



INFORME EJECUTIVO

Fase de Diagnóstico

POMCA Subzona Hidrográfica 2631
Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijos,
Yotoco, Mediacanoa y Piedras



**FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA SUBZONA
HIDROGRÁFICA 2631: ARROYOHONDO, YUMBO, MULALÓ, VIJES, YOTOCO,
MEDIACANOA Y PIEDRAS**



CONTRATO CVC No. 650 DE 2017

**FASE DE DIAGNÓSTICO
INFORME EJECUTIVO**

SUPERVISOR CVC:
Flor Inés Marín Acosta
Dirección de Planeación

REPRESENTANTE LEGAL FUNDACIÓN PROAGUA:
John Jairo Daza Basto



Santiago de Cali
Agosto de 2019

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. CONFORMACIÓN DEL CONSEJO DE CUENCA.....	15
2. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA.....	17
3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO-BIÓTICO.....	19
3.1. CLIMA.....	19
3.1.1. Zonificación climática.....	23
3.1.2. Variabilidad Climática.....	24
3.1.3. Análisis de clima incluyendo cambio climático.....	25
3.2. GEOLOGÍA.....	26
3.2.1. Marco Geológico Regional.....	26
3.2.2. Geología a escala media con fines de ordenamiento (escala 1:25.000).....	28
3.2.3. Unidades geológicas superficiales (UGS).....	30
3.2.4. Exploración del subsuelo (geofísica y ensayos de laboratorio).....	31
3.3. HIDROGEOLOGÍA.....	32
3.3.1. Caracterización de unidades hidrogeológicas.....	33
3.3.2. Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC).....	36
3.4. HIDROGRAFÍA.....	38
3.5. MORFOMETRÍA.....	39
3.6. PENDIENTES.....	40
3.7. HIDROLOGÍA.....	41
3.7.1. Modelación Hidrológica.....	42
3.7.2. Caudales medios mensuales.....	44
3.7.3. Análisis de Frecuencias de Eventos Máximos y Mínimos de caudales diarios.....	45
3.7.4. Balance Hídrico Mensual del Suelo.....	46
3.7.5. Oferta Hídrica.....	47
3.7.6. Rendimientos Hídricos.....	48
3.7.7. Caudal ambiental.....	49
3.7.8. Demanda hídrica sectorial.....	49
3.8. CALIDAD DE AGUA.....	52
3.8.1. Análisis históricos de los índices.....	55
3.8.2. Índice de Alteración de la Calidad del Agua.....	56
3.8.3. Identificación de actividades y factores de contaminación en aguas y suelo.....	57
3.9. GEOMORFOLOGÍA.....	59
3.9.1. Marco geomorfológico regional.....	60
3.9.2. Unidades geomorfológicas.....	60
3.9.3. Análisis Geomorfológico.....	61
3.9.4. Geomorfología con fines edafológicos.....	62
3.9.5. Geomorfología con la metodología del SGC y Carvajal 2012.....	63
3.10. CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS.....	66
3.10.1. Unidades de capacidad de uso de las tierras.....	66

3.10.2. Descripción de las unidades de capacidad de uso	66
3.10.3. Uso principal propuesto de la tierra.....	67
3.11. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	68
3.11.1. Coberturas de la Tierra.....	69
3.11.2. Uso del Suelo	69
3.11.3. Análisis Multitemporal	69
3.12. ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD - ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL	72
3.12.1. Ecosistemas	75
3.12.2. Flora	76
3.12.3. Fauna	77
3.13. ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE LOS BOSQUES	78
3.13.1. Análisis de conectividad entre coberturas.....	78
3.13.2. Modelamiento espacial de nichos ecológicos en Anuros	79
4. CARACTERIZACIÓN SOCIAL, CULTURAL Y ECONÓMICA	80
4.1. CARACTERIZACIÓN SOCIAL Y CULTURAL.....	80
4.1.1. Análisis demográfico.....	80
4.1.2. Análisis de servicios sociales existentes.....	83
4.1.3. Análisis del tamaño predial, asociado a la unidad agrícola familiar (UAF)	84
4.1.4. Análisis de pobreza y desigualdad.....	85
4.1.5. Análisis de la situación de seguridad alimentaria.....	86
4.1.6. Análisis descriptivo de los temas de seguridad y convivencia	86
4.1.7. Descripción del sistema cultural, prácticas culturales y sitios de especial interés cultural y arqueológico	87
4.2. CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS ECONÓMICOS.....	89
4.2.1. Caracterización y análisis de sectores económicos.....	90
<i>Sector primario</i>	90
<i>Sector secundario</i>	90
<i>Sector terciario</i>	90
5. CARACTERIZACIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA	91
5.1. OFERTA INSTITUCIONAL EN PERSPECTIVA AMBIENTAL	91
5.2. DESCRIPCIÓN DE INSTANCIAS DE PARTICIPACIÓN Y ACTORES SOCIALES.....	92
5.3. ANÁLISIS DE LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y DE ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES	94
6. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA	98
6.1. CONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LAS RELACIONES FUNCIONALES Y PRODUCTIVAS.....	98
6.1.1. El Poblamiento	98
6.1.2. Infraestructuras de Comunicación	100
6.1.3. Ocupación Productiva	101
6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES RELACIONES Y VÍNCULOS DE USO Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS	103
6.2.1. Infraestructuras de la Subzona Hidrográfica	103
6.2.2. Los asentamientos y los territorios rurales.....	105

6.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES RELACIONES Y VÍNCULOS SOCIOECONÓMICOS URBANOS, RURALES Y REGIONALES	106
6.4. SÍNTESIS DE LAS RELACIONES FUNCIONALES Y SOCIOECONÓMICAS DEL TERRITORIO	108
7. CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS Y LAS ÁREAS INDICADORAS DE CONDICIONES DE AMENAZA Y RIESGO.....	113
7.1. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZA Y EVENTOS AMENAZANTES	113
7.1.1. Análisis de eventos históricos	113
7.1.2. Análisis de periodos de ocurrencia	115
7.2. IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA	116
7.2.1. Movimientos en masa (MM)	116
7.2.2. Inundaciones	128
7.2.3. Avenidas Torrenciales.....	132
7.2.4. Incendios forestales	137
7.3. ANÁLISIS DE ÁREAS INDICADORAS DE CONDICIÓN DE AMENAZA Y RIESGO	144
8. ANÁLISIS SITUACIONAL	149
8.1. ANÁLISIS DE POTENCIALIDADES, LIMITANTES Y CONDICIONAMIENTOS.....	149
8.2. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CONFLICTOS POR USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES.....	153
8.2.1. Conflictos ambientales latentes y manifiestos	153
8.2.2. Conflicto por pérdida de cobertura en áreas y ecosistemas estratégicos	154
8.2.3. Conflicto por uso del suelo	155
8.2.4. Conflicto por uso del agua.....	157
9. SÍNTESIS AMBIENTAL.....	159
9.1. PROBLEMAS.....	159
9.1.1. Identificación de problemas	159
9.2. CONFLICTOS.....	162
9.2.1. Conflicto por recursos naturales	162
9.3. ÁREAS CRÍTICAS.....	164
9.4. CONSOLIDACIÓN DE LÍNEA BASE DE INDICADORES DE DIAGNÓSTICO	166
10. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS.....	170
10.1. ESPACIOS DE RETROALIMENTACIÓN TÉCNICA	170
10.2. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE PARTICIPACIÓN Y COMUNICACIÓN	170
10.2.1. Conformación del colectivo de comunicación	171
10.2.2. Productos de divulgación	171
BIBLIOGRAFÍA.....	172

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Miembros del Consejo de Cuenca - SZH 2631	16
Tabla 2. Área y porcentaje de las cuencas que conforman la SZH	18
Tabla 3. Resumen recarga cuencas SZH 2631	35
Tabla 4. Jerarquización de drenaje, relación de bifurcación y longitud para los cauces de la SZH	39
Tabla 5. Porcentaje del terreno en la SZH, según la pendiente en porcentaje	40
Tabla 6. Información de las estaciones hidrológicas.....	42
Tabla 7. Caudal máximo diario en m ³ /s para diferentes periodos de retorno (Tr) con LogPearsonIII... 46	46
Tabla 8. Caudal máximo diario en m ³ /s para diferentes periodos de retorno (Tr).....	46
Tabla 9. Balance Hídrico Mensual en el suelo para cada una de las cuencas de la SZH Excedente (mm)	47
Tabla 10. Rendimiento Hídrico medio mensual y anual de las cuencas de la SZH (L/s-Km ²)	49
Tabla 11. Caudal Ecológico (ambiental) y disponible para año normal y seco (L/s).....	49
Tabla 12. Demanda total de agua según actividad económica (L/s)	50
Tabla 13. Humedales de la SZH por municipio	52
Tabla 14. Categoría y descriptor del IACAL.....	56
Tabla 15. Unidades Geomorfológicas de la SZH 2631.....	60
Tabla 16 Geomorfología edafológica de Zinck 1987 - 2012.....	62
Tabla 17. Ambientes Morfogenéticos.....	64
Tabla 18. Subunidades Geomorfológicas.	64
Tabla 19. Clases de suelo de la SZH 2631.....	67
Tabla 20. Grupos de unidades de Cobertura.	69
Tabla 21. Cambios entre los periodos. Área en hectáreas (ha)	71
Tabla 22. Áreas Protegidas SZH 2631	72
Tabla 23. Áreas de Importancia Ecosistémica.....	73
Tabla 24. Ecosistemas presentes en la SZH 2631	75
Tabla 25. Especies Invasoras	77
Tabla 26. Población proyectada: Totales, urbana y rural 1985-2020.....	81
Tabla 27. Población rural dispersa por cuencas	81
Tabla 28. Población urbana y total	82
Tabla 29. Personas desplazadas.....	82
Tabla 30. Cobertura del Servicio de Educación - Instituciones Educativas (I.E)	83
Tabla 31. Número de viviendas en los municipios de la SZH 2631.....	83
Tabla 32. Sitios de interés arqueológico y cultural de la SZH 2631	88
Tabla 33. Comunidades étnicas con presencia en la SZH 2631	88
Tabla 34. Instancias de Participación identificadas en la SZH 2631	93
Tabla 35. Organizaciones Ciudadanas presentes en la SZH 2631.....	94
Tabla 36. Instrumentos de Planificación con carácter ambiental en la SZH 2631	95
Tabla 37. Clasificación de asentamientos urbanos y rurales en la SZH 2631	106
Tabla 38. ZF01 - Zona de producción intensiva de la conurbación metropolitana.....	109
Tabla 39. ZF02 - Zona residencial campestre de la conurbación metropolitana	109
Tabla 40. ZF03 - Zona urbano-rural de cabecera funcional principal.....	110
Tabla 41. ZF02 - Zona residencial campestre de la conurbación metropolitana	110

Tabla 42. ZF05 – Zona transversal de actividad emergente.....	111
Tabla 43. ZF06 – Zona de ladera productiva cafetera y diversa.....	111
Tabla 44. ZF07 – Zona de producción en latifundio	112
Tabla 45. Interpretación de las Líneas de Refracción Sísmica realizadas en campo.....	118
Tabla 46. Leyendas del mapa de susceptibilidad	121
Tabla 47. Coberturas implementadas en el Modelo de Talud Infinito	125
Tabla 48. Iteraciones de Modelo de Talud Infinito	125
Tabla 49. Rangos de detonante lluvia y detonante sismo	126
Tabla 50. Amenaza por Movimientos en Masa (modelo 1)	128
Tabla 51. Categorías de Amenaza por Inundaciones	131
Tabla 52. Amenaza por eventos de inundación	131
Tabla 53. Principales procesos con influencia en avenidas torrenciales, identificados en la subzona... 135	
Tabla 54. Categorías de Amenaza por Avenidas Torrenciales	136
Tabla 55. Amenazas por Avenidas Torrenciales	137
Tabla 56. Mapas de información Base.....	137
Tabla 57. Variables relacionadas con la Amenaza de Ocurrencia de Incendios Forestales.....	139
Tabla 58. Área de amenaza para la SZH 2631.....	139
Tabla 59. Variables asociadas a la vulnerabilidad del recurso forestal ante los incendios	141
Tabla 60. Variables relacionadas con el Daño Potencial de los Incendios	141
Tabla 61. Áreas de Riesgo por Incendios Forestales	144
Tabla 62. Evaluación del conflicto por uso de la tierra en la en las cuencas de la SZH 2631	156
Tabla 63, Conflictos asociados al Suelo, Agua y Ecosistemas Estratégicos.	162
Tabla 64. Indicadores de línea base para la SZH.....	167

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de Elección del Consejo de Cuenca	16
Figura 2. Localización general de la SZH 2631	18
Figura 3. Isoyetas medias mensuales (mm) (1986 - 2016)	20
Figura 4. Comportamiento de la Precipitación Media Mensual (mm) (1986-2016).....	21
Figura 5. Comportamiento de la temperatura media mensual (°C) (1986-2016)	21
Figura 6. Zonificación climática de Caldas – Lang	23
Figura 7. Cambios en la producción hídrica de la SZH 2631.....	25
Figura 8. Mapa de geología regional según el SGC y la CVC	27
Figura 9. Unidades Geológicas Superficiales.....	31
Figura 10. Unidades hidrogeológicas de acuerdo con propiedades de transmisividad y almacenamiento	33
Figura 11. Modelo hidrogeológico conceptual del sector sur de la SZH 2631.	37
Figura 12. Subcuencas de la subzona hidrográfica	38
Figura 13. Pendientes en Porcentaje.....	41
Figura 14. Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS	42
Figura 15. Caudal simulado – caudal observado estación Salónica – Piedras	43

Figura 16. Comportamiento de los Valores Máximos, Promedios y Mínimos de las series de Caudal medio mensual interanual de los ríos de la SZH (L/s)	44
Figura 17. Caudal medio Anual (L/s)	45
Figura 18. Localización de puntos de captación identificados en la SZH 2631	51
Figura 19. Estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial	53
Figura 20. DQO río Cauca 2013 - 2016	54
Figura 21. Espacialización del IACAL para condiciones de año medio	57
Figura 22. Puntos de vertimientos identificados	59
Figura 23. Esquema de jerarquización geomorfológica	63
Figura 24. Cornisas Estructurales y Laderas Denudativas de la SZH 2631	65
Figura 25. Geomorfología según Carvajal.....	65
Figura 26. Uso principal propuesto de la tierra.....	68
Figura 27. Cobertura de la tierra SZH 2631.....	70
Figura 28. Áreas Protegidas	74
Figura 29. Áreas de especial importancia ecosistémica.....	74
Figura 30. Ubicación geográfica de los ecosistemas presentes en la SZH 2631.....	75
Figura 31. Especies Endémicas y Piedrangulares / Ecosistemas	77
Figura 32. Esquema Metodológico para la modelación de nicho para especies de anuros.....	80
Figura 33. Densidad poblacional por cuenca hidrográfica, año 2018.....	82
Figura 34. Distribución de predios en área (ha)	84
Figura 35. Distribución por área y número de predios	84
Figura 36. Delimitación predial catastral	85
Figura 37. Proporción de Personas con NBI	86
Figura 38. Caracterización de aspectos económicos	91
Figura 39. Ocupación histórica - Periodo Prehispánico.....	99
Figura 40. Ocupación histórica - Fundaciones de asentamientos	99
Figura 41. Ocupación histórica - Periodo Republicano y Siglo XX.....	101
Figura 42. Encuadre territorial de la SZH 2631	103
Figura 43. Corredores logísticos nacionales e índice de importancia económica municipal	107
Figura 44. Zonas funcionales de la SZH 2631	112
Figura 45. Localización de las entrevistas a las comunidades hechas en campo	114
Figura 46. Localización de eventos históricos.....	114
Figura 47. Frecuencia de ocurrencia (recurrencia) de los eventos Amenazantes	116
Figura 48. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000	117
Figura 49. Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.....	122
Figura 50. Probabilidad excedencia del detonante lluvia	123
Figura 51. Actividad sísmica en el área de estudio.....	124
Figura 52. Mapa de amenaza por Movimientos en Masa (modelo 1)	127
Figura 53. Zonificación de la susceptibilidad a eventos de inundaciones	130
Figura 54. Zonificación de la amenaza a eventos de inundación.....	132
Figura 55. Zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales	134
Figura 56. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales	136
Figura 57. Área de implementación de la metodología de prioridad de protección de incendios forestales	138

Figura 58. Amenaza por incendios forestales para la SZH 2631	140
Figura 59. Vulnerabilidad a incendios forestales	142
Figura 60. Daño potencial por incendios forestales	142
Figura 61. Prioridad de protección frente a incendios forestales	143
Figura 62. Riesgo por incendios forestales para la SZH 2631	143
Figura 63. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de avenidas torrenciales	145
Figura 64. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de incendios forestales.....	145
Figura 65. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de inundación	146
Figura 66. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de movimientos en masa	146
Figura 67. Áreas indicadoras de condición de riesgo por avenidas torrenciales.....	147
Figura 68. Áreas indicadoras de condición de riesgo por incendios	147
Figura 69. Áreas indicadoras de condición de riesgo por inundaciones	148
Figura 70. Áreas indicadoras de condición de riesgo por movimientos en masa	148
Figura 72. Distribución porcentual de eventos amenazantes (categoría alta) por cuenca. SZH 2631....	151
Figura 73. Conflicto por pérdida de coberturas en la SZH 2631	155
Figura 74. Conflicto por uso del suelo	156
Figura 75. Espacialización conflicto por uso del suelo en la SZH 2631	157
Figura 76. Espacialización conflicto por uso del agua - SZH 2631.....	158
Figura 77. Cruces de conflictos	163
Figura 78. Conflictos por uso y manejo de los recursos naturales.....	164
Figura 79. Áreas críticas SZH 2631.....	166
Figura 80. Caratula Programador.....	171
Figura 81. Propuesta Camisetas POMCA	171

LISTADO DE FOTOS

Foto 1. Instalación del Consejo de Cuenca	17
Foto 2. Sesión del Consejo de Cuenca (19-dic-18)	17
Foto 3. Trabajo de Campo.....	29
Foto 4. Panorámica de la microcuenca de la quebrada El Guabal, coordenadas 3.85803; -76.41019.....	29
Foto 5. Equipos de exploración geofísica y geotécnica en campo.....	32
Foto 6. Bocatoma de Algunos acueductos del Inventario de Infraestructura Hidráulica	52
Foto 7. RFPN Cerro Dapa Carisucio y Quebrada Guadualito y El Negrito.	73
Foto 8. Sitios de interés Cultural y Arqueológico	87
Foto 9. Actividad Denudativa y Movimientos en Masa - Cuencas Mediacanoa y Piedras.....	115
Foto 10. Actores sociales elaborando el Mapa Parlante de potencialidades (27-nov-19).....	149
Foto 11. Espacios de participación	170

INTRODUCCIÓN

La fase de diagnóstico permitió conocer la situación actual de la cuenca y abordar de manera integral las potencialidades, conflictos, limitantes y posibles restricciones ambientales y conocer las relaciones causa-efecto, las cuales serán el soporte para el desarrollo de las fases de prospectiva y zonificación ambiental y de formulación (MADS, 2014). Finaliza la fase con el análisis y evaluación de conflictos por uso y manejo de los recursos naturales que permiten construir el análisis situacional y la síntesis ambiental

Bajo este contexto y con base en el anexo técnico del contrato CVC 650 de 2017 y los lineamientos construidos conjuntamente con la CVC, se adelantó el diagnóstico de la SZH que comprende 4 municipios y 7 cuencas, localizadas entre el flanco oriental de la cordillera Occidental y el río Cauca. En su desarrollo se llevaron a cabo actividades para la conformación del consejo de cuenca, se implementó la estrategia de participación con actores sociales, se visitaron las cuencas de trabajo para recopilar información primaria en temas asociados al recurso hídrico, a la geología y a las características generales de suelos y rocas. Igualmente se realizó el análisis de información secundaria, los cálculos de áreas e índices que describen el estado de la SZH, las salidas cartográficas y los mapas que permitieron identificar los principales conflictos y presiones sobre los recursos naturales.

Se presenta por tanto, en este informe un resumen del diagnóstico sobre un territorio de interesantes relaciones funcionales, enmarcadas en la productividad de uno de los sectores industriales más importantes de Colombia, un valle geográfico que aunque estrecho en área, es de alta productividad agrícola en una zona enriquecida por el aporte de nutrientes de las inundaciones del río Cauca y de sus humedales, una zona montañosa con una matriz de relaciones sociales entre actores étnicos, campesinos y urbanos, que tejen actividades hacia las ciudades de Cali, Buga, Tuluá y Palmira especialmente. Además, se cuenta con infraestructuras regionales de gran importancia para el departamento como son ductos, redes eléctricas, plantas solares, vía férrea, el relleno sanitario Colomba - Guabal, la central de aprovechamiento de Yumbo, etc. Es de resaltar además la importancia del transporte, almacenamiento y distribución de mercancías, que está dada por la proximidad con el Puerto de Buenaventura y la condición de primera economía del suroccidente colombiano del departamento del Valle del Cauca con un uso intensivo de la infraestructura vial. Todo esto podría explicar el crecimiento emergente de superficies logísticas especialmente hacia el sector de Mediacanoa.

El presente informe está organizado de acuerdo con lo solicitado en el anexo técnico, en capítulos que desarrollan los diferentes temas planteados y dan cuenta de los productos solicitados. Dada la extensión del documento de la fase de diagnóstico, se ha realizado una síntesis de los principales resultados, pero se recomienda la consulta al documento completo para ampliar información más detallada.

1. CONFORMACIÓN DEL CONSEJO DE CUENCA

El Consejo de Cuenca es la instancia consultiva y representativa de todos los actores que viven y desarrollan actividades dentro de la cuenca hidrográfica (Artículo 2.2.3.1.9.1, Decreto 1076 de 2015). Es creado para actuar en nombre de los actores de las cuencas y es el espacio donde se dialoga, escuchan las propuestas y se busca generar consensos en torno al manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales. Su conformación está reglamentada mediante la Resolución 509 del 21 de mayo de 2013, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). En el marco de la formulación del POMCA de la SZH 2631, de acuerdo con lo consignado en el Decreto 1076 de 2015 (título 3) se adelantó la conformación del Consejo de Cuenca, en la fase de diagnóstico.

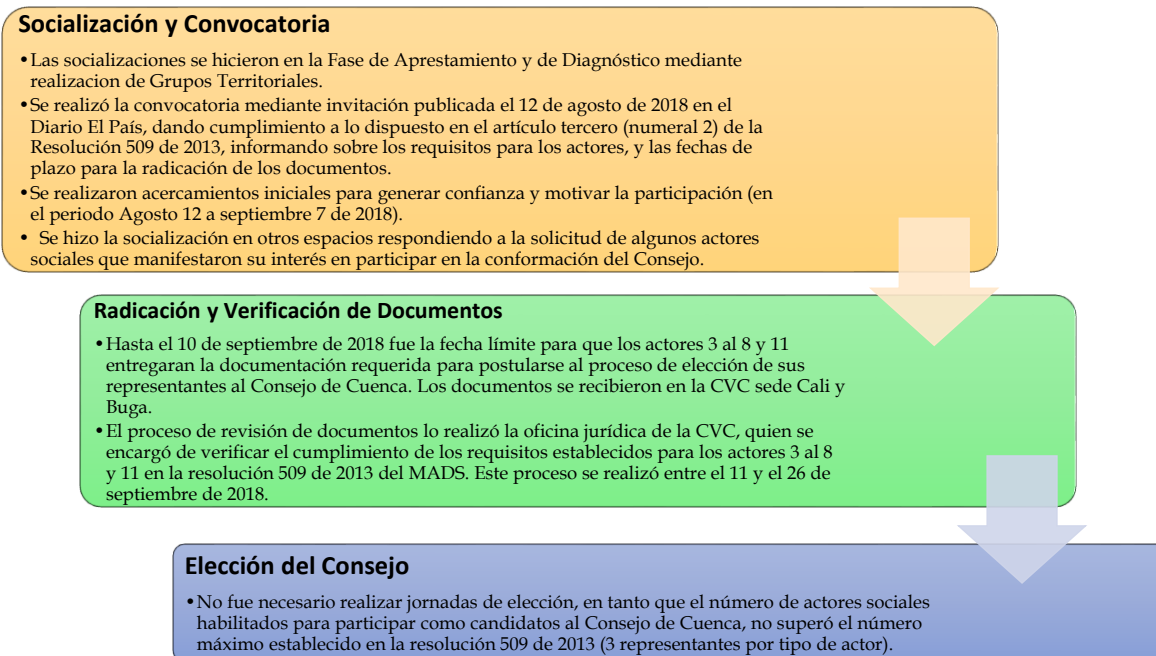
El proceso de conformación del Consejo de Cuenca implicó el desarrollo de actividades de orden administrativo, técnico y logístico. En la resolución 509 de 2013, se define que este Consejo estará conformado por 10 actores y se resaltan entidades u organizaciones que cumplen un papel importante para otros aspectos quienes pueden conformar el llamado actor 11. En la SZH 2631 se identificó un que el actor 11, podría estar conformado por:

- Empresas de Servicios Públicos (Energía, Gases, Aseo)
- Instituciones educativas de nivel básico, media o técnica vocacional, con enfoque ambiental.
- Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.
- Emisoras comunitarias o canales de televisión locales o grupos de publicistas, interesados en divulgación de acciones para la conservación en las cuencas.

Los pasos para la conformación del Consejo de Cuenca, consistieron en la socialización, convocatoria y elección de los actores, como se presentan en la Figura 1. El acto protocolario de conformación del Consejo de Cuenca se desarrolló el día 12 de octubre de 2018 (Foto 1), donde se contó con la participación de los actores sociales que estuvieron en el proceso de socialización para la conformación del Consejo de Cuenca y que además presentaron documentación para participar como votantes y candidatos al Consejo. También participaron los representantes de las entidades territoriales (Alcaldías Municipales y Gobernación Departamental), cuya designación se realizó de acuerdo con lo estipulado en la Resolución 509 de 2013.

Con las comunidades indígenas y las comunidades negras asentadas en la SZH, se desarrolló la designación de los representantes mediante un proceso autónomo de las comunidades. Posteriormente se realizó una actividad denominada “reconformación del Consejo de Cuenca”, el 28 de noviembre de 2018 validando además el proceso de elección del Presidente y Secretario (principales y suplentes) con todos los miembros del Consejo de Cuenca. Los miembros que finalmente componen el Consejo del Cuenca de la SZH 2631 se presentan en la Tabla 1 y Foto 1.

Figura 1. Proceso de Elección del Consejo de Cuenca



Fuente: Proagua, 2018

Tabla 1. Miembros del Consejo de Cuenca - SZH 2631

Tipo de actor (Res. 509 de 2013)	Nombre Actor	Representante
1. Comunidades indígenas tradicionalmente asentadas en la cuenca	Comunidad indígena Wounaan Nona	Ricardo Mesa Chocho
2. Comunidades negras asentadas en la cuenca hidrográfica que hayan venido ocupando tierras baldías en zonas rurales ribereñas de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción y hayan conformado su consejo comunitario de conformidad con lo dispuesto en la Ley 70 de 1993	Consejo Comunitario de la comunidad negra del corregimiento de San Marcos	Javier Escobar Trujillano
4. Organizaciones que asocien o agremien sectores productivos	Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia - ASOCAÑA	Madison Abelardo Ríos
5. Personas prestadoras de servicios de acueducto y alcantarillado	Asociación de usuarios de agua potable y alcantarillado de la vereda La Olga - ACUAOLGA	Carlos Eduardo Domínguez
6. Organizaciones no gubernamentales cuyo objeto exclusivo sea la protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables	Fundación Ecológica "Tierra de Esperanza" - FETE	Bernardo Emilio Cortés Sáenz
	Fundación Ambiental Dapa Viva	Armin Hirche
8. Instituciones de Educación Superior	Universidad del Valle	Jorge Eliécer Rubiano Mejía
9. Municipios con jurisdicción en la cuenca	Alcaldía de Yumbo (UMATA)	Harold Erazo Bonilla
	Alcaldía de Vijes (UMATA)	Luis Fernando Aramburo
	Alcaldía de Yotoco (Secretaría de Planeación)	Alexandra Marín Gutiérrez
10. Departamentos con jurisdicción en la cuenca	Gobernación del Valle del Cauca (Dirección de la UES Valle y Coordinación técnica del CODEPARH)	Diego Victoria Mejía
	Gobernación del Valle del Cauca (UES Valle)	Marco Arturo González
	Gobernación del Valle del Cauca (UES Valle)	Diego Fernando Marmolejo

Fuente: Proagua, 2018

Foto 1. Instalación del Consejo de Cuenca



Conformación del Consejo de Cuenca (12-oct-18)



Reconformación del Consejo de Cuenca (28-nov-18)

Fuente: Proagua, 2018

Para la elaboración de su reglamento interno, los consejeros realizaron varias sesiones, en donde la Fundación Proagua brindó acompañamiento de profesionales del área social y jurídica, de manera permanente. En la Foto 2 se presenta el registro de la sesión desarrollada el 19 de diciembre de 2018, en las instalaciones de la UMATA en Yumbo.

Foto 2. Sesión del Consejo de Cuenca (19-dic-18)



Fuente: Proagua, 2018

2. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA

Como resultado de la zonificación realizada por el IDEAM en el año 2013, Colombia se divide en 5 áreas hidrográficas (macrocuencas), las cuales contienen 40 zonas hidrográficas y en éstas a su vez se identifican 316 subzonas hidrográficas (ENA, 2018). El departamento del Valle del Cauca se localiza en las áreas hidrográficas Magdalena - Cauca y Pacífico. La localización de la SZH 2631 puede ser descrita de acuerdo a su codificación puesto que el primer dígito (2) hace referencia a la macrocuenca Magdalena - Cauca, su segundo dígito (6) a la zona hidrográfica Cauca y los dígitos restantes (31) a la SZH compuesta por las cuencas Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras.



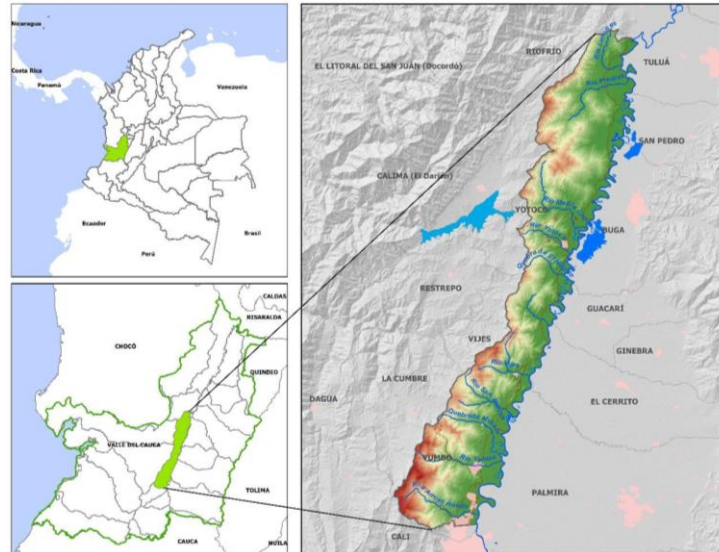
Área hidrográfica

Zona hidrográfica

Subzona hidrográfica

Geográficamente, la SZH 2631 se encuentra ubicada entre la latitud $4^{\circ} 08' 10''$ N, longitud $76^{\circ} 17' 2.07''$ O y la latitud $3^{\circ} 30' 27.69''$ N, longitud $76^{\circ} 35' 57.15''$ O, en el departamento del Valle del Cauca, entre la margen izquierda del río Cauca y las estribaciones de la cordillera Occidental (Figura 2).

Figura 2. Localización general de la SZH 2631



Fuente: Elaboración propia, 2018

El área de la SZH 2631 es de 62.902,8 ha, conformada por siete cuencas, como se puede apreciar en la Tabla 2, siendo las más grandes Mediacanoa y Piedras. Los municipios que se encuentran en la SZH 2631 son Yumbo, Vijes, Yotoco y Riofrío. El 24% del área del municipio de Riofrío hace parte de la subzona, Vijes aporta el 41% de su área y en mayor proporción, Yotoco y Yumbo hacen parte casi totalmente de la SZH con el 88 y 96% de sus áreas, respectivamente.

Tabla 2. Área y porcentaje de las cuencas que conforman la SZH

Cuenca	Área (ha)	Área %
Arroyohondo	6.487,14	10%
Yumbo	6.715,39	11%
Mulaló	4.766,55	8%
Vijes	8.677,44	14%
Yotoco	10.584,09	17%
Mediacanoa	13.997,89	22%
Piedras	11.674,35	19%

Fuente: Proagua, 2018

3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO-BIÓTICO

3.1. CLIMA

El clima de Colombia está determinado por la ubicación del país sobre el ecuador geográfico, zona donde confluyen los vientos Alisios (Carmona & Poveda, 2012). Adicionalmente, la cercanía con el océano Pacífico, el mar Caribe, la selva amazónica y la presencia de la cordillera de Los Andes, favorecen los procesos convectivos que hacen de Colombia un país con abundancia hídrica y diversidad de climas (IDEAM, 2005).

La SZH 2631, por estar localizada en el área sur-occidental de Colombia, es influenciada por efectos de los fenómenos macroclimáticos a escala mundial. Los procesos océano-atmosféricos de mayor influencia en Colombia son el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el fenómeno del Niño Oscilación Sur (ENSO) y la Oscilación Madden Julian (OMJ) (Diaz & Villegas, 2015).

Para este estudio, la información de las variables climatológicas se obtuvo a partir de los registros de la CVC y el IDEAM. Se seleccionaron 21 estaciones meteorológicas ubicadas dentro y fuera de la SZH 2631, de las cuales 3 estaciones son de categoría Pluviográfica (PG), 13 estaciones son Pluviométricas (PM) y las 5 estaciones restantes son climatológicas Ordinarias (CO). La estación Acueducto Tuluá, dada su lejanía al área de estudio, solo se tuvo en cuenta para la interpolación de la temperatura. El período común de registro para el análisis climatológico de este estudio es entre 1986 y 2016, para un total de 31 años.

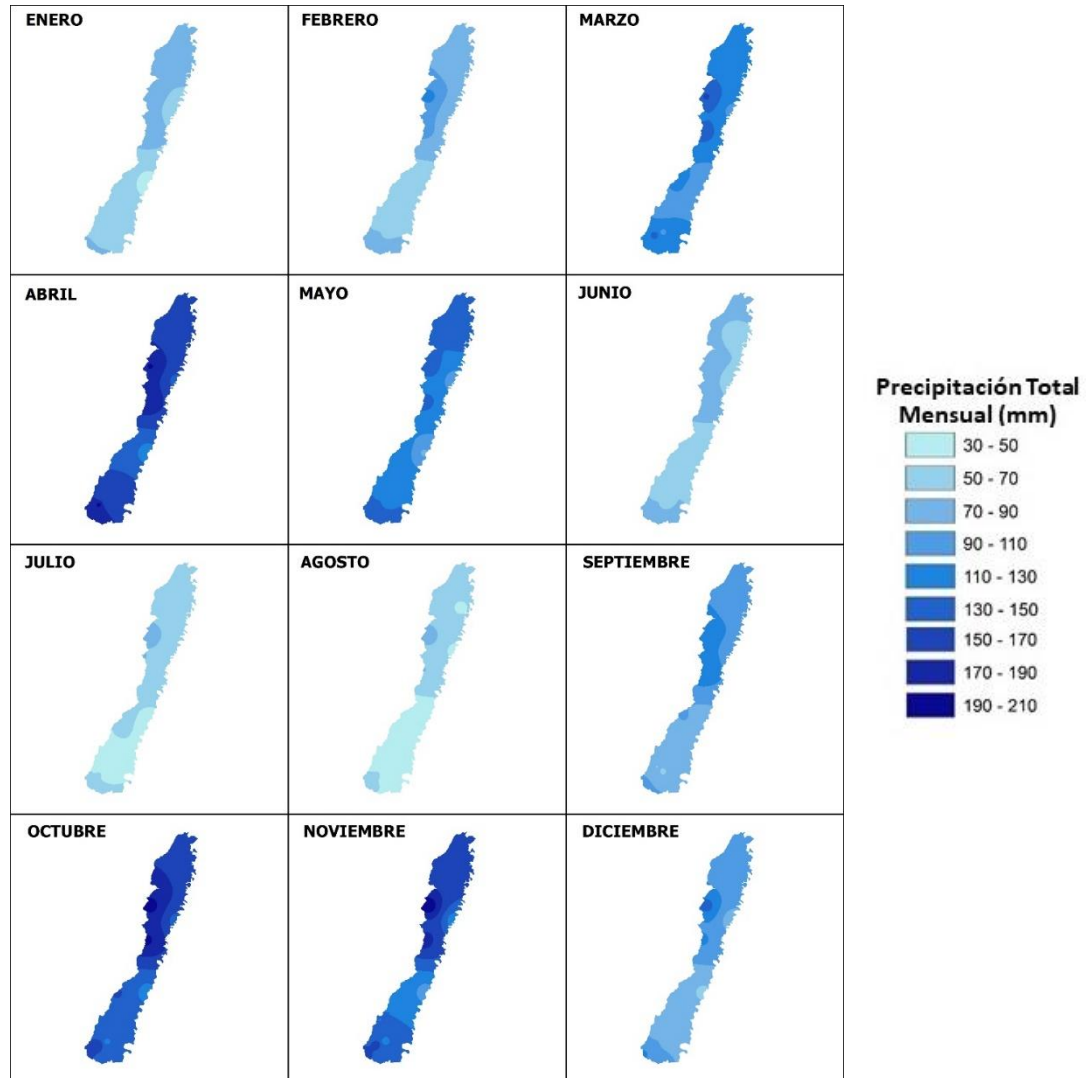
Precipitación. La precipitación es una de las variables más importantes del estudio climatológico, la cual está caracterizada por presentar alta variación y dispersión de sus magnitudes y por disponer de un mayor volumen de información respecto a las otras variables; de esta manera, además de la cantidad y la calidad, se buscó conocer la consistencia y homogeneidad de la información aplicando un Análisis Exploratorio de Datos (AED) y un Análisis Confirmatorio de Datos (ACD). Todos estos análisis se hicieron a un nivel de agregación mensual.

Respecto a la precipitación media mensual interanual se tiene que todas las estaciones meteorológicas presentan un comportamiento bimodal, estrechamente asociadas a la zona de confluencia intertropical caracterizada por dos épocas del año. Las temporadas de mayor precipitación son octubre-noviembre y marzo-abril-mayo, además, la época de menores precipitaciones se registra en los meses de junio-julio-agosto-septiembre y diciembre-enero-febrero, siendo más seca la primera de estas temporalidades.

Se construyeron isoyetas mensuales mediante el método de interpolación IDW, como se observa en la Figura 3, de la cual se resalta un comportamiento generalizado en el cual se puede identificar que las precipitaciones de mayor magnitud, se presentan hacia el centro-occidente y hacia el sur-occidente del área de estudio, mientras que a lo largo de la zona oriental del mismo, paralela al río Cauca se caracteriza por ser más seco -lluvias más bajas-. La precipitación

media mensual para toda la SZH presenta un comportamiento bimodal, donde los meses de mayor precipitación son octubre y abril con magnitudes de 157,7 y 160,6 mm respectivamente.

Figura 3. Isoyetas medias mensuales (mm) (1986 - 2016)

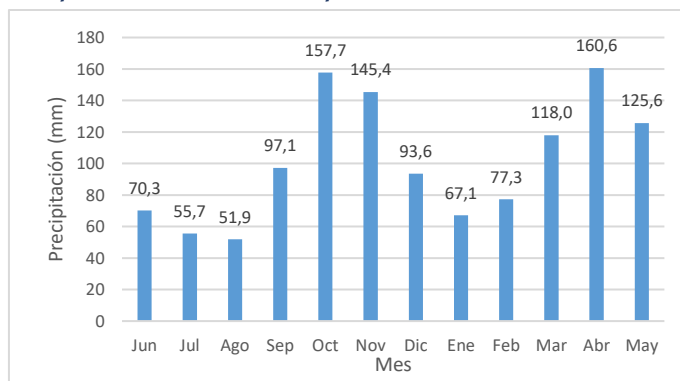


Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC

Por su parte la menor precipitación ocurre en agosto con magnitudes de 51,9 mm y enero 67,1 mm. La precipitación media anual es de 1.220,16 mm calculada a partir de las isoyetas.

Haciendo un análisis de precipitación por cuenca se tiene que Vijes presenta la menor precipitación del orden de 1.044 mm, seguida de Mulaló con magnitud de 1.099,2 mm, mientras que Mediacanoa reporta las mayores precipitaciones anuales medias con magnitud de 1.317,8 mm, seguida de Piedras y Yotoco con magnitudes de 1285,9 y 1284,9 mm respectivamente.

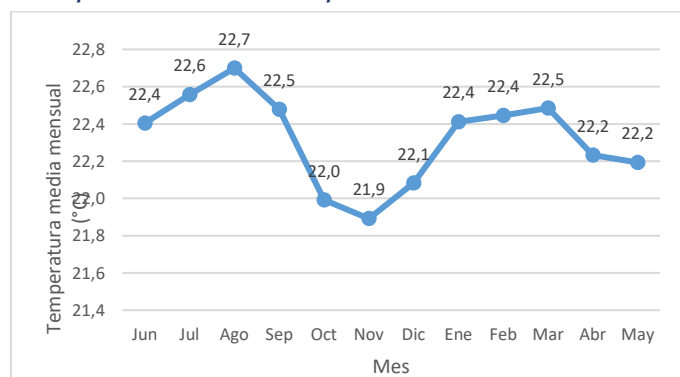
Figura 4. Comportamiento de la Precipitación Media Mensual (mm) (1986-2016)



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC

Temperatura Media: Esta variable se calculó a partir de las isotermas para los datos de temperatura media mensual desde 1986 hasta 2016 (Figura 5), aplicando la metodología que tiene en cuenta el comportamiento de la temperatura según el gradiente altitudinal. La variable presenta un comportamiento bimodal, donde los meses más calientes con sus respectivas magnitudes en la primera temporada son julio (22,6 °C), agosto (22,7 °C) y septiembre (22,5 °C) y en la segunda temporada son enero (22,4 °C), febrero (22,4 °C) y marzo (22,5 °C). Las temporadas más frías son octubre-noviembre-diciembre y abril-mayo, junio. La mayor temperatura media anual de la SZH se registra hacia la zona oriente paralela al río Cauca con magnitudes entre 23 y 25,2°C. Por su parte, el occidente es caracterizado por presentar las mayores elevaciones de la zona y se registran las menores temperaturas con magnitudes que van entre 16,3 y 20°C. La temperatura media anual es de 22,3 °C.

Figura 5. Comportamiento de la temperatura media mensual (°C) (1986-2016)



Fuente: PROAGUA a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC

Brillo Solar: Se determinó a partir de los datos mensuales multianuales y anuales de las estaciones Bosque de Yotoco, Garzonero y La Buitrera. Este parámetro presenta un comportamiento bimodal. Los meses de agosto y enero representan las mayores magnitudes de la variable del orden de 141,5 y 124,1 horas respectivamente, mientras que los meses de menor Brillo solar son noviembre y mayo con magnitudes de 93,6 y 95,8 h respectivamente. El Brillo solar medio anual es de 1300,3 h.

Humedad Relativa: Se determinó a partir de los datos mensuales multianuales y anuales de las estaciones Bosque de Yotoco, Garzonero y La Buitrera. Presenta un comportamiento bimodal inverso a la temperatura media. De esta manera, los meses de noviembre y mayo representan las mayores magnitudes de la variable del orden de 88,9% en ambos meses. En la SZH los meses de menor humedad relativa son agosto y febrero con magnitudes de 86,3 y 87,1% respectivamente. El valor de la media anual es de 87,8%.

Viento: Dada la baja disponibilidad de datos de estaciones con registro de viento, se tomó como referente información de la estación Arroyohondo, localizada al sur de la SZH, perteneciente a la red de estaciones del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia-Cenicaña y la estación Aeropuerto Farfán perteneciente al IDEAM y que se localiza hacia la zona norte de la SZH. De acuerdo con los registros de la estación Arroyohondo, en promedio la velocidad del viento es de 1,9 m/s. Las direcciones predominantes son occidente (W) con una frecuencia del 14% y velocidad de 6,6 km/h, seguida de las direcciones WN con una frecuencia del 13%. En lo respecta a la zona norte de la SZH, la estación Aeropuerto Farfán muestra que predominan los vientos en dirección hacia el SW con una frecuencia del 16,7% y una velocidad máxima que oscila entre 4,5 - 5,5 m/s, seguida del NE con una frecuencia del 15,5%.

Evaporación: Tiene un comportamiento inverso al de la precipitación, ya que los meses de mayor evaporación corresponden a los meses de menos precipitación y viceversa, mostrando un régimen bimodal. Los meses de agosto y marzo representan las mayores magnitudes de la variable del orden de 104,9 y 94,5 mm respectivamente. En la SZH los meses de menor evaporación son noviembre y mayo con magnitudes de 76,6 y 81,2 mm respectivamente. La evaporación media anual es de 1046,0 mm.

Evapotranspiración potencial (ETP): Para la estimación de esta variable se aplicó el método de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). En términos generales, se infiere que la evapotranspiración anual se incrementa en la medida que se descende en la altura y viceversa; las magnitudes de ETP con valores comprendidos entre los 700 a 900 mm se localizan principalmente en las zonas más altas de la SZH, las cuales corresponden al parteaguas del lado izquierdo de la SZH. Por otro lado, el rango de 1.300-1.400 mm se encuentra hacia la zona más baja, formando una franja más o menos constante que va paralela al río Cauca.

Evapotranspiración real (ETR): Las mayores magnitudes del orden de 900 mm/año se presentan en tres focos; uno de ellos localizado hacia la zona norte de la SZH, correspondiente al municipio de Riofrío; el segundo foco se encuentra hacia la zona media, correspondiente al municipio de Yotoco y finalmente el tercer foco se encuentra en el sur, entre los municipios de Cali y Yumbo, donde se observa un foco de baja ETR, del orden de 600 mm/año, las demás zonas de baja ETR se encuentran en las zonas más altas de la SZH en cercanía al parteaguas.

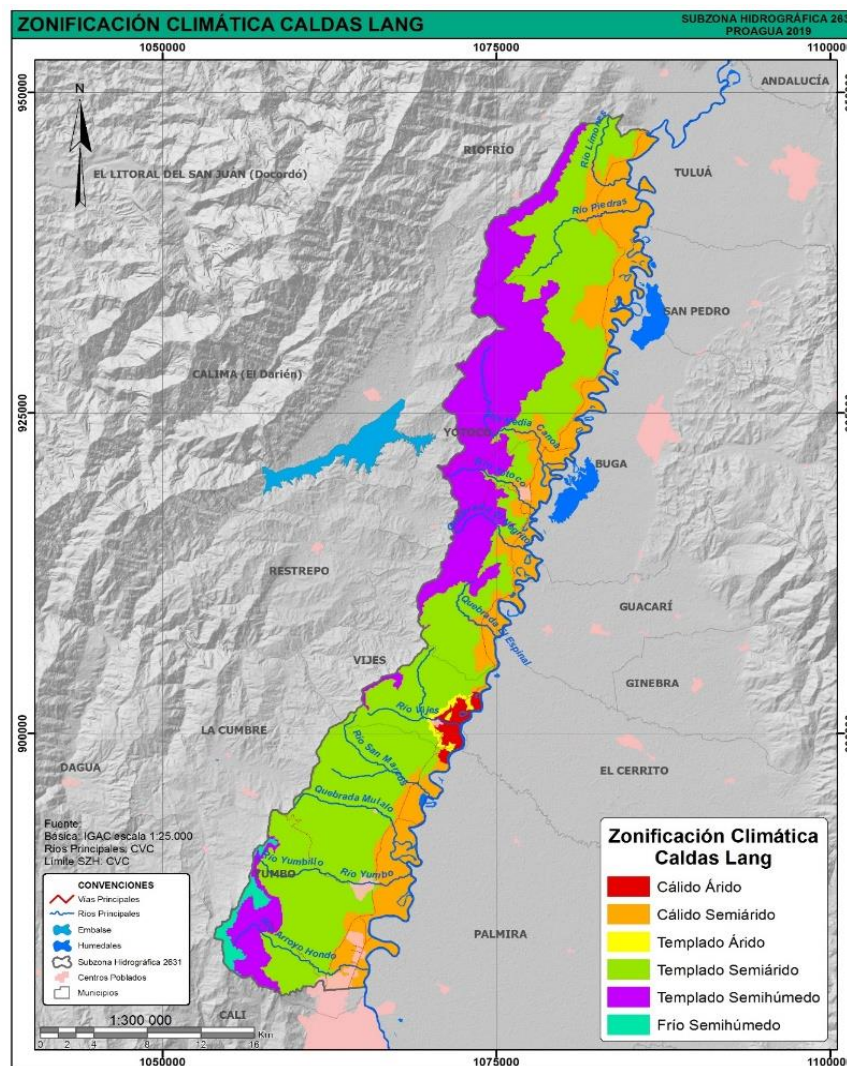
Balance a largo plazo: Se realizó para la estimación del flujo de escorrentía, que se traduce en los caudales medios de una cuenca. Se aplican las ecuaciones de conservación de masa de agua en un sistema o volumen de control, que se fundamenta en la diferencia entre las entradas y salidas de un sistema (Nace, 1971). Los mayores focos de escurrimiento se ubican en la zona alta de las de las cuencas de Mediacanoa, Yotoco y Arroyohondo, con magnitudes del orden

de los 800 a 900 mm/año. Por su parte la cuenca de Vijes es la que presenta las menores magnitudes de escurrimiento las cuales están entre 100 y 200 mm/año.

3.1.1. Zonificación climática

Como resultado de aplicar la metodología de Caldas - Lang se obtuvo la clasificación que se muestra en la Figura 6, donde se observa que el mayor porcentaje de la SZH se encuentra bajo una condición de clima Templado Semiárido (50,23%). Las cuencas de Yumbo, Mulaló y Vijes están definidas en la mayoría de su área por este tipo de clima. El clima cálido semiárido, con una participación de 22,46% del área, se encuentra distribuido a lo largo de la SZH en las áreas de menor elevación paralelas al río Cauca, mientras que el clima templado semihúmedo (24,25%) se presenta en las zonas altas de Piedras, Mediacanoa, Yotoco y Arroyohondo.

Figura 6. Zonificación climática de Caldas - Lang



Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la CVC

3.1.2. Variabilidad Climática

La *variabilidad climática* se define como las fluctuaciones del clima durante periodos tales como meses, años o decenios, (Pabón-Caicedo, 2011). El análisis de la información histórica, indica que las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias en Colombia son causadas, en parte, por la variabilidad climática interanual, relacionada con el Fenómeno El Niño Oscilación del Sur conocido como ENOS o como ENSO, el cual ha sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones geográficas del planeta (Bocanegra, Edgar, & Caicedo, 2000).

Para conocer cómo podría estar afectando la variabilidad climática la precipitación de la SZH 2631, se hizo primero el análisis del índice estandarizado de precipitación (SPI) con el cual se buscó conocer las temporadas extremas de sequía y de excesos de precipitación que se han presentado desde 1986 hasta el 2016 (31 años); luego se relacionó el SPI con las variables macroclimáticas principales que se definen para análisis del ENOS.

En las estaciones de la SZH se observa que las sequías leves se presentan con una frecuencia de 20,9% del total de eventos, las poco fuertes con una frecuencia de 18,1% y el 42% de las sequías corresponden a la clasificación extremadamente fuerte. Por otro lado, los eventos de exceso de humedad leves se presentan con una frecuencia de 15,2% de los casos y el 45,5% de las condiciones de exceso de precipitación corresponden a extremadamente fuertes.

Con el objetivo de conocer el grado de correlación entre algunas de las variables macroclimáticas (VM) encargadas del monitoreo del ENOS en el océano Pacífico tropical (ONI, SOI y MEI) y la variable meteorológica principal en la SZH, la cual es la precipitación, (que para este caso se utilizó la forma estandarizada - SPI de 3 meses), se estimó el coeficiente de correlación de Pearson (r), teniendo en cuenta rezagos anticipados y posteriores. El rezago anticipado corresponde a la correlación del SPI desfasada t meses antes, frente a la VM. Mientras que los rezagos posteriores corresponden al desfase de la VM t meses antes, frente a la variable de SPI. Los rezagos permiten conocer la tendencia de los valores de los coeficientes de correlación y determinar en qué mes se presentó mayor incidencia (mayor valor de correlación) de las VM asociadas a el ENOS sobre las variables del SPI de 3 meses de la cuenca (Gutiérrez, Carvajal, & Ávila, 2013).

Los valores más altos de los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables Macroclimáticas ONI, SOI y MEI y el SPI de 3 meses, se reportan entre el rezago -2 y el rezago 2. La correlación más alta ocurre en su mayoría en el rezago 0 y 1, lo cual indica que posiblemente después de que se genera el ENOS en el océano Pacífico, registrado en las VM, se presenta sus efectos entre algunos días hasta un mes después. En general se observa que al superponer el SPI de 3 meses con cada uno de las VM, existe una influencia del Fenómeno ENOS en las variaciones de la precipitación respecto a su mediana, de tal manera que cuando las VM presentan magnitudes extremas negativas o positivas sostenidas en el tiempo, las estaciones de la SZH 2631 reflejan un cambio en su comportamiento, dejando de manifiesto un posible efecto directo del fenómeno ENOS.

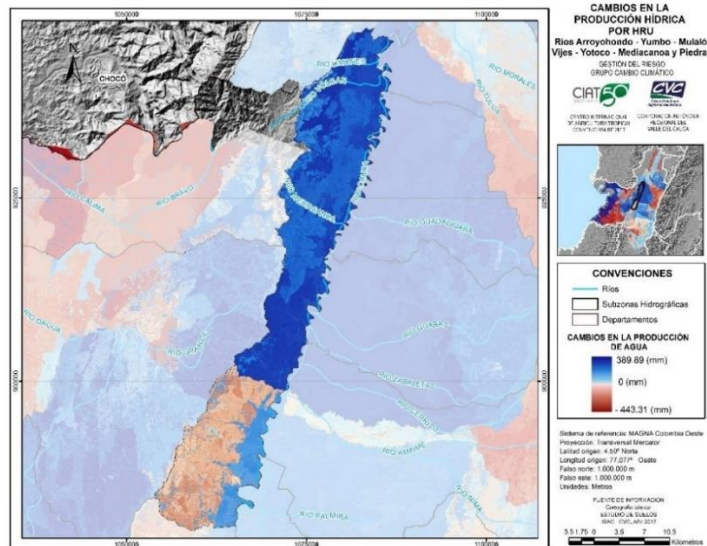
3.1.3. Análisis de clima incluyendo cambio climático

Por *cambio climático* se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Este concepto fue definido en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Naciones Unidas, 1992).

Cita el documento *Los Nuevos escenarios de Cambio Climático para para Colombia 2011-2100*, que “*para fin de siglo el departamento del Valle del Cauca, podrá aumentar en 2,4°C su temperatura promedio. En particular el municipio de Buenaventura será el de mayor aumento, con valores de 2,6°C adicionales a los valores de referencia. En general el departamento podrá aumentar en 6% las precipitaciones sobre el valor actual, particularmente las provincias Occidente, Sur y Centro serán aquellas que presentan mayores aumentos, con valores de hasta un 20%*”. En general para el Valle del Cauca no se presentan disminuciones representativas de precipitación según los modelos generados (IDEAM, et. al, 2015).

Por otra parte, en el departamento del Valle del Cauca se ha venido trabajando en *El Plan Integral de Cambio Climático (PICC)*, se presenta, según la predicción del modelo utilizado, una disminución en la producción de agua hasta del 24% del área total de la SZH con una pérdida total de hasta 1.083 mm/año y una ganancia total hasta de 5.114 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentan en la parte alta del municipio de Yumbo, ver Figura 7 (CVC; Secretaria de Ambiente, Agricultura y Pesca; CIAT, 2018).

