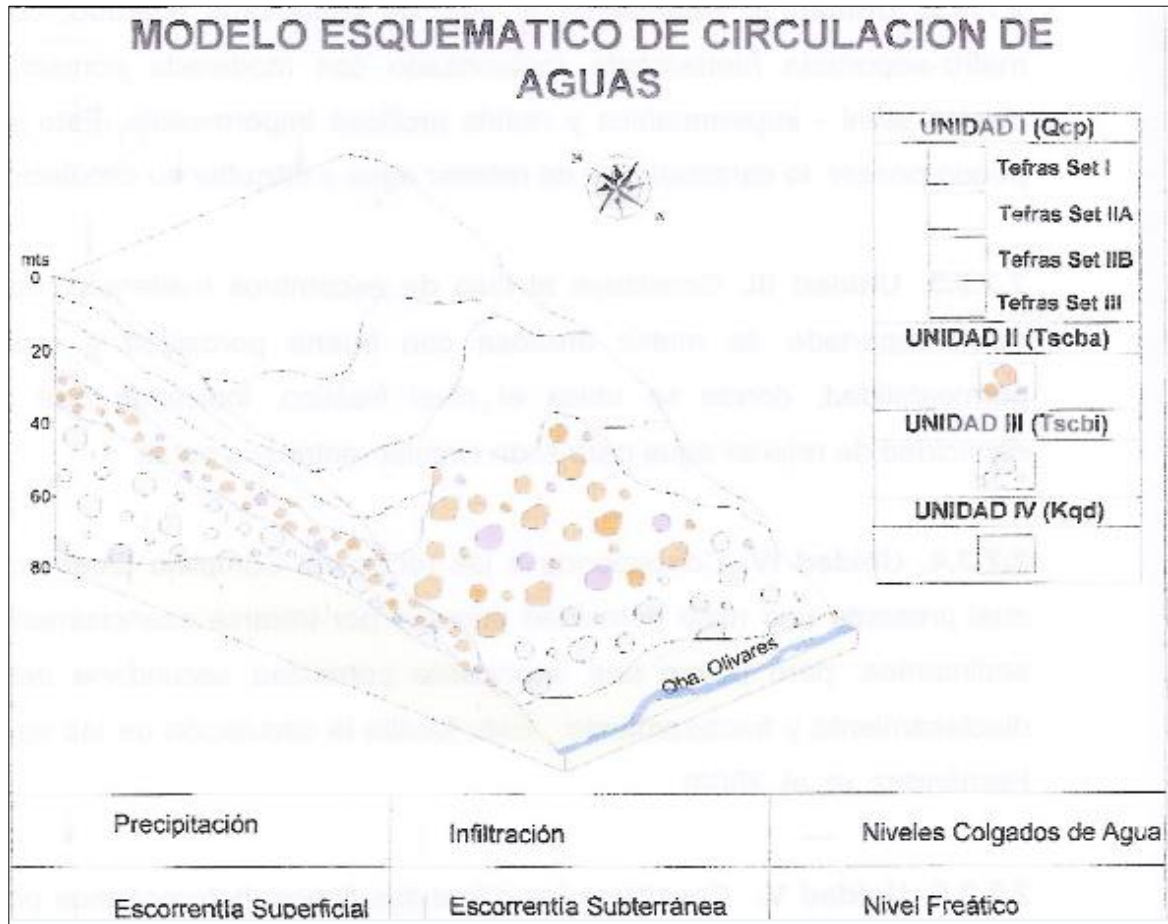
**Figura 10.** Zonas de la ciudad de Manizales con el nivel freático muy próximo al alcantarillado



Fuente: INGESAM LTDA. (2007)



**Figura 11.** Modelo esquemático de circulación de aguas



Fuente: Dallos y García (2004)

## 3.2 Condiciones geomorfológicas Q. Olivares-Minitas

### 3.2.1 Parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante

Según el método de Gravelius, el cual es el oficialmente utilizado en Colombia la Q. Olivares-Minitas es de orden 5 (Gómez, 2009). Sin embargo, de acuerdo con el método de Horton-Strahler la Q. Olivares-Minitas tiene un orden 4 (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia, 2013b).

La Q. Olivares-Minitas es la tercer microcuenca de mayor extensión dentro de las pertenecientes a la cuenca del río Chinchiná, a su vez, la segunda de mayor perímetro y longitud del cauce (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia, 2013a); el patrón de drenaje en la cuenca alta es erosivo de tipo paralelo y anguloso, en la cuenca media erosivo de tipo subdendrítico y subangular y en la cuenca baja erosivo de tipo subparalelo (Londoño, 1995).

Por su parte, Londoño (1995) y Gómez (2009) exponen sobre diferentes parámetros geomorfológicos de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas; no obstante, CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia (2013b) realizan una evaluación más completa y actualizada en el marco del POMCA del río Chinchiná y PORH del río Guacaica, la Tabla 12 detalla sobre el tema.

**Tabla 12.** Algunos parámetros geomorfológicos de Q. Olivares-Minitas

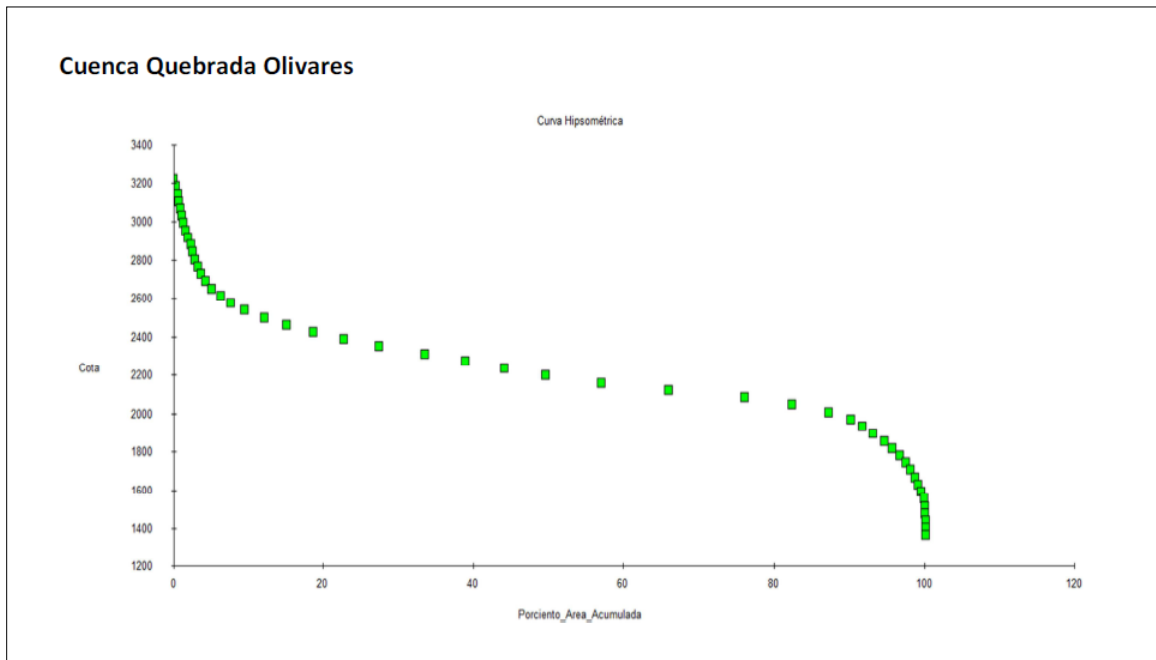
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Área Km <sup>2</sup>	40,76	Elevación media m.s.n.m.	1236
Longitud cuenca Km	12,91	Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius	1,86
Longitud del cauce Km	18,79	Coefficiente de asimetría	1,76
Perímetro Km	40,1	Índice de alargamiento	2,24
Ancho Km	5,76	Relación de elongación	0,56
Relación de bifurcación	0,68	Pendiente media de la cuenca %	33,15
Índice de forma	0,24	Densidad de drenaje Km/Km <sup>2</sup>	1,42
Elevación mínima m.s.n.m.	1385	Densidad de corrientes	2,77
Elevación máxima m.s.n.m.	3323	Coefficiente de torrencialidad (Nº de cauces de orden 1/Km <sup>2</sup> )	4,37

*Fuente:* CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

De los diferentes parámetros geomorfológicos expuestos en la Tabla 12 se puede concluir empleando los criterios del Instituto Nacional de Ecología de México (2004) que el Índice de Forma indica un río principal largo y una cuenca que no tiende a concentrar el escurrimiento de las lluvias intensas; el Coeficiente de Compacidad indica una cuenca de forma oval oblonga a rectangular oblonga, indicando poca susceptibilidad a inundaciones; el Índice de Alargamiento al presentar valores mucho mayores a la unidad indica una cuenca moderadamente alargada, validando la información proporcionada por los parámetros geomorfológicos ya mencionados y la Densidad de Drenaje indica un drenaje de clase baja pero eficiente.

A su vez, el Gráfico 15 expone sobre la curva hipsométrica de la Q. Olivares-Minitas, para lo cual se debe tener en cuenta que entre más cercano a 1 sea el cociente del área sobre y bajo la curva, se tiende a mayor equilibrio geomorfológico (Vélez, 2011).

**Gráfico 15.** Curva hipsométrica de la Q. Olivares-Minitas



Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

El Tiempo de Concentración es el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés, correspondiendo al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial; indica que a mayor tiempo se tiene mayor volumen de agua y también un mayor escurrimiento (Instituto Nacional de Ecología de México, 2004). Este parámetro geomorfológico también se ha evaluado en la Q. Olivares-Minitas y CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b) exponen diferentes resultados a partir de estimaciones con distintos métodos, pudiéndose observar que existe gran diversidad de valores que van desde 0,41 h a 9,66 h.

### **3.2.2 Historia geológica y tendencias**

Los cauces de la Q. Olivares-Minitas y de muchos de sus tributarios tienen fuertes pendientes haciendo que en ellos predomine un régimen torrencial con gran poder erosivo que arrastra cantidad de detritos cuyos tamaños van desde arcilla a bloques; como consecuencia de esto, los valles son profundos con laderas de pendientes fuertes originando un relieve abrupto con sierras, cuchillas y quebras. La divisoria entre el río Chinchiná y Q. Olivares-Minitas que vienen de este a oeste se transforma en una cuchilla dirigida más o menos norte-sur formando una especie de T, a lo largo y ancho de la cual se asienta la ciudad de Manizales (Naranjo y Ríos, 1989).

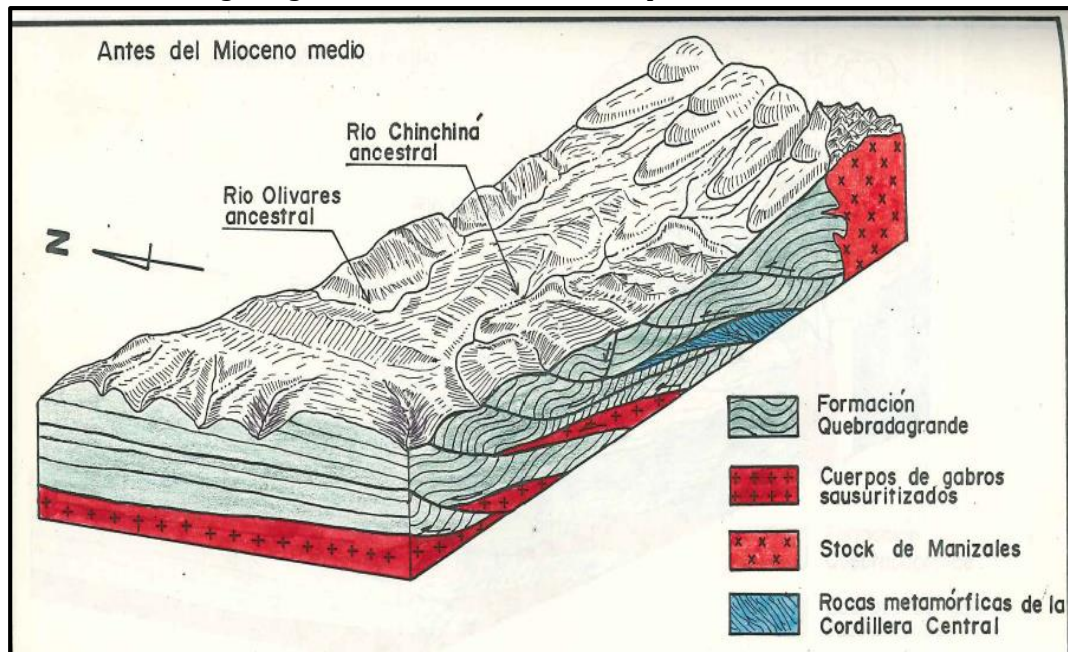
Las terrazas de la Q. Olivares están formadas por grandes bloques y cantos rodados de diorita, neis y andesita cementados por arenas con abundantes cenizas volcánicas. Los cantos y bloques de andesita frecuentemente son angulosos, poco rodados, lo cual hace pensar que pudieron haber sido lanzados por las erupciones de los volcanes andinos, arrancándolos en sus explosiones de las lavas ya solidificadas de las paredes del volcán o de tapones que se formasen en su cráter (Ministerio de Minas y Petróleos, 1940).

Según Naranjo y Ríos (1989) las características geológicas de Manizales en general son complejas, debido a varios factores entre los que predomina la cobertura volcánica tapizando las demás unidades y el fuerte tectonismo que ha afectado a las diferentes formaciones. A continuación, se presenta una historia geológica que abarca desde el Cretácico inferior hasta hoy, desarrollada en varios episodios de tectonismo, plutonismo y sedimentación.



La parte inicial está representada por la depositación de los detritos que dieron origen a la Formación Quebradagrande en un periodo de tiempo que abarca desde el Barremiano hasta el Campaniano. Entre el Campaniano y el Oligoceno se produjo el fallamiento de la Formación Quebradagrande y el emplazamiento tectónico de los cuerpos de gabros dentro de las rocas sedimentarias. En este periodo de tiempo hay levantamiento y erosión y los sistemas de drenaje profundizan sus cauces. Ver Figura 12.

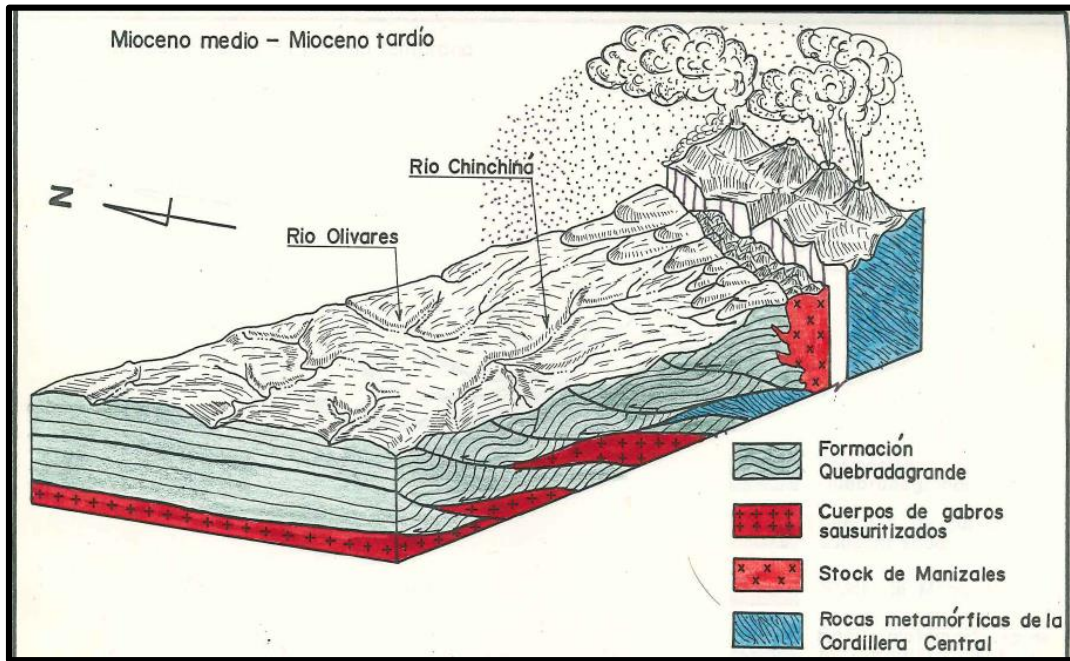
**Figura 12.** Situación geológica de la zona antes de la depositación de la Formación Manizales



Fuente: Naranjo y Ríos (1989)

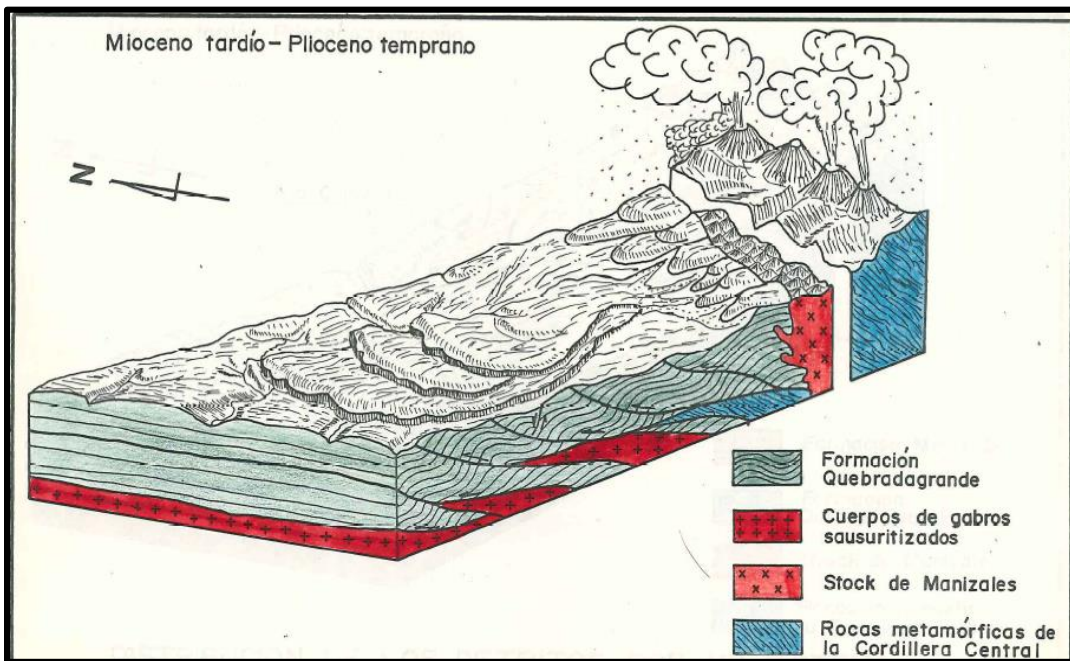
A partir del Mioceno medio se inicia una actividad volcánica lávica en el eje de la cordillera que aporta los primeros clastos volcánicos a los depósitos que se formaban en las partes bajas de la cordillera. Ya en el Mioceno tardío la actividad lávica pasa a una actividad netamente explosiva caracterizada por la producción de grandes volúmenes de productos piroclásticos que colmataron los sistemas de drenaje y proporcionaron los materiales para la construcción de la Formación Manizales. Ver Figura 13 a 15.

**Figura 13.** Inicio de la actividad volcánica explosiva en la parte media de la cordillera central



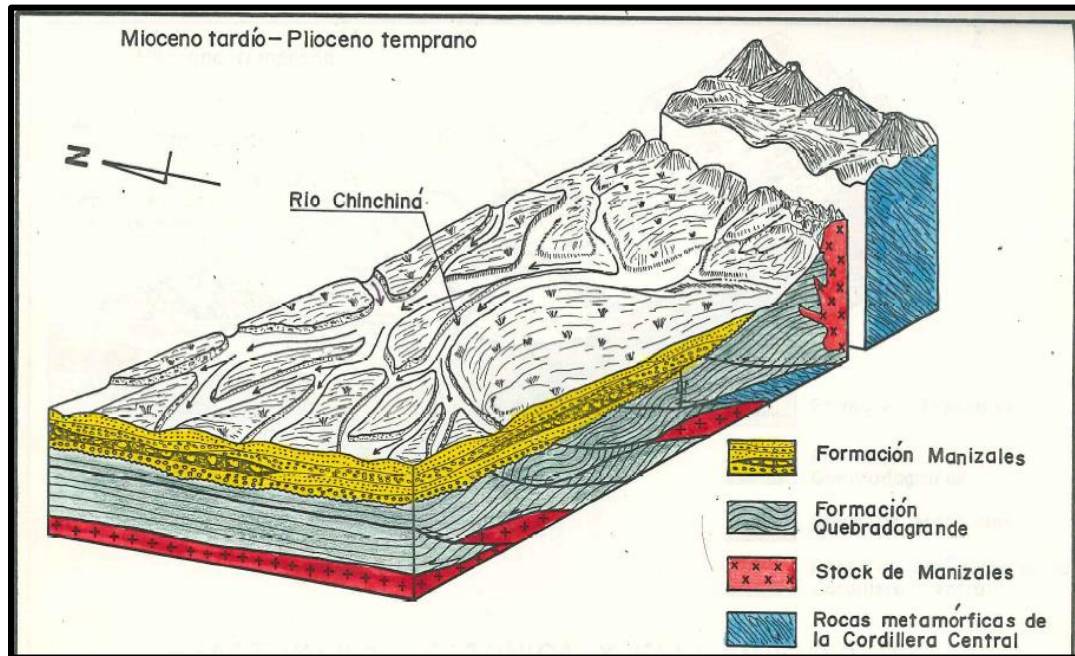
Fuente: Naranjo y Ríos (1989)

**Figura 14.** Depositación de los detritos volcánicos por flujos de escombros



Fuente: Naranjo y Ríos (1989)

**Figura 15.** Distribución de los detritos por un sistema fluvial de cauces entrelazados

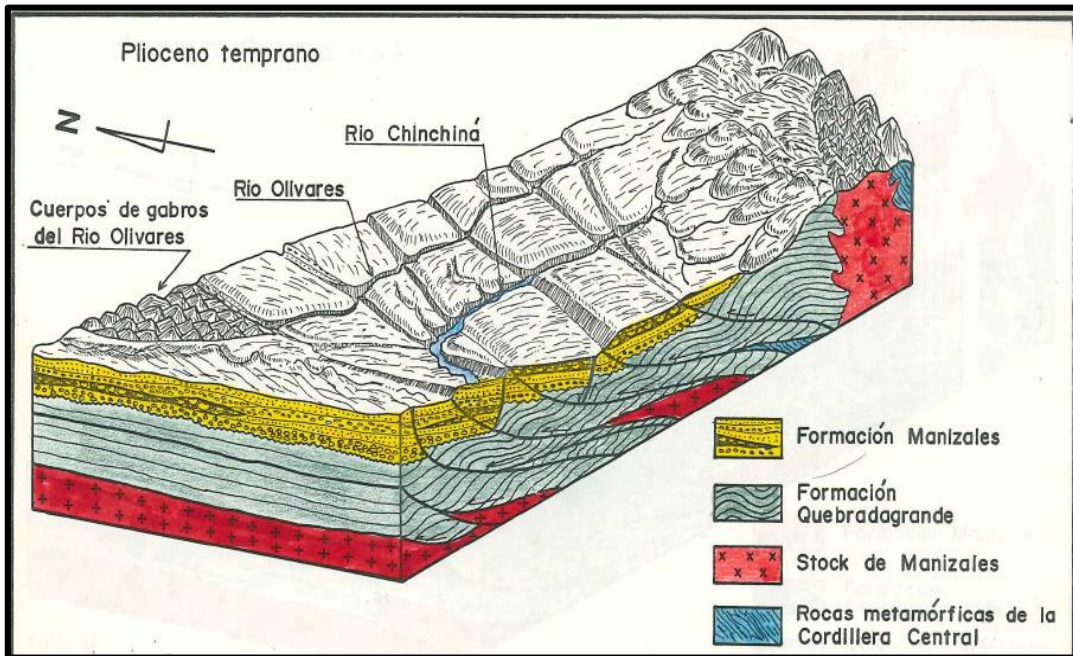


Fuente: Naranjo y Ríos (1989)

El emplazamiento de la Formación Manizales se desarrolló en varios ciclos completos de producción y distribución de sedimentos volcánicos durante un periodo de tiempo que abarca desde el Mioceno tardío hasta el Plioceno temprano. En el Plioceno temprano hay una reactivación tectónica, la que aún continúa y la cual ha sido la responsable del fallamiento y levantamiento de la Formación Manizales. Ver Figura 16.



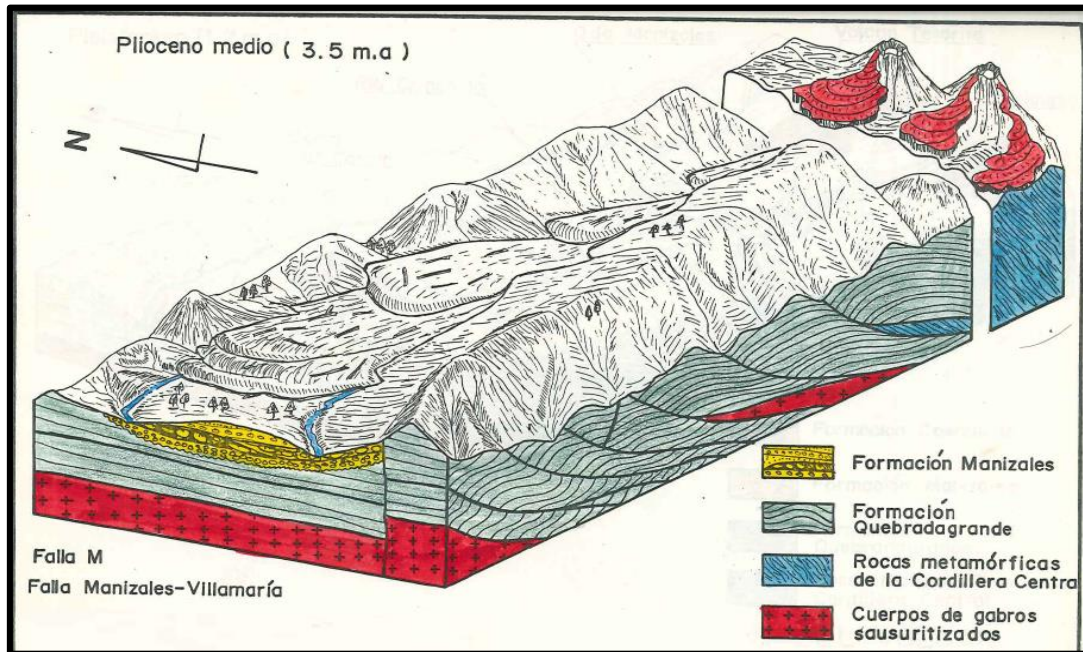
**Figura 16.** Reactivación tectónica y fallamiento de la Formación Manizales



Fuente: Naranjo y Ríos (1989)

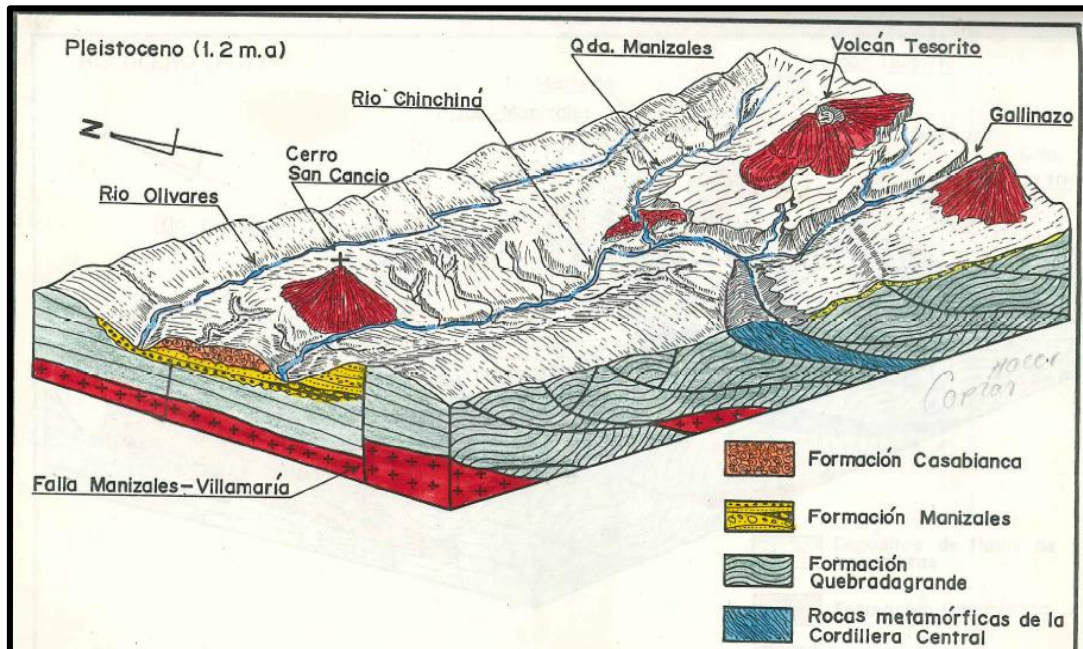
Durante el desarrollo de estos movimientos orogénicos a partir del Plioceno, se inicia un nuevo episodio de producción y distribución de sedimentos el cual no se ha completado aún y que ha sido responsable de la depositación de la Formación Casabianca, de los flujos de lodo de La Enea así como del emplazamiento del Cerro San Cancio, el domocolada Tesorito, el derrame de Lava de Lusitania y los productos de proyección aérea más recientes. Ver Figuras 17 a 19.

**Figura 17.** Resurgimiento de la actividad volcánica y depositación de la Formación Casabianca



Fuente: Naranjo y Ríos (1989)

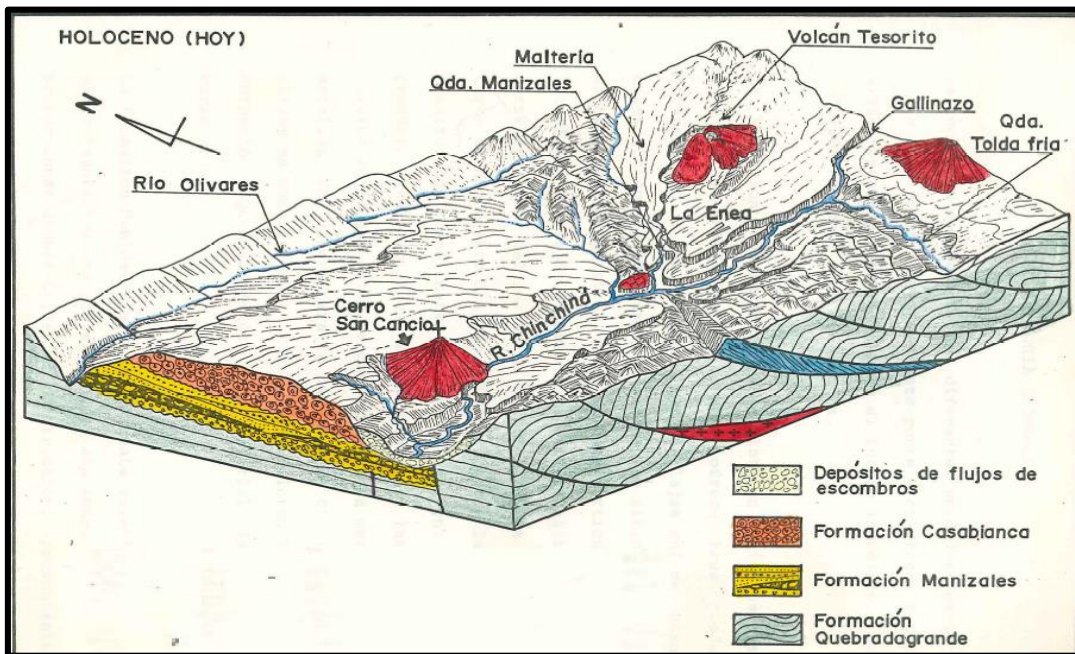
**Figura 18.** Emplazamiento del Cerro San Cancio y del volcán Tesorito



Fuente: Naranjo y Ríos (1989)



**Figura 19.** Situación geológica de la zona de Manizales en la actualidad (Año 1989)

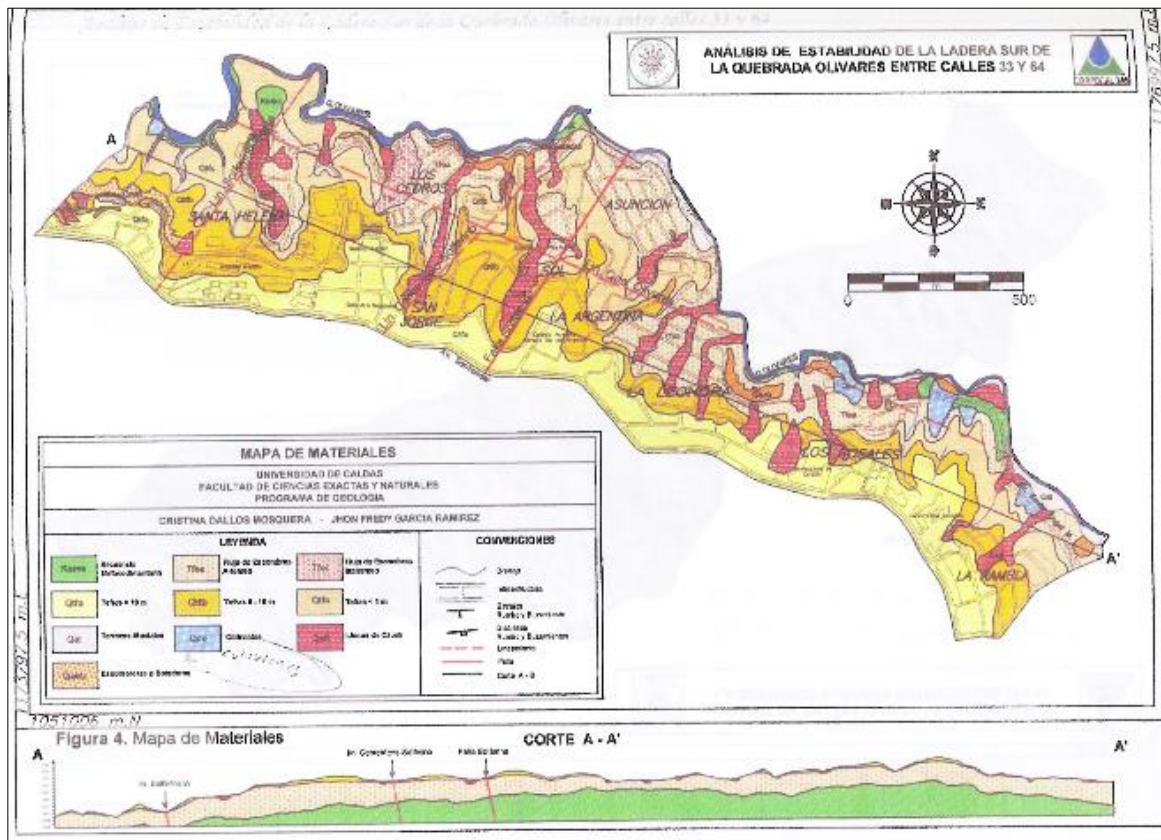


Fuente: Naranjo y Ríos (1989)

En general, la Q. Olivares-Minitas presenta desde su nacimiento un marcado control estructural dentro de los patrones de cizallamiento, fracturamiento y/o fallamiento regional, tal situación se verifica en los diferentes trazos rectilíneos de la quebrada (U.N. de Colombia, 1990). Sin embargo, para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas se tienen algunos estudios geológicos por sectores, los cuales deberán ser revisados por expertos en el tema para evaluar la importancia en la valoración ambiental de la corriente hídrica y su cuenca vertiente.

López y Rivera (2010) realizaron la caracterización petrográfica del área comprendida entre el sector del puente Q. Olivares-Minitas y el sector de la vereda Maracas al norte de Manizales. Por su parte, Dallos y García (2004) realizaron un análisis de estabilidad de la ladera sur de la Q. Olivares-Minitas, específicamente de las tierras en donde se encuentran asentados los barrios Santa Helena, Los Cedros, San Jorge, Sáenz, El Sol, La Primavera, La Argentina, La Asunción, La Leonora, Los Rosales, La Rambla y Los Laureles. Como productos obtuvieron un mapa de materiales geotécnicos expuesto en la Figura 20, la descripción de los mismos y detalles de geología estructural relacionados con la Falla Solferino y los Lineamientos Cementerio-Solferino, Solferino Oeste y Quebrada Olivares.