Figura 7. Cambios en la producción hídrica de la SZH 2631



Fuente (CVC; Secretaria de Ambiente, Agricultura y Pesca; CIAT, 2018).

Adicional a los análisis anteriores, se determinó la línea de tendencia de las series históricas anuales. Con respecto a la temperatura se observa que las estaciones muestran una tendencia positiva, por lo cual se podría inferir que posiblemente a futuro la temperatura en la zona podría incrementar. Respecto a las tendencias de la precipitación anual no hay un patrón definido.

Las estaciones que se encuentran paralelas al río Cauca reportan tendencias negativas y las estaciones ubicadas en las cuencas de los ríos Yumbo, Mulaló y Vijes, reportan en su mayoría tendencias negativas, las cuales se encuentran en la zona alta, lo que puede mostrar un indicio crítico de disminución de la precipitación en el tiempo en las zonas de recarga de dichas

cuenclas. Las estaciones ubicadas en la cuenca de Arroyohondo, muestran una tendencia positiva, es decir un aumento paulatino en el tiempo de las magnitudes de lluvias.

3.2. GEOLOGÍA

La caracterización de las unidades geológicas con fines de ordenación de cuenca a escala 1:25.000 para la SZH 2631, se desarrolló a partir de información del Servicio Geológico Colombiano (SGC), la cartografía geológica a escala 1:50.000 generada por la CVC y las correspondientes verificaciones en campo. Las diferentes etapas para el desarrollo del componente de geología durante la fase diagnóstica fueron: Evaluación de información geológica a escala regional, interpretación de sensores remotos, controles de campo, geología a escala 1:25.000 y construcción de informe geológico y de mapas.

Para la revisión de información secundaria referente a estudios, informes, mapas y demás información disponible, se recurrió fuentes de varias entidades, entre ellas a INGEOMINAS hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Ministerio de Minas, la Agencia Nacional de Hidrocarburos, la CVC y el Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia. Para el componente de unidades geológicas superficiales (UGS), se consultó cartografía temática a escala 1:100.000 contenida en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), creada por el SGC (2015), cuya información fue detallada y complementada con resultados de interpretación de sensores remotos y registros de campo y laboratorio.

El plan de trabajo en la fase de diagnóstico se encaminó en hacer un efectivo control de campo en cuanto a UGS, que permitió resolver incertidumbres, además de permitir un énfasis en las zonas identificadas como críticas por distribución geomorfológica e influencia tectónica.

3.2.1. Marco Geológico Regional

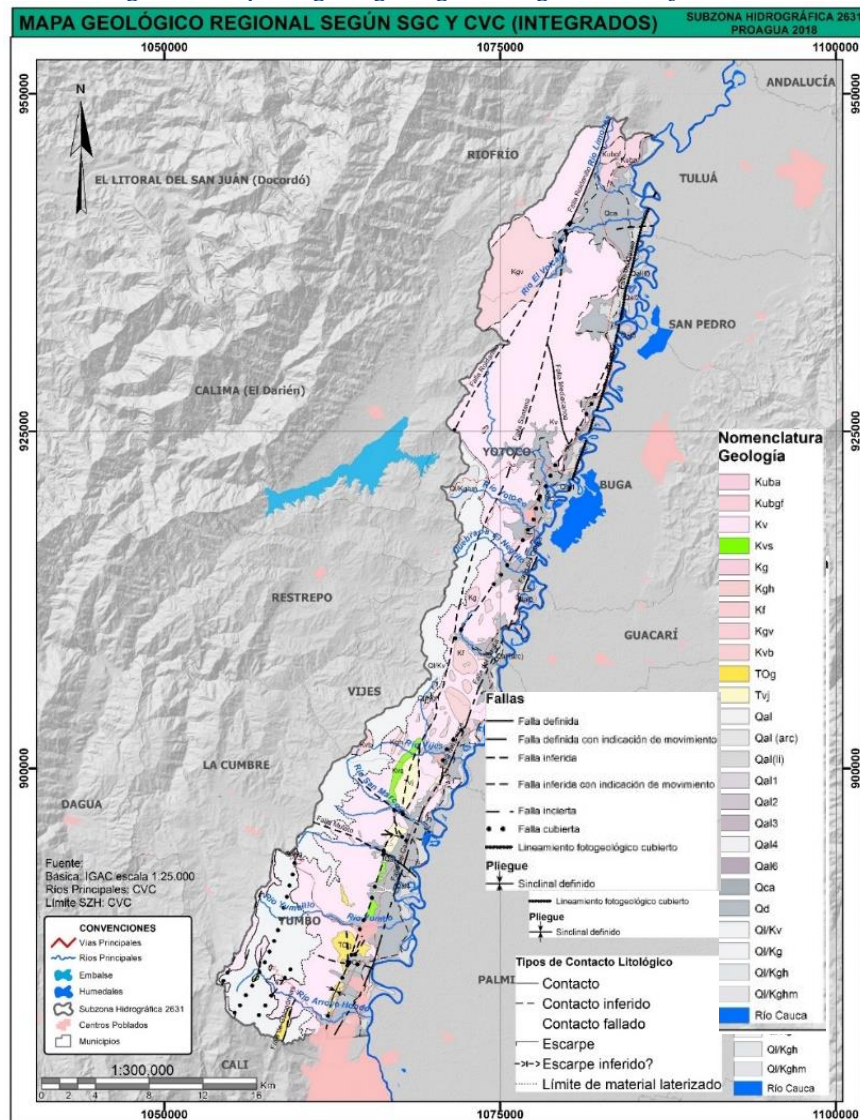
En cuanto a la *geología estructural* se tiene que las rocas existentes en el área han sido sometidas a numerosos eventos tectónicos desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. La superposición de las fases de deformación ha resultado en una estructura cortical determinada esencialmente por la interacción de un sistema complejo de fallas regionales, en las que predominan tres direcciones de fallamiento: N20-30E, N60-70E y N40- 50W (Nivia, 2001).

Los movimientos generados a lo largo de estas fallas han interactuado para acomodar la deformación sufrida por la Placa Suramericana, como resultado de los esfuerzos producidos por el movimiento de las placas Nazca y Caribe y da lugar a la traslación y rotación de bloques corticales y a la superposición de rasgos estructurales. En consecuencia, la estructura de la corteza en la región consiste en un conjunto de bloques rombohedrales, limitados por fallas y elongados en dirección aproximada N-S.

En general las unidades litológicas predominantes en la zona son Formación *Volcánica* (Kv), Complejo Ultramáfico *de Bolívar* (Kub), *Gabro de Río Volcán* (Kgv), *Gabro de Riofrío* (Kubgf), Formación *Guachinte* (TOg), Formación *Vijes* (Tvi), depósitos coluviales cuaternarios (Qc) y depósitos aluviales recientes (Qal) del río Cauca y de los drenajes principales de la subzona.

Para la elaboración de la *cartografía geológica regional* producto de la integración de los productos cartográficos de diferentes estudios, se procedió a hacer un análisis comparativo entre las capas del SGC y CVC, del cual se concluyó que para el área de montaña las dos fuentes muestran una alta coincidencia en la delimitación de unidades, mientras que para el área de valle, existe variación en la delimitación del contacto entre las unidades de montaña con los depósitos de pie de monte, siendo la delimitación desarrollada por CVC más detallada, por lo tanto, para estas zonas del área de valle se acoge lo expuesto por la CVC. La integración de las dos cartografías da como resultado el mapa de geología regional a escala 1:100.000, en el que se integran las diferentes estructuras geológicas identificadas (Figura 8).

Figura 8. Mapa de geología regional según el SGC y la CVC



Fuente: PROAGUA, 2018

Respecto a la *geología económica*, se identificaron esencialmente 3 tipos de materiales que explotados en la en la SZH 2631, calizas, carbón y materiales de construcción.

La caliza se explota principalmente en Yumbo y Vijes en Manga Vieja, El Vidal, Mulaló, Guabinas y Manga Vieja. La caliza, la cual es una roca sedimentaria que pertenece a la Formación Vijes, está compuesta principalmente por carbonato de calcio CaCO_3 . El carbón mineral de la Formación Guachinte, se encuentra en el municipio de Yumbo cuenca Arroyohondo, centrando sus labores en las veredas La Paz y Golondrinas. La técnica de extracción es por túneles y guías diseñadas según la inclinación del manto que se va a explotar. La Diabasa y Recebo para afirmado, se utiliza principalmente como relleno para la construcción de vías, compuesta principalmente por una mezcla de partículas de roca triturada, arena y material fino que una vez compactado se puede utilizar como base para instalar estructuras con asfalto.

Los métodos de explotación varían según las condiciones geotécnicas de la roca, generalmente se explota mecánicamente utilizando una distribución en terrazas, *open pit* o tajo abierto, cuyos taludes varían en ángulo según condiciones de resistencia o fracturamiento del macizo.

3.2.2. Geología a escala media con fines de ordenamiento (escala 1:25.000)

El análisis de sensores remotos se realizó mediante la evaluación y comparación de imágenes de los mosaicos ortorectificados y el Modelo de Elevación Digital (DEM), obtenido con tecnología RADAR y con resolución de 2.5 x 2.5 metros. El mosaico de imágenes tiene cobertura de aproximadamente el 80% de la SZH, estas imágenes corresponden al vuelo FAL-407 de 1998, el cual tiene una escala de entre 1:30.000 y 1:33.000.

Durante las comisiones de campo cuyo objetivo fue la validación de la cartografía previamente elaborada, se ubicaron y describieron las diferentes unidades mediante estaciones y puntos de control en afloramientos de roca, diligenciando el formato para Caracterización de Macizo Rocoso-CMR (MADS, 2014). También se hizo la caracterización de Suelo Residual-CS, definiéndose los tipos de rocas y depósitos, estratificación, grado de meteorización y sus disposiciones estructurales (rumbo y buzamiento). Durante estas mismas comisiones se desarrolló la actualización de la base de datos de movimientos en masa diligenciando los formatos para Inventario de Movimientos en Masa (SGC, 2017) y Caracterización Geomorfológica, ver Foto 3.

En total se realizaron 215 estaciones de control de campo diligenciando 102 formatos para caracterización de macizos rocosos, 81 formatos para caracterización de suelos y 30 formatos del inventario de movimientos en masa (MM). El resultado de la integración de la cartografía geológica regional con los resultados de la fotointerpretación y la práctica del control de campo es el Mapa de Geología Básica a escala 1:25.000.

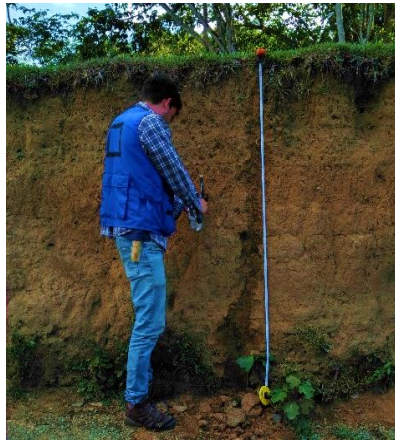
En general la SZH corresponde a un terreno alargado en sentido norte-sur que comprende una franja litológica de rocas cristalinas de origen esencialmente volcánico marino como gabros, basaltos, lavas almohadilladas y basaltos columnares, típicas de un complejo ofiolítica. Se agrupadas en la Provincia Litosférica Oceánica de la Cretácica Occidental -PLOCO. Además, se presentan afloramientos de la sucesión sedimentaria cenozoica de origen marino del valle del río Cauca, específicamente las formaciones Vijes y Guachinte, localizadas en el sector centro sur de la SZH.

Finalmente se observan las unidades cuaternarias residuales, coluviales y aluviales como perfiles de meteorización o “lateríticos”, muchos de ellos en la transición con la zona de valle o piedemonte.

Foto 3. Trabajo de Campo



Caracterización de macizo rocoso



Caracterización de suelos



*Movimiento en Masa, MM sector
Miravalle-Yotoco*

Fuente: PROAGUA, 2018

Los controles estructurales dominantes con tendencia N-NE muestran variaciones en el área de afectación, siendo en ocasiones restringida a un trazo lineal y en otras mostrando ramificación del trazado e incremento del área afectada, como la presentada en el sector Calimita en la vía Buga-Buenaventura y en la parte alta del relleno sanitario Colomba-Guabal, antigua vía al Porvenir. En el sector Calimita y a lo largo de la SZH, los deslizamientos son relativamente comunes, derivando de la activación de procesos denudativos asociados a fenómenos erosivos que aportan importantes cantidades de sólidos a las fuentes hídricas.

En la Foto 4 se presenta la panorámica de la microcuenca de la quebrada El Guabal, localizada al occidente de casco urbano de Yotoco, en la cual se encuentran atributos geomorfológicos profundamente marcados, entre los que resaltan procesos denudativos activos, facetas triangulares, deflexiones de colinas y cauces, entre otros.

Foto 4. Panorámica de la microcuenca de la quebrada El Guabal, coordenadas 3.85803; -76.41019.



Fuente: PROAGUA, 2018

3.2.3. Unidades geológicas superficiales (UGS)

En el mapa UGS a escala 1:25.000, se definieron el conjunto de materiales superficiales rocas y suelos (los suelos incluyen depósitos blandos o no consolidados), junto con sus rasgos estructurales y características de comportamiento geomecánica de campo. Para la construcción de este mapa se partió de la recopilación y análisis de información temática secundaria disponible desde escala regional hasta escala de detalle, siguiendo con la interpretación de la información temática y de imágenes de sensores remotos, luego de lo cual se tiene el mapa de UGS preliminar que fue objeto de validación de campo.

La identificación y clasificación de los diferentes horizontes del perfil de meteorización del macizo rocoso, se realizó teniendo como referencia la propuesta desarrollada por Dearman (1974), y adoptada por *Guía metodológica para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa escala 1:25000* del SGC (2017). Para el caso de la caracterización de los macizos rocosos se utilizó como referencia el Índice de Resistencia Geológica desarrollado por Marinis y Hoek (2000).

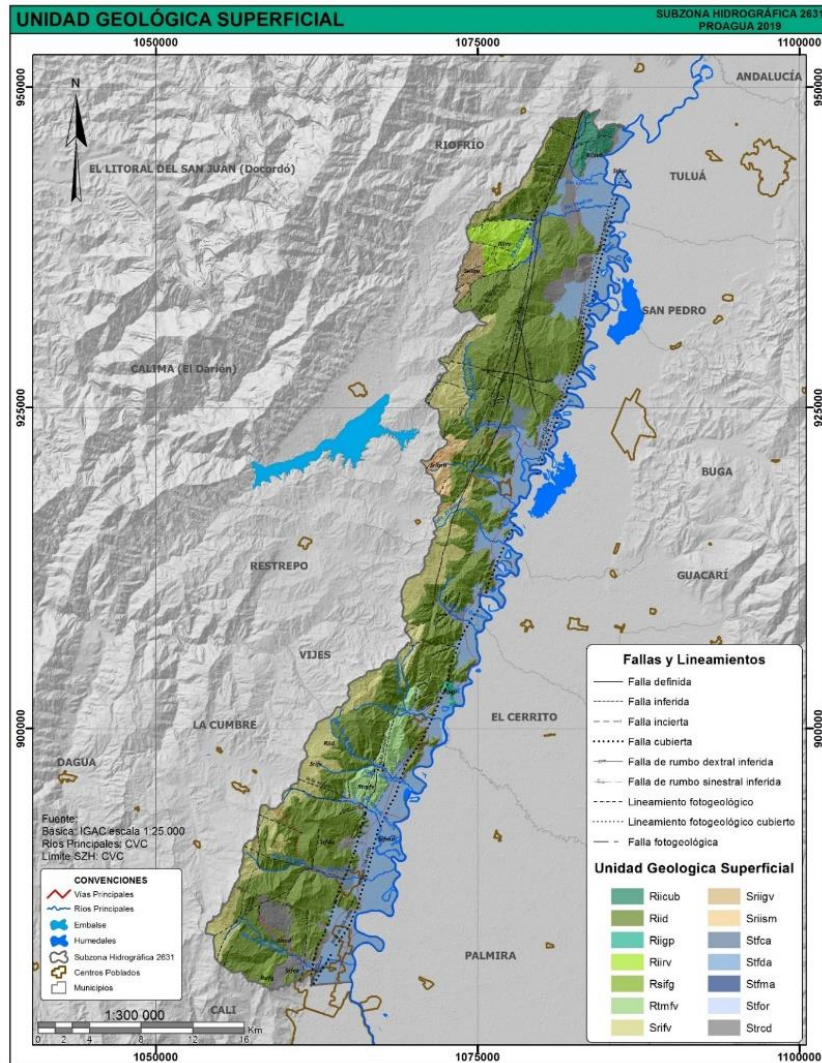
Los suelos se agruparon teniendo en cuenta su origen en: residuales y transportados. De acuerdo con los agentes y el ambiente de formación (génesis u origen), las unidades de suelo residual se identifican con las letras **Sr**, el suelo transportado con las letras **St** y las unidades de roca con la letra **R**.

En el área de la SZH, se identificaron 4 unidades de roca intermedia (Ri), que son moderadamente meteorizadas, (presentan índice geológico de resistencia GSI= 35 – 60). En general, la consistencia de los suelos de la SZH es muy baja a baja en coluviones recientes y media a alta en coluviones antiguos. Estos suelos generados por movimientos en masa y por su baja consolidación son más susceptibles a ser afectados o reactivados.

Finalmente, las unidades de suelo identificadas o UGS predominantes en la SZH, corresponden a la unidad Suelo Residual de la Formación Volcánica Srifv. Esta es unidad es una de las que mejores perfiles de meteorización conserva, esencialmente en las zonas altas del área montañosa (ver Figura 9).

Una vez delimitadas y caracterizadas las unidades geológicas superficiales, se procedió a realizar el cruce con la capa de geomorfología, obteniendo un mapa geológico-geomorfológico que contiene la delimitación de las UGS integradas con la jerarquización geomorfológica, discriminándose entre zonas de montaña y zonas planas, este mapa fue cruzado con los inventarios de eventos históricos y con la base actualizada de movimientos en masa, tomando relevancia a la hora de priorizar los sitios de exploración de campo según la homogeneidad y distribución de las diferentes unidades; también fue de importancia para definir el tipo de ensayo a practicar, según las condiciones y características de los materiales.

Figura 9. Unidades Geológicas Superficiales



Fuente: Elaboración propia, con base en la capa de UGS y sistemas estructurales identificados por el proyecto y complementado con los sistemas estructurales definidos por el SGC

3.2.4. Exploración del subsuelo (geofísica y ensayos de laboratorio)

La campaña de exploración geofísica y geotécnica se realizó con fines de caracterizar el subsuelo, y obtener información sobre control litológico e hidrogeológico. Para la planificación se revisaron diferentes trabajos previos, se tuvieron en cuenta los sitios de interés identificados durante el control de campo en la campaña de geología y en la actualización del inventario de movimientos en masa. En total se llevaron a cabo 10 sondeos eléctricos verticales (SEV) con fines de exploración hidrogeológica en el área plana del valle geográfico y 13 líneas de refracción sísmica (LRS) en zonas afectadas por movimientos en masa; además de 22 apiques y 18 trincheras realizando un muestreo de suelos y rocas, para la realización de ensayos de humedad relativa, granulometría, límites de consistencia para suelos y ensayo de carga puntual para rocas.

Foto 5. Equipos de exploración geofísica y geotécnica en campo.



Equipo de medición de las Líneas de refracción
sísmica



Goresistivimetro (Sondeos eléctricos verticales)

Fuente: Proagua, 2018

Interpretados y correlacionados los SEV, se concluye que en la cuenca Piedras los depósitos en el área plana derivados de procesos denudativos en las laderas, alcanzan hasta 30 m de profundidad, mientras que los depósitos aluviales asociados a los ríos de la subzona alcanzan los 57 m de profundidad. En el sector de Yotoco los depósitos en el área plana derivados de procesos denudativos en las laderas alcanzan 30 m de profundidad, mientras que los depósitos aluviales asociados a los ríos de la subzona muestran profundidades de entre 30 y 90 m, para los cuales la formación Volcánica constituye el basamento rocoso. En el sector norte de Yumbo los depósitos cuaternarios asociados a los ríos alcanzan profundidad hasta de 50 m.

En el caso de las LRS se tiene que en las cuencas de Piedras y Mediacanoa los suelos lateríticos producto de la meteorización de las rocas ígneas básicas, alcanzan profundidades entre 3 y 11 m, con consistencia blanda a muy blanda y se conservan en buen estado en las partes altas de las montañas. En el sector de Yotoco los depósitos de ladera o coluviales alcanzan profundidades entre 2 y 5 m y la Formación Volcánica constituye el basamento rocoso. Por su parte en el sector de Yumbo los depósitos de ladera alcanzan profundidades entre 1 y 4 m, y el basamento corresponde a la Formación Volcánica que suele presentar los tres horizontes de meteorización roca meteorizada, roca fracturada y roca densa.

Los ensayos de granulometría en las muestras obtenidas de los apiques y trincheras permiten concluir que los perfiles de meteorización de la formación volcánica y de los cuerpos intrusivos de la parte alta de la SZH derivan en materiales limo arcillosos, de color pardo rojizo con desarrollo de horizontes III, IV, V y VI, ocasionalmente afloran fragmentos de roca descompuesta embebidos en la matriz arcillosa, los cuales suelen ser de color blanco, debido a la hidratación y altas concentraciones de plagioclasas.

3.3. HIDROGEOLOGÍA

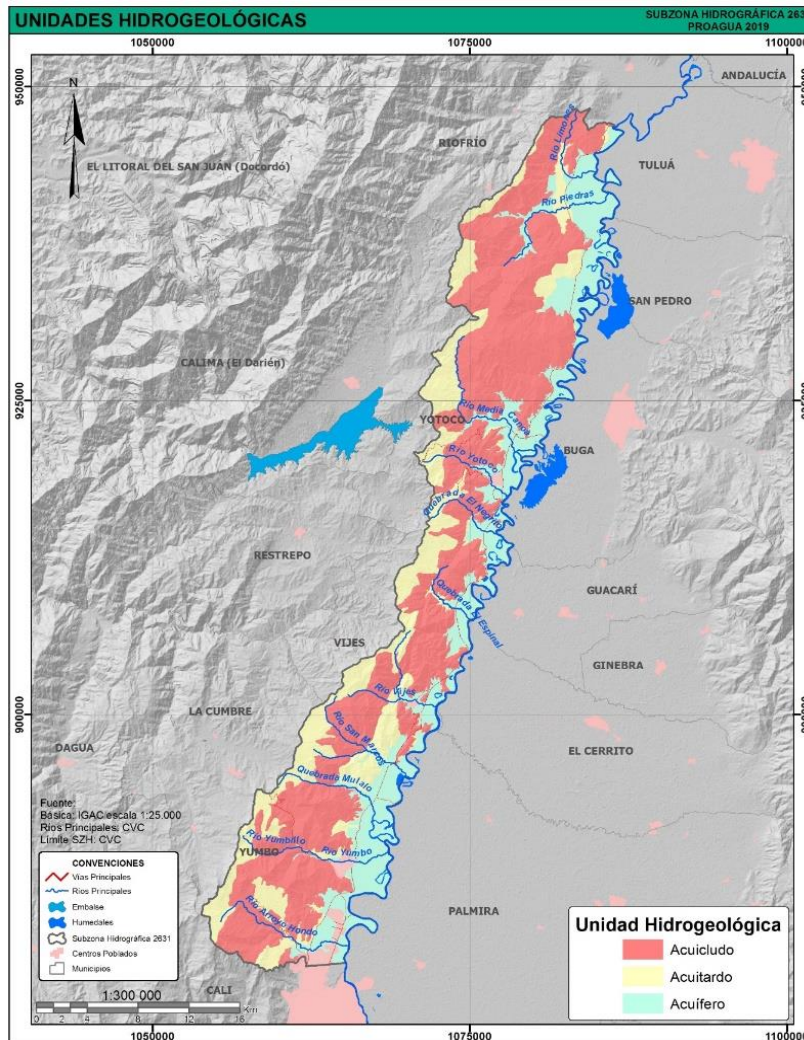
Los cuerpos de agua son muy sensibles a circunstancias de oferta limitada, alta demanda o a la conjugación de ambos factores, lo cual ocurre cada vez con más frecuencia en muchas zonas del país, siendo los recursos de agua subterránea una alternativa de abastecimiento.

3.3.1. Caracterización de unidades hidrogeológicas

De manera general, la SZH cuenta con un área de acuícludos, (no permiten el almacenamiento del agua) donde su transporte puede estar condicionado por las fallas geológicas presentes. También se presenta un área de acuitardos que se encuentran desconectadas de las áreas acuíferas, en las cuales se puede producir un afloramiento al entrar en contacto con formaciones rocosas. En las áreas acuíferas el potencial depende de la geología, formación del subsuelo y de las condiciones climáticas, que son un condicionante de los procesos de recarga.

En la Figura 10 se detallan las áreas de la SZH que corresponden a acuíferos, acuitardo o acuícludos. El sistema acuífero en la SZH 2631 está representado por una zona estrecha, donde los acuíferos con mayor capacidad y con mayor explotación actual se ubican hacia el sur de la SZH, conformados principalmente por conos de deyección que se forman en los cambios topográficos entre la cordillera y la estrecha llanura aluvial.

Figura 10. Unidades hidrogeológicas de acuerdo con propiedades de transmisividad y almacenamiento



Fuente: PROAGUA, 2019

Las cuencas de Arroyohondo y Vijes son las que presentan menor área de acuíferos, mientras que Mediacanoa y Yotoco son las cuencas que más presentan áreas favorables para el almacenamiento y conducción del agua subterránea.

Para llevar a cabo la estimación de los usos actuales y potenciales del recurso hídrico, se realizó el análisis de información de concesiones subterráneas de la CVC, registros de pozos no concesionados, pozos de monitoreo y aljibes, se obtuvo una base de datos completa y organizada del inventario de puntos de agua subterránea. De esta lista de datos se tiene que existen aproximadamente 160 pozos concesionados (58%), 79 pozos de monitoreo (29%) y 37 pozos no concesionados (13%), para un registro total de 276 pozos. Analizando la información de los 160 pozos concesionados, existen 133 pozos profundos y 27 aljibes. Mientras que, con respecto al estado de los pozos concesionados, se tiene que, 112 pozos se encuentran activos y 48 pozos se encuentran inactivos a la fecha.

En cuanto a los pozos de monitoreo, 77 pozos se localizan en los municipios de Yumbo, Yotoco y 2 pozos de monitoreo en Riofrío. Por otro lado, de las 37 perforaciones no concesionadas a la fecha 3 pozos se encuentran aún activos, el resto se encuentran sellados o abandonados. Es de notar que el 46% del total de los pozos perforados no concesionados, se localizan en la zona industrial de Yumbo.

Para determinar el uso actual del agua, se analizó el registro de los 112 pozos activos de la CVC, determinando que, el 52% son de uso industrial (industria y comercial), el 16% son de uso consumo humano y doméstico (acueductos, consumo humano y doméstico) y el 20% son de uso para riego (agrícola, pecuario, estético y otros). El 12% restante corresponde a pozos sin especificación. Tomando los volúmenes de las concesiones de pozos activos, al revisar el sector que mayor consumo anual de agua subterránea tuvo, se tiene que la industria consume el 50.9% (3.603.996,46 m³), seguido por el riego con el 36.9% (2.611.118,88 m³) y finalmente el consumo humano y doméstico con el 12.3% (868.031,28 m³).

A partir de las unidades hidrogeológicas (según las propiedades de transmisividad y almacenamiento) y el polígono del acuífero, se identificaron zonas de posible uso del agua, sustrayendo las áreas que se establecen en el artículo 35 del acuerdo CVC 042 de 2010. El resultado permitió identificar los polígonos donde sería posible un aprovechamiento potencial del agua subterránea, encontrando que las cuencas de Mediacanoa, Yotoco y Piedras tienen un área superior para futuros aprovechamientos, pero que requieren del estudio sobre el potencial hidráulico e hidrológico de los pozos.

La estimación de la recarga para la SZH 2631 se realizó a través del proceso de modelación de aguas superficiales mediante el software TETIS v9.0 (Grupo de investigación de modelación hidrológica y ambiental - UPV, 2018), que utiliza el método de modelación distribuida. Para el modelo TETIS el componente X5 se define como *pérdidas subterráneas*, este se convierte en el componente de recarga del acuífero utilizado para determinar la recarga de las siete cuencas.

La recarga anual para cada una de las cuencas y para la SZH completa, tanto en mm/año como en Mm³/año se presenta en la Tabla 3. El promedio anual de recarga en la SZH 2631 es de 77,9 mm/año que representa un volumen total de 49 Mm³/año de oferta renovable actual. Mulaló

es la cuenca que presenta mayor disponibilidad de recursos hídricos subterráneos, seguida de Yumbo y Arroyohondo, mientras que las cuencas Piedras, Vijes, Yotoco y Mediacanoa son las que presentan la menor recarga dentro de la SZH 2631.

Tabla 3. Resumen recarga cuencas SZH 2631

Cuenca	Recarga en mm/año	Recarga en Mm3/año
Arroyohondo	186.9	12.1
Yumbo	182.8	12.3
Mulaló	280.3	13.4
Vijes	19.5	1.7
Yotoco	22.6	2.4
Mediacanoa	19.3	2.7
Piedras	37.9	4.4
SZH 2631	77.9	49.0

Fuente: Elaboración propia, 2019

Se realizó además la caracterización hidroquímica utilizando la información de CVC. Inicialmente, se calculó el error analítico a través del cálculo del balance iónico de masas permitiendo seleccionar los pozos con error por debajo del 15%. En total, 89 pozos cumplen esta condición, 4 de ellos corresponden a pozos de más de 130 m, que captan aguas tanto de la Unidad A como de la Unidad C; mientras que 85 captan solo de la Unidad A. De manera general, los parámetros del grupo de los pozos con menos de 130 m de profundidad muestran mayor relación con los procesos hidrológicos superficiales y con la geología superficial. La conductividad eléctrica presenta los mayores valores hacia el sur, entre 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hacia el norte los valores disminuyen considerablemente hasta alcanzar valores de 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, más similares al agua superficial.

Los cloruros, pueden usarse para analizar si el agua subterránea ha sido recientemente recargada de la precipitación o por aporte de cuerpos superficiales, dado que es un trazador conservativo y puede asumirse que, en el caso de las aguas subterráneas, es originario solo de la precipitación o de su depositación seca, además es un indicador de contaminación antrópica cuando sus valores son muy elevados, representando principalmente las excretas de humanos y de otros organismos superiores, se encontró que los cloruros varían entre 0,98 y 100 mg/L. Solamente en las cuencas Arroyohondo y Yumbo existen áreas con concentraciones de cloruros por encima de 100 mg/L, que podrían provenir de fuentes superficiales de contaminación ya que estos pozos en general no superan los 20 m de profundidad. A pesar de esto, el límite de cloruros para el consumo humano es de 250 mg/L, valores que de manera general no son superados en la subzona.

En la realización del estudio de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, se aplicó la metodología GOD para el análisis de vulnerabilidad intrínseca de acuíferos, de acuerdo con el ajuste de la CVC a los índices indexados (Páez 2010). Para llevar a cabo el estudio, se analizó información de la base de datos de CVC, donde se tomaron en cuenta 100 puntos y 10 sondeos eléctricos verticales descritos en el aparte sobre geología del presente informe. Como resultado se obtuvieron dos rangos de vulnerabilidad a la contaminación, los cuales fueron vulnerabilidad moderada, localizada principalmente en los conos aluviales y hacia el pie de monte de las estribaciones de la cordillera Occidental, con 73 registros y

vulnerabilidad baja, con 37 registros, intercalados, localizado principalmente en algunos puntos cercanos de la llanura aluvial del río Cauca, desde la cuenca de Arroyohondo hasta la parte media de la cuenca de Yotoco. En la SZH 2631 no existen áreas con calificación de vulnerabilidad alta o extrema, sin embargo, se recomienda atención especial en las zonas con calificación de vulnerabilidad moderada.

3.3.2. Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC)

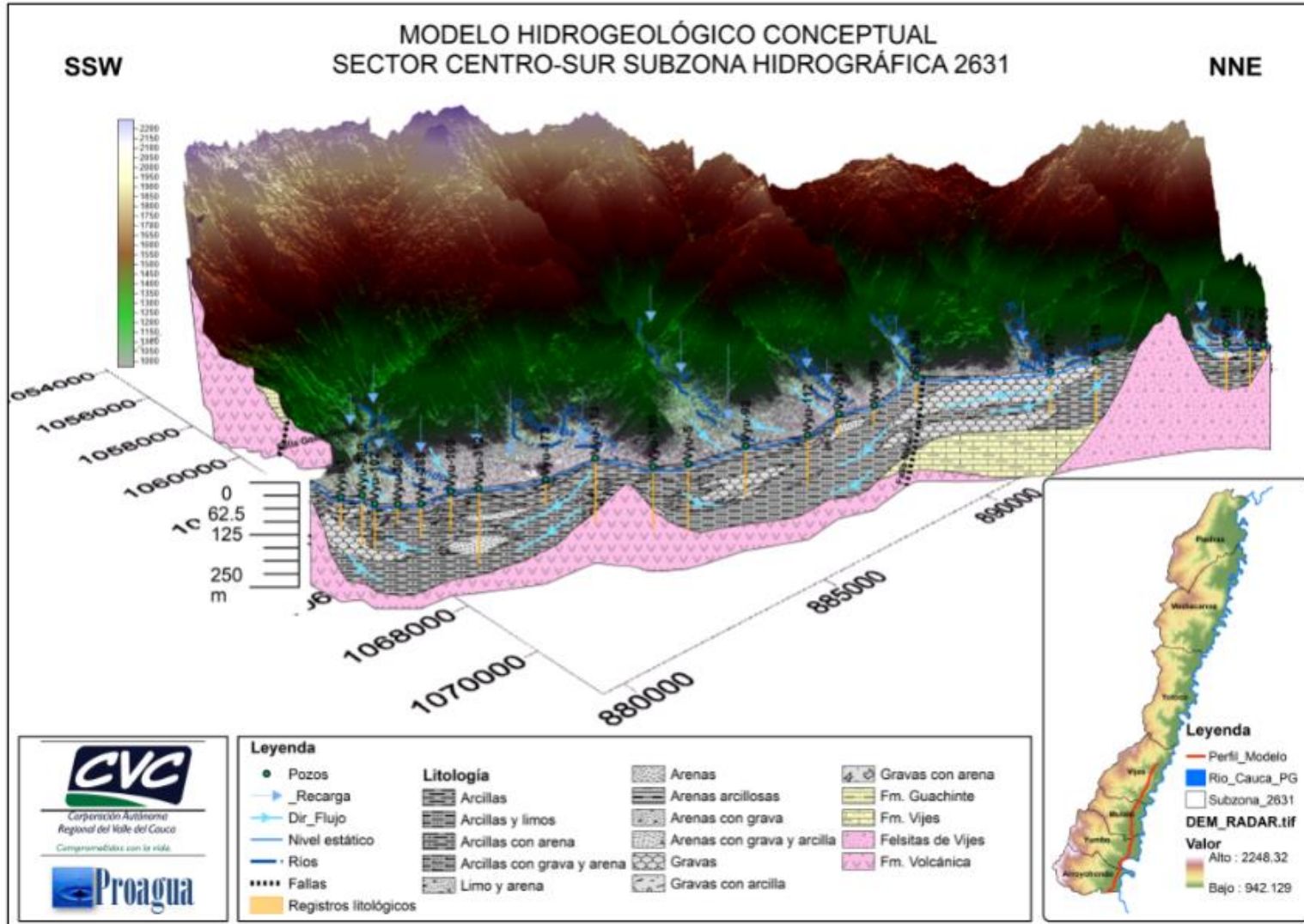
Un MHC, es una representación descriptiva y gráfica de un sistema acuífero que incorpora la interpretación de condiciones geológicas e hidrogeológicas y su interrelación con sistemas asociados (ríos, lagos, ecosistemas, mar), para realizar una versión simplificada de la realidad (MADS, 2014). Para determinar la geometría de las unidades acuíferas localizadas en la subzona, se realizaron 8 secciones litológicas de la zona plana y se correlacionó la información de 31 pozos profundos, además de los resultados de la exploración geoelectrónica ejecutada en el presente proyecto, correlacionando 8 de los 10 SEVs realizados.

Las secciones que se determinaron buscaron caracterizar los sectores que morfológicamente hacen parte de cinco subsistemas acuíferos propuestos, (Arroyohondo-San Marcos, Vijes, El Espinal- Negritos, Yotoco-Chimbilaco y La Negra - Limones). comprendidos entre el piedemonte oriental de la cordillera Occidental y río Cauca; estos subsistemas son parcialmente independientes en sus sectores más cercanos al piedemonte conectándose subsuperficialmente por medio del sistema acuífero del valle medio del Cauca.

La recarga del acuífero está controlada principalmente por el marco tectónico regional, de esta manera, el flanco oriental de la cordillera Occidental donde se presentan un sin número de estructuras (fracturas y fallas), se manifiesta como el control del drenaje superficial, originando patrones rectangulares, que distribuyen sus aguas de Oeste a Este. Se registra el nivel superior (nivel A) del sistema acuífero del Cauca Medio, nivel que se encuentra hasta los 130 m de profundidad aproximadamente, y está compuesto de acuíferos libres y semiconfinados, con materiales de tipo sedimentario, principalmente arcillas, arenas y gravas. El modelo en la parte sur de la cuenca de Arroyohondo hasta la cuenca de Mulaló, muestra un depósito aluvial profundo, con acuíferos multicapa de dos niveles muy bien diferenciados en la zona plana (llanura aluvial) cerca del río Cauca, como son los acuíferos libres y semiconfinados.

La recarga natural media anual a lo largo de toda la subzona, ocurre principalmente por las infiltraciones en las zonas altas de las cuencas, por medio de fallas o rocas fracturadas, las cuales alimentan los sistemas acuíferos más profundos. En la zona de piedemonte y en la zona plana, la recarga se produce en su mayoría por infiltraciones de agua lluvia, alimentando los acuíferos libres y semiconfinados. La subzona solamente cuenta con zonas de recarga y descarga debido a su baja extensión entre el piedemonte de la cordillera y el río Cauca, y no cuenta con una zona de equilibrio entre estas dos. La descarga natural y la dirección de flujo son controladas por el río Cauca en sentido O-E (cordillera Occidental hacia el río Cauca), y hay un flujo regional en dirección S-N, paralelo al río Cauca. Adicionalmente se presenta una descarga artificial a través de los aljibes y pozos profundos. En la Figura 11, se muestra la representación gráfica del modelo hidrogeológico conceptual del sur de la SZH 2631 elaborado a partir de la correlación de registros de pozos profundos.

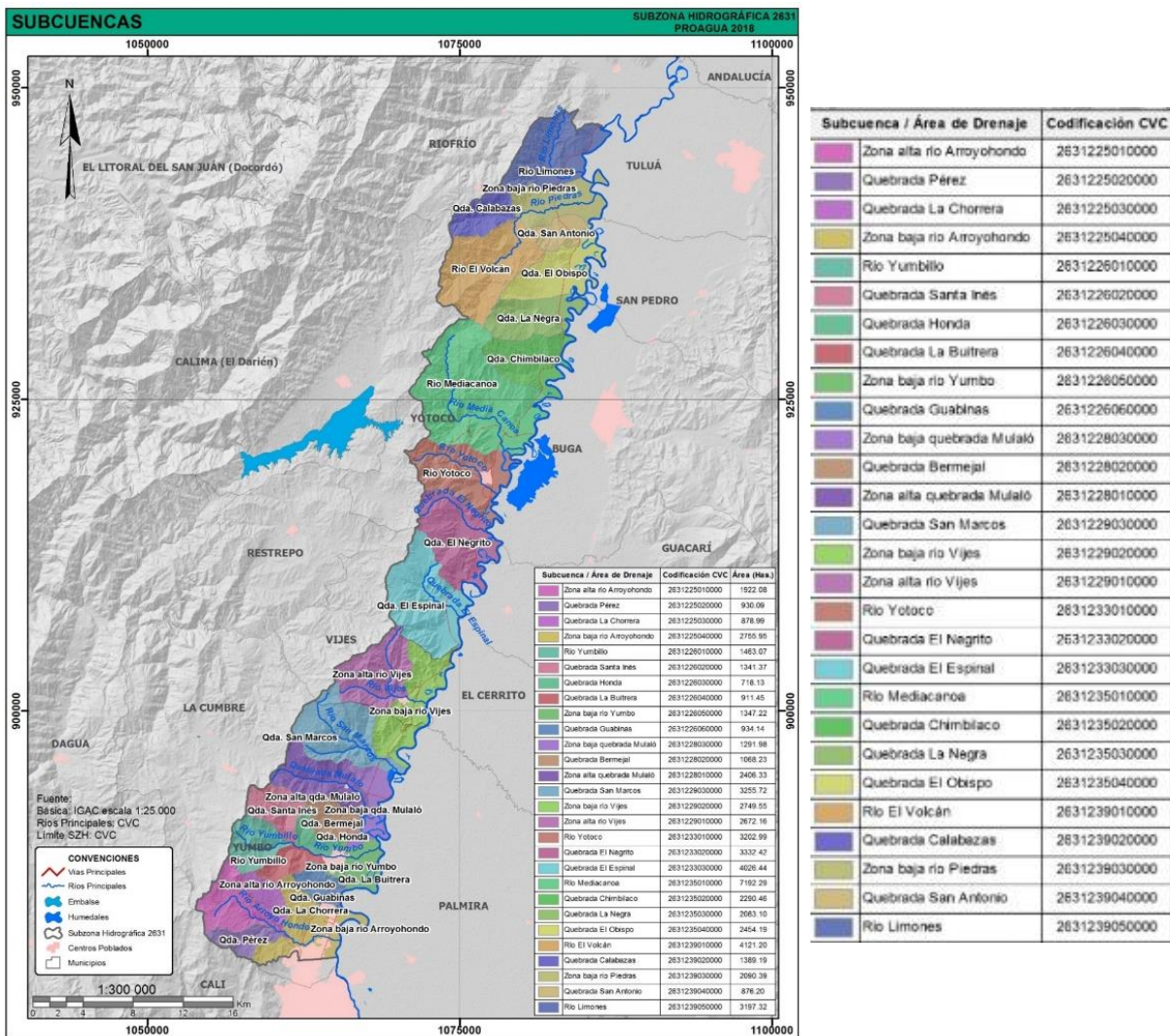
Figura 11. Modelo hidrogeológico conceptual del sector sur de la SZH 2631.



3.4. HIDROGRAFÍA

En la SZH hay gran presencia de nacimientos, quebradas y ríos que de forma directa o mediante otras fuentes, desembocan al cauce principal del río Cauca. Entre los principales cuerpos lóticos se encuentran los ríos Arroyohondo, Yumbo, Yumbillo, Vijes, Yotoco, Mediacanoa, Piedras, El Volcán y Limones, y las quebradas Pérez, La Chorrera, Guabinas, La Buitrera, Honda, Santa Inés, Bermejál, Mulaló, San Marcos, El Espinal, El Negrito, Chimbilaco, La Negra, El Obispo, Calabazas y San Antonio. La SZH está conformada por 28 subcuencas, ver Figura 12.

Figura 12. Subcuencas de la subzona hidrográfica



Fuente: Elaboración propia a partir de información cartográfica suministrada por CVC

El cauce más largo es del río Mediacanoa con una longitud aproximada de 22.07 km y una elevación en su nacimiento de 1864.3 msnm y 955.5 msnm en el punto de cierre de la subcuenca,

seguido de la quebrada Mulaló con 13.5 km y el río Arroyohondo con 12 km. Mientras que la subcuenca que contiene el cauce de menor longitud es la de la quebrada Honda con 2.7 km.

Respecto a los perfiles longitudinales de las 28 subcuencas analizadas se observa que, los cauces que presentan una mayor pendiente son los de la zona alta del río Vijes, la zona alta del río Arroyohondo, la quebrada Pérez y la quebrada La Chorrera con una pendiente de 16.9%, 11.9%, 11.5% y 11%, respectivamente. El 89% de los cauces principales de todas las subcuencas tienden a tener cauces con alineamiento recto, pues la sinuosidad del cauce para todos es menor a 1.25 de acuerdo con Monsalve, G., (1995).

De acuerdo con los resultados de la densidad drenaje, se tiene que para las subcuencas de las zonas bajas de los ríos Arroyohondo, Yumbo, la quebrada Mulaló, las quebradas El Obispo, Bermejál y El Negrito corresponden a subcuencas pobremente drenadas. El resto de las subcuencas presentan una red de drenaje entre media y eficientemente drenada.

La SZH tiene 2.868 cauces de primer orden, los cuales tienen una longitud de 1125,4 km, (ver Tabla 4). La relación de bifurcación indica que la SZH presenta zonas montañosas y rocosas con pendientes moderadas y cuencas hidrográficas cortas en la dirección del río de mayor orden, además de presentar una rápida concentración de la escorrentía (Reyes, Ulises, & Carvajal, 2010). De todas las subcuencas analizadas, la que tiene el mayor número de cauce de primer orden es la del río Mediacanoa con 327 cauces con una longitud total de 125.1 km, seguido por la del río El Volcán con 198 cauces y una longitud total de 68.1 km.

Tabla 4. Jerarquización de drenaje, relación de bifurcación y longitud para los cauces de la SZH

Orden de Drenaje	Número de Cauces	Longitud Total (Km)	R _b	R _L
1	2868	1125.44	-	0.49
2	1406	550.32	2.04	0.54
3	756	247.70	1.86	0.55
4	419	130.49	1.80	0.45
5	187	71.96	2.24	-
Total	5636	2125.90	-	-
Promedio	-	-	1.99	0.51

Fuente: PROAGUA, 2018

3.5. MORFOMETRÍA

El análisis morfométrico de una cuenca es fundamental para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico. Para la determinación de las características morfométricas se utilizó la red de drenaje a escala 1:25.000 suministrada por la CVC, así como el modelo digital de terreno con resolución espacial de 5m y la delimitación de las subcuencas producto de la metodología de codificación de cuencas de la CVC.

El 14.3% de las subcuencas presentan una forma redonda a oval redonda, el 50% una forma oval redonda a oval oblonga y el 35.7% restante una forma oval oblonga a rectangular oblonga. En promedio, la SZH presenta condiciones medias a crecientes o concentración de altos volúmenes de agua de escorrentía y se puede decir que la zona baja del río Arroyohondo,

Mulaló y Vijes y la quebrada El Obispo, son las áreas de drenaje que presentan mayor tendencia a concentrar flujos en la SZH.

El índice de alargamiento (I_a) de las 28 subcuencas hidrográficas varía desde 0.5 hasta 3.13. Aquellas subcuencas con valores de I_a cercanos a la unidad poseen una red de drenaje en forma de abanico y pueden tener un río principal corto, este es el caso del 14% de las subcuencas analizadas. Mientras que el 86% de subcuencas restantes tienen valores de I_a que superan la unidad (1), es decir, que son subcuencas alargadas con ríos largos considerando que tienen un área más larga que ancha.

Con respecto al tiempo de concentración (T_c), se tiene que el 89% de las áreas de drenaje presentan unos T_c inferiores a 1 hora, lo cual indica que concentran el flujo rápidamente. El 11% restante T_c entre 1 a 3 horas.

Teniendo en cuenta que el presente proyecto tiene por objeto la formulación del POMCA orientado hacia la ordenación ambiental de una SZH, se optó por la generación de curvas hipsométricas a nivel de cuenca con el fin de explicar el territorio morfométricamente de una manera más detallada y adecuada. Teniendo en cuenta la forma de las curvas hipsométricas construidas para las siete cuencas se puede afirmar que los sistemas hidrológicos de estas corresponden a cuencas en equilibrio, donde las corrientes principales se encuentran en una fase de madurez o una transición de madurez a vejez. Además, se puede apreciar que las elevaciones medianas oscilan entre 1175 msnm (cuenca Mulaló) y 1420 (cuenca Arroyohondo).

3.6. PENDIENTES

En la SZH se identificaron diferentes pendientes del terreno, las cuales fueron clasificadas en rangos de pendientes en porcentaje con los criterios y categorías establecidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Dentro de las pendientes identificadas, dominan en la SZH, los terrenos ligeramente escarpados y fuertemente inclinados, ocupando el 48,2% y 19,4% respectivamente. Los terrenos planos y los fuertemente escarpados se encuentran en menor proporción, con un 3,6 % y 0,6% del área de la Subzona respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje del terreno en la SZH, según la pendiente en porcentaje

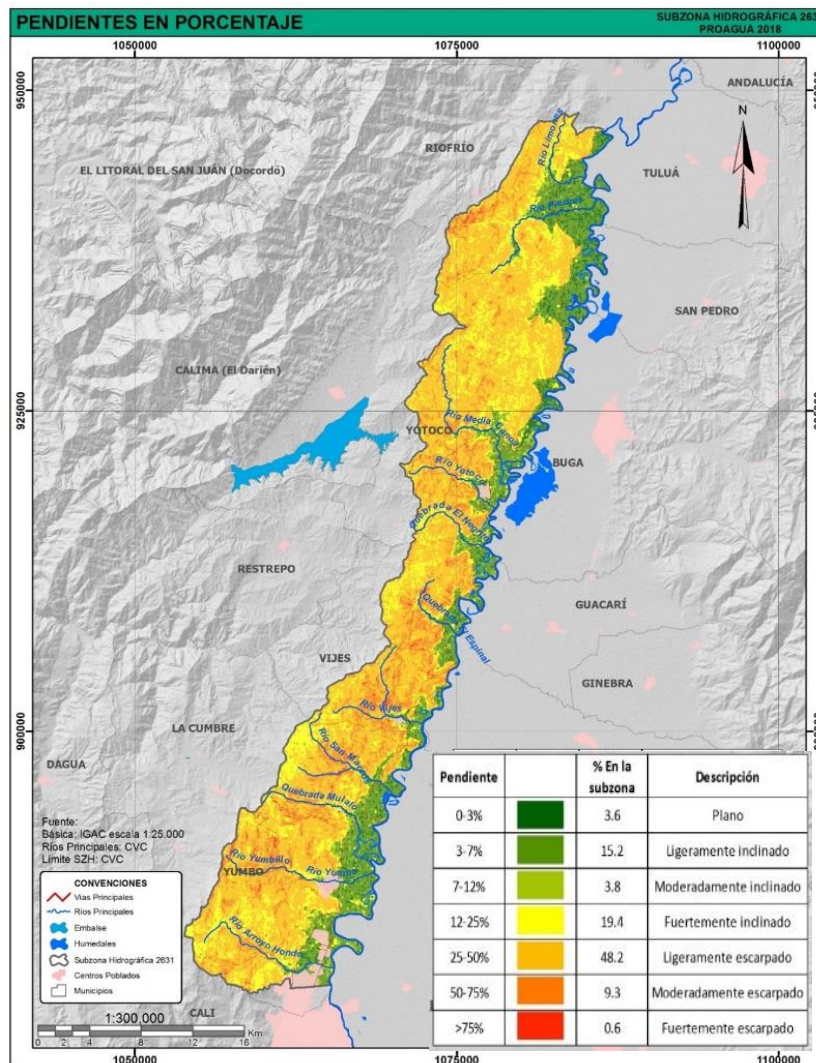
Pendiente	Descripción	% Área en la SZH
0-3%	Plano	3.6
3-7%	Ligeramente inclinado	15.2
7-12%	Moderadamente inclinado	3.8
12-25%	Fuertemente inclinado	19.4
25-50%	Ligeramente escarpado	48.2
50-75%	Moderadamente escarpado	9.3
>75%	Fuertemente escarpado	0.6

Fuente: PROAGUA, 2018

Los terrenos dominantes en cada cuenca corresponden en su mayor porcentaje a ligeramente escarpados, seguido de fuertemente inclinado para las cuencas de Arroyohondo, Mediacanoa, Piedras y Vijes, y ligeramente inclinado para las cuencas de Mulaló, Yotoco y Yumbo, los cuales ocupan más del 50% del área en cada cuenca. Las zonas planas se ubican principalmente en el

centro urbano de Yumbo, Vijes y Yotoco y a lo largo de la margen izquierda del río Cauca (Figura 13). Con relación a la variación altitudinal que presenta la SZH 2631, se puede concluir que esta presenta una cota máxima de 2248.32 msnm y una mínima de 947.45 msnm, justo antes de la desembocadura de la confluencia del río Limones al río Cauca; la diferencia entre estas dos alturas arroja un desnivel de 1300.87 msnm.

Figura 13. Pendientes en Porcentaje



Fuente: PROAGUA, 2018

3.7. HIDROLOGÍA

Para la caracterización hidrológica se empleó la información generada por estaciones pertenecientes a la red de la CVC tanto hidrométricas e Hidrográficas (Tabla 6). La exploración de los datos de caudal se realizó para las series mensuales, a través de la determinación de datos faltantes (DF), pruebas estadísticas que permiten identificar cambios o tendencias en las series y valores atípicos u outliers.

Tabla 6. Información de las estaciones hidrológicas

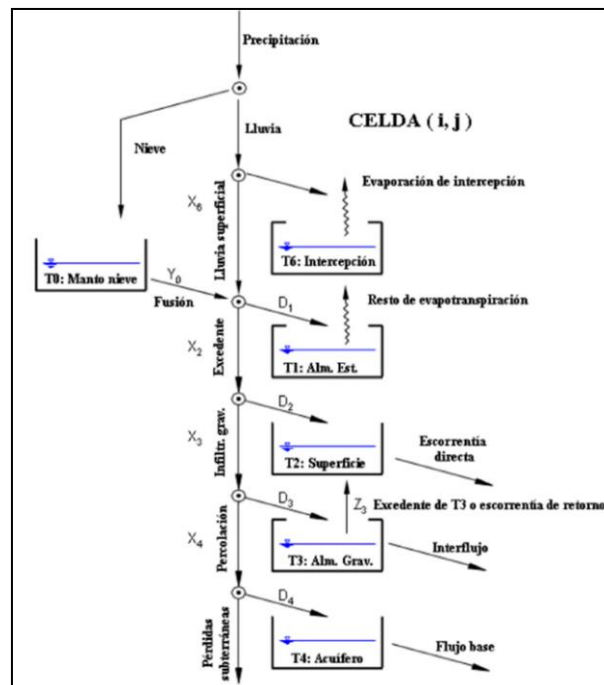
Parámetro	Estación	
	Mediacanoa	Yumbo Pasoancho
Entidad a Cargo	CVC	CVC
Código	2623500401	2622600401
Clase	Hidrológica	Hidrológica
Categoría	Hidrométrica	Hidrográfica
Cuenca	Mediacanoa	Yumbo
Departamento	Valle del Cauca	Valle del Cauca
Municipio	Mediacanoa	Yumbo
X=E	1079216,25	1061646,80
Y=N	921995,02	889369,14
Elevación (m.s.n.m)	944	1112
Periodo de Registro	1971 - 2015	1986 - 2018

Fuente: PROAGUA, 2019 a partir de la información proporcionada por la CVC.

3.7.1. Modelación Hidrológica

Con el fin de estimar los caudales de los diferentes afluentes que hacen parte de la SZH, se implementó el modelo hidrológico conceptual y distribuido TETIS v9.0, desarrollado en el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), de la Universidad Politécnica de Valencia (GIMHA, 2014), el cual utiliza el método de modelación distribuida, permitiendo una mejor representación de la variabilidad de los fenómenos involucrados dentro de los procesos hidrológicos. Para el uso del modelo hidrológico se requirió variables de entrada como son la precipitación y la evapotranspiración potencial (ETP), todas ellas de carácter puntual, ver Figura 14.

Figura 14. Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS



Fuente: (Escamilla, Puertes, & Francés, 2017)

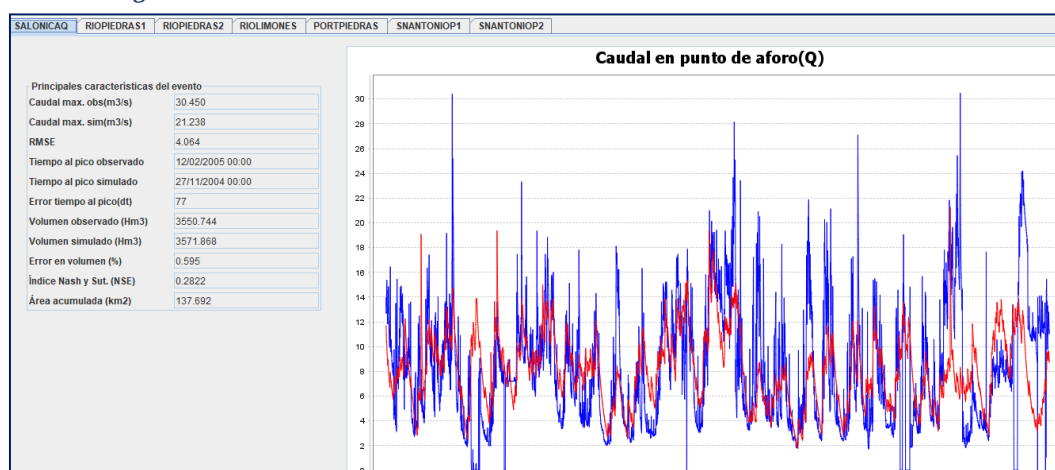
Se hicieron tres modelaciones, teniendo en cuenta que en la subzona se tienen solo dos estaciones de medición de caudal, las estaciones Yumbo Pasoancho y la estación Mediacanoa, las cuales se utilizaron para calibrar el modelo. La estación Yumbo Pasoancho se utilizó para calibrar el modelo para los ríos Arroyohondo, Yumbo y Mulaló y la estación Mediacanoa para calibrar los ríos Vijes, Yotoco y Mediacanoa. El río Piedras se calibró con la estación Riofrío, localizada en la cuenca del río Riofrío, esto debido a que las características morfométricas de la cuenca del río Riofrío, son algo similares a la cuenca del río Piedras. Los resultados de la modelación se presentan a continuación:

Arroyohondo-Yumbo-Mulaló (AYM): Se seleccionó el periodo comprendido entre 01 de enero de 2009 al 31 de diciembre del 2016, en este periodo se encontró una serie continua de caudales con muy pocos datos faltantes. La calibración del modelo para AYM, logró un índice de Nash - Sutcliffe de 0.22, los valores se ajustaron en el total del volumen observado y simulado pues el error entre estos parámetros es de 7%.

Vijes-Yotoco-Mediacanoa (VYM): Se seleccionó el periodo comprendido entre 01 de enero de 2003 al 31 de diciembre del 2016, en este periodo se encontró una serie continua de caudales con muy pocos datos faltantes. La calibración del modelo para VYM, aunque no se logró un valor alrededor de 0,25 en cuanto al índice de Nash - Sutcliffe, se considera apropiada puesto que presenta una variación del volumen simulado al observado del 15%. No se logró ajustar los picos de caudal.

Modelación Piedras: Se seleccionó el periodo comprendido entre 01 de enero de 1993 al 31 de diciembre del 2015, en este periodo se encontró una serie continua de caudales con muy pocos datos faltantes. La calibración del modelo para el río Piedras, se considera adecuada puesto que se logró un índice de Nash - Sutcliffe de 0.28, los valores se ajustaron en el total del volumen observado y simulado pues el error entre estos parámetros es de 0.6%. No se logró ajustar los picos de caudal. En la Figura 15, se presenta la gráfica de caudal simulado y caudal observado y las características del evento.

Figura 15. Caudal simulado - caudal observado estación Salónica - Piedras

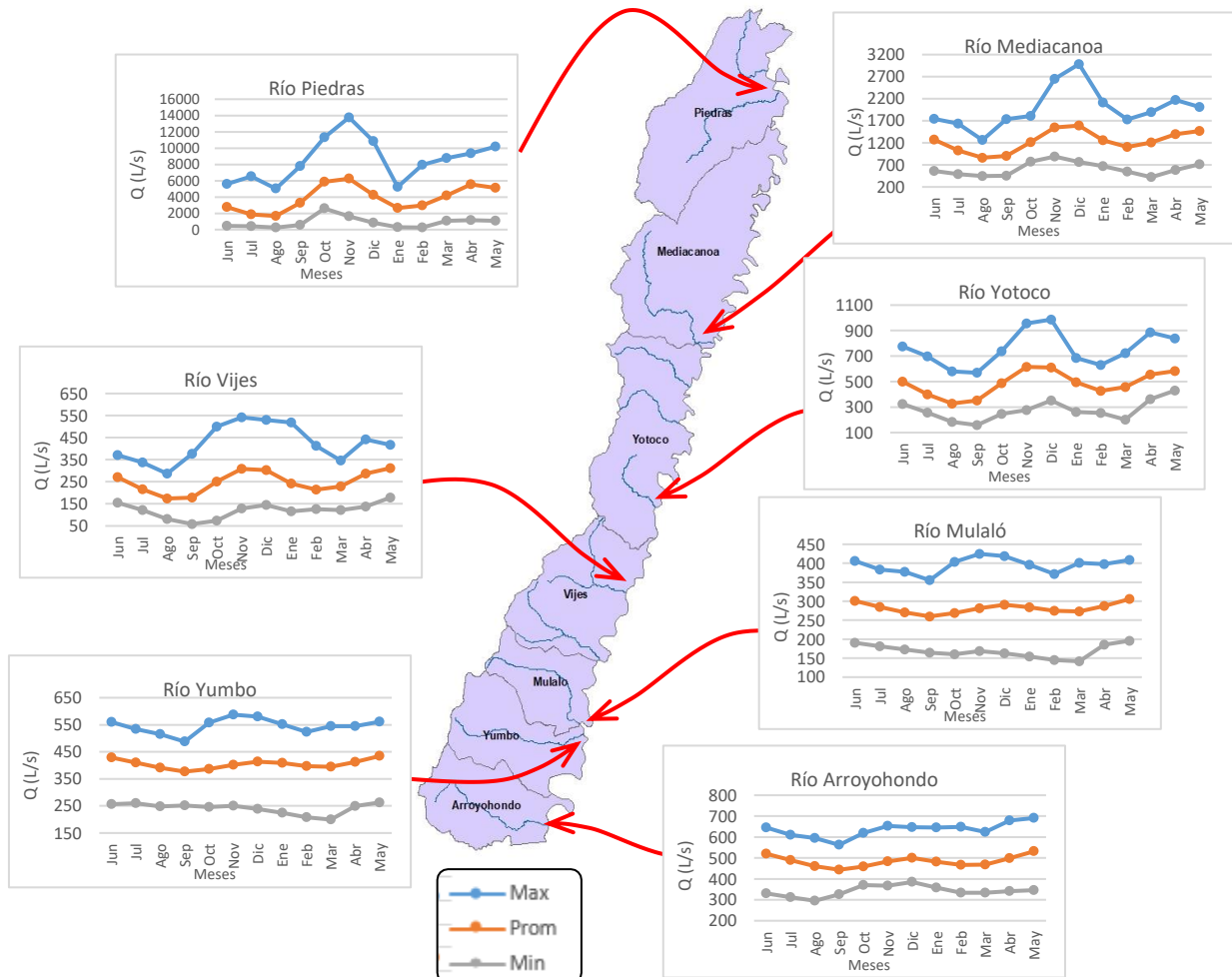


Fuente: PROAGUA a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

3.7.2. Caudales medios mensuales

En la Figura 16 se presenta las magnitudes y el comportamiento del caudal medio mensual interanual de los ríos principales de la SZH. Las magnitudes de los caudales se organizaron según el año hidrológico con el fin de mostrar mejor el comportamiento.

Figura 16. Comportamiento de los Valores Máximos, Promedios y Mínimos de las series de Caudal medio mensual interanual de los ríos de la SZH (L/s)

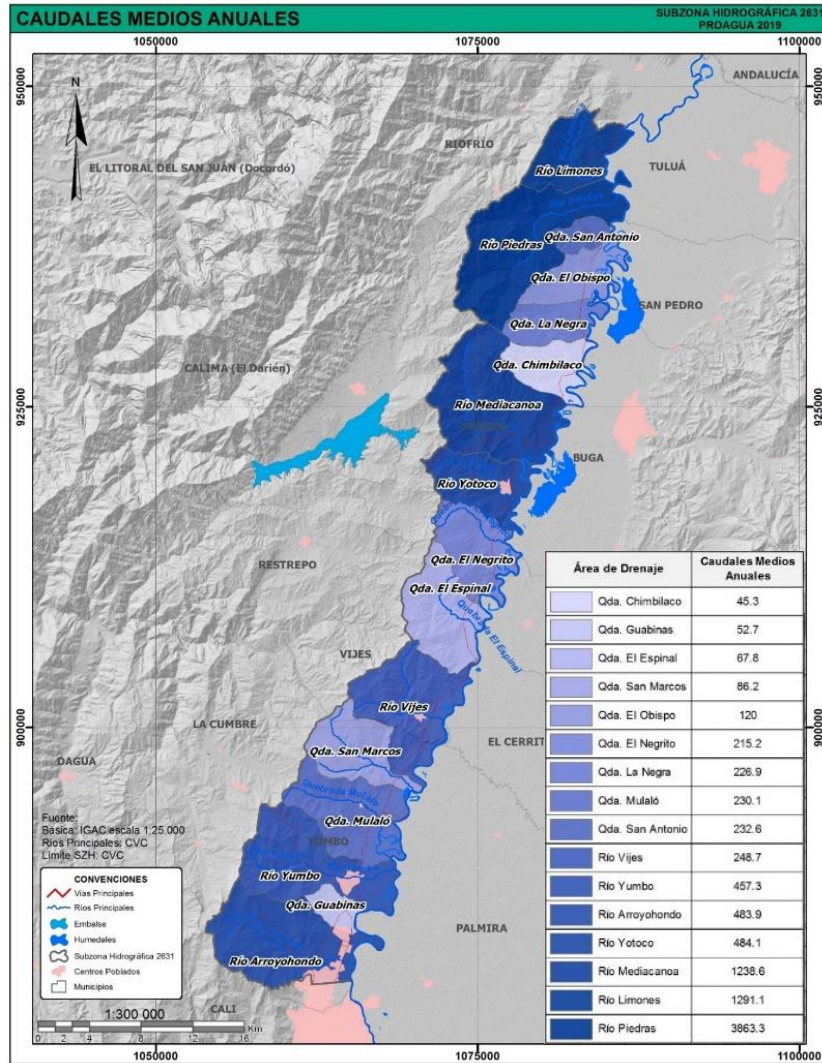


Fuente: PROAGUA a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

En general se observa un régimen hidrológico bimodal. El pico de caudal de mayor magnitud, se alcanza en los meses de octubre - noviembre - diciembre, y el segundo pico ocurre entre los meses de abril - mayo - junio. Los meses de menor caudal se presentan entre los meses de julio - agosto - septiembre y los meses enero - febrero - marzo. El río piedras reporta los mayores caudales de la SZH, con magnitudes que oscilan entre 1666 L/s, el cual corresponden al mes de agosto, el mes mas seco, y 6249 L/s, que corresponde al mes de noviembre. Por su parte, el río Vijes reporta las menores magnitudes de caudal, con valores entre 174 L/s y 312 L/s.

En cuanto a los caudales medios anuales de los ríos de la SZH 2631 que drenan al río Cauca, se tiene que el mayor caudal medio lo reporta el río Piedras 3863,3 L/s, mientras que la quebrada Chimbilaco presenta el menor caudal medio con magnitud de 45,3 L/s. La espacialización de los caudales medios se presentan en la Figura 17.

Figura 17. Caudal medio Anual (L/s)



Fuente: PROAGUA a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

3.7.3. Análisis de Frecuencias de Eventos Máximos y Mínimos de caudales diarios

El Análisis de Frecuencia (AF) es un procedimiento para estimar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos hidrológicos (Monsalve, 1995). Para el AF se utilizó la metodología propuesta por Chow et al (1994), que hace uso de los factores de frecuencia para ajustar el comportamiento de las distribuciones de frecuencia más utilizadas de valor extremo.

En el análisis de frecuencia para los eventos máximos diarios de caudal en los ríos principales de las cuencas que hacen parte de la SZH muestra que la función de distribución de probabilidad de mejor ajuste es LogPearson III. Los caudales máximos diarios estimados para los diferentes periodos de retorno con la función de mejor ajuste se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Caudal máximo diario en m³/s para diferentes periodos de retorno (Tr) con LogPearsonIII

Cuenca	Periodo de Retorno Tr									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
Arroyohondo	0,606	0,670	0,702	0,717	0,727	0,734	0,740	0,755	0,772	0,806
Yumbo	0,474	0,537	0,570	0,585	0,596	0,603	0,609	0,624	0,642	0,678
Mulaló	0,339	0,392	0,418	0,430	0,439	0,444	0,449	0,461	0,475	0,502
Vijes	0,413	0,481	0,525	0,549	0,566	0,579	0,589	0,618	0,657	0,749
Yotoco	0,798	0,919	0,992	1,032	1,059	1,079	1,095	1,140	1,199	1,331
Mediacanoa	2,015	2,403	2,641	2,770	2,858	2,925	2,979	3,128	3,324	3,767
Piedras	21,164	24,914	26,970	28,017	28,709	29,221	29,626	30,702	32,047	34,801

Fuente: PROAGUA, 2019 a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

En el análisis de frecuencia para los eventos mínimos diarios de caudal en los ríos principales que hacen parte de la SZH, muestra que la función de distribución de probabilidad de mejor ajuste para las cuencas Arroyohondo, Vijes y Mediacanoa es LogPearson III; para el resto de las cuencas es LogNormal. Los caudales mínimos diarios estimados para los diferentes periodos de retorno con la función de mejor ajuste se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Caudal máximo diario en m³/s para diferentes periodos de retorno (Tr)

Cuenca	Función de Probabilidad	Periodo de Retorno Tr									
		2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
Arroyohondo	LogPearsonIII	0,400	0,355	0,333	0,323	0,317	0,312	0,308	0,299	0,288	0,267
Yumbo	LogNormal	0,337	0,282	0,257	0,245	0,237	0,232	0,228	0,218	0,205	0,183
Mulaló	LogNormal	0,232	0,192	0,174	0,166	0,161	0,157	0,154	0,147	0,138	0,122
Vijes	LogPearsonIII	0,108	0,082	0,071	0,067	0,064	0,062	0,061	0,057	0,053	0,045
Yotoco	LogNormal	0,216	0,172	0,152	0,143	0,138	0,134	0,131	0,123	0,114	0,098
Mediacanoa	LogPearsonIII	0,575	0,454	0,402	0,378	0,363	0,353	0,345	0,324	0,301	0,259
Piedras	LogNormal	0,287	0,197	0,162	0,146	0,137	0,131	0,126	0,114	0,101	0,079

Fuente: PROAGUA, 2019 a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

3.7.4. Balance Hídrico Mensual del Suelo

Para calcular el balance de agua en el suelo, se utilizaron los resultados obtenidos en la modelación hidrológica en TETIS, tomando la precipitación y evapotranspiración media mensual multianual y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

En la Tabla 9, se muestran los resultados del balance de agua en el suelo para cada cuenca, lo cual corresponde al excedente de agua que queda en el suelo. Se puede observar que entre los meses de julio y agosto las cuencas presentan el mayor déficit de agua en el suelo. Solo en la cuenca del río Yotoco se presenta un excedente de agua de 0,5 mm, en julio, en el resto de las cuencas para este mes el excedente es cero. El mes donde se presenta los mayores excesos de agua para las cuencas de los ríos Arroyohondo, Yumbo y Mulaló es abril y para las cuencas de los ríos Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras el mes de octubre.

Tabla 9. Balance Hídrico Mensual en el suelo para cada una de las cuencas de la SZH Excedente (mm)

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca Río Arroyohondo	6,8	12,5	61,1	118,0	82,6	18,2	0,0	0,0	4,3	85,3	100,7	51,6
Cuenca Río Yumbo	0,0	6,9	47,3	105,0	71,0	11,7	0,0	0,0	0,0	80,4	85,7	35,4
Cuenca Río Mulaló	0,0	4,9	43,7	96,6	66,9	11,6	0,0	0,0	0,7	84,1	81,5	31,9
Cuenca Río Vijes	0,0	0,0	20,6	74,6	49,3	4,4	0,0	0,0	0,0	78,5	63,4	20,6
Cuenca Río Yotoco	13,3	24,7	61,4	110,2	68,6	20,0	0,5	0,0	42,0	115,6	104,2	48,4
Cuenca Río Mediacanoa	0,0	0,0	27,1	84,9	47,7	0,0	0,0	0,0	9,7	93,1	85,3	27,4
Cuenca Río Piedras	18,8	0,0	32,8	82,9	54,3	0,0	0,0	0,0	4,2	86,7	78,4	20,9

Fuente: PROAGUA 2019, a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

3.7.5. Oferta Hídrica

Con los resultados de la modelación en TETIS de las series de caudal medio de las 7 cuencas, las 28 Subcuencas y algunos de los puntos más importantes de interés hidrológico de la SZH se determinó la oferta para año normal y seco, según la clasificación del Índice ONI, tiene el comportamiento que se describe a continuación:

Oferta río Arroyohondo. Compuesta por el cauce principal que drena al río Cauca, donde la cuenca del río principal reporta caudales de mayor magnitud para año normal en el mes de mayo con valor de 534,2 L/s y en septiembre se reportan las menores ofertas del orden de 441,4 L/s, su oferta media anual llega a ser de 475,9 L/s. Respecto a los caudales para año seco se tiene que el río Arroyohondo en su punto de cierre reporta su mayor oferta en el mes de junio con magnitud de 507,4 L/s, mientras que, en el mes de septiembre, se registran las menores magnitudes de caudal del orden de 417,1 L/s, su oferta media anual es de 453,3 L/s.

Oferta río Yumbo. Está compuesta por dos ríos que drenan al río Cauca, los cuales son el río Yumbo y la quebrada Guabinas, de esta manera las ofertas calculadas para la cuenca de Yumbo corresponden a la suma de los caudales de esos dos cauces. La cuenca total del río Yumbo reporta su mayor oferta para año normal en el mes de junio con magnitud 486,3 L/s y la menor oferta se registra en el mes de marzo con magnitud de 422,3 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 441,1 L/s. Por otro lado, la cuenca total del río Yumbo reporta su mayor oferta para año seco en el mes de junio con magnitud 476,3 L/s y la menor oferta se registra en el mes de marzo con magnitud de 402,2 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 432,0 L/s.

Oferta río Mulaló. Compuesta por un río principal que drena al río Cauca, donde las ofertas calculadas para el punto de cierre del río, representan la oferta total de la cuenca. La cuenca del río principal reporta caudales de mayor magnitud para año normal en mayo con valor de 299,4 L/s y en el mes de marzo se reportan las menores ofertas del orden de 255,9 L/s, su oferta media anual llega a ser de 270,9 L/s. Además, el río Mulaló reporta su mayor oferta para año seco en el mes de junio con magnitud de 288,8 L/s, mientras que, en marzo, se registran las menores magnitudes de caudal del orden de 216,7 L/s, su oferta media anual es de 255,0 L/s.

Oferta río Vijes. La cuenca total Vijes está compuesta por dos fuentes que drenan al río Cauca, los cuales son el río Vijes y la quebrada San Marcos, de esta manera las ofertas calculadas para la cuenca corresponden a la suma de los caudales de esos dos cauces. La cuenca total del río Vijes reporta su mayor oferta para año normal en el mes de abril con magnitud 421,0 L/s y la

menor oferta se registra en septiembre con magnitud de 244,5 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 347,8 L/s. Por su parte para año seco, la cuenca total del río Vijes reporta su mayor oferta en el mes de mayo con magnitud 390,4 L/s y la menor oferta se registra en septiembre con magnitud de 181,0 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 276,6 L/s.

Oferta río Yotoco. La cuenca total de Yotoco se compone de tres ríos que drenan al río Cauca, los cuales son el río Yotoco, la quebrada El Espinal y la quebrada El Negrito, es así como la oferta calculada para la cuenca de Yotoco corresponde a la suma de los caudales de esos tres cauces. La cuenca total del río Yotoco reporta su mayor oferta para año normal en el mes de diciembre con magnitud 924,7 L/s y la menor oferta se registra en el mes de agosto con magnitud de 502,2 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 750,4 L/s. Por su parte la cuenca reporta su mayor oferta para año seco, en noviembre con magnitud 949,4 L/s y la menor oferta en agosto con magnitud de 479,5 L/s, para una oferta media anual es de 715,3 L/s.

Oferta río Mediacanoa. La cuenca total de Mediacanoa está compuesta por 4 ríos que drenan al río Cauca, los cuales son el río Mediacanoa, quebrada Chimbilaco, quebrada La Negra y quebrada El Obispo, de esta manera las ofertas calculadas para la cuenca de Mediacanoa corresponden a la suma de los caudales de esos cuatro cauces. La cuenca total del río Mediacanoa reporta su mayor oferta para año normal en el mes de diciembre con magnitud 2078,0 L/s y la menor oferta se registra en el mes de agosto con magnitud de 1104,6 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 1621,6 L/s. Respecto la oferta para año seco de la cuenca del río Mediacanoa, se tiene que su mayor magnitud se presenta en el mes de mayo con magnitud 1869,4 L/s y la menor oferta se registra en el mes de septiembre con magnitud de 930,6 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 1396,8 L/s.

Oferta río Piedras. La cuenca total de Piedras está compuesta por tres ríos que drenan al río Cauca, los cuales son el río Piedras, el río Limones y la quebrada San Antonio, de esta manera las ofertas calculadas para la cuenca de Piedras corresponden a la suma de los caudales de esos tres cauces. En año normal, la cuenca total del río Piedras reporta mayor oferta en mayo con magnitud 7563,4 L/s y la menor oferta se registra en agosto con magnitud de 2480,6 L/s, de esta manera la oferta media anual es de 5282,0 L/s. Por su parte para año seco la cuenca del río Piedras reporta su mayor oferta en el mes de noviembre con magnitud 7196,3 L/s y la menor oferta se registra en agosto con 1784,6 L/s. La oferta media anual de la cuenca es 4364,7 L/s.

3.7.6. Rendimientos Hídricos

Los rendimientos hídricos medios se presentan en L/s-km² de acuerdo con las áreas de drenaje de las cuencas completas y a partir del caudal medio mensual y anual obtenido por la modelación en TETIS (ver Tabla 10). Los rendimientos presentan un comportamiento bimodal. Los mayores rendimientos se presentan entre noviembre y diciembre para la primera temporada y mayo y junio para la segunda temporada. Los meses de menor rendimiento son agosto - septiembre y febrero - marzo. El mayor rendimiento lo presenta la cuenca del río piedras con magnitud de 46,1 L/s-km² mientras que, la cuenca de Vijes reporta un menor rendimiento del orden de 3,9 L/s-km².

Tabla 10. Rendimiento Hídrico medio mensual y anual de las cuencas de la SZH (L/s-Km²)

Nombre de la Cuenca	Área Km ²	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Anual
Arroyohondo	64,9	8,0	7,5	7,1	6,8	7,1	7,5	7,7	7,4	7,2	7,2	7,7	8,2	7,5
Yumbo	67,2	7,2	6,9	6,6	6,3	6,5	6,8	7,0	6,9	6,7	6,6	6,9	7,3	7,6
Mulaló	47,7	6,3	6,0	5,7	5,5	5,6	5,9	6,1	6,0	5,8	5,7	6,0	6,4	5,9
Vijes	86,8	4,2	3,4	2,8	2,8	3,9	4,7	4,7	3,8	3,3	3,6	4,4	4,8	3,9
Yotoco	105,6	7,5	6,0	5,0	5,3	7,3	9,2	9,2	7,4	6,4	6,8	8,3	8,7	7,3
Mediacanoa	140,2	12,1	9,7	8,1	8,4	11,4	14,5	14,8	11,8	10,4	11,3	13,0	13,9	11,6
Piedras	116,7	35,7	25,1	21,5	38,0	66,1	71,5	51,4	33,7	36,3	49,1	64,5	60,7	46,1

Fuente: PROAGUA a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

3.7.7. Caudal ambiental

La estimación del caudal ambiental de acuerdo con las directrices de la CVC, se calculó como el correspondiente al 10% del caudal medio mensual multianual más bajo a nivel de cuencas. Por su parte el caudal disponible corresponde a la diferencia entre la oferta total y el caudal ambiental, ambos caudales se determinaron para condiciones de año hidrológico normal y seco. Dichas estimaciones se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Caudal Ecológico (ambiental) y disponible para año normal y seco (L/s)

Nombre Área de Drenaje o Punto de Interés	Año normal		Año seco	
	Q. Ecológico	Q. Disponible	Q. Ecológico	Q. Disponible
Río Arroyohondo	44,14	431,81	41,71	413,54
Río Yumbo	37,31	355,06	35,60	346,32
Río Mulaló	25,59	245,33	21,67	233,28
Río Vijes	18,07	242,94	12,94	190,17
Río Yotoco	32,00	447,20	29,00	412,46
Río Mediacanoa	83,87	1150,80	70,86	989,14
Río Piedras	165,35	3646,73	115,07	3021,63

Fuente: PROAGUA 2019 a partir de la información proporcionada por el IDEAM y la CVC.

Los mayores caudales ambientales los presenta la cuenca del río Piedras con magnitud de 165,3 L/s para año normal y de 115,1 L/s, mientras que la cuenca del río Vijes reporta los menores caudales ambientales del orden de 18,1 L/s para año normal y 12,9 L/s para año seco. Respecto al caudal disponible se tiene que la cuenca del río Piedras presenta las mayores magnitudes con valores de 3646,73 L/s para año normal y 3021,63 L/s para año seco, en cuanto a las menores magnitudes se presenta en la cuenca de Vijes con magnitudes de 242,9 y 190,2 L/s para año normal y seco respectivamente.

3.7.8. Demanda hídrica sectorial

En las cuencas que conforman la SZH 2631 prevalece el uso del agua para riego o uso agrícola. Respecto al uso por cuenca se tiene que en Arroyohondo prevalece el consumo humano doméstico, mientras que en las cuencas de los ríos Mediacanoa y Piedras prevalece el uso del agua para actividades agrícolas. En Yumbo y Vijes el agua se utiliza principalmente para acueductos y en Yotoco en actividades agrícolas.

Con el fin de precisar la estimación de la demanda de agua por uso doméstico a nivel de cuenca, se tomó la información de los caudales concesionados para acueducto y para consumo humano y doméstico, reportados en la base de datos de usuarios de la CVC y se complementó con cálculos realizados a partir de la información sobre sistemas de abastecimiento colectivo que fueron identificados durante el desarrollo del inventario de infraestructura hidráulica y las proyecciones de población. Se estableció una dotación de 150 L-habitante/día, teniendo en consideración las directrices de la Resolución 1096 de 2000, por medio de la cual se adoptó el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y la Resolución 330 de 2017, sobre el cálculo de la dotación neta máxima.

En la Tabla 12, se presentan los resultados de la determinación de la demanda hídrica para las diferentes actividades socioeconómicas que se presentan en las cuencas al interior de la SZH. Se puede observar que la cuenca del río Piedras es la que presenta la mayor demanda de agua representado principalmente en el agua que es utilizada en el sector agrícola (638,1 L/s); mientras que las menores demandas hídricas se registran en la cuenca del río Mulaló.

Tabla 12. Demanda total de agua según actividad económica (L/s)

Actividad socioeconómica	Arroyohondo	Yumbo	Mulaló	Vijes	Yotoco	Mediacanoa	Piedras	Total
Agrícola	107,16	40,08	2,444	1,94	321,24	409,00	638,10	1519,97
Pecuaria	3,86	0,12	0	0	23,58	3,71	5	36,28
Agropecuaria	0,15	0,04	0,1	0	37,565	10,001	0	47,86
Industrial	5,32	0,00	0	0	0	5	180	190,32
Consumo humano y doméstico	131,12	107,92	10,98	26,01	32,68	37,49	11,57	357,78
TOTAL	247,61	148,16	13,53	27,95	415,07	465,21	834,67	2152,20

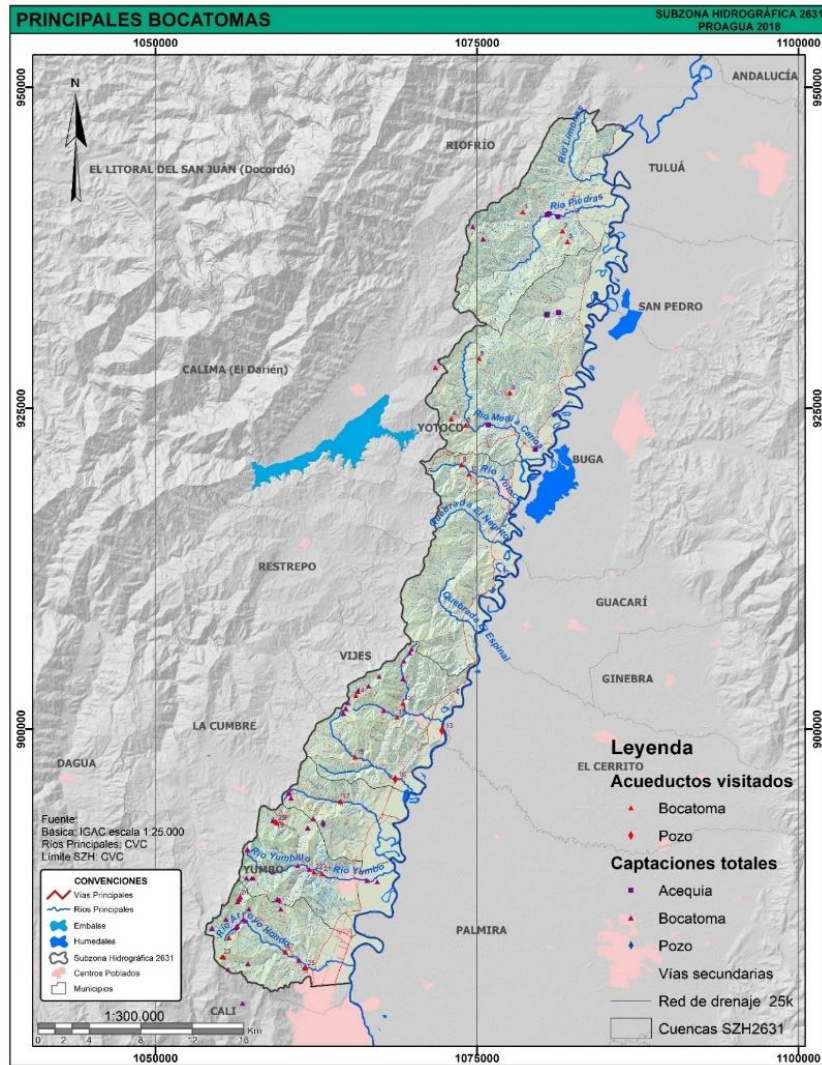
Fuente: PROAGUA, 2019 a partir de la información proporcionada por la CVC.

Para el inventario de infraestructura hidráulica, se consolidó la información de las obras hidráulicas que son utilizadas para el beneficio de acueductos municipales y centros poblados; en dicho inventario se detallaron datos sobre localización específica y se identificaron situaciones ambientales que afectan o pueden llegar a afectar estos sistemas comunitarios. En total fueron identificados 81 Puntos de captación para abastecimiento doméstico, donde el 26% (21 puntos de captación) se localizan en la cuenca del río Arroyohondo.

Como información base se contó con datos registrados por entidades de orden municipal y departamental, en documentos como el Diagnóstico y apoyo técnico de la infraestructura de acueducto y alcantarillado en las zonas rurales y urbano marginales del municipio de Yumbo (ESPY, 2016), los Diagnósticos de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico de las cuencas de los ríos Yumbo, Vijes y Arroyohondo, el Informe de gestión de los procedimientos a los acueductos rurales (ESPY, 2015), entre otros. Para Yotoco y Riofrío la información es mucho más escasa.

Una vez identificadas las obras de captación se procedió a realizar visitas de campo a las obras hidráulicas de los centros poblados jerarquizados, determinados en el capítulo de Análisis Funcional entre los que se encuentran asentamientos rurales, urbanos y conurbados. En total se hicieron visitas a 61 puntos de captación, tal como se puede observar en la Figura 18.

Figura 18. Localización de puntos de captación identificados en la SZH 2631



Fuente: PROAGUA 2019 a partir de información primaria y secundaria.

De manera general se puede indicar que las obras de captación en la subzona se encuentran en buen estado, a excepción de lo observado en las bocatomas de los acueductos Los Planes, Vijes (Qda. Potrerito), Manga Vieja, Mulaló y Arroyohondo, que presentan deterioro por la antigüedad de las obras y por prácticas inadecuadas de mantenimiento, identificándose infiltraciones que limitan en gran medida su funcionamiento.

En cuanto a sistemas de tratamiento de agua potable, se tiene que son escasas y solo existen algunas pertenecientes a las cabeceras de los centros poblados, donde cuentan en su mayoría con plantas de tratamiento compactas, en algunos caseríos rurales se realiza desinfección por hipoclorito. En Vijes y Yotoco los acueductos rurales en su mayoría no cuentan con plantas de tratamiento, mientras que, en la cabecera del corregimiento de Portugal de Piedras se cuenta con una antigua planta de tratamiento de filtración lenta, dinámica y ascendente complementada con desinfección por hipoclorito.

Foto 6. Bocatoma de Algunos acueductos del Inventario de Infraestructura Hidráulica



Bocatoma comunidad Los Planes



Antiguo acueducto Arroyohondo

Fuente: PROAGUA, 2019

Por otro lado, los cuerpos lénticos comprenden áreas más pequeñas del territorio y no presentan corrientes continuas; es decir que se trata de aguas estancadas sin ningún flujo de corrientes, como lo son los humedales o madre viejas, la mayoría de ellas asociadas a la dinámica fluvial del río Cauca y las localizados hacia el norte, están asociados a la Laguna de Sonso. En la SZH se reportan aproximadamente 20 humedales, algunos de ellos se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Humedales de la SZH por municipio

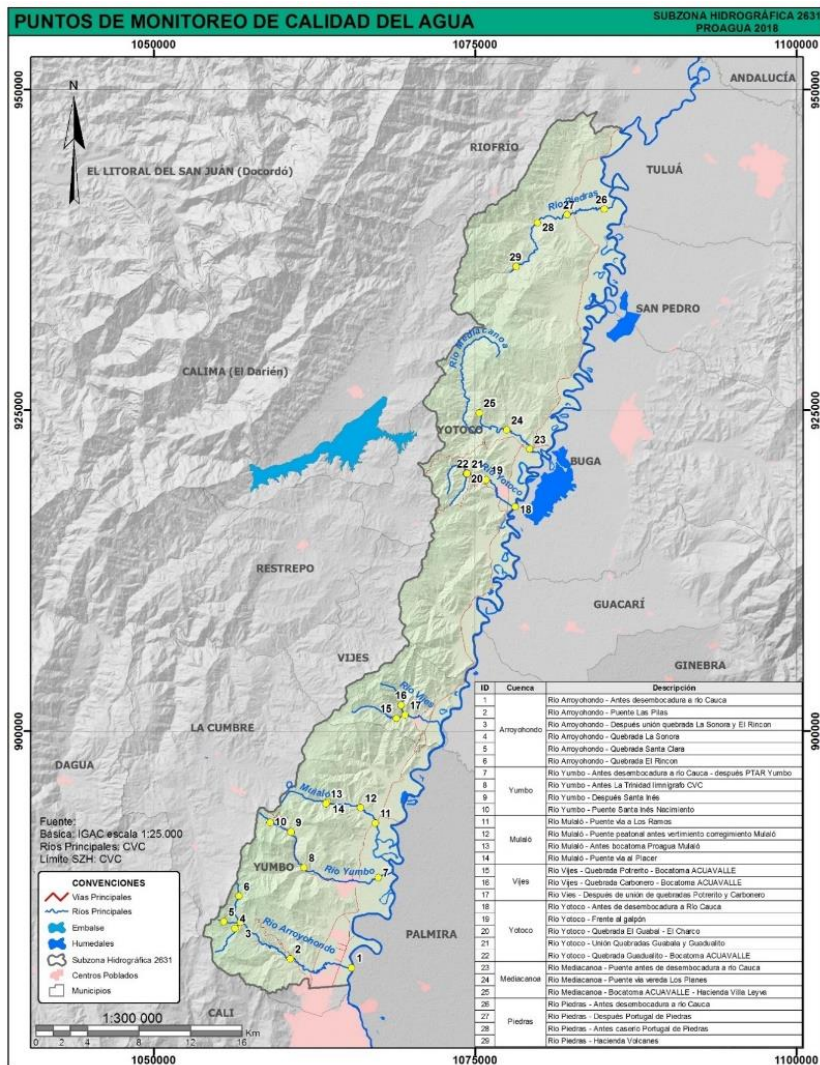
Municipio	Humedales	Área (ha)
Yumbo	Higuerón, Platanares y Pelongo	139,75
Vijes	La Carambola, El Lago y Ciénaga Vidal	21,59
Yotoco	Gota e Leche o Román, La Maizena, Cocal o Hatoviejo, Chiquique, La Bolsa Yocambo, Agua Salada, La Nubia, Garzonero, Gorgona, El Jardín, Portachuelo, Gorgonilla, Mediacanoa, La Trozadita y Garzonero2	206.59

Fuente: PROAGUA 2019 a partir de la información proporcionada por la CVC.

3.8. CALIDAD DE AGUA

La CVC, opera una red de monitoreo de calidad de agua, la cual inicia funcionando desde el año 1996 y cuenta con veintinueve (29) puntos de monitoreo ubicados en la SZH situados de la siguiente manera: río Arroyohondo seis (6) puntos, río Yumbo cuatro (4) puntos, río Mediacanoa tres (3) puntos, río Vijes tres (3) puntos, río Yotoco cinco (5) puntos, río Piedras cuatro (4) puntos y río Mulaló cuatro (4) puntos. Las campañas de monitoreo en cada una de las corrientes históricamente tuvieron su inicio en el río Yumbo con una campaña anual en 1996, posteriormente se establecieron dos campañas de monitoreo por año. En 1997 la CVC incorporó el monitoreo para los ríos Arroyohondo y Piedras. Ocho años después, en el 2005, se incorporó el monitoreo en los ríos Mediacanoa y Yotoco. Para el año 2006 incluyeron el río Vijes y finalmente abarcan toda la SZH en el año 2017 con el monitoreo del río Mulaló.

Figura 19. Estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial



Fuente: PROAGUA 2018, con base en información de la CVC (2018)

Con el fin de conocer el comportamiento histórico de los principales parámetros indicadores de la alteración en la calidad del agua de las cuencas en la SZH se construyeron perfiles con los datos suministrados por la CVC. Se determinaron los datos estadísticos básicos para graficar el valor medio. Se presenta a continuación solamente algunos datos indicativos:

- En general los valores de la temperatura aumentan al entrar los ríos al valle geográfico con magnitudes que oscilan entre 22,2 °C reportado por la cuenca de Piedras y 24,7 °C en la cuenca de Yotoco. La conductividad más alta la presenta el río Arroyohondo con un valor superior a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la mayor dureza el río Mulaló (305 mg/L).
- El tramo final de los siete ríos es el que presenta mayor aporte de materia orgánica, siendo superior en el río Yumbo donde se alcanzan 316,8 mg/L de DQO, seguido por el río Yotoco

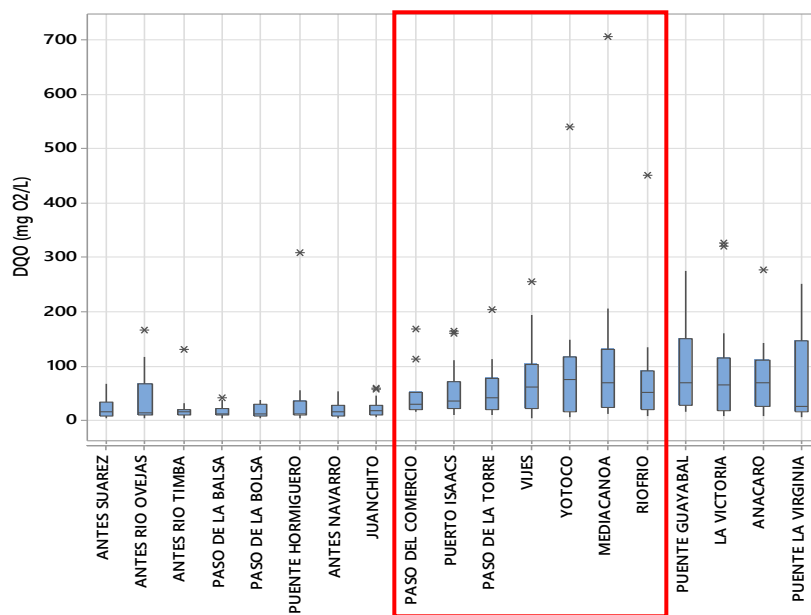
con aproximadamente 252 mg/L. Los ríos Vijes y Piedras reportan menor concentración de DQO con 19, 8 y 25,1 mg/L.

- Se presenta una alta concentración de coliformes fecales en los últimos tramos de los ríos en estudio, situación que algunas veces alcanza a aumentar hasta 500 veces respecto a las magnitudes registradas aguas arriba, específicamente para los ríos Yumbo y Yotoco. El río Mulaló por su parte, reporta las menores magnitudes de este indicador en su último tramo, del orden de 900 NMP/100 ml. El río Piedras en su último tramo registra una magnitud de 17510 NMP/100 ml.

Río Cauca. Es importante, además, tomar en consideración el aporte que hacen las corrientes que drenan al río Cauca, en términos de materia orgánica. En la Figura 20 la cual fue construida con los registros de la DQO del río Cauca del laboratorio de la CVC entre los años de 2013 al 2016, se refleja el comportamiento en las 19 estaciones de calidad distribuidas sobre el río Cauca. Los picos de las medianas más altas se reportan en las estaciones de Vijes y Yotoco, presentándose una leve disminución en las estaciones siguientes. Los datos atípicos que se observan en las estaciones Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Riofrío, con magnitudes de 255, 451, 706 y 452 mg O₂/L respectivamente, corresponden a un suceso ocurrido y registrado el 18 de marzo de 2015, posiblemente por una descarga puntual antes de la estación Vijes que alteró la concentración de materia orgánica en el río.

Es importante aclarar que, aunque el río Cauca presenta un aumento del parámetro al momento de pasar por la SZH 2631, esta situación se debe al aporte de cargas de los tributarios de la margen izquierda y derecha. En la margen derecha se localizan principalmente los ríos Guachal, Amaime, Guabas, Zabaletas, Sonso y Guadalajara, entre otros.

Figura 20. DQO río Cauca 2013 - 2016



Fuente: PROAGUA 2018, con base en los datos de la CVC en el periodo 2013 al 2016

3.8.1. Análisis históricos de los índices

En el año 2005 la CVC adoptó la aplicación de los índices de calidad, para presentar de forma sencilla la calidad de los diferentes cuerpos de agua. Los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICO) del recurso hídrico, son una herramienta que facilita la valoración de la calidad del agua, por parte de técnicos, autoridades administrativas y el público en general. Los análisis históricos de los índices se realizaron con información de la CVC en un periodo superior a 12 años: 2006-2017. El río Mulaló solo tiene reportes desde el año 2017, por lo cual no se incluyó en el análisis.

Se presenta a continuación un corto análisis del comportamiento de los índices históricos calculados y construidos por la CVC para el año 2017 para las 7 fuentes de agua principales que conforman las cuencas hidrográficas.

Histórico del Índice ICA CETESB: Este indicador permite definir el estado de calidad de una corriente, considerando la destinación del recurso para el abastecimiento humano. La clasificación va de excelente (100) a muy mala calidad (0). En general se observa un comportamiento constante en el tiempo con una leve tendencia a mejorar para la mayoría de los puntos de monitoreo. Los puntos de monitoreo, de cada uno de los 7 ríos de la SZH, que se encuentran antes del último punto en cercanía a la entrega al río Cauca, reportan buena Calidad para este índice. Por su parte, en la entrega al Cauca de algunos ríos, el índice cambia a una categoría más crítica entre regular y pésima calidad, específicamente para los ríos Arroyohondo, Yumbo y Yotoco.






Histórico ICA DINIUS: Es un número (entre 0 y 1, o entre 0 y 100) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Este número es una agregación que da indicios de los problemas de contaminación, conformado por nueve variables fisicoquímicas y dos microbiológicas. Además de estar orientado para el uso de agua para consumo humano, tiene en cuenta otros usos como agricultura, pesca, industria y recreación (Gonzalez, Caicedo, & Aguirre, 2013). En general se observa que los ríos de la subzona se encuentran con una calidad de agua entre Levemente Contaminada (LC) y Aceptable (A). Solo los ríos Yumbo y Yotoco presenta una calidad de agua para uso agrícola Contaminada (C), en sus puntos de monitoreo antes de entregar sus aguas al río Cauca.

Histórico Índice ICOMO: permite evaluar cómo afectan ciertas actividades y procesos específicos a un cuerpo de agua con relación al contenido de materia orgánica y es un indicador que puede ser fácilmente interpretado por todo tipo de público. Permite inferir solamente la presencia de ciertas fuentes de contaminación, como las que aumentan la cantidad de materia orgánica comprendido como el aporte de contaminantes orgánicos incluyendo la materia fecal. Refleja contaminación por fuentes agroindustriales, mataderos, aguas residuales domésticas y otros. En general los ríos de la SZH 2631 presentan un nivel de contaminación por materia orgánica entre Muy Bajo (MBC) y Bajo (BC) para la mayoría de los puntos de monitoreo. El río Mediacanoa en el punto de monitoreo antes de desembocar al río Cauca, presenta una clasificación de contaminación Media (MC), mientras que, los ríos Yumbo y Yotoco registran niveles de contaminación entre Alto (AC) y Muy Alto (MAC) para sus últimos puntos de monitoreo.

3.8.2. Índice de Alteración de la Calidad del Agua

El cálculo del IACAL para la zona de estudio, se realizó basándose principalmente en información secundaria, siguiendo la metodología establecida por el IDEAM, se procedió a realizar el cálculo de las cargas contaminantes por sector. La categoría de IACAL se establece según la Tabla 14.

Tabla 14. Categoría y descriptor del IACAL

Promedio categoría (NT+PT+SST+DBO+(DQO-DBO))/5		
Categoría	Color	Valor
Baja		1
Moderada		2
Media Alta		3
Alta		4
Muy Alta		5

Fuente: Estudio Nacional del Agua - IDEAM 2010

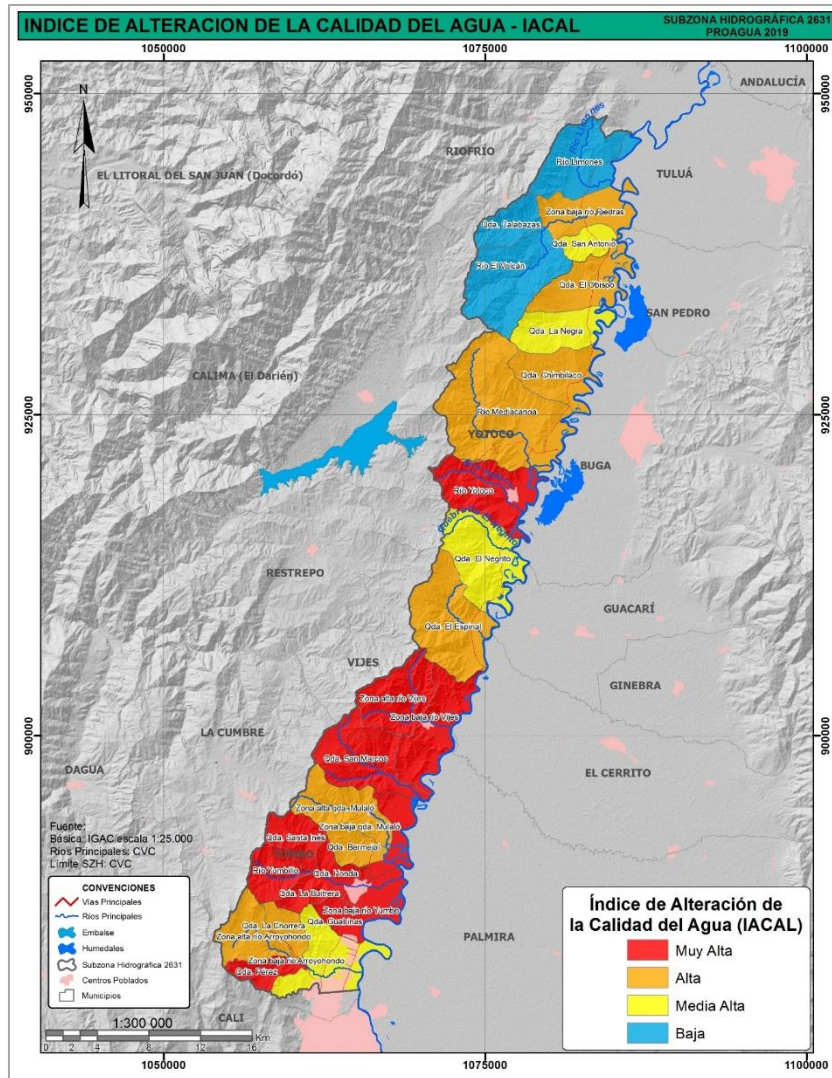
Para el sector doméstico se tuvo en cuenta la proyección de población determinada en el componente socioeconómico. La zona rural está conformada por 10 corregimientos y 26 veredas, sólo 3 (Mulaló, Arroyohondo y Rincón Dapa) cuentan con sistemas convencionales de alcantarillado, lo que representa el 8% del total, en el resto de poblaciones, el manejo de aguas residuales domésticas se realiza por medio de sistemas de tratamiento individuales.

Para el sector cafetero se tomó en cuenta las cargas contaminantes diferenciando si son provenientes de sistemas de beneficio ecológico o tradicional, para lo cual se toma como referencia lo propuestos por el Centro de Investigación del Café - Cenicafé, en la tipificación del tipo de beneficiaderos que son utilizados a nivel nacional.

Respecto al Sector industrial, principalmente a la zona industrial de Yumbo, se tiene que no se vierten las aguas derivadas de sus procesos en corrientes que hacen parte del área de estudio; sus vertimientos son realizados al alcantarillado municipal y al río Cauca. Además, no se considera la carga contaminante que genera el sector sacrificio; el único identificado que pertenece al municipio de Yumbo cuenta con planta de tratamiento propio y vierte sus aguas al alcantarillado municipal. En la Figura 21 se presenta la espacialización del IACAL de la SZH.

Se resalta una condición crítica con categoría muy alta, la cual corresponde al 33% de la SZH, específicamente para el total de las áreas de drenaje de las cuencas de Yumbo y Vijes y para las áreas de drenaje de la quebrada Pérez, perteneciente a la cuenca Arroyohondo, al igual que la zona baja del río Mulaló y el área de drenaje del río Yotoco. Esta condición podría estar asociada principalmente a cargas contaminantes relacionadas con descargas de aguas residuales domésticas de los centros poblados y al desarrollo de algunos sistemas productivos (beneficio de café). En general la cuenca del río Piedras presenta una mejor condición de calidad respecto a las demás cuencas, las cuales se encuentran entre las categorías Alta y Muy Alta. De esta manera el 39% del área de estudio presenta una categoría Alta, el 14% una categoría Media Alta, y el 14% una categoría Baja.

Figura 21. Espacialización del IACAL para condiciones de año medio



Fuente: PROAGUA, 2019.

3.8.3. Identificación de actividades y factores de contaminación en aguas y suelo

La SZH es un territorio que brinda servicios ecosistémicos y soporte para las actividades económicas. Una de las actividades más representativas es la actividad agrícola, la cual contribuye a la contaminación del agua y la alteración de la calidad de suelos, producto principalmente al uso de agroquímicos. Así mismo, los desarrollos porcícolas y avícolas generan vertimientos líquidos del lavado de cocheros y las actividades ganaderas contribuyen con el arrastre de coliformes fecales y de sedimentos a los cuerpos hídricos.

También las centrales de beneficio (comúnmente conocidas como matadero), podrían originar afectaciones al agua especialmente. Y, finalmente la minera (calizas, material de construcción y material de arrastre), origina afectaciones al agua y al suelo principalmente por arrastre de material particulado.

En los espacios de participación se manifestaron situaciones como la quema de basuras en la zona de Dapa y el municipio de Vijes. En Vijes también se reportó una inadecuada disposición de los residuos de construcción y demolición (RCD). También se identificó que los efluentes de la red de alcantarillado son vertidos en forma directa al río Cauca ya que no se cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en los municipios de la SZH.

Otras situaciones se refieren a los residuos peligrosos. En el caso del municipio de Yumbo, la CVC reporta que existen 1.630 empresas que reportan información a través del Registro de Generadores de RESPEL. Con base en el PGIRS, se resalta el reuso o aprovechamiento de las empresas en la zona industrial lo cual contribuye al manejo sustentable de residuos que causan impactos en el ambiente, especialmente por sus características químicas.

Se identifica en el PGIRS de Yumbo que el aumento del desarrollo en el sector de la construcción genera aumento en los residuos de construcción y demolición que generan un impacto negativo al ambiente. La mayor parte de los escombros no se recolectan y transportan de manera regulada y controlada, la inadecuada disposición de los escombros generados en el municipio de Yumbo es una problemática ambiental que se relaciona con la invasión del espacio público y destrucción de los ecosistemas.

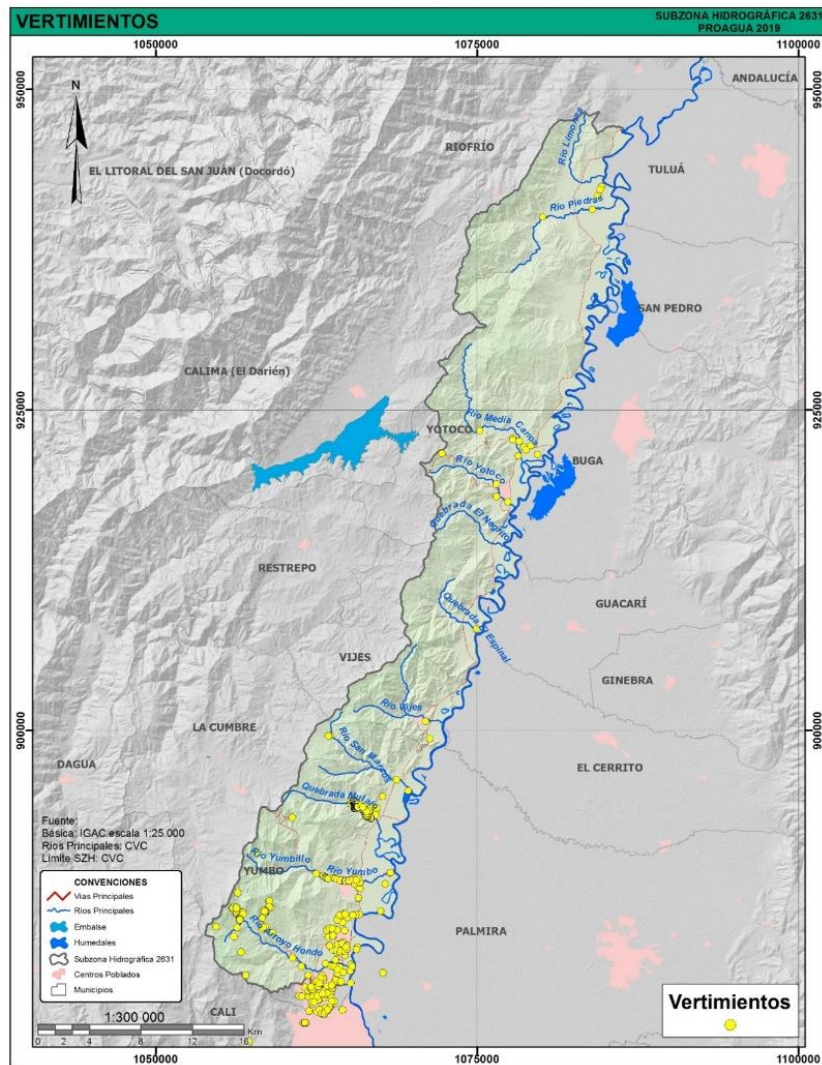
Relleno sanitario Colomba - El Guabal. En la SZH se localiza el relleno sanitario Colomba - El Guabal, en el municipio de Yotoco, siendo el más extenso del departamento del Valle del Cauca. Es operado por la empresa Interaseo SAS. Algunos de los municipios que disponen sus residuos en el relleno son: Cali, Florida, Jamundí, Yumbo, Santander de Quilichao, Yotoco, Guachené, Restrepo, Yotoco, Villa Rica, Cerritos. Sobre la composición de los residuos el 40% corresponde a residuos orgánicos, el 23% a plásticos y el 16% a residuos de papel. En promedio llegan al relleno 7.500 ton/día, de las cuales la ciudad de Cali aporta 2.300 toneladas. Tiene una estación de transferencia en el corregimiento de Rozo (municipio de Palmira) donde pasan los residuos de los vehículos de 10 o 14 toneladas a vehículos con capacidad para 30 toneladas.