**Figura 20.** Mapa de materiales geotécnicos ladera sur Q. Olivares-Minitas

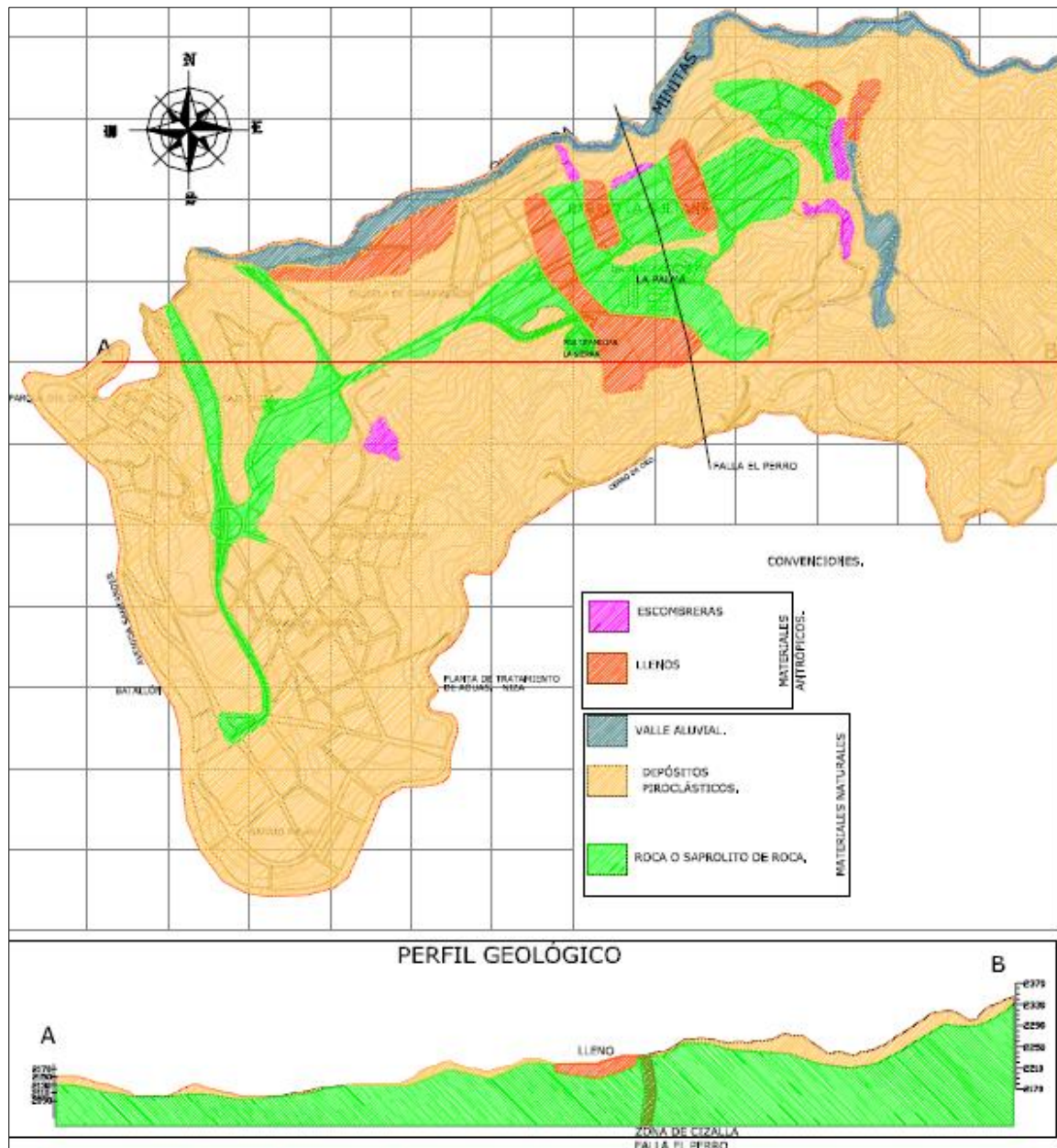


Fuente: Dallos y García (2004)

Aristizábal (2004) expone que el basamento rocoso del sector Barrio La Sultana (cuenca alta y media de la Q. Olivares-Minitas) tiene una edad de más de 10 millones de años (Albiano Medio) y el ambiente de Formación es marino de plataforma. Respecto a materiales inconsolidados plantean que de los últimos 30.000 años esta área solo registra los depósitos piroclásticos originados por la actividad volcánica del sistema Ruiz-Tolima.

En lo que tiene que ver con los depósitos aluviales estos son del cuaternario principalmente de la Q. Olivares-Minitas, entre clasto y matriz soportados, compactos, con matriz limo-arenosa de color variable y clastos redondeados de andesitas, dacitas, cuarzodioritas, esquistos, filitas, cuarcitas y arenisca; actualmente la dinámica de la Quebrada Olivares-Minitas es erosiva, recavando en los materiales anteriormente depositados. En cuanto a los depósitos antrópicos se tienen los llenos hidráulicos, mecánicos y las escombreras. La Figura 21 ilustra sobre el mapa de materiales y perfil geológico de la zona.

**Figura 21.** Mapa de materiales y perfil geológico del sector Barrio La Sultana, Manizales

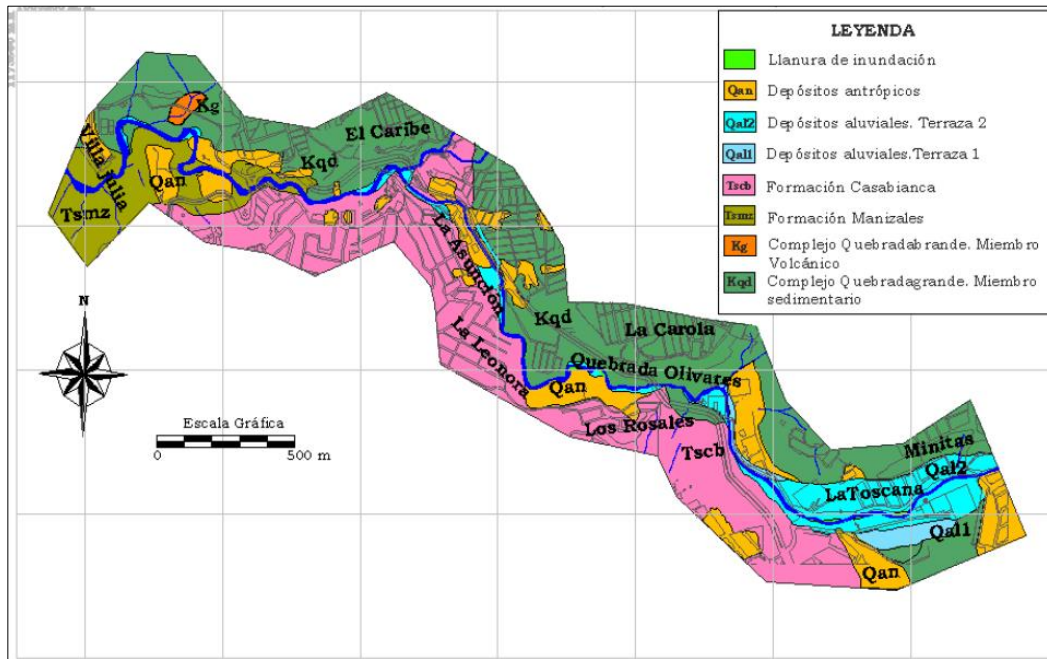


Fuente: Aristizábal (2004). Modificado por el autor.

Montoya y Ospina (2004) aportan a la geología local de la cuenca media (urbana) y alta de la Q. Olivares-Minitas, ver Figuras 22 y 23.

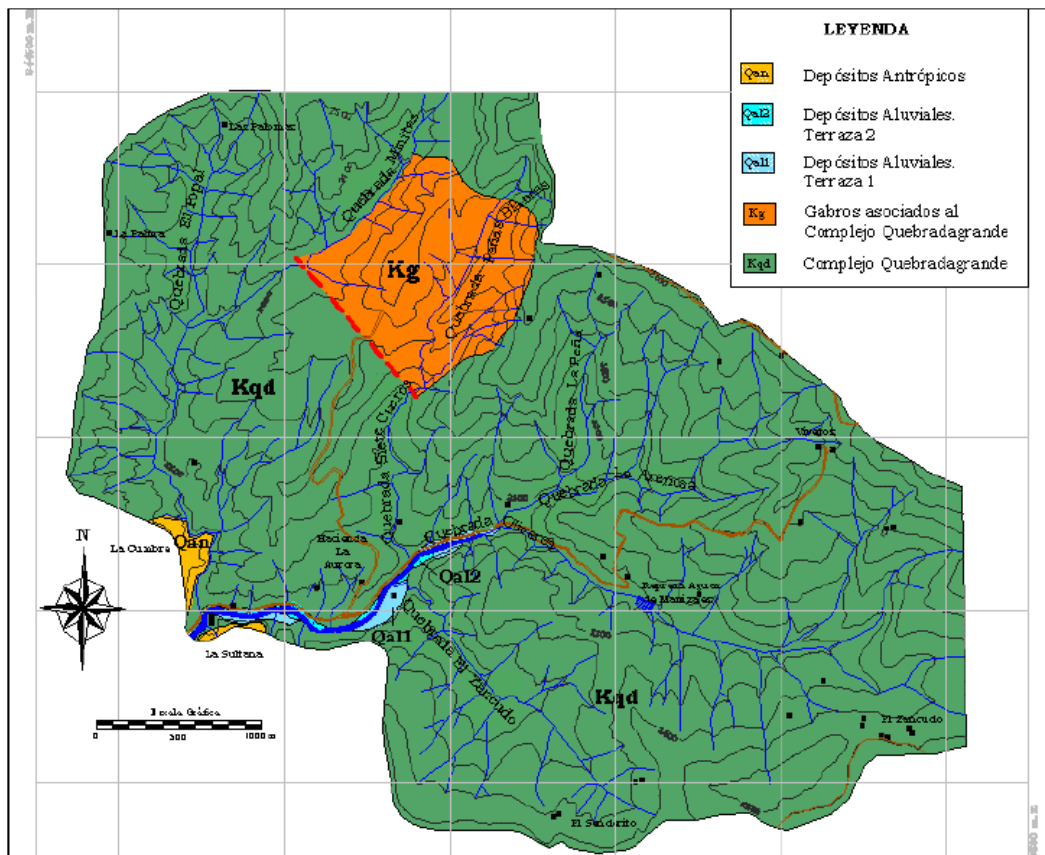


**Figura 22.** Mapa geológico cuenca media (urbana) Q. Olivares-Minitas



Fuente: Montoya y Ospina (2004)

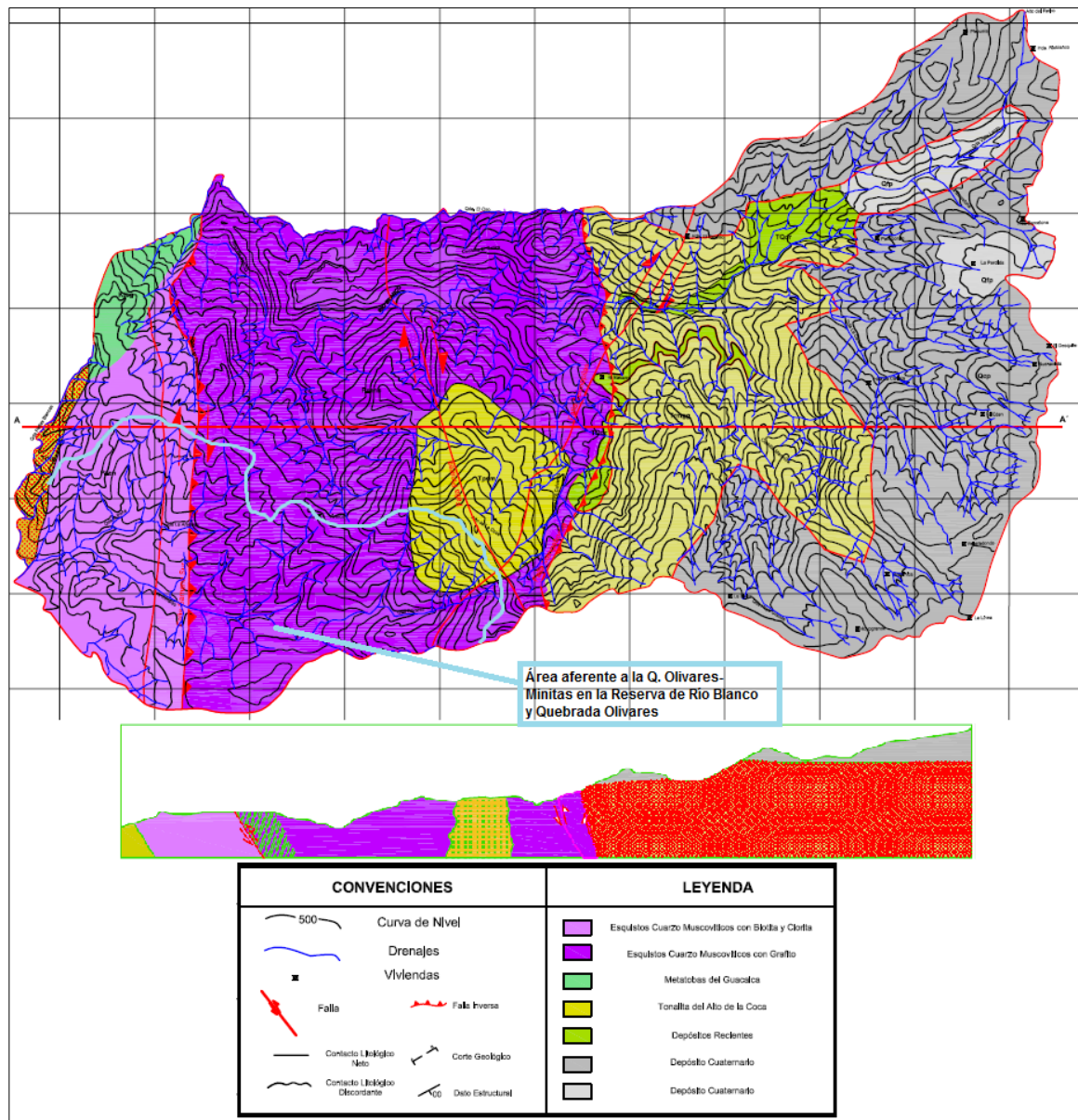
**Figura 23.** Mapa geológico cuenca alta Q. Olivares-Minitas



Fuente: Montoya y Ospina (2004)

Osorio (2006) también expone sobre la geología local de la Reserva de Río Blanco y Quebrada Olivares, ubicada en parte de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas. Ver Figura 24.

**Figura 24.** Mapa y perfil geológico Reserva Río Blanco y Q. Olivares, Manizales



Fuente: Osorio (2006). Modificado por el autor.

### 3.2.3 Balance de sedimentos cuenca-cauce

Para la Q. Olivares-Minitas no existen estudios sobre balances de sedimentos, pero se cuenta con diferentes fuentes de información secundaria sobre áreas de producción de estos, lo cual serviría de insumo para generar en un futuro el balance cualitativo.

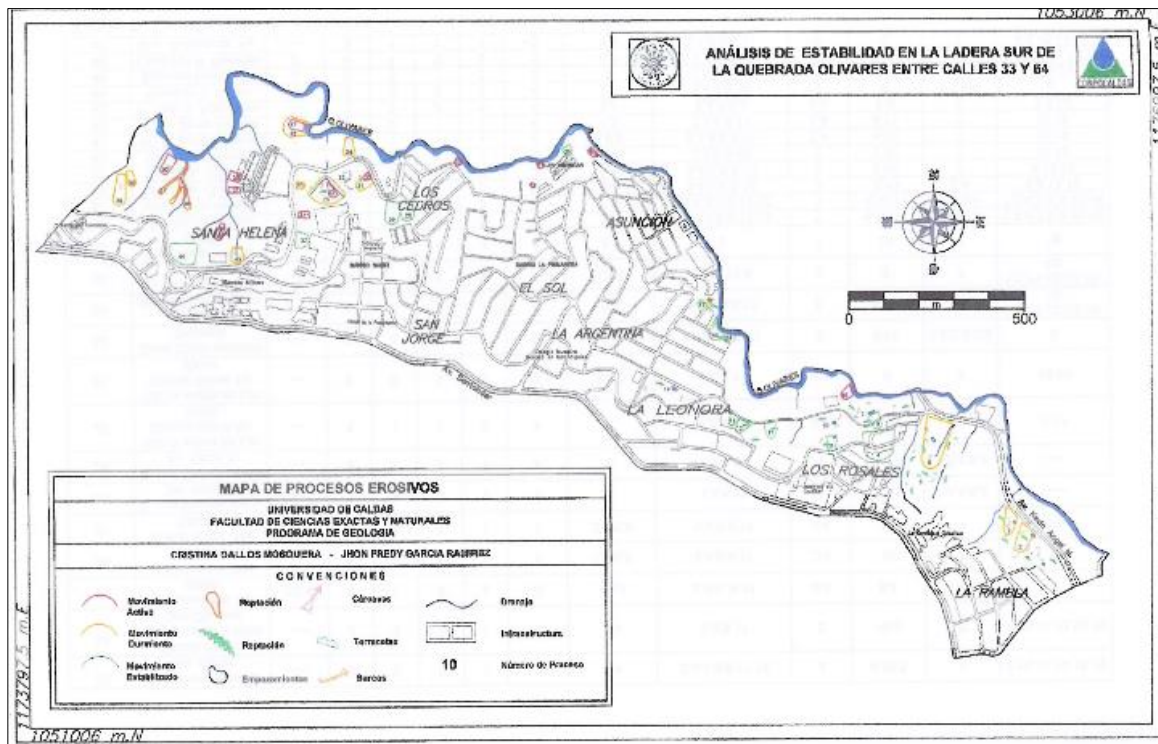
Respecto a registro de mediciones de sedimentos en el cauce solo se tiene la referencia del estudio realizado por Robledo en el año 1976, en donde según Montoya y Ospina (2004) se hicieron muestreos de sedimentación y de la cantidad de material en suspensión que arrastra la Q. Olivares-Minitas, para contemplar la posibilidad de utilizarlos en rellenos hidráulicos en las cercanías de la ciudad. No obstante, no fue posible encontrar dicho documento para obtener datos, por lo cual no se puede concluir sobre el tema.

En lo que tiene que ver con áreas fuente de sedimentos, para el año 1990 la U.N. de Colombia Sede Bogotá y el INDERENA exponían de manera generalizada para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas lo siguiente:

- *Cuenca Alta*  
Corresponde a zonas 1, 2 y 3 definidas en el estudio. Se presentaba al inicio de esta zona erosión espontánea por gravedad; en la parte media se presentaba erosión acentuada por la agricultura, la ganadería y la tala de bosques, así como la presencia de movimientos en masa. Finalizando la Cuenca Alta se tenía inestabilidad de laderas, movimientos en masa, cambios en el nivel base del cauce y erosión fluvial por la minería.
- *Cuenca Media y Baja*  
Corresponde a zona 4 definida en el estudio. Se tenía inestabilidad de laderas, movimientos en masa, cambios en el nivel base del cauce y erosión fluvial por la minería.
- *Cuenca Baja*  
Corresponde a zona 5 definida en el estudio. Se tenía inestabilidad de laderas, movimientos en masa, cambios en el nivel base del cauce y erosión fluvial por la actividad agrícola.

Información más actualizada respecto a producción de sedimentos en la cuenca la aportan Dallos y García (2004), quienes identificaron 47 procesos erosivos en la ladera sur de la Q. Olivares-Minitas entre los barrios Laureles y Santa Helena; en estos se incluyen dos casos de socavación lateral observados en la corriente (Ver Figura 25). Asimismo, Aristizábal (2004) identificó 19 procesos erosivos en el sector Barrio La Sultana, al nor-orienté de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.

**Figura 25.** Mapa de procesos erosivos ladera sur Q. Olivares-Minitas

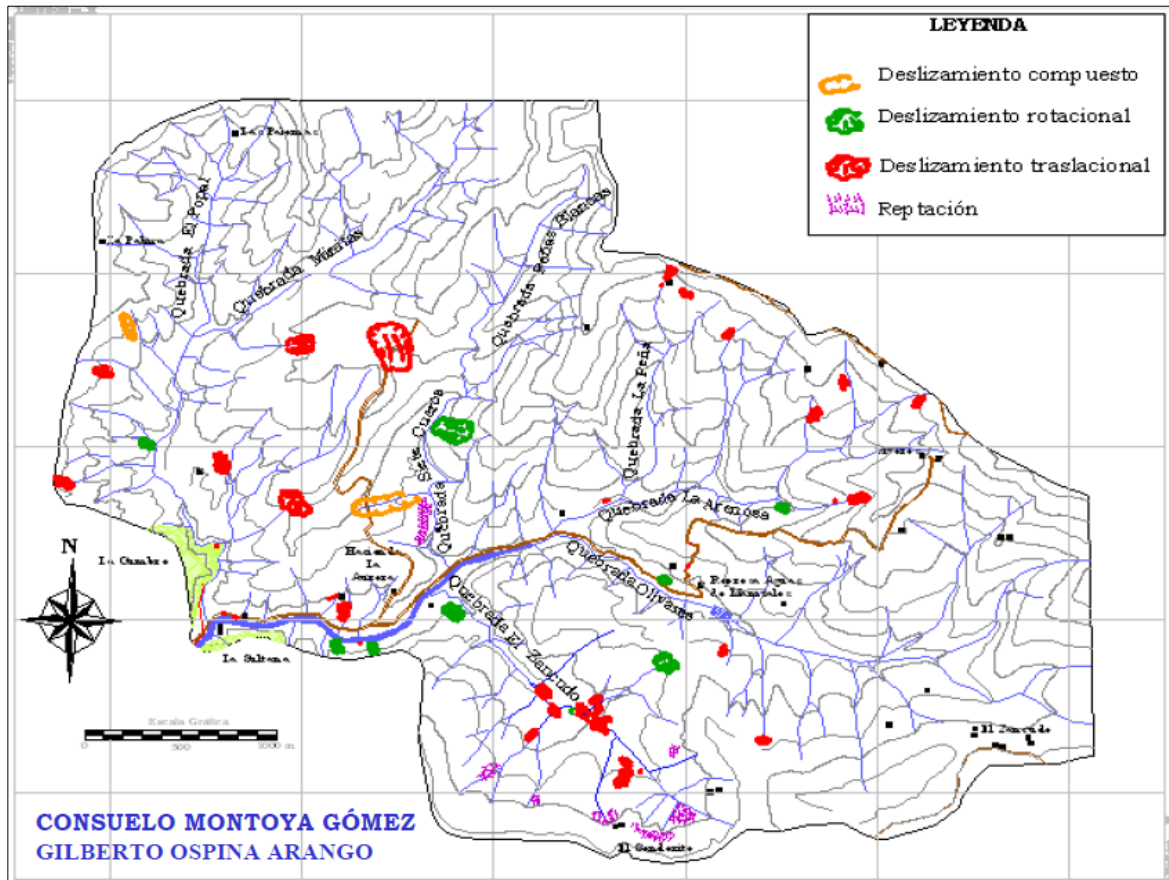


Fuente: Dallos y García (2004)

Montoya y Ospina (2004) hicieron el inventario de procesos erosivos en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas, ver Figura 26 y Osorio (2006) encontró para esta misma zona de la cuenca, en jurisdicción de la Reserva de Río Blanco y Quebrada Olivares, que se encuentra en su mayoría en moderada susceptibilidad a movimientos en masa.



**Figura 26.** Mapa de procesos erosivos cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas



Fuente: Montoya y Ospina (2004)

En general, la presencia de valles asimétricos en la cuenca, generados por la disección producida por el levantamiento asociado al sistema de fallas presentes en la zona, actúa sobre el relieve aumentando la pendiente y desestabilizando los materiales de las vertientes (Montoya y Ospina, 2004).

Debido a que las extracciones de material de arrastre también inciden en el balance de sedimentos de un cauce, cabe mencionar la información existente para la Q. Olivares-Minitas:

- Para 1990 la zona intermedia de la Cuenca Alta era considerada como la zona arenosa, en donde se localizaban seis explotaciones frente al barrio La Sultana, entre este y la Hacienda La Aurora y desde la Q. Siete Cueros aguas arriba hasta la entrada a los predios de la Empresa Municipal (hoy Aguas de Manizales S.A. E.S.P.). Se contaban en total 60 areneros que vivían en la margen izquierda de la quebrada en asentamientos subnormales y la longitud del tramo explotado era de 3,5 Km, extrayendo

preferiblemente arena y grava con un promedio de 2 m<sup>3</sup> operario/día (U.N. de Colombia, 1990).

- Ya para 1995 se reportaba una longitud de explotación de aproximadamente 2 Km, comprendidos entre La Aurora y unos metros antes de la planta de tratamiento El Popal, con 25 puntos de explotación artesanal y unos tres operarios por cada uno extrayendo principalmente arena y gravilla; el volumen por operario/día se estimaba en 3 m<sup>3</sup> y se construían trinchos que generaban variaciones en el cauce, afectando algunos taludes adyacentes incluidos los de la vía que conduce a la represa. En relación con la legalidad de estas explotaciones, CORPOCALDAS realizó un censo en 1994 en 15 de los puntos, de los cuales 9 eran ilegales, 3 tenían permiso común y los 3 restantes permiso especial (Paredes, 1995).

Actualmente existe información adicional sobre la extracción de materiales pétreos en la quebrada, levantada en el marco de la última revisión al POT de Manizales, pero no se pudo acceder a dicha información.

### **3.2.4 Clasificación geomorfológica del cauce**

Según estudio U.N. de Colombia Sede Bogotá e INDERENA (1990) el cauce de la Q. Olivares-Minitas presentaba las siguientes características:

- *Cuenca Alta*

Al inicio se tiene gran número de drenajes poco profundos y cortos sin un mayor control estructural en un patrón rectangular. Seguidamente se comienza a reflejar un marcado control estructural, numerosos drenajes cortos y de poco caudal, la corriente principal presenta un trazo rectilíneo y sección transversal en V profunda, justo donde se ubica la represa para el acueducto de Manizales. Al finalizar esta parte de la cuenca, la corriente empieza a recibir las aguas de las Q. La Arenosa, Peñas Blancas, Los Alpes, Alisales, El Popal y El Silencio, convirtiéndose en un curso de mayor caudal; por lo que empieza a tener un patrón de drenaje de paralelo a subparalelo con control estructural menos marcado, el cañón tiene forma de V abierta y la diferencia entre el lecho del río y el punto máximo del talud de la ladera oscila entre 100 y 170 m.

- *Cuenca Media*

En esta área no se presenta un patrón estructural tan marcado, el patrón de drenaje es irregular, se inicia el plano aluvial de la quebrada y el cañón tiene forma de U, la diferencia entre el lecho del río y el punto máximo del talud de la ladera es de 60 m. La configuración geomorfológica ha sido alterada por la construcción de rellenos y excavaciones en el marco de las adecuaciones urbanas; en este sector desemboca la Q. El Solferino o El Guamo.

- *Cuenca Baja*

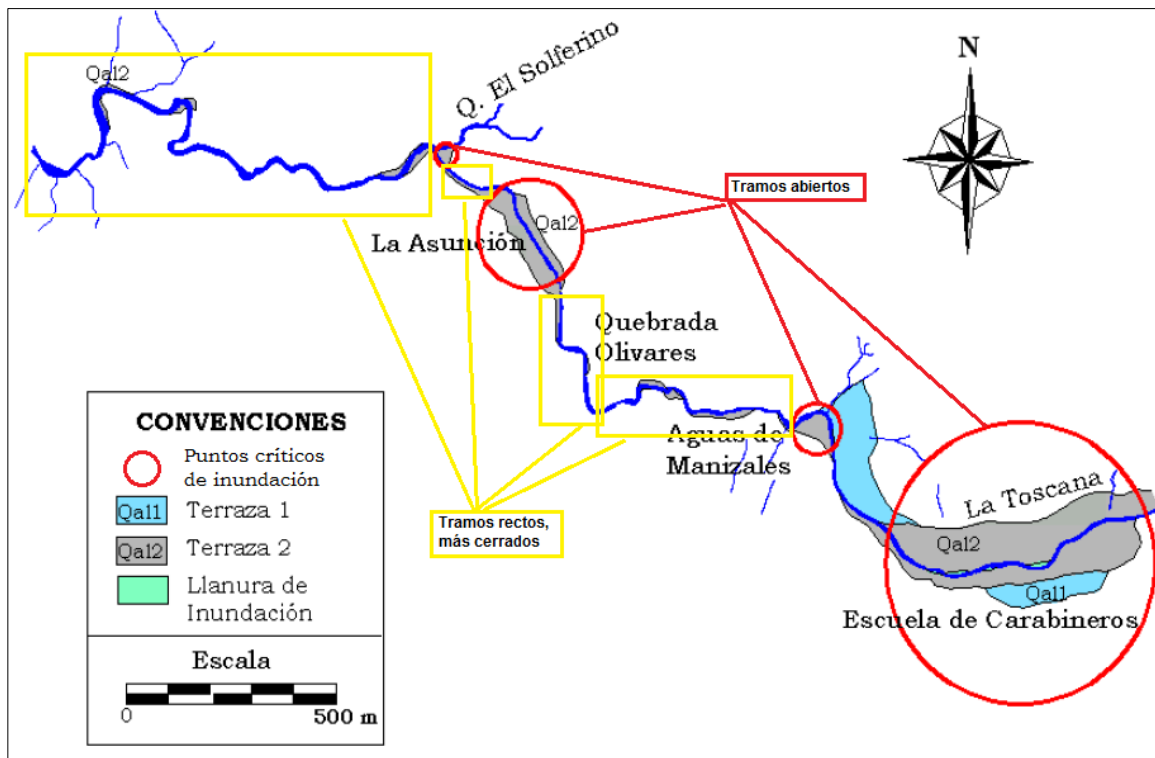
Este sector presenta un marcado control estructural que coincide con trazos rectilíneos del curso de agua; las diferencias entre el lecho y la parte alta de las laderas es de 170 m. El drenaje es profundo en forma de V cerrada, posiblemente debido a la acción del fallamiento local.

En cuanto a geoformas en general, en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas se tienen paisajes monoclinal y de montaña irregular, con laderas cóncavo-convexas de cima redondeada a sub-redondeada (Osorio, 2006) y de acuerdo con Montoya y Ospina (2004), desde el nacimiento de la Quebrada hasta el sector de Villa Julia en el área urbana de Manizales, se presenta un relieve montañoso con abundantes colinas que suavizan la topografía debido a los depósitos de caída piroclástica.

En cuanto a perfiles transversales del cauce, los cuales son de utilidad para fines de clasificación geomorfológica, Montoya y Ospina (2004) elaboraron 31 secciones entre Aguas Manizales S.A. E.S.P. y el puente que une los barrios La Sultana y Minitas (Ver Anexo 2). Por su parte, Gómez (2009) levantó 160 secciones para el cauce de la quebrada a su paso por la zona urbana (Ver Anexo 3).

En general, atendiendo los criterios de clasificación general de las corrientes según Biedenharn y Suárez (González y Montoya, 2010), se tiene que el cauce de la Q. Olivares-Minitas es de montaña, flujo perenne, presenta procesos tanto de agradación como de degradación, lo cual se debe al desequilibrio generado a raíz de la explotación de material de arrastre (ver Fotos 9 y 10) y en lo referente a formas del cauce presenta una condición de floodplain pockets o “collar de perlas”, lo que indica sucesiones de tramos rectos y encañonados, así como de tramos más abiertos y con llanura de inundación (ver Figura 27).

**Figura 27.** Configuración “floodplain pockets” Q. Olivares-Minitas cuenca media (urbana)



Fuente: Modificado de Montoya y Ospina (2004). Modificado por el autor.

**Foto 9.** Agradación y degradación en el cauce



Fuente: Elaboración Propia

**Foto 10.** Explotación de material aluvial



Fuente: Elaboración Propia



## **3.3 Condiciones ecosistémicas Q. Olivares-Minitas**

### **3.3.1 Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia**

Dado que para analizar el “Grado de cobertura de la vegetación ribereña” de la Q. Olivares-Minitas, se debe establecer el ancho de orilla y el ancho óptimo de ribera, utilizando para el primero el criterio de caudal a banca llena y para el segundo la metodología de acotamiento de rondas hídricas del MADS y U.N. de Colombia Sede Medellín (2012) o en su defecto la adoptada por la Autoridad Ambiental en jurisdicción, se considera importante para tales efectos exponer sobre la información secundaria existente que puede ser de utilidad.

Si bien existen tres modelaciones hidráulicas de la Q. Olivares-Minitas realizadas por Montoya y Ospina (2004), Gómez (2009) y CORPOCALDAS y U.N. de Colombia Sede Manizales (2013), éstas solo se han hecho para la zona urbana o cuenca media con fines de definición de amenaza por inundación; además, para identificar el caudal a banca llena y por ende el ancho de orilla, no se cuenta actualmente con información, ya que se requiere modelación para un periodo de retorno de 1,5 años y lo más cercano es el análisis realizado por CORPOCALDAS y U.N. de Colombia Sede Manizales (2013), que simuló para un TR de 2 años.

Para la delimitación de la ronda hídrica y así del ancho óptimo de ribera, acogiendo la metodología del MADS y U.N. de Colombia Sede Medellín (2012), se tiene:

- **Componente geomorfológico:** Mapa geomorfológico y análisis multitemporal de la Q. Olivares-Minitas a su paso por la zona urbana de Manizales (cuenca media) (Montoya y Ospina, 2004) y fotografías aéreas para la parte final de la cuenca alta, dada la histórica explotación de material aluvial y el consecuente desequilibrio generado. Para la parte inicial e intermedia de la cuenca alta, así como para la cuenca baja se puede delimitar con base en observación de campo, dado el control estructural de la corriente en estas zonas.
- **Componente hidrológico:** modelaciones hidráulicas para la cuenca media de la quebrada, realizadas en los años 2004, 2009 y 2013 para un periodo de retorno de 100 años.

No obstante lo anterior, con el fin de utilizar las imágenes satelitales y/o de toma aérea obtenidas para la Q. Olivares-Minitas en el marco del actual trabajo, se realizó un análisis preliminar del “Grado de cobertura de la vegetación ribereña”, empleando a falta de mejor información secundaria disponible el criterio ACA (2006), el cual consiste en 20 m a lado y lado de la orilla del cauce como ancho óptimo de bosque ripario para cuencas entre 20-200 Km<sup>2</sup>. También se presenta un análisis similar con los mismos criterios, para evaluar la “Continuidad longitudinal de la vegetación riparia a lo largo del cauce”. Los resultados son los que a continuación se mencionan:

#### Cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas, abarcando aprox. 7.170 m de longitud de la corriente

En el tramo comprendido desde el K 0+000 (Nacimiento de la Q. Olivares-Minitas) hasta el K 3+000 (Bocatoma de Aguas de Manizales S.A. E.S.P.) no se puede revisar el grado de cobertura riparia y la continuidad longitudinal de esta vegetación, ya que no se tienen al momento las imágenes satelitales y/o vistas aéreas necesarias. No obstante, según mapa de Osorio (2006) el uso de la tierra en esta zona es “Matorral”.

A partir del K 3+000 hasta el K 7+169 la ronda hídrica se encuentra mejor conservada en su tramo izquierdo, tanto en aspectos de cobertura como de continuidad longitudinal (Ver Foto 11).

**Foto 11.** Panorámica general, sector Bocatoma Niza y sus alrededores



*Fuente: Cortesía Miguel Ángel Aguilar (2009)*

Las principales presiones antrópicas sobre la conservación de las franjas riparias son la infraestructura vial y el uso pecuario de la tierra. El último tramo de esta parte de la cuenca alta, de aprox. 1.113 m, es el más crítico en términos de franja riparia, principalmente los últimos 800 m (Ver Foto 12).

**Foto 12.** Vista satelital a escala del K 6+376 al K 7+169, tramo de 797,28 m aprox.



Fuente: IGAC (2014)

### Cuenca media de la Q. Olivares-Minitas, abarcando aprox. 5.049 m de longitud de la corriente

En esta parte de la cuenca se tiene gran presión urbana por zonas residenciales, industriales, de servicios e infraestructura vial, razón por la cual el grado de cobertura de las rondas hídricas de este tramo fluvial no alcanza el 50%, siendo mejor la continuidad longitudinal de la vegetación riparia en el tramo izquierdo. El tramo tanto derecho como izquierdo de 369 m aprox., que va desde Confamiliar de La Asunción hasta la desembocadura de la Q. El Solferino, es el más crítico en términos de franja riparia (Ver Foto 13). El tramo izquierdo de 367 m aprox. que pasa por los Barrios Villa del Río y La Leonora es el mejor conservado con hasta un 90% de cobertura y un 86% de continuidad longitudinal (Ver Foto 14).

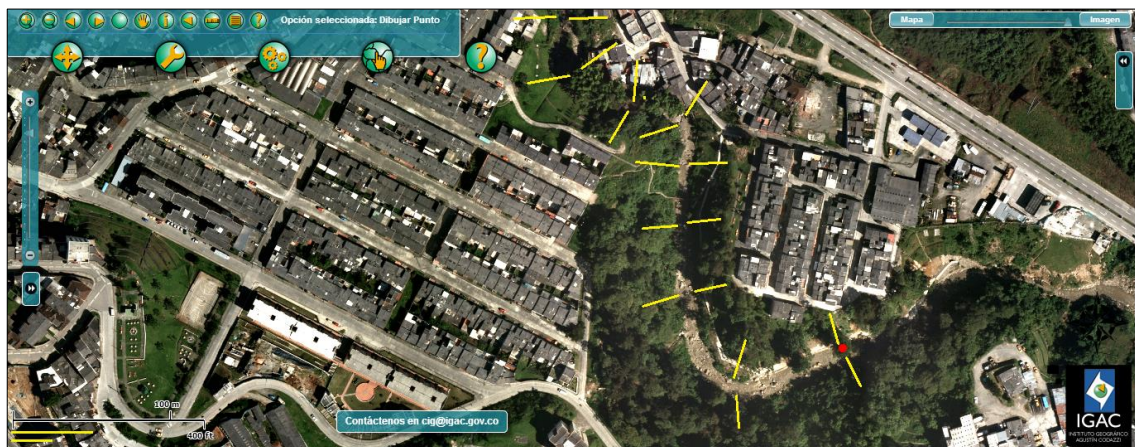


**Foto 13.** Vista satelital a escala del K 11+120 al K 11+490, tramo de 369,52 m aprox.



Fuente: IGAC (2014)

**Foto 14.** Vista satelital a escala del K 10+461 al K 10+828, tramo de 367,09 m aprox.



Fuente: IGAC (2014)

Cuenca baja de la Q. Olivares-Minitas, abarcando aprox. 6.680 m de longitud de la corriente

Esta parte de la cuenca tiene rondas hídricas mejor conservadas en cuanto a vegetación riparia, en comparación con cuenca alta y media, alcanzando grados de cobertura y continuidad longitudinal entre 78% y 89% en promedio, tanto para tramos derecho como izquierdo. En el K 14+374 se tiene uno de los tramos en mayor estado crítico de esta parte de la cuenca, debido principalmente a presiones por uso agropecuario de la tierra, en aprox. 300 m en la margen derecha de la corriente (Ver Foto 15) y en el K 14+977 otro de 500 m aprox. (Ver Foto 16). Mientras que en el K 16+427 se tiene un tramo de aprox. 400 m casi en excelentes condiciones (Ver Foto 17).

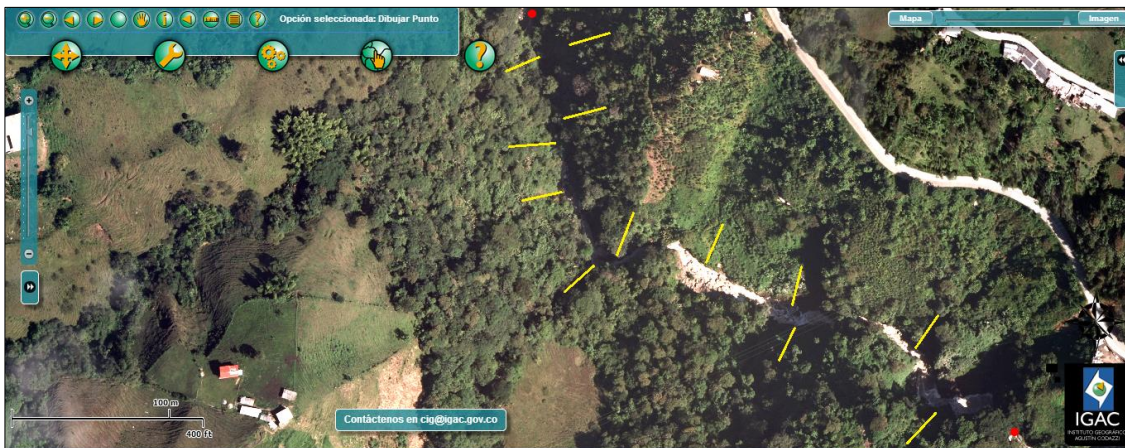


**Foto 15.** Vista satelital a escala del K 14+374 al K 14+973, tramo de 299,35 m aprox.



*Fuente:* IGAC (2014)

**Foto 16.** Vista satelital a escala del K 14+977 al K 15+479, tramo de 501,62 m aprox.



*Fuente:* IGAC (2014)

**Foto 17.** Vista satelital a escala del K 16+427 al K 16+827, tramo de 400 m aprox.



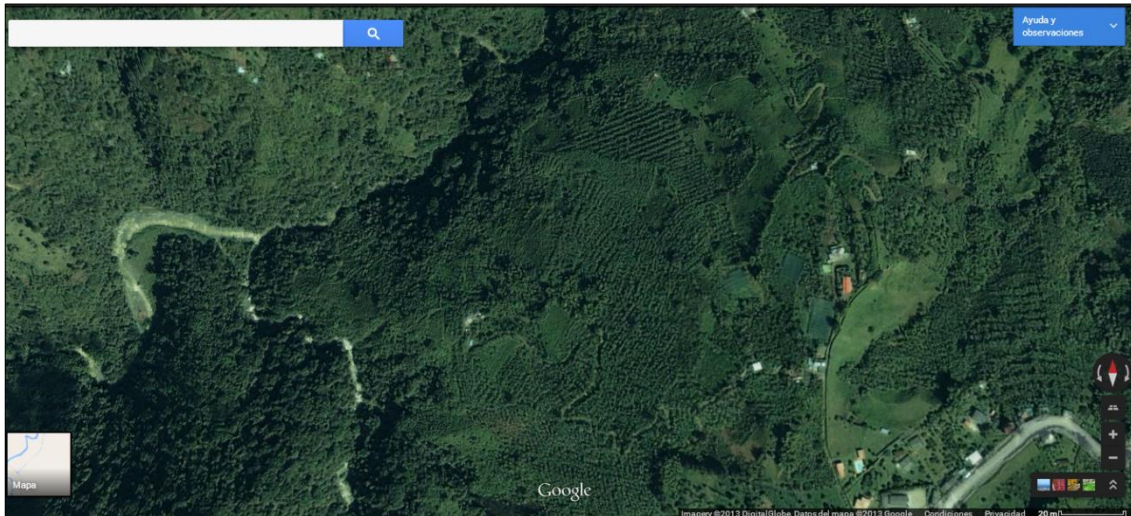
*Fuente:* Yahoo Maps – Powered by ESRI (2013)



En la Foto 18 se observa un tramo de 120 m aprox. en donde se tiene la desembocadura de la Q. Olivares-Minitas al río Guacaica. La cobertura riparia es para el tramo derecho de 70% y para el izquierdo de 100%; respecto a continuidad longitudinal riparia se tiene para el tramo derecho 70% y para el tramo izquierdo 100%. En los dos tramos se tienen presiones por uso agrícola y pecuario, sobre todo en el tramo derecho.

En el Anexo 4 se encuentra el detalle de la evaluación preliminar del grado de cobertura y continuidad longitudinal de la vegetación riparia de la Q. Olivares-Minitas, con 38 vistas aéreas de las rondas hídricas de la corriente, desde el K 3+000 hasta el K 18+794 en la desembocadura al río Guacaica.

**Foto 18.** Vista satelital a escala, desembocadura al río Guacaica, tramo de 120 m aprox.



*Fuente:* Google Maps (2013)

### **3.3.2 Dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña**

Para el año 1990 U.N. de Colombia Sede Bogotá e INDERENA expusieron sobre el estado sucesional de los bosques de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas así:

- Cuenca Alta: Bosque clímax en proceso de dinamización, Bosque en estado sucesional establecido y Bosque en estado sucesional en colonización.

- Cuenca Media: Bosque en estado sucesional en consolidación hacia el establecimiento.
- Cuenca Baja: Bosque en estado sucesional en consolidación hacia el establecimiento y Bosque en estado sucesional establecido.

Sin embargo, se han realizado estudios más detallados y actualizados para áreas específicas de la cuenca, en el marco de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares, Parque Regional Natural Monteleón, el POMCA del río Chinchiná y el PORH del río Guacaica.

#### Cuenca Alta, (Información para la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares)

CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a) mencionan el estudio realizado por Sanín y Duque (2006), en donde se presenta la caracterización de la estructura y composición florística de esta reserva mediante el muestreo de dos transectos de 0,1 ha. Posteriormente, Sanín et. al (2007) encontraron que las hierbas terrestres representaron el hábito de crecimiento más diverso en la reserva (90 especies), seguido por los árboles con 64 especies y en tercer lugar las hierbas epífitas (39 especies).

CORPOCALDAS (2010) habla que la estructura y composición florística es muy similar en las diferentes zonas de vida de la reserva. En general, existe una concentración de individuos y especies de hábito arbustivo, al igual que en otras regiones andinas e incluso tropicales, representándose con ello el patrón de distribución vertical más común y teniéndose la mayor riqueza para estos bosques en estratos inferiores a 9 cm. de DAP. Asimismo según CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a) es la localidad en la cuenca del río Chinchiná que presenta mayor riqueza de especies con 449 distribuidas en 111 familias y 245 géneros.

#### Cuenca Media, (Información para el Parque Regional Natural Monteleón)

CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a) exponen sobre el estudio realizado en 1998 por Fraume et. al, denominado “Caracterización Florística de un Relicto de Selva Andina Tropical de Manizales Colombia”, en donde el inventario florístico correspondiente a la recolección de muestras botánicas durante tres años, arrojó como



resultado el registro de 390 especies de plantas vasculares distribuidas en 28 órdenes y 83 familias de Angiospermas y Pteridofitas. El estudio, además, destaca las especies útiles para reforestación, conservación de suelos, plantas ornamentales y bancos de germoplasma para fines de mejoramiento.

Así, el Parque aparece como la tercera de cuatro localidades de la cuenca del río Chinchiná con mayor riqueza de especies, reportándose datos más actualizados de 248 especies distribuidas entre 88 familias y 155 géneros.

#### Cuenca Baja. (Información para los Bosques de la confluencia Q. Olivares-Minitas y Río Guacaica)

Según CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a) se catalogan como la tercera de las tres localidades de la cuenca del río Chinchiná con mayor diversidad de plantas leñosas.

En cuanto a estructura y composición en los parches de vegetación secundaria y matorrales altos muestreados CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b) menciona que se registraron un total de 62 especies pertenecientes a 30 familias, donde Moraceae, Sapindaceae, Lauraceae y Euphorbiaceae aparecen como las de mayor valor ecológico y ostentan el 25% del Valor de Importancia de Familias-VIF<sup>10</sup>. De igual manera, ninguna de las especies presenta elevados valores de Índice de Valor de Importancia-IVI<sup>11</sup> ya que las 6 especies más importantes solo acumulan el 33% del mismo (Ver Tabla 13).

La distribución de individuos por clases diamétricas mostró una curva en forma de J invertida en la cual la mayoría de los individuos se agrupan en las clases inferiores. En este caso, el 82% de los individuos presentaron diámetros inferiores a los 10,5 cm y solo el 0,7% estuvo por encima de los 32 cm de DAP, lo que se relaciona con el temprano estado sucesional de las áreas estudiadas. De igual manera la distribución por alturas evidencia que el 93% de los individuos presentan alturas inferiores a los 14 m y solo algunos pocos superan los 15 metros como *Ficus killipi*, *Cupania latifolia*, *Croton* sp2 y *Prunus carolinae* (Ver Gráfico 16). Los parches de

---

<sup>10</sup> Sumatoria de abundancia, diversidad y dominancia relativa por familia.

<sup>11</sup> Sumatoria de abundancia, diversidad y dominancia relativa por especie.

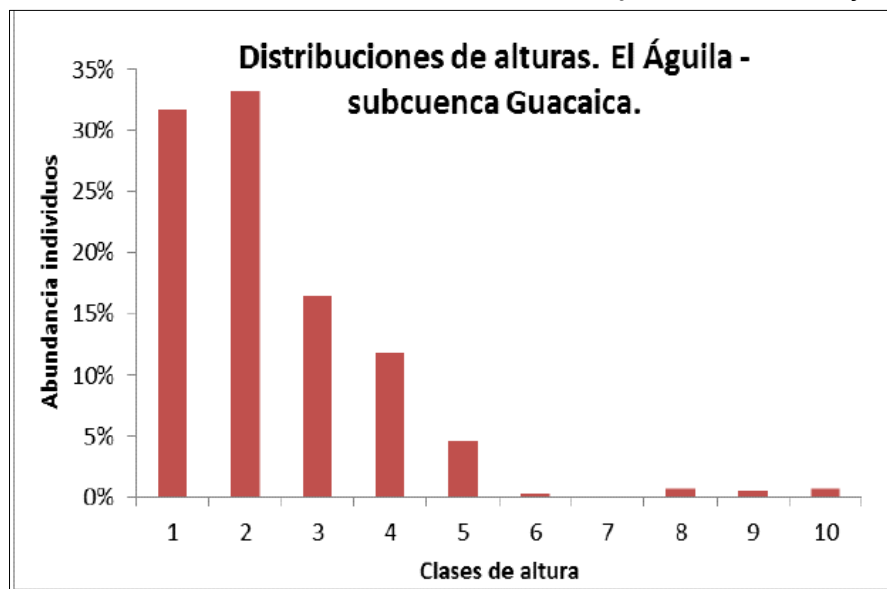
vegetación estudiados, obedecen a antiguos cafetales abandonados en terrenos de fuertes pendientes a la orilla del río Guacaica, lo que evidencia procesos interesantes de sucesión vegetal, observándose la recuperación de la diversidad florística de la zona.

**Tabla 13.** Familias y especies con mayores IVI y VIF, confluencia Q. Olivares-Minitas y río Guacaica

Familia	VIF	Especie	IVI
Moraceae	8,70%	Allophylus angustatus	8,70%
Sapindaceae	7,00%	Ficus killipii	7,00%
Lauraceae	5,80%	Brosimum sp 1	5,80%
Euphorbiaceae	4,20%	Warczewiczia coccinea	4,20%
Meliaceae	3,90%	Cinnamomum triplinervis	3,90%
Urticaceae	3,70%	Toxicodendron striatum	3,70%
Familias restantes	67,00%	Especies restantes	67,00%

Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

**Gráfico 16.** Curva de distribuciones de alturas confluencia Q. Olivares-Minitas y río Guacaica



Fuente: CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013b)

### 3.3.3 Especies biológicas de importancia en la cuenca y ecosistema fluvial

A partir de la consulta de material escrito sobre listados y censos de fauna en la cuenca del río Chinchiná se puede deducir que no existe suficiente información de manera puntual sobre los municipios de la cuenca y lo que realmente se encuentra son estudios aislados dentro de bosques y/o áreas protegidas como el Parque Nacional Natural de los Nevados y algunas reservas del municipio de Manizales (INGESAM LTDA., 2007); igual se puede decir para el caso de la flora. Por esta razón, se determinarán las especies biológicas de importancia en el ecosistema fluvial, de acuerdo con los criterios recomendados en el Capítulo I -Especies autóctonas y alóctonas, Especies con categoría de amenaza, Tipos de hábitat (humedales, bosques, corriente hídrica), Índice de distribución, Índice de valor de importancia, Índice de diversidad y Riqueza de especies- y la información secundaria disponible sobre Reserva de Río Blanco y Q. Olivares, Parque Regional Natural Monte León y bosques de la confluencia de Q. Olivares-Minitas y río Guacaica.

También es pertinente considerar para la identificación de las especies biológicas de importancia, las categorías de uso de las plantas y algunos ejemplos en la cuenca del río Chinchiná, citadas por CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a), en donde se plantea la importancia de diferentes especies para alimento, elaboración de artesanías, empleo como combustible, actividades de construcción y/o usos maderables, forraje y/o empleo en sistemas silvopastoriles, fines medicinales, ornamentales y ecológicos, como cerca viva, protectora y/o parientes silvestres. Por ejemplo, algunas especies, como la Guadua (*Guadua angustifolia*) y el Cedro rosado (*Cedrela odorata*), se destacan en la cuenca del río Chinchiná por ser las especies que muestran mayor cantidad de usos, con 6 posibilidades cada una.

En general, para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, U.N. de Colombia Sede Bogotá e INDERENA (1990) reportaron las especies de fauna de la Tabla 14. Pero también se encuentra información representativa, aunque no directamente del ecosistema fluvial, de la parte alta, media y baja de la cuenca, principalmente en lo relacionado con flora.

**Tabla 14.** Fauna identificada en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas

Nombre científico	Nombre vulgar	Nombre científico	Nombre vulgar
<i>Coragyps Atratus</i>	Gallinazo	<i>Vermívora chrysoptera</i>	Reinita
<i>Buteo magnirostris</i>	Gavilán	<i>Zonotrychya capensis</i>	Pinche-copetón
<i>Odontophords hyperythrus</i>	Perdiz	<i>Seivrus granatensis</i>	Ardilla
<i>Columba fasciata</i>	Torcaza	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo sabanero
<i>Pnaethornis syrmatophorus</i>	Colibrí chupaflor	<i>Mustela frenata</i>	Comadreja
<i>Tyrannus melanchilocus</i>	Atrapamoscas	<i>Dasyopus Novencinctus</i>	Armadillo
<i>Henicorchina leucophrs</i>	Cucarachero	<i>Didelphis marsupialis</i>	Chucha zarigüeya

Fuente: U.N. de Colombia Sede Bogotá e INDERENA (1990) cita a Universidad de Caldas (1988)

#### Cuenca Alta, (Información para la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares)

CORPOCALDAS (2002) menciona que la **especie más frecuente** es la *Tibouchina sp.* (Sietecueros) de la familia Melastomataceae, la cual ocupa el 17,44% del área total. Igualmente se reportan especies arbóreas que componen el **estrato superior** con alturas iguales o mayores a 16 m como: *Tibouchina sp.*, *Miconia sp.*, Camargo (*Montanoa avalifolia*) de la familia Compositae, Aliso colorado (*Freziera sp.*) de la familia de las Camelias y *Turpinia sp.* de la familia Anonaceae.

Como especies con mayor **IVI** se tienen: *Hedyosmum bonplandianum* (silbo-silbo o Granizo), *Miconia poecilantha*, *Meriania tomentosa* (Vía a la Bocatoma) y *Miconia theizans* (Niguito) (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013a). En lo referente a **especies nativas** de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas, Londoño (1995) cita las de la Tabla 15.

En lo relacionado con **índices de diversidad** de Shannon, estos son un poco menores que los de los bosques de la confluencia de la Q. Olivares y Río Guacaica (3,23 y 3,20) (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013a).

Sanín, et. al (2007) plantea que se tiene registro de **especies alóctonas** (exóticas, foráneas o introducidas) como *Pinus sp.*, *Cupressus sp.*, *Eucalyptus s.p.* y *Fraxinus s.p.*, las cuales representan peligro latente para las poblaciones naturales.

**Tabla 15.** Especies nativas en áreas de bosque de la cuenca superior de la Q. Olivares-Minitas

Nombre vulgar	Nombre científico	Nombre vulgar	Nombre científico
Cordoncillo	<i>Piper sp</i>	Yarumo	<i>Cecropia Sp</i>
Guamo hojiancho	<i>Inga Oerstediana Benth</i>	Higueron	<i>Ficus Glabrata</i>
Carbonero	<i>Calliandra Pittieri</i>	Rascadera	<i>Xanthosoma Pilosum</i>
Borrachero	<i>Datura Arbórea</i>	Cidra	<i>Sechium Edule</i>
Gusanito	<i>Alcalypha Sp</i>	Platanilla	<i>Renealmia Spp</i>
Caña brava	<i>Arundo Donax</i>	Drago	<i>Croton sp</i>
Ortigo-pringamosa	<i>Urera Caracasana</i>	Sauce	<i>Salix humbold</i>
Búcaro cachimbo	<i>Erythrina Gusca</i>	Aliso	<i>Alnus Jonllensis</i>
Caracol	<i>Anacardium Exelan</i>	Palma boba	<i>Alsaptlila Sp</i>
Arboloco	<i>Polymia Pyramidalis</i>	Cerezo	<i>Prunus serótina</i>
Caucho sabanero	<i>Ficus Soatensis</i>	Higuerillo	<i>Ricinus comunis</i>
Chusque	<i>Chusquea Sp</i>	Anaco rojo	<i>Ery. Poeppigiana</i>
Encenillo	<i>Weinmannia Tomentosa</i>	Nacedero	<i>Trich. Giganta</i>
Guamo santojerño	<i>Inga sp</i>	Tachuelo	<i>Xanthoxilum</i>
Laurel de cera	<i>Myrcia Pubescens</i>	Varablanca-tabaquillo	<i>Aegiphilia Grandis</i>
Sauco	<i>Sambucus Pemiana</i>	Ceiba	<i>Ceiba Pentadra</i>

Fuente: Londoño (1995)

En cuanto a especies con **categoría de amenaza**, se tiene que de las 5 especies de la cuenca del río Chinchiná con mayor peligro de extinción, tres se encuentran en jurisdicción de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas: *Arachniodes denticulata* (Helecho), *Croton cupreatus* (Drago) y *Prunus integrifolia* (Ojo de pava o Cerezo). Complementariamente, Sanín, et. al (2007) habla de 9 especies con categoría UICN en la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares, las cuales se exponen en la Tabla 16.

Entre los reptiles se encuentran la jueteadora (*Bothriechis schlegelii*), las cazadoras de los generos Chironius y Liopis y hay anfibios del genero Leptodactylidae que hacen parte de la herpetofauna de la zona. Respecto de los peces predomina la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) - **especie alóctona**- y posiblemente en los arroyos haya Capitancitos. Igualmente tiene asiento allí una gran cantidad de mariposas diurnas y nocturnas y otros insectos (CORPOCALDAS, 2002).

Respecto a aves y mamíferos, se tienen para la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares las Tablas 17 y 18 que muestran las escalas de prioridad.

**Tabla 16.** Especies con categoría de amenaza Reserva Río Blanco y Q. Olivares

Nombre científico	Nombre común	Familia	Categoría
Croton cupreatus	Drago	Euphorbiaceae	CR
Prunus integrifolia	Botundo, Trapiche, Ojo de Pava, Cerezo	Rosaceae	CR
Quercus humboldtii	Roble de tierra fría, Roble blanco	Fagaceae	VU
Juglans neotropica	Cedro negro, Cedro nogal	Juglandaceae	VU
Dicksonia sellowiana	Helecho arborescente	Dicksoniaceae	VU/EN
Ceroxylon quindense	Palma de cera del Quindío	Arecaceae	EN
Cedrela fissilis	Cedro rojo, Cedro de castilla	Meliaceae	EN
Cedrela montana	Cedro de montaña, Cedro sabanero	Meliaceae	EN
Miconia poecilantha	-	Melastomataceae	EN

Fuente: Modificado de Sanín et. al (2007)

**Tabla 17.** Matriz y escala de prioridad para aves, Reserva de Río Blanco y Q. Olivares

Especie	Endemismo	Riesgo Nacional	Riesgo Local
Grallaria milleri*	X	EN	VU
Grallaria alleni*		EN	VU
Bolborhynchus ferrugineifrons**	X	VU	VU
Leptopsittaca branickii**	X	VU	VU
Hapalopsittaca amazonina velzii**	X	VU	VU
Andigena hypoglauca**		VU	VU
cinctus**	X	VU	VU
Grallaria rufocinerea**		VU	NT
Odontophorus hyperythrus***	X	NT	NT
Eriocnemis derbyi***		NT	NT
Andigena nigrirostris***		NT	NT
Grallaricula cucullata***		NT	NT
Ampelion rufaxilla***		NT	NT
CR: En Peligro Crítico; EN: En Peligro; VU: Vulnerable; NT: Casi amenazado			
*Especies de aves del Grupo I (Prioridad-Urgente)			
**Especies de aves del Grupo II (Prioridad-Media)			
***Especies de aves del Grupo III (Prioridad-Baja)			

Fuente: CORPOCALDAS (2010)

**Tabla 18.** Matriz y escala de prioridad para mamíferos, Reserva de Río Blanco y Q. Olivares

Especie	Riesgo Nacional	Riesgo Local
Tremarctos*	EN	EX
(Leo) onca*	EN	EX
Tapirus pinchaque*	EN	EX
Odocoileus virginianus*	VU	EX
longicaudis*	EN	EX
Dinomys branickii**	VU	VU
Mazama rufina**	VU	VU
Aotus lemurinus**	VU	NT
Caluromys derbianus**	VU	NT
(Felis)***	NT	NT
(Felis) tigrinus***	NT	NT
Cabbassous centralis***	NT	NT
Choloepus hoffmanni***	NT	NT
Agouti taczanowskij***	NT	NT
EX: Extinta localmente; CR: En Peligro Crítico; EN: En Peligro; VU: Vulnerable; NT: Casi amenazado		
*Especies de mamíferos del Grupo I (Extinta localmente)		
**Especies de mamíferos del Grupo II (Prioridad-Alta)		
***Especies de mamíferos del Grupo III (Prioridad-Media)		

Fuente: CORPOCALDAS (2010)

Cuenca Media. (Información para el Parque Regional Natural Monteleón)

De las cinco especies de la cuenca del río Chinchiná con mayor **categoría de amenaza**, dos se encuentran en jurisdicción de la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas: *Aniba perutilis* (Laurel comino) y *Prunus integrifolia* (Ojo de pava o Cerezo) (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013a).

Cuenca Baja. (Información para los Bosques de la confluencia Q. Olivares y Río Guacaica)

Respecto a flora se tiene un **índice de diversidad** de Shannon un poco mayor que los de los la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares (3,57) (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013a).

Como especies con mayor **IVI** se tienen: *Allophylus angustatus* (Pata de Loro), *Ficus killipii* y *Warczewiczia coccinea* (Chaconia) (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013a).

En cuanto a ictiofauna, los areneros reportaban para el año 1990 la presencia en la corriente de Cuchas (**especies nativas**) y algunas Truchas (**especies alóctonas**) que se escapaban de los estanques en donde eran cultivadas (U.N. de Colombia Sede Bogotá e INDERENA, 1990).



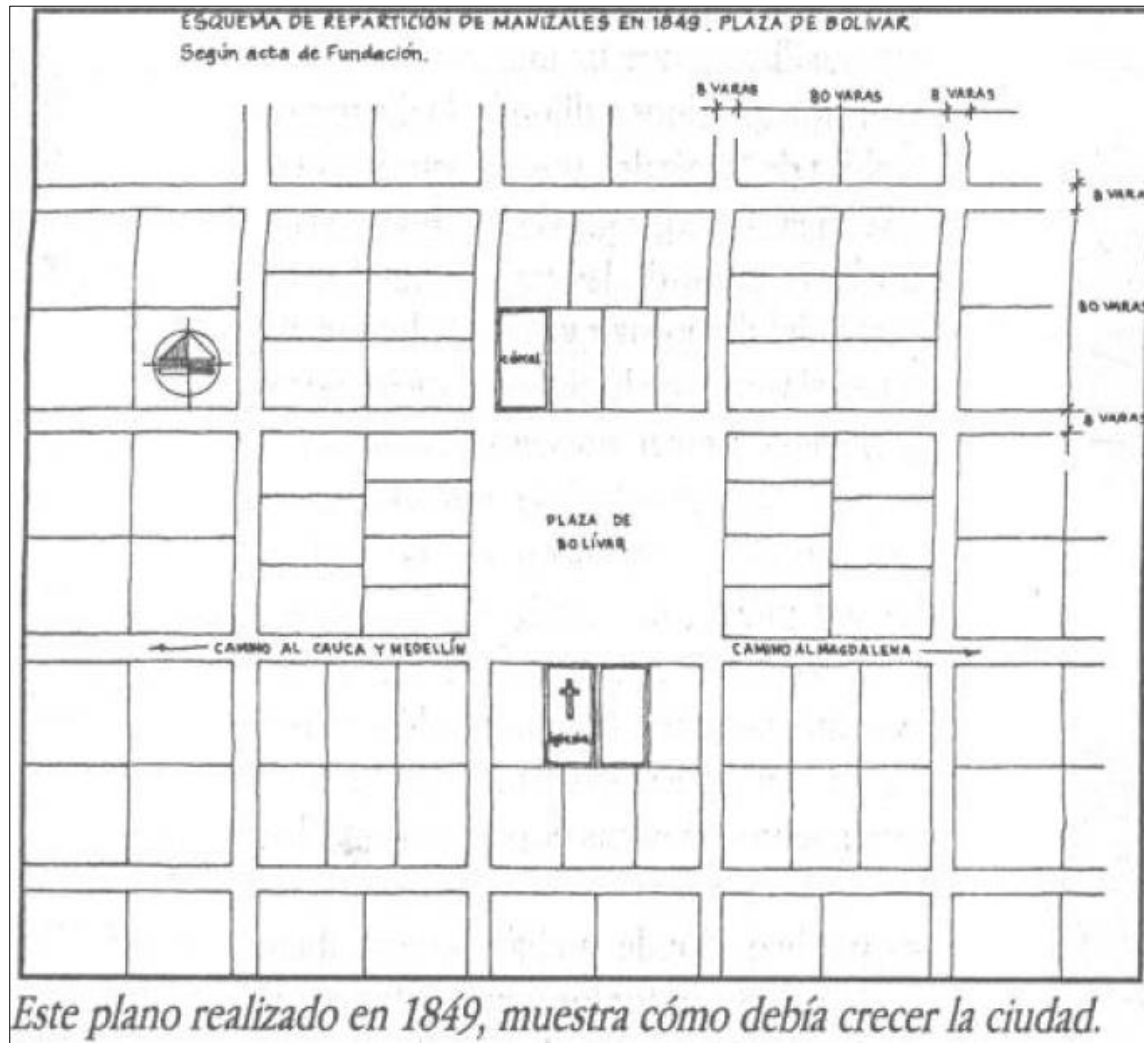
## **3.4 Condiciones socio-culturales de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas**

### **3.4.1 Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial**

La fundación de Manizales en 1849 hizo parte de la “colonización antioqueña”, el más grande movimiento poblacional registrado en el occidente del país en el siglo el XIX; la búsqueda de nuevas tierras, el deseo de adquirir riquezas, de encontrar oro, guacas, ampliar la frontera agrícola y alcanzar una mejor forma de vida, fueron los factores básicos que llevaron a unos pobres labriegos con sus familias a emprender la labor colonizadora. La minería tuvo al comienzo su atractivo pero los pocos yacimientos de oro situados en estos parajes no eran ni los más productivos ni los más rentables. Por tal motivo, las minas de Olivares y Minitas, que se explotaron con métodos rudimentarios, fueron rápidamente abandonadas (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

El conglomerado colonizador era de base campesina y construía en general su medio artificial (viviendas, utensilios, vestidos) en estrecha relación con el ecosistema, transformando los bosques de los territorios encontrados para erigir su “rancho” e iniciar labores de cultivo. (IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales y CORPOCALDAS, 1995; Valencia, 2010); también impusieron un trazo cartesiano al irregular territorio fundado, como significado del triunfo de la razón sobre las fueras abrumadoras y caóticas (IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales y CORPOCALDAS, 1995), ver Figura 28.

**Figura 28.** Esquema de repartición de Manizales en 1849



Fuente: Instituto de Caldense de Cultura y LA PATRIA (1999)

Después de su fundación, Manizales se convirtió en la fortaleza del Sur de Antioquia y en la encrucijada de caminos que comunicaban con el sur, el Cauca, el río Magdalena y el centro de Colombia. Pero con frecuencia se afirma que las guerras civiles del siglo XIX, en especial las de 1860 y 1876 y el famoso tratado de la Esponsión, fueron las que contribuyeron al desarrollo de la ciudad a raíz del mejoramiento de las vías, concentración del ejército y de recursos económicos y desarrollo del mercado de la aldea, permitiendo la transformación en pueblo y la integración a la región de Antioquia y al acontecer del país. Se motivó entonces el crecimiento del comercio y la industria, la creación de entidades crediticias, prosperó la arriería y se formaron las grandes haciendas ganaderas y de caña (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999; Valencia, 2010).

A finales del siglo XIX, Manizales se convirtió en principal abastecedor de mercaderías del centro-occidente del país, se erigió como Diócesis en 1900 y capital del departamento de Caldas en 1905, lo cual coincidió con el inicio de la producción cafetera para la exportación, acabando de tipificar la formación social de la región, de base campesina pero ligada a actividades urbanas como la trilla y la comercialización del grano (IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales y CORPOCALDAS, 1995), ver Figura 29 con las principales zonas de desarrollo económico de Manizales entre 1850 y 1900.

**Figura 29.** Principales zonas de desarrollo económico de Manizales entre 1850 y 1900



Fuente: Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA (1999)

En 1884 se empezó a construir el primer acueducto de la ciudad aprovechando el agua de la Q. Olivares-Minitas llamada en ese entonces “riachuelo Olivares”; desde la bocatoma el agua hacía un recorrido total de 3,5 Km, pasando por “Palogrande” y tomando la “Calle de la Esponsión” hasta llegar a la plaza principal, concluyendo en una fuente en el parque central, inaugurado el 20 de julio de 1888, debido a varias suspensiones del proyecto por dificultades económicas y compra de los terrenos de la cabecera de la corriente hídrica, con el fin de evitar el “desmante de la cuenca”. Para el periodo entre 1910 y 1922 se tomaron diferentes medidas para modernizar el acueducto, con el objetivo de disminuir pérdidas en el sistema y así garantizar mayor eficiencia en su transporte y entrega (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

Debido al acelerado incremento poblacional que se venía presentando motivado por la alta migración del campo a la ciudad a raíz de las guerras civiles de la época, empezó a haber una gran demanda de trabajo, vivienda y servicios; adicionalmente, los incendios ocurridos en 1922, 1925 y 1926 contribuyeron al déficit de vivienda; situaciones que no se lograron manejar con la celeridad que se requería, a falta de una adecuada planificación territorial, generándose así los barrios “piratas” o sub-normales asentados en zonas de alto riesgo de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, principalmente de deslizamiento (IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales y CORPOCALDAS, 1995).

Los incendios de 1925 y 1926 también motivaron la necesidad de un acueducto verdaderamente moderno (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999), por lo que a la Ulen & Company, empresa de renombre contratada para reconstruir la ciudad después de los incendios, se le encargó también la modernización del acueducto y el nuevo alcantarillado para la ciudad (Ceballos, 1991). Fue así como se construyó un sistema integrado de conducción, de tanques de acopio y redes de distribución, dándole al trazado del acueducto una visión más cercana a lo urbano, que los hasta el momento “empíricos trabajos de ingeniería local” adelantados por las autoridades municipales y por el reconocido fontanero Don Rafael Isaza, pionero de los servicios públicos de Manizales. Las aguas crudas de este nuevo acueducto fueron captadas en río Blanco, la purificación se realizaba por medio de rudimentarios filtros caseros y con la ebullición del agua en las cocinas particulares; no obstante, hasta finales de la década del 20, todavía eran muy comunes los pozos artesianos o “bombas” para extraer las abundantes aguas del subsuelo (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

Con el auge de la economía cafetera se empezó a requerir una modernización de la infraestructura vial y de los medios de transporte, desplazando a la arriería, una de las empresas más prósperas de la época. Este proceso estuvo acompañado de la más ambiciosa tarea modernizadora del Estado en la gestión de las finanzas y en las vías de comunicación, dando paso así al cable aéreo de Mariquita (1922), al ferrocarril (1927) y a las carreteras (1930) (IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales y CORPOCALDAS, 1995). En los años 30 también se empezaron a pavimentar las calles de la ciudad, que hasta entonces eran en su mayor parte empedradas o en tierra, siguiendo la ideología de la Sociedad de Mejoras Públicas de la época, la cual sostenía que la pavimentación era la transición del pueblo a la ciudad (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999; Trujillo, 2007).

Pese a los avances en infraestructura para el acueducto, desde finales de 1939 se mencionaba continuamente sobre la incapacidad para abastecer la población manizaleña del servicio de agua (Trujillo, 2007), por lo que en 1940 se inició la ampliación de la red de distribución mediante tanques satélites situados en barrios nuevos y periféricos de la ciudad, como fue el tanque de Chipre; asimismo se empezó a edificar la planta de Niza (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

En 1942 se estableció el “Plan Maestro” para festejar el Centenario de la ciudad, el cual se puede citar como el primer proceso de planificación del desarrollo en Manizales; dicho plan contemplaba la construcción de diferentes obras, entre las que se destacaban el “nuevo matadero”, la pavimentación y ampliación de calles (incluyendo la construcción de la Avenida del Centro), el nuevo acueducto y una nueva plaza de mercado (Ceballos, 1991), por lo que se puede considerar al Centenario como el inicio de la modernización de la ciudad, con proyectos adicionales como la arborización de las avenidas y el nacimiento de la educación superior en la capital caldense, pero que a su vez dejó entrever las agresivas intervenciones que se iban a dar en un futuro, en detrimento del patrimonio ambiental y arquitectónico de la ciudad (IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales y CORPOCALDAS, 1995).

Otra obra que se propuso desarrollar en el marco del Centenario de Manizales fue la canalización de la Q. Olivares-Minitas, desde el barrio Minitas hasta el puente Neira, pues ello permitiría “la rebanada de los terrenos situados al frente de la ciudad”, haciendo posible la proyección de una gran ciudadela frente a la Estación del Ferrocarril; sin embargo, finalmente esta propuesta no fue considerada (Trujillo, 2007). En este sentido, es posible visualizar el afán urbanístico de ese entonces, el cual se quería proyectar a expensas de la degradación ambiental de una corriente hídrica de gran importancia para Manizales, teniendo en cuenta que la Q. Olivares-Minitas abastecía desde el principio el acueducto de la ciudad.

Entre 1960-1970 se hicieron nuevas obras para el acueducto de la ciudad, se dio la ampliación de la planta Niza del acueducto de Manizales, se construyeron tanques de almacenamiento y se incrementó el volumen de litros por segundo de agua tratada, se levantaron tres nuevos tanques de distribución y se operó con esta infraestructura hasta la década de los 70 (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

Un segundo proceso de planificación del desarrollo en la ciudad de Manizales, influenciado desde el nivel nacional con la creación en 1958 del Consejo y el Departamento de Planeación,

así como con la elaboración del primer Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social 1962-1971 (Martner y Máttar, 2012; DNP, 2014), fue el Plan de Desarrollo Urbano elaborado en 1970 por la Universidad Nacional de Colombia, en donde se proponía el fortalecimiento de la región centro-occidental de la cual hacía parte Manizales, como un “Polo de Desarrollo” mediante la conformación de un sistema de “Conurbación discontinua” que pudiera equilibrar y contrarrestar el crecimiento desmesurado de Bogotá, tal como se proponía también para las ciudades de Medellín, Cali y Barranquilla (IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales y CORPOCALDAS, 1995). No obstante, según Duque *et al.* (2000) este plan se centró en el estudio de la problemática de los tugurios desde la perspectiva de estabilidad de los terrenos y de erradicación de viviendas, sin que lo ambiental revistiera mayor importancia.

El 3 de marzo de 1972 se inauguró una nueva planta de agua potable para Manizales llamada “Luis Prieto Gómez”, adicional a la planta “Niza” ubicada en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, pues se esperaba que para el año 1990 Manizales contaría con una población de 600.000 hab. (Trujillo, 2007). Esta planta duró hasta la famosa avalancha de 1981, cuando fue muy averiada por la Quebrada Cajones, pero en 1983 quedó totalmente superada la emergencia (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

En lo que tiene que ver con provisión de la infraestructura vial necesaria para el desarrollo urbano que se estaba dando en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, Trujillo (2007) expone que en marzo de 1971 se adelantó con la colaboración ciudadana la pavimentación de las calles del sector de Minitas y a finales de 1987 se inició la construcción de la Avenida del Río o Kevin Ángel Mejía, paralela a la corriente hídrica, proyecto que se financió con el recaudo del impuesto de valorización cobrado a toda la ciudadanía en general y duró hasta principios de la década de los 90. Según CORPOCALDAS (2002) la ciudad de Manizales promovió en los años siguientes, el desarrollo de proyectos de vivienda de interés social en el piedemonte del sector norte, razón por la cual la Avenida del Río fue convirtiéndose en el eje articulador de amplios sectores de las comunas 4, 5 y 6, que se encuentran asentados actualmente en estas áreas.

Pero debido a la ocupación de suelos no aptos para la urbanización y a falta de una adecuada planificación del desarrollo que atendiera la problemática de incremento poblacional y alta demanda de vivienda en Manizales, desde 1936 hasta 1971 se reportaban en los periódicos locales diferentes desastres ocurridos ante eventos climáticos extremos, principalmente deslizamientos, ver Tabla 19. Esto motivó la creación mediante la Ley 40 de 1971 de la Corporación Regional Autónoma para la defensa de Manizales, Salamina y Aranzazu-CRAMSA,

con el propósito de atender el problema de la erosión y sus consecuencias en el deterioro de los asentamientos humanos (CORPOCALDAS, 2010). Eventos posteriores han sido referenciados por Aristizábal (2004).