El relleno ocupa un área de 63,7 ha, tiene una vida útil de 32,2 años de los cuales se han operado 10 años. Está conformado por vasos denominados A, B y C, en cada uno se cuenta con sistema de aislamiento del suelo para evitar infiltración del efluente y un sistema de drenaje con filtros y tubería de alta densidad. Además, se han instalado chimeneas, pozos de monitoreo, estaciones de medición de calidad de aire y una planta de tratamiento de agua, con tecnología de ósmosis inversa. El manejo de esta infraestructura se consideró adecuado y no se reportaron situaciones ambientales negativas por parte de los participantes en los talleres comunitarios.

Puntos de vertimientos identificados. Los puntos de vertimientos se identificaron a partir del estudio de los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), del análisis de la base de datos de la CVC en la cual se otorgan permisos de vertimientos y de visitas y recorridos de campo. En la SZH solo para el municipio de Yumbo - corregimiento de Dapa, Pedregal y Mulaló, la zona industrial y cabecera municipal; se ha formulado el PSMV. Adicionalmente a la revisión de los PSMV, se realizó el análisis de la información contenida en las resoluciones que otorga o niega permisos de vertimientos de residuos líquidos y que son tramitadas por la CVC; para ello se realizaron consultas en la regional Sur Occidente de la CVC.

Debido a los vacíos de información, específicamente de los puntos de descarga de vertimiento o de alcantarillado de asentamientos poblacionales, se realizó control de campo para el complemento de los registros de puntos de vertimiento. Se prestó especial atención a los relacionados con los centros poblados priorizados. Se presenta en la Figura 22, los puntos de vertimientos identificados a partir de los PSMV, visitas de campo y revisión de expedientes sobre los cuales se contó con coordenadas para su espacialización. Se lograron identificar 406 puntos y se conoció de 23 puntos adicionales que no se pudieron localizar.

Figura 22. Puntos de vertimientos identificados



Fuente: PROAGUA 2018.

3.9. GEOMORFOLOGÍA

La importancia del conocimiento de las formas del relieve radica en que la conjugación geoforma - material parental (topografía - geología), incide fuertemente en la formación y proceso de evolución de los suelos, y en el grado y tipo principal de amenaza natural,

determinando de esta forma el tipo de cobertura vegetal, condicionando o restringiendo la posibilidad de explotación agropecuaria, así como la forma y localización de los asentamientos humanos y su infraestructura. Los principales agentes modeladores del paisaje provienen de procesos hidrometeorológicos, volcánicos y tectónicos.

En el marco del desarrollo del POMCA, se adelantó un estudio geomorfológico, a partir de actividades de campo y de oficina, con el uso de fotografías y formatos que permitieron caracterizar a la escala 1:25000.

3.9.1. Marco geomorfológico regional

Los procesos erosivos, de meteorización y de remoción en masa han labrado parte de las cordilleras, mientras que la dinámica fluvial ha transportado y depositado sedimentos rellenando la cuenca del Valle del Cauca. Todo esto ha estado influenciado por las estructuras relacionadas con el movimiento principal del Sistema de la Falla Romeral como fallas de rumbo (Strike-slipfault) en el Terciario inferior. Las fallas más jóvenes son las fallas con rumbo NW-SE que en la cordillera Occidental se encuentran afectando los sedimentos marinos de la formación Vijes. Esta área ha sufrido una compleja evolución geológica desde el Precámbrico hasta la actualidad, afectada por eventos superpuestos, que controlan actualmente la topografía montañosa de las cordilleras y una región plana interandina.

La tendencia estructural generalmente perpendicular a la dirección del movimiento de la placa Nazca contra la Suramericana, genera a su vez otras superficies o estructuras menores (diaclasas, planos de foliación) que causan inestabilidad en las laderas rocosas haciendo estas más susceptibles a generar movimientos en masa. También aparecen coluviones en diversos sectores del área, su ocurrencia es común y se encuentran relacionados con cambios morfológicos fuertes.

3.9.2. Unidades geomorfológicas

En la Tabla 15, se presentan las principales unidades geomorfológicas identificadas en la SZH, correlacionando la nomenclatura del SGC 2015 y la generada por CVC, donde el alcance de unidad está definido por Carvajal (2012), a escala no menor a 1:50.000.

Tabla 15. Unidades Geomorfológicas de la SZH 2631

Clasificación	Geoformas
Origen Estructural	Lomos (Sl)MHfv4
Origen Denudacional	Lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml)MHfv10
	Lomo denudado moderado de longitud media (Dldemm) MHfv8
	Ladera erosiva (Dle)MH13
	Sierra residual (Dsr)MHfv1
Origen Fluvial	Abanico aluvial antiguo (Faaa)PXvc
	Abanico aluvial sub-reciente (Faas)PXacap
	Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados (Fac).PAaarcb
	Cauce aluvial (Fca)RAPdor
Origen Antropogénico	Plano o llanura de inundación (Fpi)RAPdma
	Canteras (Ac)

Fuente: PROAGUA, 2019

3.9.3. Análisis Geomorfológico

A partir de estudios geomorfológicos se homologaron las diferentes subunidades y formas de terreno con base en criterios morfométricos, morfodinámicos y morfogenéticos, los cuales permitieron definir la zonificación y jerarquización geomorfológica a partir de la información disponible, controles de campo y fotointerpretación.

Morfometría y morfogénesis. La relación entre el mecanismo de movimiento en masa, la subunidad geomorfológica y el rango de pendiente (la SZH está dominada por un 48,2% en terrenos ligeramente escarpados, seguido por fuertemente inclinado con 19,4%) permite resaltar que los mecanismos de caída de material, ya sea roca o detritos, se presenta principalmente en rangos de pendientes de 25 a 50% (ligeramente escarpado). Este mecanismo predomina en subunidades como cornisas estructurales (Scel) y laderas estructurales (Slem), en menor medida, la caída de roca y detritos se genera en zonas de terraza (Ftfl) y conos (Fcfl).

En resumen, por ambientes morfogenéticos, las estructuras que predominan para la parte alta de la subzona son las pendientes ligeramente escarpadas a escarpadas en laderas de ambientes denudativos y estructurales, donde predomina el control estructural de los diversos sistemas de fallas de dirección NS y EW, además de esto, las geoformas de ambiente denudativo son de menor pendiente, ya que están sujetas a los agentes erosivos y climáticos. En la zona plana, predominan las pendientes bajas a moderadamente inclinadas, donde prevalecen estructuras geomorfológicas de origen fluvial, sujetas por la dinámica fluvial del río Cauca.

Morfodinámica. En la SZH se observó un dominio principal de movimientos en masa como deslizamientos rotacionales y traslacionales, carcavamiento en menor medida y flujos de lodo con escombros y flujo de cuerpos coluviales. Los productos principales de la erosión son partículas provenientes de la formación *Volcánica* como fragmentos de gabros y basaltos, y en menor medida de los otros cuerpos ígneos de la zona de ladera. Por otra parte, la meteorización fisicoquímica de este material genera suelos residuales y perfiles de meteorización que posteriormente también pueden ser erosionados y depositados.

De acuerdo con el análisis de movimientos en masa existente por cada subunidad geomorfológica, se tiene que los procesos más influyentes son los deslizamientos en laderas denudativas y estructurales, posteriormente, las caídas de rocas y detritos sobre las mismas subunidades y en menor medida flujos y otros deslizamientos sobre zonas planas o de piedemonte, así mismo, el dominio de los ambientes morfogenéticos y la morfodinámica controlan el tipo de proceso y el mecanismo. Para laderas estructurales, donde además predomina el material rocoso o roca con grado de meteorización bajo o nulo, va a estar asociado un proceso de caída de roca y detritos. En la SZH, este mecanismo referente a caída de rocas, predomina en un 46% respecto a la geoforma Ladera Estructural (Slem).

Por otra parte, en las laderas denudativas, donde predomina el material fino o arcillas de suelo residual, los procesos van a ser deslizamientos o flujos, ya que el comportamiento de un material lodo arcilloso saturado en agua, va a ser mucho más viscoso. Los deslizamientos se presentan con una frecuencia de 37% en las geoforma Ladera Desnuda (Dldm).

3.9.4. Geomorfología con fines edafológicos

Para definir las unidades geomorfológicas se partió de la jerarquización propuesta por Zinck (2012), de los documentos de Villota (1997), el diccionario de Lugo (1989), y los elementos importantes aportados por Flórez (2003) sobre la morfogénesis y las formas de terreno; de igual manera de los estudios geológicos de INGEOMINAS (2001) para la región. El nivel de detalle alcanzado en el POMCA llega hasta la forma de terreno, la cual es constituida por 4 variables interdependientes: el perfil topográfico, la configuración morfológica, la posición relativa y absoluta y la pendiente, expresada en intervalos de porcentaje y longitud.

Zinck (2012), propone una jerarquización geomorfológica empezando desde los rasgos regionales, hacia los locales para finalmente describir las unidades geomorfológicas a 1:25.000, que para Zinck corresponde a forma de terreno (ver Tabla 16).

Tabla 16 Geomorfología edafológica de Zinck 1987 - 2012

Geoes- tructura	Ambiente Morfogenético	Paisaje Geomorfológico	Tipo De Relieve	Forma Del Terreno			
Cordillera 47354,02ha	Ambiente Erosional (o denudacional) 47354,02ha	Montaña 46729,43ha	Crestón - 92,91ha	Frente de relieve - 41,15ha Reverso de relieve (dorso) - 51,75ha			
			Espinazo (o esqueleto de pez) - 1244,82ha	Frente de relieve - 520,02ha Reverso de relieve (dorso) - 724,80ha			
			Fila - 39132,43ha	Cima y Ladera - 22061,42ha Cumbre - 10,32ha Ladera - 17060,69ha			
			Glacis - 106,19ha	Plano inclinado - 106,19ha Cima y Ladera - 5405,42ha			
			Loma - 5454,24ha	Cumbre - 33,41ha Ladera - 12,42ha			
			Vallecito (valle) 701,83ha	Plano de Terraza 1 - 147,30ha Vega - 554,54ha			
			Piedemonte 480,58ha	Abanico - 339,42 ha Vallecito (valle) 141,17ha	Apice - 32,07ha Cuerpo - 307,35ha Vega - 141,17ha		
		Valle 144,01ha	Plano - 58,66ha Terraza - 85,34ha	Vega - 58,66ha Plano de Terraza 1 - 85,34ha			
		Geosinclinal (o cuenca sedimentaria) 13806,25 ha	Ambiente Deposicional 13806,25 ha	Montaña 54,45ha	Fila - 54,45ha	Ladera - 54,45ha	
				Piedemonte 9032,29ha	Abanico - 8420,16ha	Apice - 1311,34 Cuerpo - 995,54ha Cuerpo y Pie - 3860,04ha Napa de desbordamiento - 2006,67 Napa de explayamiento - 246,57	
						Llanura de inundación 341,88ha	Cuerpo y Pie - 341,88
						Vallecito (vale)-270,25ha	Banco de arena de cauce - 270,25ha
						Planicie 4719,50 ha	Llanura de inundación 4609,56 ha

Fuente: PROAGUA, con base en Capacidad de uso de las tierras (Aponte M.) y levantamiento semidetallado de suelos escala 1:25000 (2017).

3.9.5. Geomorfología con la metodología del SGC y Carvajal 2012

En Colombia se ha realizado geomorfología con distintos fines, razón por la cual se han elaborado diferentes propuestas de categorías geomorfológicas. Carvajal (2012) define jerarquización de una región, según la escala de trabajo, además sistemáticamente debe permitir el análisis de su evolución geomorfológica y geológica. La Figura 23 muestra el sistema de jerarquización empleado para este proyecto, utilizando la metodología de Carvajal e INGEOMINAS (2002 - 2008).

Figura 23. Esquema de jerarquización geomorfológica



Fuente: Adaptado de Velásquez (1999), Ingeominas (1999) y Carvajal (2002-2008)

Aplicando estas categorías para la SZH, de mayor a menor, a continuación, se explica cada uno de los rangos:

Geomorfoestructura. Esta categoría se refiere a las grandes estructuras en las que se puede dividir el terreno, para la zona de trabajo se utilizan 2, la geomorfoestructura cordillera orógeno, correspondiente a la parte del terreno que comprende desde el piedemonte hacia la parte alta de la cordillera, y la segunda categoría es la megacuena de sedimentación, que alcanza desde el piedemonte oriental de la cordillera occidental hasta el río Cauca.

Provincia Geomorfológica. Esta subdivisión consiste en correlacionar macrorrelieves que compartan génesis geológica. En la SZH se designa para la parte alta, la provincia cordillera Occidental, y para la zona plana o baja, la provincia Valle Interandino Cauca - Patía.

Región Geomorfológica. Es la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente, definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomórficos parecidos. El ambiente morfogenético alude a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas en las cuales se generaron las geoformas. Las regiones en la SZH se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Ambientes Morfogénéticos

Ambiente Morfogénético	Descripción
Antropogénico (A)	Corresponde a las formas del terreno, producto de la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre.
fluvial - lagunar (F)	Corresponde a las geoformas producidas por procesos (erosión - sedimentación), generadas por corrientes de agua tales como ríos, arroyos, lagos y lagunas respectivamente.
Estructural (S)	Corresponde a geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente la asociada a plegamientos y fallamientos.
Denudacional (D)	Determinado por la actividad de los procesos erosivos, hídricos y pluviales, y producto principalmente de procesos de meteorización, erosión, y remoción en masa, sobre geoformas preexistentes.

Fuente: PROAGUA, 2019

Unidad geomorfológica. Se define como geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico construccional o destruccional (acumulación o erosión), típico de un ambiente morfogenético dado (Carvajal J. H., 2012). Las unidades identificadas en la SZH 2631 (1:50.000) son: Abanicos fluviales, Canteras, Cerros residuales, Espinazos, Terrazas fluviales y Lomas estructurales.

Subunidad geomorfológica. Está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o su disposición estructural con la correspondiente topografía del terreno (Carvajal J. H., 2012). Las subunidades geomorfológicas son el objetivo principal de este proyecto, siendo la categoría más adecuada para la escala de trabajo - 1:25.000. Las subunidades geomorfológicas correspondientes a la SZH se presentan en la Tabla 18 .

Tabla 18. Subunidades Geomorfológicas.

Subunidades Geomorfológicas	Descripción
Conos (Fchl)	Estructura de origen fluvial ubicados sobre el piedemonte de la SZH, en las que se agrupan diferentes cuerpos de acumulaciones de origen torrencial y fluvial. Las formas son radiales, convexas o cóncavas, aterrazadas similares a los abanicos.
Cornisas estructurales (Scel)	Corresponden a salientes estructurales u hombreras rocosas que se presentan colgadas a manera de repisas en las laderas generalmente irregulares o escalonadas. Son alargadas de morfología alomada suavemente inclinada.
Flancos de cantera (Aflc)	Planos, flancos o caras formadas por el terráceo de la minería o excavación escarpada con altura del orden decimétrico, de formas irregulares hechos en laderas para la extracción de materiales de construcción.
Glacis de erosión (Dgle)	Geoforma que consiste en la depositación gradual de los materiales arrastrados a lo largo de las laderas por acción de la escorrentía.
Ladera denudada (Dldm)	Caras o planos de una prominencia topográfica con morfología alomada y elongada. Son provocadas por meteorización y erosión intensa sobre las rocas de la formación volcánica principalmente.
Ladera estructural (Slem)	Laderas asimétricas de pendientes abruptas de textura corrugada con patrón de drenaje principalmente dendrítico - sub dendrítico y sub paralelo, originadas por una gradación de rocas ígneas intrusivas y extrusivas que conforman gran parte de la cordillera.
Llanuras (Flin)	Son áreas de superficies adyacentes al río Cauca, sujetas a inundaciones recurrentes. Son de morfología plana, baja u ondulada.
Terrazas fluviales (Ftfl)	Depósitos fluviales antiguos del río Cauca, formados por su cauce, corresponden a geoformas planas a onduladas que se encuentran más arriba del nivel de la llanura de inundación debido a la incisión del río sobre los sedimentos de fondo.

Fuente: PROAGUA, 2019

Algunas de las subunidades geomorfológicas como lo son las Camisas Estructurales y las Laderas Denudativas de la SZH 2631 se presenta en la Figura 24. Con la información descrita se construyó la Figura 25.

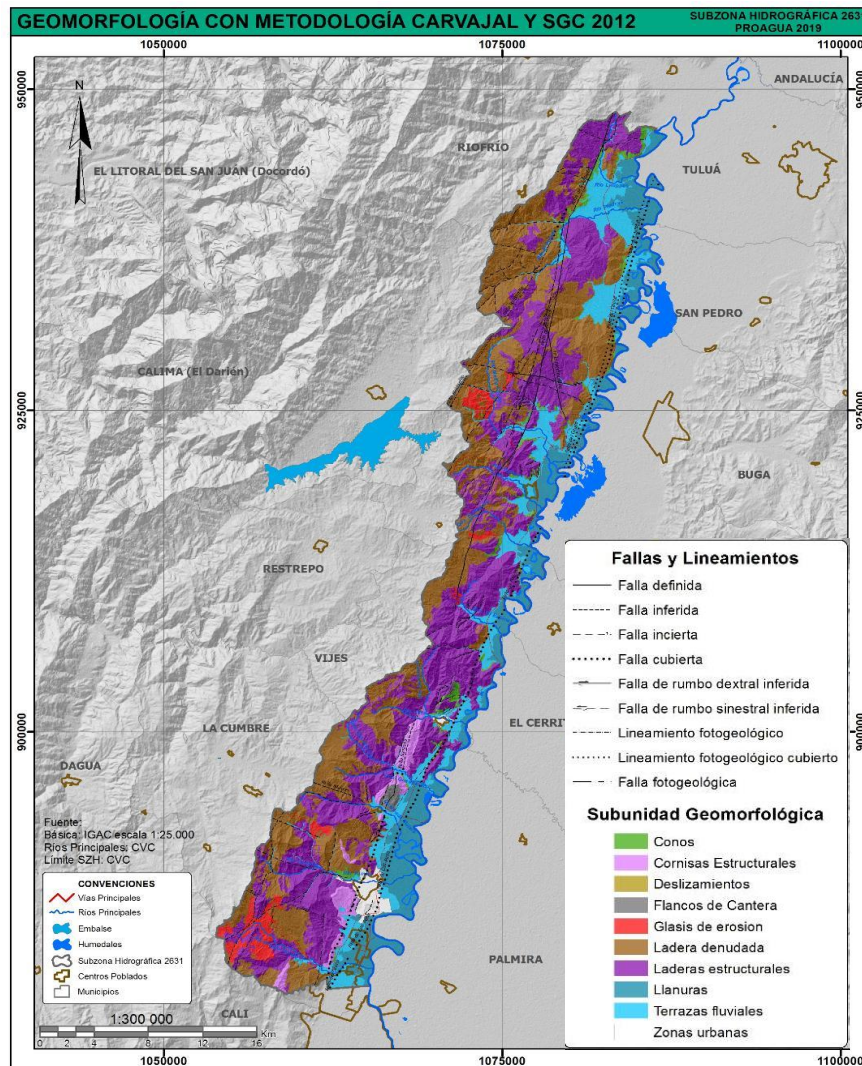
Figura 24. Cornisas Estructurales y Laderas Denudativas de la SZH 2631



Cornisas estructurales, hombreras estructurales, Laderas denudativas hacia el tope, en la base conos aluviales y al fondo de la imagen, planicie con terrazas. Mediacanoa.

Fuente: PROAGUA, 2019

Figura 25. Geomorfología según Carvajal



Fuente: PROAGUA, 2019

3.10. CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS

La clasificación de tierras por su capacidad de uso, consiste en el agrupamiento de las unidades cartográficas de suelos, fundamentada en los efectos combinados de clima y limitaciones permanentes o poco modificables de los suelos, con el fin de establecer sus posibilidades de uso y capacidad de producción, el riesgo de deterioro y requerimientos de manejo (CVC, 2018).

El inventario de las características internas y externas de los suelos desarrollados en los paisajes geográficos de la SZH 2631, constituye el referente ambiental para determinar la aptitud de las tierras a través de la aplicación del sistema americano de evaluación agrológica (USDA, 1965), modificado y adaptado por el IGAC (IGAC, 2014) a las condiciones ambientales de nuestro país. El sistema de clasificación por capacidad de uso tiene tres categorías: clase, subclase y grupo de manejo o de capacidad (CVC, 2018). Donde se utilizan símbolos formados por números arábigos y letras minúsculas.

La clase de tierra consiste en un grupo de suelos que tienen el mismo grado relativo de limitaciones y riesgos. Pueden tener una o más limitaciones. Las clases son ocho (8) y se designan con números arábigos de 1 a 8. El grado de las limitaciones aumenta paulatinamente: muy ligeras o sin limitaciones (Clase 1), ligeras, moderadas, fuertes, severas, muy severas y extremadamente severas (Clases del 2 al 8) que van restringiendo la capacidad de uso y aumentando la intensidad de las prácticas de conservación de suelos (CVC, 2018).

La mayoría de los limitantes que determinan las subclases son de carácter permanente, como las pendientes, la profundidad efectiva o el clima; sin embargo, en algunos casos las limitaciones son temporales y son susceptibles de corregir; por ejemplo, la fertilidad y los encharcamientos que se pueden atenuar con la aplicación de fertilizantes y la construcción de drenajes. Los limitantes que determinan las subclases se designan con letras minúsculas así: p = pendiente, e = erosión, s = suelo, h = condiciones de humedad y c = clima adverso.

3.10.1. Unidades de capacidad de uso de las tierras

Las unidades de capacidad de uso a escala 1:25000 para la SZH 2631, se definieron con dos fuentes de información: i) para la zona de ladera se usaron los resultados del “*Convenio interadministrativo 4488 IGAC - 087 CVC de 2014*”; ii) Para la zona plana, se definieron mediante la información temática producida por el IGAC y unificación de las Unidades Cartográficas de Capacidad de Uso (UCC) a escala 1:25000. Por lo tanto, fue necesario homologar un solo mapa de capacidad de uso a escala 1:25000, que fue producto de la presente consultoría. La información de capacidad de uso de las tierras fue analizada y validada a nivel de grupos de manejo, conservando su nomenclatura y especificaciones técnicas originales, con excepción de los casos en que se encontraron ligeras incongruencias en la clasificación, siendo necesario adecuarla para homogenizar la información.

3.10.2. Descripción de las unidades de capacidad de uso

En la descripción de cada grupo de manejo se señala la ubicación geomorfológica, las características principales de los suelos, sus limitaciones y su aptitud de uso, así como las

prácticas de manejo específicas para el uso sostenible de las tierras. En la SZH 2631, se identifican 6 clases de capacidad de uso de las tierras. El 28,41% del área de la SZH tiene una capacidad de uso de la clase 6, siendo el mayor porcentaje de área de la zona de estudio, seguido de los suelos de la clase 8 el cual cubre un área 14124,5 ha, equivalentes al 22,4% de la zona de estudio. Las clases 2 y 3 ocupan un 2,9 y 7,08% respectivamente, siendo las clases que ocupan menos área en la subzona. Es importante destacar que un 2,4% del área de estudio corresponde a zonas urbanas y cuerpos de agua. En la Tabla 19 se describen las clases de suelos existentes en la SZH 2631.

Tabla 19. Clases de suelo de la SZH 2631.

Clase	Descripción	Área (ha)	Área (%)
2	Presentan limitaciones ligeras para su explotación económica y requieren la implementación de sistemas de producción sostenibles que involucren prácticas sencillas de manejo y conservación de suelos.	1.824,74	2,90
3	Presentan limitaciones ligeras a moderadas para su explotación económica que disminuyen la elección de cultivos agronómicos y requieren la implementación de sistemas de producción sostenibles con prácticas moderadas de manejo y conservación de suelos. Estos suelos se ubican principalmente sobre las planicies de inundación de los ríos que se ubican en la SZH 2631.	4456,37	7,08
4	Presentan limitaciones moderadas para su explotación económica que reducen la elección de cultivos agronómicos y requieren la implementación de sistemas de producción sostenibles con prácticas moderadas de manejo y conservación de suelos.	13261,21	21,06
6	Presentan limitaciones moderadas a severas para su explotación económica que restringen la elección de cultivos agronómicos y requieren la implementación de sistemas de producción sostenibles con prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos. Se encuentran distribuidas dentro de climas húmedo, frío; húmedo, templado; seco, cálido y seco, templado.	17870,4	28,41
7	Presentan limitaciones severas para su explotación económica que los hacen inadecuados para cultivos agronómicos. Su uso está restringido a la forestería de producción o de protección-producción y a la preservación de los recursos naturales con prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos.	9899,41	15,74
8	Presentan limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para cualquier tipo de explotación económica. Su uso está restringido a la forestería de protección y a la preservación de los recursos naturales con prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos.	14124,51	22,45
CA	Cuerpos de agua	567,35	0,9
ZU	Zonas urbanas	898,79	1,43

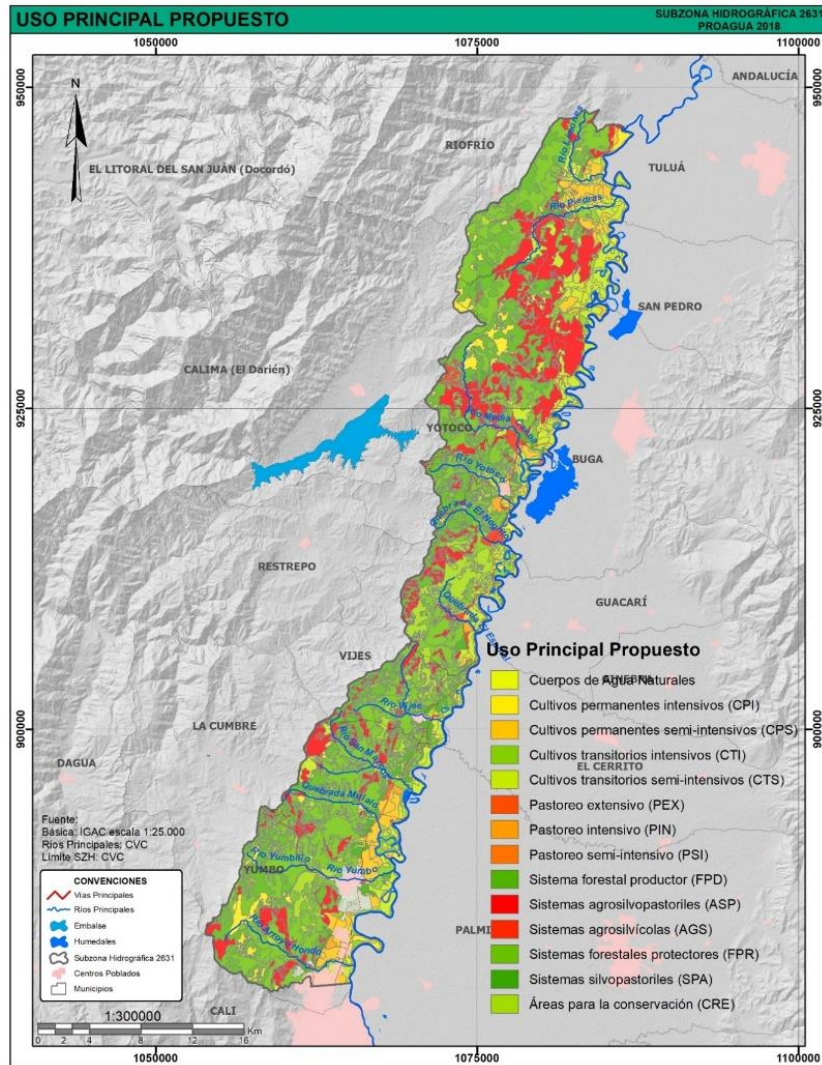
Fuente: PROAGUA, 2019.

3.10.3. Uso principal propuesto de la tierra

Una vez establecida la capacidad de uso de la tierra, a cada unidad clasificada se le asignó un uso principal propuesto, teniendo en cuenta las limitantes de cada clase de suelo, definidas en su grupo de manejo, sus condiciones fisicoquímicas y sus condicionantes climatológicas, según la guía POMCAS (MADS, 2014). Los usos principales propuestos para la SZH 2631 correspondientes a Sistemas Forestales Protectores (FPR), Sistemas agrosilvopastoriles (ASP) y los sistemas forestales productores (FDP), ocupan 20448,6 10282,3 y 9659,5 ha respectivamente, siendo los de mayor ocupación en la zona de estudio. Por otra parte, el Pastoreo Extensivo (PEX) y el Pastoreo intensivo (PIN) ocupan las menores áreas con un cubrimiento de 96,9 y 265,4 ha respectivamente.

Se puede concluir que la principal vocación de la SZH, a partir de la extensión de área, es forestal y agroforestal, como se observa en la Figura 26.

Figura 26. Uso principal propuesto de la tierra



Fuente: PROAGUA, 2019

3.11. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

La cobertura de la tierra, constituye un lineamiento de suma importancia por ser indispensable no solo en la caracterización y espacialización de las unidades del paisaje, sino también por su influencia marcada en el desarrollo de procesos de producción (Anderson, 1993). La definición y clasificación del uso actual del suelo se ha basado en la clase de cobertura vegetal y el grado de protección que ofrece al suelo; la morfología de los cultivos y el periodo vegetativo de los mismos. El uso actual del suelo, se refiere a las actividades antrópicas que se relacionan directamente con la tierra, por la utilización de los recursos naturales o por los impactos causados por las actividades socioeconómicas (Andrade, 1994).

Las unidades de cobertura de la tierra en la SZH, son producto de una adaptación realizada por la CVC de la metodología propuesta de clasificación CORINE Land Cover (CLC 2010), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra.

La base de datos de Corine Land Cover Colombia permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas. (IDEAM, 2010). El mapa de la cobertura, fue producto del trabajo de la CVC con el IGAC y se retomaron en este análisis los principales resultados obtenidos.

3.11.1. Coberturas de la Tierra

A partir del mapa de cobertura se pudo observar la distribución de 98 unidades distribuidas en 4 grandes grupos, como se presenta a continuación.

Tabla 20. Grupos de unidades de Cobertura.

Grupos de unidades de Cobertura	Descripción	Área (ha)	%
Territorios artificializados	Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos (IDEAM, 2010). En la SZH se distribuyen 4 unidades de coberturas pertenecientes a este grupo.	3538,2	5,62
Territorios agrícolas	Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho (IDEAM, 2010). En la SZH 2631, se distribuyen 59 unidades en este grupo. Las unidades de cobertura con mayor área son el <i>Pasto cultivado</i> con un porcentaje de 17,80% y la <i>caña de azúcar</i> (12,21%)	30164,2	47,95
Bosques y áreas seminaturales	Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación (IDEAM, 2010). En esta categoría se agrupan 25 unidades.	28.640,4	45,5 %
Áreas húmedas	Comprende aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localiza. También agrupa las superficies de agua como quebradas, humedales y ríos. La unidad más representativa son los ríos con un área total de 594, 37 ha.	1.133,3	1,80 %

Fuente: PROAGUA 2018, a partir de la información proporcionada por la CVC

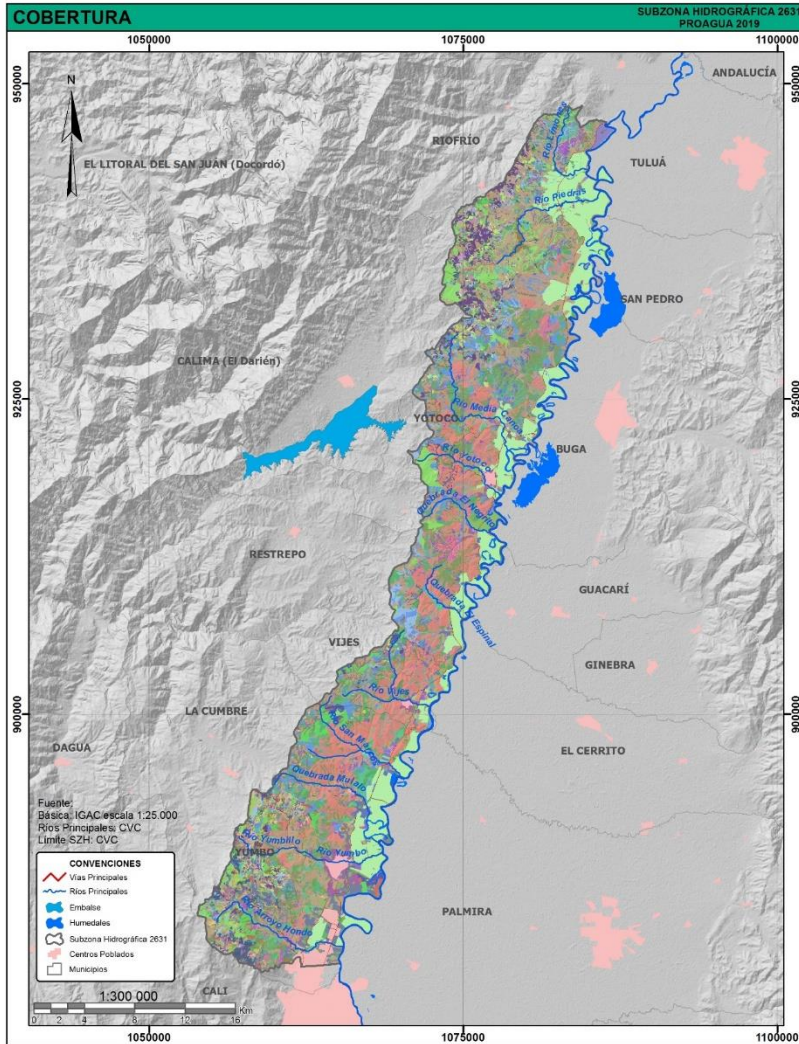
3.11.2. Uso del Suelo

El uso del suelo constituye la manifestación más clara del uso del territorio y de los recursos naturales de un área. Para la subzona se describen 16 tipos de uso, se observa que los *cultivos limpios* como la caña de azúcar, tienen la mayor área con un total de 24.755,5 ha que constituye el 39,4% del área total de la SZH; lo sigue el uso en *conservación* con 21.359,1 ha (33,9%). Los demás usos se distribuyen en pequeñas áreas y porcentajes muy bajos (ver Figura 27).

3.11.3. Análisis Multitemporal

Para la elaboración de mapas de cobertura del suelo se emplean productos de imágenes satelitales a escala 1:100.000 para dos temporalidades 2002 y 2016, con un esquema de interpretación visual, incorporando la información a un sistema de información geográfica obteniendo resultados sobre las principales tendencias que a través del tiempo.

Figura 27. Cobertura de la tierra SZH 2631



Leyenda Cobertura

Cobertura	Área (ha)	% Área	Cobertura	Área (ha)	% Área
Zonas urbanas continuas	662.18	1.1%	Frijol	2.08	0%
Zonas urbanas discontinuas	235.32	0.4%	Hortalizas en invernadero	4.81	0%
Otras superficies artificiales con construcción	1743.24	2.8%	Tomate en invernadero	7.06	0%
Otras superficies artificiales sin construcción	897.47	1.4%	Hortalizas	3.54	0%
Otros cultivos arbóreos plantados densos	2.02	0%	Plátano - Plátano	5.62	0%
Aguacate	65.77	0.1%	Cítricos-Plátano	2.26	0%
Mango	44.53	0.1%	Yuca-Plátano	2.14	0%
Eucalipto	304.81	0.5%	Otros cultivos asociados	14.37	0%
Eucalipto cosechado	17.83	0%	Cítricos - Otros cultivos	2.04	0%
Pino	889.20	1.4%	Misceláneo de pastos y cultivos	551.42	0.9%
Pino cosechado	202.56	0.3%	Misceláneo de cultivos y espacios naturales	97.04	0.2%
Café-Mango	9.88	0%	Misceláneo de pastos y espacios naturales	43.76	0.1%
Café-Nogal	9.81	0%	Misceláneo de cultivos, pastos y espacios naturales	2.13	0%
Café-Otros arbóreos	426.43	0.7%	Áreas de cultivo con suelo desnudo	180.44	0.3%
Mezcla de árboles plantados	2.42	0%	Bosque mixto denso alto de tierra firme	2246.39	3.6%
Árboles plantados y vegetación natural	20.75	0%	Bosque mixto denso bajo de tierra firme	968.07	1.5%
Otros cultivos arbóreos plantados abiertos	0.21	0%	Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1535.02	2.4%
Misceláneo de árboles frutales	26.79	0%	Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	858.45	1.4%
Árboles frutales - Plátano	3.19	0%	Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	574.56	0.9%
Árboles frutales - Otros cultivos	14.06	0%	Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1111.63	1.8%
Misceláneo de Cítricos	36.20	0.1%	Bosque mixto relictual	20.06	0%
Limón	2.68	0%	Bosque de guadua	278.66	0.4%
Naranja	14.95	0%	Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	966.97	1.5%
Plátano	144.61	0.2%	Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme	1865.36	3.0%
Café	414.14	0.7%	Arbustal y matorral denso alto inundable	3.12	0%
Café-Plátano	1400.09	2.2%	Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	928.67	1.5%
Café-Otros cultivos	185.68	0.3%	Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	765.34	1.2%
Papayo	84.14	0.1%	Arbustal y matorral abierto alto inundable	20.45	0%
Vid	152.35	0.2%	Arbustal y matorral abierto bajo inundable	38.70	0.1%
Caña de azúcar	7675.84	12.2%	Arbustal y matorral abierto bajo esclerófilo	3992.12	6.3%
Caña panelera	1.87	0%	Vegetación secundaria o transición	3173.47	5.0%
Maíz	189.36	0.3%	Herbazal natural denso no arbolado	11.57	0%
Otros cultivos arbustivos plantados abiertos	9.87	0%	Herbazal natural denso con arbustos	17.38	0%
Yuca	8.73	0%	Helechal	120.18	0.2%
Otros cultivos herbáceos plantados densos	19.33	0%	Herbazal natural abierto rocoso	76.64	0.1%
Ají	104.51	0.2%	Herbazal natural abierto subxerófilo	8025.92	12.8%
Melón	2.43	0%	Áreas quemadas	99.45	0.2%
Piña	99.37	0.2%	Áreas de destazamientos	2.25	0%
Flores	4.09	0%	Áreas naturales desnudas	939.99	1.5%
Gladiolo	8.88	0%	Otros cuerpos de agua	0.22	0%
Pasto de corte	129.18	0.2%	Ríos	594.37	0.9%
Pasto cultivado	11194.04	17.8%	Lagunas	1.04	0%
Pasto cultivado arbolado	842.75	1.3%	Meandro abandonado	137.96	0.2%
Pasto cultivado enmalezado	3897.40	6.2%	Otras superficies pantanosas	144.37	0.2%
Heliconias	1.55	0%	Estanques artificiales	76.75	0.1%
Lulo	2.70	0%	Canal	19.40	0%
Pimentón	0.72	0%	Superficies de inundación temporal	150.87	0.2%
Tomate	2.55	0%	Arrozal	7.92	0%
Maracuyá	2.18	0%	Isla	0.13	0%

Fuente: PROAGUA 2018, a partir de la información proporcionada por la CVC

La metodología consistió en el postprocesamiento, segmentación y clasificación de las imágenes Landsat de los años 2002 y 2016. Posteriormente y debido al porcentaje de nubosidad fue necesario complementar la clasificación con la interpretación de imágenes satelitales RAPID EYE S04_2010-01-21 e Imagen SPOT año 2006 propiedad de CVC, así como la generalización de la información de coberturas de diferentes escalas facilitadas por la CVC. El tamaño de pixel para cumplir el área mínima cartografiada adecuada se definió en 1mm = 100m. Posteriormente se hizo la conversión raster a vectorial, y mediante la limpieza topológica, se lograron unidades mínimas de mapeo de 160 ha.

El análisis multitemporal permitió identificar cambios expresados en pérdidas de las coberturas naturales, como el bosque denso y los herbazales. Por ejemplo, los *Bosques Densos* han perdido alrededor de 3.116,0 ha. Al respecto se podría considerar que el bosque ha sido talado para dar paso al establecimiento de cultivos de pastos, bosques abiertos, rastrojos, pastos limpios y cultivos de caña (Tabla 21). En el sentido contrario la unidad de cobertura que más ha ganado área, es la denominada *Mosaico de Pastos con espacios naturales* con 3.626,7 ha. Los cambios de cobertura de la tierra, demuestran cómo el uso del suelo ha cambiado, y algunas áreas que anteriormente se encontraban en conservación, han sido taladas para dedicarlas a la ganadería, así como para el establecimiento de cultivos intensivos como la caña de azúcar.

Tabla 21. Cambios entre los periodos. Área en hectáreas (ha)

Código	Nombre de Cobertura	Año 2002	Año 2016	Cambio
111	Tejido urbano continuo	666,26	998,27	332,01
112	Tejido urbano discontinuo	436,93	58,67	-378,25
121	Zonas industriales o comerciales	679,62	1302,46	622,84
131	Zonas de extracción minera	433,87	390,41	-43,46
132	Zonas de disposición de residuos	Sin información	52,74	52,74
142	Instalaciones recreativas	544,89	1135,33	590,44
212	Cereales	681,69	64,42	-617,27
221	Cultivos permanentes herbáceos	8020,07	8934,16	914,09
222	Cultivos permanentes arbustivos	2024,35	2118,68	94,33
231	Pastos limpios	6427,82	7178,26	750,43
232	Pastos arbolados	1529,96	606,50	-923,46
241	Mosaico de cultivos	417,91	243,55	-174,36
242	Mosaico de pastos y cultivos	1001,89	521,45	-480,44
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2815,60	3557,43	741,83
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	5521,49	9148,17	3626,67
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	571,04	273,26	-297,78
311	Bosque denso	5845,59	2729,58	-3116,01
312	Bosque abierto	632,50	679,65	47,15
313	Bosque fragmentado	3311,69	1135,87	-2175,81
314	Bosque de galería y ripario	407,84	148,89	-258,95
315	Plantación forestal	1069,20	1366,60	297,40
321	Herbazal	12671,01	10208,18	-2462,82
322	Arbustal	5194,56	7179,69	1985,12
323	Vegetación secundaria o en transición	651,15	1760,66	1109,52
333	Tierras desnudas y degradadas	459,73	370,45	-89,28
411	Zonas pantanosas	58,28	53,34	-4,94
511	Ríos	827,92	686,17	-141,75
	Total	62902,8	62902,8	

Fuente: PROAGUA, 2018 a partir de información proporcionada por la CVC

La cuenca que más ha perdido coberturas es Mediacanoa con un 9,21% de su área total, seguida por las cuencas de Vijes y Yotoco. Las cuencas en las cuales más ha persistido la cobertura son Mediacanoa con un 12% y Piedras con más del 10%. La cuenca que más ha ganado cobertura es Yotoco, pero el valor de la ganancia es muy bajo, puesto que solo llega a un 1,13% del área total de la cuenca. Las transformaciones por lo general tienen que ver con la tala y posterior establecimiento de sistemas productivos como la ganadería extensiva y la producción agrícola.

3.12. ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD - ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL

La identificación de áreas y ecosistemas estratégicos, se realizó mediante el análisis de la información bibliográfica, verificaciones de campo y procesamiento de información cartográfica, que permitieron la clasificación y descripción de áreas y Ecosistemas Estratégicos. Se identificaron entonces las áreas que se presentan a continuación:

Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) Públicas y Privadas. Las áreas protegidas son *áreas definidas geográficamente, designadas, reguladas y administradas con el fin de alcanzar objetivos específicos de conservación* (Decreto 2372 de 2010). En la Tabla 22 y en la Figura 28 se presentan las áreas protegidas públicas y privadas de la SZH. La Reserva Forestal Protectora Nacional (RFPN) La Elvira, de carácter pública, registra un área de 1.215 ha, la cual es la mayor de la zona de estudio.

Tabla 22. Áreas Protegidas SZH 2631

Áreas Protegidas	Nombre	Cuenca	Municipio	Área (ha.)	
SINAP	RFPN	Dapa Carisucio	Yumbo	1.079,93	
		Guadualitos - El Negrito	Yotoco	1.215,02	
		La Elvira	Arroyohondo - Yumbo	2.738,44	
	RFPR	La Albania	Mediacanoa	Yotoco	219,90
	RNSC	Corazones Verdes	Yumbo	Yumbo	6,04
		Samuel Álvarez	Arroyohondo	Yumbo	7,51
		La Cabaña	Vijes	Vijes	126,01
TOTAL				5.392,31	

Fuente: PROAGUA, 2018 a partir de la información proporcionada por la CVC

Las reservas constituyen áreas geográficas de gran importancia ecológica y ambiental ya que en estas se distribuyen bosques que revisten gran importancia y que brindan hábitats a una gran diversidad de especies de flora y fauna, a su vez sus bosques son el soporte natural para el nacimiento de muchas fuentes donde se abastecen los acueductos veredales de la zona.

Se resalta La Reserva Forestal Guadualitos - El Negrito, que contiene el Bosque de Yotoco, uno de los remanentes de bosque protegido existente en la vertiente oriental de la cordillera Occidental. En este ecosistema alto andino confluyen no solo características de ecosistemas andinos, sino también algunas influencias marcadas de los ecosistemas tropicales del Pacífico, lo que la convierte en un lugar de tránsito importante para especies animales, y a su vez, un lugar de parada en la migración boreal de aves, ver Foto 7.

Foto 7. RFPN Cerro Dapa Carisucio y Quebrada Guadualito y El Negrito.



RFPN Cerro Dapa Carisucio



RFPN Quebrada Guadualito y El Negrito

Fuente: Elaboración propia, PROAGUA 2019

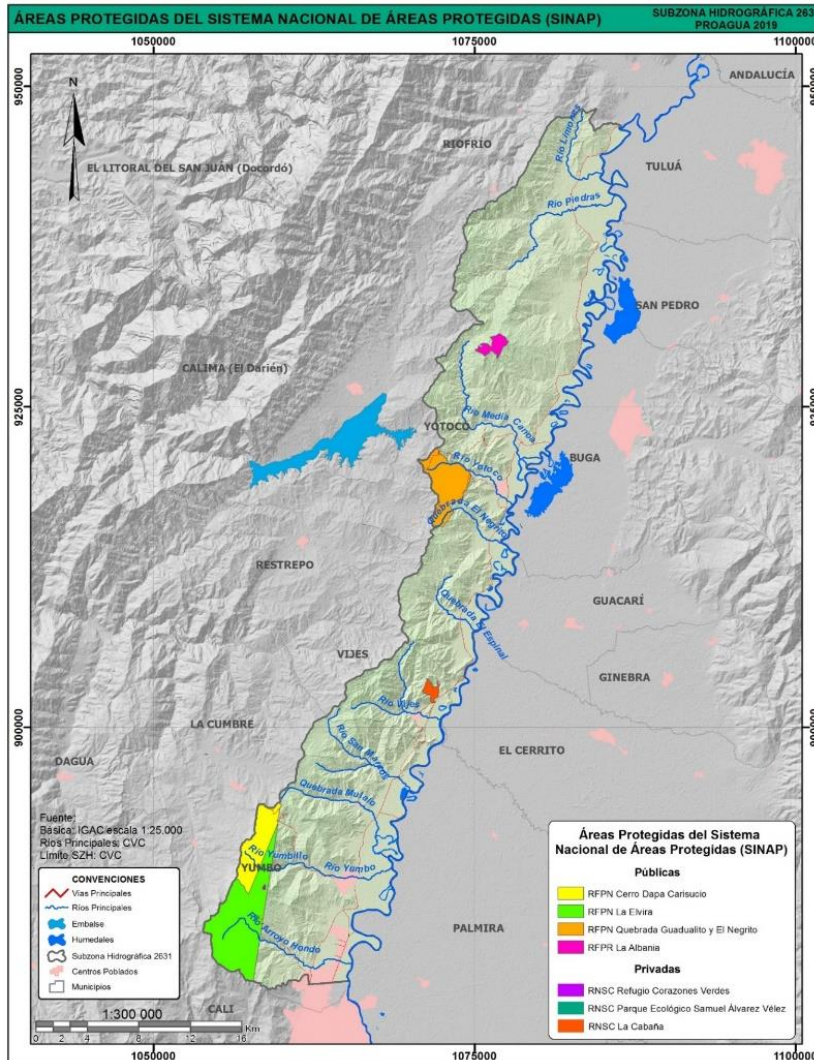
Con relación a las áreas de importancia ecosistémica, las cuales corresponde a las zonas que deben ser objeto de especial protección ambiental de acuerdo con la normativa vigente, se identificaron en la SZH las que se presentan en la Tabla 23 y Figura 29.

Tabla 23. Áreas de Importancia Ecosistémica.

Áreas de Importancia Ecosistémica	Descripción
Complejo Humedales Alto río Cauca (no contenidas en el SINAP)	En el área de la subzona se distribuyen 15 humedales considerados como Reservas de Recursos Naturales Renovables (RRNR), los cuales están asociados al complejo hidrológico del río Cauca, conformado por el río como canal principal y lagunas, madrevejas y ciénagas asociadas a su dinámica, las cuales son un remanente de humedales lénticos (CVC, 2007).
Áreas Protectoras de Orden Municipal (no contenidas en el SINAP)	Entre estas áreas se tiene: el Parque Natural Municipal de Yumbillo (162,4850 ha.), Parque Natural Municipal De Mulaló (196,9487 ha.), Parque Natural Municipal El Resplandor (35,8000 ha.), Parque Natural Municipal de Santa Inés (62 ha.), Reserva Ecológica de Mulaló (33,3 ha).
Otros Humedales	Existen otros humedales que no han sido designados como áreas protegidas, pero que su condición ambiental, reviste una gran importancia. Se distribuyen 5 humedales que cubren un área de 31,34 ha, los cuales son: Ciénaga Vidal, Gorgonilla, Mediacanoa, La Trozadita, Garzoner2.
Reserva Liverpool	Se encuentra entre los municipios de Riofrío, Yotoco y Darién. Tiene una altura sobre el nivel del mar a 2600 m.s.n.m. Esta zona es objeto de conservación, debido a la riqueza hídrica que posee, pues cuenta con aproximadamente 10 nacimientos de agua. Cuenta con 286 ha en protección.
Hacienda Hato Viejo	Construida en el período colonial al pies de la cordillera Occidental, en el municipio de Yotoco.
Predios adquiridos para la conservación	En el marco del cumplimiento del art. 111, Ley 99 de 1993, se han adquirido 66 predios para la conservación para la SZH distribuidos así: 61 en el municipio de Yumbo (1.360,51 ha); 3 en el municipio de Vijes (11,29 ha) y 2 predios en Riofrío (11,90 ha).
Ecosistemas muy secos (Orobioma Azonal)	Este es el ecosistema con mayor representatividad, con el 39,6% (24.919,8 ha) de la SZH. La distribución de Bosque Seco Tropical (BsT) se ha asociado al valle geográfico del río Cauca en la zona plana. Actualmente en esta zona, su cobertura se ha reducido a pocos relictos que se encuentran bajo alguna figura de conservación y mantienen áreas representativas de las formaciones vegetales típicas de este bioma.
Áreas forestales protectoras de ríos, quebradas y nacimientos	En la SZH se identifica una franja muy importante contigua al margen izquierdo del río Cauca. Esta franja se desarrolla a partir de lo dispuesto en la ordenanza 1409 de 1986 y es de aproximadamente 654,83 ha. Respecto a las franjas protectoras de los cauces, según lo dispuesto en el Decreto 1076 de 2015, se define un buffer de 30 metros a cada orilla de los cuerpos de agua de la cartografía básica de la SZH, para un área total de 13.457,12 ha.
Recarga del Acuífero del Valle del Cauca	El acuerdo CVC C.D No. 042 de julio 09 de 2010 dispone la reglamentación integral en torno al uso y manejo de las aguas subterráneas. En la SZH se tiene un acuífero con un área de 8.748,7 ha.
Áreas Complementarias de distinción internacional para la conservación	Las Áreas de distinción internacional para la SZH corresponden al Sitio Ramsar (humedales de importancia internacional, como la Laguna de Sonso que tiene un área de 1.424,32 en la SZH), el área AICA (áreas de importancia para la conservación de aves como el Bosque de Yotoco con un área de 442,30 ha.) y el Área Clave de Biodiversidad Bosque San Antonio (el cual se distribuye un área de 2952,12 hectáreas en 3 RFPN, 1 RFPR y 5 RNSC).