**Tabla 19.** Eventos climáticos extremos y consecuencias, énfasis en cuenca Q. Olivares-Minitas

Fecha	Tipo	Corriente hídrica	Consecuencia
Septiembre 24/1936	Sequía	Q. Olivares	Afectación del acueducto de la ciudad
Diciembre 28/1940	Invierno	Q. Minitas	Deslizamiento, represamiento, afectación del acueducto de la ciudad
Octubre 9/1962	Invierno	-	Las calles se convirtieron en verdaderos ríos
Diciembre 21/1962	Invierno	-	Deslizamientos que afectaron los barrios de Villahermosa y Galán
Octubre-Noviembre/1965	Invierno	-	Diferentes problemas como deslizamientos, crecidas de los ríos
Noviembre 28/1965	Invierno	-	Deslizamiento que afectó barrio Estrada y llevó a que tres cadáveres a fueran arrastrados por el río Olivares
Noviembre 1/1967	Invierno	-	Deslizamientos en barrios Comuna San Jose, Ladera Sur Q. Olivares, muchos damnificados
Abril 2/1968	Invierno	-	Graves daños obligando a la evacuación de numerosas casas, provoca fuertes inundaciones, derrumbamiento de techos, cortos-circuitos, desarraigo de árboles
Marzo-Abril/1971	Invierno	-	Deslizamientos

Fuente: Trujillo (2007)

Pese a los avances en urbanismo, infraestructura vial, acueducto, alcantarillado y ornato en la ciudad de Manizales, incluso teniéndose algunos instrumentos de planificación como el Plan Maestro del Centenario y el Plan de Desarrollo Urbano del 70, el crecimiento se dio sin una visión de ordenamiento ambiental territorial, permitiendo los desastres ya citados. Siendo solo a partir de la década de los ochenta de acuerdo con Duque *et al.* (2000), que se empieza a expedir una normatividad a nivel nacional que le imprime obligatoriedad a la planificación urbana: Decreto 1306 de 1980 y Ley 9ª de 1989 de “Reforma Urbana”.

Así, a mediados de la década de los 80 se elaboró el Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales-PIDUM, el cual señaló que la ciudad había llegado al límite de su crecimiento armónico con la naturaleza y sugería la posibilidad de crecer hacia sectores suburbanos como

El Rosario y el Kilómetro 41; posteriormente se elaboró el Plan integral para la Prevención de Desastres en Manizales-PADEM, cuyo objeto fundamental era el estudio de la amenaza sísmica y los riesgos introducidos como deslizamientos o incendios. No obstante, la discontinuidad y falta de ejecución de estos planes fueron constantes, lo que impidió un desarrollo adecuado de la ciudad en ese entonces (Duque *et al.*, 2000) con las consecuencias hasta ahora observadas, entre ellas la degradación ambiental de la cuenca hidrográfica de la Q. Olivares-Minitas y de la corriente hídrica como tal.

En el periodo 1981-1996 ya sin terrenos de la parte alta de la ciudad se empezó la adecuación de lotes en la vertiente norte de la Q. Olivares-Minitas, hoy Comuna 5, específicamente en el sector nororiental, el cual tenía una importante reserva forestal denominada “Monteleón” que se vio disminuida a menos del 50%, lo que trajo como resultado la pérdida del poder regulador de esta cuenca intensamente intervenida, el incremento de la escorrentía y los consecuentes problemas de inestabilidad de taludes (Duque *et al.*, 2000).

Es así como la cuenca de la Q. Olivares-Minitas ha soportado gran parte de la urbanización de Manizales así como sus impactos negativos, siendo muy notorio en 1990 el gran deterioro ambiental de esta corriente hídrica; porque incluso, la mitad de las 30 toneladas de basura diaria que se producían en la ciudad eran arrojadas indiscriminadamente a la Quebrada (U.N. de Colombia Sede Bogotá, 1990), hasta que en el año 1991 se dio apertura al actual relleno sanitario de la ciudad “La Esmeralda” (Marín y Villada, 2013).

En 1991 Manizales contó con su primer plan de desarrollo “Manizales Calidad Siglo XXI” (Acuerdo N° 54 de diciembre 24 de 1991), el cual nació dentro del marco de las condiciones establecidas por la nueva Constitución Política Nacional, como respuesta a la dinámica de la ciudad y la imperiosa necesidad de promover y regular el desarrollo ordenado de la misma (Duque *et. al.*, 2000), generándose inclusive con anterioridad a la expedición las Leyes 136 y 152 de 1994, con las cuales se institucionalizó la planificación del desarrollo para los municipios colombianos.

En este sentido, Manizales se volvió pionera no solo en el proceso de planificación del desarrollo, sino también en la incorporación de la dimensión ambiental con el concepto de Bio-Ciudad en una visión de largo plazo, entendido según Duque *et. al.* (2000) como una opción que se fundamenta en el crecimiento económico y el mejoramiento de la calidad de vida basados en un consumo sostenible de energía y de materias primas, pero acorde con un conocimiento



de los recursos naturales y culturales de la ciudad. Sin embargo, se dio una gran diferencia entre lo propuesto y las acciones ejecutadas, debido a la ausencia de voluntad política, la falta de conciencia y participación ciudadana y la escasez de recursos económicos, que hicieran factible que la ciudad se encaminara hacia el logro de ese propósito.

En el mismo año de 1991 se expidió la Ley 22 por la cual se reorganizó CRAMSA, otorgándosele el nombre de Corporación Autónoma Regional de Desarrollo de Caldas-CORPOCALDAS con las funciones de administrar los recursos naturales y el medio ambiente, así como planificar el uso del suelo de los territorios del departamento de Caldas a excepción de los municipios de Samaná, Victoria y La Dorada. Esto contribuyó indudablemente ya no solo a la prevención y mitigación de los riesgos por inestabilidad de laderas, principal función de la antigua Corporación, sino también a la gestión ambiental territorial en general y extendida a la mayoría de los municipios del departamento.

Para el año 1993 con la creación de la Ley 99 y con ella del Sistema Nacional Ambiental en Colombia, CORPOCALDAS tuvo nuevamente un re-ordenamiento mediante el cual se consolidó su ejercicio como ente administrador y regulador en materia ambiental y se le otorgó autonomía administrativa, jurídica y financiera. Adicionalmente, esta vez la Corporación tuvo sus propios instrumentos de planificación ambiental tales como los Planes de Gestión Ambiental Regional-PGAR (largo plazo) y los Planes de Acción (mediano plazo).

De otro lado, pese a diferentes intenciones y/o acciones en materia de protección de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas a lo largo de la historia de la ciudad, como que:

- En 1936 se hablaba de la importancia de la reforestación de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas, ya que la escasez de agua que se tuvo en la época no solo obedecía al largo verano, sino también a la permanente tala de bosques.
- En 1944 el municipio de Manizales adquiriera los terrenos del sector de La Toscana para construir el Bosque del Centenario de la ciudad, lo cual habría contribuido a la conservación de la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas.
- En 1955 se realizó una gran arborización en la hoya del acueducto con 23.577 árboles sembrados.
- En 1963 todavía se insistía en la reforestación de río Blanco con lo cual se “salvaría” el acueducto.

- En 1970 el INCORA adquiriera predios para reforestación en la hoya hidrográfica de la Quebrada Olivares (Trujillo, 2007).

Fue solo hasta 1992 que se protegió jurídicamente por lo menos la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas, mediante la Resolución N° 66 que aprobó el acuerdo N° 0027 de julio 25 de 1990, emanado por la Junta Directiva del entonces Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente-INDERENA (CORPOCALDAS, 2002); reflejando la importancia de esta corriente hídrica para el acueducto de la ciudad.

Siguiendo con el tema de los Planes de Desarrollo de la ciudad, al concepto de Bio-Manizales como base ambiental de estos planes se le dio continuidad con modificaciones parciales por parte de las administraciones de los periodos 1995-1997, 1998-2000 y 2002-2003 (Duque *et al.*, 2000 y Concejo de Manizales, 2000), también se creó en 1998 la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres-OMPAD. Los posteriores Planes de Desarrollo 2003-2005, 2005-2007 y 2008-2011, aunque no incluyeron el concepto de Bio-Manizales, sí incorporaron lo ambiental a manera de componente o dimensión del plan, realizando propuestas que entre las más visibles y efectivamente desarrolladas se destacan: la creación de Ecoparques urbanos (para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas interesa el Ecoparque Los Yarumos), creación del Programa Guardianas de La Ladera para realizar mantenimiento constante a las obras de estabilización de taludes realizadas por CRAMSA y CORPOCALDAS, re-ubicación de familias ubicadas en zonas de alto riesgo, gestión de la declaratoria de paisaje cultural cafetero y Macroproyecto San José (LA PATRIA Digital, 2012).

A su vez, con el fin de acatar la Ley 388 de 1997 que requiere la elaboración de planes de ordenamiento territorial para los municipios, Manizales adopta su Plan de Ordenamiento Territorial-POT mediante Acuerdo N° 508 de 2001, en el cual se establecen diferentes zonas de riesgo por deslizamiento e inundación presentes en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, específicamente en las comunas 1 (Atardeceres), 2 (San José), 3 (Cumanday), 5 (Ciudadela del Norte) y 8 (Palogrande). Asimismo establece como suelos de protección relacionados con la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, en el casco urbano al Ecoparque Los Yarumos con tratamiento de conservación activa y los Retiros de Cauces con tratamiento de regeneración y mejoramiento; en el área rural determina a Monteleón y Río Blanco como áreas de interés ambiental con tratamiento de conservación activa y la microcuenca Olivares-La Arenosa con tratamiento de regeneración y mejoramiento; igualmente se adoptan los tratamientos de

renovación urbana de algunos sectores de la Comuna San José o N° 2 y el sector de la Baja Suiza, también ubicados sobre la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.

En el 2003 se realiza la primera revisión al POT (Concejo de Manizales, 2003), en el 2007 se hace la segunda revisión mediante Acuerdo N° 663 de 2007. En ésta última se incluyen dentro del perímetro urbano y de influencia para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, los sectores de San Sebastián, Samaria, algunos de La Linda y se incluye La Aurora; ésta última también se deja como suelo de expansión urbana y se le da prioridad por el hecho que su destinación principal será el uso en vivienda de interés social (Concejo de Manizales, 2007; INGESAM LTDA., 2007). Por su parte, los suelos de protección rural como Monte León y Río Blanco pasan a tratamiento de preservación estricta; también se especifican diferentes laderas asociadas a la cuenca de la Q. Olivares-Minitas como suelos de protección urbano (Concejo de Manizales, 2007).

En lo relacionado con el saneamiento hídrico de la Q. Olivares-Minitas se tiene que desde el año 1993 se contrató un Estudio de Factibilidad (Paredes, 1995 y Londoño, 1995), en el año 2002 se estableció convenio entre el municipio de Manizales, Aguas de Manizales S.A. E.S.P., el municipio de Villamaría, AQUAMANÁ E.S.P. y CORPOCALDAS para que los recursos de tasas retributivas se destinaran a la realización del proyecto “Plan de Saneamiento de las Aguas Residuales de los Municipios de Manizales y Villamaría”, en el año 2007 se contrató el “Estudio de Factibilidad para la recuperación y mantenimiento de la calidad de la cuenca del río Chinchiná Fase I” con el cual se definió la mejor alternativa desde el punto de vista técnico, socioeconómico, ambiental, financiero, institucional y legal, para llevar a cabo el plan de saneamiento para la ciudad de Manizales (INGESAM LTDA., 2007).

Finalmente, atendiendo a lo estipulado en la Resolución 1433 de 2004, Aguas de Manizales S.A. E.S.P. presentó en el año 2009 ante la autoridad ambiental departamental CORPOCALDAS, el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos-PSMV con actividades a ejecutar en un horizonte de 10 años (CORPOCALDAS y GIAS-UTP, 2014). Es de resaltar que Aguas Manizales S.A. E.S.P. inició el saneamiento del tramo urbano de la quebrada Olivares en el sector Norte comprendido entre el puente la Carola y el puente salida a Neira, sin embargo, un fallo de acción popular en el 2006 les hizo re-direccionar las inversiones hacia el sector Sur que vierte directamente al río Chinchiná (CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales, 2013a).

En cuanto al tratamiento de aguas residuales domésticas Aguas de Manizales S.A. E.S.P. dispone de una planta piloto de tratamiento, tipo lodos activados, con una capacidad de 2,20 L/s, utilizada para investigar la aplicación de esta tecnología en la depuración de las aguas residuales domésticas de la ciudad en la parte baja del barrio La Sultana, es decir, en la cuenca de la Q. Olivares Minitas. Las aguas residuales afluentes a dicha planta provienen de un sector del mencionado barrio (estrato socio-económico 3) que cuenta con 240 suscriptores de alcantarillado (unos 1.008 hab.) y un área tributaria de 4,56 Has.

En lo referente a la gestión de cuencas hidrográficas, entre los años 1998 y 1999 mediante un convenio interinstitucional firmado entre CORPOCALDAS y Aguas de Manizales S.A. E.S.P., se ejecutó el “Plan de Ordenamiento de la Cuenca del Río Chinchiná” (INGESAM LTDA., 2007), pero además de que dicho plan se quedó en el papel, la Q. Olivares-Minitas aunque haciendo parte de esta no se veía directamente influenciada, quizás por ser apenas una de las 67 microcuencas.

Adicionalmente, la Corporación en el marco del ordenamiento del recurso hídrico realizó en el año 2012 un ejercicio de priorización de microcuencas en el departamento para ser objeto de ordenamiento, con base en variables de calidad, cantidad, conflictos, servicios públicos y ecosistemas estratégicos, permitiendo establecer las cinco corrientes del departamento en las que se debían iniciar procesos de ordenación -río Pensilvania, Q. Aguas-Claros, Q. Cauyá, río Guarinó y río Chinchiná- (CORPOCALDAS y GIAS-UTP, 2012), evidenciándose que no quedó priorizada la Q. Olivares-Minitas.

Surtido el análisis histórico de los procesos de desarrollo y planificación territorial con el fin de vislumbrar las causas estructurales de la problemática ambiental evidenciada en la Q. Olivares-Minitas, se presenta a continuación la Matriz FODA (Tabla 20) aplicada a los instrumentos de planificación vigentes, mediante los cuales se puedan evidenciar los procesos actuales y futuros que tienen que ver con el deterioro, conservación y/o restauración de la corriente hídrica.

Las fortalezas y debilidades de los instrumentos de planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial se analizan desde una perspectiva interna: de concepción y estructura de los documentos. Por su parte, las oportunidades y amenazas se analizan desde una perspectiva del medio, relacionado directamente con la incidencia positiva o negativa que dichos instrumentos pueden tener en la Q. Olivares-Minitas.

**Tabla 20.** Matriz FODA instrumentos de planificación del desarrollo y ordenamiento territorial, cuenca Q. Olivares-Minitas

INSTRUMENTO DE PLANIFICACIÓN	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<p><b>1. Plan de Desarrollo de Manizales 2012-2015</b></p>	<p>-Nuevamente se incorpora el concepto de Bio-Ciudad en la planificación del desarrollo. -Se rescata la importancia de la POMCA del río Chinchiná, de la revisión del POT, del PGAR 2007-2019 y de la red de Ecoparques Urbanos. -Si bien lo ambiental no se cataloga como programa, si existen diferentes proyectos relacionados en el programa "Desarrollo del Hábitat".</p>	<p>El Plan propone lo siguiente: -Adoptar la Política Ambiental del municipio. -Caracterizar socio-ambientalmente las comunas y corregimientos del municipio. -Promover sistemas productivos amigables con la biodiversidad. -Creación de Fondo para la Biodiversidad desde el proyecto PROCUENCA. -Promover sistemas silvopastoriles y agroforestales. -Re-ubicar viviendas en zonas de alto riesgo no mitigable. -Instalación de unidades sépticas en la zona rural, contribuyendo a disminuir la carga contaminante doméstica. -Reducir las afectaciones por desastres. -Ejecutar obras de estabilidad y mitigación. -Operación del sistema de monitoreo y alertas tempranas sobre desastres. -Implementar sistema de gestión ambiental municipal y observatorios de desarrollo sostenible. -Implementar un plan de acción de conectividad de áreas protegidas a nivel municipal. -Delimitación y recuperación de rondas hídricas.</p> <p>En esta administración se crea la Secretaría del Medio Ambiente del municipio.</p>	<p>Lo ambiental no está como un programa en el Plan.</p>	<p>-No existe un proyecto de recuperación de cauces urbanos. -Se prevé atraer más turistas y promover el ingreso a la red de Ecoparques urbanos, lo que de llevarse sin una adecuada planificación podría tener impactos ambientales negativos. -Se pretende aumentar la producción agropecuaria, por lo que se deben considerar los consecuentes impactos ambientales. -Las obras de estabilidad y mitigación propuestas pueden seguir interrumpiendo la conectividad hidrológica de las corrientes hídricas al no emplearse técnicas y materiales acordes con la conservación y restauración del patrimonio natural.</p>

INSTRUMENTO DE PLANIFICACIÓN	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<p><b>2. Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales, Acuerdo 663 de 2007</b></p>	<p>La revisión al POT es coherente con los lineamientos y directrices del ordenamiento territorial y de la política ambiental en Colombia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Regulación de actividades de extracción de material de arrastre.</li> <li>-Definición de tratamientos para zonas de alto riesgo por deslizamiento o inundación.</li> <li>-Definición de retiros de cauces como suelos de protección con tratamiento de preservación estricta, regeneración y mantenimiento.</li> <li>-Definición del Ecoparque Los Yarumos como suelo urbano de protección con tratamiento de conservación activa.</li> <li>-Definición de Monte León y Reserva de Río Blanco y Q. Olivares-Minitas como suelos rurales de protección con tratamiento de preservación estricta.</li> <li>-Definición de la microcuenca Olivares-La Arenosa como suelo rural de protección con tratamiento de regeneración y mantenimiento.</li> <li>-Definición de diferentes laderas de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas como suelos urbanos de protección con tratamiento de preservación estricta.</li> <li>-Definición del Puente Olivares (sobre la Q. Olivares-Minitas) como bien de interés cultural municipal.</li> </ul>	<p>No se conoce.</p>	<p>Incluye a La Aurora dentro del perímetro urbano y como área de expansión urbana, lo que puede tener afectaciones ambientales en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.</p>
<p><b>3. Propuestas Revisión al Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales, 2013-2014</b></p>	<p>La revisión al POT es coherente con los lineamientos y directrices del ordenamiento territorial y de la política ambiental en Colombia. También se ha tenido participación ciudadana, académica y gremial.</p>	<p>Propuesta de estructura ecológica de soporte urbano y rural que incluye en el área urbana: Ecoparque Los Yarumos, rondas hídricas, laderas y corredor vial conectividad Av. Kevin Ángel; en el área rural: Monte León, Reserva de Río Blanco y Q. Olivares, laderas, rondas hídricas, bosque Sinaí-Manantial y Paisaje Cultural Cafetero.</p>	<p>No se conoce.</p>	<p>Se prevé tener suelo de expansión urbana en La Aurora y el sector de San Sebastián, con lo que se podrían tener impactos ambientales en la cuenca alta y media de la Q. Olivares-Minitas.</p>

INSTRUMENTO DE PLANIFICACIÓN	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<p><b>4. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Chinchiná, 2013</b></p>	<p>El POMCA responde a los lineamientos establecidos desde el nivel nacional a través de las guías técnicas y los objetivos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.</p>	<p>El POMCA tiene incorporado el diseño de un proyecto de rehabilitación de la Q. Olivares-Minitas y Q. El Guamo, considerando la mitigación del riesgo hidráulico, la disminución de la contaminación e involucrando los componentes de espacio público y participación ciudadana, así como un proyecto de proposición de alternativas de saneamiento hídrico para el casco urbano de Manizales. Contempla la importancia de los regímenes hídricos ambientales, la dinámica geomorfológica, las rondas hídricas y los corredores ribereños, los cuales son elementos fundamentales para la restauración de ríos.</p>	<p>No existe una definición detallada del componente programático del POMCA y una estrategia financiera clara para su ejecución. No se evidencia articulación del POMCA con los demás instrumentos de planificación ambiental ya existentes para no perder los avances logrados al respecto.</p>	<p>Dada la experiencia con el POMCA del río Chinchiná de 1999, existe la posibilidad de que el actual POMCA ajustado y actualizado tampoco tenga una efectiva ejecución.</p>
<p><b>5. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Guacaica, 2013</b></p>	<p>El PORH contiene los aspectos diagnósticos y las directrices generales respecto a ordenamiento de calidad y cantidad de agua del río Guacaica de acuerdo con el Decreto 3930 de 2010, aportando también con estos elementos al manejo de la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>-Aporta información diagnóstica para la Q. Olivares-Minitas. -Define objetivos de calidad para el río Guacaica quien recibe como afluente a la Q. Olivares-Minitas, por lo que para esta última ya no sería necesario adoptar los objetivos del río Chinchiná sino directamente los asignados al cuerpo de agua donde desemboca, otorgando así las directrices a seguir en términos de calidad. -Calcula caudales ambientales mensuales empleando la metodología de IAH de Richter, acercándose con ello a una propuesta más acorde con los regímenes hidrológicos naturales de la corriente.</p>	<p>El documento PORH presenta falencias en la organización, por lo que no queda total claridad de los aportes diagnósticos y directrices establecidas.</p>	<p>Pese a que se expone sobre la estimación de caudales ambientales mensuales empleando los IAH, no se observan los resultados, por lo que no son claras las directrices en cuanto a ordenamiento de la cantidad de agua del río Guacaica y por ende de la Q. Olivares-Minitas.  Se estiman caudales ambientales para la Q. Olivares-Minitas mediante metodologías que aunque son adoptadas oficialmente por las instituciones competentes, no representan el régimen hidrológico natural de la corriente.</p>

INSTRUMENTO DE PLANIFICACIÓN	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>6. Plan de Gestión Ambiental Regional CORPOCALDAS, 2007-2019</b>	Adecuada estructura temática del Plan que es coherente con las políticas y directrices ambientales nacionales e internacionales existentes al momento de elaboración.	Existencia de líneas estratégicas relacionadas con la restauración de ríos: gestión integral del patrimonio hídrico, manejo integral de riesgos ambientales, conservación, uso y restauración de la biodiversidad, gestión ambiental en asentamientos humanos, sistemas productivos ambientalmente sostenibles y fortalecimiento del SINA para la gobernabilidad.	Debido a que las Líneas Estratégicas del Plan son orientaciones generales para la gestión ambiental regional, no es posible saber el detalle de proyectos para la Q. Olivares-Minitas. Esto último lo debería dar el Plan de Acción pero tampoco se observa allí.	Las Líneas Estratégicas no garantizan la realización de proyectos específicos de gestión ambiental en la Q. Olivares-Minitas.
<b>7. Plan de Acción de CORPOCALDAS, 2013-2015</b>	Adecuada estructura temática del Plan que es coherente con las políticas y directrices ambientales nacionales e internacionales.	No se conoce.	El Plan se estructura por cuencas hidrográficas, lo que no permite concretar desde la planificación, los proyectos que incidirán realmente en las microcuencas.	Aunque está incluida la cuenca del río Chinchiná en los proyectos e inversiones del Plan, no hay especificidad para la Q. Olivares-Minitas.
<b>8. Plan de Manejo de la Reserva de río Blanco y Q. Olivares, 2010</b>	El documento está adecuadamente estructurado: contiene la zonificación ambiental, los objetos de conservación y los proyectos del plan de manejo.	Para la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas:  -Uso sostenible del suelo. -Posibilidades de restauración de las zonas degradadas. -Programas de investigación, estrategias de educación ambiental y ecoturismo. -Aporte de información diagnóstica.	No existe una estrategia financiera clara para la ejecución del plan de manejo.	De no llevarse a cabo el plan se pueden tener dificultades para el uso sostenible del suelo y el emprendimiento de acciones de restauración de las zonas degradadas en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.
<b>9. Proyecto "Renovación Urbana" o "Zona de desarrollo" Baja Suiza, INFIMANIZALES (Pieza intermedia de Planificación PIP 5)</b>	Aval desde el POT.	No se conoce.	No se encuentra disponible en la web el Plan Parcial como tal, por lo que no se puede observar bien el detalle del proyecto.	Fragmentación de los relictos de bosque existentes en la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas, aumento de escorrentía urbana, aumento de carga contaminante doméstica.



INSTRUMENTO DE PLANIFICACIÓN	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<p><b>10. Proyecto Renovación Urbana Comuna San José</b></p>	<p>Aval desde el POT. Proyecto en ejecución.</p>	<p>Re-ubicación de asentamientos en zonas de riesgo de la ladera sur de la Q. Olivares, recuperación del patrimonio arquitectónico de la ciudad. En cuanto al proyecto "Parque Olivares": restauración y conservación de zonas degradadas por la erosión en ladera sur de la Q. Olivares-Minitas, propuesta ecoturística y de conservación en ladera sur de la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Estrategia logística y predial, planeación del proyecto.</p>	<p>Según Contraloría de Manizales no existen soportes tangibles que permitan valorar el cumplimiento de los objetivos planteados.</p> <p>Debido a la ejecución no conforme a lo planeado, no se tienen avances respecto a la recuperación de elementos de la base ecológica de la ciudad (Parque Olivares) y otorgamiento de viviendas óptimas a cambio del desalojo de las zonas en riesgo.</p>
<p><b>11. Proyecto Microcentral Hidroeléctrica Olivares, Aguas de Manizales S.A. E.S.P.</b></p>	<p>Aprovechamiento de infraestructura ya desarrollada por Aguas de Manizales S.A. E.S.P. para el acueducto, con fines de generación de energía hidroeléctrica. Aval desde el POT.</p>	<p>No se conoce.</p>	<p>Estrategia de financiación.</p>	<p>Alteración del régimen hidrológico de la Q. Olivares-Minitas.</p>
<p><b>12. Proyecto Forestal para la Cuenca del río Chinchiná-PROCUENCA (Formulado como proyecto MDL en el marco del POMCA del río Chinchiná de 1999)</b></p>	<p>Porcentaje alto de ejecución vigencia 2013, 81,2% según Contraloría de Manizales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Conservación de los bosques de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>-Implementación de la figura "Servidumbre Ecológica" (pago por servicios ambientales y exoneración del impuesto predial a cambio de conservación de áreas boscosas).</li> <li>-Monitoreo de la biodiversidad con énfasis en fauna a través del Índice de Integridad Biológica en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>-Recuperación del caudal de la Q. Olivares-Minitas a causa de los procesos de reforestación.</li> <li>-Implementación de corredor biológico de biodiversidad.</li> <li>-Implementación de proyectos productores-protectores para vinculación de los dueños de predios, programas sociales de asistencia y capacitación para sostenibilidad de tales proyectos.</li> </ul>	<p>Con base en Contraloría de Manizales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-No se observan resultados en la re-estructuración y fortalecimiento del proyecto, actividades propuestas por el Plan de Desarrollo 2012-2015.</li> <li>-No existe claridad si la inversión realizada por INFIMANIZALES en procesos de reforestación podrá ser recuperada.</li> <li>-Se tiene un porcentaje de 25% de cumplimiento en el transcurso de 13 años el proyecto y una inversión total a la fecha de \$30.260 millones de pesos.</li> </ul>	<p>No continuidad del proyecto a falta de recursos para financiación de la Fase II, por lo que se perderían posibilidades para conservación y restauración de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.</p>

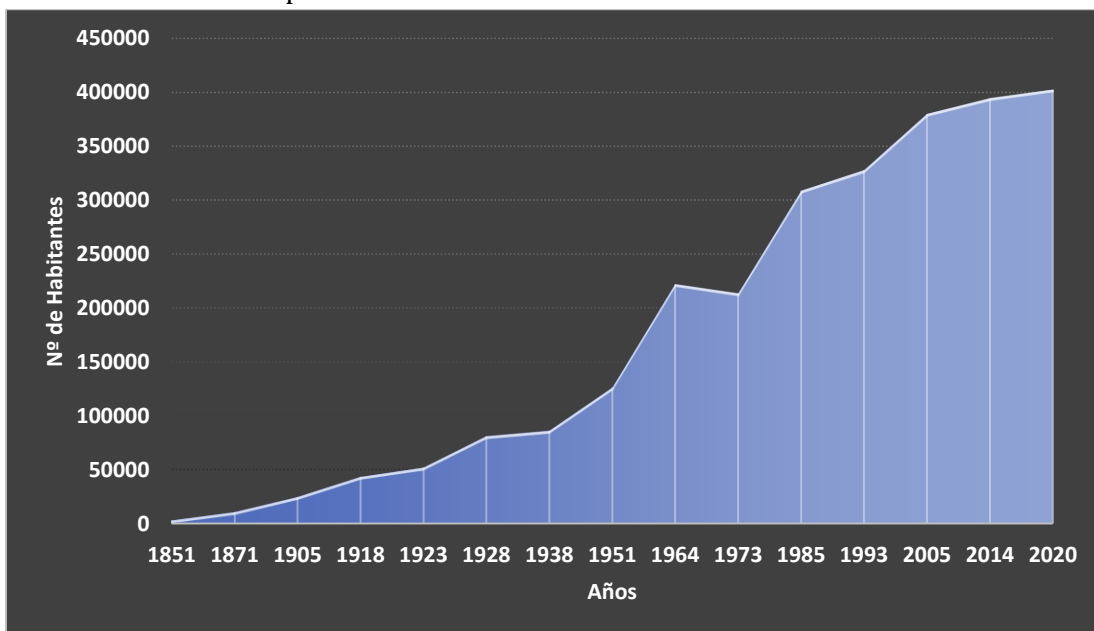
Fuente: Elaboración propia con base en análisis de información secundaria

### 3.4.2 Poblamiento de la cuenca hidrográfica

El contexto natural de Manizales limita considerablemente su desarrollo urbanístico, debido a que la ciudad está sometida a una importante sismicidad por la actividad del sistema de fallas de Romeral, con terrenos volcánicos de fuerte pendiente (a veces superior a 40°), bañados por más de 2.000 mm de lluvia al año a menudo de tipo torrencial y concentrada esencialmente en dos periodos (Chardon, 2006). Sin embargo, esto fue incluso más complejo durante la fundación de la ciudad, pues originalmente “Era un territorio cubierto de selvas andinas, muy lluvioso y pantanoso, que requería de grandes esfuerzos para andar sobre suelo arcilloso y pasar por innumerables riachuelos y cascadas”, además se condensaban las nubes casi permanentemente, por lo que la región se conocía entre los colonos como una tierra de “montaña áspera” cubierta por un monte espeso o tierra “erizada” (CORPOCALDAS, 2002).

No obstante, el Gráfico 17 ilustra el crecimiento poblacional que ha tenido Manizales desde 1851 (dos años después de su fundación) hasta el año 2005, incluyendo la proyección del DANE hasta los años 2014 y 2020, evidenciándose con este que el antes mencionado contexto natural del municipio no ha limitado el aumento de su población.

**Gráfico 17.** Crecimiento poblacional en Manizales 1851-2020



*Fuente:* Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA (1999) y Censos DANE

Luego de la incursión por estos territorios de don Fermín López entre 1834-1837, la ubicación geográfica de los primeros colonos, que se asentaron también sobre la cuenca de la Q. Olivares-Minitas fue así: don Vicente Gil en la vertiente izquierda; Escolástico Arango (suegro de don Vicente Gil) en la vertiente derecha; José Trujillo en el Alto Olivares o quebrada de por medio. Pero cuando empezaron las exploraciones nuevamente en 1843 con don Joaquín Arango Restrepo, cruzando el río Guacaica y subiendo por una colina hasta llegar al Chipre actual, se ocuparon entre otros, sitios de influencia en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas como son La Linda, Minitas y El Carretero (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

Manizales pudo haberse llamado La Cuchilla, Comunidad, Yarumal, Palestina, Olivares o Guacaica y las características bióticas, topográficas, geológicas e hídricas de esta región quedaron plasmadas en nombres que aún subsisten: la Q. Olivares, con abundancia en “olivos” cuyas semillas se usaron para extraer aceite para las lámparas, la Q. Minitas, que permitió la explotación aurífera por parte de los colonizadores, quienes iniciaron la peligrosa contaminación de las aguas.

Cuando se reunieron los colonos el 6 de julio de 1846 para escoger el lugar exacto en el cual se levantaría la población de Manizales, dentro de los sitios que convinieron inicialmente se encontraba el actual “Barrio Minitas”, pero éste sitio, así como “La Enea” y el “Cementerio” no colmó sus expectativas debido a “problema de aguas”<sup>12</sup>, alejamiento de una vía principal, el clima, la subida de los ríos y lo escarpado del terreno (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

Después que los colonos eligieron para fundar Manizales el sitio que ocupa el Centro actual, el incremento poblacional fue influenciado por las guerras civiles de 1860 y 1876, pues al ser la Aldea el último baluarte del Estado de Antioquia, se convirtió en Centro Directivo y por ende Capital de Provincia de las fuerzas conservadoras, impulsándose de este modo el mejoramiento de las vías de comunicación, la concentración del ejército, por ende de recursos económicos y el desarrollo del mercado interno (Valencia, 2010).

---

<sup>12</sup> Asumido como existencia de gran cantidad de riachuelos y cañadas que dificultaban el asentamiento de los colonos.

El complejo proceso político colombiano posterior al año 1886 y las relaciones económicas y comerciales internas propiciaron el desarrollo de la ruta desde Manizales hacia el Magdalena y Bogotá, por el camino de la Elvira o Aguacatal (hoy Letras), fue un hecho determinante para la posterior Colonización Boyacense y Cundinamarquesa, en las tierras altas, entre ellas la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas (CORPOCALDAS, 2010).

La cultura cafetera que hacia 1905 había creado mercado interno y externo, atrajo más población; las ganancias producidas con la economía cafetera impulsaron además el capital bancario, el comercio y el incipiente desarrollo industrial, con lo cual sobrevinieron cada vez más habitantes a la ciudad. Ver Tabla 21 en donde se puede observar la cronología de construcción de los barrios asentados en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas (Chardon, 2006; Valencia, 2010).

Sin embargo, el aumento de la población Manizaleña generó a la vez un proceso de segregación socio-espacial, ya que no todos los terrenos eran aptos para la urbanización:

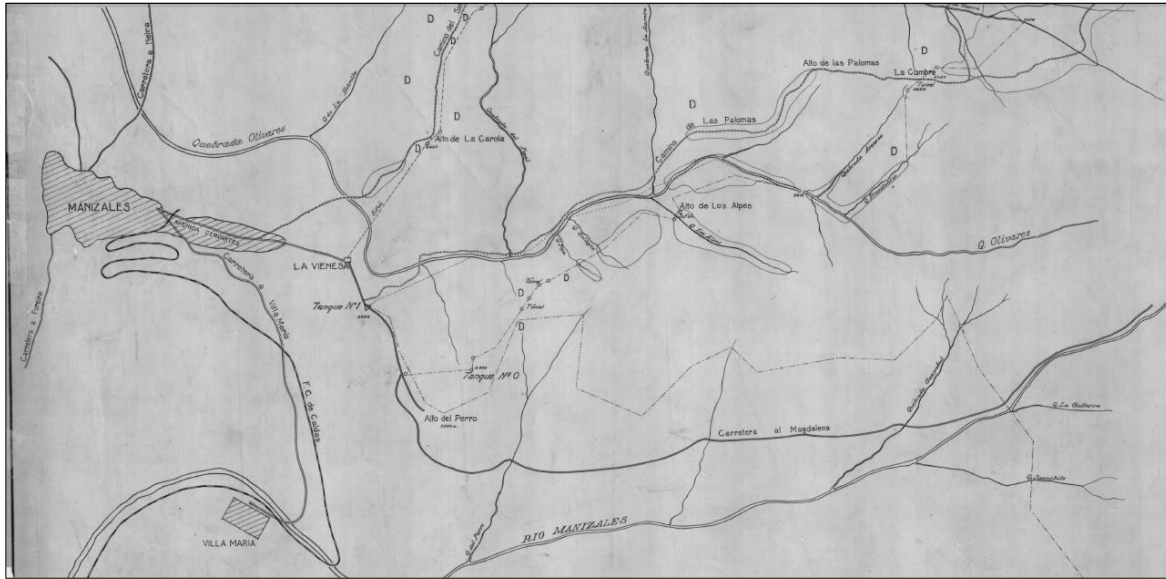
- Llegaron primero los finqueros ricos que conocían las ventajas de la vida urbana, situándose en casas ubicadas en el corazón de la localidad, convirtiéndose en la élite que contrastaba con el comportamiento rural. Estos se volvieron grandes cafeteros y comerciantes, que en los años 30 del siglo XX empezaron a ejercer una especulación sobre la propiedad raíz a lo largo de la parte alta de las vertientes.
- Los minifundistas, quienes deseaban vivir en el pueblo buscando la educación para sus hijos y frente a la poca disponibilidad de terrenos aptos para la construcción, se vieron obligados a ir más allá de los límites naturales de la urbanización, construyendo los barrios destinados a las clases medias en sectores más inestables sobre rellenos hidráulicos (Chardon, 2006; Valencia, 2010). Ver Figura 30.
- Los pobres del campo debieron en cambio recorrer un largo y difícil camino para adaptarse a la vida urbana. La falta de viviendas populares y la especulación que vuelve económicamente inalcanzables los terrenos construibles, condujeron a que las poblaciones desfavorecidas se ubicaran desde final de los años 50, incluso en los años 70, 80 y 90 sobre terrenos de fuerte pendiente muy inestables, levantados también muchas veces sobre rellenos, conformando barrios vulnerables ante importantes deslizamientos (Chardon, 2006; Trujillo, 2007; Valencia, 2010).

**Tabla 21.** Barrios en terrenos que drenan hacia la Q. Olivares-Minitas y año de inicio de construcción

Nº	Barrios	Periodo	Vertiente de la cuenca
1	Agustinos	1851	Izquierda
2	San José		
3	Colón	1900	Izquierda
4	Campohermoso		
5	Galería		
6	Liborio		
7	Centro	1921-1928	Izquierda
8	Carretero		
9	Santa Elena		
10	Chipre	1955-1956	Derecha
11	Alta Suiza		
12	Colseguros		
13	La Sultana		
14	Minitas		
15	Viveros		
16	La Toscana	1955-1956	Izquierda
17	San Jorge		
18	La Asunción		
19	Los Cedros		
20	Celema		
21	Laureles		
22	Asís		
23	Galán		
24	Tachuelo		
25	Sierra Morena	1963	Derecha
26	Villahermosa	1970-1985	Izquierda
27	Villapilar		
28	Livonia		
29	Aquilino		
30	Baja Leonora		
31	Rambla		
32	La Linda	1970-1985	Derecha
33	Solferino		
34	Sinaí		
35	Comuneros		
36	Porvenir		
37	La Carolita		
38	San Cayetano		
39	La Cumbre		
40	Villaluz		
41	Yarumales		
42	Fanny Gonzáles		
43	Peralonso		
44	Altos de Capri		
45	El Caribe		
47	La Carola		
48	Bosques del Norte		
49	Villacafé		

Fuente: Elaboración propia con base en INGESAM LTDA. (2007)

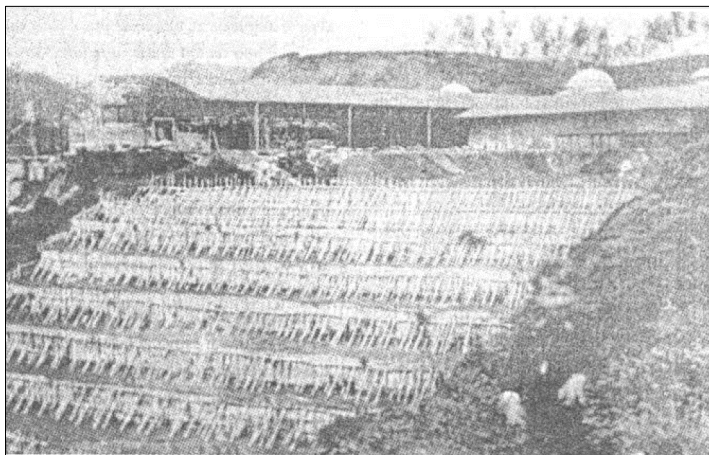
**Figura 30.** Zona urbana de Manizales y cuenca de la Q. Olivares-Minitas en 1940



*Fuente:* Ministerio de Minas y Petróleos de Colombia (1940)

La ocupación urbana de Manizales y por ende de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, supuso entonces una fuerte transformación del relieve con los denominados “bombeos” o “rellenos hidráulicos” que tuvieron su inicio en 1864. Métodos “ingenieriles” que generaron un hábito negociador entre propietarios de cañadas o profundidades y dueños de alturas o barrancos, con el propósito de rellenar con la tierra de unos las oquedades de otros, arrastrando la tierra excavada con abundante agua de nacimientos y/o empozamientos, atajando la borrasca y formando terraplenes por medio de trinchos o barreras con guaduas y arbolocos, quedando así los diferentes propietarios dotados de lotes urbanizables. Ver Foto 19.

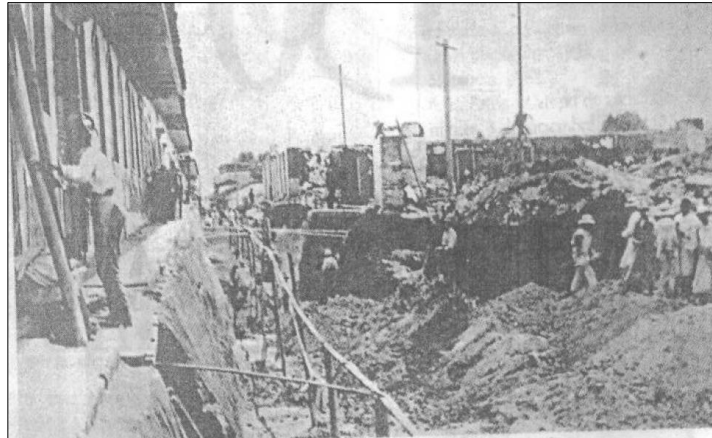
**Foto 19.** Sistema de bombeo para hacer lotes urbanizables en la antigua Manizales



*Fuente:* Instituto Caldense de Cultura y La Patria (1999)

También fue necesario rellenar las cañadas para poder construir las calles (Ver Fotos 20 y 21); con todo lo anterior, se popularizó a partir de esta forma de aplanar el terreno, los dichos: “En Manizales para construir hay que hacer primero el lote” y “Para edificar a Manizales ha sido necesario empezar por hacer suelo” (Ceballos, 1991; Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999).

**Foto 20.** Relleno de cañadas con fines urbanísticos en la antigua Manizales



*Fuente:* Instituto Caldense de Cultura y La Patria (1999)

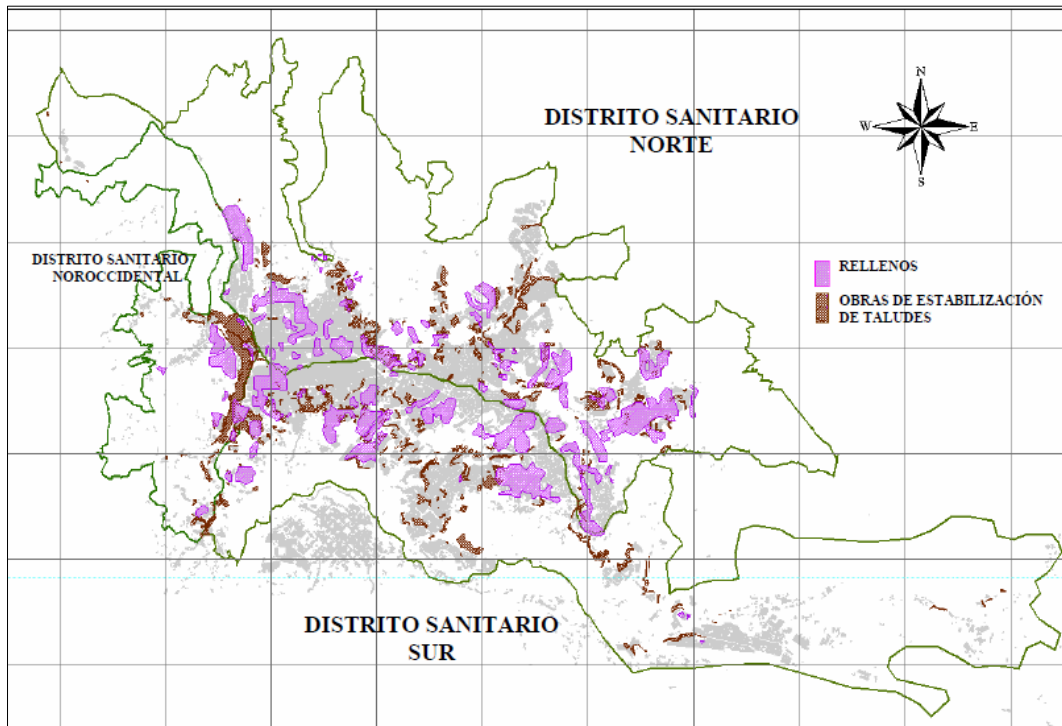
**Foto 21.** Cañadas que había que rellenar para construir las calles en Manizales



*Fuente:* Instituto Caldense de Cultura y La Patria (1999)

La Figura 31 ilustra de manera espacializada sobre la ciudad los rellenos antrópicos antes mencionados, asimismo las obras estabilización de taludes como actividades de mitigación del riesgo ante amenaza de deslizamiento.

**Figura 31.** Localización de rellenos y obras de estabilización de taludes en Manizales



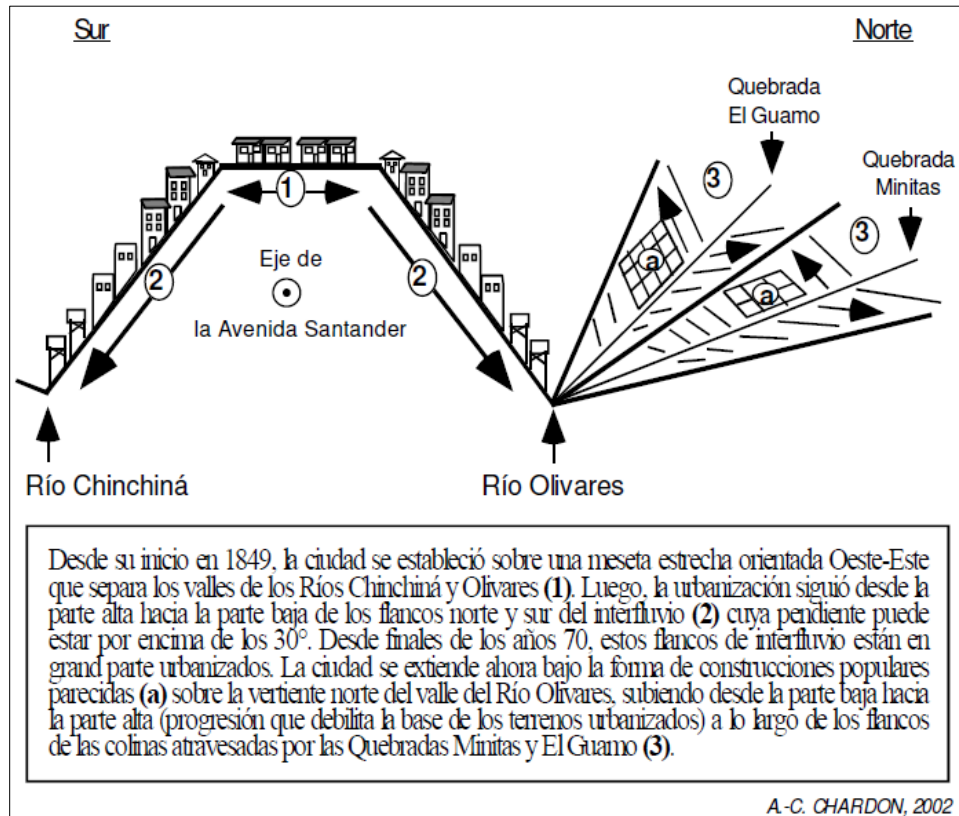
*Fuente:* INGESAM LTDA. (2007)

Según Dallos y García (2004) en la ladera sur de la Q. Olivares-Minitas, específicamente en las tierras donde están asentados los barrios Santa Helena, Los Cedros, San Jorge, Sáenz, El Sol, La Primavera, La Argentina, La Asunción, La Leonora, Los Rosales, La Rambla y Los Laureles, el periodo en que más hubo llenos y cortes con fines de urbanización fue de 1946 a 1959, con un segundo momento entre 1959 y 1973.

La Figura 32 expone esquemáticamente sobre la expansión urbana de Manizales en la cuchilla y vertientes del río Chinchiná y Q. Olivares-Minitas. La Figura 33 ilustra las formas del relieve sobre las cuales se encuentra asentado el casco urbano de Manizales en la actualidad.

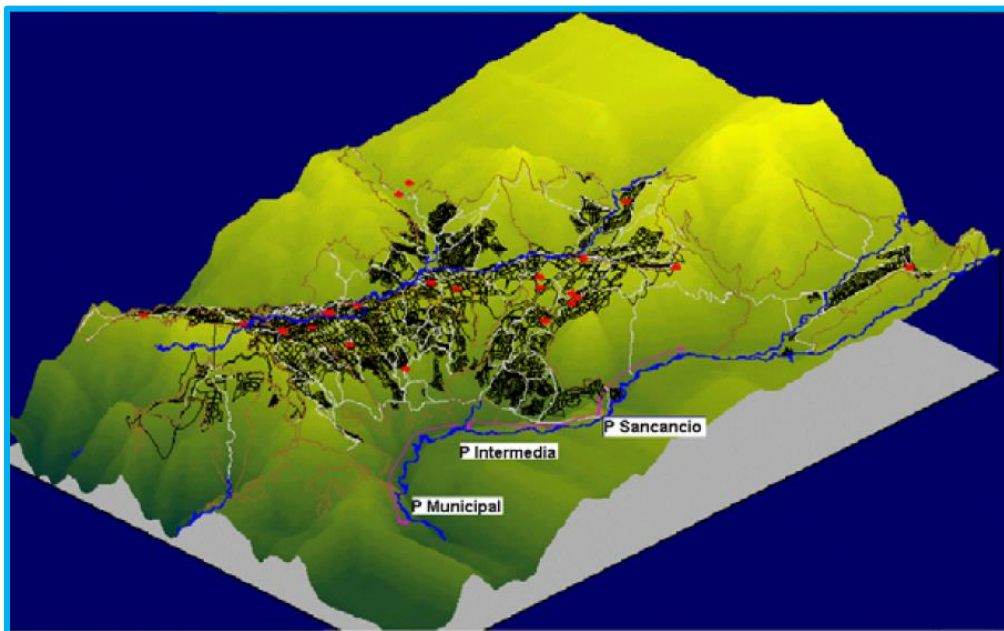


**Figura 32.** Expansión urbana de Manizales hacia zonas expuestas a amenazas naturales



Fuente: Chardon (2006)

**Figura 33.** Formas del relieve en la zona urbana de Manizales



Fuente: INGESAM LTDA. (2007) cita a CIMOC-Universidad de Los Andes

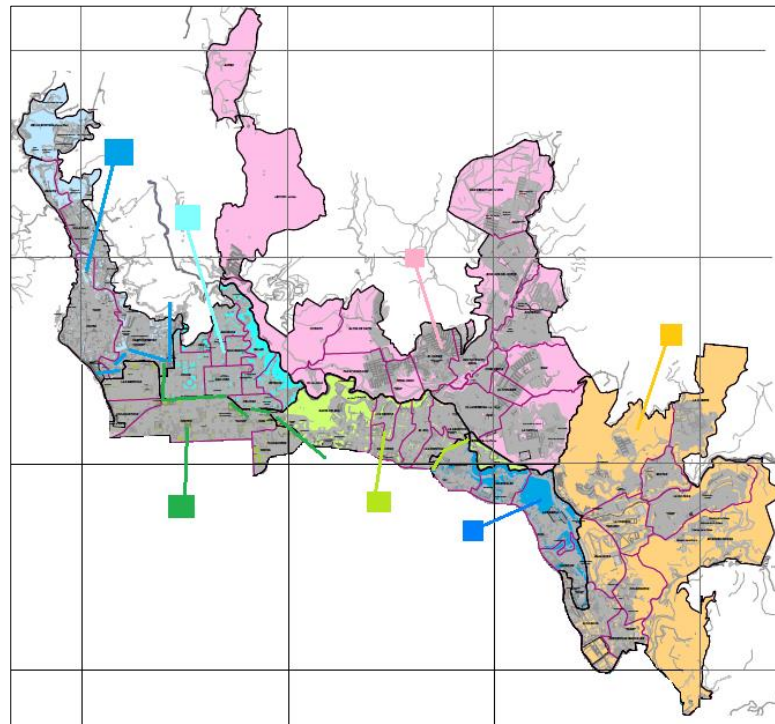
Actualmente la cuenca alta de la Q. Olivares Minitas se encuentra ocupada por el Corregimiento Río Blanco o N° 7 que tenía en el año 1996 una población total de 997 hab. (4% del total rural) y densidad de 7,04 hab./Km<sup>2</sup>, una de las más bajas del municipio a pesar de la gran extensión. La tenencia de la tierra se caracteriza por la presencia de grandes predios y la existencia de importantes zonas de protección forestal; su condición de gran proveedor de agua para el acueducto urbano lo convierte en lugar estratégico para Manizales (Alcaldía de Manizales, 2007).

La cuenca media está densamente ocupada por gran parte del área urbana de Manizales, ver en página siguiente la Figura 34 y Tabla 22 con los barrios en sus vertientes izquierda y derecha, así como las densidades de población en la Tabla 23. Asimismo con parte del Corregimiento El Manantial o N° 6 el cual tenía en el año 1996 2.239 hab. y una densidad de 61,78 hab./Km<sup>2</sup> y como potencialidades la productividad agrícola, la industrialización de la madera y el turismo ecológico (Alcaldía de Manizales, 2007).

En la cuenca baja todavía se tiene ocupación urbana con barrios de la Comuna San José y Atardeceres y algunos de la Comuna Ciudadela del Norte (ver Figura 34 y Tabla 22 ya mencionadas). Igualmente ocupación rural con los Corregimientos El Manantial y El Remanso o N° 3, sobre este último cabe decir que para el año 1996 tenía 6.958 hab. y una densidad de 118,8 hab./Km<sup>2</sup>; la forma típica de administración es entre agregados y propietarios y la tenencia de la tierra es minifundista cafetera, con predios no superiores a 200 has. (Alcaldía de Manizales, 2007).

En total, la población urbana aferente a la cuenca de la Q. Olivares-Minitas son 188.229 hab., es decir el 44,59%, teniendo en cuenta los datos reportados para cada descole del distrito sanitario norte por Aguas Manizales S.A. E.S.P. en su PSMV presentado en el año 2008, así como la proyección realizada considerando la tasa de crecimiento poblacional extraída del Censo DANE 2005 (CORPOCALDAS y GIAS-UTP, 2013).

**Figura 34.** Ocupación urbana de la cuenca media-baja de la Q. Olivares-Minitas<sup>13</sup>



Fuente: Elaboración propia con base en Alcaldía de Manizales (2007)

**Tabla 22.** Barrios ubicados actualmente en vertientes izquierda y derecha de la cuenca media-baja de la Q. Olivares-Minitas<sup>14</sup>

Vertiente Izquierda		Vertiente Derecha	
Comuna	Barrios	Comuna	Barrios
Ecoturístico Cerro de Oro o N° 6	Residencias Manizales, Alta Suiza, Colseguros, Baja Suiza, Bosques de Niza, La Sultana	Ecoturístico Cerro de Oro o N° 6	La Cumbre, Minitas, Viveros, La Toscana
Palogrande o N° 8	Laureles, La Rambla, Los Rosales, La Leonora		
La Estación o N° 4	La Asunción, La Argentina, El Sol, San Jorge, Los Cedros, Santa Elena	La Estación o N° 4	Villa del Río
Cumanday o N° 3	Fundadores, Centro, Los Agustinos, Las Américas		
San José o N° 2	Estrada, Delicias, San José, Colón, Asís, Avanzada, San Ignacio, Galán		
Atardeceres o N° 1	Campohermoso, Chipre, Villapilar, Sacatín, Bella Montaña, La Linda	Ciudadela del Norte o N° 5	Altos de Granada, La Carola, Villacafé, Sinal, El Porvenir, Villahermosa, Comuneros, Solferino, San Sebastian, Bosques del Norte, San Cayetano, El Caribe, Peralonso, Fanny Gonzáles, Altos de Capri, Corinto, Villa Julia, Puerta del Sol

Fuente: Elaboración propia con base en Alcaldía de Manizales (2007)

<sup>13</sup> Se recomienda interpretar esta Figura con los colores de la Tabla 23.

<sup>14</sup> Las comunas y barrios se enuncian en sentido oriente – occidente de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.

**Tabla 23.** Densidades de población por comunas en la ciudad de Manizales (año 1998)

Comuna	Densidad (Hab./Km2)	Puesto
Atardeceres	11978	11
San José	46142	1
Cumanday	27826	5
La Estación	24526	8
Ciudadela del Norte	27056	6
Ecoturístico Cerro de Oro	26675	7
Palogrande	13847	10

*Fuente:* Elaboración propia con base en INGESAM LTDA. (2007)

### 3.4.3 Coberturas y usos de la tierra en la cuenca

En el año 1940 en el marco del proyecto de un nuevo trazado del acueducto de Manizales, el entonces Ministerio de Minas y Petróleos de Colombia envió delegados para hacer un levantamiento preliminar de la geología de la zona. Accediendo al registro digital del informe de la visita a Manizales y a las fotografías que lo ilustran de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, principalmente de la parte alta y media, reproducidas aquí como Fotos 22 a 24 se observa la gran deforestación de esa época, incluyendo los alrededores de la Bocatoma; para fines comparativos con la Foto 24, se expone la Foto 25, la cual evidencia las actividades de recuperación de la cobertura boscosa implementadas hasta la actualidad, sobre todo en la vertiente derecha de la cuenca, cerca de la Bocatoma.

**Foto 22.** Manizales y los valles de las Q. Olivares y “Estrella”<sup>15</sup> deforestados, año 1940



Fuente: Ministerio de Minas y Petróleos (1940)

**Foto 23.** Valles de la Q. Olivares desde el camino de Las Palomas, año 1940



Fuente: Ministerio de Minas y Petróleos (1940)

<sup>15</sup> Por la ubicación de la zona expuesta en la foto, se cree que el aquí denominado valle de la Quebrada La Estrella, puede ser el de la Quebrada El Guamo.



**Foto 24.** Deforestación en Bocatoma Q. Olivares, año 1940



*Fuente:* Ministerio de Minas y Petróleos (1940)

**Foto 25.** Cobertura boscosa en Bocatoma Q. Olivares, año 2008

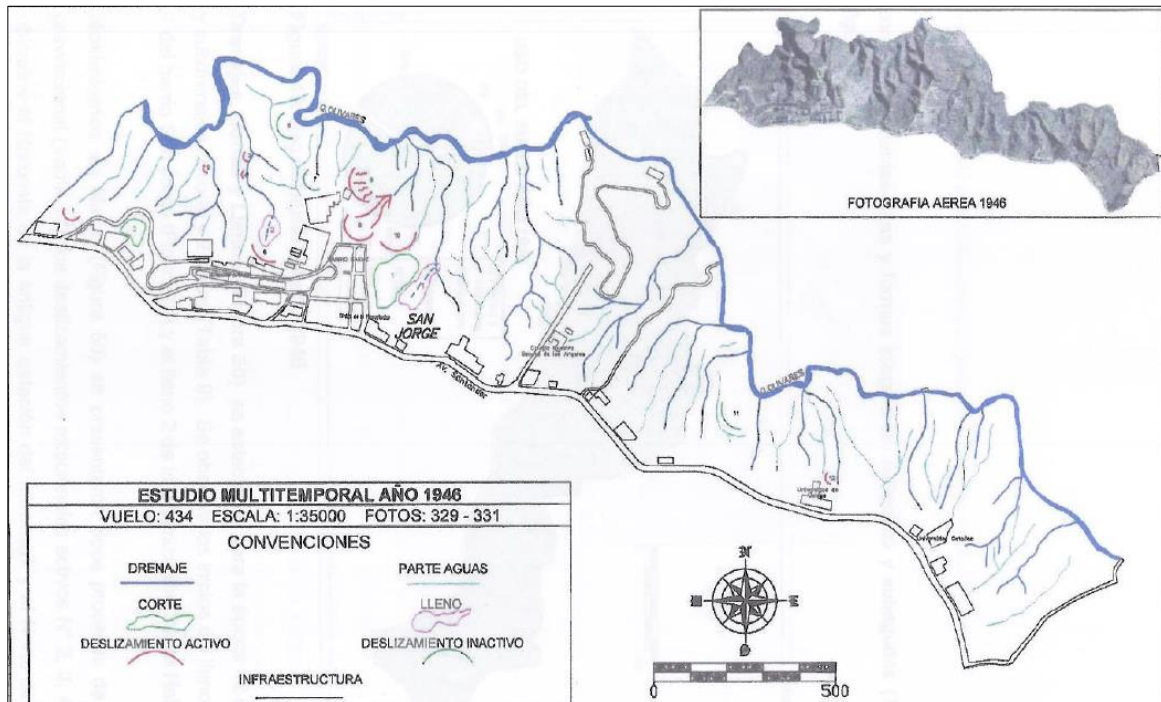


*Fuente:* Aguas de Manizales S.A. E.S.P. (2008)

Otros soportes del cambio en la cobertura y uso de la tierra en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas se pueden visualizar en estudios más recientes como el de Dallos y García (2004), quienes hicieron un análisis multitemporal del uso del suelo en la ladera sur de la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas, con base en fotografías aéreas de los años 1946, 1959, 1973, 1975, 1987 y 1993.

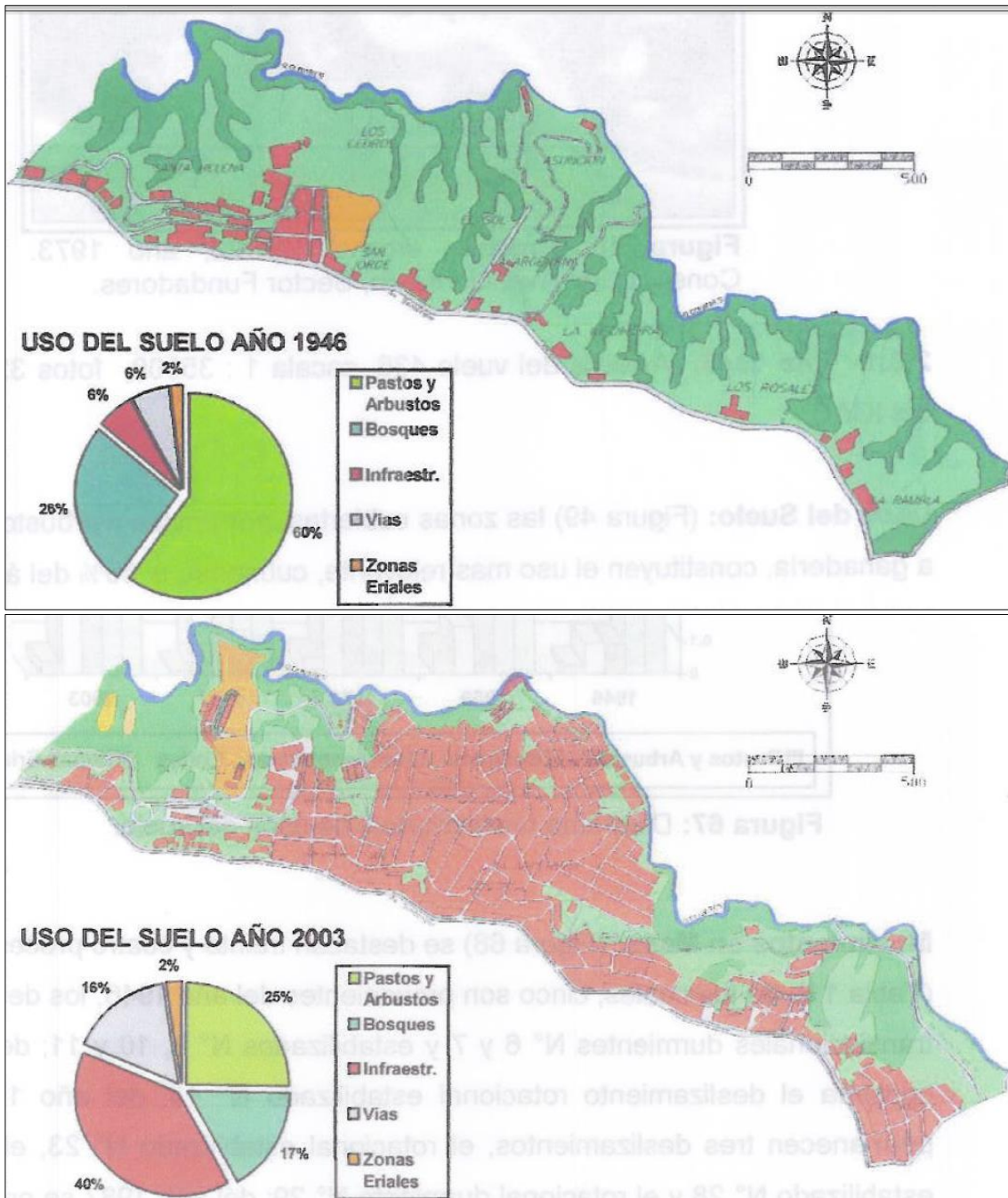
A partir de este análisis se encontró que la morfología de esta zona se ha venido modificando debido a la intervención antrópica en drenajes e interfluvios, para adecuar el terreno a proyectos urbanísticos. Del año 1946 al año 2003, el uso del suelo sufrió variaciones graduales en su porcentaje de área, las zonas cubiertas por pastos y arbustos disminuyeron del 69% al 25%, los bosques bajaron del 26% al 17% y las construcciones urbanas aumentaron del 12% al 56%. Ver Figura 35 en donde se pueden observar la cantidad de drenajes que existían antes de que se intensificara el proceso de urbanización de la zona, la Figura 36 ilustra el cambio del uso del suelo del año 1946 al año 2003 y el Gráfico 18 presenta un diagrama multitemporal de usos del suelo.

**Figura 35.** Ladera sur de la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas 1946, drenajes y erosión



Fuente: Dallos y García (2004)

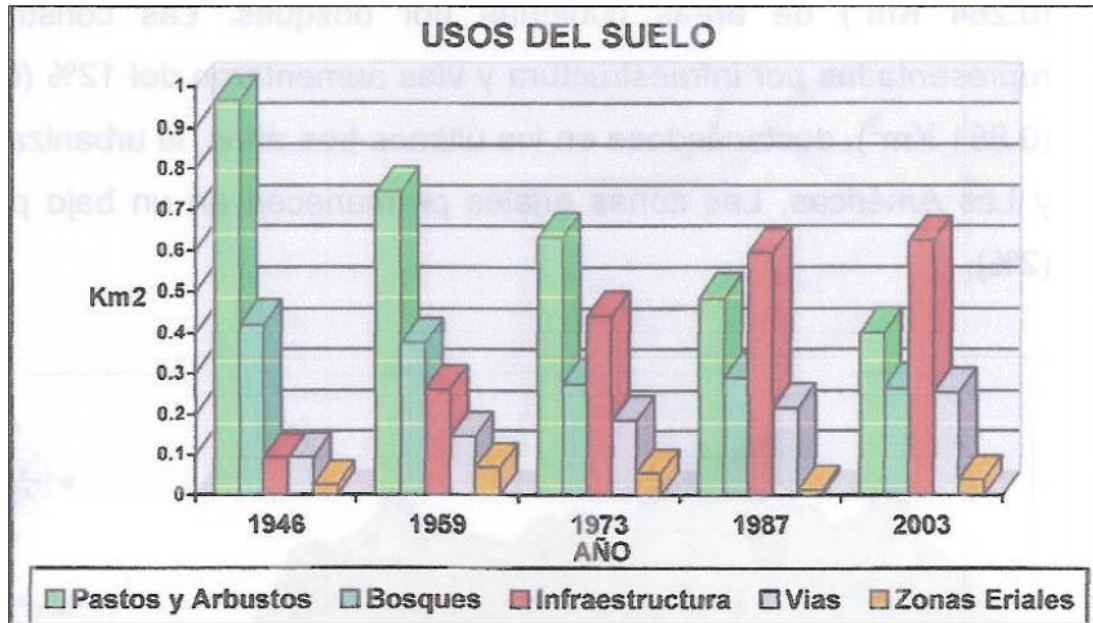
**Figura 36.** Comparativo uso del suelo ladera sur cuenca media Q. Olivares-Minitas, años 1946–2003



Fuente: Dallos y García (2004)



**Gráfico 18.** Diagrama multitemporal de usos del suelo, ladera sur cuenca media de la Q. Olivares-Minitas

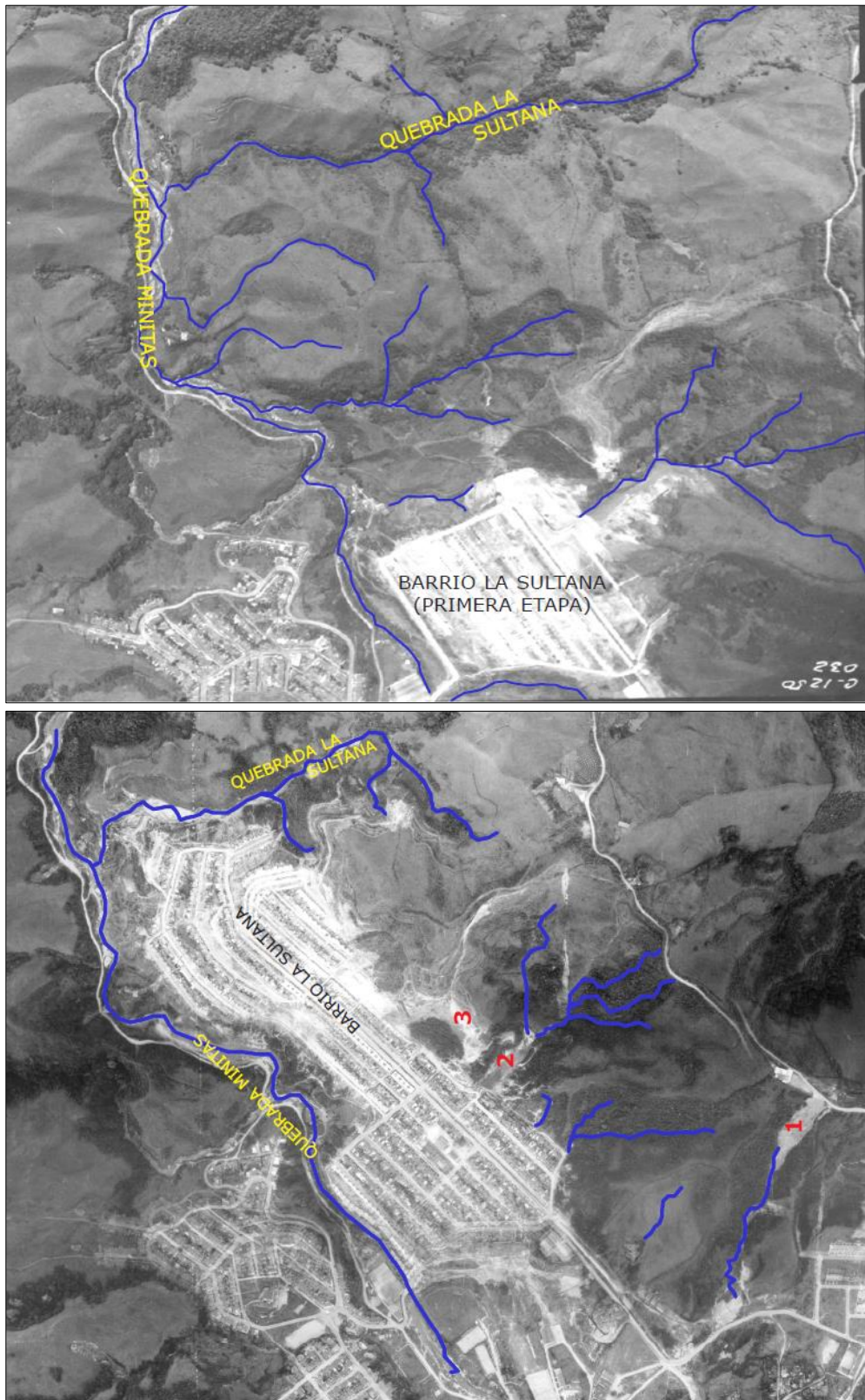


Fuente: Dallos y García (2004)

Por su parte, Aristizábal (2004) expone unas fotografías aéreas de 1963 y 1975 para el sector del Barrio La Sultana de Manizales, iniciando la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas, en donde es posible observar la evolución de la urbanización en este sector, los llenos que eliminaron diferentes cauces existentes y la ocupación urbana de la vertiente izquierda en esta parte de la cuenca. Ver Figura 37.

Asimismo, Gonzáles (2004) evidencia también mediante fotografías aéreas, el cambio en la cobertura y uso de la tierra no solo en el sector del Barrio La Sultana, sino también en los terrenos donde posteriormente se asentaron los Barrios Minitas y La Cumbre, es decir, la vertiente derecha de este inicio de la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas. Ver Figura 38.

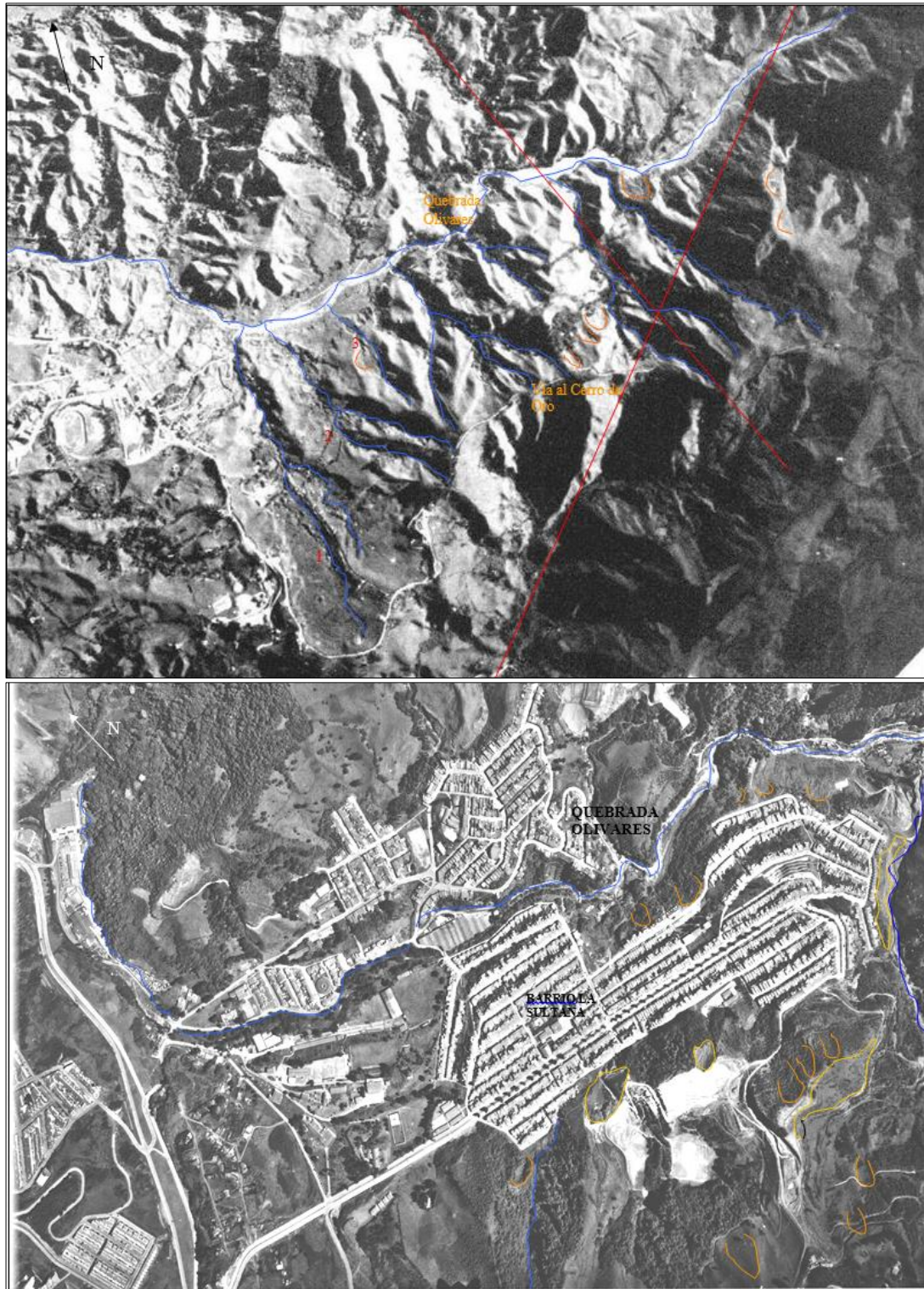
**Figura 37.** Comparativo de fotografías aéreas de 1963-1975, sector Barrio La Sultana



Fuente: Aristizábal (2004)



**Figura 38.** Comparativo fotografías aéreas de 1946-1993, antes y después de asentarse los Barrios La Sultana, Minitas y La Cumbre



Fuente: Gonzáles (2004)

Finalmente, la Figura 7 del presente Capítulo (ítem 3.1.2 Calidad del agua), permite observar en un mapa los usos de la tierra que actualmente se tienen en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas. Sin embargo, se intentará dar mayor detalle descriptivo a continuación, teniendo en cuenta la leyenda de la Metodología Corine Land Cover, adoptada por la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográficas.