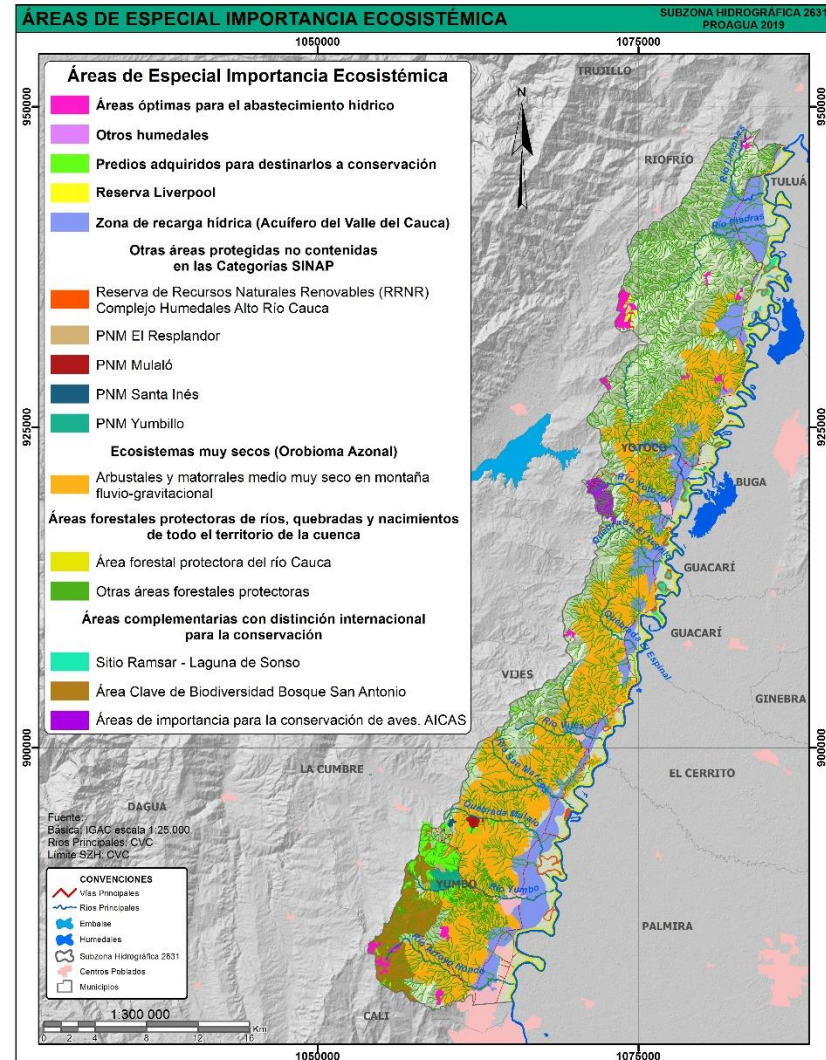
Fuente: PROAGUA 2019

Figura 28. Áreas Protegidas



Fuente: Elaboración propia, a partir de información de CVC 2019

Figura 29. Áreas de especial importancia ecosistémica



Fuente: Elaboración propia, a partir de información secundaria

3.12.1. Ecosistemas

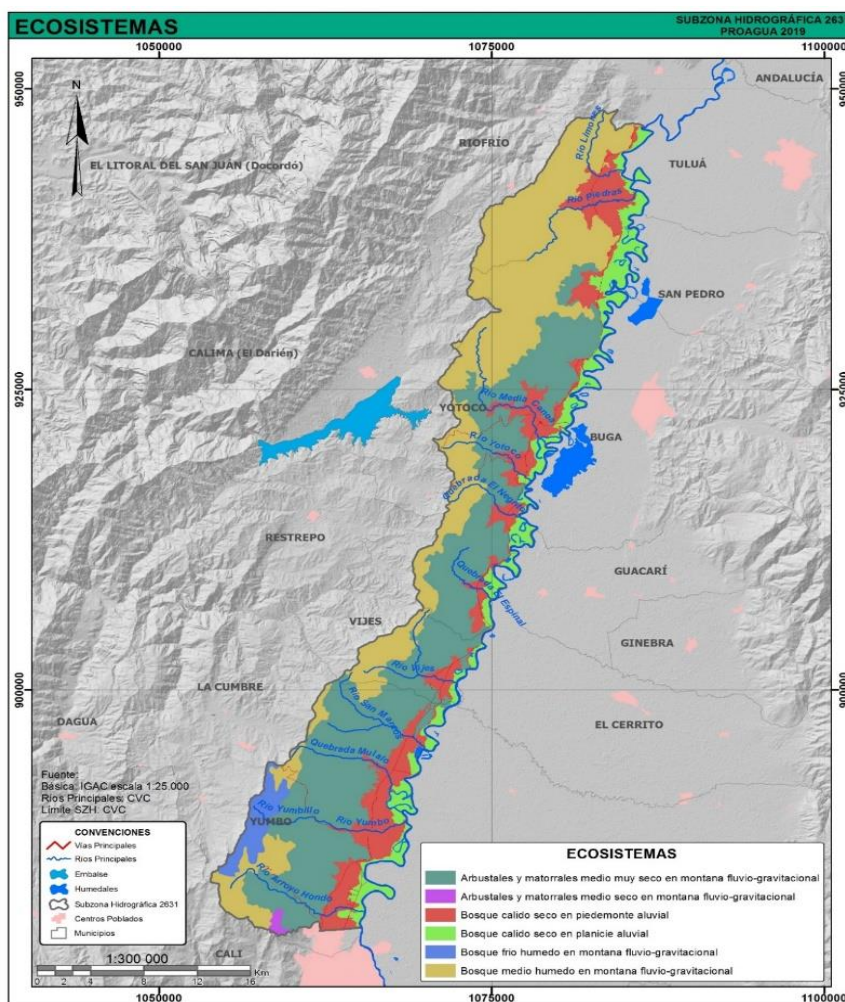
En la Figura 30 y Tabla 24 se presentan los ecosistemas que hacen parte de la SZH 2631, los cuales se tomaron del estudio realizado por la CVC en el 2010 y que caracteriza los ecosistemas para todo el departamento del Valle del Cauca.

Tabla 24. Ecosistemas presentes en la SZH 2631

#	ID	Ecosistema	Zona	Área_ha
1	AMMMSMH	Arbustales y matorrales medio muy seco en montaña fluvio-gravitacional	Cordillera Occidental	24882,15
		Arbustales y matorrales medio muy seco en montaña fluvio-gravitacional	Valle Geográfico	37,69
2	AMMSEMH	Arbustales y matorrales medio seco en montaña fluvio-gravitacional	Cordillera Occidental	184,51
		Bosque cálido seco en piedemonte aluvial	Cordillera Occidental	322,43
3	BOCSEPA	Bosque cálido seco en piedemonte aluvial	Valle Geográfico	8736,52
		Bosque cálido seco en planicie aluvial	Valle Geográfico	6148,74
4	BOCSERA	Bosque cálido seco en planicie aluvial	Valle Geográfico	6148,74
5	BOFHUMH	Bosque frío húmedo en montaña fluvio-gravitacional	Cordillera Occidental	1549,69
6	BOMHUMH	Bosque medio húmedo en montaña fluvio-gravitacional	Cordillera Occidental	21041,11
Total				62902,85

Fuente: CVC, 2010

Figura 30. Ubicación geográfica de los ecosistemas presentes en la SZH 2631



Fuente: PROAGUA, con información de CVC 2010.

3.12.2. Flora

El estudio de Flora y Fauna fue realizado en el marco del Convenio interadministrativo CVC No. 166 de 2017 CVC - Universidad del Valle y el cual tuvo por objeto “Aunar esfuerzos técnicos, recursos económicos y humanos para realizar la investigación y el estudio de la biodiversidad en la subzona 2631”. El análisis se centró en realizar una estimación del esfuerzo de muestreo y de estimación de especies; para llegar a una descripción en términos de composición y diversidad; patrones de diversidad biológica entre ecosistemas y la descripción de criterios de vulnerabilidad e importancia de especies.

Los estudios de flora registraron en total de 489 especies, distribuidas en los seis ecosistemas presentes en la SZH así: *Ecosistema arbustal montaña fluvio- gravitacional* (AMMMSMH) 487 especies; *ecosistema arbustales y matorrales medio seco en montaña fluvio-gravitacional* (AMMSEMH) 351 especies; *ecosistema bosque cálido seco en piedemonte aluvial* (BOCSEPA) 264 especies; *ecosistema bosque cálido seco en planicie aluvial* (BOCSERA) 257 especies; *ecosistema bosque medio húmedo en montaña fluvio-gravitacional* (BOMHUMH) 446 especies y *ecosistema bosque frío húmedo en montaña fluvio-gravitacional* (BOFHUMH) con 182 especies.

Se identificó que en el ecosistema AMMMSMH, tiene índices de diversidad alfa de mayor abundancia (N), riqueza (S) y Shannon (H) con 174 especies, 389 individuos y valor de 2,65 de diversidad. El mejor valor de equitatividad (J) lo presentó el ecosistema BOMHUMH con un valor de 0,91. El ecosistema AMMMSMH presenta seis especies exclusivas (*Opuntia pittieri*, *Passiflora sphaerocarpa*, *Stenocereus humilis*, *Stigmaphyllon echitoides*, *Zanthoxylum gentryi* y *Zanthoxylum monophyllum*).

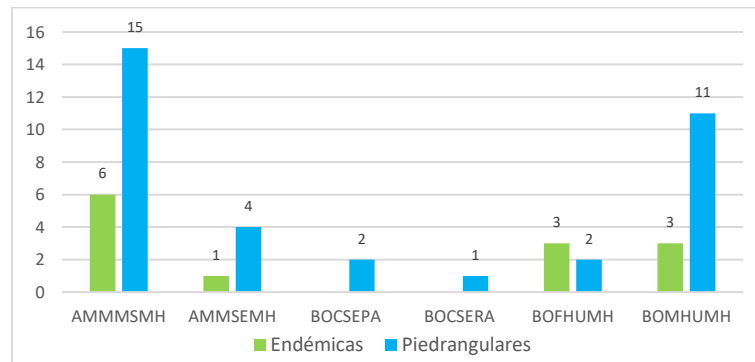
Respecto a la diversidad beta, se reportaron 3 agrupamientos jerárquicos, con un coeficiente de correlación del 0,94; el *Bosque cálido seco en piedemonte aluvial* (BOCSEPA) y *Arbustales y matorrales medio muy seco en montaña fluvio-gravitacional* (AMMMSMH), comparten un 74% de los taxones colectados en campo. BOFHUMH, es el ecosistema con menor grado de similitud alrededor del 10% de las especies.

La presencia de especies con registro único en el ecosistema AMMMSMH es un criterio clave para aplicación de una política de conservación, que permita en el tiempo mantener su estructura y función, como fuente de riqueza renovable, al igual que el resto de los ecosistemas identificados. Respecto al ecosistema BOMHUMH, hay una mejor distribución de especies, con condiciones equitativas para el aprovechamiento de los recursos claves para el establecimiento de cualquier especie de flora.

A partir de los valores del índice de complementariedad (IC: promedio = 82.3%, se encontró el mayor recambio de especies entre el ecosistema BOMHUMH y los demás ecosistemas.

La información consolidada a partir de los seis ecosistemas arrojó un total de 117 especies críticas de flora para la SZH, dentro de las cuales figuran 13 endémicas, 43 introducidas, 11 invasoras, 35 piedrangulares y 25 bajo alguna categoría de amenaza de carácter global (IUCN y CITES), nacional (IAvH) y/o regional (CVC), ver Figura 31.

Figura 31. Especies Endémicas y Piedrangulares / Ecosistemas



Fuente: UNIVALLE y Otros, 2017

Todas las especies invasoras que referencian los muestreos, son especies de uso cotidiano de las comunidades como se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25. Especies Invasoras

Especie	Nombre Común	Ecosistema
<i>Dicranopteris flexuosa</i>	Helecho Estrella	AMMSEMh
<i>Impatiens walleriana</i>	Alegría del hogar	BOMHUMH
<i>Lantana camara</i>	Cinco Negritos	AMMMSMH
<i>Leucaena leucocephala</i>	Guaje	AMMMSMH
<i>Mikania banisteriae</i>	Enredadera	AMMSEMh
<i>Pinus tecunumanii</i>	Pino	BOFHUMH
<i>Pistia stratiotes</i>	Repollito del agua	BOCSERA
<i>Pteridium aquilinum</i>	Helecho Estrella	AMMSEMh
<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	AMMSEMh
<i>Swinglea glutinosa</i>	Limón de tierra caliente	BOCSERA
<i>Tradescantia zebrina</i>	Zebrina	BOMHUMH

Fuente: UNIVALLE, 2015.

3.12.3. Fauna

La caracterización biótica fue realizada por la Universidad del Valle en el marco del convenio interadministrativo CVC No. 166 de 2017 CVC - Universidad del Valle. De estos resultados se tiene que las *aves* son el primer grupo representativo, considerado como el más abundante y mejor conocido, cuya presencia puede evaluar el estado de conservación de cualquier hábitat terrestre o acuático, incluso es un insumo de comparación entre gradientes climáticos o ecológicos, a partir de los procesos de movilidad, migración o diversidad. Los *mamíferos* son un grupo diverso, con variabilidad elevada de formas y tamaños, habitando todos los rincones del planeta (Borroto-Páez, 2017), tanto en ecosistemas acuáticos como terrestres, incluso algunos están adaptados para el vuelo como es el caso del orden Chiroptera. Los *anfibios* son organismos que utilizan la piel para intercambio gaseoso, con características lisas o granuladas, cuya supervivencia depende del medio acuático y áreas con cobertura vegetal (Cortés Gómez, y otros, 2010). Los *reptiles*, son una clase que se caracterizan por poseer escamas en su piel, ectotérmicos, con o sin extremidades articuladas (Canseco-Márquez, 2010). Por último, están los *peces*, principales vertebrados que estructuran los ecosistemas acuáticos, cumpliendo un rol dentro de las cadenas tróficas y ciclos biogeoquímicos (Gutierrez-Garaviz, 2016).

A nivel de composición, se identificaron 30 especies de peces, siendo las categorías taxonómicas Characiformes con la familia Characidae y Siluriformes con las familias Trichomycteridae y Locaridae, las más representativas en los 6 ecosistemas evaluados. Respecto a los Anfibios, se colectaron 20 especies donde las familias Craugastoridae y Leptodactylidae sobresalieron. A nivel de Reptiles se identificaron 21 especies, sobresaliendo la familia Colubridae. En el grupo de las aves, se registraron 193 especies, sobresaliendo los órdenes Passeriformes y Apodiformes, con las familias Tyrannidae, Thraupidae y Trochilidae. Respecto a los mamíferos, 39 especies fueron registradas, sobresaliendo los órdenes Carnivora y Chiroptera, con las familias Felidae y Phyllostomidae respectivamente.

En cuanto a la diversidad alfa, el ecosistema AMMMSMH presentó los mayores valores de riqueza (S), abundancia (N) y Shannon (H), para la comunidad de peces, aves y mamíferos; en este mismo ecosistema se registró la mayor abundancia (N) y riqueza (S) de reptiles, y mayor índice de Shannon (H) para anfibios. En el ecosistema BOMHUMH se registró la mayor diversidad de Shannon (H) para reptiles, al igual, la mejor equitatividad (J) en mamíferos y aves; los otros valores sobresalientes de equidad se registraron en AMMSEMH para anfibios, BOCSERA para peces y reptiles.

Los ecosistemas BOCSEPA y AMMMSMH compartieron el mayor porcentaje de especies de peces (74%), anfibios (75%), reptiles (68%) y aves (56%) - diversidad beta-. Para los mamíferos la mayor asociación se observó en los ecosistemas BOCSERA y BOMHUMH (70%). Teniendo en cuenta el índice de complementariedad, para peces, los ecosistemas donde hubo mayor recambio de especies fue BOCSERA y BOFHUMH en un 100%.

Con respecto a las especies de aves que se encuentran con algún grado de amenaza, se registran 4 especies endémicas *Ortalis columbiana* (Guacharaca común), *Picumnus granadensis* (Carpinterito punteado), *Chlorochrysa nitidissima* (Tángara multicolor) *Myiarchus apicalis* (Atrapamoscas apical), 7 especies con amenaza regional, 1 especie dentro de la lista roja, 17 especies migratorias boreales, 1 especie introducida y 26 especies dentro del apéndice II CITES. El carácter de endemismo está presente en todos los sitios de estudio, registrando 4 especies.

3.13. ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE LOS BOSQUES

3.13.1. Análisis de conectividad entre coberturas

La heterogeneidad evalúa la diversidad de coberturas presentes en la SZH, en la cual se observa que los Pastos Cultivados son las zonas con mayor área (11189,3 ha), seguida por el Herbazal natural abierto subxerofítico (con un área de 8021,7 ha) y Caña de Azúcar (con 7674,8 ha). Lo que muestra claramente un paisaje dominado por pocas coberturas, si bien es cierto existen muchas unidades de cobertura, estas no son representativas, en cuanto al área.

En términos de heterogeneidad del paisaje se puede inferir que en la matriz de coberturas, el 53,4% del área total de la SZH se categoriza como áreas transformadas y que el 46,6% se determinan como áreas naturales. La diversidad de coberturas es alta, predominan las transformadas, en tipo y área, y esto no refleja una característica favorable para la SZH, afectando la conectividad y la dinámica en los ecosistemas.

La configuración espacial evalúa la forma cómo se disponen en el área las unidades espaciales de análisis mediante métricas utilizadas para el análisis.

La métrica número de parches o *NP*, es una medida indirecta de la estructura del paisaje y permite comprender de forma gruesa el efecto que tienen los procesos naturales o antropogénicos en términos de la fragmentación de las coberturas (Zambrano H, 2003). Esta métrica, muestra un total de 16.825 parches, de los cuales 8.606, están en condición natural y 8.219 en condición de transformados. Así entonces los parches se distribuyen a casi el 50 % entre transformados y naturales. Las coberturas con mayor cantidad de parches es *Pasto Cultivado* que representa un 17,8% del área, lo cual indica un uso intensivo de los suelos con la ganadería extensiva. Los valores individuales de fragmentación podrían indicar que, las áreas o coberturas fragmentadas en las cuales se podría iniciar algunas estrategias de restauración, podrían ser los *cultivados enmalezados y áreas naturales desnudas, Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme, Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme, Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme, Bosque mixto abierto bajo de tierra firme y Vegetación secundaria o transición*, debido a que estas coberturas podrían incrementar la efectividad de los procesos de restauración y facilitar los flujos ecológicos.

La métrica Índice de parche de mayor extensión o *LPI*, que permite analizar la matriz estructurante del paisaje, evidenció que la cobertura dominante es caña de azúcar con un valor de 2,3%, seguida de pastos cultivados con 1,8%, siendo el monocultivo de caña la unidad de cobertura menos fragmentada, más conectada y una de las de mayor importancia la SZH.

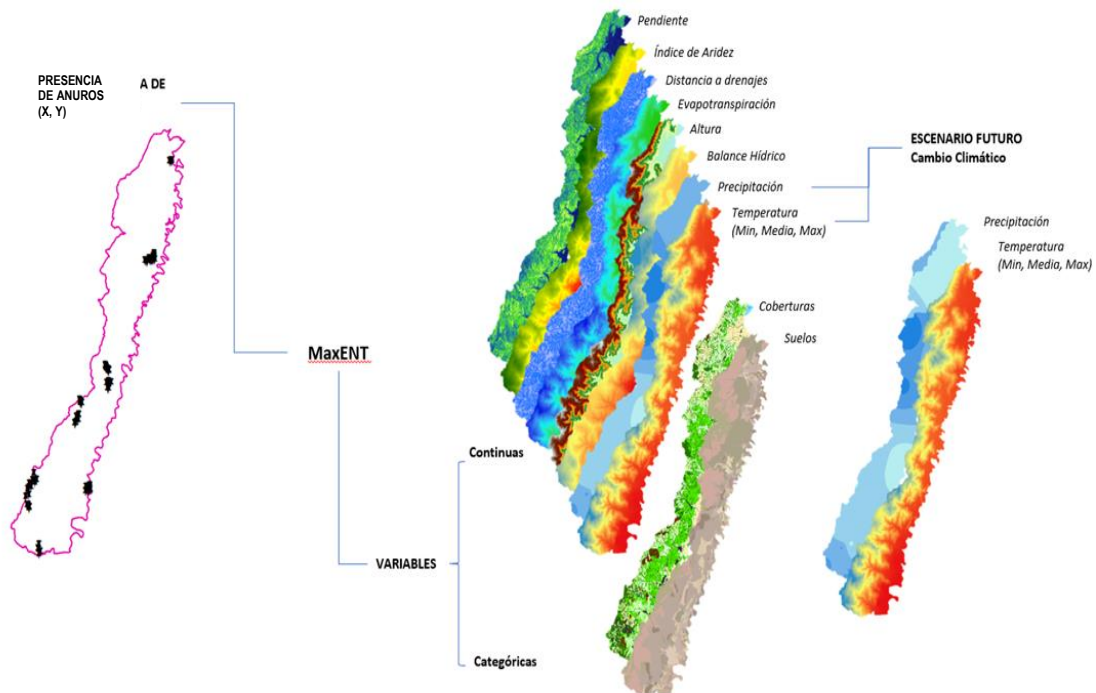
La conectividad entre fragmentos (ENN), Plátano - Pitaya es la que presenta mayor distancia entre los fragmentos, con un valor de 35.175,2 metros entre éstos; la explicación de esto, tiene que ver con que, son cultivos en arreglos de pancoger con áreas muy pequeñas y distantes entre ellas. Para la Continuidad longitudinal (COHESION), la caña de azúcar es la que presenta una mayor conectividad con un porcentaje del 99,21%, seguida por las Zonas Urbanas Continuas con un valor de 98,69%; Finalmente, para la Continuidad altitudinal (RANGO), se establece que la Vegetación Secundaria o en transición es la que presenta un mayor valor.

3.13.2. Modelamiento espacial de nichos ecológicos en Anuros

Los estudios de distribución de especies y de modelamiento de nicho, tienen valiosas aplicaciones para la conservación de la biodiversidad (West, 2016) considerando potenciales afectaciones del cambio climático en la distribución o de nicho actual de las especies sensibles (Quesada-Quirós, 2017), entre otros.

Para la modelación, se utilizó el programa MaxEnt propuesto por (Phillips S. D., 2004), el cual fue propuesto para el modelamiento de la distribución geográfica de las especies (Phillips S. J., 2006). Este modelo se desarrolló únicamente para anfibios, ya que es el único grupo para el cual se logró de manera aproximada la ubicación geográfica de los individuos observados en campo en la SZH 2631. Para el análisis se utilizaron diez (10) variables ambientales las cuales se ingresaron al modelo como determinantes en la distribución de las especies (Figura 32).

Figura 32. Esquema Metodológico para la modelación de nicho para especies de anuros



Fuente: PROAGUA, 2019

El modelamiento de nicho ecológico proyecta que para el 2018 la distribución de los anuros se da en un área aproximada de 429,8 ha. Proyecta el modelo para un escenario potencial de cambio climático entre el 2011 al 2040, que el área de distribución de los nichos ecológicos de estas especies, se disminuye a 69,2 ha con una reducción sustancial del área de distribución que puede condenar a la extinción de algunas de las especies de anfibios presentes en la SZH.

4. CARACTERIZACIÓN SOCIAL, CULTURAL Y ECONÓMICA

La caracterización socioeconómica y cultural permite comprender las formas en las que el ser humano se relaciona con la naturaleza, y cómo estas influyen en la transformación del territorio. Es por ello que se estudiaron las condiciones de vida de los territorios, su dinámica poblacional, ocupación, actividades económicas y aspectos culturales. Estos insumos permiten analizar si esas interacciones son armónicas con el entorno natural y se dan bajo los principios de desarrollo sostenible (MADS, 2014).

4.1. CARACTERIZACIÓN SOCIAL Y CULTURAL

4.1.1. Análisis demográfico

Para llevar a cabo el análisis demográfico en la SZH se tuvo en cuenta la información disponible en el DANE respecto al censo del año 2005 (los resultados del censo del año 2018 aún no se encuentran disponibles), desagregada a nivel de sector rural (unidad mayor) y sección rural (unidad menor) así como a nivel de centro poblado.

Algunas secciones rurales, se encuentran parcialmente dentro de la SZH, por lo cual se asignó la población de la sección respectiva de acuerdo con su proporción. Adicionalmente a los centros poblados rurales, se tuvieron en cuenta los grandes centros poblados constituidos por las cabeceras municipales de Yotoco, Vijes y Yumbo. La población de los municipios que constituyen casi la totalidad de la SZH 2631 se muestra en la Tabla 26 para el período 1985-2020 de acuerdo con las cifras oficiales del DANE.

Tabla 26. Población proyectada: Totales, urbana y rural 1985-2020

Año	Población urbana por municipio				Población rural por municipio			
	Riofrío	Vijes	Yotoco	Yumbo	Riofrío	Vijes	Yotoco	Yumbo
1985	5.664	4.183	5.933	48.354	11.429	4.711	7.546	6.836
1990	6.981	4.216	6.292	54.019	13.014	4.215	8.195	7.516
1995	7.207	4.675	6.883	61.927	13.626	3.951	8.374	8.604
2000	6.165	5.270	7.234	71.461	12.897	3.879	8.067	9.972
2005	5.475	5.856	7.560	80.944	11.908	3.295	8.013	11.270
2010	5.107	6.456	7.927	91.353	10.837	3.906	7.974	12.698
2015	4.873	7.119	8.300	102.868	9.852	3.899	7.967	14.288
2020	4.761	7.780	8.657	115.604	8.808	3.905	7.987	16.041

Fuente: DANE, 2005

Población rural por cuencas: La población censada en 2005 y la proyectada para ese mismo año y para los años 2018, 2028 y 2038 se presenta en la Tabla 27, para cada una de las cuencas de la SZH. La mayor parte de la población rural dispersa se concentra en las cuencas de Arroyohondo y Yumbo, mientras que en Yotoco se concentra la menor proporción con algo más de 1.000 habitantes. Se espera que la población rural dispersa en la SZH crezca en las cuencas de Mulaló, Yumbo y Arroyohondo en tanto se espera un decrecimiento en la cuenca del río Piedras.

Tabla 27. Población rural dispersa por cuencas

Cuenca	Censada 2005	Tasa de crecimiento	Proyectada 2005	Proyectada 2018	Proyectada 2028	Proyectada 2038
Arroyohondo	3.101	2,39%	3.157	4.292	5.436	6.885
Yumbo	2.364	2,39%	2.407	3.272	4.144	5.249
Mulaló	912	2,39%	927	1.260	1.596	2.022
Vijes	2.059	-0,05%	2.113	2.381	2.654	3.003
Yotoco	986	-0,03%	1.016	1.011	1.006	1.002
Mediacanoa	3.255	-0,03%	3.360	3.347	3.334	3.321
Piedras	2.294	-1,93%	2.540	2.211	2.007	1.838
Total	14.971	--	15.519	17.773	20.177	23.320

Fuente: Elaboración propia con base en información del DANE, 2005

Población urbana y total: Los incrementos anuales de población previstos desde 2018 se estimaron luego de cotejar las proyecciones del DANE con cifras recientes de suscriptores residenciales de energía eléctrica.

En la Tabla 28 se observa que la población total de la SZH puede ser de aproximadamente 201.078 habitantes hacia el año 2038, el 85% se concentra en las tres ciudades de Vijes, Yotoco y Yumbo, donde continuaría creciendo durante el período proyectado a un promedio anual de 2,62%, 1,83% y 1,80%, para e 2018, 2018 y 2038 respectivamente.

Tabla 28. Población urbana y total

Cabecera municipal	Crecimiento anual	Proyectada 2005	Proyectada 2018	Proyectada 2028	Proyectada 2038
Yumbo	2.369	80.944	110.342	134.035	157.727
Vijes	254	5.856	7.509	10.051	12.593
Yotoco	186	7.560	8.513	10.373	12.233
Total	2.809	94.360	126.364	154.458	182.553
Población total SZH		109.879	144.137	172.238	201.078

Fuente: Elaboración propia con base en información del DANE, 2005

Movilidad poblacional: De acuerdo con la información disponible en las fichas territoriales del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2017), se evidencia que en el año 2017 el municipio de Yumbo contaba con 30 personas desplazadas, seguido de Riofrío con 8 personas, y por último Vijes y Yotoco, ambos con 2 personas desplazadas cada uno. Según la Tabla 29, en el período comprendido entre el año 1984 y el 2017, el municipio de Yumbo ha sido el mayor receptor de personas desplazadas con 8.100 registros, situación relacionada probablemente por la cercanía de este municipio con Cali, como la capital del departamento; mientras que Riofrío se ha convertido en municipio expulsor, con un registro de 4.347 personas.

Tabla 29. Personas desplazadas

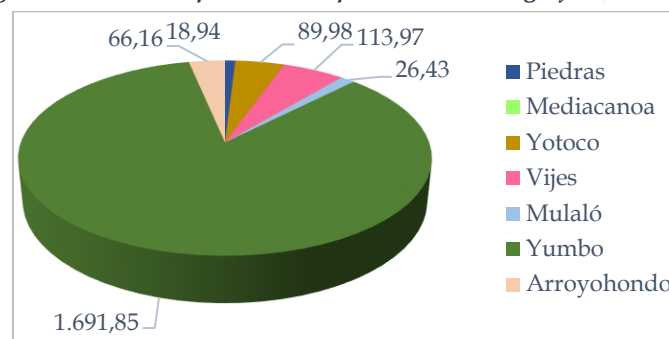
	Colombia	Yumbo	Vijes	Yotoco	Riofrío
No. de personas desplazadas (2017)	54.531	30	2	2	8
No. acumulado de personas desplazadas recibidas (1984-2017)	7.201.252	8.100	420	1.295	3.714
Nº. acumulado de personas desplazadas expulsadas (1984-2017)	7.905.837	1.644	294	595	4.347

Fuente: Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas (DNP, 2017)

Densidad poblacional: De acuerdo con los datos obtenidos del Censo de Población del DANE para el año 2005 y de las proyecciones efectuadas para el año 2018, se calculó el índice de densidad poblacional para cada una de las cuencas, así como de los Centros poblados que componen la SZH, teniendo en cuenta la población total (proyectada al 2018) sobre el área total de la zona de estudio (expresada en km²).

El índice de Densidad Poblacional (Dp) obtenido para la SZH es de 229 habitantes por km² (hab/km²), siendo la cuenca del río Yumbo la más poblada, con 1.691 hab/km². Mientras que, la cuenca del río Piedras es la menos poblada, contando con 19 hab/km², aproximadamente, ver Figura 33.

Figura 33. Densidad poblacional por cuenca hidrográfica, año 2018



Fuente: PROAGUA 2º18, a partir de proyecciones de población

4.1.2. Análisis de servicios sociales existentes

En este apartado se realiza la descripción del estado o situación actual de los servicios sociales básicos en la SZH, con base en información disponible para cada uno de los municipios.

Educación: La información sobre cobertura del servicio de educación se toma de las fichas territoriales del DNP (2017), en las cuales se presenta información reportada por el Ministerio de Educación Nacional al año 2017. Se presentan datos relacionados con la cobertura neta¹ y la cobertura bruta². En Tabla 30, se puede observar que Yumbo presenta el mayor número de instituciones educativas, 13 instituciones en total de las cuales 8 se encuentran en zona urbana (ZU) y 5 en zona rural (ZR). En general se observa buena cobertura para todos los niveles de educación (preescolar, primaria y secundaria).

Tabla 30. Cobertura del Servicio de Educación - Instituciones Educativas (I.E)

Municipio	IE en la SZH	% Cobertura neta	% Cobertura Bruta
Yumbo	13 (8 ZU - 5 ZR)	Primaria(84,4) Media(42,8)	Secundaria(117,7) Media(82,8)
Vijes	3 (1 ZU - 2 ZR)	Secundaria(82,3) Media(59,1)	Secundaria(112,5) Preescolar(92,8)
Yotoco	3 (1 ZU - 2 ZR)	Primaria(92,7) Media(39,1)	Primaria(114,1) Media(71,6)
Riofrío	2 (ZR)	Primaria(95,4) Media(46,6)	Secundaria(146,2) Preescolar(98,7)

Fuente: Elaboración propia a partir de DNP (2017)

Salud: De acuerdo con la información del Ministerio de Salud y Protección Social, retomada por el DNP en las fichas territoriales (DNP, 2017), la mayor cobertura de aseguramiento respecto al régimen contributivo, la presenta el municipio de Yumbo con 59,69%; mientras que para el régimen subsidiado Riofrío reporta la mayor cobertura del orden de 75,04%.

Vivienda: De acuerdo con información del Censo DANE del año 2005, se observa en la Tabla 31 que Yumbo contaba con 20.337 viviendas, seguido de Yotoco con 1.910 y por último Vijes con 1.380. En el municipio de Yumbo, es bastante amplia la diferencia del número de viviendas existentes entre la cabecera y el área rural, esta última con un total de 2.877 viviendas al año 2005. Mientras que en Vijes, la distribución era más similar entre el área rural y urbana, contando con una diferencia de 306 viviendas más en la cabecera municipal.

Tabla 31. Número de viviendas en los municipios de la SZH 2631

Municipio	Cabecera	Resto	Total
Yumbo	20.337	2.877	23.214
Vijes	1.380	1.074	2.454
Yotoco	1.910	2.005	3.915
Riofrío	1.246	2.612	3.858

Fuente: Sistema de Consulta Información Censal, Censo Ampliado, DANE 2005

Servicios públicos: Los servicios de acueducto son prestados por EMCALI, ESPY, ACUAVALLE y Juntas de acueductos rurales. El alcantarillado en la zona urbana es prestado por ESPY en Yumbo y por ACUAVALLE en los demás municipios. La recolección de residuos

¹ Cobertura neta: Cantidad o porcentaje de estudiantes matriculados en el sistema educativo; sin contar los que están en extraedad (por encima de la edad correspondiente para cada grado).

² Cantidad o porcentaje de la totalidad de estudiantes matriculados en el sistema educativo.

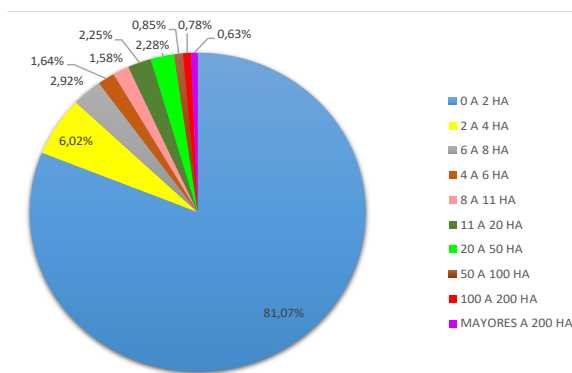
sólidos en la zona urbana lo presta Servigenerales en Yumbo, Aseoyotoco en Yotoco, Proactiva-Tuluaseo, para Vijes y Riofrío. Los residuos se disponen en el relleno Colomba - El Guabal y Presidente para el caso de Vijes y Riofrío. La cobertura del servicio en la zona rural es baja. En cuanto a la energía eléctrica se tiene que la empresa prestadora es EPSA y EMCALI.

Recreación: De acuerdo con la información suministrada por actores sociales, en los espacios de participación, se identificaron sectores de aprovechamiento para actividades de turismo deportivo como caminatas por cuevas, recorridos de patinetas, senderismo, cuatrimotos y motociclismo extremo en el sector de Villamaría, La Julia y la Cueva de la Virgen, en el municipio de Vijes, además de sitios de interés geológico. En Yumbo existen sectores de interés para disfrute de naturaleza y de oferta gastronómica y recreativa. En el municipio de Yotoco se identificaron sitios potenciales de recreación como Los Chorros y los sectores del Valle del Dorado, Malagana, Cementerios indígenas y sitios a nivel regional para observar aves, realizar educación ambiental, recreación contemplativa e investigación. También se reconocen zonas para la realización de paseos familiares en los ríos que conforman la cuenca Piedras.

4.1.3. Análisis del tamaño predial, asociado a la unidad agrícola familiar (UAF)

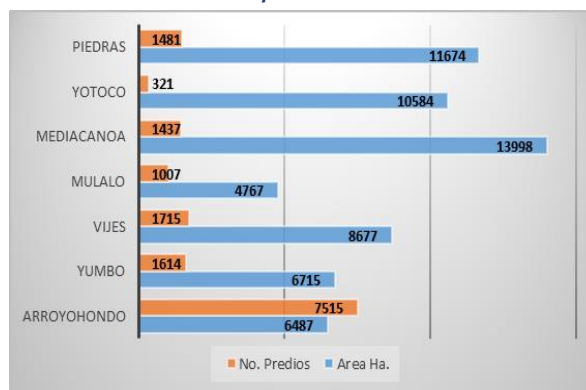
En la zona de ladera existen aproximadamente 11.366 predios y en el valle geográfico o zona plana 3.724. En la SZH 2631 el 81% de los predios tienen áreas entre 0 a 2 ha, mientras que los predios con áreas entre 2 a 4 ha ocupan el 6%, tal como se observa en la Figura 34. Con relación a la zona de ladera la unidad agrícola familiar o UAF, establece que los predios deberían tener un área entre 8 a 11 ha, pero en la SZH solo un 1,62% de ellos se encuentra en este rango. Para la zona del valle geográfico la UAF está definida entre 4 a 11 ha, pero solamente el 1,18% se encuentran en dicho rango. La Figura 36 se presenta la delimitación predial catastral.

Figura 34. Distribución de predios en área (ha)



Fuente. PROAGUA 2018, con base en IGAC

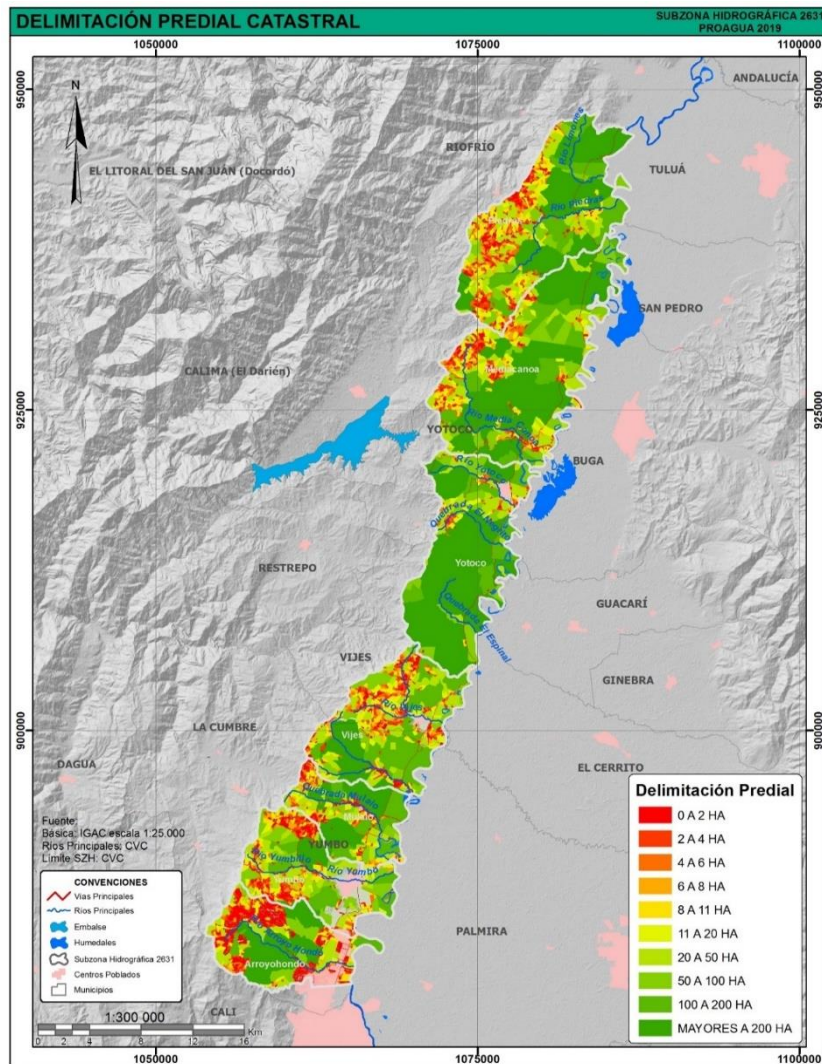
Figura 35. Distribución por área y número de predios



Fuente: PROAGUA 2018.

En cuanto a las cuencas la distribución predial presenta que Arroyohondo, tiene la mayor cantidad de predios siendo éstos de un área muy pequeña lo cual sugiere una elevada presión sobre los recursos naturales de la cuenca. Considerando además su cercanía a la ciudad de Cali es de esperarse que tenga una demanda elevada en infraestructura vial. La cuenca con menor cantidad de predios es Yotoco donde la relación área/número de predios resulta ser la más alta de toda la SZH, seguido de Mediacanoa y Piedras.

Figura 36. Delimitación predial catastral



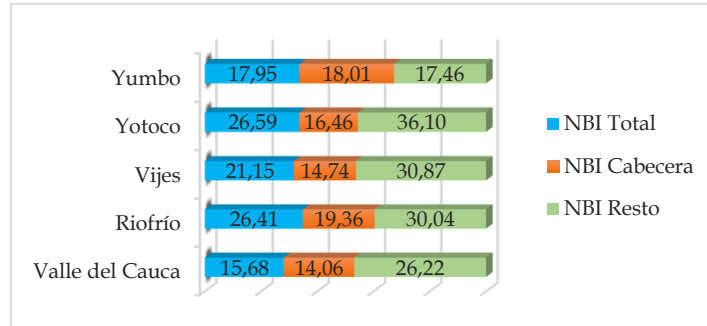
Fuente: PROAGUA, 2019

4.1.4. Análisis de pobreza y desigualdad

Los indicadores simples que utiliza el DANE para identificar el índice conocido como NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas) son: viviendas inadecuadas, viviendas con hacinamiento crítico, viviendas con servicios inadecuados, viviendas con alta dependencia económica, viviendas con niños en edad escolar que no asisten a la escuela. De acuerdo con la información del DANE respecto al NBI, con corte a junio 30 de 2012, cerca del 15,7% de la población de Valle del Cauca tiene al menos una necesidad básica insatisfecha. Con relación a los cuatro municipios de la SZH se observa que Yotoco es el municipio que cuenta con un porcentaje mayor, cercano al 26,6%, seguido de Riofrío con un 26,41%. El NBI a nivel de cabeceras municipales también es mayor al del departamento, mientras que en el área catalogada por el

DANE como Resto (área rural), solo el municipio de Yumbo se encuentra por debajo de la proporción de NBI a nivel departamental, representados en 17,46%. (ver Figura 37).

Figura 37. Proporción de Personas con NBI



Fuente: PROAGUA con información del DANE

4.1.5. Análisis de la situación de seguridad alimentaria

El tema de la seguridad alimentaria está intrínsecamente asociado al concepto de canasta familiar, el cual está relacionado a la cantidad de alimentos, bienes de consumo y servicios que se deben incluir dentro de las compras, para no considerarse en condición de pobreza.

De acuerdo con el DANE, son más de 440 los productos considerados en la canasta familiar, los cuales se encuentran clasificados en 15 categorías. Para efectos de estimar las condiciones de seguridad alimentaria en la SZH, los análisis se centraron en productos del sector primario y secundario (productos agrícolas, productos pecuarios y productos procesados), bajo el ítem “alimentos”, asociado a la Ley 1819 de 2016 relacionada con la reforma tributaria.

El índice de seguridad alimentaria, es de 52%, lo que implica que el 52% de los productos considerados se producen o procesan en la SZH. De acuerdo a la Guía POMCAS (2014), en la que se presenta la clasificación del índice de SA, la subzona se posiciona en la categoría “Alta” (40% - 60). Esta categoría se alcanza debido a que algunos alimentos son producidos por industrias localizadas principalmente en Yumbo.

4.1.6. Análisis descriptivo de los temas de seguridad y convivencia

Las percepciones sobre la seguridad de los territorios y las topofobias se identificaron durante la ejecución de los espacios de participación y en las entrevistas semi-estructuradas con algunos actores clave. Como resultado del ejercicio realizado en desarrollo de las mesas zonales, únicamente en la mesa zonal sur (correspondiente a las cuencas de Arroyohondo, Yumbo y Mulaló) se identificaron algunos sitios que los participantes consideraron afectados por situaciones de delincuencia común, estos son: La Buitrera, sector La Balastrera, Centro del casco urbano de Yumbo, Montañitas, vereda El Placer, Chancos (por la carrilera).

De manera general, las personas consideran sus territorios como sitios seguros, donde se puede vivir tranquilamente, en tanto no tienen horarios restringidos para transitar ni sitios con condicionamientos para su acceso. Adicionalmente, se identificó información relacionada con

el tema de conflicto armado y seguridad, la cual se retomó de las fichas territoriales del DNP (2017), encontrando que para los municipios ubicados en la SZH, en el año 2017 no se reportaron personas secuestradas, ni víctimas de minas antipersona.

4.1.7. Descripción del sistema cultural, prácticas culturales y sitios de especial interés cultural y arqueológico

La SZH 2631 conforma un territorio de importantes recursos naturales, culturales, turísticos y sociales. Es así como en el municipio de Yumbo, el Instituto Municipal de cultura de Yumbo (IMCY) ha institucionalizado una serie de eventos que hacen parte de la identidad Yumbeña y han obtenido reconocimientos nacionales (Alcaldía de Yumbo, 2016).

La oferta gastronómica en Mulaló, la zona de Dapa y en Vijes se resalta como de alto valor donde se disfruta del dulce cortado, dulce manjarblanco, cholado, tamales, longaniza, chivo, pipitoria y cocina vallecaucana, que se pueden disfrutar en establecimientos comerciales. Dentro de la oferta gastronómica del municipio de Vijes se encuentran el arroz con longaniza, empanadas de cambrey, pandebono, manjarblanco, dulce cortado, sancocho de gallina, pandebono trasnochado, cholado, aborrajado, las galletas negras, arroz con leche y postres.

La SZH se caracteriza por contar con sitios arqueológicos identificados por el Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca - INCIVA y el IMCY. A partir de la información secundaria recopilada, se realizaron recorridos de campo en noviembre de 2018 y enero de 2019, para corroborar los puntos georreferenciados de los sitios de interés cultural y arqueológico y se obtuvo información de fuentes primarias que dieron cuenta de los relatos, historias sobre los sitios, su significado y el uso, ver Foto 8.

Foto 8. Sitios de interés Cultural y Arqueológico



Tumba Valle del Dorado -
Yotoco



Cruz de las Misiones, Mulaló



Fósiles de colección en Vijes

Fuente: PROAGUA, 2018

En la Tabla 32, se encuentra un inventario previo realizado sobre sitios de interés cultural y de hallazgos arqueológicos, oficiales y no oficiales. Estos sitios se clasificaron, según su uso o interés, en: Arqueológico/Geológico (A/G), Recreativo/Turístico/Educativo (R/T/E), Patrimonial(P), Tradiciones y Religión (TyR).

Tabla 32. Sitios de interés arqueológico y cultural de la SZH 2631

Sitio	Ubicación	Cuenca	INTERÉS/USO			
			A/G	R/I/E	P	TyR
Cerro de las Tres Cruces	ZU de Yumbo	Yumbo	-----	X	-----	X
La Casona Hacienda La Estancia	ZU de Yumbo	Yumbo	-----	-----	X	-----
Antiguo Horno ladrillera "Don Pio"	Politécnico Universitario del Valle	Yumbo	-----	-----	X	-----
Iglesia del Señor del Buen Consuelo	Parque Belalcázar	Yumbo	-----	-----	X	X
Capilla del Señor de la Buena Esperanza	Vía Panorama frente a Eternit y Cementos del Valle	Yumbo	-----	-----	X	X
Restos cementerio indígena Carlos Pizarro	Zona urbana Norte Yumbo	Yumbo	X	X	X	-----
Museo de Montañitas	Cto. Montañitas	Mulaló	X	X	-----	-----
Loma de la Cruz - Cruz de las Misiones	Cto. Mulaló, Yumbo	Mulaló	-----	X	-----	X
Capilla San Antonio de Padua	Cto. Mulaló, Yumbo	Mulaló	-----	X	X	X
Museo Histórico Simón Bolívar	Cto. Mulaló, Yumbo	Mulaló	-----	X	-----	-----
Evidencias arqueológicas	Cto. Villamaría, Vijes	Vijes	X	X	-----	-----
Hornos de cal de colmena	Parte baja de la cuenca del río Vijes, lado occidental casco urbano vía Los Limones	Vijes	-----	-----	X	-----
La Piedra del Sol	Cto. Carbonero	Vijes	X	X	-----	-----
Cuevas de Vijes	Cto. de Villamaría y Carbonero	Vijes	X	X	-----	-----
Museo de fósiles	Cto. de Villamaría, finca La Providencia	Vijes	X	X	-----	-----
Cerro de las tres cruces - Vijes	Sin información	Vijes	-----	X	-----	X
Capilla Nuestra Señora de Fátima	ZU de Vijes	Vijes	-----	X	-----	X
Restos arqueológicos de Villamaría	Corregimiento de Villamaría	Vijes	X	X	-----	-----
Piedra del Dobo	Corr. Las Delicias, Parte alta de la Reserva La Albania, sector El Rubí. Yotoco	Mediacanoa	-----	X	-----	X
Hacienda Hato Viejo	Vía Panorama entre Vijes y Yotoco	Yotoco	-----	-----	X	-----
Valle del Dorado	Cto. El Dorado, Yotoco	Yotoco	X	-----	-----	-----

Fuente: PROAGUA con base en información primaria y secundaria, 2018

Comunidades étnicas presentes en la subzona hidrográfica: En la SZH 2631 hay presencia de comunidades étnicas, en los municipios de Yumbo y Yotoco, de acuerdo con lo establecido por el Ministerio del Interior en la certificación No. 1575 de 2017 y la Resolución No. 56 de 2017 (cuatro Consejos Comunitarios de Comunidades Negras y una Comunidad Indígena), así como de comunidades indígenas cuya presencia está certificada únicamente por la administración municipal. También se encontró referencia de otras comunidades étnicas, las cuales, se encuentran en estudio para determinar su presencia en el territorio (Tabla 33).

Tabla 33. Comunidades étnicas con presencia en la SZH 2631

Actor étnico	Comunidad	Ubicación	Condición de Certificación
Consejo Comunitario de la Comunidad Negra del corregimiento de San Marcos	Comunidad negra	Mpio. de Yumbo – San Marcos	Certificada por la Alcaldía de Yumbo y el Ministerio del Interior
Consejo Comunitario Los Negros de San Marcos		Mpio de Yumbo – San Marcos	
Consejo Comunitario de Mulaló – Comunidad Negra con Asentamiento Histórico y Ancestral		Mpio de Yumbo - Mulaló	
Consejo Comunitario de la vereda Manga Vieja		Mpio de Yumbo – Manga Vieja	
Comunidad indígena Wounaan Nona	Wounaan	Mpio de Yumbo – San Marcos	Certificadas por la Alcaldía
Asentamiento Indígena Embera Chamí Day Kirisia	Embera Chamí	Mpio de Yotoco - zona urbana	
Asentamiento Indígena Embera Chamí Nefono Drua	Embera Chamí	Mpio de Yotoco - El Delirio	Pendiente por definir su presencia en la SZH
Comunidad indígena Cxha Hiuxkanaz	Nasa	Mpio de Yumbo – Montañitas	
Comunidad Indígena Yanakuna	Yanacona	Mpio de Yumbo	
Cabildo Urbano Misak	Guambiana	Mpio. de Yumbo	
Cabildo Urbano Pastos	Pastos	Mpio. de Yumbo	
Cabildo Urbano Kofanes	Kofan	Mpio. de Yumbo	

Fuente: PROAGUA, con base en información secundaria, 2018

4.2. CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS ECONÓMICOS

Las dinámicas económicas de los cuatro municipios de SZH 2631 son diversas, es así como hacia la zona sur los mercados están estrechamente relacionados por la ciudad de Cali y sus ciudades colindantes, y hacia el norte con Buga, Tuluá y eje cafetero.

En el municipio de Yumbo se desarrollado un tejido industrial de alta complejidad, donde tienen presencia reconocidas empresas nacionales y extranjeras, algunas de las cuales exportan a varios países. Este desarrollo industrial se ve privilegiado por la ubicación geográfica que le permite estar a 10 minutos del Aeropuerto Internacional Alfonso Bonilla Aragón y a 105 km del puerto de Buenaventura, lo cual le facilita mover su producción hacia el mercado externo.

En el caso de Vijes, si bien no cuenta con un desarrollo industrial amplio, su cercanía con el municipio de Yumbo, le permiten establecer estrechas relaciones, debido a que habitantes de este municipio laboran principalmente en las empresas establecidas en Yumbo; cabe destacar que un renglón de la economía está asociado a la minería, con explotación de mármol, cal, arcilla y carbón. Existen algunas industrias medianas de productos cárnicos y concentrados para aves e industrias pequeñas de lácteos y dulces.

El desarrollo de Yotoco tiene su base de la económica en la agricultura, cuyos productos se comercializan en el mismo municipio y en Buga. Tal vez la vocación y su posición geográfica estratégica, conllevaron a que, en el mes de julio de 2018, una empresa Noruega de Fertilizantes inaugurara un centro logístico en el corregimiento de Mediacanoa. De igual manera como fuente generadora de empleo, el municipio cuenta el relleno “Colomba - El Guabal”.

Finalmente el municipio de Riofrío, no presenta un amplio desarrollo industrial, considerándose que la principal fuente de empleo especialmente para los habitantes del corregimientos de Portugal de Piedras es el ingenio Carmelita, el cual cuenta con una capacidad de molienda instalada de 2.500 toneladas/día (PROACAÑA, 2018).

PIB Departamental e Índice de Importancia Económica Municipal. De acuerdo con cifras de la Gobernación del Valle del Cauca, el departamento contribuye de manera importante a la economía nacional en reglones como el agrícola, con un 5.37% de la producción nacional; la industria contribuye en un 13,81% del valor agregado nacional, destacándose la industria gráfica, azucarera y farmacéutica y la producción de alimentos, bebidas y tabaco. En lo que se refiere al comercio, este departamento aporta el 11.34% del valor agregado nacional. Es de destacar que los municipios que conforman la SZH 2631, aportan valores importantes a las cifras anteriormente citadas.

Con relación al índice de importancia económica municipal (Congreso de la República, 2012) que define el grado de importancia del municipio de acuerdo con su aporte a la generación del PIB departamental, se tiene que los municipios localizados al interior de la SZH se califican con un grado de importancia económica categoría 2 (Yumbo), categoría 4 (Yotoco y Riofrío) y categoría 6 (Vijes), según resultados del DANE (2016p³)

³ Provisional

4.2.1. Caracterización y análisis de sectores económicos

La caracterización económica de la zona de estudio se desarrolló a partir de la descripción de los sectores: primario (aquellas actividades productivas de relacionadas con la agricultura, la ganadería, acuicultura, pesca, minería, silvicultura, y la explotación forestal), secundario (asociado a la transformación de la materia prima obtenida del sector primario) y terciario (asociado a actividades tales como comercio, actividades financieras, de servicio y transporte)

Sector primario: Se contó con tres fuentes de información base: el documento del Tercer Censo Nacional Agropecuario publicado en el año 2016, las evaluaciones agropecuarias del año 2017 de los municipios y la cartografía temática de cobertura entregada por la CVC.

La cuenca Piedras es la que aporta en mayor porcentaje al área destinada a la producción agrícola (30%), seguida por las cuencas Mediacanoa (24%) y Yotoco (14%). Las cuencas ubicadas en el municipio de Yumbo (Arroyohondo, Yumbo y Mulaló) aportan un 23%, direccionadas al cultivo de la caña de azúcar y el cultivo del café en asocio con otros cultivos (hortalizas, cítricos, flores, frutas, aromáticas, tubérculos y aguacate), los cuales se encuentran localizados principalmente en las zonas altas de las cuencas.

Es importante resaltar que el aporte de la cuenca del río Vijes es de un 9%, sin embargo, es la que ofrece mayor variedad en los productos sembrados, teniendo mayor predominio el cultivo de caña de azúcar (46,5%), seguido por el café en sus diferentes asociaciones (8,5%); el maíz, cítricos, frutales y ají que vienen ganando espacio cultivado principalmente en la zona plana del municipio, algunos de ellos con fines de exportación.

Respecto a la explotación minera, el mayor número de permisos otorgados para su aprovechamiento, se localiza en el municipio de Yumbo. Los materiales explotados corresponden a materiales de construcción, calizas, arcillas y materiales de arrastre, siendo la principal fuente de esta última el río Cauca.