### Cuenca Alta

Para el año 1995 se hablaba de la existencia de bosque natural en un 60%, con varios estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos, asimismo de pastos cultivados con un 25% del uso de la tierra y bosque plantado con un 15% (pinos y cipreses con fines comerciales); se presentaban también cultivos semestrales y de pancoger tales como frijol, maíz y hortalizas en pequeñas parcelas no cartografiables (Londoño, 1995). Información más reciente hace referencia a que se tiene uso agrícola, uso forestal protector-productor y sitios de extracción de material de arrastre (Alcaldía de Manizales, 2007).

CORPOCALDAS (2002) plantea que existen conflictos de uso del suelo en esta zona ya que se han establecido cultivos limpios como la papa y pastos que aceleran los procesos de erosión superficial, aportando una cantidad considerable de sólidos suspendidos al agua captada para el acueducto municipal. La Tabla 24, expone de manera descriptiva sobre los usos existentes en la actualidad para este tramo de la cuenca.

**Tabla 24.** Usos de la tierra en Cuenca alta Q. Olivares-Minitas

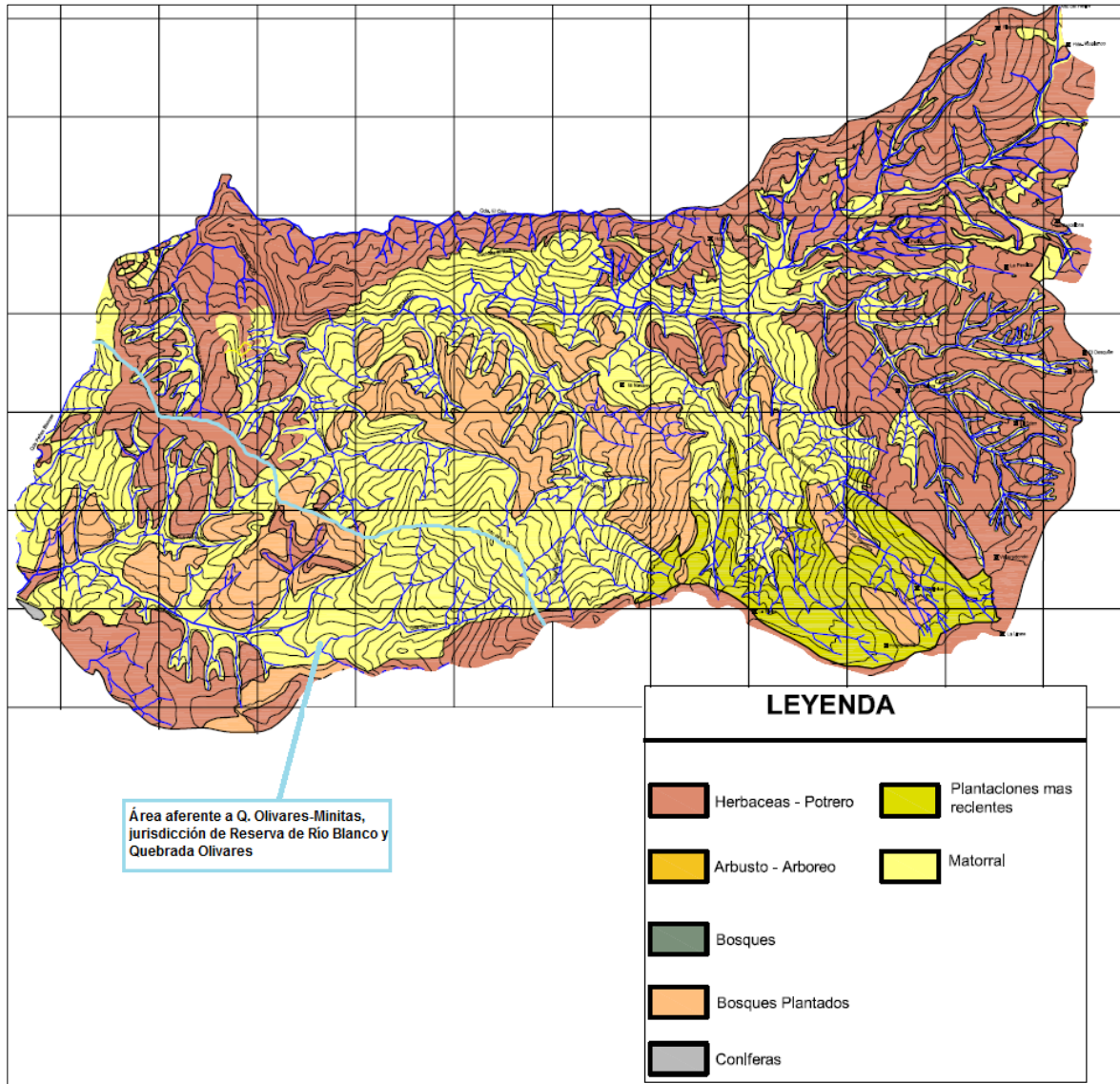
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Territorios artificializados	Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas de extracción minera	Explotación de materiales de construcción
Territorios agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	-
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	Se debe revisar el detalle	Se debe revisar el detalle
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Se debe revisar el detalle	Se debe revisar el detalle
Superficies de agua	Aguas continentales	Ríos*	-
		Cuerpos de agua artificiales	Embalses

\*Para el caso de la Q. Olivares-Minitas, se deberá ampliar la escala ya que el ancho del cauce no es mayor o igual a 50 m

*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria

La Figura 39 expone sobre el uso de la tierra en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas, se observa que predominan matorral, bosques plantados, herbáceas y potreros.

**Figura 39.** Uso de la tierra en Cuenca Alta Q. Olivares-Minitas, jurisdicción de Reserva de Río Blanco y Quebrada Olivares



Fuente: Osorio (2006)



### Cuenca Media

En la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas predomina el uso urbano de la tierra (Alcaldía de Manizales, 2007). En el ítem “Poblamiento de la cuenca” se detalló sobre los barrios y urbanizaciones asentadas. La Tabla 25 expone de manera descriptiva sobre los usos existentes en la actualidad para este tramo de la cuenca.

**Tabla 25.** Usos de la tierra en Cuenca Media Q. Olivares-Minitas

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Territorios artificializados	Zona urbanizada	Tejido urbano continuo	-
		Tejido urbano discontinuo	-
	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	Zonas industriales o comerciales	Zonas industriales
			Zonas comerciales
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Red vial y terrenos asociados	-
	Obras hidráulicas	-	-
	Zonas verdes artificializadas no agrícolas	Instalaciones recreativas	Parques urbanos
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas			
Territorios agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	-
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	Se debe revisar el detalle	Se debe revisar el detalle
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Se debe revisar el detalle	Se debe revisar el detalle
Superficies de agua	Aguas continentales	Ríos*	-
		Canales	-
*Para el caso de la Q. Olivares-Minitas, se deberá ampliar la escala ya que el ancho del cauce no es mayor o igual a 50 m			

*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria

### Cuenca Baja

En la cuenca baja de la Q. Olivares-Minitas se tiene aún uso de la tierra urbano, aunque predominan las áreas agrícolas, pecuarias y algunos relictos de bosque secundario (Alcaldía de Manizales, 2007).

La Tabla 26 expone de manera descriptiva sobre los usos existentes en la actualidad para este tramo de la cuenca.

**Tabla 26.** Usos de la tierra en cuenca baja Q. Olivares-Minitas

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Territorios artificializados	Zona urbanizada	Tejido urbano continuo	-
		Tejido urbano discontinuo	-
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Red vial y terrenos asociados	-
	Obras hidráulicas	-	-
	Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas verdes urbanas	Rellenos sanitarios
	Zonas verdes artificializadas no agrícolas	Instalaciones recreativas	Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas
Territorios agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	-
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	Se debe revisar el detalle	Se debe revisar el detalle
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Se debe revisar el detalle	Se debe revisar el detalle
Superficies de agua	Aguas continentales	Ríos*	-
		Canales	-
*Para el caso de la Q. Olivares-Minitas, se deberá ampliar la escala ya que el ancho del cauce no es mayor o igual a 50 m			

*Fuente:* Elaboración propia con base en información secundaria

### **3.4.4 Usos del agua y demandas previstas**

La oferta hídrica de la Q. Olivares-Minitas (con 84 L/s concesionados) y de otras corrientes que son conducidas a la Bocatoma Olivares (río Blanco, Q. Pinares, Q. La Guerra, Q. La Arenosa y Q. La Ye), es empleada para abastecer cerca del 35% del acueducto de la ciudad de Manizales, pasando por la Planta de Agua Potable Niza, primera construida en la ciudad (Aguas de Manizales S.A. E.S.P., s.f.; CORPOCALDAS, 2010).

CORPOCALDAS (2002) reporta igualmente que en el acueducto Buena Vista de la vereda El Zancudo perteneciente al Corregimiento Río Blanco o N° 7, se capta de la Q. La Arenosa, Olivares y otros nacimientos 1,5 L/s para abastecer 66 viviendas. Por su parte, CORPOCALDAS e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (2013a) reporta para este mismo acueducto un número de 86 usuarios, evidenciándose al parecer un incremento de estos.

Por otro lado desde la Alcaldía de Manizales, INFIMANIZALES y Aguas de Manizales S.A. E.S.P. se tiene el proyecto desde el año 2006, para aprovechar la infraestructura de prestación del servicio de agua potable para la ciudad de Manizales con fines de generación de 750 KW en promedio de energía hidroeléctrica, haciendo uso de las condiciones topográficas e hidráulicas de la conducción Río Blanco-Olivares y la caída que se tiene de 300 m; los estudios de factibilidad avanzada fueron realizados por GENSA S.A. E.S.P. (Alcaldía de Manizales e INFIMANIZALES, s.f.). Si bien no se conocen avances en ejecución de este proyecto, de ser llevado a cabo se le daría también un uso energético a la oferta hídrica de la Q. Olivares-Minitas, aunque se supone no se tomaría más caudal del ya concesionado por CORPOCALDAS, puesto que se aprovecharía la infraestructura de la represa existente.

En términos de uso industrial del agua se tiene la Central Lechera de Manizales S.A, Invermec S.A - (INCOLMA), Mabe Colombia S.A.S. y Frigocentro S.A., pero éstas no tienen concesión de aguas superficiales, sino que se abastecen directamente del acueducto administrado por Aguas de Manizales S.A. E.S.P., por lo que no demandan caudal adicional al ya concesionado para el acueducto de la ciudad.

En lo referente a agricultura y alimentación, el agua de la Q. Olivares-Minitas no es empleada para estos fines, ya que las actividades agropecuarias existentes en la cuenca no requieren de sistemas de riego; en cuanto al beneficio del café no se tiene información sobre censo de usuarios del recurso hídrico, por lo que no es posible tener conclusiones al respecto. En lo



relacionado con los caudales ecológicos necesarios para el sostenimiento de los ecosistemas en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, se han calculado caudales ambientales bajo diferentes métodos, tal como es posible observar en la Tabla 8 del ítem 3.1.1 “Régimen natural de caudales”, pero dichos cálculos no representan el régimen hidrológico natural, por lo que no se recomienda considerarlos como oferta de agua requerida para la conservación de los ecosistemas asociados.

Teniendo en cuenta lo anterior y la Tabla 27, se puede deducir que el uso del agua de la Q. Olivares-Minitas no sigue el patrón internacional, suramericano y/o colombiano de uso de los recursos hídricos superficiales, siendo el uso actual preponderante el de consumo humano.

**Tabla 27.** Comparativo de patrones de uso de recursos hídricos superficiales de mayor a menor demanda en diferentes niveles territoriales

Nivel internacional	Nivel suramericano	Nivel colombiano	Nivel Q. Olivares-Minitas
1. Alimentación y agricultura	1. Alimentación y agricultura	1. Alimentación y agricultura (incluye sector pecuario)	1. Asentamientos humanos
2. Energía	2. Asentamientos humanos	2. Energía	2. Industria
3. Industria	3. Industria	3. Asentamientos humanos	Ecosistemas*
4. Asentamientos humanos	Energía*	4. Industria	Energía**
Ecosistemas*	Ecosistemas*	Ecosistemas*	Alimentación y agricultura (incluye sector pecuario*** y beneficio del café)*

\* No se tienen datos estimados y/o sistematizados para concluir sobre consumos promedio.

\*\* Este uso del recurso hídrico de la Q. Olivares-Minitas apenas está en proyección.

\*\*\* Este uso no se le da actualmente al recurso hídrico de la Q. Olivares-Minitas.

### **3.4.5 Agentes sociales en la cuenca hidrográfica**

Después de 1886, los Colonizadores Cundinamarqueses y Boyacenses asentados en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas iniciaron con formas de trabajo de la tierra en “compañía”, donde se repartían las ganancias entre dueños y trabajadores, contribuyendo con ello en un primer momento a la transformación del uso de la tierra, en donde de bosques andinos muy húmedos y húmedos montanos bajos se pasó a la producción ganadera, cultivos de pan coger y se conservaron algunos relictos de bosque (CORPOCALDAS, 2010). Se asume que las demás zonas rurales establecidas en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas fueron pobladas por los Colonos Antioqueños, quienes tuvieron un mayor apogeo en los “nuevos territorios” de Manizales; en cuanto a las zonas urbanizadas de la cuenca, en el aparte “Poblamiento de la cuenca” del presente Capítulo, se habla sobre el tema.

Paralelamente, entre 1884 y 1888, se construyó el primer acueducto de la ciudad de Manizales, captando agua de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas (Instituto Caldense de Cultura y LA PATRIA, 1999), intercediendo en este caso la Administración Municipal. Hacia 1927 intervino además una Firma Consultora norteamericana, la Ulen & Co, con el fin de hacer adecuaciones en la infraestructura del acueducto; en 1940, nuevamente la Administración Municipal realizó más adecuaciones del sistema y construyó la primera planta de agua potable para la ciudad, la Planta Niza (CORPOCALDAS, 2010) que actualmente sigue en funcionamiento.

Para el año de 1962 se crearon las Empresas Públicas de Manizales mediante Acuerdo N° 004 de 1962 del Concejo de Manizales, como un establecimiento público autónomo del orden municipal que tenía entre otras funciones, la administración del acueducto y alcantarillado de la ciudad.

En el año 1990 el entonces INDERENA creó la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco y Quebrada Olivares mediante Acuerdo N° 0027 de julio del mismo año, comprendiendo una extensión superficial de 4.900 ha. Actualmente el Municipio de Manizales a través de INFIMANIZALES es propietario de más de 2.600 ha. en la reserva forestal y ha priorizado la compra de 800 hectáreas en la zona de recarga de Río Blanco. Las 2.075,48 ha. restantes son de propiedad privada, con un total de 22 predios.

En 1997, el Concejo Municipal mediante el Acuerdo No. 292 de agosto 6 de 1997, transformó a Empresas Públicas de Manizales en el Instituto de Financiamiento, Promoción y Desarrollo

de Manizales “INFIMANIZALES”, cambiando su razón social y sus objetivos, continuando como un establecimiento público del orden municipal adscrito a la Alcaldía de Manizales, con personería jurídica, autonomía administrativa y presupuestal, y patrimonio propio e independiente.

Dentro de las gestiones y acuerdos realizados por INFIMANIZALES está la firma de un convenio con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura–FAO para la ejecución del proyecto “Procuenca”. Este proyecto, administrado y apoyado técnicamente por la FAO, busca la consolidación en el largo plazo de un proceso forestal sustentable en la cuenca del río Chinchiná (incluyendo la cuenca de la Q. Olivares-Minitas), que permita mejorar la regularidad hídrica y la protección de su biodiversidad, generando una nueva vocación y alternativa económica para el sector rural como lo es el aprovechamiento de los productos forestales. Por su parte, Aguas de Manizales S.A. E.S.P. destina el 10% de la facturación bruta mensual al pago de la concesión del servicio de acueducto y alcantarillado a INFIMANIZALES, el cual destina, recursos en una proporción a la compra de predios, para la protección de cuencas y realizar inversiones en reforestación (CORPOCALDAS, 2010).

A continuación se presentan las matrices FODA en donde se identifican los diferentes agentes sociales existentes en la actualidad por parte del sector gubernamental (Tabla 28), sector privado (Tabla 29), instancias técnico-científicas (Tabla 30) y sociedad civil organizada (Tabla 31), así como las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas respecto a la restauración y/o conservación de la Q. Olivares-Minitas.

**Tabla 28.** Matriz FODA Agentes Sociales, Sector Gubernamental

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>1 Alcaldía Municipal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propietaria de un 53% de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares (cuena alta de la Q. Olivares-Minitas).</li> <li>• Reserva de Río Blanco y Q. Olivares como parte de la estructura ecológica principal del municipio.</li> <li>• Ecoparque Los Yarumos como parte de la estructura ecológica principal del municipio.</li> <li>• Parque Municipal Regional Monteleón como parte de la estructura ecológica principal del municipio.</li> <li>• Proyecto Parque Olivares en ladera sur de la cuena baja de la Q. Olivares-Minitas, para contribuir a la recuperación y conservación de esta zona.</li> </ul>	<p>Proposición a través de Planes de Desarrollo Municipal y Plan de Ordenamiento Territorial, de corredor biológico a lo largo de la Q. Olivares-Minitas y sus franjas riparias restauradas y conservadas.</p> <p>Sostenibilidad del modelo de Bio-Ciudad.</p> <p>Re-ubicar asentamientos existentes sobre las rondas hídricas de la Q. Olivares-Minitas.</p> <p>Ejecutar obras de bio-ingeniería para equilibrar el aporte de sedimentos al cauce de la Q. Olivares-Minitas.</p> <p>Regular la explotación de material de arrastre en la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Carencia de ejercicio de autoridad municipal en el ordenamiento territorial, para no afectar áreas catalogadas como de preservación estricta y regular actividades de alto impacto.</p> <p>Ausencia de comprensión conceptual sobre los bienes y servicios ambientales que provee una corriente hídrica restaurada y conservada.</p> <p>Ser dueño de únicamente la mitad del área de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares.</p>	<p>Falta de recursos y/o gestión de estos para la formulación adecuada y ejecución de proyectos de recuperación de corrientes hídricas.</p> <p>Conservación de prácticas obsoletas de ingeniería que constriñen el cauce de la Q. Olivares-Minitas y/o afectan la conectividad hidrológica y el aporte natural de sedimentos.</p> <p>No poder adquirir más predios dentro de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares o en su defecto, no poder hacer acuerdos de manejo sostenible en cuanto a los diferentes sistemas productivos existentes.</p>
<b>2 InfiManizales</b>	<p>Proyecto PROCUENCA FAO, reforestación de cuena alta con sistemas protectores-productores.</p> <p>Adquisición de tierras al interior de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares (cuena alta de la Q. Olivares-Minitas) y administración.</p>	<p>Prestación de servicios financieros y administrativos para la restauración, conservación y uso sostenible de la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Tener injerencia directa únicamente en la mitad del área de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares.</p> <p>No tener porcentajes de avance favorables según la Contraloría de Manizales, en lo referente al proyecto PROCUENCA.</p>	<p>No poder adquirir más predios dentro de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares o en su defecto, no poder hacer acuerdos de manejo sostenible en cuanto a los diferentes sistemas productivos existentes.</p> <p>No poder acceder recursos para darle continuidad y sostenibilidad al proyecto PROCUENCA.</p> <p>No obtener los resultados esperados en el marco del proyecto PROCUENCA.</p>

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>3 ICA</b>	Acciones de investigación en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.	Ejecución de acciones de investigación en la cuenca alta y baja de la Q. Olivares-Minitas (zona rural), para generar sistemas productivos sostenibles y de menor impacto hacia los recursos hídricos superficiales.	No tener delegación y/o participación en una instancia administrativa y/o asesora del manejo de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la promoción e investigación de sistemas productivos coherentes con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales.
<b>4 CORPOCALDAS</b>	<p>Autoridad Ambiental, reguladora de concesiones y permisos de vertimiento sobre la Q. Olivares-Minitas.</p> <p>Autoridad Ambiental que participó de elaboración del Plan de Manejo de La Reserva de Río Blanco y Q. Olivares.</p> <p>Seguimiento y apoyo financiero al Plan de Manejo y Saneamiento de Vertimientos de la ciudad de Manizales, en lo relacionado con el distrito norte y la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.</p> <p>Proyecto de rehabilitación de la Q. Olivares-Minitas y Q. El Guamo en el marco del POMCA del río Chinchiná.</p>	<p>Autoridad Ambiental que tiene la potestad de formular el Plan de Manejo Ambiental de Microcuenca de la Q. Olivares-Minitas, en coherencia con el POMCA del río Chinchiná y PORH del río Guacaica, recién formulados.</p> <p>Autoridad Ambiental que tiene la potestad de calcular las rondas hídricas de la Q. Olivares-Minitas y hacer que estas se recuperen y conserven.</p> <p>Regular la explotación de material de arrastre en la Q. Olivares-Minitas.</p> <p>Ejecutar obras de bio-ingeniería para equilibrar el aporte de sedimentos al cauce de la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>No tener un censo de usuarios del recurso hídrico de la Q. Olivares-Minitas que le permita tener mayor control sobre concesiones y vertimientos en el área rural.</p> <p>No hay participación clara en la estrategia financiera del Plan de Manejo de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares y el POMCA del río Chinchiná.</p> <p>No tener calculados los regímenes hidrológicos de la Q. Olivares-Minitas, que le permitan ordenar el recurso hídrico en cantidad.</p> <p>El no establecimiento de objetivos de calidad para la Q. Olivares-Minitas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tener demoras en la formulación del Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca de la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>• No establecer un cronograma y recursos para ejecución del proyecto de rehabilitación de la Q. Olivares-Minitas en el marco del POMCA del río Chinchiná.</li> <li>• No exigir y facilitar la recuperación y protección de las rondas hídricas de la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>• No contribuir a la regulación de la explotación de material de arrastre en la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>• Conservación de prácticas obsoletas de ingeniería que constriñen el cauce de la Q. Olivares-Minitas y/o afectan la conectividad hidrológica y el aporte natural de sedimentos.</li> </ul>

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>5 INCODER</b>	No se conocen.	Facilitar el acceso a los pobladores rurales de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas de los factores productivos y sociales, en armonía con la restauración y conservación de los recursos hídricos superficiales.	No tener delegación y/o participación en una instancia administrativa y/o asesora del manejo de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual del desarrollo rural, en coherencia con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales.
<b>6 Corpoica</b>	Apoyo a la conservación de la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas.	Ejecución de acciones de investigación en la cuenca alta y baja de la Q. Olivares-Minitas (zona rural), para generar sistemas productivos sostenibles y de menor impacto hacia los recursos hídricos superficiales.	No tener delegación y/o participación en una instancia administrativa y/o asesora del manejo de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la promoción e investigación de sistemas productivos coherentes con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales.
<b>7 Aguas de Manizales S.A. E.S.P.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educación ambiental en la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares.</li> <li>• Administración del acueducto de la ciudad de Manizales (Bocatoma Olivares y Planta de Agua Potable Niza).</li> <li>• Control de los vertimientos industriales realizados al alcantarillado del distrito norte de la ciudad de Manizales, el cual descola a la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>• Ejecución del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de la ciudad de Manizales, infraestructura relacionada con el distrito norte que descola a la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>• Programa “Guardianes del Agua” (educación ambiental), dirigido a estudiantes de primaria y secundaria de Manizales que presten servicio social.</li> </ul>	<p>Saneamiento a largo plazo de la Q. Olivares-Minitas.</p> <p>Apoyo a CORPOCALDAS en el ejercicio de control de vertimientos industriales realizados al alcantarillado que descola a la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>No acatamiento por parte de los industriales que vierten al alcantarillado, de los requisitos exigidos por la Empresa de Servicios Públicos para el control de vertimientos y calidad del agua en la Q. Olivares-Minitas.</p> <p>Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos-PSMV de la ciudad de Manizales con STAR proyectado al largo plazo, lo que no permitirá ver en el corto y mediano plazo el real saneamiento de la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Dificultades para la gestión de recursos necesarios para la construcción del STAR de la ciudad de Manizales en el marco del PSMV.</p> <p>Implementación de proyecto hidroeléctrico aprovechando la infraestructura de la Represa Olivares, con los consecuentes impactos ambientales que se pueden derivar.</p> <p>Instalaciones ocupando la ronda hídrica de la Q. Olivares-Minitas.</p>

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>8 Personería Municipal</b>	No se conocen.	Veeduría y control sobre las problemáticas ambientales de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas, que puedan incidir en el deterioro de la calidad de vida de los ciudadanos.	No hay un programa establecido y de sensibilización para la resolución de conflictos socio-ambientales.	Los ciudadanos no ven a la Personería como facilitadora en la resolución de conflictos socio-ambientales.
<b>9 Contraloría Municipal</b>	No se conocen.	Ejercicio de control sobre los recursos naturales y del medio ambiente de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.	El Informe Anual sobre Recursos Naturales y del Medio Ambiente, no tiene un aparte específico para las acciones ejecutadas en pro de la restauración y protección de las cuencas hidrográficas y corrientes hídricas. Solo se le da énfasis a los proyectos ya establecidos, que la mayoría de las veces no contemplan la totalidad de la cuenca o corriente.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que le permita direccionar las acciones de seguimiento y control en este campo.
<b>10 Concejo Municipal</b>	No se conocen.	Autorización, adopción y reglamentación de procesos que contribuyan a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Incoherencia de procesos municipales autorizados, adoptados y reglamentados, con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales. Ejemplo: POT.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que le permita direccionar el ejercicio de las funciones municipales.
<b>11 Asociación de JAC's</b>	No se conocen.	Veeduría y manejo en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas desde lo local.	Desconocimiento de las acciones realizadas por las JAC's en pro de la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que le permita direccionar el ejercicio de las funciones asignadas.

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>12 EMAS S.A. E.S.P. Relleno Sanitario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buenas prácticas ambientales y ejecución de actividades reguladas.</li> <li>Manejo más sostenible de los residuos sólidos de la ciudad, que antiguamente se desechaban sobre la Q. Olivares-Minitas.</li> <li>Mejora continua del STAR de lixiviados.</li> </ul>	Ejecución de actividades de educación ambiental, en pro del adecuado manejo de los residuos sólidos y la no disposición de estos sobre cuerpos de agua.	<p>Falta de consolidación de un programa de reciclaje de residuos sólidos.</p> <p>Contaminación de afluente de la Q. Olivares-Minitas (Q. Aguas Frías) con los lixiviados y demás vertimientos del Relleno Sanitario.</p>	Aumento de la capacidad del relleno y con esto del volumen de lixiviados generados.

**Tabla 29.** Matriz FODA Agentes Sociales, Sector Privado

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>1 Central Lechera de Manizales S.A.</b>	Proyecto de implementación de STAR para disminuir contaminación aportada a la Q. Olivares-Minitas a través del alcantarillado del Distrito Sanitario Norte de la ciudad de Manizales.	<p>Exigencias realizadas a la industria desde el programa de Tasa Retributiva de CORPOCADAS y a través de Aguas de Manizales S.A. E.S.P., para el tratamiento de sus vertimientos.</p> <p>Expedición de normativa nacional sobre vertimientos más exigente que la actual (Decreto 1594/84).</p>	No tenencia de STAR, por lo que las cargas contaminantes aportadas a la Q. Olivares-Minitas a través del alcantarillado son significativas.	Aguas de Manizales S.A. E.S.P. no ejerce el control sobre los vertimientos generados por esta industria al alcantarillado.
<b>2 Invermec S.A - (INCOLMA)</b>	La CC aportada a la Q. Olivares-Minitas a través del alcantarillado no es tan significativa como las de las CELEMA y FRIGOCENTRO.	Expedición de normativa nacional sobre vertimientos más exigente que la actual (Decreto 1594/84), lo que permitirá realizar el control a través del Permiso de Vertimientos.	No son usuarios de Tasa Retributiva y no son objeto de control de CORPOCALDAS a través del permiso de vertimientos.	<p>Desconocimiento de las CC aportadas a la Q. Olivares-Minitas a través del alcantarillado.</p> <p>Parámetros de calidad del agua de interés para estas industrias que aún no están reglamentados por la normatividad colombiana.</p>



AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>3 Mabe Colombia S.A.S.</b>	La CC aportada a la Q. Olivares-Minitas a través del alcantarillado no es tan significativa como las de las CELEMA y FRIGOCENTRO.	Expedición de normativa nacional sobre vertimientos más exigente que la actual (Decreto 1594/84), lo que permitirá realizar el control a través del Permiso de Vertimientos.	No son usuarios de Tasa Retributiva y no son objeto de control de CORPOCALDAS a través del permiso de vertimientos.	Desconocimiento de las CC aportadas a la Q. Olivares-Minitas a través del alcantarillado.  Parámetros de calidad del agua de interés para estas industrias que aún no están reglamentados por la normatividad colombiana.
<b>4 Frigocentro S.A.</b>	Cuenta con STAR implementado con eficiencias que dan cumplimiento a la normativa de vertimientos vigente.	Exigencias realizadas a la industria desde el programa de Tasa Retributiva de CORPOCADAS y a través de Aguas de Manizales S.A. E.S.P., para el tratamiento de sus vertimientos.  Expedición de normativa nacional sobre vertimientos más exigente que la actual (Decreto 1594/84).	Las CC aportadas por esta industria son altas, pese al STAR implementado.	Aguas de Manizales S.A. E.S.P. no ejerce el control sobre los vertimientos generados por esta industria al alcantarillado.  Instalaciones cercanas a la ronda hídrica de la Q. Olivares-Minitas.

**Tabla 30.** Matriz FODA Agentes Sociales, Instancias Técnico-Científicas

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>1 Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales</b>	<p>Acciones de investigación en la cuenca y corriente hídrica.</p> <p>Apoyo técnico para formulación del POMCA del río Chinchiná y PORH del río Guacaica, de influencia en la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Generar más investigación en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas desde la Ingeniería Civil, la Ingeniería Química, la Arquitectura y la Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo.</p> <p>Proporcionar insumos conceptuales sobre restauración de ríos y valoración ambiental de corrientes hídricas.</p> <p>Apoyo técnico para formulación de proyecto de rehabilitación de la Q. Olivares-Minitas y Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca de la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Falta de coherencia entre prácticas tradicionales y obsoletas de ingeniería, usualmente promovidas, con las nuevas demandas en el marco de la restauración y conservación de las corrientes hídricas y sistemas fluviales.</p> <p>Carencia de líneas de investigación en geomorfología fluvial.</p>	No se conocen.
<b>2 Universidad de Caldas</b>	<p>Acciones de investigación en la cuenca y corriente hídrica.</p> <p>Apoyo técnico para formulación del POMCA del río Chinchiná y PORH del río Guacaica, de influencia en la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Generar más investigación en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas desde la Biología, la Geología y la Agronomía.</p> <p>Apoyo técnico para formulación de proyecto de rehabilitación de la Q. Olivares-Minitas y Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca de la Q. Olivares-Minitas.</p>	<p>Carencia de líneas de investigación en geomorfología fluvial, ecosistemas de agua dulce y restauración de franjas riparias.</p>	No se conocen.
<b>3 Universidad Católica de Manizales</b>	<p>Acciones de investigación en la cuenca y corriente hídrica.</p>	<p>Generar más investigación en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas desde la Ingeniería Ambiental, la Bacteriología y la Especialización en Prevención, Atención y Reducción de Desastres.</p>	<p>Carencia de vínculos con la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, para unificar criterios en cuanto a restauración de ríos y valoración ambiental de corrientes hídricas.</p>	No se conocen.

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>4 Universidad de Manizales</b>	No se conocen.	Generar más investigación en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas desde los posgrados en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.	Carencia de vínculos con la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, para unificar criterios en cuanto a restauración de ríos y valoración ambiental de corrientes hídricas.	No se conocen.
<b>5 Universidad Autónoma de Manizales</b>	No se conocen.	Generar más investigación en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas desde la Maestría en Desarrollo Regional y Planificación del Territorio.	Carencia de vínculos con la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, para unificar criterios en cuanto a restauración de ríos y valoración ambiental de corrientes hídricas.	No se conocen.
<b>6 DANE</b>	Aporte de información poblacional para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.	Aportar información poblacional para la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.	No se cuenta con información a nivel de detalle de las veredas asentadas en la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.	Falta de recursos para obtener información poblacional de mayor detalle en los CENSOS Nacionales.
<b>7 CENICAFÉ</b>	Apoyo a la conservación de la cuenca alta.  Acciones de investigación en la cuenca alta.	Apoyo a la conservación de la cuenca baja.  Acciones de investigación en la cuenca baja.  Apoyo a la implementación de sistemas productivos de caficultura de menor impacto sobre las cuencas hidrográficas y las corrientes superficiales.	Carencia de investigación sobre reales remociones de CC logradas con el beneficio ecológico del café.  Carencia de reporte de información a CORPOCALDAS sobre prácticas ambientales implementadas.  Carencia de establecimiento de cafetales con sombrío, para propender por la conservación ambiental.	No adoptar un modelo conceptual de manejo de la caficultura, acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales.

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>8 Agroforestal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo a la conservación de la cuenca alta.</li> <li>• Acciones educativas en la cuenca alta.</li> <li>• Acciones de investigación en la cuenca alta.</li> </ul>	Apoyo en procesos de reforestación en la cuenca y restauración de las franjas riparias.	Desconocimiento de las demás actividades realizadas por la ONG.	No se conocen.
<b>9 Instituto Alexander Von Humbolt</b>	Proyecto ANDES, proposición de objetos de conservación biológica para la cuenca alta (Reserva de Río Blanco y Q. Olivares).	<p>Proporcionar insumos conceptuales sobre restauración de ríos y ecosistemas fluviales.</p> <p>Financiación de proyectos de restauración de ríos y ecosistemas fluviales.</p>	Carencia de vínculos entre la región y este Instituto de Investigación.	No lograr acceder a recursos o participación en proyectos de restauración de ríos y ecosistemas acuáticos continentales.

**Tabla 31.** Matriz FODA Agentes Sociales, Sociedad Civil Organizada

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>1 Asociación OACIS</b>	Identificación en el marco del Plan de Manejo de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares.	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direccionen el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.
<b>2 Corporación Cívica de Caldas</b>	Identificación en el marco del Plan de Manejo de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares.	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direccionen el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<b>3 Asociación Amigos del Jardín Botánico</b>	<p>Apoyo a la conservación de la cuenca alta.</p> <p>Acciones educativas en la cuenca alta.</p>	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direcciona el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.
<b>4 Red de Reservas de La Sociedad Civil</b>	Identificación en el marco del Plan de Manejo de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares.	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direcciona el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.
<b>5 Fundación Cerro Bravo</b>	<p>Apoyo a la conservación de la cuenca alta.</p> <p>Acciones educativas en la cuenca alta.</p> <p>Acciones de investigación en la cuenca alta.</p>	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direcciona el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.
<b>6 Fundación PANGEA</b>	<p>Competencia en lo ambiental para manejo de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares (cuenca alta Q. Olivares-Minitas).</p> <p>Acciones educativas en la cuenca alta.</p>	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direcciona el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.

AGENTE SOCIAL	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
7 <b>Fundación Gabriel Arango Restrepo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencia en lo ambiental para manejo de la Reserva de Río Blanco y Q. Olivares (cuenca alta Q. Olivares-Minitas).</li> <li>• Apoyo a la conservación de la cuenca alta.</li> <li>• Acciones educativas en la cuenca alta.</li> <li>• Acciones de investigación en la cuenca alta.</li> <li>• Promoción del Ecoturismo en la cuenca alta.</li> <li>• Financiación de proyectos en la cuenca alta.</li> </ul>	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direccionen el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.
8 <b>Fundación Ecológica Cafetera (Comité de Cafeteros)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo a la conservación de la cuenca alta.</li> <li>• Acciones educativas en la cuenca alta.</li> <li>• Financiación de proyectos en la cuenca alta.</li> </ul>	Vincular sociedad civil organizada a procesos de restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	Desconocimiento de las actividades realizadas por la ONG y que pueden contribuir a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas.	No adoptar un modelo conceptual acorde con la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas y las corrientes hídricas superficiales, que direccionen el ejercicio de las actividades realizadas por las ONG.

## CAPÍTULO III. Estudios y acciones requeridas para la restauración fluvial de la Q. Olivares-Minitas

### 4.1 Condiciones hidrológicas

La Tabla 32 describe los estudios propuestos a efectuar para completar la valoración de las condiciones hidrológicas de la Q. Olivares-Minitas. La Tabla 33 expone las acciones básicas propuestas para la restauración fluvial de la corriente, enmarcadas dentro de las funciones de la Autoridad Ambiental, en este caso, CORPOCALDAS.

**Tabla 32.** Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones hidrológicas

Criterio	Estudio Propuesto
Régimen de caudales naturales	Modelación lluvia-escorrentía, de ser posible de tipo distribuida y que arroje series de caudales a resolución diaria. Completar las series de caudales con series sintéticas hasta lograr mínimo 15 años.
	Obtener el régimen de caudales naturales a partir de las aplicaciones informáticas IHA o IAHRIS y Analizar la pertinencia de las concesiones de agua superficial otorgadas, a la luz del régimen de caudales naturales obtenido y escenarios de cambio climático.
Calidad del agua	Identificar fuentes puntuales y difusas de contaminación en el área rural de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.
	Modelación de la contaminación difusa aportada determinando cargas per cápita contaminantes de materia orgánica, sólidos y nutrientes, por área de suelo en determinado uso: urbano, agrícola, pecuario y forestal. Obtenida esta información actualizar la modelación QUAL2K ya realizada para la Q. Olivares-Minitas.
Conectividad hidrológica	Ajustar los criterios de obtención del Índice Hidrogeomorfológico-IHG (Ollero, et. al, 2007; Ollero, et. al, 2008; Ollero, 2009), con el fin de valorar cualitativamente las obstrucciones de la conectividad hidrológica tanto a nivel longitudinal, transversal y vertical de la corriente.
	Geo referenciar el inventario realizado para cuenca alta y media de la quebrada de las estructuras y ocupaciones que obstaculizan la conectividad hidrológica. Complementar el inventario con las obras existentes en la cuenca baja. Alimentar el IHG con la información obtenida.
	Calcular las rondas hídricas de acuerdo con la metodología establecida por el MAVDT y la U.N. de Colombia Sede Medellín y/o la metodología vigente y adoptada oficialmente; esto permitirá evidenciar la dimensión transversal que se debe respetar para la movilidad natural de caudales líquidos y sólidos.

**Tabla 33.** Acciones básicas para la restauración de las Condiciones hidrológicas

<b>Criterio/Plazo</b>	<b>Corto Plazo (Año 1)</b>	<b>Mediano Plazo (Año 4)</b>	<b>Largo Plazo (Año 8 en adelante)</b>
<b>Régimen de caudales naturales</b>	Realizar censo de usuarios del recurso hídrico en la Q. Olivares-Minitas.	Realizar reglamentación u ordenación del recurso hídrico en cuanto a cantidad de agua, de acuerdo con los regímenes hidrológicos y caudales ambientales establecidos.	
<b>Calidad del agua</b>	Consolidar la base de datos de permisos de vertimientos otorgados en la Q. Olivares-Minitas.	Realizar seguimiento y control a los permisos de vertimientos otorgados, en el marco de los objetivos de calidad aplicables.  Ejecutar el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.	Ejecutar el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.  Construir e iniciar operación del STAR de la ciudad de Manizales.
<b>Conectividad hidrológica</b>	Adoptar metodología de determinación de rondas hídricas.	Determinar las rondas hídricas para la Q. Olivares-Minitas, las ocupaciones de estas y las ocupaciones del cauce natural en su dimensión vertical y longitudinal.  Definir acciones de recuperación y restauración de la conectividad hidrológica natural del cauce.	Comenzar a implementar las acciones de recuperación y restauración de la conectividad hidrológica natural del cauce, previamente definidas.



## *Conclusiones y recomendaciones para las condiciones hidrológicas*

- Dada la inexistencia de mediciones representativas de caudales para evaluar el régimen hidrológico natural en la Q. Olivares-Minitas, se recomienda implementar mediciones de caudal por lo menos a resolución diaria en la cuenca alta (Bocatoma) y de niveles en la cuenca baja.
- Pese a algunos vacíos de información, se considera que la información secundaria sobre calidad del agua de la Q. Olivares-Minitas es provechosa para concluir sobre el tema. En la cuenca alta se visualiza bajo grado de alteración, en la cuenca media se evidencia baja calidad debido a las descargas de la zona urbana, en la cuenca baja se alcanzan a tener ciertos grados de recuperación dado el encañonamiento, incremento de las pendientes, disminución de fuentes de contaminación y el consecuente proceso de oxigenación.
- Respecto a conectividad hidrológica se tiene un inventario de obras para cuenca alta y media de la Q. Olivares-Minitas, por lo que es necesario realizarlo para cuenca baja y así poder concluir sobre toda la corriente hídrica. Del mismo modo, se debe revisar con mayor detalle la conectividad hidrológica vertical para poder deducir sobre el sistema fluvial completo. Lo anterior, basándose en el Índice Hidrogeomorfológico-IHG recomendado.

## 4.2 Condiciones geomorfológicas

La Tabla 34 describe los estudios propuestos a efectuar para completar la valoración de las condiciones geomorfológicas de la Q. Olivares-Minitas. La Tabla 35 expone las acciones básicas propuestas para la restauración fluvial de la corriente, enmarcadas dentro de las funciones de la Autoridad Ambiental, en este caso, CORPOCALDAS.

**Tabla 34.** Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones geomorfológicas

Criterio	Estudio Propuesto
Parámetros geomorfológicos de la cuenca drenante	<p>Complementar los parámetros geomorfológicos de la microcuenca con los siguientes: Perfil altimétrico del cauce, Histograma de frecuencias altimétricas e Índice topográfico, así completar el análisis respectivo. Esto permitirá dimensionar el tamaño y complejidad de la cuenca hidrográfica.</p> <p>Obtener longitud del cauce en cuenca alta, media y baja y las correspondientes áreas aferentes. Esto permitirá dimensionar el tamaño y complejidad de la cuenca hidrográfica.</p> <p>Obtener el tiempo de concentración mediante la metodología más acorde a la realidad del caso de estudio, con el fin de tener un valor que no tenga límites mínimo y máximo tan distantes.</p>
Historia geológica y tendencias	<p>Obtener mediante actividades de campo y de gabinete la información faltante sobre la geología local de la cuenca, principalmente de cuenca baja. Apoyarse en tesis de pregrado y posgrado del Programa de Geología de la Universidad de Caldas.</p> <p>Realizar un análisis detallado de la información de geología existente empleando criterios de expertos en el tema.</p>
Balance de sedimentos cuenca-cauce	<p>Completar y actualizar la identificación de áreas fuente de sedimento, transporte y depositación en la cuenca, con fines de elaboración del balance preliminar de sedimentos a manera de diagrama.</p> <p>Estimar tasas de erosión y de extracción de materiales pétreos. Esto alimentará el balance de sedimentos.</p> <p>Realizar jornadas de medición de sedimentos. Esto alimentará el balance de sedimentos.</p>
Clasificación geomorfológica del cauce	<p>Obtener la clasificación geomorfológica del cauce según Metodología Rosgen (Sánchez y Ollero, 2003) y Clasificación Geomorfológica de Cursos Fluviales a partir de Sistemas de Información Geográfica-S.I.G (Horacio y Ollero, 2011). Realizar análisis comparativos de ambas metodologías.</p>

**Tabla 35.** Acciones básicas para la restauración de las condiciones geomorfológicas

Criterio/Plazo	Corto Plazo (Año 1)	Mediano Plazo (Año 4)	Largo Plazo (Año 8 en adelante)
<b>Balance de sedimentos cuenca-cauce</b>	<p>Priorizar áreas fuente de sedimentos (áreas erosionadas) a restaurar y proteger.</p> <p>Realizar inventario minero de extracción de materiales pétreos.</p>	<p>Proteger las áreas erosionadas de la cuenca.</p> <p>Evaluar alternativas ocupacionales y/o tasas máximas de extracción de materiales pétreos.</p>	<p>Protección de las áreas erosionadas de la cuenca.</p> <p>Implementar reglamentación de tasas de extracción de materiales pétreos y/o cambio de ocupación de mineros mediante programas como Guardianes de la Ladera y/o del Agua. Este último no enfocado en la educación ambiental sino en la descontaminación de la corriente por residuos sólidos.</p>

### *Conclusiones y recomendaciones para las condiciones geomorfológicas*

- Los parámetros geomorfológicos sobre los que se tiene información en la Q. Olivares-Minitas permiten comparaciones con otras cuencas, aunque es importante obtener el perfil altimétrico del cauce, el histograma de frecuencias altimétricas, el índice topográfico y las longitudes del cauce para cuenca alta, media y baja con el fin de complementar el análisis.
- Respecto a geología y tendencias, se debe emprender para la Q. Olivares-Minitas un análisis detallado de la información y estudios existente que aporten al conocimiento sobre la cuenca baja de la quebrada.
- Aunque con la información existente sobre áreas fuente de sedimentos y procesos de extracción y socavación en el cauce un experto en el tema podría realizar un balance cualitativo de sedimentos, es importante emprender estudios de medición de sedimentos en el cauce y estimación de tasas de erosión para completar cuantitativamente el balance.

- Con la información existente, el apoyo con SIG y la observación en campo, se puede realizar una clasificación geomorfológica del cauce de la Q. Olivares-Minitas que permita fines comparativos.

### 4.3 Condiciones ecosistémicas

La Tabla 36 describe los estudios propuestos a efectuar para completar la valoración de las condiciones ecosistémicas de la Q. Olivares-Minitas. La Tabla 37 expone las acciones básicas propuestas para la restauración fluvial de la corriente, enmarcadas dentro de las funciones de la Autoridad Ambiental, en este caso, CORPOCALDAS.

**Tabla 36.** Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones ecosistémicas

Criterio	Estudio Propuesto
Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia	Estimación mediante SIG y validación con actividades de campo, de las áreas de franjas riparias a restaurar, de acuerdo con las rondas hídricas previamente determinadas y la medición del grado de cobertura ribereña existente. Igualmente, se debe estimar la continuidad longitudinal de la vegetación riparia e identificar las prioridades de restauración.
Dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña	Evaluar la dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña mediante levantamiento de información primaria (parcelas de muestreo representativas de cuenca alta, media y baja) y posterior análisis. Esto es importante ya que no se tiene información para las franjas riparias, sino solamente de algunas áreas protegidas presentes en la cuenca. Realizar cálculos de diversidad y riqueza de especies.
Especies biológicas de importancia en la cuenca y ecosistema fluvial	En el marco del establecimiento de las parcelas de muestreo para evaluar la dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña, observar la fauna y/o rastros de esta. Posteriormente realizar los análisis respectivos de clasificación según categoría de amenaza, especies nativas, especies de importancia ecológica, económica y/o cultural y especies foráneas.

**Tabla 37.** Acciones básicas para la restauración de las condiciones ecosistémicas

Criterio/Plazo	Corto Plazo (Año 1)	Mediano Plazo (Año 4)	Largo Plazo (Año 8 en adelante)
Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia	Delimitar rondas hídricas y franjas riparias a restaurar y/o conservar.	De acuerdo con la evaluación de la dinámica de sucesión vegetal, estructura y composición de la vegetación ribereña, determinar especies a emplear para la	Implementar las actividades de restauración y conservación de las franjas riparias de la quebrada.

Criterio/Plazo	Corto Plazo (Año 1)	Mediano Plazo (Año 4)	Largo Plazo (Año 8 en adelante)
Dimensión espacial del corredor de vegetación riparia	-	restauración de las franjas desprovistas de vegetación.  Establecer viveros y/o zonas de préstamo de material vegetal para emplear en las labores de restauración.	-
Especies biológicas de importancia en la cuenca y ecosistema fluvial	Definir objetos de conservación.	Reglamentar las especies objeto de conservación en el corredor biológico a restaurar a lo largo de la cobertura ribereña de la quebrada.	Implementar las actividades de restauración y conservación de las franjas riparias de la quebrada.  Consecuentemente se contribuiría a la conservación de las especies de importancia.

### *Conclusiones y recomendaciones para las condiciones ecosistémicas*

- En términos de franja riparia, en la cuenca alta hace falta información para concluir sobre los primeros tres kilómetros del cauce, pero a partir de aquí y hasta el K 7+170 se tiene mejor continuidad y dimensión espacial principalmente en el tramo izquierdo de la corriente, ya que el tramo derecho se encuentra fuertemente presionado por la infraestructura vial y el uso pecuario del suelo.
- La vegetación ribereña en la cuenca media soporta gran presión urbana por zonas residenciales, industriales, de servicios e infraestructura vial. En este caso, desde la desembocadura de la Q. El Popal a la Q. Olivares-Minitas hasta el barrio Bajo Rosales, así como desde la parte final de Villa del Río, pasando por Confamiliar de La Asunción y hasta la desembocadura de la Q. El Solferino, se tienen rondas hídricas bastante deficientes en cuanto a franja riparia. Por su parte, se puede decir que el tramo mejor conservado es el que pasa entre los Barrios Villa del Río y La Leonora, principalmente en la margen izquierda de la corriente.

- La cuenca baja tiene rondas hídricas mejor conservadas en cuanto a vegetación riparia, en comparación con cuenca alta y media, alcanzando grados de cobertura y continuidad longitudinal entre 78% y 89% en promedio, tanto para tramos derecho como izquierdo; en el K 16+430 del cauce se tiene un tramo de aprox. 400 m casi en excelentes condiciones.
- En cuanto a especies biológicas de importancia en la cuenca y ecosistema fluvial, es necesario realizar más estudios y monitoreos para la cuenca media y baja, especialmente en las zonas asociadas a la vegetación riparia, ya que la única información disponible es para áreas de reserva y a grandes rasgos en los bosques de la confluencia con el río Guacaica.

## 4.4 Condiciones socio-culturales

La Tabla 38 describe los estudios propuestos a efectuar para completar la valoración de las condiciones socio-culturales de la Q. Olivares-Minitas. La Tabla 39 expone las acciones básicas propuestas para la restauración fluvial de la corriente, enmarcadas dentro de las funciones de la Autoridad Ambiental, en este caso, CORPOCALDAS.

**Tabla 38.** Estudios requeridos para completar valoración de Condiciones socio-culturales

Criterio	Estudio Propuesto
Coberturas y usos de la tierra en la cuenca	Apoyándose en la información secundaria existente y presentada en el actual documento, se deberán escalar las coberturas de la tierra según la metodología adoptada a nivel nacional “Corine Land Cover”, las cuales ya se tienen a nivel de cuenca del río Chinchiná.
	Obtener el análisis multitemporal de cambios en la cobertura y uso de la tierra, para lo cual se pueden revisar las metodologías de MADS (2013a), Santana (2007), Hernández et al (2013) y Núñez y Madero (2009).
	Obtener índices e indicadores para concluir sobre los procesos de transformación de las coberturas y usos de la tierra como: Indicador de Vegetación Remanente, Índice de Fragmentación, Indicador de Presión Demográfica sobre las coberturas de la tierra e Índice de Ambiente Crítico, los detalles de cálculo se presentan en MADS (2013a). También es de importancia evaluar los conflictos de uso del suelo de acuerdo con su capacidad de uso (clases agrológicas).
Usos del agua y demandas previstas	Realizar censo de usuarios del recurso hídrico y con la información de concesiones otorgadas por CORPOCALDAS y consumos del acueducto, se podrán realizar análisis por sectores, concluyendo sobre consumos y demandas previstas.
Agentes sociales en la cuenca hidrográfica	Realizar Entrevistas y/o Talleres para determinar las perspectivas de los diferentes agentes sociales identificados en la cuenca, con respecto a la restauración y conservación de la Q. Olivares-Minitas. Posteriormente actualizar las matrices FODA presentadas en el actual documento.



**Tabla 39.** Acciones básicas para el manejo de las condiciones socio-culturales (causas de la problemática ambiental reflejada en la corriente hídrica)

<b>Criterio/Plazo</b>	<b>Corto Plazo (Año 1)</b>	<b>Mediano Plazo (Año 4)</b>	<b>Largo Plazo (Año 8 en adelante)</b>
Procesos de desarrollo y ordenamiento territorial	Incorporar el modelo conceptual de restauración de ríos a los instrumentos de planificación del desarrollo y ordenamiento territorial		

### *Conclusiones y recomendaciones para las condiciones socio-culturales*

- La Matriz FODA realizada a los diferentes instrumentos vigentes para la planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial en el municipio de Manizales y elaborada en la actual Tesis de Investigación, permitió contar con un panorama general de los impactos negativos y positivos que sobre la Q. Olivares-Minitas se pueden tener con la ejecución de éstos.
- La actual revisión al POT de Manizales propone incorporar a la Estructura Ecológica Principal del municipio las rondas hídricas y un corredor vial de conectividad en un tramo de la Av. Kevin Ángel, lo que sumado a las reservas existentes y proyectadas, facilitarían la conservación de zonas boscosas y riparias de la cuenca de la Q. Olivares-Minitas.
- El POMCA del río Chinchiná tiene incorporado el diseño de un proyecto de rehabilitación de la Q. Olivares-Minitas y Q. El Guamo, considerando la mitigación del riesgo hidráulico, la disminución de la contaminación e involucrando los componentes de espacio público y participación ciudadana.
- Desde el PORH del río Guacaica se aporta a una metodología de cálculo de caudales ambientales más acorde con la conservación de los regímenes hidrológicos naturales de una corriente y se definen objetivos de calidad del agua que se trasladarán a la Q. Olivares-Minitas por ser ésta afluente del río Guacaica.
- Desde el Plan de Manejo de la Reserva de río Blanco y Q. Olivares se puede aportar en la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas al uso sostenible del suelo, a posibilidades de restauración de las zonas degradadas y a programas de investigación, estrategias de educación ambiental y ecoturismo.

- El Proyecto de Renovación Urbana Comuna San José aporta a la re-ubicación de asentamientos en zonas de riesgo de la cuenca baja (ladera sur) de la Q. Olivares-Minitas, recuperación del patrimonio arquitectónico de la ciudad y a la definición del proyecto "Parque Olivares" para restaurar y conservar las zonas degradadas por la erosión e incentivar el ecoturismo.
- Desde el "Proyecto Forestal para la Cuenca del río Chinchiná-PROCUENCA" y "Pactos por la Cuenca del río Chinchiná" se puede seguir reforestando la cuenca alta de la Q. Olivares-Minitas, contribuyendo a la regulación hídrica y protección de los suelos.
- Se recomienda que las obras de estabilidad y mitigación de riesgos propuestas desde el Plan de Desarrollo Municipal y desde los planes de CORPOCALDAS no sigan interrumpiendo la conectividad hidrológica de la Q. Olivares-Minitas, sino que estas empleen técnicas y materiales acordes con la conservación y restauración del patrimonio natural.
- El POT de Manizales incluye a La Aurora y el sector de San Sebastián dentro del perímetro urbano y como área de expansión urbana, lo que puede tener afectaciones ambientales en la cuenca alta y media de la Q. Olivares-Minitas.
- Con el Proyecto "Renovación Urbana" o "Zona de desarrollo" Baja Suiza de INFIMANIZALES se pueden tener fragmentación de los relictos de bosque existentes en la cuenca media de la Q. Olivares-Minitas, aumento de escorrentía urbana y aumento de carga contaminante doméstica. En lo que tiene que ver con el Proyecto Microcentral Hidroeléctrica Olivares de Aguas de Manizales S.A. E.S.P. se puede tener alteración del régimen hidrológico de la Q. Olivares-Minitas.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

- El análisis general de los instrumentos de política relacionados con el recurso hídrico continental en Colombia, permitió enmarcar la restauración de ríos y la valoración ambiental de corrientes hídricas de la zona andina colombiana en el contexto del país.
- Siempre que se aborden teorías, conceptos y metodologías provenientes de otros países, éstas se deben visualizar a la luz de la normatividad y las políticas locales relacionadas, con el fin de reconocer los avances logrados y las posibilidades de integración.
- En Colombia no solo la Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico puede direccionar las acciones de manejo y conservación de los ríos, también se debe acudir a las orientaciones dadas por la Política para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos, el Plan y Guías para Restauración Ecológica y el Plan Nacional de Investigación y Monitoreo de Áreas Protegidas de Colombia que define la representatividad de los sistemas acuáticos continentales como una de sus prioridades temáticas.
- El enfoque de restauración de ríos puede convertirse en el soporte conceptual y metodológico para la articulación y ejecución de las diferentes políticas e instrumentos de planificación ambiental en Colombia, relacionados con el manejo y conservación de las corrientes hídricas de la zona andina colombiana.
- Valorar las condiciones hidrológicas de una corriente hídrica de la zona andina colombiana debe ser la primera tarea en la diagnosis de problemáticas y potencialidades, puesto que solo garantizando la cantidad, calidad y conectividad del agua se pueden seguir modelando paisajes y prestando los servicios ecológicos y socio-culturales que se le demandan.
- El conocimiento de los regímenes naturales de caudales en las corrientes hídricas de la zona andina colombiana permitirá obtener los caudales ambientales necesarios para ordenar el recurso hídrico continental en términos de cantidad, así disponer de manera más planificada y controlada de la oferta hídrica existente.

- Respecto a calidad del agua, si bien en Colombia se tienen avances importantes ya que la mayoría de los instrumentos político-normativos están encaminados hacia el tema, es necesario que se realicen por lo menos aproximaciones teóricas para estimar las cargas contaminantes aportadas por fuentes difusas según usos del suelo, así como las posibles acciones de manejo.
- En lo que tiene que ver con conectividad fluvial, es importante comenzar a reconsiderar las diferentes obras civiles que se construyen de manera acelerada y reaccionaria sin considerar las ocupaciones inadecuadas del suelo y la necesidad del espacio natural que le corresponde a los cauces. La Metodología de Acotamiento de Rondas Hídricas formulada con el apoyo técnico de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, es un avance de gran relevancia para el tema.
- La historia geológica y tendencias como criterio geomorfológico a tener en cuenta en la valoración ambiental de corrientes hídricas de la zona andina colombiana, debe aplicarse empleando información no solo de geología regional, sino también de geología de mayor detalle para el cauce, que dé cuenta de las posibles variaciones en cuanto a forma que éste pueda tener en un futuro próximo.
- El balance de sedimentos cuenca-cauce se debe empezar a considerar con mayor rigurosidad dentro de los estudios fluviales y de usos del suelo relacionados en la zona andina colombiana, ya que es esta herramienta la que permite concluir sobre equilibrios y/o desequilibrios geomorfológicos y necesidades de manejo y control ya sea en la cuenca o en el canal.
- Las clasificaciones geomorfológicas de cauces aunque son puntuales en el tiempo, pueden facilitar la categorización de las corrientes hídricas de la zona andina colombiana posibilitando fines comparativos y aplicaciones basadas en experiencias tenidas en zonas de similares condiciones.
- Es de gran importancia reconocer el papel ecosistémico de los ríos y quebradas de la zona andina colombiana, no solo en la cuenca alta como generalmente se hace en el país, sino también a lo largo de su continuidad longitudinal, transversal y vertical.
- Las rondas hídricas de las corrientes hídricas de la zona andina colombiana deben ser respetadas, restauradas y conservadas. En estos espacios debe tenerse la vegetación riparia necesaria para la regulación climática e hidrológica, el control de contaminación difusa, el hábitat de diferentes especies florísticas y faunísticas nativas y el disfrute y recreación por parte de pobladores y turistas.

- Si bien han sido las diferentes condiciones socio-culturales las principales causantes de la problemática ambiental evidenciada en las corrientes hídricas de la zona andina colombiana, con los diferentes avances en materia de visiones del desarrollo, planificación territorial y participación pública en lo ambiental, se pueden empezar a incorporar nuevos conceptos como la “restauración de ríos” para una mejor comprensión y gestión de los ríos y quebradas.
- Para recomendar diferentes técnicas y métodos de valoración y evaluación ambiental se debe acudir a la información bibliográfica más actualizada y empleada, así como a las experiencias y aplicaciones ya tenidas en Colombia. Esto, con el fin de enmarcar las metodologías sugeridas no solo en los últimos avances teórico-científicos obtenidos, sino también en las prioridades temáticas y disponibilidad de recursos financieros y de personal capacitado que se tenga en el país.
- En el Capítulo III del presente documento se exponen los estudios y acciones requeridas para la restauración fluvial de la Q. Olivares-Minitas, pero una vez se complete la información diagnóstica de la corriente hídrica, podrán surgir otras acciones básicas a desarrollar.
- Se recomienda realizar una priorización para la ejecución gradual de los estudios y acciones encaminadas a la valoración ambiental y restauración de la Q. Olivares-Minitas, con base en la disponibilidad de recursos.

## 6. Bibliografía

ACA (Agencia Catalana del Agua). 2006. Protocolo HIDRI - Protocolo para la valoración de la calidad Hidromorfológica de los Ríos. Cataluña.

ACERO, A. M. y CORTÉS, F. 2014. Propagación de especies nativas de la microcuenca del río La Vega, Tunja, Boyacá, con potencial para la restauración ecológica. En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol. 38. N° 147. Págs. 195-205.

ACOSTA, R.; RÍOS, B.; RIERADEVALL, M. y PRAT, N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. En: Limnética. Vol. 28. N° 1. Págs. 35-64.

AGUALIMPIA, Y. C. y CASTRO, C.E. 2012. Aprovechamiento responsable del recurso hídrico fluvial. En: Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Vol. XXXIII. N° 3. Págs. 18-32.

AGUAS DE MANIZALES S.A. E.S.P. 2008. Video toma aérea avalancha Bocatoma Q. Olivares. Manizales, Colombia. Obtenido desde <https://www.youtube.com/watch?v=bmjn3tAC5-g> el 17 de noviembre de 2013.

AGUAS DE MANIZALES S.A. E.S.P. 2012. Plano digital conducciones del agua de la bocatoma Olivares hasta la Planta Niza. Manizales, Colombia.

AGUAS DE MANIZALES S.A. E.S.P. s.f. Diagnóstico Técnico de Acueducto y Alcantarillado Municipio de Manizales. Manizales, Colombia. Obtenido desde <http://www.contratos.gov.co/archivospuc1/2010/DA/217000001/10-15-365539/DA PROCESO 10-15-365539 217000001 1885558.pdf> el 17 de noviembre de 2013.

AJIACO, R. S.; RAMÍREZ, H.; SÁNCHEZ, P.; LASSO, C. A. y TRUJILLO, F. 2012. VI Diagnóstico de la Pesca Ornamental en Colombia - Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D. C., Colombia.

ALCALDÍA DE MANIZALES E INFIMANIZALES. s.f. Microcentral hidroeléctrica Olivares. Manizales, Colombia. Obtenido desde <http://www.infimanizales.com/media/cms/mediafiles/MICRO-CENTRAL HIDROELCTRICA OLIVARES.pdf> el 17 de noviembre de 2013.

ALCALDÍA DE MANIZALES. Plan de Ordenamiento Territorial. Acuerdo 663 de septiembre 13 de 2007.

ALMEIDA, C. E.; FERREIRA, J.; TORNÉS, E.; PUCCINELLI, C.; DELMAS, F.; DÖRFLINGER, G.; URBANIČ, G.; MARCHEGGIANI, S.; ROSEBERY, J.; MANCINI, L. y SABATER, S. 2014. Water quality assessment of rivers using diatom metrics across Mediterranean Europe: A methods intercalibration exercise. En: Science of the Total Environment. Vol. 476-477. Págs. 768-776.

ANDRADE, G. 2011. Río Protegido: Nuevo concepto para la gestión de conservación de sistemas fluviales en Colombia. En: Revista Gestión y Ambiente. Vol. 13 - N° 1. Págs. 65-72.

ANDRADE, G.I. y CASTRO, L.G. 2012. Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia Invitación a una interpretación socioecológica. En: Ambiente y Desarrollo. Vol. XVI. Nº 30. Págs. 53-71.

ANDRADE, M. G. 2011. Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol. XXXV. Nº 137. Págs. 491-507.

ARIAS, C. 2011. ¿Neo-extractivismo o desarrollo local? conflictos territoriales y patrimoniales en el pueblo minero de Marmato (Colombia). Cochabamba, Ecuador. Trabajo de Grado (M.Sc. en Gestión del Patrimonio y Desarrollo Territorial). Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat, Programa Integral de Rehabilitación de Áreas Históricas.

ARIAS, C. (Compiladora). 2014. Resignificación de la cuenca del Consota - Perspectivas ambientales del municipio de Pereira en sus 150 años. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

ARISTIZÁBAL, E. y SHUICHIRO, Y. 2008. Evolución geomorfológica del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la ocurrencia de movimientos en masa. En: Boletín Ciencias de la Tierra. Págs. 1-15.

ARISTIZÁBAL, G.A. 2004. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa escala 1:2000 sector barrio La Sultana. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

ARROYAVE, M.; URIBE, D.M. y POSADA, M. 2011. Restauración ecológica de la zona de ribera del río La Miel (Departamento de Caldas, Colombia). En: Vargas, O y Reyes, S.P. (Eds.). La Restauración Ecológica en la Práctica: Memorias I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Bogotá D. C., Colombia.

ÁVILA, J. C.; GIRALDO, G. A. y Pardo, A. 2012. Procedencia y geocronología detrítica de los Conglomerados de Tatamá: ¿Evidencia de conexión entre las cuencas del Cauca y el Pacífico? En: Geología Colombiana. Vol. 37. Págs. 14-15.

AYALA, R. C.; BAYONA, G. A.; OJEDA, C.; CARDONA, A.; VALENCIA, V.; PADRÓN, C. E.; YORIS, F.; MESA, J. y GARCÍA, A. 2009. Estratigrafía y procedencia de las unidades comprendidas entre el Campaniano y el Paleogeno en la subcuenca de Cesar: aportes a la evolución tectónica del área. En: Geología Colombiana. Nº 34. Págs. 3-33.

AZRINA, M.Z.; YAP, C. K.; ISMAIL, A. R.; ISMAIL, A. y TAN, S.G. 2006. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. En: Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol. 64. Págs. 337-347.

BARAHONA, J. P.; CASTAÑEDA, W. A.; HENAO, L. E. y JIMÉNEZ, L.A. 2006. Caracterización de los movimientos de ladera en el periodo 2000-2006 en la ciudad de Manizales. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

BECERRA, M. T. (Ed.) 2003. Lineamientos para el manejo sostenible de sistemas de aprovechamiento sostenible de recursos naturales in situ. IAVH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D. C., Colombia.

BENAVIDES, V.; TARLÉ, T. C. y GALBIATTI, J. A. 2009. Caracterización y clasificación de la red hidrográfica de la cuenca del río Bobo, departamento de Nariño-Colombia. En: Revista Ingeniería e Investigación. Vol. 29. Nº 3. Págs. 97-101.

BEYENE, A.; ADDIS, T.; KIFLE, D.; LEGESSE, W.; KLOOS, H. y TRIEST, L. 2009. Comparative study of diatoms and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution: Case study of the Kebena and Akaki rivers in Addis Ababa, Ethiopia. En: Ecological Indicators. Vol. 9. Págs. 381-392.

CALVO, G. Y MORA, J. 2012. Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. En: Tecnología en Marcha. Vol. 25. Nº 5. Págs. 37-44.

CANAL, F. y RODRÍGUEZ, M. 2008. Las Corporaciones Autónomas Regionales, quince años después de la creación del SINA. En: Rodríguez, M. (Editor). Gobernabilidad, Instituciones y Medio Ambiente en Colombia. Foro Nacional Ambiental. Colombia.

CARRIZOSA, J. 2008. Prólogo: Instituciones y Ambiente. En: Rodríguez, M. (Editor). Gobernabilidad, Instituciones y Medio Ambiente en Colombia. Foro Nacional Ambiental. Colombia.

CASAS, A. M. 2012. Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá. Bogotá D.C., Colombia. Trabajo de Grado (M.Sc. Ingeniería – Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.

CASTRO, L. F. 2006. Guía metodológica para el establecimiento de objetivos de calidad de los cuerpos de agua en ausencia de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH, Metodología MESOCA. Programa de apoyo horizontal para la implementación de Tasas Retributivas por vertimientos puntuales en las entidades del SINA (Sistema Nacional Ambiental). MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). Bogotá D.C., Colombia

CEBALLOS, G. 1991. Manizales de ayer y de hoy. Manizales, Colombia.

CEBALLOS, J. L. 2011. Modelación hidráulica y morfodinámica de cauces sinuosos, aplicación a la quebrada La Marinilla-Antioquia. En: Boletín de Ciencias de la Tierra. Nº 30. Págs. 107-118.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2011. Ecoeficiencia y desarrollo de infraestructura urbana sostenible en Asia y América Latina. Revisión de las prácticas vigentes y criterios utilizados para integrar aspectos ambientales y sociales en la infraestructura urbana en Chile, Colombia y México. Colección Documentos de Proyectos. Santiago de Chile, Chile.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2012. Población, territorio y desarrollo sostenible. Comité Especial de la CEPAL sobre Población y Desarrollo, ECUADOR 2012. Santiago de Chile, Chile.

CHANSHENG, H.; LANHUI, Z.; DEMARCHI, C. y CROLEY, T. E. 2014. Estimating point and non-point source nutrient loads in the Saginaw Bay watersheds. En: Journal of Great Lakes Research Supplement. Vol. 40. Págs. 11-17.

CHARÁ, J.; GIRALDO, L.P.; CHARÁ, A.M.; PEDRAZA, G.X. y CAMARGO, J.C. 2011. Beneficios ambientales y sociales de los corredores ribereños - Serie Microcuencas. CIPAV (Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria). Cali, Colombia.



CHARÁ, J.; PEDRAZA, G.; GIRALDO, L. e HINCAPIÉ, D. 2007. Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. En: Agroforestería de Las Américas. N° 45. Págs. 72-78.

CHARDON, A. C. 2006. Un desafío para el desarrollo urbano: amenazas naturales y vulnerabilidad global asociada, el caso de la ciudad de Manizales (Andes de Colombia). En: Taller internacional sobre gestión del riesgo a nivel local, el caso de Manizales, Colombia - La administración pública y el rol de la universidad. Manizales, Colombia.

CIREF (Centro Ibérico de Restauración Fluvial). 2010. ¿Qué es restauración fluvial? Notas Técnicas del CIREF N° 4 de 2010.

CONCEJO DE MANIZALES. 2000. Acuerdo N° 465 Por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo Económico y Social del municipio de Manizales para el período 2000-2003. Manizales, Colombia.

CONCEJO DE MANIZALES. 2003. Acuerdo N° 573 Por medio del cual se modifica el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Manizales "Acuerdo N° 508 de octubre 12 de 2001". Manizales, Colombia.

CONCEJO DE MANIZALES. 2007. Acuerdo N° 663 Por medio del cual se adopta la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Manizales. Manizales, Colombia.

CORENBLIT, D.; TABACCHI, E.; STEIGER, J. y GURNELL, A.M. 2007. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. En: Earth Science Reviews. Vol. 84. Págs. 56-86.

CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas) e IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales). 2014a. Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Hidrográfica-POMCA del Río Chinchiná en el Departamento de Caldas. Manizales, Colombia.

\_\_\_\_\_ 2014b. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico-PORH de la Subcuenca del Río Guacaica, Cuenca del Río Chinchiná. Manizales, Colombia.

CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas) y GIAS-UTP (Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento Universidad Tecnológica de Pereira). 2014. Contrato 109-2013. Apoyo técnico para la reglamentación de la Tasa Retributiva por la utilización directa e indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales, jurisdicción de CORPOCALDAS. Informe "Línea base de usuarios generadores de vertimientos puntuales a corrientes superficiales". Manizales, Colombia.

CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas) y GIAS-UTP (Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento Universidad Tecnológica de Pereira). 2012. Apoyo técnico en el proceso de priorización de cuencas para el ordenamiento de recursos hídricos en la Corporación Autónoma Regional de Caldas-CORPOCALDAS. Manizales, Colombia.

CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas) y U.N. de Colombia Sede Manizales (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales). 2013. Proyecto de Gestión Integral del Riesgo para Manizales - En Fase de Desarrollo - Informe sin publicar. Manizales, Colombia.

CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas). 2002. Agenda para la Gestión Ambiental del municipio de Manizales. Manizales, Colombia.

CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas). 2007. Plan de Gestión Ambiental Regional 2007 – 2019, Versión preliminar, documento interno de trabajo. Manizales, Colombia.

CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas). 2010. Reserva Forestal Protectora de las cuencas hidrográficas de Río Blanco y Quebrada Olivares, Plan de Manejo. Manizales, Colombia.

CORREA, C. 2008. Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo. En: Pérez Arbelaezia. N° 19. Págs. 115-139.

CORTÉS, S.P. 2008. Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo. En: Pérez Arbelaezia. N° 19. Págs. 85-114.

COSGROVE, C. y COSGROVE, W. The Dynamics of Global Water Futures Driving Forces 2011–2050. 2012. United Nations World Water Assessment Programme-WWAP - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO. France.

COUPÉ, F. 2011. La gestión del riesgo en el Valle de Aburrá. En: Revista Gestión y Ambiente. Vol. 14. N° 2. Págs. 17-44.

COX, B.A. 2003. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. En: Science of The Total Environment. Vol. 314-316. Págs. 335-377.

CRISCI, M.; BEJARANO, M. D.; SORDO, A.; CHRETIES, C. y GARROTE, L. 2012. Estimación de caudales ambientales en cuencas no aforadas en Uruguay. En: XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José, Costa Rica.

CUBILLOS, L. 2010. Pretensiones académicas frente al proceso fundacional de una Nueva Área de conocimiento para Colombia. En: Rodríguez, D. y García, A. (Editores). Cátedra Ambiental: Memorias 2006–2009, Un espacio de reflexión para la sustentabilidad. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

CUBILLOS, L. 2012. La esperanza invisible: Permanencias, arraigos y éxodos en torno al Parque Temático de Flora y Fauna. Pereira, Colombia.

CUBILLOS, L. 2014a. Razones académicas para la formulación de las prácticas ambientales interdisciplinarias. En: Arias, C. (Compiladora). Resignificación de la cuenca del Consota - Perspectivas ambientales del municipio de Pereira en sus 150 años. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

\_\_\_\_\_ 2014b. La problemática ambiental del tramo urbano de la cuenca del río Consota. En: Arias, C. (Compiladora). Resignificación de la cuenca del Consota - Perspectivas ambientales del municipio de Pereira en sus 150 años. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

DALLOS, C. C. y GARCÍA, J. F. 2004. Análisis de estabilidad de la ladera sur de la Quebrada Olivares entre Calles 33 y 64 de Manizales. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

DAMA (Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente). 2000. Protocolo Distrital de Restauración Ecológica – Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fé de Bogotá. Bogotá D.C, Colombia.

DAMA (Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente). 2004. Guía Técnica para la Restauración de Áreas de Ronda y Nacederos del Distrito Capital. Montoya, S. (Ed.) Bogotá D.C, Colombia.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 1959. Censo de Población de 1951 Departamento de Caldas. Bogotá, Colombia.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 1969. Población del país según el Censo 1964, estimada a 15 de julio de 1968 – Tasas de crecimiento por secciones y municipios. Bogotá D.E., Colombia.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 1978. La población en Colombia 1973 – Censo Nacional de Población y III de Vivienda, Muestra de avance. Bogotá D.E., Colombia.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 1989. Colombia Censo Nacional de 1985 – Cuadros de población total con ajuste final de cobertura, por secciones del país y municipios. Bogotá D.E., Colombia.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2005. Censo DANE 2005, Proyección de población municipal por área 2005-2020. Colombia. Obtenido desde <http://www.dane.gov.co/index> el 19 de noviembre de 2013.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2005. Censo General 2005 Nivel Nacional. Colombia.

DEPARTAMENTO DE CONTRALORÍA – DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA. 1924. Censo de Población de la República de Colombia - Informe del Director General de Estadística al Ministro de Hacienda sobre el Censo 1918. Bogotá D.E., Colombia.

DÍAZ, C. 2007. Metodología interdisciplinaria desde el estudio de la problemática ambiental del tramo urbano de la cuenca del río Consota: Hacia el fortalecimiento de la gestión ambiental local. Manizales, Colombia. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (M.Sc. Medio Ambiente y Desarrollo). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

DÍAZ-GRANADOS, M. A.; NAVARRETE, J. D. y SUÁREZ, T. 2005. Páramos: Hidrosistemas Sensibles. En: Revista de Ingeniería. Nº 22. Págs. 64-75.

DIEZ, J. M. y RUIZ, D. H. 2007. Determinación de caudales ambientales confiables en Colombia: el ejemplo del río Palacé (Cauca). En: Revista Gestión y Ambiente. Vol. 10 – Nº 4. Págs. 153-166.