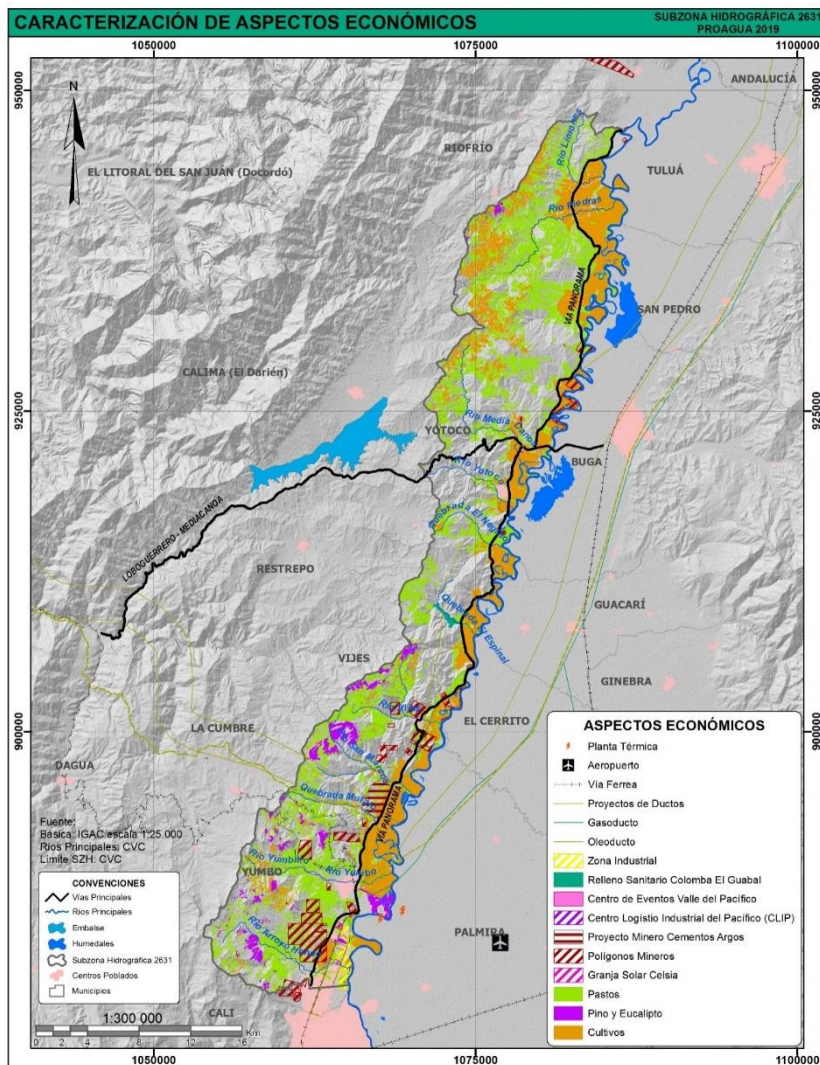
Sector secundario: La composición del empleo por rama de actividad en la denominada área metropolitana de Cali, en la que se inscribe Yumbo, indica que el personal empleado estimado es de 1.197.000 de trabajadores, donde la industria manufacturera ocupa cerca de 212.000.

De acuerdo con cifras de la Cámara de Comercio de Cali, en las exportaciones de las industrias localizadas en el municipio de Yumbo, asociadas al procesamiento de químicos, caucho, papel y editorial, considerado uno de los más sólidos a nivel nacional, seguido por el renglón de las maquinarias equipos y las confecciones, son la de mayor aporte a las exportaciones.

Sector terciario: Este sector de la economía, es tal vez el que abarca el mayor número de establecimientos al interior de la SZH. De acuerdo con la información reportada en la plataforma empresarial Compite 360, que presenta cifras y datos asociados al sector empresarial de Colombia, se tiene que para la zona de estudio existen alrededor de 2.550 establecimientos, ubicados mayormente en el municipio de Yumbo (82%). El 6% se localizan en el municipio de Yotoco, el 4% en Vijes y el 7% en Riofrío.

En la Figura 38 se presenta la espacialización de las actividades económicas que se desarrollan en la SZH. El sector primario se encuentra relacionado con cultivos, plantaciones de pino y eucalipto, pastos y polígonos mineros; mientras que el sector secundario se relaciona con la zona industrial. El sector terciario, corresponde a puntos dispersos dentro de los principales centros poblados localizados al interior de la zona de estudio.

Figura 38. Caracterización de aspectos económicos



Fuente: PROAGUA, 2019.

5. CARACTERIZACIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA

5.1. OFERTA INSTITUCIONAL EN PERSPECTIVA AMBIENTAL

En la perspectiva de diálogo y cooperación con actores sociales involucrados y quienes presentan interés por hacer parte de los procesos de gobernanza, se hizo necesario en el proceso de formulación del POMCA, la identificación de las instituciones que ejercen funciones

administrativas en materia ambiental tanto del orden regional como local, siendo múltiples los actores del Estado, la sociedad civil y el sector privado y académico, que con sus objetivos, funciones e intereses diferenciados se constituyen en fuerza vivas que deben articularse en torno a la gestión ambiental.

Como núcleo básico figura el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), organismo rector de la política y la normatividad ambiental, que para el caso de la formulación del POMCA se orienta bajo la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Además, se cuenta con la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, como ente corporativo descentralizado, cumple una función administrativa del Estado; es de carácter público, encargada por la ley de administrar dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del MADS. Tiene a su cargo el control, planificación y ordenación de las cuencas hidrográficas. Administrativamente se encuentra dividida en ocho (8) Direcciones Ambientales Regionales (DAR), de las cuales dos tienen jurisdicción en la SZH: la DAR Suroccidente con sede en Cali, para las cuencas Arroyohondo, Yumbo, Mulaló y Vijes, y la DAR Centro Sur con sede en Buga, para las cuencas Yotoco, Mediacanoa y Piedras.

El Plan de Acción Cuatrienal de la CVC 2016-2019 “Hechos de paz con la naturaleza”, cuenta con seis (6) Programas: 1) Cobertura y uso sostenible del suelo 2) Gestión Integral del Recurso Hídrico 3) Gestión integral de la biodiversidad y los servicios eco sistémicos 4) Calidad ambiental urbana y rural 5) Desarrollo Territorial acorde con sus potencialidades y limitaciones 6) Fortalecimiento y desarrollo Institucional.

Adicionalmente la Gobernación del Valle del Cauca, como máxima autoridad administrativa del departamento, hace presencia en las cuencas de la SZH mediante sus dependencias, encargadas del desarrollo de programas tendientes al mejoramiento de las condiciones de vida de la población, así como la articulación con las administraciones municipales de Yumbo, Vijes, Yotoco y Riofrío para llevar a cabo acciones en distintos sectores de las cuencas. Entre las dependencias, que velan por la administración y regulación de los recursos naturales se tiene: La Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca, la Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres y la Unidad Ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca - UES.

La Gobernación presenta interés en las cuencas, en los procesos de conservación y preservación del recurso natural, control sobre fenómenos de explotación agrícola y ganadera, además de procesos de preservación y cuidado de las zonas productoras de agua; para lo cual cuenta con la Política Pública Departamental de Ambiente y Gestión Integral del Recurso Hídrico del Valle del Cauca 2017-2027, desarrollada a través del Consejo Departamental de Política Ambiental y de Gestión Integral del Recurso Hídrico (CODEPARH).

5.2. DESCRIPCIÓN DE INSTANCIAS DE PARTICIPACIÓN Y ACTORES SOCIALES

Lo planeado por las instituciones que ejercen funciones administrativas en materia ambiental, permite analizar los importantes retos que en materia de concertación y

articulación se deben continuar realizando para hacer una gestión ambiental que promueva el uso y manejo adecuado y sustentable de los recursos naturales. En la Tabla 34 se describen las instancias de participación identificadas en la SZH. Además de ellas el reciente conformado Consejo de Cuenca de la SZH 2631, representa una nueva instancia de alta relevancia en la ejecución el POMCA una vez formulado y adoptado.

Tabla 34. Instancias de Participación identificadas en la SZH 2631

Instancia de Participación	Descripción
Consejos Territoriales de Planeación (CTP)	Son instancias territoriales de planeación, creados por disposición constitucional para garantizar la participación ciudadana en la construcción y seguimiento de políticas públicas a nivel territorial, en virtud del principio de la planeación participativa (Ley 152 de 1994 y 388 de 1997). En los municipios de la SZH, estos Consejos son coordinados por la oficina de planeación municipal.
Consejos Municipales de Desarrollo Rural - CMDR	De acuerdo con el artículo 61 de la Ley 101 de 1993, los CMDR son la instancia superior de concertación entre las autoridades locales, las comunidades rurales y las entidades públicas en materia de desarrollo rural, y su principal función es “coordinar y racionalizar las acciones y el uso de los recursos destinados al desarrollo rural y priorizar los proyectos que sean objeto de cofinanciación”. En los municipios de la SZH, estos Consejos son liderados por las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA) de las diferentes alcaldías.
Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental - CIDEA	Son espacios intersectoriales constituidos para aunar esfuerzos técnicos, financieros y de proyección, en pro de una cultura ética en el manejo sostenible del ambiente. Su principal preocupación es la definición y gestión de planes de educación ambiental. En los municipios de la SZH, estos Comités cuentan con un liderazgo compartido entre las Secretarías de Educación y las UMATA de las diferentes alcaldías, junto con la CVC.
Consejos Municipales de Gestión del Riesgo - CMGRD	Son instancias de coordinación, asesoría, planeación y seguimiento, destinados a garantizar la efectividad y articulación de los procesos de conocimiento del riesgo, de reducción del riesgo y de manejo de desastres en la entidad territorial correspondiente. (Art. 27, Ley 1523 de 2012) (Congreso de Colombia, 2012). En cada uno de los municipios de la SZH 2631, están integrados por las administraciones municipales, las entidades de atención de emergencias como la Cruz Roja, Defensa Civil y Bomberos, Empresas de servicios públicos, CVC, la Policía, entre otros.
CODEPARH	Este Consejo se creó mediante la Ordenanza Departamental No. 0421 de 2016 “como un organismo Asesor y Consultivo del Gobernador(a) para la adopción y adaptación de políticas públicas ambientales y de la gestión integral de recursos hídricos en el Valle del Cauca”.
Sistema Municipal de Áreas Protegidas	Su propósito es la protección, conservación y recuperación de los ecosistemas estratégicos de los municipios. Se conforma por las áreas protegidas de orden nacional, regional y local, actores sociales, autoridad ambiental, articulados como un todo para dar cumplimiento a los objetivos de conservación nacional. Para la subzona hidrográfica solo se encuentra conformado y reglamentado el SIMAP-Yumbo, mediante Acuerdo N° 029 de diciembre del 2012.
Mesas ambientales	Buscan realizar un trabajo articulado entre las instituciones en pro del bienestar del medio ambiente y los recursos naturales. En la subzona hidrográfica hay presencia de esta instancia en los municipios de Yumbo y Vijes.

Fuente: PROAGUA, 2019.

Como actores de la sociedad civil se reconocen aquellos que se encuentran representados por las organizaciones no gubernamentales (ONG), las organizaciones comunitarias y/o ciudadanas y las comunidades negras e indígenas enmarcadas como “Organización Ciudadana” en la presente formulación del POMCA de la SZH 2361.

Las organizaciones ciudadanas que a continuación se describen fueron priorizados tanto por su posición como apoyo al proceso, como por su interés calificado, como alto y medio, frente a su participación en la formulación del Plan. Para este fin se consultaron bases de datos, páginas web, y por medio de reuniones y entrevistas se aplicaron fichas de caracterización, para identificar las Iniciativas y Proyectos que los actores comunitarios han desarrollado y tienen planeado ejecutar en torno a la sostenibilidad de las cuencas que conforman la SZH 2631.

Tabla 35. Organizaciones Ciudadanas presentes en la SZH 2631

Organización Ciudadana	Descripción
Organizaciones de Acción Comunal (OAC)	Son instancias a través de las cuales “las comunidades deciden organizarse para liderar e impulsar procesos comunitarios en barrios y veredas, materializándose a través de la participación, el quehacer en la vida de las comunidades”. (Ministerio del Interior, s.f.). En la SZH existen 2 asociaciones de JAC y 126 JAC distribuidas en la zona urbana (50) y en la zona rural (76) de los municipios de área de estudio.
Juntas Administradoras de Acueducto – Asociaciones de Usuarios de Acueducto	Las comunidades organizadas están autorizadas por la Ley 142 de 1994 artículo 15,4 para prestar servicios de acueducto y alcantarillado. Son organizaciones sociales sin ánimo de lucro, conformadas por los usuarios de un sistema de acueducto rural o urbano encargadas de administrar y optimizar el recurso agua para ser distribuida en forma equitativa. En la SZH hay 31 Juntas Administradoras de Acueducto con incidencia e interés alto en las cuencas, de las cuales se identificaron 6 en Arroyohondo, 6 en Yumbo, 5 en Vijes, 6 en Mediacanoa y 8 en Yotoco.
Comunidades indígenas	En la SZH se han identificado varias comunidades indígenas, con sus respectivos cabildos como sistema organizativo interno; sin embargo, el Ministerio del Interior solo ha certificado a una comunidad con presencia en la SZH, tal como se presenta en el capítulo de caracterización social y cultural. Es importante resaltar también la presencia de la ORIVAC (Organización Regional Indígena del Valle del Cauca), la cual asocia a las comunidades indígenas asentada en la subzona hidrográfica y de las cuales se ha certificado su presencia (por el Ministerio del Interior o por las alcaldías).
Consejos Comunitarios	Los Consejos Comunitarios se constituyen en formas de administración interna de las comunidades negras que, de acuerdo con el artículo 5º de la ley 70 de 1993, tienen entre sus funciones: “delimitar y asignar áreas al interior de las tierras adjudicadas; velar por la conservación y protección de los derechos de la propiedad colectiva, la preservación de la identidad cultural, el aprovechamiento y la conservación de los recursos naturales.” (Congreso de Colombia, 1993). En la subzona hidrográfica tienen presencia 4 Consejos Comunitarios.
Organizaciones de Base y Organizaciones No Gubernamentales – ONG’s	Son entidades privadas sin ánimo de lucro, regidas por el derecho privado y conformadas por ciudadanos que habitan un territorio donde actúan o por profesionales que cubren áreas de especialización. En la región existen organizaciones no gubernamentales de amplia trayectoria y reconocimiento, por su labor ambiental o de movilización de actores sociales y recursos para la gestión en el territorio. Se identificaron y priorizaron 15 Organizaciones de este tipo, distribuidas 5 en Yumbo, 3 en Vijes, 5 en Yotoco y 2 en Riofrío.
Sector Privado y Organizaciones Gremiales	En el proceso de concertación frente al uso y manejo de los recursos naturales, con énfasis en el recurso hídrico, se hace necesario identificar y conocer la perspectiva ambiental del sector productivo de la Subzona Hidrográfica, reconociéndose además el liderazgo industrial del municipio de Yumbo en la región. En la SZH se presentan aproximadamente 15 empresas que fueron catalogadas con un nivel alto de incidencia en la zona y el sector gremial, asociado a estas.
Entidades de Educación Superior	Los procesos de investigación que en materia ambiental se adelantan desde el sector académico son de vital importancia y deben ser tenidos en cuenta en los procesos de toma de decisiones para la gestión ambiental. Entre las principales entidades de educación superior que hacen presencia en el territorio se tiene la Universidad del Valle, Unidad Central del Valle del Cauca – UCEVA y la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium – UNICATÓLICA.

Fuente: PROAGUA, 2019.

5.3. ANÁLISIS DE LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y DE ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

En desarrollo del Diagnóstico se identificaron los instrumentos de planificación que tienen carácter ambiental, los cuales fueron revisados para reconocer la gestión ambiental desarrollada en el territorio (ver Tabla 36).

Tabla 36. Instrumentos de Planificación con carácter ambiental en la SZH 2631

Instrumento Planificador	Orden	Descripción
Plan Nacional de Desarrollo (PND) “ <i>Todos por un nuevo País</i> ” (2014-2018)	Nacional	Se encuentra reglamentado mediante la Ley 1753 de 2015. Indica la necesidad de promover un arreglo institucional integral y multisectorial que tenga presencia territorial de acuerdo con las necesidades de los pobladores rurales y los atributos del territorio, permitiendo con ello corregir las brechas de bienestar y de oportunidades de desarrollo entre regiones rurales (Departamento Nacional de Planeación, 2015).
Plan Nacional de Desarrollo (PND) “ <i>Pacto por Colombia, pacto por la equidad</i> ” (2018-2022)	Nacional	Tiene como objetivo sentar las bases de legalidad, emprendimiento y equidad que permitan lograr la equidad de oportunidades para todos los colombianos, en concordancia con un proyecto de largo plazo con el que Colombia alcance los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030.
Plan de Desarrollo del Departamento del Valle del Cauca. “ <i>El Valle está con Vos</i> ” (2016-2019)	Departamental	Se adopta por medio de la Ordenanza No. 415 de 2016. Tiene en cuenta en cada uno de sus pilares, la articulación con los Sectores del Desarrollo establecidos por el Departamento Nacional de Planeación, así como las Rutas Especializadas de la Planeación sugeridas por la misma entidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Gobernación del Valle del Cauca, 2016).
Visión Valle 2032: Visión Eje Ambiental y Territorial	Departamental	En este instrumento se realizó un diagnóstico de las condiciones ambientales presentes en el departamento, potencializando la ubicación costera en el océano Pacífico con el importante puerto de Buenaventura, así como los diversos pisos térmicos, la biodiversidad, los ecosistemas estratégicos y la amplia oferta hídrica que se encuentran en el territorio, así como los diferentes conflictos por el uso del suelo, que se relacionan específicamente a las actividades económicas basadas en el monocultivo y la minería, los cuales deterioran progresivamente los ecosistemas.
Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca (POTD)	Departamental	Se estructura a partir de la expedición de la Ley 1454 de 2011, que se conoce como Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial-LOOT. A partir de la expedición de esta ley, los departamentos pueden asumir la importante tarea de profundizar sus funciones constitucionales de coordinación entre el nivel nacional y municipal, mediante el ejercicio de las competencias que en la materia le fueron señaladas (Gobernación del Valle del Cauca, 2016).
El Modelo de Ocupación Territorial (MOT) para el Valle del Cauca	Departamental	Incluye las apuestas estratégicas que enmarcadas en la Visión de Futuro y construidas desde el análisis de apuestas, que en distintos instrumentos de planificación estratégica y territorial de largo plazo, se han desarrollado en el departamento (Gobernación del Valle del Cauca, 2016).
Plan Estratégico de la Macrocuenca Magdalena-Cauca	Nacional	Fue realizado el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en 2012 en cumplimiento de la Política Hídrica Nacional donde las cuencas hidrográficas son el instrumento fundamental para avanzar en la planificación y ordenamiento ambiental del territorio, con un enfoque de planeación integrado y participativo para la administración y desarrollo de los recursos hídricos; reconoce la a relación directa que existe entre los ecosistemas y los servicios ambientales asociados al recurso hídrico.
Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) (2015-2036)	Departamental	Herramienta que marca el horizonte ambiental del departamento del Valle del Cauca, se identificó la línea base de situaciones ambientales positivas (potencialidades) y negativas (amenazas o debilidades) para el departamento, planteándose metas direccionadas hacia el ordenamiento del territorio, las cuales deberán ser retomadas y analizadas principalmente en los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas.
Plan de acción trianual (PAT) 2016-2019 “ <i>Hechos de Paz con la Naturaleza</i> ”	Departamental	En este documento la gestión ambiental en el departamento se encuentra articulada con políticas, acuerdos, procesos e instrumentos de planificación de diversas jerarquías y responde a las necesidades regionales y locales, y a las problemáticas de mayor impacto.
Planes de manejo ambiental (PMA) para los humedales prioritarios	Regional	Debe ser elaborados y ejecutados por las autoridades ambientales competentes, según el artículo 3 de la Resolución 157 de febrero de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Con estos planes de manejo se busca garantizar el uso sostenible y el mantenimiento de su diversidad y productividad biológica. Los humedales que cuentan con PMA en la SZH son: Carambola en el municipio de Vijes, Higuerón y Platanares, localizados en Yumbo, Cocal, Gota e leche, Chiquique y Yocambo localizados en Yotoco.

Instrumento Planificador	Orden	Descripción
Planes de manejo ambiental (PMA) de la Reserva Forestal Protectora Nacional Cerro Dapa Carisucio	Regional	Se realizó mediante Convenio 089 entre la CVC y la Universidad del Valle con el propósito de aunar esfuerzos humanos, técnicos y económicos para formular los documentos técnicos de soporte de propuesta del Plan de Manejo de esta Reserva, de acuerdo con lo dispuesto en el Decreto 2372 de 2010, recogido en el Decreto 1076 de 2015. Esta reserva se encuentra en jurisdicción de los corregimientos de Yumbillo, Santa Inés y Dapa, pertenecientes al municipio de Yumbo.
Plan General de Ordenación Forestal-PGOF	Departamental	A través de este instrumento de planificación se definen los usos, actividades y lineamientos de manejo para la preservación, restauración y uso sostenible de los recursos forestales en las áreas forestales protectoras, productoras y productoras - protectoras y en las áreas de reserva forestal (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010).
Plan de Ordenación Manejo de Cuenca del río Yumbo (año 2010)	Regional	Es el instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico".
Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico - PORH	Regional	La formulación de este instrumento se enmarca en el ordenamiento del recurso hídrico, el cual es un proceso de planificación con el cual se contribuye al control de la contaminación y al uso eficiente del recurso hídrico superficial. Con este plan, se busca mejorar la administración y el manejo de la cantidad, la calidad y el uso del agua, considerando aspectos como el riesgo al desabastecimiento. Para la SZH 2631 se formularon los PORH para los ríos Yumbo, Vijes y Arroyohondo.
Reglamentación Integral para la Gestión de las Aguas Subterráneas del Valle del Cauca	Departamental	Esta reglamentación fue expedida por la CVC mediante acuerdo C. D. N° 042 de julio 09 de 2010, mediante la cual se ordenan los conceptos técnicos para la construcción de los pozos para la captación de las aguas subterráneas y se establecen los parámetros para los usos y uso eficiente del agua subterránea.
Reglamentación de corrientes superficiales	Regional	La CVC ha venido adelantando procesos de reglamentación de corrientes superficiales, algunos de ellos en fuentes localizadas al interior de la zona de trabajo, tal es el caso de Arroyohondo, Mediacanoa, Piedras, Vijes y Yumbo.
Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Yumbo (PBOT) (2001)	Municipal	Definido por la alcaldía de Yumbo mediante el Acuerdo 028/2001. Entre los determinates definidos en este plan, que están relacionados con aspectos ambientales, se tienen: Áreas protegidas (RFP Dapa-Carisucio), Humedales (El Higuerón, Platanares y Pelongo), zonas protectoras forestales de los cauces (Qda. Menga, Guabinas, Bermejál, Mulaló y San Marcos, y los ríos Arroyohondo, Yumbo y Cauca), Recarga de Acuíferos, POMCH del río Yumbo, PSMV, Ecosistemas (Bosque seco tropical, 4.783,61 Ha).
Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Vijes (2000)	Municipal	Definido por la alcaldía de Vijes mediante el Acuerdo 054/2000. Entre los determinates definidos en este plan, que están relacionados con aspectos ambientales, se tienen: las zonas de ronda de los ríos Cauca, Vijes, Carbonero, Romerito, Potrerito, San Marcos, y de las Qdas. Santana, Sonadora, El Tambor y los relictos de bosque natural en la cordillera occidental.
Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Yotoco (2000)	Municipal	Definido por la alcaldía de Yotoco mediante el Acuerdo 045/2000. En el municipio de Yotoco se delimitan las siguientes área de conservación y protección: 30 metros en la margen izquierda del río Cauca, 60 metros (30 mts a cada lado) del río Yotoco, río Mediacanoa, del río Piedras, de la Qda. Los Negritos y de la Qda. La Negra, zonas de bosque Reserva Natural de Yotoco, 30 metros alrededor del perímetro de los humedales Román, Maicena, Cocal, Chiquique, La Bolsa, La Nubia, Aguasalada, Garzonero y El Jardín.
Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Riofrío (2000)	Municipal	Definido por la alcaldía de Riofrío mediante el Acuerdo 003/2000. Entre los determinates definidos en este plan, que están relacionados con aspectos ambientales, se tienen: ecosistema del valle geográfico del río Cauca el cual es una franja de terreno plana o casi plana que comprende los humedales del sistema del río Cauca, lo mismo que algunos relictos de guaduales y bosques naturales. Allí se localiza la Madre Vieja Madrigal. El segundo ecosistema corresponde a la zona de ladera comprendida entre los 1.000 y 3.300 m.s.n.m. Los terrenos ubicados en el Páramo de El Duende entre los 3.300 m.s.n.m. hasta la divisoria de aguas de la cordillera occidental como área de alta fragilidad ecológica.
Plan de Desarrollo Municipal (PDM) de Yumbo (2016 - 2019): "Yumbo Territorio de Oportunidades para la Gente"	Municipal	Fue sustentado en la necesidad de promover un desarrollo económico incluyente y sostenible que garantice la productividad, la competitividad, el empleo y la integración urbano - rural, soportada en la oferta y sostenibilidad ambiental, sin desconocer la necesidad de abordar de manera clara y concisa la prevención y gestión del riesgo de desastres.

Instrumento Planificador	Orden	Descripción
Plan de Desarrollo Municipal (PDM) de Yotoco (2016 – 2019): “Liderando el Progreso”	Municipal	En este documento se definen las estrategias que sustentan en la necesidad de posibilitar un desarrollo económico, social y urbanístico, con el fin de conservar el medio ambiente y permitir la inclusión de los diferentes grupos de la población.
Plan de Desarrollo Municipal (PDM) de Vijes (2016 – 2019): “Seguimos avanzando”	Municipal	las estrategias planteadas partieron del diagnóstico realizado en el municipio, en el cual se indica que este presenta una baja diversificación y productividad de la economía, acompañada del deterioro en el equilibrio y de la sustentabilidad ambiental, y alta la vulnerabilidad frente a los riesgos de desastres y al cambio climático, razón por la cual los esfuerzos están direccionados hacia la generación de bienestar social basada en la sustentabilidad ambiental.
Plan de Desarrollo Municipal (PDM) de Riofrío (2016 – 2019): “Ahora somos más, forjando un cambio social”	Municipal	Este plan se encuentra estructurados al interior de cuatro grandes dimensiones: Dimensión social, Dimensión Económica, Dimensión ambiental y la Dimensión Institucional, cuyos desarrollos buscan contrarrestar las situaciones que aquejan el municipio y enaltecer aquellas potencialidades que oferta el mismo.
Plan Municipal de Gestión del Riesgo (PMGR)	Municipal	Estos planes desarrollados para los municipios de Yumbo (2015), Yotoco (2013) y Vijes (2015), son promovidos por artículo 37 de la Ley 1523 de 2012. En su componente general de caracterización de los Escenarios de Riesgo, se definen los principales riesgos a los que está expuesto el municipio respectivo (avenidas torrenciales, incendios de la cobertura vegetal, inundaciones, movimientos en masa, entre otros), así mismo las acciones para reducir y mitigar el riesgo.
Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)	Municipal	Estos planes han sido reglamentados por el MAD5 como la herramienta clave de planificación de las Empresas de Servicios Públicos, orientada a garantizar un mayor grado de responsabilidad con las fuentes receptoras de las descargas líquidas de los alcantarillados (Empresa Oficial de Servicios Públicos de Yumbo S.A. ESP, 2016). Los PSMV identificados en la SZH 2631 se localizan en el municipio de Yumbo, específicamente en los corregimientos de Dapa, Mulaló y la zona industrial.
Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Yumbo (2016)	Municipal	La Resolución 754 de 2014 establece que los PGIRS incluyan 13 programas, sin embargo, dado que el municipio de Yumbo es representativo por su desarrollo industrial, se ha adicionado el Programa 14 “Gestión de Residuos Peligrosos Domiciliarios”.
Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Vijes (2005)	Municipal	El 26 de septiembre de 2005, adoptó su PGIRS mediante resolución no.ad-084 a un periodo de ejecución de 15 años (2005-2019). En este plan, se proponen 6 programas, para los cuales se establecieron los respectivos proyectos a cada programa, identificando responsables e indicadores
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)	Nacional	Este plan tiene como finalidad reducir la vulnerabilidad del país e incrementar su capacidad de respuesta frente a las amenazas e impactos del cambio climático. En este sentido, el plan asentó las bases conceptuales y metodológicas para que cada sector y territorio identifique su riesgo, y priorice las acciones y formule su propio Plan Sectorial o Territorial de Adaptación.
Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca (PICC)	Departamental	Tiene como objetivo realizar un análisis de vulnerabilidad al cambio climático para los sectores priorizados por CVC (recurso hídrico y ecosistema de páramo), un análisis de impacto del cambio climático para los sectores priorizados por la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca y CODEPARH (Agricultura y Salud) así como la estructuración de medidas de adaptación
Plan Municipal de Adaptación al Cambio Climático para Yumbo (2017 – 2040)	Municipal	Tiene como finalidad proponer elementos iniciales de planificación y gestión para la mitigación y adaptación al cambio y la variabilidad climática en el municipio de Yumbo. En el plan se realizó una identificación de las necesidades de adaptación al cambio climático en el municipio, por medio de la caracterización de actores estratégicos y del estudio del contexto del cambio climático en el municipio, para ello se tomó en cuenta el incremento de la temperatura promedio y los cambios en la distribución del régimen hídrico.

Fuente: Elaboración propia, 2019

6. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA

El territorio de la SZH 2631 ha experimentado transformaciones a través de la historia detonadas por los procesos de poblamiento, ocupación y producción, que dieron forma a lo que se conoce en la actualidad. La construcción histórica de las relaciones funcionales y productivas ha estado relacionada con el poblamiento como se presenta a continuación.

6.1. CONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LAS RELACIONES FUNCIONALES Y PRODUCTIVAS

6.1.1. El Poblamiento

Una primera ocupación provino de las llanuras del Pacífico, la sociedad Ilama (700 a.C. – 80 a.C.), que avanzó hacia la cordillera Occidental a través de la cuenca Calima, llegando hasta la zona centro del valle geográfico del río Cauca. Las reconstrucciones de Espinosa (2005), estimaron que posteriormente, la sociedad Yotoco (0 – 1100 d.C.) ocupó la cordillera Occidental en los territorios de Restrepo y Calima-Darién. A la llegada de los españoles se encontraban en asentamientos de la cultura Quimbaya al norte y Sonso al occidente, en los hoy municipios de Dagua, La Cumbre, Darién y Restrepo, que llegó a extenderse hasta el margen occidental del río Cauca, en los hoy municipios de Vijes, Yumbo y Yotoco, (ver Figura 39).

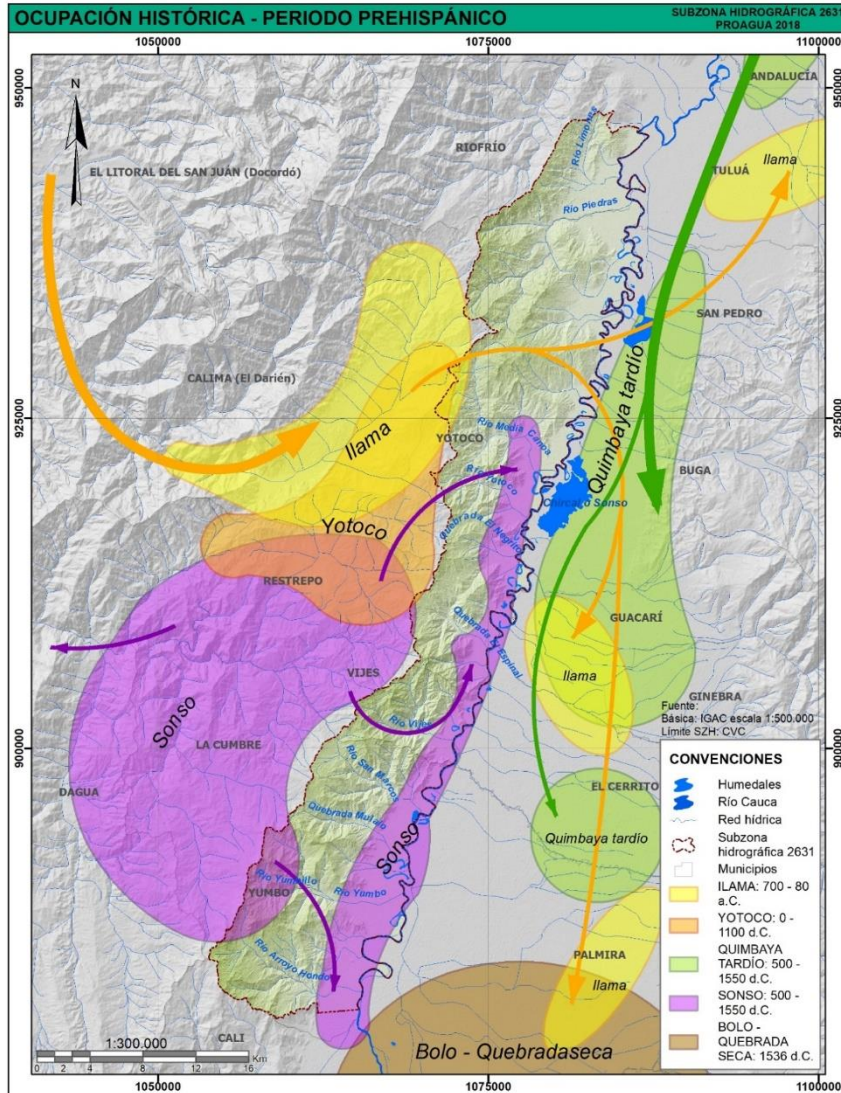
El territorio entre el río Cauca y la cordillera Occidental constituyó a partir de 1535 el eje de las primeras exploraciones de los españoles en la región, iniciando desde el sur (Villa de Ampudia y Cali) hacia Anserma y Cartago, como polos en el norte. Durante este periodo se fundaron en la región 17 asentamientos españoles, de los cuales sobrevivieron, entre otros, Cali (1535), Anserma (1539), Cartago (1539)⁴ y Buenaventura (1540), este último únicamente como surgidero de embarcaciones, (ver Figura 40).

Por otro lado, durante el siglo XVI se reconocieron 11 poblados indígenas, transformados bajo las instituciones de la *Encomienda* como “Pueblos de Indios”, entre los que se mencionan Jamundí (1535), Yumbo (1537), Vijes (1536 – 1540), Yotoco (1688) -con dos caseríos: Pampaná y Mediacanoa, Riofrío (1567) y Bolívar (1536). A partir de 1850 se llegan colonos desde Antioquia que ocuparon asentamientos como Toro, Roldanillo y Bolívar, colonizando hasta las primeras décadas del siglo XX las laderas del occidente y el oriente. Finalmente, se produce una colonización tardía en las primeras tres décadas del siglo XX, donde se fundan La Cumbre y Dagua, relacionados con el emplazamiento férreo.

El proceso de poblamiento del periodo más reciente está marcado por el desarrollo industrial del corredor férreo entre Cali y Yumbo. El establecimiento de la industria cementera en 1936 y la implantación de industrias de capital extranjero, en especial durante la segunda guerra mundial. También, el desarrollo de obras de control hidráulico orientadas a la habilitación de tierras para uso agropecuario, redujeron áreas inundables de la zona plana, lo cual fue aprovechado para la consolidación de asentamientos marginales al río, ligados a los antiguos pasos sobre el mismo y a la extracción de material de arrastre.

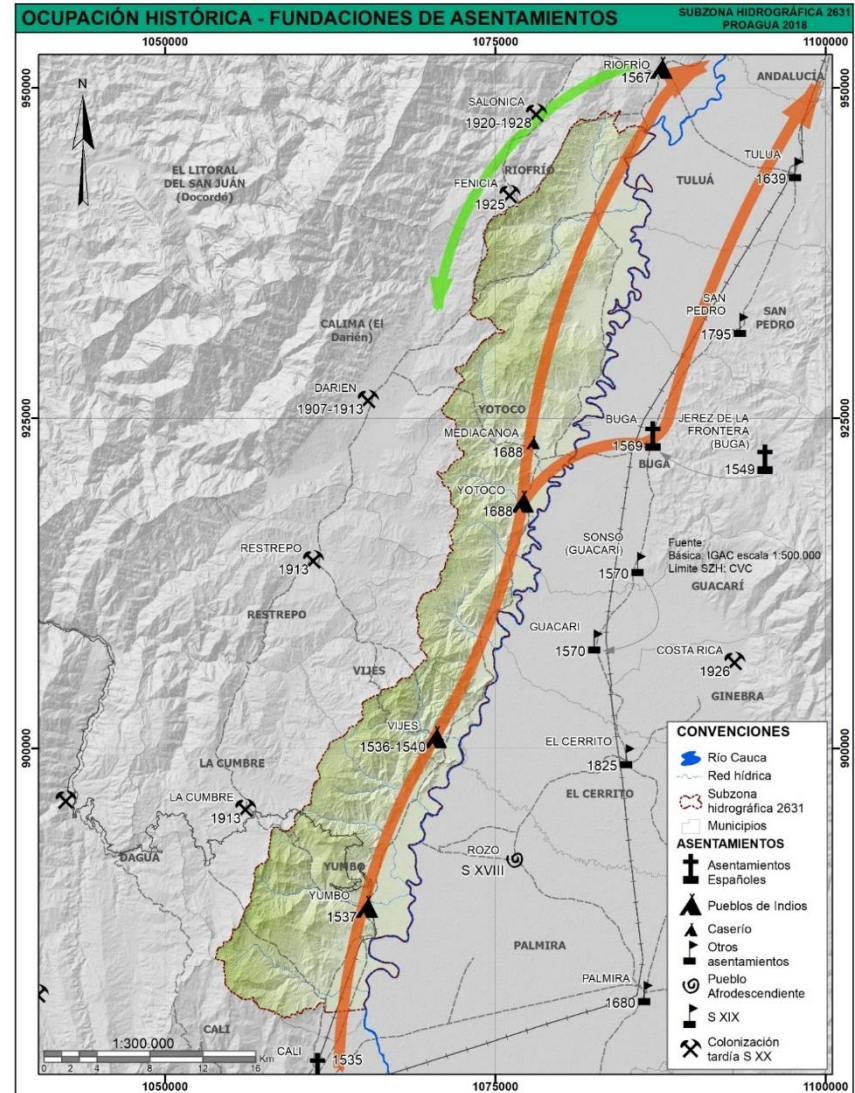
⁴ En el actual emplazamiento de Pereira.

Figura 39. Ocupación histórica - Periodo Prehispánico



Fuente: PROAGUA 2018, con base en Espinosa (2005)

Figura 40. Ocupación histórica - Fundaciones de asentamientos



Fuente: PROAGUA 2018, con base en Espinosa (2005)

6.1.2. Infraestructuras de Comunicación

El desarrollo de infraestructuras a lo largo del valle geográfico del río Cauca está ligado al proceso histórico de poblamiento. Durante la colonia se trazaron caminos para comunicar Popayán con el norte de la provincia a través de Cali, cruzando el Cauca en el paso de La Balsa y recorriendo la margen occidental del río hasta Vijes, donde se continuaba por vía fluvial hasta el Paso del Gallo entre Cartago y Anserma. A partir de la fundación de Buga en la segunda mitad del siglo XVI, que implicó la extensión del camino del margen occidental hasta Mediacanoa, se trazó un camino por el margen oriental que comunicaba directamente con Caloto sin pasar por Cali.

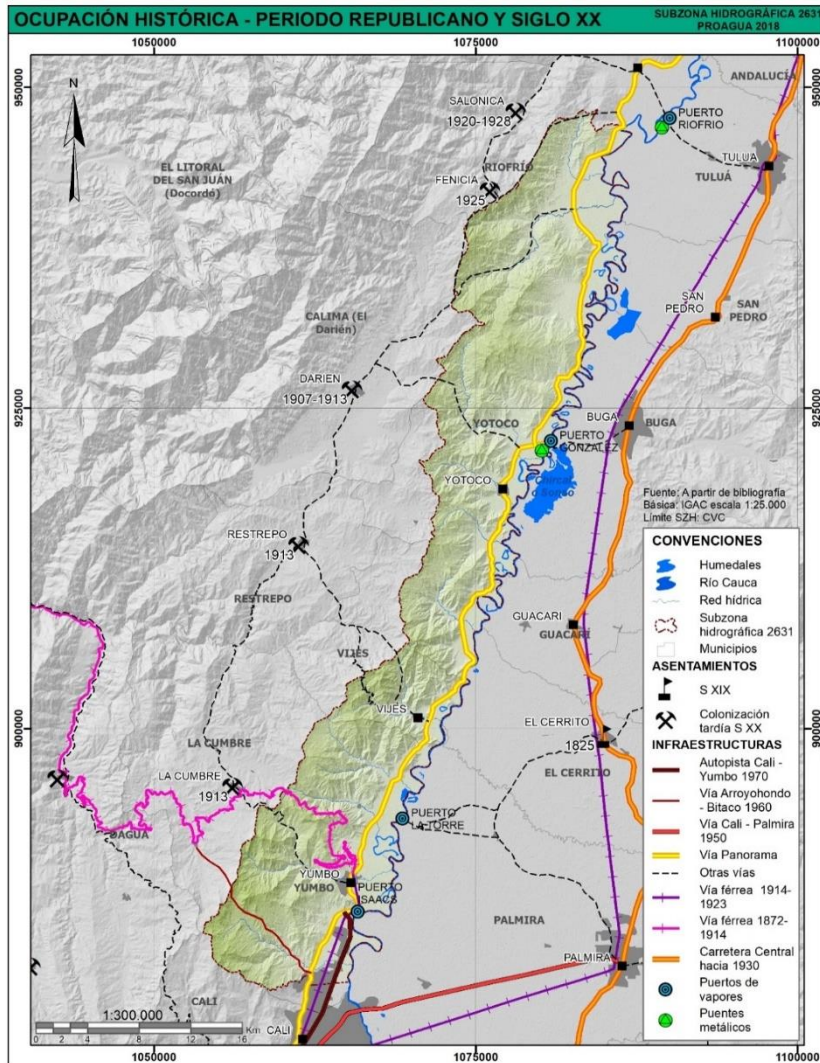
Con la creación de la República a finales del Siglo XIX, se mejora el sistema de carreteras “desde la capital hacia las costas y las fronteras”. Posteriormente, esta responsabilidad es transferida a los nuevos departamentos, como el departamento del Valle del Cauca, con una serie de ordenanzas (Ordenanza 110) a partir de 1915 donde se trazaban los principales ejes longitudinales y transversales (Galindo Díaz, 2003). La República también coincide con la materialización de la conexión férrea con el puerto de Buenaventura establecido como muelle entre 1919 y 1922 (Galindo Díaz, 2003). El 19 de septiembre 1914 llega el ferrocarril a Yumbo, y posteriormente, debido a fuertes presiones políticas ejercidas por Cali, se logra “aumentar las distancias y hacer de su estación un paso obligado hacia las tierras de Llanogrande” (Galindo Díaz, 2003, pág. 213), refiriéndose este último a Palmira, ver Figura 41.

Coexisten así, el transporte férreo y la navegación fluvial de vapores a través del río Cauca, gestada desde 1875 y puesta en marcha en 1888 (Vásquez, 2001). De esta forma se configura en Puerto Isaacs una especie de conexión intermodal, (Londoño Rosero (1997), donde se desembarcaban los productos provenientes de la región cafetera a través del río Cauca y se disponían en los trenes que los llevaban hasta el puerto de Buenaventura, punto menguado posteriormente a favor de Puerto Mallarino en Cali (Londoño Gómez, 2011). Finalmente, el transporte fluvial entra en decadencia con la llegada del ferrocarril a Cartago hacia 1923.

A lo largo del siglo XX se produce la consolidación del sistema de carreteras de la región, contando para mediados de siglo con la vía Panorama construida hasta Riofrío por la margen occidental del valle geográfico y la carretera central de Cali a Cartago por la margen oriental. Se emprende durante la década de 1950 el desarrollo de infraestructuras y la pavimentación de vías, entre las que se encuentra la vía Cali – Yumbo y la vía Arroyohondo – Dapa, hecho que se intensifica hacia 1970 con la designación de Cali como sede de los VI Juegos Panamericanos (1971), periodo en el cual se construye la Autopista Cali – Yumbo y el Aeropuerto Internacional de Palmaseca, actual Alfonso Bonilla Aragón.

Paralelamente, con el desarrollo de la agroindustria de la caña de azúcar, se consolida una red de carreteras entre la región cafetera, el norte del Cauca y el puerto de Buenaventura (Londoño Gómez, 2011). Actualmente, se desarrollan las últimas fases del proyecto de la doble calzada Buga – Loboguerrero para comunicar el interior del país con Buenaventura de manera más eficiente, así como la fase inicial del proyecto de la vía Mulaló – Loboguerrero, conexión de la conurbación metropolitana a través del Paso de la Torre con el puerto.

Figura 41. Ocupación histórica - Periodo Republicano y Siglo XX



Fuente: PROAGUA con base en Espinosa (2005) y cartografía CVC.

6.1.3. Ocupación Productiva

Los procesos de transformación productiva y de poblamiento de la SZH han determinado profundas transformaciones del paisaje natural descrito en las crónicas de la conquista española, únicos documentos escritos del siglo XVI de referencia para evaluar cambios territoriales que han sido utilizados por historiadores e investigadores del territorio.

Inicialmente las sociedades indígenas del valle geográfico del río Cauca “encontraron en el piedemonte condiciones ideales para su establecimiento en el territorio: bosques pastos, flora selvoática a los pies de las cordilleras, especies nativas abundantes, y un paisaje adornado por ciénagas, meandros, madre viejas originado por los caudales altos y las crecientes del río Cauca, que favoreció actividades como la pesca” (Valencia & Zuluaga, 1992).

La incursión española marcó la transformación del paisaje selvático en praderas ganaderas y pequeñas porciones para producción agrícola. Yumbo concentró una extensión importante de *Estancias* de los primeros conquistadores españoles Londoño Rosero (1997). Fue en la estancia de Sebastián de Belalcázar en Yumbo donde se plantó caña de azúcar por primera vez en el Valle del Cauca, en 1540, de acuerdo con reporte cronológico de Cenicaña (Cenicaña, 2017).

Hacia finales del siglo XVII y durante el transcurso del siglo XVIII, surge una unidad productiva conocida como "*hacienda*", la cual se instaura en la mayor parte de la zona plana y tuvo inicialmente como principal actividad económica la ganadería extensiva (Colmenares, 1975). En la SZH se conforman las haciendas de Mulaló, La Estancia, San Marcos y Arroyohondo, localizadas todas en el sur del valle geográfico.

Para el siglo XIX las haciendas entran en decadencia por ausencia de mercados, fragmentándose en familias por plazas (terrazguería). Esta agrupación fomenta formas de trabajo de peones y obreros (Valencia & Zuluaga, 1992), fortaleciendo la transición de la hacienda tradicional hacia el ingenio azucarero industrializado.

Además, en la zona de ladera la colonización antioqueña tardía de comienzos del siglo XX, asociada al cultivo del café, tuvo una concentración importante al norte en los municipios de Riofrío y Yotoco. También, en la zona de ladera se introdujo un sistema productivo que emprendió la compra de predios en las cordilleras Central y Occidental para la plantación comercial de pino y eucalipto, lo que paulatinamente iría sustituyendo la explotación del bosque nativo de la región del Bajo Calima, que se venía haciendo desde 1959 bajo concesiones del Ministerio de Agricultura y del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA). Entrado el siglo XXI, si bien se mantiene la expansión de la caña de azúcar en la zona plana, se presenta una diversificación de cultivos entre los que se encuentran el papayo, la piña y la vid.

La industrialización del Valle del Cauca y la extracción minera. La implantación concentrada de industrias en el corredor entre Cali y Yumbo tiene sus orígenes en la localización de actividades comerciales, trilladoras de café y manufacturas de tabaco en torno al puerto de vapores de Puerto Isaacs hacia finales del siglo XIX, y está ligada también a la extracción de carbón y materiales de construcción que generó acumulación de capital e inversión extranjera, aprovechando la infraestructura férrea dando paso en Puerto Isaacs hacia 1941, al desarrollo de la primera gran industria del corredor Cali – Yumbo, asociada al Cemento.

Cabe agregar que además del encadenamiento del cemento con la extracción de piedra caliza, la actividad precisaba de carbón para el funcionamiento de los hornos, por lo que significó el inicio del uso industrial de este mineral que hasta entonces era demandado únicamente por el ferrocarril. A partir de mediados del siglo XX, se emplazó sobre el río Cauca la actividad de extracción de materiales de arrastre del río, relacionada también con el sector de la construcción. De acuerdo con Londoño (2015), la localización de los puntos de extracción se da en áreas próximas a los centros urbanos, pues la distancia afecta el costo final del producto.

La segunda gran industria localizada en Puerto Isaacs entró en operación en 1946 consolidando la industria papelera, que tiene encadenamientos con el sector forestal. De acuerdo con

Londoño (2015), en Yumbo y Vijes la pobre fertilidad del suelo y el afloramiento de riquezas minerales provocó que se instalaran algunas fábricas. El sector azucarero y sus encadenamientos, tales como insumos agrícolas y maquinaria, conforman otro eslabón en la industrialización de la región.

6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES RELACIONES Y VÍNCULOS DE USO Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS

El territorio de la SZH tiene una vertebración funcional que se estructura longitudinalmente a partir del recorrido de la vía Panorama entre Riofrío y la vía Buga-Mediacanoa. Sin embargo, el relacionamiento regional más importante se da por la conexión con asentamientos e inercias funcionales que cruzan transversalmente el río Cauca, generando enlaces o pasos hacia otros espacios territoriales. En sentido norte sur se destacan: EL Paso Tuluá-Riofrío, Paso Buga-Mediacanoa, Paso de la Torre y el Paso Aeropuerto-CENCAR, ver Figura 42.

Figura 42. Encuadre territorial de la SZH 2631



Fuente: Superposición propia del autor sobre imagen Google Earth, Copyright Digital Globe, 2018.

6.2.1. Infraestructuras de la Subzona Hidrográfica

Red de vías y caminos. El 68,2% de las principales infraestructuras viales de la SZH se concentran en la zona plana, con ramificaciones mediante vías de segundo y tercer orden desde las cabeceras municipales hacia las áreas rurales de la ladera. En el sentido longitudinal la principal infraestructura vial es la vía Panorama, que articula los asentamientos del margen occidental del valle geográfico. Actualmente esta vía en su tramo Cali - Mediacanoa soporta los flujos de transporte público intermunicipal así como de transporte de carga.

En cuanto a las vías de segundo y tercer orden, que comunican las cabeceras municipales con las áreas rurales de la ladera y que representan el 22,3% de las vías de la SZH, se identifican al sur las vías Arroyohondo - Dapa, Yumbo - La Cumbre, Vijes - Restrepo (con dos ramales) y Yotoco - Restrepo. Por su parte, las vías de tercer orden al norte de la SZH (Riofrío, Calima y norte de Yotoco) articulan las áreas productivas de ladera con los centros poblados y con la zona plana, mostrando un eje importante entre Darién, Fenicia y Salónica (Riofrío). Finalmente, el 59% de las vías de la SZH corresponden a vías rurales no clasificadas en las anteriores jerarquías, como caminos y carretables. La totalidad de estas vías se encuentra sin pavimentar, predominantemente en zona de ladera.

Vía férrea. La vía férrea que cruza la SZH ingresa al valle geográfico procedente de Buenaventura, pasando por Dagua y La Cumbre, a través de Yumbo, para posteriormente continuar su recorrido hacia Cali atravesando de forma longitudinal la zona industrial Arroyohondo, en sentido paralelo a la antigua vía y la autopista Cali-Yumbo. De acuerdo con información reciente obtenida de publicaciones periódicas⁵, la baja competitividad y las deficiencias del sistema, así como la invasión de las vías en Tuluá y Buenaventura, llevaron a la concesionaria del Ferrocarril del Pacífico a suspender operaciones en 2018. Hasta entonces, únicamente se movilizaba carga entre Buga, Cali, Yumbo y Buenaventura.

Redes de infraestructura energética. Estas estructuras en la región, guardan relación con la estructura de la red de vías principales, concentrada sobre la margen occidental del río Cauca hasta el centro del departamento y dos transversales hacia Buenaventura. Pese a que la SZH no es generadora significativa de energía para el Sistema Interconectado Nacional, a través de su territorio discurren líneas de alta tensión que conectan el norte y el sur de la región. De igual forma, en la zona se localizan termoeléctricas y granjas solares.

Transporte de hidrocarburos. Estas infraestructuras mantienen un trazado norte - sur sobre la margen occidental del valle geográfico hasta Mediacanoa, con un punto de giro hacia el Pacífico en Yumbo. Por la SZH discurren el Poliducto Cartago - Yumbo, el Poliducto Odeca y el Poliducto Buenaventura. Existen también estaciones de bombeo y los tanques de almacenamiento localizados en Mulaló, sobre la vía Panorama. Por otro lado, la principal infraestructura de transporte de gas natural de la región es el Gasoducto Mariquita - Cali, que abastece a más de 48 municipios de los departamentos de Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca, a través de una red troncal y de ramales que alcanza los 740 km de longitud.

Plantas de tratamiento de agua existentes. Se resaltan las plantas de tratamiento de agua potable de los acueductos urbanos de las cabeceras municipales, y una a la Planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera de Yumbo (sin operación). La prestación del servicio de agua potable en la cabecera de Yumbo se hace a través de EMCALI E.S.P, desde el acueducto de Cali, especialmente en zona plana que incluye la zona industrial. También se localiza la Planta de Tratamiento para el manejo de lixiviados del Relleno Sanitario Colomba - El Guabal, con tratamiento de osmosis inversa que fue inaugurada en febrero de 2018.

Infraestructuras especiales - Relleno Sanitario. En la SZH se localiza Relleno Sanitario *Colomba - El Guabal* con una infraestructura especial de alcance regional que cumple la función de disponer los residuos sólidos de cuatro municipios del Cauca y 10 del Valle del Cauca, incluyendo Cali, Palmira, Jamundí y Yumbo, que representan más del 60% de la población del departamento. De acuerdo con los cálculos suministrados por la empresa Interaseo SA, esta infraestructura recibe en promedio 2.260 ton/día, siendo Cali la mayor aportante con 1.800 ton/día. El relleno tiene una capacidad de 19,5 millones de toneladas y una vida útil de 31,2 años, y se encuentra en operación desde el año 2008.

⁵ “¿Por qué sigue varado el Ferrocarril del Pacífico?”, *El País*, 24 de julio de 2018 y “Por invasión en la vía, Ferrocarril del Pacífico suspendió operaciones”, *La FM*, 2 de octubre de 2018.

6.2.2. Los asentamientos y los territorios rurales

De acuerdo con la Clasificación de las Misiones DNP, Sistema de Ciudades (2014) y Transformación del Campo Colombiano (2016) los municipios de la SZH se clasificarían así:

- Ciudades funcionales o aglomeraciones urbanas, la cuales se forman cuando “las relaciones funcionales se extienden por fuera de las fronteras administrativas y una(s) terminan por absorber a otras ciudades más pequeñas y en algunos casos se presentan casos de fusión con otras ciudades intermedias lo cual resulta en grandes conurbaciones (ONU Hábitat, 2011). En la SZH 2631 los municipios pertenecientes a la Aglomeración de Cali, formada por 10 municipios del Valle del Cauca y Cauca, son Yumbo y Vijes.
- Municipios rurales, corresponde a aquellos que tienen cabeceras de menor tamaño (menos de 25.000 habitantes) y presentan densidades poblacionales intermedias (entre 10 hab/km² y 100 hab/km²), de acuerdo con la Misión Rural se incluyeron de la SZH 2631 los municipios de Yotoco y Riofrío.

Utilizando las mismas categorías empleadas en las Misiones del DNP para clasificar los territorios rurales, se pueden encontrar en la SZH dos tipos de espacios rurales:

- Zonas rurales, con densidades superiores a 50 hab/km² que corresponden con las zonas más parceladas con destinación a segunda residencia o usos recreativos: sectores de Dapa en Yumbo y de la Sección Rural de Calima presente en la SZH.
- Zonas rurales dispersas, con densidades inferiores a 50 hab/km² que corresponden con zonas rurales poco polarizadas por centros poblados rurales presenten en los cuatro municipios que integran total o parcialmente la SZH.

Por otro lado, para el caso del Valle del Cauca se cuenta con las clasificaciones para los asentamientos urbanos y rurales propuestas en el marco del Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca (Londoño G., Falla G., & otros, 2016), que propuso una categorización para los asentamientos en relación con las jerarquías funcionales de los mismos, incorporando tanto el tamaño poblacional como la talla espacial, o área ocupada por los espacios. Para la SZH se adelantó la categorización siguiendo los parámetros de dicha clasificación con los datos poblacionales proyectados a 2018, obteniendo las categorías funcionales que se presentan en la Tabla 37.

Es relevante la mayor concentración de centros poblados medianos y menores en las cuencas de Arroyohondo y Yumbo, la cuales se encuentran en condición de aglomeración urbana. Conforme se avanza hacia el norte, se evidencia la pérdida de influencia de la conurbación metropolitana al descender la densidad poblacional y la cantidad de centros poblados rurales, concentrándose la población en las cabeceras de cuarto orden de Vijes y Yotoco, y el centro poblado urbano de Mediacanoa, este último producto de su localización central en cruce de los ejes longitudinal y transversal de primer orden.

Tabla 37. Clasificación de asentamientos urbanos y rurales en la SZH 2631

Categoría	Nombres	Rango Poblacional
Cabecera funcional de primer orden conurbada	Yumbo	Superior a 100.000 habitantes y hace parte de la Aglomeración Urbana de Cali, constituyendo en conjunto con la capital un ámbito funcional continuo.
Cabecera funcional de cuarto orden	Vijes, Yotoco	Cabeceras urbanas aisladas de menos de 9.500 habitantes.
Centro poblado urbano mediano	Mediacanoa	Centro poblado con clasificación de suelo en su respectivo POT como urbano y población entre 500 y 1500 habitantes.
Centro poblado urbano menor	Portugal de Piedras	Centro poblado con clasificación de suelo en su respectivo POT como urbano y población inferior a 500 habitantes.
Centro poblado rural mediano	Pilas de Dapa, San Marcos, Mulaló.	Centros poblados rurales con población entre 500 y 1500 habitantes.
Centro poblado rural menor	Cuenca Arroyohondo: Arroyohondo, La Paz, Miravalle Dapa, Dapa. Cuenca Yumbo: El Chocho, Santa Inés Cuenca Vijes: Manga Vieja, Miravalle. Cuenca Mediacanoa: Punta Brava, El Caney, Las Delicias, Los Planes. Cuenca Piedras: San Antonio de Piedras.	Centros poblados rurales con población inferior a 500 habitantes.

Fuente: Adaptación a partir de las categorías empleadas en el POTD Valle del Cauca con proyecciones poblacionales a 2018.

6.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES RELACIONES Y VÍNCULOS SOCIOECONÓMICOS URBANOS, RURALES Y REGIONALES

Las formas de ocupación y uso se traducen en relaciones socioeconómicas de la SZH tanto endógenas como exógenas que determinan las inercias de las formas de ocupación del territorio.

Este análisis se realizó con información de coberturas de CVC, Tercer Censo Nacional Agropecuario (CNA) realizado por el DANE en 2014 a nivel de vereda, los polígonos de los títulos mineros vigentes descargados del SIGOT con actualización a 2017 y las cifras de producción por trimestre publicadas por la Agencia Nacional de Minería para el periodo 2012-2018 (hasta el segundo trimestre). Para la valoración de la representatividad económica a nivel departamental y nacional, se empleó información económica del DANE, como el Informe de Coyuntura Económica Regional para el Valle del Cauca de 2015, el PIB departamental y nacional por ramas de actividad, las estadísticas de licencias de construcción entre 2005 y 2018 y el indicador de Importancia Económica 2016, con datos del sector productivo.

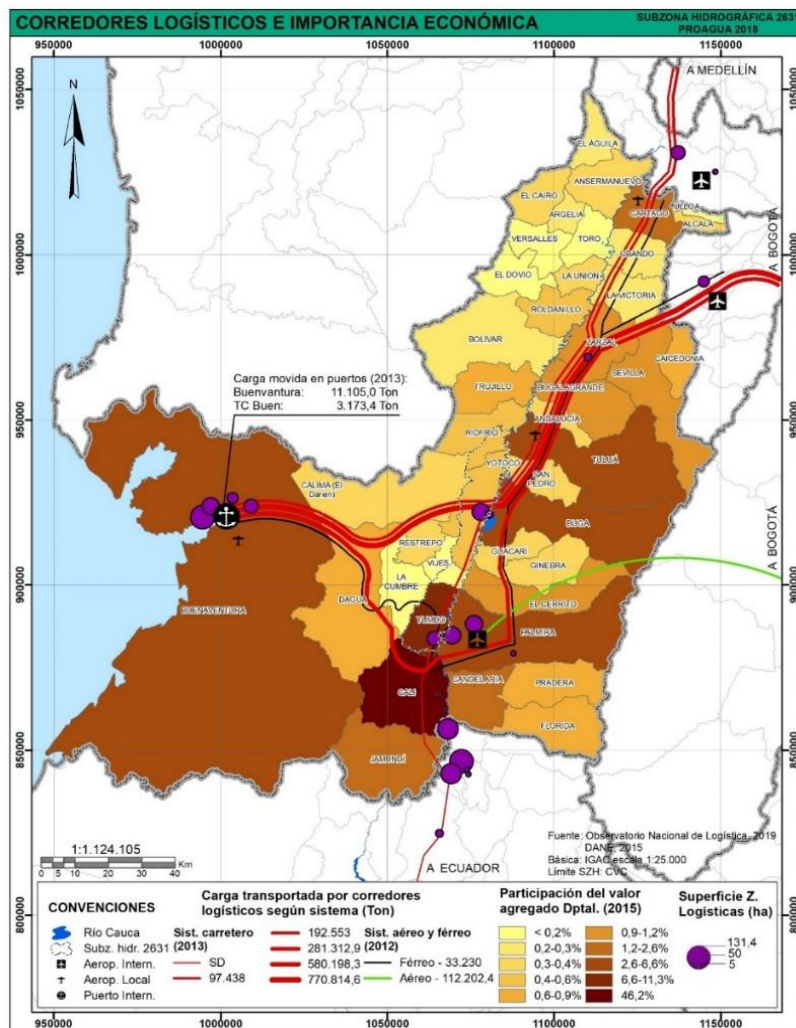
Se evidencia el uso intensivo de la infraestructura vial producto de los flujos entre Bogotá, Buenaventura y Cali, especialmente sobre la doble calzada que se desvía hacia el Pacífico a través de la transversalidad Buga - Loboguerrero, la cual permite una alta movilidad de carga, y a su vez da paso al establecimiento de negocios de bienes y servicios (hospedaje y venta de comida). Lo anterior podría explicar el crecimiento emergente de superficies logísticas en Mediacanoa, punto medio entre el puerto, el Eje Cafetero y el valle geográfico.

En lo que compete a la población, se podría establecer que existen dos polos claramente identificados, el primero de ellos establecidos en la zona sur, donde la conurbación

metropolitana Cali – Yumbo, ejerce una influencia hasta la cuenca de Mulaló, y esto se da en gran medida, gracias al desarrollo industrial localizado en el corredor Cali – Yumbo; y el otro se da con la población localizada en las cuencas de los ríos Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras, influenciado por ciudades intermedias como Buga y Tuluá.

El indicador de importancia económica del DANE de 2015 muestra la alta concentración de la riqueza del Departamento en los municipios del sur, que corresponden a la conurbación metropolitana, con un 66,4% del valor agregado departamental, siendo Cali el que mayor peso tiene con el 46,2%, seguido de Yumbo con el 11,3% y Palmira con el 6,6%, ver Figura 43.

Figura 43. Corredores logísticos nacionales e índice de importancia económica municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía CVC e información DANE, 2015 y Conpes3547 de 2008.

En la SZH tiene gran importancia la extracción minera, la fabricación de cemento y la construcción. siendo las cuencas Mulaló, Vijes y Arroyohondo las de mayor participación en este sector. El sector forestal, encadenada a la industria productora de papel y cartón y a los servicios editoriales y de publicidad, así como pulpas de celulosa y derivados. Las plantaciones

forestales se localizan en la parte de alta de la zona de ladera, a excepción de las plantaciones ribereñas al río Cauca en la cuenca Yumbo y frente al corregimiento de San Marcos en la cuenca Vijes. El sector azucarero además de la producción de azúcar cuenta con varios procesos de agregación de valor, entre los que destaca la generación de energía eléctrica, la producción de alcohol carburante o bioetanol, la industria sucroquímica, la industria de confitería y la producción de abonos y concentrados para animales, se localiza en la zona plana.

En términos de productividad se destaca que, si bien la producción de las cuencas con mayor extensión sembrada es alta, las cuencas Mulaló y Vijes muestran mayor intensidad en la producción, medida a partir del rendimiento promedio, que es la relación entre la producción total y el área sembrada, lo cual evidencia el enfoque intensivo de los cultivos de estas últimas cuencas. De igual forma, el análisis muestra la importante participación de los frutales en la composición de la producción en todas las cuencas, cultivos que están ligados al clúster de la Fruta Fresca, que representa una apuesta de la región para consolidarse como principal productor hortofrutícola a nivel nacional e insertarse en mercados internacionales.

A partir del análisis de la actividad pecuaria, se resalta la ganadería bovina dispersa en las laderas del departamento con especial fuerza hacia el norte a partir del centro del Valle y sobre la cordillera Occidental en Restrepo, mientras que la porcicultura y la avicultura se desarrollan sobre los corredores de las infraestructuras principales en áreas próximas a los asentamientos más robustos, concentradas al sur y al centro del departamento.

Adicionalmente, se tiene la localización de plantas de cárnicos en la zona industrial de Yumbo, lo cual genera relaciones desde las laderas hacia el sur, a través de la vía Panorama y las infraestructuras viales de segundo y tercer orden.

Se advierte la importancia de la actividad avícola en las cuencas Mediacanoa y Yotoco, ligada principalmente a la vía Buga-Loboguerrero que articula estas áreas con el centro del Valle. Por su parte, la porcicultura presenta densidades más homogéneas, siendo las mayores las de las cuencas de Yumbo y Mulaló, no obstante, 5 de las 7 cuencas tienen inventarios por encima de 5.000 animales. La ganadería bovina representa una actividad con baja intensidad de uso, pero con elevada extensión. Se identificó un mayor número de cabezas de bovinos en las cuencas Piedras y Mediacanoa, los cuales llegan a exceder las 8000 cabezas por cuenca.

6.4. SÍNTESIS DE LAS RELACIONES FUNCIONALES Y SOCIOECONÓMICAS DEL TERRITORIO

El procesamiento de información cartográfica permitió la delimitación de siete (7) Zonas Funcionales, a partir de las características similares que las relacionaban, las cuales son: i) el sistema de asentamientos, ii) la densidad poblacional, iii) la ocupación del suelo, iv) la disponibilidad de infraestructuras, vii) la productividad y relaciones funcionales, tanto endógenas como exógenas. De la Tabla 38 a la Tabla 44, se presentan las fichas resumen de cada una de las Zonas Funcionales, que incluye los principales datos de cada zona en cuanto a asentamientos, infraestructuras y productividad, así como un gráfico síntesis de cada una. En la Figura 44 se presentan en conjunto las 7 Zonas Funcionales que hacen parte de la SZH.

Tabla 38. ZF01 - Zona de producción intensiva de la conurbación metropolitana

ZF01	Zona de producción intensiva de la conurbación metropolitana
El corredor industrial Cali - Yumbo, con extensión hasta San Marcos, en la cual se concentra las principales infraestructuras de producción, de agricultura intensiva (sectores tradicionales y emergentes) y en la zona de ladera concentra el desarrollo minero del cual se abastecen las industrias de materiales de construcción (Cementos Argos y San Marco).	
Superficie:	10.209,7 ha
Asentamientos y población	
Centro poblado rural menor: Arroyohondo Densidad poblacional: 13 a 29 hab/km ² Alta ocupación de corredor industrial Cali-Yumbo	
Infraestructuras	
De movilidad: Vía férrea, Vía Panorama, Autopista Cali - Yumbo - Aeropuerto; Pasos: La Torre y Aeropuerto - Cencar; PTAR: Yumbo; Energía: Plantas de gas y petróleo en Yumbo, granja solar.	
Productividad	
Industrial: Principales centros de transformación cadenas prod. y actividad logística. Actividad minera en canteras y material de arrastre río Cauca: materiales de construcción. Producción intensiva: caña, frutales y forestal. Pastos con baja ocupación bovina.	

Tabla 39. ZF02 - Zona residencial campestre de la conurbación metropolitana

ZF02	Zona residencial campestre de la conurbación metropolitana
Este tipo de zona tiene su mayor expresión en las laderas más próxima a Cali, donde se concentra los asentamientos suburbanos de primera residencia relacionados principalmente con Cali.	
Superficie:	3.723,1 ha
Asentamientos y población	
Desarrollos suburbanos de primera residencia 1 Centro poblado rural mediano: Pilas de Dapa 3 Centros poblados rurales menores: Dapa, La Paz, Miravalle Dapa. Densidad poblacional: 47 a 59 hab/km ²	
Infraestructuras	
De movilidad: Vía 2do orden Arroyohondo - Bitaco Otras vías entre centros poblados (sin pavimento)	
Productividad	
Principal actividad: recreación asociada a desarrollos suburbanos. Plantaciones forestales de alta productividad. Cultivos diversos asociados a asentamientos dispersos. Pastos con baja ocupación bovina.	

Tabla 40. ZF03 - Zona urbano-rural de cabecera funcional principal

ZF03	Zona urbano-rural de cabecera funcional principal
<p>Integra la cabecera de Yumbo y el conjunto de centros poblados rurales de ladera que funcionan en torno a ella, con producciones agrícolas diferentes a la caña de azúcar. Esta zona incluye la cabecera de Vijes y los asentamientos dispersos de la ladera que se relacionan con ella.</p>	
Superficie:	12.369,3 ha
Asentamientos y población	
<p>Cabecera funcional de primer orden: Yumbo Cabecera funcional de cuarto orden: Vijes 2 CPob Rurales Medianos: Mulaló y San Marcos 4 CPob Rurales Menores: El Chocho, Manga Vieja, Miravalle Norte y Santa Inés. Densidad poblacional: 16 a 69hab/km²</p>	
Infraestructuras	
<p>De movilidad: Vías transversales de segundo orden Yumbo - La Cumbre y Vijes - Restrepo, vía férrea en su tramo de ladera. PTAP: Vijes y Yumbo.</p>	
Productividad	
<p>Plantaciones forestales de alta productividad. Cultivos diversos de media productividad asociado a asentamientos dispersos. Comercio y servicios en cabeceras de 1er y 4o Ord.</p>	

Tabla 41. ZF02 - Zona residencial campestre de la conurbación metropolitana

ZF04	Zona intermedia de corredor funcional
<p>Localizado más hacia la zona central del área de estudio, de ella hace parte la cabecera de Yotoco y el corredor funcional sobre el que se localiza el relleno sanitario. Caracterizada por diferentes condiciones de producción: intensiva en la zona plana, baja productividad en el piedemonte y agricultura diversa de relativa baja productividad en proximidad a las cabeceras.</p>	
Superficie:	10.098,2 ha
Asentamientos y población	
<p>Cabecera funcional de cuarto orden: Yotoco Escasa población dispersa - Densidad poblacional: 8 a 12 hab/km², la más baja de la SZH.</p>	
Infraestructuras	
<p>De movilidad: Vía Panorama y vía Yotoco - La Cumbre. PTAP: Yotoco Relleno Sanitario Colomba - El Guabal.</p>	
Productividad	
<p>Cultivo de caña de azúcar en zona plana. Escasos cultivos diversos en zona de ladera. Baja productividad - principalmente cobertura de herbazales - ecosistema seco. Actividad porcícola.</p>	

Tabla 42. ZF05 - Zona transversal de actividad emergente

ZF05	Zona transversal de actividad emergente
El uso intensivo de la infraestructura transversal que comunica el interior del país con el Puerto de Buenaventura en el Pacífico, genera dinámicas que le imprimen a esta zona un carácter diferenciado de las zonas aledañas, destacándose la presencia del único centro poblado de características urbanas (Mediacanoa), junto a otros dos centros poblados rurales (Los Planes y Punta Brava), además de la importancia del sector pecuario y el desarrollo de zonas logísticas (CLIP), mostrando una marcada relación con las ciudades principales del centro del Valle y el área del lago Calima.	
Superficie:	4.494,3 ha
Asentamientos y población	
Centro Poblado Urbano Mediano: Mediacanoa. 2 CPob Rurales Menores: Los Planes y Punta Brava Densidad poblacional: 8 a 24 hab/km ²	
Infraestructuras	
De movilidad: Principal transversalidad al Pacífico Vía Buga - Loboguerrero (Doble calzada), vías terciarias hacia ladera productiva. Vía Panorama.	
Productividad	
Cultivo de caña de azúcar en zona plana. Actividad minera sobre vía Buga-Loboguerrero. Extracción de material de arrastre. Actividad avícola concentrada sobre vía.	

Tabla 43. ZF06 - Zona de ladera productiva cafetera y diversa

ZF06	Zona de ladera productiva cafetera y diversa
Comprendida por la parte alta de las cuencas de los ríos Piedras y Mediacanoa, que está en estrecha relación con el eje Calima - Salónica - Fenicia - Riofrío, configurando un área de producción agrícola diversa y alta fragmentación predial.	
Superficie:	4.446,9 ha
Asentamientos y población	
2 CPob Rurales Menores: El Caney y Las Delicias Predominio de población dispersa. Densidad poblacional: 20 a 51 hab/km ² Predominio de predios pequeños, algunos inferiores a la UAF - 8 a 11 ha.	
Infraestructuras	
De movilidad: Vías de tercer orden cordilleranas - Calima - Fenicia - Riofrío y entre la ladera y la zona plana.	
Productividad	
Predominio de cultivos diversos de media productividad y gran extensión: café, frutales y otros. Mezcla con ganadería extensiva y plantaciones forestales de baja productividad. Cultivo de caña de azúcar en zona plana.	

Tabla 44. ZF07 - Zona de producción en latifundio

ZF07	Zona de producción en latifundio
Corresponde a la parte media y baja de las cuencas Piedras y Mediacañoa, que incluye los centros poblados sobre el río Piedras, caracterizada por la producción intensiva de caña de azúcar con el único punto de transformación sobre el margen occidental del valle geográfico.	
Superficie:	15.108,6 ha
Asentamientos y población	<p>Resto SZH: 76,0% Mediacañoa: 24,0% Piedras: 12,5%</p>
CPob Urbano Menor: Portugal de Piedras CPob Rural Menor: San Antonio de Piedras Baja densidad poblacional: 5 a 24 hab/km ² Predominio de grandes predios de explotación.	
Infraestructuras	
De movilidad: Vía Panorama y vías de tercer orden hacia la zona de ladera	
Productividad	
Cultivo intensivo de caña de azúcar - único ingenio sobre el margen occidental del valle geog. Predominio de pastos sobre zona de ladera, con ganadería extensiva - alta participación del total del inventario de la SZH.	

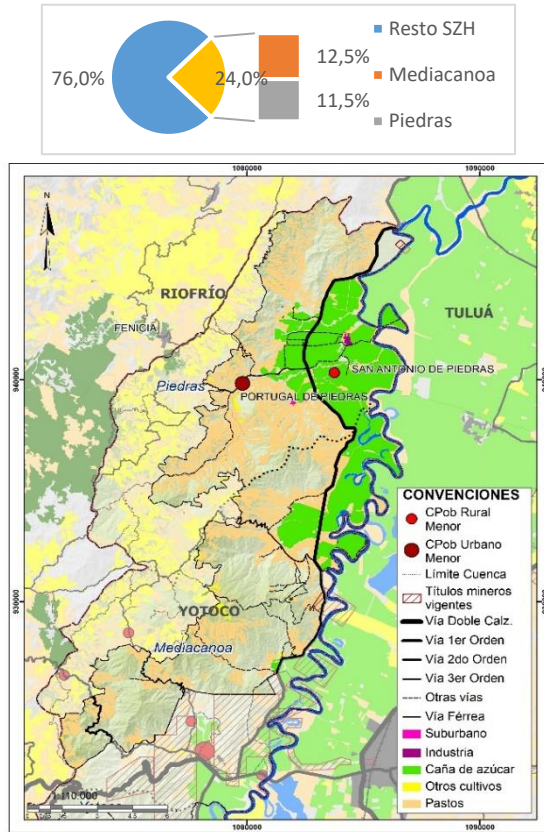
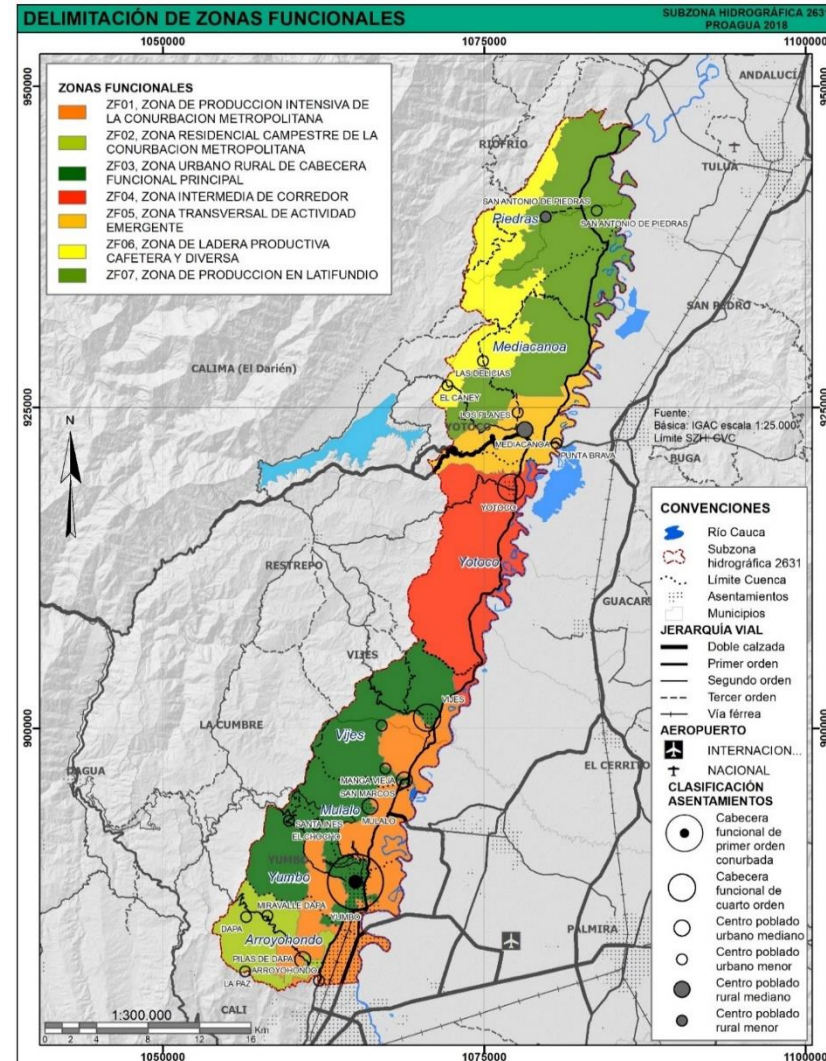


Figura 44. Zonas funcionales de la SZH 2631



Fuente: Elaboración propia sobre cartografía CVC e IGAC, escala 1:25.000

7. CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS Y LAS ÁREAS INDICADORAS DE CONDICIONES DE AMENAZA Y RIESGO

En el Decreto 1076 de 2015, se considera que la planificación territorial es fundamental para gestionar el riesgo y que es necesario definir e implementar directrices para la ordenación de cuencas, es así como en la guía POMCA, se incluye la gestión del riesgo, como determinante ambiental del ordenamiento territorial, mediante la evaluación de los eventos de movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, e incendios forestales o de la cobertura vegetal.

7.1. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE AMENAZA Y EVENTOS AMENAZANTES

La consolidación, validación y actualización del inventario de eventos priorizados en la formulación del POMCA se desarrolló a partir del análisis de información histórica, contenida en diferentes bases de datos e información obtenida mediante actividades de campo.

Se llevaron a cabo 105 entrevistas semiestructuradas a los habitantes de la zona de estudio, la cual fue consignada en un formato para encuestas, adaptado del “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas” (MADS, 2014). En este formato se estableció el año de ocurrencia de los eventos identificados por la comunidad, y la fuente que los produjo, La localización de las entrevistas hechas a las comunidades se muestran en la Figura 45.

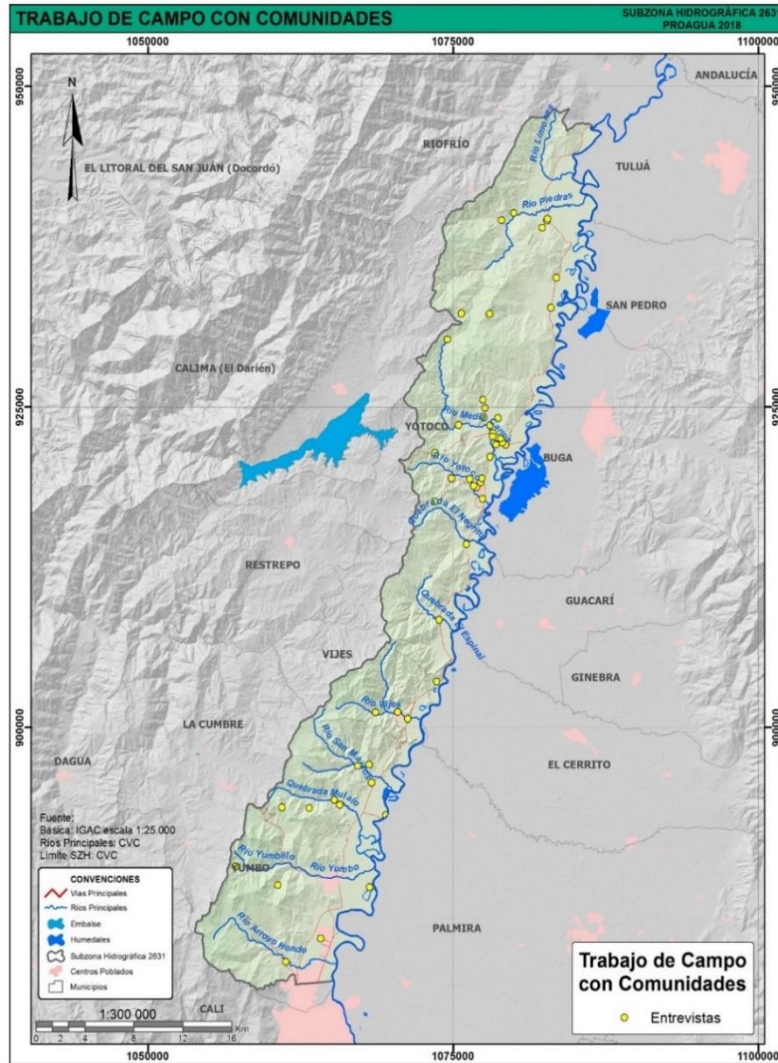
7.1.1. Análisis de eventos históricos

A partir de la consolidación de eventos históricos registrados, se obtuvo el catálogo de eventos históricos para la zona de estudio, el cual cuenta con 224 reportes, de los cuales 113 corresponden a eventos de movimientos en masa⁶, 85 corresponden a eventos de inundación, 23 corresponden a eventos de incendios de la cobertura vegetal y 3 corresponden a eventos de avenidas torrenciales, ver Figura 46. La información permitió concluir que los eventos de inundación se presentan principalmente en la parte baja de las cuencas de los ríos Yotoco y Mediacanoa. Con respecto los eventos de incendios de la cobertura vegetal, las zonas más afectadas corresponden a la parte alta de las cuencas de los ríos Yumbo y Mulaló, las avenidas torrenciales se presentan en la parte baja de la cuenca del río Yumbo.

De manera general se tiene que los movimientos en masa están concentrados en las cuencas del norte (Mediacanoa y Piedras), donde se registraron la mayoría de los procesos de mediana magnitud.

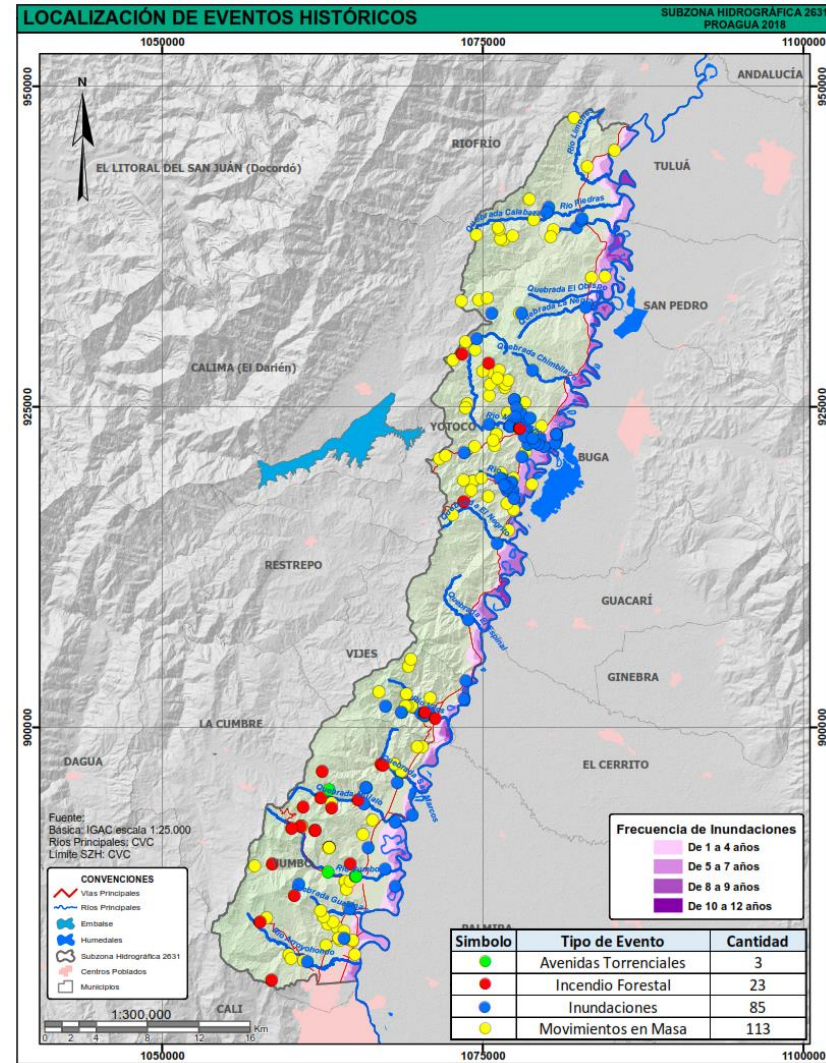
⁶ La base de datos sobre procesos de movimiento en masa se realizó por medio de la recopilación de información de diferentes fuentes, incluyendo la CVC, el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD) y reportes periódicos de eventos en la región.

Figura 45. Localización de las entrevistas a las comunidades hechas en campo



Fuente: Elaboración propia, 2018

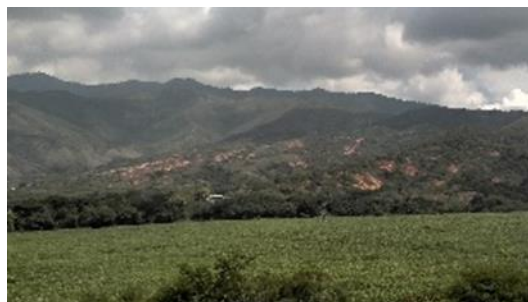
Figura 46. Localización de eventos históricos



Fuente: Elaboración propia, 2018

Otros movimientos en masa de magnitud considerable se encuentran en la cuenca del río San Marcos y están asociados con la explotación minera a cielo abierto de calizas, ver Foto 9. Los deslizamientos se evidencian en la parte baja de las cuencas y están asociados principalmente a la construcción de las vías, mientras que las caídas y las reptaciones se presentan en la parte alta de las cuencas de estudio.

Foto 9. Actividad Denudativa y Movimientos en Masa - Cuencas Mediacanoa y Piedras



Procesos de erosión en surcos y cárcavamientos de mediana a gran magnitud Cuenca del río Mediacanoa



Movimiento en masa vereda Bajo Miravalles - Municipio de Riofrío.

Fuente: Proagua, 2018

La recopilación de información, la interpretación de imágenes de sensores remotos y el trabajo de campo, se emplearon como insumos para la generación de hipótesis sobre los mecanismos y factores condicionantes para la ocurrencia de movimientos en masa.

7.1.2. Análisis de periodos de ocurrencia

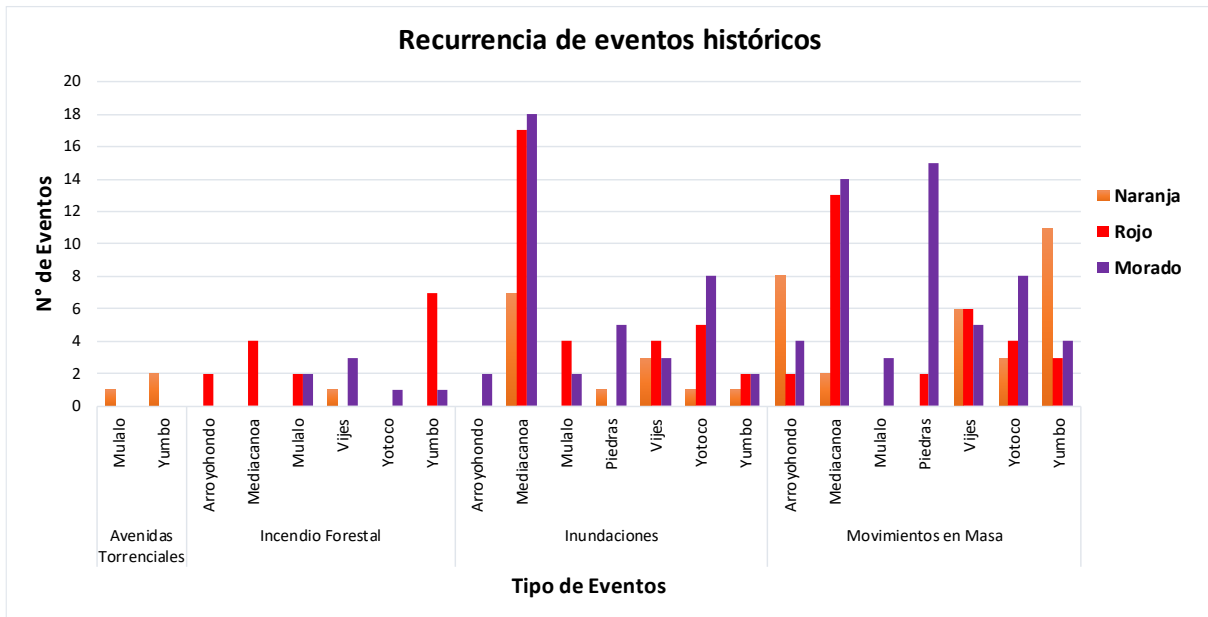
La recurrencia de los eventos históricos en la SZH 2631, se presenta en la Figura 47, estos eventos se evaluaron teniendo en cuenta el *año de ocurrencia* y el número de eventos registrados, para determinar si han sido frecuentes o esporádicos. Los periodos de ocurrencia se diferenciaron por colores así: Rojo (eventos más recurrentes, es decir, más de un evento en los últimos 15 años), Naranja (un evento en los últimos quince años o los ocurridos en un período de tiempo comprendido entre los 15 a 50 años), Amarillo (para los eventos pasados, es decir, para los ocurridos por encima de los 50 años) y Morado (eventos donde la información de la fecha de ocurrencia o de su ubicación es insuficiente para catalogar su recurrencia).

Los eventos de inundación son recurrentes en las cuencas de los ríos Mediacanoa, Yotoco, Mulaló, Yumbo y Vijes, la cuenca del río Piedras reporta la ocurrencia de un evento de inundación en los últimos 15 años, en tanto que la cuenca del río Arroyohondo no reporta eventos de inundación. Los eventos de avenidas torrenciales no reportan eventos recurrentes (representados en color rojo), para la cuenca Mulaló, se registró un evento, mientras que los eventos reportados en la cuenca del río Yumbo muestran un evento ocurrido en un tiempo comprendido entre los 15 a 50 años (24/04/1974) y un evento en los últimos 15 años (15/04/2011). De otra parte, los eventos de movimientos en masa son recurrentes en las cuencas, exceptuando a la cuenca Mulaló, donde no se reporta la ocurrencia.

Con relación a los eventos de incendios de la cobertura vegetal, la recurrencia se reporta en las cuencas de Yumbo, Mediacanoa, Arroyohondo y Mulaló, la cuenca del río Vijes reporta un

evento de incendio de la cobertura vegetal por lo que su recurrencia se muestra en color naranja (un evento en los últimos quince años), en tanto que en la cuenca de los ríos Piedras y Yotoco no se reportan eventos de incendios de la cobertura vegetal.

Figura 47. Frecuencia de ocurrencia (recurrencia) de los eventos Amenazantes



Fuente: Elaboración propia, 2018

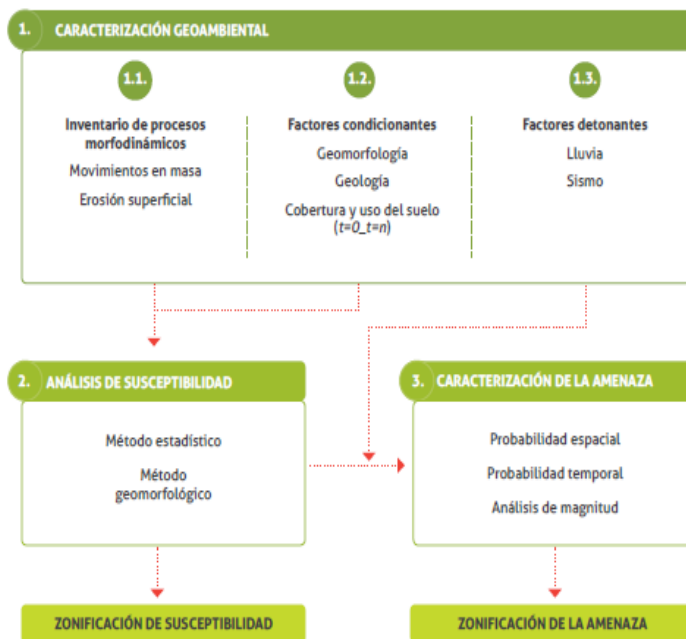
7.2. IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS AMENAZANTES Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

7.2.1. Movimientos en masa (MM)

El desarrollo del análisis de la amenaza por procesos de remoción en masa se llevó a cabo siguiendo una modelación por el método bivariado, combinado con criterios geomorfológicos y evidencias de campo. Este análisis está basado en la metodología planteada en la *Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017)*. La Figura 48 presenta el marco de referencia para la evaluación de susceptibilidad y amenaza a escala 1:25000.

En el desarrollo de la zonificación de la amenaza por eventos de movimientos en masa, se llevó a cabo una fase de validación, mediante la cual se retiraron los procesos relacionados con deslizamientos en la parte baja del río Cauca en zonas de llanura y zonas urbanas, con pendientes menores al 5%. De la distribución de los 111 puntos con presencia de movimientos analizados y validados, 33 son tipo caída, 72 de tipo deslizamiento y 6 de tipo flujo.

Figura 48. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000



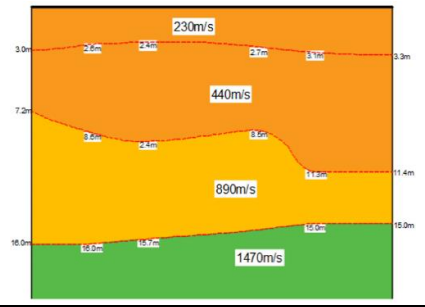
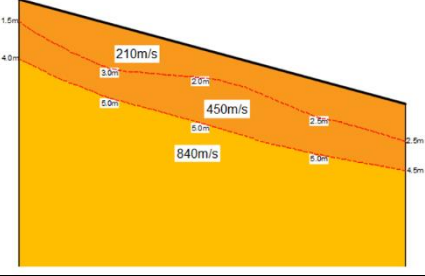
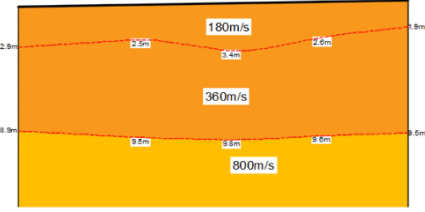
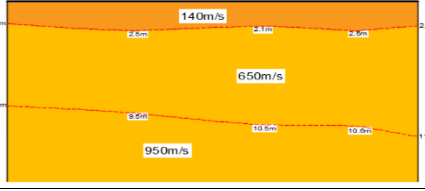
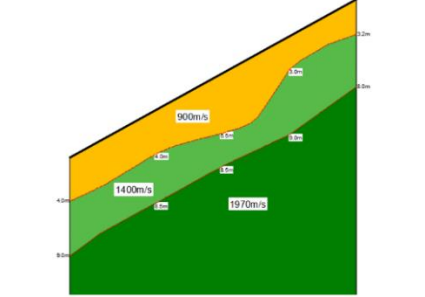
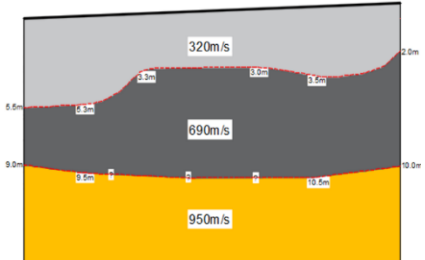
Fuente: (SGC, 2017)

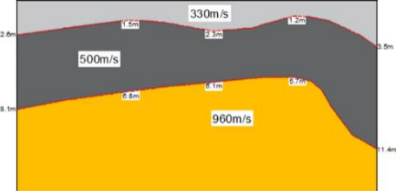
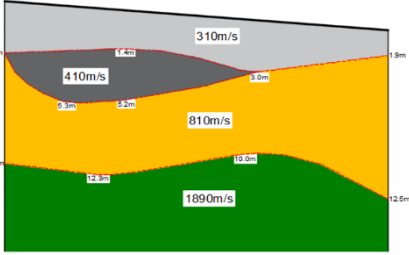
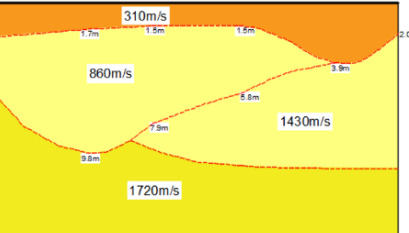
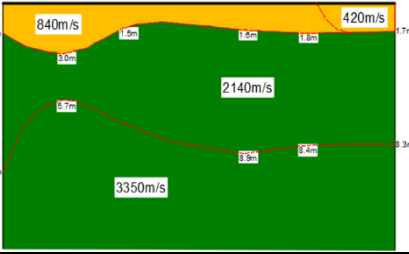
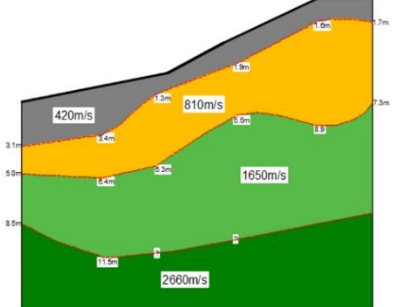
Validación geológica y geomorfológica. Las unidades geológicas y geomorfológicas generadas por en el estudio geológico fueron validadas desde un punto de vista geotécnico para los movimientos en masa, teniendo en cuenta el tipo de proceso, la condición de la pendiente y la cobertura de suelo. Para la SZH se identificaron dos unidades de suelo: SrRiid (suelo residual producto de la alteración de roca ígnea intermedia a dura) y SrRiirv (suelo residual producto de la alteración de roca ígnea intermedia de los gabros del río Volcán), relacionadas a las unidades de roca Riid y Riirv respectivamente.

Caracterización geotécnica. Se adelantaron jornadas de campo, en las cuales se desarrollaron líneas de refracción sísmica, sondeos eléctricos verticales, trincheras y apiques. A partir de la información de estos ensayos, se elaboró el mapa de resistencia a la compresión de las unidades de roca. Hacia la parte sur de la zona, el macizo rocoso presenta mayores valores de resistencia debido a que la roca tiene menor grado de diaclasamiento, así mismo en la parte norte la roca es más cristalina, pero está más diaclasada y deleznable, por ende, con menor resistencia.

Para determinar los espesores de suelo que pueden mobilizarse en la zona de estudio, se utilizaron las interpretaciones dadas a los ensayos de sondeos eléctricos verticales (SEV) y líneas de refracción sísmicas (LRS), este método permite evaluar los espesores de los horizontes del perfil de suelo por medio del análisis de la velocidad de propagación de ondas compresionales (V_p). En la Tabla 45 se observan los resultados de la interpretación de las LRS.

Tabla 45. Interpretación de las Líneas de Refracción Sísmica realizadas en campo

LRS	Descripción	Tomografía de la LRS
LRS1	Se identificaron cuatro; los dos primeros se correlacionan con suelos amarillentos, producto de la meteorización de la roca, alcanzan una profundidad de 7,20 a 11,4m y velocidad de 230 y 440m/s de consistencia blanda a media, susceptibles a los fenómenos de remoción en masa. El tercer horizonte se correlaciona con la roca meteorizada, alcanza una profundidad de 15,5m y velocidad de 890m/s de consistencia blanda a media. Finalmente, el cuarto horizonte se correlaciona con el basamento rocoso con velocidad de 1.470m/s, constituido muy por rocas diabásicas fracturadas a densas pertenecientes a la Formación Volcánica.	
LRS2	El primer horizonte alcanza una profundidad de 1,5 a 3,0m y velocidad de 210 m/s, se correlaciona con suelos de consistencia blanda, susceptibles a los fenómenos de remoción en masa. El segundo horizonte alcanza una profundidad de 4,0 a 5,0m y velocidad de 450 m/s, correlacionable con suelos de consistencia media-dura. El tercer horizonte se define la roca meteorizada de consistencia media-dura a profundidades mayores de 4,0 y 5,0 metros con velocidad de 840 m/s.	
LRS3	Se definen tres horizontes de velocidad; los dos primeros se correlacionan con suelos de consistencia muy blanda a blanda, susceptibles a los fenómenos de remoción en masa, alcanzan profundidades de 2,90 a 9,80m y velocidades de 180 a 360m/s respectivamente. El tercer horizonte se correlaciona muy posiblemente con la roca diabásica meteorizada de consistencia blanda-media con velocidad de 800 m/s.	
LRS4	Se definen tres horizontes de velocidad; el primer horizonte alcanza una profundidad de 1,9 a 2,5 m y velocidad de 140 m/s, se correlaciona con suelos de consistencia muy blanda, susceptibles a los fenómenos de remoción en masa. El segundo y tercer horizonte se correlaciona con la roca meteorizada de consistencia blanda a dura, alcanza profundidades de 8,9 a 11,5m y mayores a esta con velocidades de 650 y 950 m/s.	
LRS5	Se identificaron tres horizontes de velocidad; el primer horizonte se correlaciona con la roca meteorizada de consistencia de consistencia dura, alcanza una profundidad de 3,0 a 5,5m y velocidad de 900m/s. El segundo horizonte alcanza una profundidad de 8,0 a 9,0m y velocidad de 1.400 m/s, se correlaciona con rocas fracturadas de consistencia dura. Finalmente, el basamento rocoso de consistencia dura a muy dura se presenta a profundidades mayores de 8,0 y 9,0m con velocidad de 1.970 m/s.	
LRS6	El primer horizonte alcanza una profundidad de 2,0 a 5,5 m y velocidad de 320 m/s, correlacionable con un flujo de lodo de consistencia blanda constituido por bloques de diversos tamaños embebidos en un matriz arcillo-limo-arenosa. Suprayaciendo con la roca, se define un flujo de lodo con velocidad de 690 m/s de consistencia dura, el cual está constituido por bloques de diversos tamaños, embebidos en una matriz arcillo-limo-arenosa de color amarillento. La roca meteorizada se define después de los 9,0m de profundidad con velocidad de 950 m/s se correlaciona con rocas diabásicas meteorizadas de la Formación Volcánica.	

LRS	Descripción	Tomografía de la LRS
LRS7	Los resultados nos definen tres horizontes de velocidad; los dos primeros se correlacionan con flujos de lodo que alcanzan profundidades entre 1,2-3,5 a 5,7-11,4 my velocidades del orden de 330 a 500m/s de consistencia blanda a dura. El tercer horizonte se correlaciona con la roca diabásica perteneciente la Formación Volcánica de consistencia dura con velocidad de 960 m/s.	
LRS8	El primer horizonte alcanza una profundidad entre 1,7 a 5,3 m y velocidad de 310 a 410 m/s, se correlacionan con depósitos de ladera provenientes desde las partes altas constituidos por detritos de diversos tamaños embebidos en una matriz arcillo-limo-arenosa de color grisáceo-negruzco, de consistencia blanda-media. El segundo horizonte se correlaciona con la roca diabásica meteorizada de consistencia dura, alcanza una profundidad de 10,0 a 12,5 m y velocidad de 810m/s. El tercer horizonte se correlaciona con el basamento rocoso de consistencia muy dura con velocidad de 1.890 m/s, constituido por rocas diabásicas de la Formación Volcánica.	
LRS9	Los resultados definen 4 horizontes de velocidad; el primer horizonte alcanza una profundidad de 1,5 a 3,9 m y velocidad de 310 m/s, se correlaciona con suelos de consistencia blanda. El segundo, se correlaciona con rocas terciarias meteorizadas de la Formación Vijes, alcanzan una profundidad de 5,8 a 9,8m y velocidad de 860 m/s de consistencia media. El tercer horizonte alcanza una profundidad de 9,9 m y velocidad de 1.430 m/s, correlacionable con rocas terciarias fracturadas de la Formación Vijes de consistencia dura. El cuarto, se correlaciona con el basamento rocoso de consistencia dura a muy dura, constituido por rocas terciarias (areniscas, limolitas, arcillolitas, calizas) de la Formación Vijes, se presenta a profundidades mayores de 6,1 y 9,9 m con velocidad del orden de 1.720 m/s.	
LRS10	Se presentan tres horizontes de velocidad; el primer horizonte se correlaciona con la roca diabásica meteorizada, alcanza una profundidad de 1,80 a 3,3m y velocidad de 840m/s de consistencia blanda-media. El segundo alcanza una profundidad de 5,7 a 10,3m y velocidad de 2.140m/s, correlacionable con rocas diabásicas fracturadas de consistencia dura pertenecientes a la Formación Volcánica. El tercer horizonte se correlaciona con el basamento rocoso constituido por rocas diabásicas densas con velocidad de 3.350 m/s de consistencia muy dura.	
LRS11	El primer horizonte se correlaciona con depósitos de ladera de consistencia blanda-media, alcanza una profundidad de 1,30 a 3,40 metros y velocidad de 420 m/s. El segundo horizonte se correlaciona con rocas diabásicas meteorizadas de consistencia media, alcanzando una profundidad de 5,00 a 8,90 metros y velocidad del orden de 810 m/s. El tercer horizonte se correlaciona con rocas diabásicas fracturadas de consistencia dura a muy dura, alcanzan una profundidad de 8,50 a 11,90 metros y velocidad del orden de 1.650 m/s. Finalmente, el cuarto horizonte se correlaciona con el basamento rocoso con velocidad de 2.660 m/s de consistencia muy dura, constituido por rocas diabásicas densas pertenecientes a la Formación Volcánica.	

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para el análisis de estabilidad en el presente estudio, se tuvieron en cuenta las metodologías y valores típicos de la bibliografía, relacionadas con los parámetros geomecánicos de i) Relación de Vacíos, ii) Resistencia no drenada del suelo, iii) Angulo de fricción drenado del suelo, iv) Parámetros de cohesión y ángulo de fricción, v) Resistencia al corte drenado de suelos

cohesivos y vi) Parámetros de resistencia para el macizo rocoso. Para este último parámetro, se realizó una modelación en el software RocData V.3.0, tomando como insumos los valores obtenidos en la campaña de campo del martillo Schmidt, los ensayos de carga puntual sobre los bloques extraídos de las unidades de roca y las características de la clasificación de Hoek & Brown (1980) las cuales son la resistencia a la compresión, el grado de alteración de la roca, el índice de resistencia geológica y la constante de resistencia de la roca para las condiciones pico.

La cohesión en las unidades de roca obtenida con el análisis en RocData, obtiene valores conservadores, teniendo en cuenta que el mecanismo de falla en las unidades de roca está asociado a las condiciones de diaclasamiento de la unidad y la altura del talud, donde el parámetro de cohesión tiene menor grado de importancia, este parámetro se reduce a valores coherentes con el mecanismo de falla para el modelamiento.

Las etapas del proceso a través de las cuales se obtuvo la zonificación de amenaza de remoción en masa fueron: A. Caracterización geoambiental; B. Análisis de susceptibilidad; C. Análisis de estabilidad; D. Caracterización de la amenaza.

A. Caracterización Geoambiental. Permite la formulación y comprobación de la hipótesis con la que se pueda establecer la relación entre diferentes factores geoambientales y la ocurrencia de movimientos en masa. Dado que el objetivo final es una zonificación tomando como base el inventario de procesos morfodinámicos, todos los datos de entrada para el cálculo de susceptibilidad deben ser representados espacialmente. Los factores condicionantes configuran la predisposición del terreno a la ocurrencia de movimientos en masa, reconociéndolos como intrínsecos o inherentes al área de estudio dado que se considera que su variación es lenta en el tiempo. Dichos factores se presentan a continuación:

Pendiente: Con el fin de analizar la pendiente como factor condicionante, se tomó la pendiente de la ladera, la cual se deriva del Modelo Digital de Elevación (DEM). Su valor se expresa en grados de 0° a 90°. En general la zona presenta pendientes de moderadamente abruptas a abruptas en las zonas de laderas de la región oeste y condiciones de pendiente plana a suavemente inclinada hacia las llanuras aluviales de la margen derecha del río Cauca.

Curvatura: Determina el grado de convexidad o concavidad de la superficie en la dirección de la pendiente (longitudinal). El valor 0 indica que la superficie es plana, valores positivos indican que la superficie es convexa hacia la celda y valores negativos indican concavidad hacia la celda. En la zona predominan laderas planas con un porcentaje menor de laderas cóncavas y convexas de bajo grado.

Unidades Geológicas Superficiales (UGS): Corresponden a un conjunto (homogéneo) de materiales geológicos que afloran en la superficie, que provienen del mismo origen y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geomecánico, hasta algunas decenas de metros por debajo de la superficie del terreno (Hermelín, 1985 e INGEOMINAS, 2004b). En total se encuentran 6 unidades de roca y 10 unidades de suelo.

Subunidades Geomorfológicas: Una subunidad geomorfológica indicativa de inestabilidad es aquella cuyas características morfológicas y morfométricas, así como algunas propiedades

intrínsecas (litología, fracturamiento, meteorización, entre otras), se conjugan en un espacio físico y determinan la generación de un movimiento en masa. La descripción de las subunidades geomorfológicas se describieron en el subcapítulo 3.9 del presente documento.

Coberturas del Suelo: Se resalta que las coberturas con mayor área son los cultivos permanentes herbáceos (12,76%), pastos limpios (17,95%), los herbazales (12,99%) y los arbustales (10,15%).

Cambios de uso del suelo: Para el análisis de cambio de cobertura del suelo se utilizaron las coberturas de los años 2002 y 2016. La categoría de herbazal se destaca por presentar la mayor proporción de superficie que se mantiene a través de los cambios evaluados con un 14% del total, seguido de esta condición la unidad de cultivos permanentes presenta un 12,4%.

B. Análisis de susceptibilidad. La susceptibilidad es la probabilidad de que un evento ocurra en cierta área dependiendo de las condiciones del terreno. La susceptibilidad es de importancia ya que indica a partir de los factores condicionantes, la medida en que un territorio puede verse afectado por movimientos en masa (Gazette, 2005). En este orden de ideas, la susceptibilidad actúa como el componente espacial de la amenaza, ya que la evaluación de la amenaza consiste en la predicción de lo que podrá ocurrir en el futuro.