DNP (Departamento Nacional de Planeación). 2014. Planes de Desarrollo anteriores. Sitio Web Oficial. Obtenido desde <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Planes-de-Desarrollo-antteriores.aspx> el 30 de octubre de 2014.

DOMÍNGUEZ, E. A.; GONZALO, H.; VANEGAS, R. y MORENO, P. 2008. Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. En: REV. ACAD. COLOMB. CIENC. Vol. XXXII. Nº 123. Págs. 195-212.

DOUROJEANNI, A. y JOURAVLEV, A. 1999. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Comisión Económica para América Latina y El Caribe-CEPAL - División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile, Chile.

DUQUE, M. C.; ALZATE, J. J. y OTÁLVARO, C. A. N. 2000. Problemática socio ambiental en la expansión urbana de Manizales. Manizales, Colombia. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Especialista en Desarrollo Económico Sostenible). Universidad de Manizales, Facultad de Economía.

DUQUE, O. A. y POSADA, L. 2011. Simulación hidráulica de confluencias y difluencias, aplicación al río León en el Urabá Antioqueño, Colombia. En: Memorias del Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Santiago del Estero, Argentina.

DURÁN, L. F.; GIL, D. N.; HERNÁNDEZ, Y.; HERRERA, J. A. y GUEVARA, J. I. 2014. Lineamientos generales para un plan de gestión integral, barrio Caracol-La Curva, cuenca del río Consota. En: Arias, C. (Compiladora). Resignificación de la cuenca del Consota - Perspectivas ambientales del municipio de Pereira en sus 150 años. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

ELOSEGI, A. y SABATER, S. (EDS.). 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA. España.

FERNÁNDEZ, L.; RAU, J. y ARRIAGADA, A. 2009. Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín utilizando el Índice QBR. En: Gayana Bot. N° 66. Págs. 269-278.

FERNÁNDEZ, N. J. y SOLANO, F. 2008. Índices de calidad y de contaminación del agua. Universidad de Pamplona. Colombia.

FISRWG (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group). 2001. Stream corridor restoration – Principles, processes and practices. U.S.A.

FONSECA, A.; BOTELHO, C.; BOAVENTURA, R. A. R. y VILAR, V. J. P. Integrated hydrological and water quality model for river management: A case study on Lena River. En: Science of the Total Environment. Vol. 485. Págs. 474–489.

FRANCO, F. 2011a. Urban River Restoration in Colombia - viewed as whole in order to reduce hydraulic risk and pollution. Milán, Italia. Trabajo de Grado (PhD Tecnologia e Progetto per L'ambiente Costruito). Politecnico Di Milano, Dipartimento BEST Scienza e Tecnologie dell'Ambiente Costruito -Building & Environment Science & Technology.

\_\_\_\_\_. 2011b. Restauración de ríos, sinergias entre sus conceptos y la Política Hídrica Nacional. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. En: Evento AGUA 2011 “Ecosistemas y Sociedad”, CINARA-Universidad del Valle. Cali, Valle.

FRANCO, F. 2012. Presentación Curso Restauración de Ríos “Valoración Ambiental de los Ríos para su Restauración”. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Línea de Investigación en Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, Colombia.

FRANSSEN, N. R.; GIDO, K. B. y PROPST, D.L. 2013. Flow regime affects availability of native and nonnative prey of an endangered predator. En: Biological Conservation. Vol. 38. Págs. 330-340.

GALFIONI, M.; DEGIOANNI, A.; MALDONADO, G. y CAMPANELLA, O. 2013. Conflictos socioambientales: identificación y representación espacial. Estudio de caso en la ciudad de Río Cuarto (Argentina). En: Estudios Geográficos. Vol. LXXIV. N° 275. Págs. 469-493.

GALHARTE, C. A.; VILLELA, J. M. y CRESTANA, S. 2014. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. En: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 18. Nº 2. Págs. 194-201.

GALLOPÍN, G.C. 2012. Five Stylized Scenarios. United Nations World Water Assessment Programme-WWAP - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO. France.

GALVÁN, S.; SIERRA, M. IVÁN, M.V.Z.; GÓMEZ, F.H.; DE LA OSSA, V. J. y FAJARDO, A. 2009. Biodiversidad en el área de influencia de la Estación Primates de Colosó, Sucre, Colombia. En: Rev. Colombiana cienc. Anim. Vol. 1. Págs. 98-121.

GARCÍA, C. 2006. Estado del conocimiento de los depósitos de vertiente del Valle de Aburrá. En: Boletín de Ciencias de la Tierra. Nº 19. Págs. 101-112.

GAZZAZ, N. M.; YUSOFF, M. K.; ARIS, A. Z.; JUAHIR, H. y RAMLI, M. F. 2012. Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors. En: Marine Pollution Bulletin. Vol. 64. Págs. 2409-2420.

GLIGO, N. 2006. Estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina, un cuarto de siglo después. Serie Medio Ambiente y Desarrollo Nº 126. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Santiago de Chile, Chile.

GÓMEZ, A. 2009. Márgenes de inundación de la Quebrada Olivares-Minitas para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años. CORPCOALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas). Manizales, Colombia.

GONZÁLES, J. E. y MONTOYA, L. J. 2010. Propuesta metodológica para el análisis morfosedimentológico en cuencas altamente urbanizadas, caso de estudio quebrada Doña María (Colombia). En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol. 9. Nº 16. Págs. 13-24.

GONZÁLES, M. E. 2004. Zonificación geotécnica en el barrio La Sultana y sectores aledaños a escala 1:2000. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geóloga). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

GONZÁLEZ, M.; GARCÍA, D.; LARA, F. y GARILLETI, R. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. En: Ingeniería Civil. Nº 143. Págs. 97-108.

GONZÁLEZ, M. y GARCÍA, D. 2007. Restauración de ríos – Guía metodológica para elaboración de proyectos. Ministerio del Medio Ambiente. España.

GONZÁLEZ, V.; CAICEDO, O. y AGUIRRE, N. 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMPW en la quebrada La Ayurá, Antioquia-Colombia. En: Revista Gestión y Ambiente. Vol. 16. Nº 1. Págs. 97-108.

GRILL, G.; DALLAIRE, C. O.; CHOUINARD, E. F.; SINDORF, N. y LEHNER, B. 2014. Development of new indicators to evaluate river fragmentation and flow regulation at large scales: A case study for the Mekong River Basin. En: Ecological Indicators. Vol. 45. Págs. 148-159.

GUERRA, A.; SANTAMARÍA, M. Y MATALLANA, C. 2013. Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Avances construidos desde la Mesa de Investigación y Monitoreo

entre 2009 y 2012. IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt) y PNNC (Parques Nacionales Naturales de Colombia). Bogotá D. C., Colombia.

GUEVARA, G. 2014. Evaluación ambiental estratégica para cuencas prioritarias de los Andes Colombianos: dilemas, desafíos y necesidades. En: *Acta Biológica Colombiana*. Vol. 19. Págs. 11-24.

GUEVARA, G.; REINOSO, G.; GARCÍA, J. E.; FRANCO, L. M.; GARCÍA, L. J.; YARA, D. C.; BRÍÑEZ, N.; OCAMPO, M. L.; QUINTANA, M. I.; PAVA, D. Y.; FLÓREZ, N. Y.; ÁVILA, M. F.; HERNÁNDEZ, E. E.; LOZANO, L. A.; GUAPUCAL, M.; BORRERO, D. A. y OLAYA, E. J. 2008. Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños. En: *Revista Tumbaga*. N° 3. Págs. 109-127.

GUTIÉRREZ, F.P. 2010. Los recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales en Colombia. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D.C., Colombia.

GUTIÉRREZ, F.P.; LASSO, C.; BAPTISTE, M.P.; SÁNCHEZ, P. y DÍAZ, A.M. 2012. VI Catálogo de la Biodiversidad Acuática y Trasplantada en Colombia: Moluscos, Crustáceos, Peces, Anfibios y Reptiles y Aves - Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D. C., Colombia.

GUTIERREZ, J. D; RISS, W. y OSPINA, R. 2004. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. En: *Caldasia*. Vol. 26. Págs. 151-160.

GUTIÉRREZ, Y.; VELÁSQUEZ, S. y CARBONÓ, E. 2010. Composición florística ribereña de la cuenca del río Gaira, Colombia. En: *Recursos Naturales y Ambiente*. N° 59-60. Págs. 26-31.

GYAWALI, S; TECHATO, K; YUANGYAI, C y MUSIKAVONG, C. 2013. Assessment of relationship between land uses of riparian zone and water quality of river for sustainable development of river basin, A case study of U-Tapao river basin, Thailand. En: *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 17. Págs. 291 – 297.

HENAO, L. A.; ROJO, J. D. y TIGA, J. F. 2009. Restauración del cauce de la quebrada el Chumbimbo en la Facultad de Minas, Estudio Técnico. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, Colombia.

HERNÁNDEZ, A., ROJAS, R. y SÁNCHEZ, F. V. 2013. Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). En: *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana De Geografía*. Vol. 22. N° 2. Págs. 257-271.

HINDERER, M. 2012. From gullies to mountain belts: A review of sediment budgets at various scales. En: *Sedimentary Geology*. Vol. 280. Págs. 21–59.

HONGMEI, B.; WEI M.; YUAN Z. y JUN W. 2014. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. En: *Ecological Indicators*. Vol. 41. Págs. 187-197.

HORACIO, J. y OLLERO, A. 2011. Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de sistemas de información geográfica (S.I.G.). En: *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. N° 56. Págs. 373-396.

HORTUA, G. N. 2004. Geomorfología e hidrología, combinación estratégica para el estudio de las inundaciones en Florencia (Caquetá). En: *Cuadernos de geografía XIII*. Págs. 81-101.

HURTADO, A. 2013. Fotografías Represa Olivares. Manizales, Colombia.

IDEA U.N. de Colombia Sede Manizales (Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales). 2012. Red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas telemétricas para prevención de desastres en Manizales y Caldas. Información de estaciones: Bosques del Norte, El Mirador, El Popal, EMAS, INGEOMINAS, Niza, La Palma, Yarumos. Manizales, Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2010. Estudio Nacional de Agua. Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). s.f. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2001. El Medio Ambiente en Colombia. 2da Edición. Bogotá D.C. Colombia

IDEA-U.N. de Colombia, Sede Manizales (Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales) y CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas). 1995. Perfil ambiental urbano de Colombia, proyecto experimental - Estudio de caso de la ciudad de Manizales. Manizales, Colombia.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2014. Listado de visores geográficos, Mapas, Ciudades, Listado de Capitales con Ortofotos, Manizales-Caldas. Obtenido desde <http://www.igac.gov.co:10040/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/MapasdeColombia/Mapas/Ciudades> el 1 de diciembre de 2014.

ILPES (Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social). 2012. Panorama del desarrollo territorial en América Latina y El Caribe. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Santiago de Chile, Chile.

INGESAM LTDA. (Ingeniería de Saneamiento Ambiental). 2007. Contrato N°2005-0189. Estudio de factibilidad para la recuperación y mantenimiento de la calidad de la cuenca del río Chinchiná - Fase I. Componente 1. Estudio de Factibilidad Técnica, Socio-Económica y Ambiental. Informe Final. Aguas de Manizales S.A. E.S.P. Manizales, Colombia.

INSTITUTO CALDENSE DE CULTURA y LA PATRIA. 1999. Manizales, 150 años. Manizales, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA DE MÉXICO. 2004. Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Ciudad de México, México.

IROUMÉ, A. y UYTTENDAELE, P. G. Y. 2009. Cuantificación del transporte de sedimentos mediante mediciones directas y el uso de modelos empíricos en una cuenca experimental de la Cordillera de Los Andes, Sur de Chile. En: Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 32. N° 2. Págs. 143-151.

JARAMILLO, J. 1987. Diversidad Biológica de la Quebrada Minitas de la ciudad de Manizales. Universidad de Caldas, Facultad de Educación, Programa de Biología y Química. Manizales, Colombia.

JOURAVLEV, A. 2003. Los municipios y la gestión de recursos hídricos. Serie Recursos Naturales e Infraestructura N° 66. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Santiago de Chile, Chile.

KINGSFORD, R.T. y BIGGS, H.C. 2012. Strategic adaptive management guidelines for effective conservation of freshwater ecosystems in and around protected areas of the world. IUCN WCPA Freshwater Taskforce, Australian Wetlands and Rivers Centre. Sydney, Australia.

KOITER, A. J.; OWENS, P.N.; PETTICREW, E.L. y LOBB, D.A. 2013. The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for identifying sediment sources in river basins. En: *Earth-Science Reviews*. Vol. 125. Págs. 24–42.

KONDOLF, G. M. y PIEGAY, H. 2003. *Tools in fluvial geomorphology*. Jhon Wiley & Sons Ltda. England.

KRAEMER, F. B.; CHAGAS, C. I.; VÁZQUEZ, G.; PALACÍN, E. A.; SANTANATOGLIA, O. J.; CASTIGLIONI, M. G. y MASSOBRIO, M. J. 2011. Aplicación del modelo hidrológico-swat-en una microcuenca agrícola de la Pampa ondulada. En: *Ciencia del suelo*. Vol. 29. N° 1. Págs. 75-82.

KRÓLAK, E.; STRZALEK, M. y KORYCIŃSKA, M. 2009. The usefulness of various indices in the assessment of water quality of a lowland river. En: *Ecology and Hydrobiology*. Vol. 9. N° 2-4. Págs. 271-280.

LA PATRIA Digital, 2012. Los planes de desarrollo, entre continuidad e incumplimiento. Obtenido desde <http://www.lapatria.com/en-domingo/los-planes-de-desarrollo-entre-continuidad-e-incumplimiento-7584#sthash.1911g2FC.dpuf> el 7 de diciembre de 2014.

LA PATRIA, Digital. 2013. Foto En: La cancha del barrio Villa Julia está a un lado de la quebrada Olivares, la comunidad espera que les construyan una nueva. Obtenido desde <http://www.lapatria.com/denuncie/la-cancha-de-villa-julia-sigue-esperando-48225> el 13 de noviembre de 2013.

LASSO, C. A. y MORALES, M. A. 2011. Catálogo de los Recursos Pesqueros Continentales de Colombia: Memoria Técnica y Explicativa, Resumen Ejecutivo - Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) - IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D. C., Colombia.

LASSO, C. A.; ROSA, R.S.; SÁNCHEZ, P.; MORALES, M.A. y AGUDELO, E. (Eds.). 2013. IX Rayas de Agua Dulce (potamotrygonidae) de Suramérica Parte I – Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Brasil, Guyana, Surinam, y Guyana Francesa: diversidad, bioecología, uso y conservación- Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D. C., Colombia.

LASSO, C.A.; AGUDELO, E.; JIMÉNEZ, L.F.; RAMÍREZ, H.; MORALES, M.A.; AJIACO, R.E.; GUTIÉRREZ, F.P.; USMA, J.S.; MUÑOZ, S.E. y SANABRIA, A.I. (Eds.). 2011. I Catálogo de los Recursos Pesqueros Continentales de Colombia - Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D. C., Colombia.

LI, L.; BINGHUI, Z. y LUSAN, L. 2010. Biomonitoring and bioindicators used por river ecosystems: definitions, approaches and trends. En: *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 2. Págs. 1510-1524.

LONDOÑO, B. 1998. Las Organizaciones No Gubernamentales Ambientales Colombianas y su ejercicio de las herramientas de participación institucionalizada. En: Rodríguez, M. (Editor). *Gobernabilidad, Instituciones y Medio Ambiente en Colombia*. Foro Nacional Ambiental. Colombia.



LONDOÑO, D.B. 2005. Propuesta metodológica para el levantamiento sanitario de una corriente superficial caso tipo: Quebrada Minitas. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Especialista en Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería.

LÓPEZ, J. C. y RIVERA, A. F. 2010. Caracterización petrográfica del área comprendida entre el sector puente Quebrada Olivares y el sector de la vereda Maracas al norte del municipio de Manizales. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

LÓPEZ, P. A.; PARDO, A.; OCHOA, D. y ROSERO, S. 2012. Palinología de los sedimentos recientes del río Mira (Pacífico Colombiano). En: *Geología Colombiana*. Vol. 37. N° 1. Págs. 21-22.

LÓPEZ, C. E. y CANO, M. 2014. Sociedades y ambientes en la escala de larga duración en la cuenca del río Consota. En: Arias, C. (Compiladora). *Resignificación de la cuenca del Consota - Perspectivas ambientales del municipio de Pereira en sus 150 años*. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

LYTLE, D. A. y POFF, N. L. 2004. Adaptation to natural flow regimes. En: *TRENDS in Ecology and Evolution*. Vol. 19. N° 2.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) y U.N. de Colombia Sede Medellín (Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín). 2012. Guía para el acotamiento de las rondas hídricas de los cuerpos agua de acuerdo a lo establecido en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011-Plan Nacional de Desarrollo, Informe Final Contrato Interadministrativo N° 377 de 2012. Versión preliminar. Colombia.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2012a. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). Colombia.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2012b. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá D.C. Colombia.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2013a. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Colombia.

\_\_\_\_\_. 2013b. Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Bogotá D.C. Colombia.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). s.f. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico. Versión preliminar. Colombia.

MAGDALENO, F. 2012. ¿Cómo se restaura hidrológicamente un río? Notas Técnicas del CIREF N° 5 de 2012. CIREF (Centro Ibérico de Restauración Fluvial).

MAGDALENO, F.; MARTÍNEZ, R. y ROCH, V. 2010. Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. En: *Ingeniería Civil*. N° 157. Págs. 85-96.

MANCE, H. 2008. La política de la sostenibilidad: ascenso y declive del Ministerio de Medio Ambiente Colombiano. En: Rodríguez, M. (Editor). *Gobernabilidad, Instituciones y Medio Ambiente en Colombia*. Foro Nacional Ambiental. Colombia.

MARÍN, L. Y VILLADA, D. 2013. Evaluación del proyecto de quemado de biogás enfocado a los mecanismos de producción más limpia en el Relleno La Esmeralda, Manizales (Caldas), basado en los resultados obtenidos en el Relleno Sanitario de Antanas, Pasto (Nariño). Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (M.Sc. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas.

MARTÍNEZ, C. y FERNÁNDEZ, J.A. 2008. Índices de Alteración Hidrológica en Ríos-IAHRIS, Manual de Referencia Metodológica Versión 1. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

MARTNER, R. y MÁTTAR, J. (Compiladores). 2012. Los fundamentos de la planificación del desarrollo en América Latina y El Caribe: Textos seleccionados del ILPES (1962-1972). CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Santiago de Chile, Chile.

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) y QUINAXI. 2007. Plan Nacional de Investigación Ambiental. Bogotá D. C., Colombia.

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2003. Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación – Guía Metodológica. Bogotá D.C., Colombia.

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) y ACCEFYN, U.N. de Colombia Sede Bogotá (Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá). 2010. Guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas. Colombia.

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2010a. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C., Colombia.

\_\_\_\_\_2010b. Presentación “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico”. Colombia.

\_\_\_\_\_2010c. Presentación “Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos”. Colombia.

\_\_\_\_\_2010d. Presentación “Propuestas de reglamentación de caudales ambientales”. Colombia

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2011a. Presentación “Nueva institucionalidad para la gestión integral del recurso hídrico”. Colombia

\_\_\_\_\_2011b. Presentación “Instrumentos de planificación, administración y seguimiento a la gestión integral del recurso hídrico en Colombia”. Colombia.

MAZOUZ, R; ASSANI, A. A. y RODRÍGUEZ, M.A. 2013. Application of redundancy analysis to hidroclimatology: A case study of spring heavy floods in southern Québec (Canada). En: Journal of Hydrology. Vol 496. Págs. 187-194.

MEZA, A. M.; RUBIO, J.; G-DÍAZ, L. y M-WALTEROS, J. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. En: Caldasia. Vol. 34. Págs. 443-456.

MINISTERIO DE MINAS Y PETRÓLEOS. 1940. Informe geológico sobre los trazados proyectados para el acueducto de Manizales. Bogotá D.C., Colombia

MIRANDA, M. y SAUER, A. 2010. Mine the Gap: Connecting Water Risks and Disclosure in the Mining Sector. WRI Working Paper. World Resources Institute. Washington DC., U.S.A.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 1998. Lineamientos para la política nacional de ordenamiento ambiental del territorio (Documento para discusión). Bogotá D.C., Colombia.

MOJICA, J.V.; USMA, J.S.; ÁLVAREZ, R. y LASSO, C.A. (Eds.). 2012. Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt), Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá D.C., Colombia.

MONTOYA, C. y OSPINA, G. 2004. Análisis del grado de susceptibilidad a la ocurrencia de procesos erosivos en la parte alta de la cuenca de la Quebrada Olivares y análisis de amenaza por inundación en el tramo comprendido entre el sector de Aguas de Manizales y el puente que une los barrios Minitas-La Sultana. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

MONTOYA, Y. y AGUIRRE, N. 2013. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. En: Revista Gestión y Ambiente. Vol. 16. Págs. 91-117.

MONTOYA, Y. y MONTOYA, B. 2009. Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia. En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol. 8. N° 15. Págs. 11-29.

MONTOYA, Y.; ACOSTA, Y. y ZULUAGA, E. 2011. Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. En: Caldasia. Vol. 33. Págs. 193-210.

MUJICA, N. y RINCÓN, S. 2010. El concepto de desarrollo: posiciones teóricas más relevantes. En: Revista Venezolana de Gerencia. Año 15. N° 50. Págs. 294-320.

NARANJO, J. L. y RÍOS, P. A. 1989. Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos (Informe Final). Universidad de Caldas, Facultad de Geología y Minas. Manizales, Colombia.

NARVÁEZ, D. F. 2007. Análisis de la lluvia como elemento detonante en la ocurrencia de movimientos en masa en las comunas Atardeceres y Macarena sector occidental de la ciudad de Manizales. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (M.Sc. Medio Ambiente y Desarrollo). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

NORIEGA, S.; CABALLERO, J. H. y RENDÓN, A. 2012. Estudio morfotectónico de un tramo del río Herradura entre los municipios de Frontino y Abriaquí, Departamento de Antioquia, Cordillera Occidental de Colombia. Geología Colombiana. Vol. 37. N° 1. Págs. 49-50.

NÚÑEZ, C. A. y MADERO, E. E. 2009. Cambios en coberturas de áreas y usos del suelo en tres humedales en el Valle del Cauca. En: Acta Agronómica. Vol. 58. Págs. 308-315.

OFICINA DE ESTADÍSTICA DEPARTAMENTAL. 1929. Censo de Población del año 1928 Departamento de Caldas. Manizales, Colombia.

OLLERO, A. 2009. Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro, Guía Metodológica. Zaragoza, España.

OLLERO, A. y GARCÍA, R.R. 2007. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos – Mesas de Trabajo: Las Alteraciones Geomorfológicas de los Ríos. Ministerio de Medio Ambiente – Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

OLLERO, A.; BALLARÍN, D.; DÍAZ, E.; MORA, D.; SÁNCHEZ, M.; ACÍN, V.; ECHEVERRÍA, M.T.; GRANADO, D.; GONZÁLEZ, A. I.; SÁNCHEZ, L. y SÁNCHEZ, N. 2007. Un Índice Hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. En: *Geographicalia*. Vol. 52. Págs. 113-141.

ORDEIX, M.; CAMPRODON, J. y GUIXÉ, D. 2012. Metodologías de diagnóstico y evaluación del estado ecológico y la biodiversidad en restauraciones fluviales. En: Camprodon, J; Ferreira, M. T. y Ordeix, M. (Editores). *Restauración y gestión ecológica fluvial, un manual de buenas prácticas de gestión de ríos y riberas*. Proyecto UE Interreg IVB Sudoe RICOVER. Cataluña.

ORR, H. G.; LARGE, A. R. G.; NEWSON, M. D. y WALSH, C. L. 2008. A predictive typology for characterising hydromorphology. En: *Geomorphology*. Vol. 100. Págs. 32–40.

OSORIO, C. 2006. Zonificación de susceptibilidad a movimientos de masa en la Reserva Forestal Protectora del Río Blanco. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

OTERO, I. y BOADA, M. 2007. Perspectiva socioecológica en el análisis de espacios naturales protegidos de la Región Metropolitana de Barcelona (España). En: *Investigación*. Vol. 10. Nº 4. Págs. 125-130.

PÁEZ, V.P.; MORALES, M.A.; LASSO, C.A.; CASTAÑO, O.V. y BOCK, B.C. (Eds.). 2012. *V Biología y Conservación de las Tortugas Continentales de Colombia - Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia*. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D. C., Colombia.

PAHL-WOSTL, C.; ARTHINGTON, A.; BOGARDI, J.; BUNN, S. E.; HOFF, H.; LEBEL, L.; NIKITINA, E.; PALMER, M.; POFF, N. L.; RICHARDS, K.; SCHLUTER, M.; SCHULZE, R.; ST-HILAIRE, A.; THARME, R.; TOCKNER, K. y TSEGA, D. 2013. Environmental flows and water governance: managing sustainable water uses. En: *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 5. Págs. 341-351.

PAREDES, L. A. 1995. Levantamiento ambiental de un tramo de la Quebrada Minitas en el municipio de Manizales. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Especialista en Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería.

PAZ, S. M.; MUÑOZ, V.; ECHEVERRI, A. F. y URRUTIA, N. 2012. Escenario de demanda hídrica agrícola para la optimización del riego de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca del río Guabas. En: *Informador Técnico (Colombia)*. Edición 76. Págs. 5-12.

PÉREZ, J. S. y BOHÓRQUEZ, V. L. 2012. Evaluación de la calidad del agua de la Quebrada Olivares (Caldas - Colombia). Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Biólogo) Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Biología.

PÉREZ, M. A. 2014. El mapeo de las injusticias ambientales en Colombia: Un análisis preliminar de 72 casos de conflictos socio-ambientales. Resumen. CINARA, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

POFF, N. L. y MATHEWS, J. H. 2013. Environmental flows in the Anthropocene: past progress and future prospects. En: *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 5. Págs. 667-675.

POSADA, L. 1994. Transporte de sedimentos. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Minas. Medellín, Colombia.

POSADA, L. y LOZANO, G. 2004. Exploración semidetallada de material de arrastre en la cuenca del río La Vieja. En: XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Armenia, Colombia.

QUINONEZ, O. V. 2007. Aplicación del sistema de clasificación fluvial de Rosgen en arroyos urbanos de la región oeste del estado de Paraná (Brasil). En: Evento AGUA 2011 "Ecosistemas y Sociedad", CINARA-Universidad del Valle. Cali, Valle.

QUINTERO, O. Q. 2009. Caracterización de procesos erosivos y movimientos en masa en la ciudad de Manizales, durante el periodo 2006- 2009 con fines a la actualización de la base de datos de la Corporación Autónoma Regional de Caldas. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

RAMÍREZ, D.P.; TRESPALACIOS, O.L.; RUIZ, F.L. y OTERO, J. 2008. Oportunidades para la conservación de la biodiversidad local: Conectividad ecológica en la zona urbano-rural de la localidad de Suba. IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá D.C., Colombia.

REDONDO, S. y RODRÍGUEZ, E. 2011. Análisis de incertidumbre hidrológica en caudales ambientales en el ámbito Colombiano. Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH). En: Evento AGUA 2011 "Ecosistemas y Sociedad", CINARA-Universidad del Valle. Cali, Valle.

RENJIFO, L.M; FRANCO, A.M.; AMAYA, J.D.; KATTAN, G.H. y LÓPEZ, B. (Eds.). 2002. Libro Rojo de Aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. IAvH (Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt) y MMA (Ministerio del Medio Ambiente). Bogotá D.C., Colombia.

RODRÍGUEZ, J. C. 2008. Estudio comparativo de técnicas estadística multivariada versus las redes neuronales artificiales en el análisis de datos de calidad de agua. Bogotá D.C., Colombia. Trabajo de Grado (M.Sc. en Hidrosistemas). Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ingeniería.

ROJAS, J. R. y TOBAR, M. A. 2012. Inventario de obras de infraestructura en la Quebrada Olivares – Minitas. Manizales, Colombia. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil) Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

ROLLS, R. J. y ARTHINGTON, A. H. 2014. How do low magnitudes of hydrologic alteration impact riverine fish populations and assemblage characteristics? En: Ecological Indicators. Vol. 39. Págs. 179-188.

RUIMIN, L.; JIAWEI, W.; JIANHAN, S.; YAXIN, C.; CHENGCHUN, S.; PEIPEI, Z. y ZHENYAO, S. 2014. Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions. En: Science of The Total Environment. Vol. 468-469. Págs. 1069-1077.

SABAS, C. A. y PAREDES, D. 2009. Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río Barbas. En: Scientia et Technica. Año XV. N° 42. Págs. 405-410.

SALAS, M.; IBÁÑEZ, L. A.; ARTEAGA, R.; MARTÍNEZ, M. R. y FERNÁNDEZ, D. S. 2014. Modelado hidrológico de la cuenca del Río Mixteco en el Estado de Oaxaca, México. En: Agrociencia. Vol. 48. N° 1. Pags. 1-15.

SAMBONI, N. E.; CARVAJAL, Y. y ESCOBAR, J. C. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. En: Revista Ingeniería e Investigación. Vol. 27. Nº 3. Págs. 172-181.

SÁNCHEZ, J. A. y OLLERO, A. 2003. Aplicación de la clasificación de Rosgen al río Gállego y protocolo para su aplicación a los ríos de la cuenca del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente. Zaragoza, España.

SÁNCHEZ, L. F. 2003. Diagnóstico del estado actual del conocer, conservar y utilizar - Plan de Acción Regional para la Orinoquia - Caracterización de los grupos humanos rurales de la cuenca hidrográfica del Orinoco en Colombia, Informe Final. IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). Bogotá, D.C. Colombia.

SÁNCHEZ, J. J. y POSADA, L. 2011. Rasgos morfológicos de arroyos en la Guajira Colombiana. En: Memorias del Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Santiago del Estero, Argentina.

SANDOVAL, C. 2014. Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina. Serie Desarrollo Territorial Nº 17. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Santiago de Chile, Chile.

SANÍN, D.; MANCERA, J. C.; CASTAÑO, N.; ALZATE, N. F.; GONZÁLEZ, G. y ÁLVAREZ, L. M. 2007. Catálogo preliminar de las plantas vasculares de la Reserva Forestal Protectora "Río Blanco" (Manizales, Caldas, Colombia). En: Boletín Científico - Centro de Museos - Museo de Historia Natural. Vol. 10. Págs. 19-44.

SANTANA, L. M. y SALAS, J. 2007. Análisis de cambios en la ocupación del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes LANDSAT. En: GeoFocus. Nº 7. Págs. 281-313.

Sevilla, V. A.; Comerma, J. A. y Silva, O. 2009. Caracterización de la cuenca del río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. I. Análisis climático y de producción de agua. En: Agronomía Tropical. Vol. 59. Nº 1. Págs. 33-44.

SHORE, M.; MURPHY, P.N.C.; JORDAN, P.; MELLANDER, P.E.; KELLY-QUINN, M.; CUSHEN, M.; MECHAN, S.; SHINE, O. y MELLAND, A.R. 2013. Evaluation of a surface hydrological connectivity index in agricultural catchments. En: Environmental Modelling & Software. Vol. 47. Págs. 7-15.

SILVA, A. M. y RUBIO, M. L. 2013. Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías. En: Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía. Vol. 23. Nº 1. Págs. 133-146.

SOLA, C.; ORDEIX, M.; POU-ROVIRA, Q.; SELLARES, N.; QUERALT, A.; BARDINA, M.; CASAMITJANA, A. y MUNNÉ, A. 2011. Longitudinal connectivity in hydromorphological quality assessments of rivers. The ICF index: A river connectivity index and its application to Catalan rivers. En: Limnetica. Vol. 30. Págs. 273-292.

STEVAUX, J. C.; CORRADINI, F. A. y AQUINO, S. 2013. Connectivity processes and riparian vegetation of the upper Paraná River, Brazil. En: Journal of South American Earth Sciences. Vol. 46. Págs. 113-121.

TÉLLEZ, P.; PETRY, P.; WALSCHBURGER, T.; APSE, C. y HIGGINS, J. 2013. Priorización de áreas de conservación y manejo de ecosistemas de agua dulce en la cuenca del río Magdalena – Cauca. En: Guerra, A.; Santamaría, M. y Matallana, C. (Editores). Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Avances construidos desde la Mesa de Investigación y Monitoreo entre 2009 y 2012. IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt) y PNNC (Parques Nacionales Naturales de Colombia). Bogotá D. C., Colombia.

TOBASURA, I. 2009. Augusto Ángel Maya: Aportes de Caldas al pensamiento y movimiento ambiental colombiano. En: Revista Luna Azul. N° 28. Págs. 57-67.

TOSHIO, S.; MANZOOR, Q.; SADAHIRO, Y.; TSUNEYOSHI, E. y AHMAD, Z. 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. En: Agricultural Water Management. Vol. 130. Págs. 1-13.

TRUJILLO F.; USMA, S.; RICAURTE, L.F. y DIAZGRANADOS, M.C. 2013. Inclusión de ecosistemas acuáticos como objetos de conservación en áreas protegidas: Amazonia como caso de estudio. En: Guerra, A.; Santamaría, M. y Matallana, C. (Editores). Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Avances construidos desde la Mesa de Investigación y Monitoreo entre 2009 y 2012. IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt) y PNNC (Parques Nacionales Naturales de Colombia). Bogotá D. C., Colombia.

TRUJILLO, A. 2007. Manizales 70 años de historia de 1925 a 1995. Vol. 1. Manizales, Colombia.

TRUJILLO, F.; GÄRTNER, A.; CAICEDO, D. y M. C. DIAZGRANADOS (Eds.). 2013. Diagnóstico del estado de conocimiento y conservación de los mamíferos acuáticos en Colombia. MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), Fundación Omacha, Conservación Internacional y WWF. Bogotá D.C., Colombia.

U.N. de Colombia (Universidad Nacional de Colombia) - Centro de Estudios Sociales e INDERENA (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente). 1990. Diagnóstico ambiental integrado de las Quebradas Olivares, Manizales y El Rosario. Bogotá D.C., Colombia.

U.N. de Colombia Sede Medellín (Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín). 2011. HIDROSIG 4.0 Manual de Usuario. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2014. [En Línea]. Escenarios hidrológicos mundiales en el 2050: explorar los futuros alternativos de los recursos hídricos del planeta y su uso en el 2050. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/world-water-scenarios/> [Consulta: 26 de febrero de 2014].

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y WWAP (Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos). 2006. 2do Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo “El agua una responsabilidad compartida”. Zaragoza, España.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y WWAP (Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos). 2003. 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo “Agua para todos, agua para la vida” – Resumen Ejecutivo. España.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) y WWAP (World Water Assessment Programme). 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, France.

VALENCIA, A. 2010. Raíces en el tiempo – La región Caldense. Manizales, Colombia.

VARGAS, G. 2012. Geología, Geomorfología y Dinámica Fluvial Aplicada a Hidráulica de Ríos. XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Barranquilla, Colombia.

VAUGHAN, I. P.; MERRIX-JONES, F. L. y CONSTANTINE, J. A. 2013. Successful predictions of river characteristics across England and Wales based on ordination. En: *Geomorphology*. Vol. 194. Págs. 121–131.

VÉLEZ, J. 2011. Presentación Curso Modelación Hidrológica de Cuencas: Módulo III “Geomorfología”. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Línea de Investigación en Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, Colombia.

VÉLEZ, J. I. 2013. Estrategia de simulación hidrológica distribuida: integración conceptual de hidrología, hidráulica y geomorfología. En: *Revista Academia Colombiana de Ciencias*. Vol. XXXVII. Nº 144. Págs. 393-409.

VIÉ, J.C.; HILTON, C. y STUART, S.N. (Eds.). 2008. *Wildlife in a changing world: an analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). Gland, Switzerland.

Visor Google Maps. Obtenido desde <https://www.google.es/maps/place/Manizales,+Caldas,+Colombia/@5.074065,-75.49767,24451m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0x8e476f9170e6be43:0x554ce06678120a7a> el 17 de septiembre de 2013.

Visor Yahoo Maps. Powered by ESRI. Obtenido desde <https://espanol.maps.yahoo.com/place/?lat=5.070767724488127&lon=-75.49100875854492&t=h&bb=5.11847204%2C-75.57435036%2C5.02305988%2C-75.40766716&addr=Manizales%2C%20Colombia> el 17 de septiembre de 2013.

VON HESSBERG, C. M. H.; TORO, D.R.; GRAJALES-QUINTERO, A.; DUQUE-QUINTERO, G.M. y SERNA-URIBE, L. 2009. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. En: *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural*. Vol. 13. Págs. 89-105.

VON SPERLING, M. 2012. Introducción a la calidad del agua y el tratamiento de aguas residuales. Universidad Federal de Minas Gerais. Universidad de Nariño - Sánchez, I. (Ed.). Minas Gerais, Brasil.

WEI, O.; KAIYU, S.; XUELEI, W. y FANGHUA, H. 2014. Non-point source pollution dynamics under long-term agricultural development and relationship with landscape dynamics. En: *Ecological Indicators*. Vol. 45. Págs. 579–589.

WU, Y. Y CHEN, J. 2012. Investigating the effects of point source and nonpoint source pollution on the water quality of the East River (Dongjiang) in South China. En: *Ecological Indicators* Vol. 32. Págs. 294-304.



YONGXUAN, G.; VOGEL, R. M.; KROLL, C. N.; POFF, N. y OLDEN, J. D. 2009. Development of representative indicators of hydrologic alteration. En: *Journal of Hydrology*. Vol 374. Págs. 136-147.

ZAMBRANO, F. 2004. Historia de la localidad de Tunjuelito. El poblamiento del Valle Medio del río Tunjuelo. Bogotá D.C., Colombia.

ZHENYAO, S.; JIALI, Q.; QIAN, H. y LEI, C. 2014. Simulation of spatial and temporal distributions of non-point source pollution load in the Three Gorges Reservoir Region. En: *Science of the Total Environment*. Vol. 493. Págs. 138-146.

## **7. Lista de anexos**

Anexo 1. Análisis de resultados de caracterizaciones físico-químicas y biológicas de la Q. Olivares-Minitas (Digital)

Anexo 2. Secciones transversales de la Q. Olivares-Minitas (Montoya y Ospina, 2004) (Digital)

Anexo 3. Secciones transversales de la Q. Olivares-Minitas (Gómez, 2009) (Digital)

Anexo 4. Evaluación preliminar del grado de cobertura y continuidad longitudinal de la vegetación riparia de la Q. Olivares-Minitas (Digital)