Modelo Peso de evidencia: Para el análisis de la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de movimientos en masa, se usó un método estadístico bivariado, conocido como Pesos de evidencia (Wolfe, por sus siglas en inglés), combinado con el conocimiento de la zona a partir de subunidades geomorfológicas y criterios de campo. Es importante resaltar que no todos los deslizamientos reportados en la base de eventos consolidados, tienen la suficiente extensión y magnitud para ser cartografiados a escala 1:25000, por lo cual a estos se les da un área mínima de trabajo de 441 m² correspondiente a un pixel de 21x21 m. Como finalidad de este proceso, se calculó la función de susceptibilidad o LSI (landslide susceptibility index, por sus siglas en inglés) y luego se validó mediante una curva de éxito, que mide la bondad de ajuste de la función de susceptibilidad a los movimientos en masa inventariados (Dahal et al., 2008).

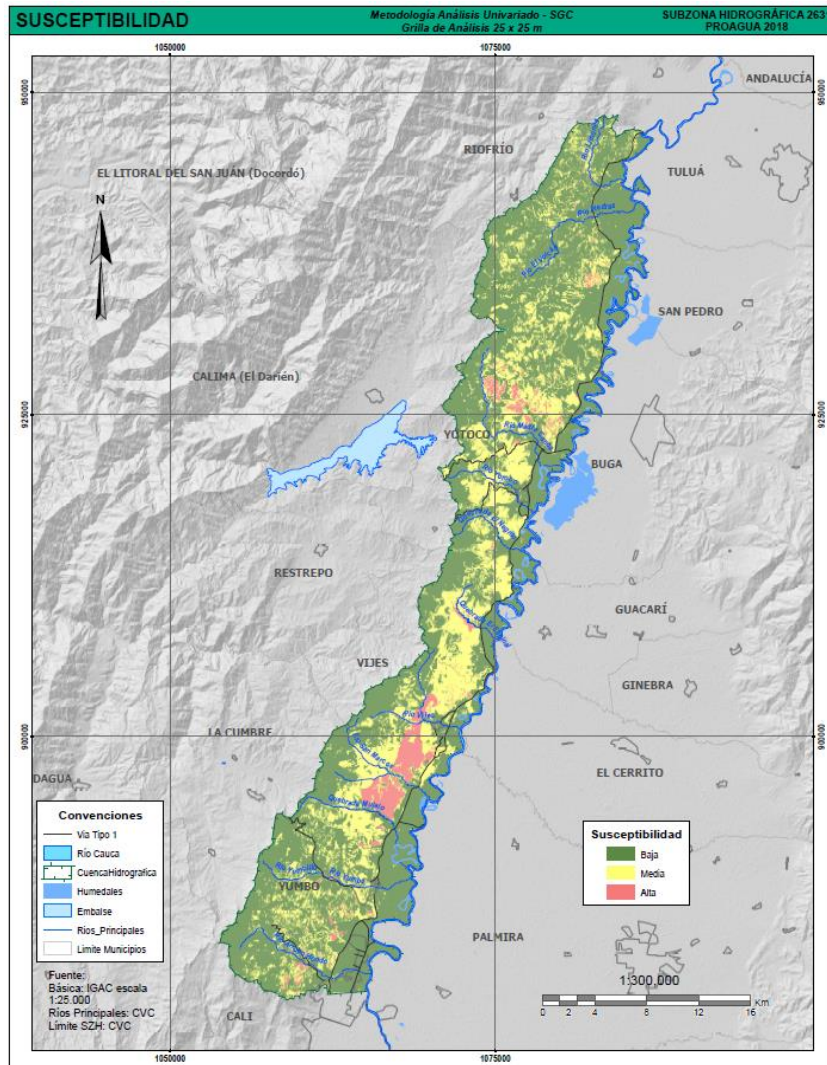
El mapa de susceptibilidad (Figura 49) presenta que el 96,5% del área de los movimientos en masa están en susceptibilidad media y alta. Las leyendas generadas para el mapa de susceptibilidad se presentan en la Tabla 46.

Tabla 46. Leyendas del mapa de susceptibilidad

Categoría	Tipos y subtipos de movimientos	Características geoambientales – factores condicionantes
Alta	Movimientos en masa activos e inactivos o antiguos del inventario de procesos morfodinámicos. Se incluyen caída de bloques con pendiente mayor a 45°, en zonas con fuerte intervención antrópica minera y deslizamientos en espesores de suelos residuales de 3 m a 10 m de espesor.	Unidades de roca con presencia de suelos residuales y cobertura vegetal baja, zonas con laderas erosionadas en favor de la pendiente estructural.
Media	Unidades de roca diaclasada en pendiente menor a 30° con presencia de flujos locales por intervención antrópica minera o cambio de uso con pérdida de cobertura con escorrentía superficial.	Unidades geológicas de roca diaclasada en zonas de ladera denudada con persistencia de cobertura y vegetación.
Baja	Zonas de pendiente menor a 12° en suelos con cobertura adecuada y bajo cambio de cobertura.	Subunidad geomorfológica de llanuras y terrazas fluviales de baja pendiente protegido con cobertura vegetal.

Fuente: PROAGUA, 2019

Figura 49. Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa



Fuente: PROAGUA, 2019

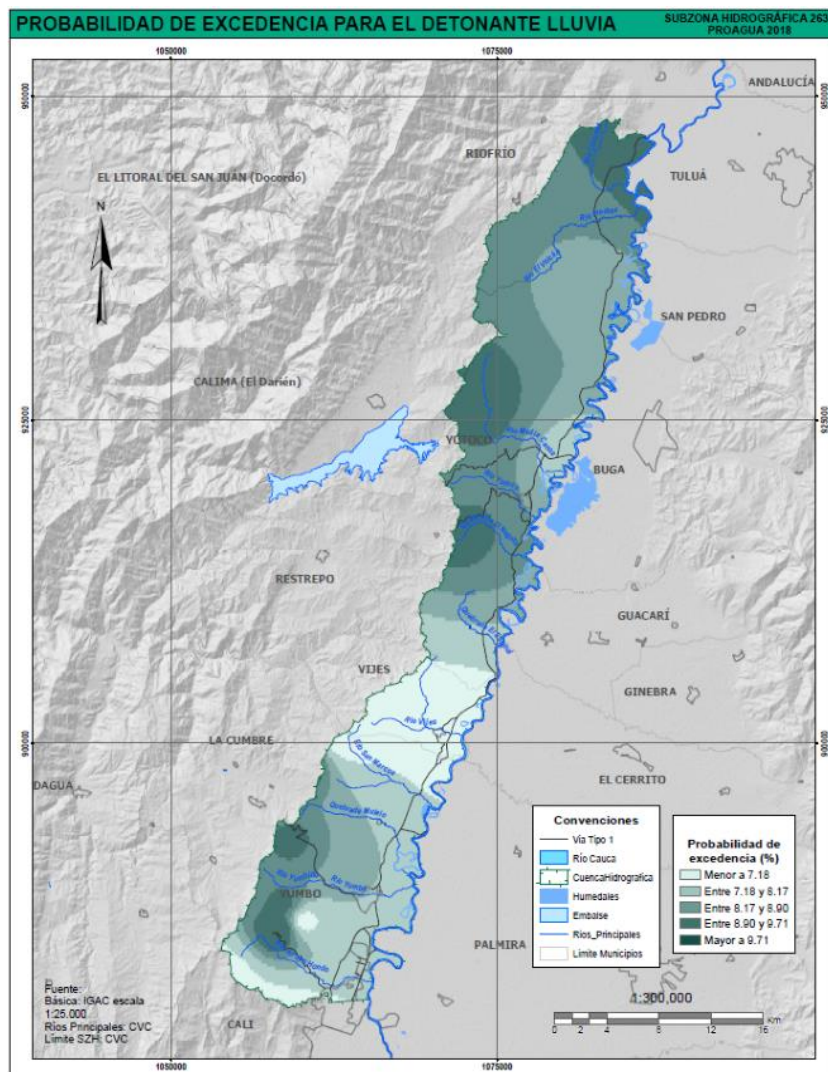
Análisis de detonantes Lluvia: Se estudió el efecto de la lluvia como detonante de procesos de movimiento en masa, este análisis se realizó a partir de información de eventos históricos y su correlación con eventos de precipitación registrados en las estaciones climatológicas de la SZH. Se estudiaron 20 estaciones explicadas en el capítulo de clima del presente informe, en un periodo de análisis de 1986 a 2016, con una longitud de 31 años. Se analizaron eventos de MM representativos por área y afectación, analizando la lluvia crítica antecedente para 32 eventos que fueron localizados cronológicamente, analizando la cantidad de días ocurridos entre cada evento, donde el evento más antiguo se identifica como el número 1 y se realiza el acumulado.

De los resultados se puede inferir que la lluvia de 24 horas evidencia la generación de procesos y que la ventana de tiempo de lluvia acumulada para la generación de procesos está entre 5 y 10 días, la lluvia antecedente está entre 45 mm y 65 mm. Para los análisis posteriores se decidió trabajar con el valor de 5 días, el cual se consideró representativo, dado que se tienen en cuenta

periodos secos de más de 3 días que harían que los movimientos en masa no ocurran. Posteriormente, con base en las precipitaciones acumuladas para 5 días muestreadas, se procedió a identificar la tendencia de la precipitación acumulada y de esta forma poder estimar la precipitación acumulada para un periodo de 5 días que podría generar movimientos en masa (umbral de precipitación acumulada).

Se realizó un análisis estadístico de probabilidad de excedencia de la ocurrencia de movimientos en masa considerando el detonante lluvia. Si la precipitación acumulada de la muestra es mayor que el umbral de precipitación acumulada se consideraba como una muestra que excede el umbral de precipitación, el tamaño de muestra corresponde al número total de datos de precipitación media menos el tamaño de muestra (en este caso es 5). En la Figura 50, se muestra la probabilidad de excedencia para la SZH 2631.

Figura 50. Probabilidad excedencia del detonante lluvia



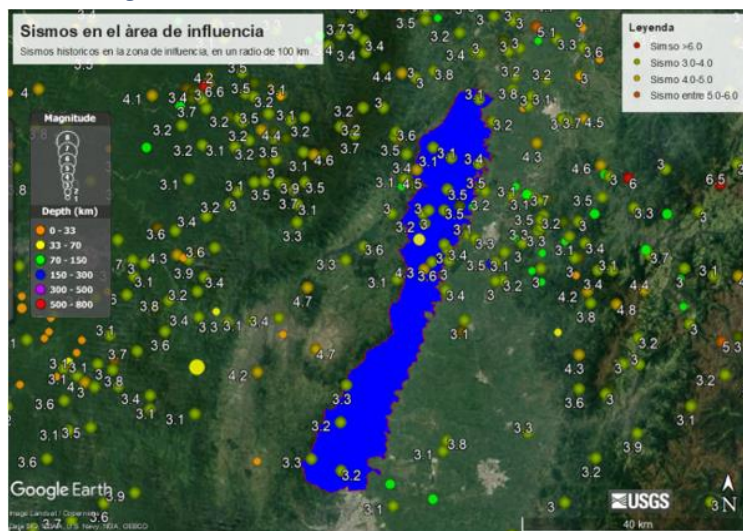
Fuente: PROAGUA, 2019

Se puede interpretar que la detonante lluvia tiene mayor relevancia en la zona norte donde se encuentran las estaciones Mediacanoa y Farfán, mientras que la condición de lluvia tiene menor peso hacia el sur de la zona, en las poblaciones de Yotoco y Vijes.

Análisis de detonante sismo: Con el fin de contextualizar la actividad sísmica, se consultó como fuente de información la base de datos disponible en el catálogo sísmico del Servicio Geológico Colombiano (SGC) desde el 1 de junio de 1993 hasta el 28 de febrero de 2018, los eventos históricos y el catálogo de eventos sísmicos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Para este proyecto se decidió no evaluar aquellos sismos con magnitudes menores a 3,0, ya que no afectarán de manera significativa la zonificación realizada. Se incluyen los sismos que se encuentran en la zona de influencia del campo intermedio (100 km) al área de estudio.

En la Figura 51, se muestra los sismos de la base de datos final empleados en el análisis. A partir de esta información, se buscó determinar el efecto de la actividad sísmica, evaluando la magnitud de la Aceleración Horizontal pico efectiva (Aa). Una vez se determinó la Ley de Atenuación (Donovan 3) para el análisis, se realizó una evaluación del efecto que tienen los sismos y se construyó un mapa de aceleraciones. Para tener en cuenta efectos de sitio en periodos cortos, se llevó a cabo una amplificación dependiendo del tipo de perfil de suelo (depósitos aluviales, suelos residuales de formación volcánica, formaciones de Roca).

Figura 51. Actividad sísmica en el área de estudio



Fuente: PROAGUA, 2019 con base en información de SGC y USGS

C. Análisis de estabilidad por modelo de talud Infinito

Complementario al análisis de susceptibilidad por el método de WofE se realizó un análisis de estabilidad con la metodología de talud infinito, que permitió llegar a un modelo de amenaza por estabilidad, con lo cual se pudo contrastar los resultados obtenidos en la amenaza a través de susceptibilidad y detonantes. Para el cálculo de la amenaza en unidades de suelo se calculó el factor de seguridad (fs) de cada unidad o celda de suelo, mediante el análisis de equilibrio límite en talud infinito, propuesto por la guía metodológica del SGC. En la Tabla 47 se presenta la descripción de cada una de las coberturas utilizadas en el modelo de talud infinito.

Tabla 47. Coberturas implementadas en el Modelo de Talud Infinito

Cobertura del Modelo	Descripción
Pendiente	Se calculó a partir del DEM de la zona, adoptando el mayor valor del píxel de resolución, pero se dividieron en más rangos para dar más claridad. Entre 16° y 35° es donde se presentan la mayoría de movimientos en masa.
Altura del agua (hw)	Medida desde la superficie del terreno hasta la cota de la lámina del nivel freático, según la precipitación y tasa de evapotranspiración e información de los SEV y teniendo en cuenta
Espesor de material (h)	Los espesores de suelo se adoptaron de las interpretaciones dadas a la exploración sísmica y los registros de los apiques y trincheras realizados. Cada unidad geológica superficial (UGS) tiene asignado un espesor, los depósitos aluviales y coluviales presentan profundidades de 20 m adoptados de la interpretación de los SEV.
Cohesión efectiva c'	La cohesión de los materiales, se adoptó de acuerdo al análisis de Caracterización Geotécnica. Cada unidad tiene asignado un valor, la cohesión en las unidades de roca es baja, porque está asociada a la falla de los suelos residuales superficiales de bajo espesor y no a la condición de falla del macizo rocoso que está dada por la condiciones de diaclasamiento del mismo.
Angulo de fricción efectivo (Φ')	Se adoptó de acuerdo con el análisis presentado en la Caracterización Geotécnica, a cada unidad geológica de geotecnia se asignó un valor, las unidades de roca obtienen el ángulo de fricción de las modelaciones realizadas en RocData.

Fuente: PROAGUA, 2019

Se utilizaron los rangos de clasificación del factor de seguridad (FS) obtenidos de la resolución 227 de 2006 de la Dirección de Prevención y Atención de emergencias de Bogotá, DPAAE (hoy IDIGER de la ciudad de Bogotá). Estos rangos son usados para el control urbano dentro de una escala 1:5.000, y son estrictos permitiendo ajustar las condiciones de la zonificación. En los modelos se tiene en cuenta, para los espesores de tabla de agua, los resultados de la exploración geofísica. Para las condiciones de sismo se adoptó el valor de Aa para la zona de 0,25 (NSR-10). El modelo finalmente se divide en 5 iteraciones, expuestas en la Tabla 48.

Tabla 48. Iteraciones de Modelo de Talud Infinito

Iteración	Descripción
No. 1	Se considera una condición extrema, dado tiene en cuenta las propiedades geomecánicas de cada suelo, la inclusión de sismo y espesores de tabla de agua de hasta 19 metros.
No. 2	Se considera una condición extrema, dado tiene en cuenta las propiedades iniciales, la inclusión de sismo y espesores de tabla de agua iguales a la mitad del espesor de suelo considerado para la falla.
No. 3	Se considera una condición normal, dado que tiene en cuenta las propiedades iniciales, no incluye sismo y espesores de tabla de agua iguales a la mitad del espesor de suelo considerado para la falla.
No. 4	Se considera una condición extrema, tiene en cuenta las propiedades iniciales, incluye sismo y espesores de tabla de agua iguales a la mitad del espesor de suelo considerado para la falla, considera espesores de suelo iguales a $\frac{1}{4}$ del espesor planteado en los otros modelos, teniendo en cuenta que espesores de suelo de 20 m en las condiciones de pendiente de los suelos aluviales no son posibles.
No. 5	Se considera una condición normal, tiene en cuenta las propiedades iniciales, no incluye sismo y espesores de tabla de agua iguales a la mitad del espesor de suelo considerado para la falla, además considera espesores de suelo iguales a $\frac{1}{4}$ del espesor planteado en los otros modelos, teniendo en cuenta que espesores de suelo de 20 m en las condiciones de pendiente de los suelos aluviales (entre 2% y 5%) no son posibles.

Fuente: PROAGUA, 2019

D. Evaluación de la amenaza (Caracterización de la amenaza)

Se desarrolló inicialmente con las condiciones de probabilidad de eventos de lluvia y sismo. El periodo de retorno de la lluvia es de 7 años y el de sismo es de 475 años. Cuando los dos eventos

se suman debe ser evaluado bajo el marco de la probabilidad total y en contexto son eventos cuyas condiciones en su ocurrencia son de carácter extremo, por ser necesario que confluyan las dos probabilidades. En el caso de las lluvias se consideró que es un modelo de condiciones normales o de manejo dentro del planeamiento urbano y en este caso de la SZH. Los rangos de detonante lluvia y detonante sismo fueron analizados teniendo en cuenta la media y la desviación estándar de los rangos calculados, los análisis se dividieron en cinco categorías (Tabla 49).

Tabla 49. Rangos de detonante lluvia y detonante sismo

Parámetro	Detonante Lluvia				
Probabilidad de excedencia	>9.71	8.90-9.71	8.17-8.90	7.18-8.17	<7.18
Condición	Muy alta	alta	media	baja	muy baja
Parámetro	Detonante Sismo				
Aa	>0.129	0.119-0.129	0.108-0.119	0.093-0.108	<0.093
Condición	Muy alta	alta	media	baja	muy baja

Fuente: Elaboración propia, 2019

Posteriormente los rangos de amenaza fueron agrupados en tres categorías: Amenaza alta, Amenaza media y Amenaza baja y se procedió al cruce de la susceptibilidad con los factores detonantes, para obtener los siguientes resultados:

Modelo 1: En este modelo se cruzó la susceptibilidad y el detonante lluvia. El resultado presentó que se obtienen valores superiores a 75% de amenaza alta y de 17% en amenaza media. Se consideró que es el modelo de mayor probabilidad y por lo tanto el indicado para continuar la formulación del POMCA.

Modelo 2: En este modelo se cruzaron la susceptibilidad y el detonante sismo. En este modelo se reduce el área en amenaza alta y se aumenta la amenaza media. En este caso no es posible asegurar que el 100% de eventos existentes puedan verse afectados por sismo ya que no existen valores de calibración.

Modelo 3: En este modelo se consideró una condición extrema dado que se requiere cargar el modelo con los dos detonantes, para tal caso se cruzan el modelo 1 y el detonante sismo. Es claro que los dos eventos tienen periodos de retorno diferentes. En este caso el modelo de lluvia es de 7 años y el de sismo de 475 años. El porcentaje de procesos afectados por los dos detonantes es superior a 99%, encontrando la importancia del evento de sismo dentro de un escenario asociado a la ocurrencia de los dos detonantes.

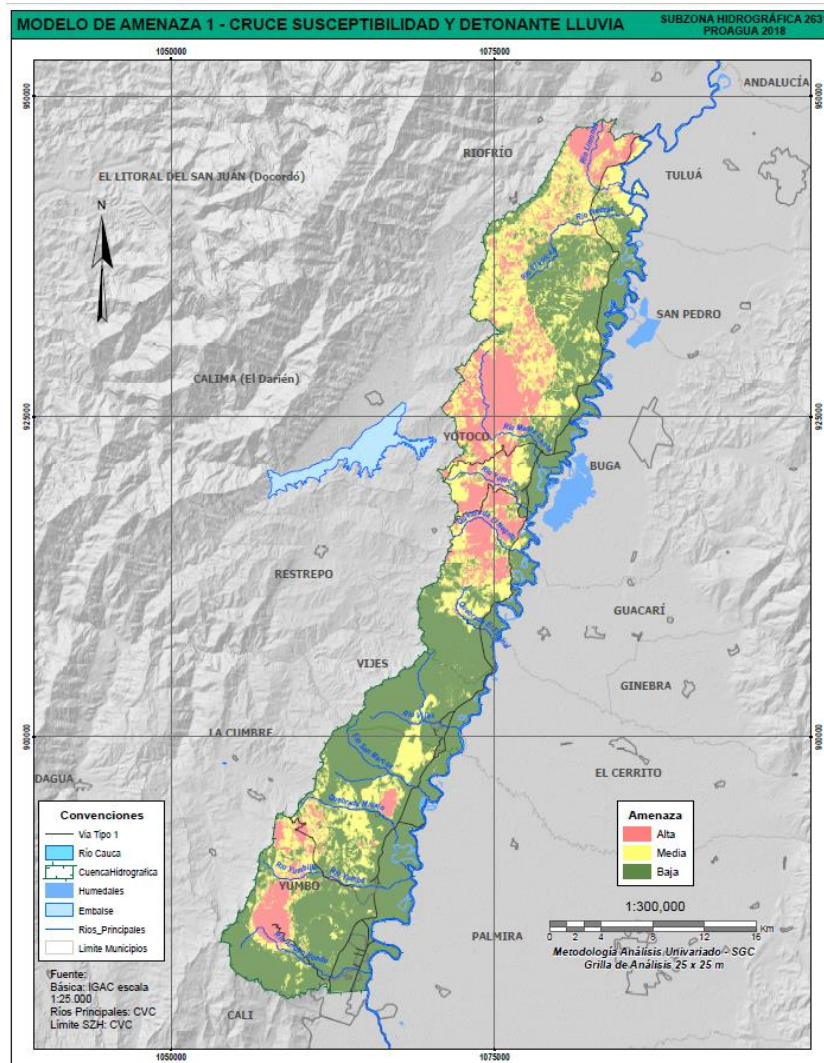
A nivel de susceptibilidad se logró un balance de procesos superior al 96% para susceptibilidad media y alta, lo cual se considera pertinente para generar un proceso de calibración adecuado, de tal forma que el balance del modelo bivariado es aceptable. En la amenaza se obtuvo un balance superior al 94% para amenaza media y alta respecto al modelo 1 con detonante lluvia y el modelo 2 con detonante sismo obtuvo un balance superior al 77% para amenaza media y alta.

Cuando se cruzan el modelo 1 con el detonante sismo (modelo 3) se presenta un desbalance asociado al carácter de probabilidad del efecto sismo ya que la ocurrencia de estos dos eventos

en el mismo instante de tiempo es baja y por ello se considera eventos extremos. En el análisis de los escenarios de amenaza es importante considerar que los detonantes presentan periodos de retorno diferentes y por tanto el modelo 3 puede ser considerado extremo con detonante agua para un periodo de retorno de 10 años y sismo para periodo de retorno de 475 años (aun cuando el horizonte de análisis esta efectuado para 100 años que es lo que se tiene como datos instrumentados y datos históricos soportados con magnitud).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a través de los tres modelos desarrollados, se toma como mapa final de amenaza por eventos de movimientos en masa para la SZH 2631, los resultados obtenidos mediante el modelo 1, en el cual se evalúa como detonante las lluvias, ya que para la zona de estudio es el escenario más probable para que los movimientos en masa se produzcan. En la Tabla 50 y Figura 52 se presentan los resultados con el modelo 1, que es el seleccionado para determinar la amenaza por movimiento en masa de la SZH.

Figura 52. Mapa de amenaza por Movimientos en Masa (modelo 1)



Fuente: PROAGUA, 2019

Tabla 50. Amenaza por Movimientos en Masa (modelo 1)

Cuenca	Amenaza por eventos de Movimientos en Masa			Área (ha)
	Alta (ha)	Media (ha)	Baja (ha)	
Arroyohondo	808,60	637,85	5040,69	6487,14
Yumbo	946,93	1744,30	4024,16	6715,39
Mulaló	295,92	1521,97	2948,67	4766,55
Vijes	37,41	1084,35	7555,68	8677,44
Yotoco	2575,50	3126,32	4882,27	10584,09
Mediacanoa	4100,19	3836,17	6061,53	13997,89
Piedras	2608,97	5841,95	3223,43	11674,35
Total	11373,52	17792,90	33736,43	62902,85

Fuente: PROAGUA, 2019

En los resultados de amenaza por movimientos en masa, se observa que la cuenca de Mediacanoa presenta mayores áreas en categoría de amenaza alta y media, las cuales equivalen a 4.100,2 y 3.836,2 ha respectivamente. Las cuencas de Piedras y Yotoco también reportan áreas considerables en categoría de amenaza alta (2.609 y 2.575,5 ha respectivamente). La cuenca Vijes, tiene susceptibilidad media, pero amenaza baja, esto obedece a que la influencia del detonante lluvia en la zona es baja a muy baja, pero se evidencia la dinámica minera que genera pasivos ambientales importantes asociados a movimientos en masa. Se puede observar que la consolidación urbana hacia las zonas críticas es baja.

7.2.2. Inundaciones

La evaluación de amenaza por inundaciones está mediada, tanto por la información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como por las propias características topográficas y de alteración antrópica de las mismas (MADS, Fondo Adaptación, 2014). Para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza se siguieron los lineamientos metodológicos descritos en la Guía Técnica para la Formulación de POMCAS (MADS, 2014) y el Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA (MADS, Fondo Adaptación, 2014).

Zonificación de la susceptibilidad por inundaciones. A partir de los reportes de eventos históricos ocurridos en las cuencas (descritos en apartes anteriores), y de la información de las precipitaciones tomadas de las estaciones hidroclimatológicas, se analizaron y validaron los eventos de inundaciones registrados en el área de estudio, identificando las precipitaciones como principal detonante. El análisis de los eventos reportados, se llevó a cabo mediante los registros de las lluvias ocurridas los tres días anteriores a la ocurrencia el evento. Además se tuvieron en cuenta las inundaciones ocasionadas por el río Cauca, delimitadas por la mancha de inundación del río Cauca, cuya información fue generada y suministrada por la CVC.

A partir de los reportes de damnificados, consignados en el catálogo de eventos históricos, se jerarquizaron los eventos de inundación, teniendo en cuenta las afectaciones a la población. Se resalta la inundación ocurrida el día 13 de febrero de 2011 en la cuenca del río Mediacanoa, la que reporta pérdida de vidas humanas, y el evento ocurrido el día 23 de abril de 2008 en la cuenca del río Mediacanoa, que reportó 465 damnificados y 93 edificaciones afectadas.

Estudio evolutivo del medio fluvial: Teniendo en cuenta que la dinámica fluvial es un conjunto de procesos complejos activos y que los ríos son entidades dinámicas que evolucionan por según factores hidrológicos, meteorológicos y geomorfológicos (Segura-Serrano, 2014), se analizaron posibles cambios en movimientos fluviales de los principales ríos, a partir de fotografías aéreas del año 1998, del IGAC (geovisor de la CVC), y los cauces de los años 2013-2015, a partir de imágenes aéreas del proyecto Lidar CVC del año 2013 y la información contenida en la herramienta Basemap del software ArcGis, que corresponde a imágenes de satélite entre los años 2013 y 2015.

Es importante destacar que, aunque la SZH 2631 está conformada por las cuencas de los ríos Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras, también se identifican otras fuentes superficiales que entregan sus aguas directamente al río Cauca, las cuales son las quebradas Chimbilaco, El Espinal, El Negrito, El Obispo, Guabinas, La Negra, San Antonio, San Marcos y río Limones, estas quebradas también se analizaron. Se concluyó que los cambios no son significativos. Se resalta que las zonas donde se presenta la ocurrencia de eventos históricos en la zona de estudio, no se observan variaciones del cauce

Análisis geomorfológico: Se realizó a partir del mapa geomorfológico a escala 1:25,0000 (desarrollado en el subcapítulo 3.9), el cual integra los diferentes estudios geomorfológicos contemplados en el área de estudio, usando la metodología propuesta por Zinck (2012), que por definición tiene fines agrológicos. También se empleó la versión recategorizada según la propuesta metodológica desarrollada por Carvajal (2012), la cual contiene las subunidades equivalentes a las formas del terreno.

De acuerdo con el mapa geomorfológico según Zinck (2012), en los paisajes de valle, planicie, piedemonte y montaña se registran las formas del terreno asociadas a procesos de inundación. Se les asignó un peso a las diferentes formas del terreno según su relación con procesos de inundación, para lo que se consideró como de máxima categoría (5) a las formas contempladas en el Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA (MADS, 2014), correspondientes a albardón de orilla, napa de desborde, cubeta de desborde, cubeta de decantación, valles aluviales, planos de inundación, terrazas, meandros y deltas entre otros.

Con respecto al mapa geomorfológico recategorizado según Carvajal (2012), el análisis se enfocó en las zonas clasificadas como región de Ambiente Fluvial y Lagunar, región de Ambiente Denudacional y algunas otras contempladas en la región de Ambiente Estructural. Las unidades y subunidades según Carvajal (2012) fueron también categorizadas según el mismo Protocolo, asignando la mayor relación (5), correspondientes a terrazas fluviales, deltas de desborde, deltas lagunares, barras, valles aluviales y planos de inundación. Las demás formas en ambas metodologías que no están contempladas en dicho protocolo se consideraron como de relación media y baja según su génesis.

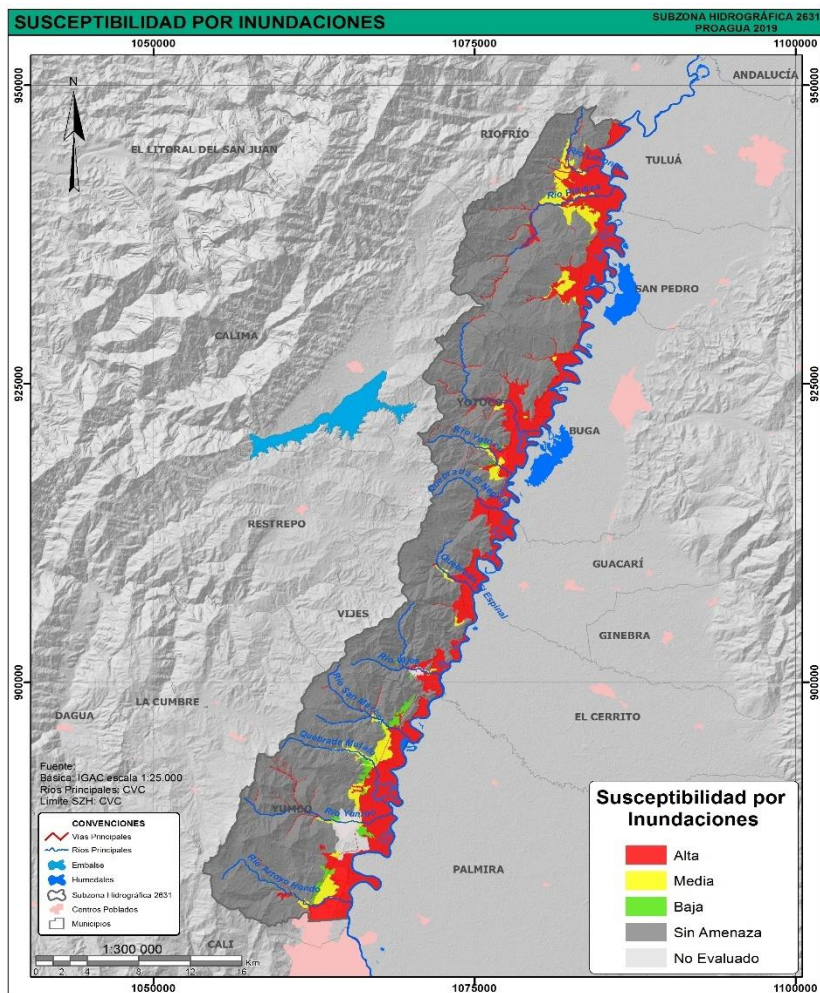
Una vez definidas y jerarquizadas las áreas asociadas a procesos de inundación, se procedió a integrar el resultado del análisis geomorfológico, obteniendo las unidades asociadas a procesos de inundación, resultando una categorización unificada. Posteriormente a la distribución de las diferentes formas del terreno y subunidades asociadas a procesos de inundación, se realizó el cruce con los puntos o polígonos identificados en el análisis de eventos históricos,

obteniendo las unidades inundables, que como se muestra a continuación, son objeto de zonificación de la susceptibilidad por inundaciones. Se consideraron tres grados de susceptibilidad:

- Susceptibilidad Alta: Geformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.
- Susceptibilidad Media: Geformas que denotan procesos intermitentes (ej. terrazas medias, llanuras aluviales y meandros abandonados - madre viejas, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada.
- Susceptibilidad Baja: Geformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).

Aplicando la categorización anterior se obtuvo la zonificación de la susceptibilidad, correspondiente a la delimitación de las zonas que presentan geformas asociables a procesos de inundación recientes y que a la vez cuentan con registros de eventos históricos; según el registro o no de procesos de inundación (Figura 53).

Figura 53. Zonificación de la susceptibilidad a eventos de inundaciones



Fuente: PROAGUA, 2019

Zonificación de la amenaza por inundaciones: A partir de los parámetros geomorfológicos, basados en el mapa de susceptibilidad y los registros de eventos históricos contemplando los sectores que en el análisis de susceptibilidad obtuvieron valoración media y alta y teniendo en cuenta los criterios contemplados en el Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en POMCA (MADS, Fondo Adaptación, 2014), y que se describen en la , se obtuvo la amenaza.

Tabla 51. Categorías de Amenaza por Inundaciones

Categoría	Descripción
Alta	Son indicadores de inundaciones periódicas la evidencia de geoformas asociadas a procesos activos, además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores a 15 años.
Media	Son indicadores de áreas susceptibles de inundación por eventos de moderada frecuencia de presentación las geoformas asociadas a procesos erosivos o sedimentarios suavizados además de eventos históricos con recurrencia de entre 15 y 100 años.
Baja	Se identificará cuando la información geomorfológico-histórica así lo permita considerando los siguientes criterios: el análisis de eventos históricos señala una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido; y que sea coincidente con una geoforma asociada a procesos fluviales pasado, eventos con recurrencia entre 100 y 500 años. Dada la ausencia de registro de eventos superiores a los 50 años de antigüedad, en esta categoría se agruparon todos los sectores en los que no hubo registro de actividad histórica.

Fuente: PROAGUA, 2019

Como resultado general en la SZH 2631 la amenaza alta por eventos de inundación predomina en la zona plana o de valle (Figura 54), resaltando la importancia e influencia del río Cauca, ya que los eventos históricos reportados en la zona plana son generados principalmente por esta fuente superficial o por la falla de diques de contención que evitan la anegación de zonas aledañas al río y que tradicionalmente se inundaban o por la respuesta del agua subsuperficial en su relación río - acuífero.

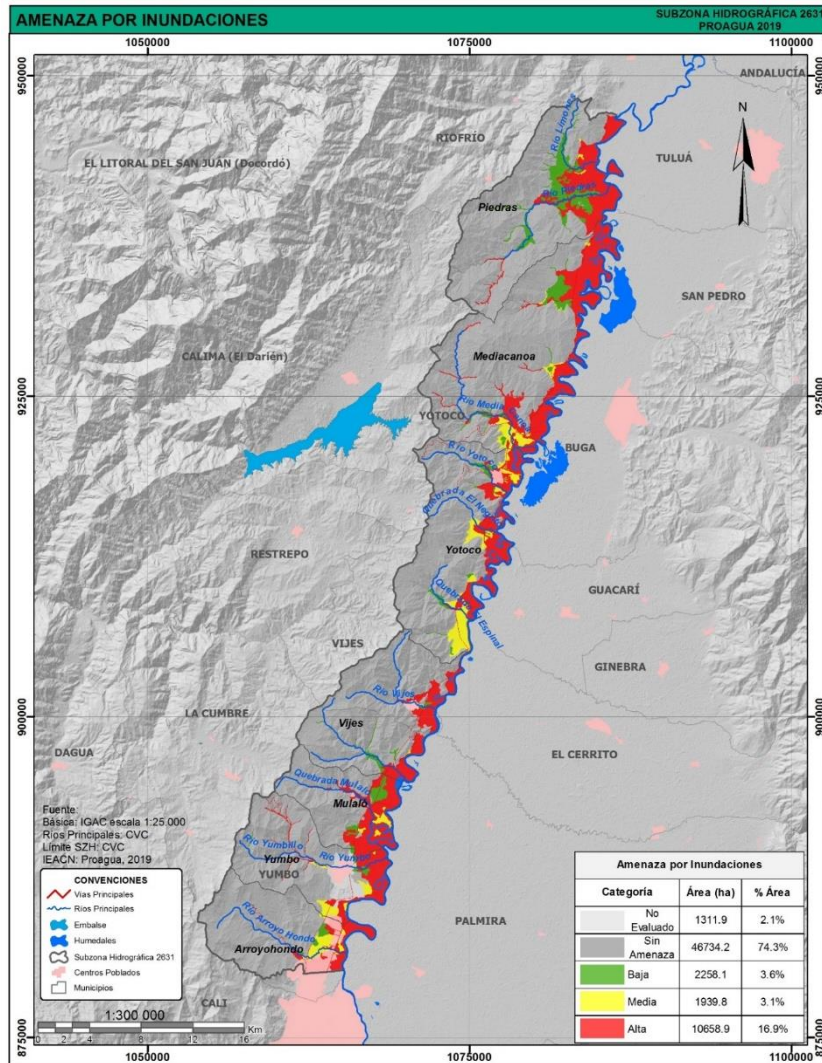
Con respecto a la amenaza media y la amenaza baja, estas se evidencian principalmente en la zona de montaña. Por otra parte, la cuenca del río Mediacanoa reporta la mayor área de amenaza alta por eventos de inundación (2938,6 ha), mientras que la cuenca del río Arroyohondo reporta la menor área en amenaza alta (850,4 ha). Adicionalmente existes 46734,2 ha sin amenaza y 1311,9 ha no evaluadas en la SZH 2631 (Tabla 52).

Tabla 52. Amenaza por eventos de inundación

Cuenca	Amenaza por eventos de inundación					Área (ha)
	Alta (ha)	Media (ha)	Baja (ha)	Sin Amenaza (ha)	No Evaluado (ha)	
Arroyohondo	850,43	319,87	91,51	5198,47	26,86	6487,14
Yumbo	918,76	280,33	73,18	4727,81	715,32	6715,39
Mulaló	1368,19	107,27	215,42	3045,46	30,2	4766,55
Vijes	1073,27	5,3	189,81	7276,48	132,58	8677,44
Yotoco	1665	814,73	196,17	7778,67	129,52	10584,09
Mediacanoa	2938,6	385,86	414,8	10056,63	202	13997,89
Piedras	1844,61	26,41	1077,18	8650,72	75,42	11674,35
Total	10658,87	1939,77	2258,07	46734,24	1311,9	62902,85

Fuente: PROAGUA, 2019

Figura 54. Zonificación de la amenaza a eventos de inundación



Fuente: PROAGUA 2019

7.2.3. Avenidas Torrenciales

La zonificación de susceptibilidad y la amenaza por eventos de avenidas torrenciales en la SZH 2631, se desarrolló a partir de los lineamientos descritos en el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA (MADS, Fondo Adaptación, 2014) y la guía POMCA (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales: A partir del análisis de eventos históricos (descritos en el numeral 7.1 del presente documento), el análisis geomorfológico y el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), se desarrolló la zonificación de la susceptibilidad a eventos de avenidas torrenciales en la SZH 2631.

Registro de eventos históricos: Se tienen tres reportes de eventos de avenidas torrenciales ocurridos en la zona de estudio, en las cuencas de los ríos Mulaló y Yumbo. Es importante destacar que la información de eventos históricos empleada en la zonificación de la susceptibilidad y amenaza por eventos de avenidas torrenciales, se complementó con los trabajos de campo y los registros de eventos de movimientos en masa que se relacionan con la ocurrencia de eventos de avenidas torrenciales, ya sea como detonante o como aportante de material para la ocurrencia de eventos de avenidas torrenciales.

Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET): Indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca (IDEAM, 2013). Se expresa en relación con los índices morfométrico y de variabilidad (IDEAM, 2013).

- **Índice Morfométrico de torrencialidad.** Se desarrolló empleando el Índice de Compacidad o de forma de Gravelius, la pendiente media y la densidad de drenaje, que en conjunto definen la facilidad para concentrar la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos (IDEAM, 2013). Los parámetros morfométricos estimados para las cuencas de los ríos y quebradas pertenecientes a la SZH 2631, se categorizaron en muy alta, alta, moderada, baja y muy baja, siguiendo los rangos establecidos en *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua del IDEAM* (2013).
- **Índice de variabilidad.** El índice de variabilidad muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca y se obtiene a partir de la curva de duración de caudales. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferencias grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos (IDEAM, 2013). Para calcular el índice de variabilidad, se analizó la curva de duración de caudales a diferentes porcentajes (descrita en el subcapítulo 3.7 del presente documento) y se aplicó la expresión descrita en el documento del IDEAM, *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua* (2013).

El IVET para las SZH, muestra una categoría alta para las cuencas estudiadas, con excepción de la cuenca del río Mulaló y de las quebradas Bermejil y El Obispo, que indica una categoría de IVET media. Por lo anterior la SZH 2631, se cataloga con un índice de avenidas torrenciales alto, debido a la condición de los parámetros morfométricos que la componen, principalmente la pendiente y la densidad de drenaje, catalogada como muy fuerte y muy alta respectivamente.

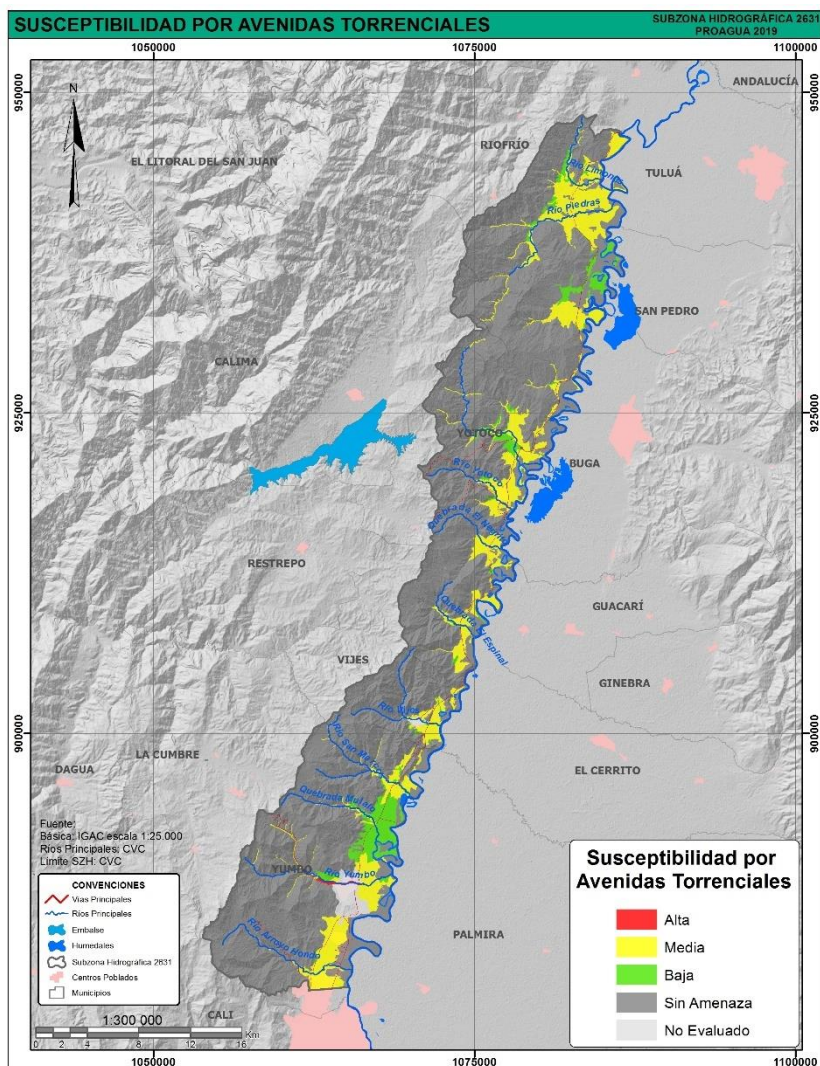
Análisis geomorfológico: Este análisis en el proceso de zonificación de la susceptibilidad por eventos de avenidas torrenciales, se realizó a partir del mapa geomorfológico a escala 1:25000 (ver capítulo 3.9 del presente informe), el cual integra los diferentes estudios geomorfológicos en la zona de influencia del proyecto, empleando las metodologías propuestas por Alfred Zinck en 2012 y la metodológica desarrollada por Carvajal (2012). La delimitación y categorización de las diferentes geoformas fue objeto de análisis, buscando identificar las diferentes unidades asociadas a procesos de avenidas torrenciales, teniendo presente las

recomendaciones contenidas en el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA*.

Una vez definidas las áreas asociadas a procesos de avenidas torrenciales según Zinck (2012) y Carvajal (2012), se integraron los resultados, aplicando una categorización preliminar en la que se priorizaron las unidades geomorfológicas y tipos de relieve, a las cuales se les asignó una valoración alta. De lo anterior se obtuvo la zonificación de las unidades geomorfológicas asociadas a procesos de avenidas torrenciales.

Luego se realizó el cruce con los registros de eventos históricos y con el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), obteniendo la zonificación de la susceptibilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales (Figura 55).

Figura 55. Zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales



Fuente: PROAGUA, 2019.

Los sitios o polígonos con reporte de mínimo un evento histórico en los últimos 15 años, tuvieron la valoración de amenaza alta (en el análisis geomorfológico); en este caso, el registro de eventos históricos fue complementado con observaciones o registros de campo correspondientes a sitios con actividad torrencial, no reportada en el inventario y determinada a partir de interpretación de perfiles litológicos.

En los demás casos en los que no hubo coincidencia de registros de eventos históricos, se contó con el IVET y el análisis morfológico para determinar su categoría, sin embargo, el IVET de manera general dio alto para toda la subzona, razón por la cual la categoría terminó dependiendo directamente del análisis geomorfológico, del cual se desprende que las geoformas directamente relacionadas con procesos de avenidas torrenciales.

De lo anterior se concluye que las zonas con mayor categoría de susceptibilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales están estrechamente ligadas al reporte de eventos históricos; es así como el análisis geomorfológico en conjunto con la zonificación del IVET aporta en gran medida a la categorización de susceptibilidad para los rangos medio y bajo.

Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales: Con el fin de llevar a cabo la zonificación de la amenaza por eventos de avenidas torrenciales, inicialmente se definieron los sitios críticos correspondientes a las categorías media y alta identificadas en la zonificación de la susceptibilidad, los cuales serán objeto evaluación de la amenaza, y se contempló el inventario de eventos históricos.

De esta manera se tiene que, al revisar el registro de eventos históricos y los formatos de campo del inventario de movimientos en masa, se encontraron distintos registros que pueden ser fuente de materiales que a su vez deriven en flujos de hiperconcentrados o mecanismos de transporte en masa similares, obteniendo de ello el análisis de procesos dominantes que es insumo para la definición de puntos críticos. Se resaltan las cuencas de los ríos Piedras, Mediacanoa y Vijes principalmente por el tipo de actividad denudativa encontrada, como se describen en la Tabla 53.

Tabla 53. Principales procesos con influencia en avenidas torrenciales, identificados en la subzona.

Tipo de evento	Municipio	Vereda	Cuenca	Subcuenca
Deslizamiento traslacional con transición a flujo de escombros	Riofrío	Miravalle	Piedras	Calabazas
Deslizamiento traslacional con transición a flujo de escombros	Yotoco	Miravalle	Mediacanoa	La Negra
Avenida torrencial	Yotoco	Mediacanoa	Mediacanoa	N/A
Movimiento en masa con obstrucción del canal	Yumbo	San Marcos - Manga Vieja	Vijes	San Marcos

Fuente: PROAGUA, 2019.

Con el análisis de procesos dominantes, a partir de la información obtenida durante las diferentes jornadas de campo y del registro de eventos históricos, se desarrolló la evaluación de la amenaza por eventos torrenciales. De esta manera se contemplaron las diferentes zonas que en el análisis de susceptibilidad mostraron categorías media y alta, (Tabla 54).

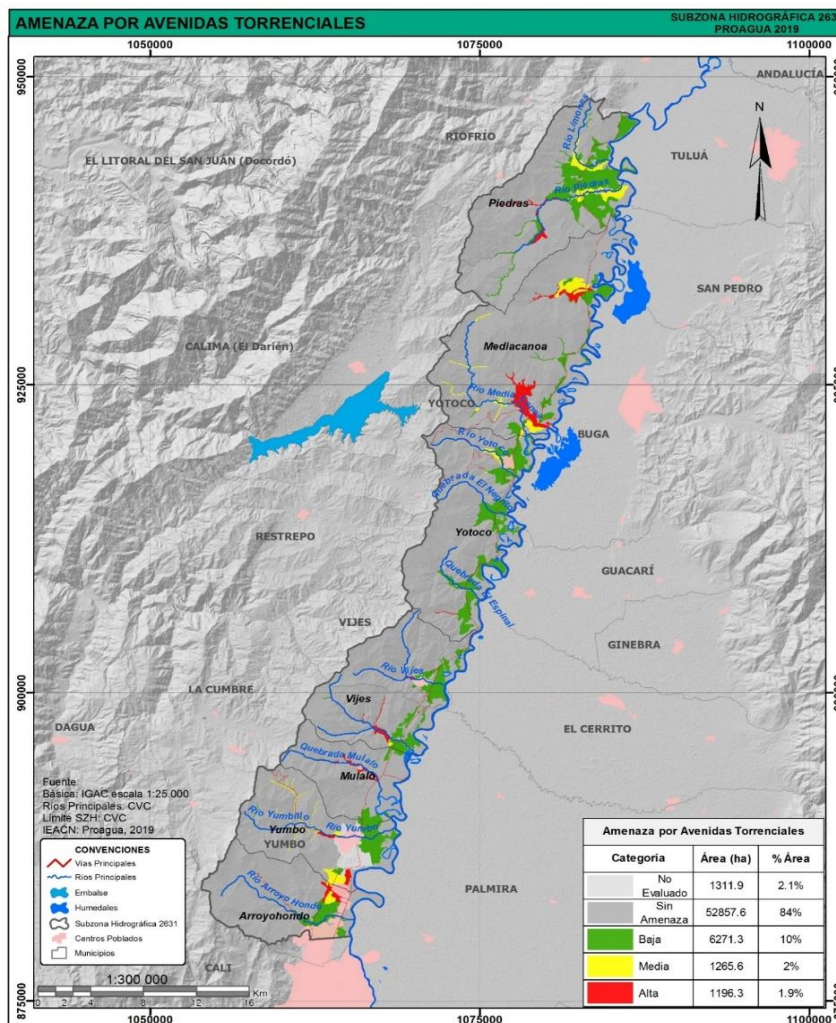
Tabla 54. Categorías de Amenaza por Avenidas Torrenciales

Categoría	Descripción
Alta	Zonas identificadas con actividad reciente y con evidencias históricas claras (más de un evento histórico identificado). Indicadores cronológicos en la categoría de reciente de acuerdo con Parra, Viana, & Gonzales (1995).
Media	Zonas con actividad torrencial que cumplen al menos uno de los siguientes aspectos: existencia de evidencias históricas de al menos una avenida torrencial; elevación insuficiente por encima del canal torrencial de acuerdo con las características de la cuenca, principalmente del área de drenaje (en general diferencias de elevaciones menores a 1.5m); aguas abajo de un punto de avulsión potencial (disminución brusca de la sección, puentes o entubaciones de poca sección que puedan ser obstruidos por el material arrastrado). Indicadores cronológicos en la categoría de maduro de acuerdo con Parra, Viana, & Gonzales (1995).
Baja	Áreas torrenciales identificadas por fotointerpretación, las cuales no pueden ser identificadas dentro de las categorías anteriores (zonas alejadas de los canales torrenciales y sin evidencias de eventos históricos y sus afectaciones). Indicadores cronológicos en la categoría de antiguo de acuerdo con Parra, Viana, & Gonzales (1995).

Fuente: PROAGUA 2019, con base en el Protocolo para incorporación e Riesgo en POMCAS (MADS).

Una vez aplicada esta categorización se obtuvo el mapa de amenaza por eventos torrenciales, en el que se integra los resultados de las observaciones de campo durante la asignación de pesos (Tabla 55 y Figura 56).

Figura 56. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: PROAGUA, 2019.

Tabla 55. Amenazas por Avenidas Torrenciales

Cuenca	Amenaza por Avenidas Torrenciales - Área en ha.					Área total (ha)
	Alta	Media	Baja	Sin Amenaza	No Evaluado	
Arroyohondo	145,1	65,8	645,4	5604,1	26,9	6487,1
Yumbo	140,4	252,0	492,7	5114,9	715,3	6715,4
Mulaló	112,4	---	237,6	4386,3	30,2	4766,6
Vijes	147,1	29,6	804,6	7563,4	132,6	8677,4
Yotoco	18,6	71,0	1595,4	8769,6	129,5	10584,1
Mediacanoa	497,9	462,9	566,4	12268,6	202,0	13997,9
Piedras	134,7	384,3	1929,2	9150,8	75,4	11674,3
Total	1196,3	1265,6	6271,3	52857,6	1311,9	62902,8

Fuente: PROAGUA, 2019.

De manera general la SZH 2631, no presenta amenaza de eventos de avenidas torrenciales, con excepción del río Mediacanoa, donde se evidencian zonas de amenaza alta por eventos de avenidas torrenciales, los cuales cubren un área de 497,9 ha, siendo la cuenca que mayor área de amenaza alta reporta, mientras que la cuenca del río Yotoco reporta la menor área en amenaza alta con 18,592 ha. Es importante destacar que, la SZH cuenta con 52857,6 ha sin amenaza por eventos de avenidas torrenciales y 1311,9 ha no evaluadas.

7.2.4. Incendios forestales

La zonificación de la amenaza por incendios forestales se llevó a de acuerdo con la metodología del *modelo para la determinación de las áreas con prioridad de protección, desarrollado en el marco del convenio de asociación 094/2011 (CVC - Corporiesgos)*. Mediante la aplicación del modelo que propone este método, se obtuvo la valoración de la amenaza, la vulnerabilidad, el daño potencial, la prioridad de protección y el riesgo. La prioridad de protección está en función de la amenaza, la vulnerabilidad y el daño potencial. Con el fin de estimar la prioridad de protección se le asignó igual peso específico (33%), a cada uno de los tres factores que componen dicha función, la cual se obtiene mediante la sumatoria de los valores relativos de la amenaza, vulnerabilidad y daño potencial.

En la Figura 57, se muestra el área de trabajo, la cual corresponde tanto a los municipios de Yumbo, Vijes, Yotoco y Riofrío, (delimitados de color verde) como a los corregimientos (delimitados en color amarillo), que representan el área mínima de trabajo para la presentación de resultados. Una vez establecidas las unidades de trabajo (municipios y corregimientos), se generaron mapas con información base para el desarrollo de la metodología los cuales contenían la información relacionada en la Tabla 56.

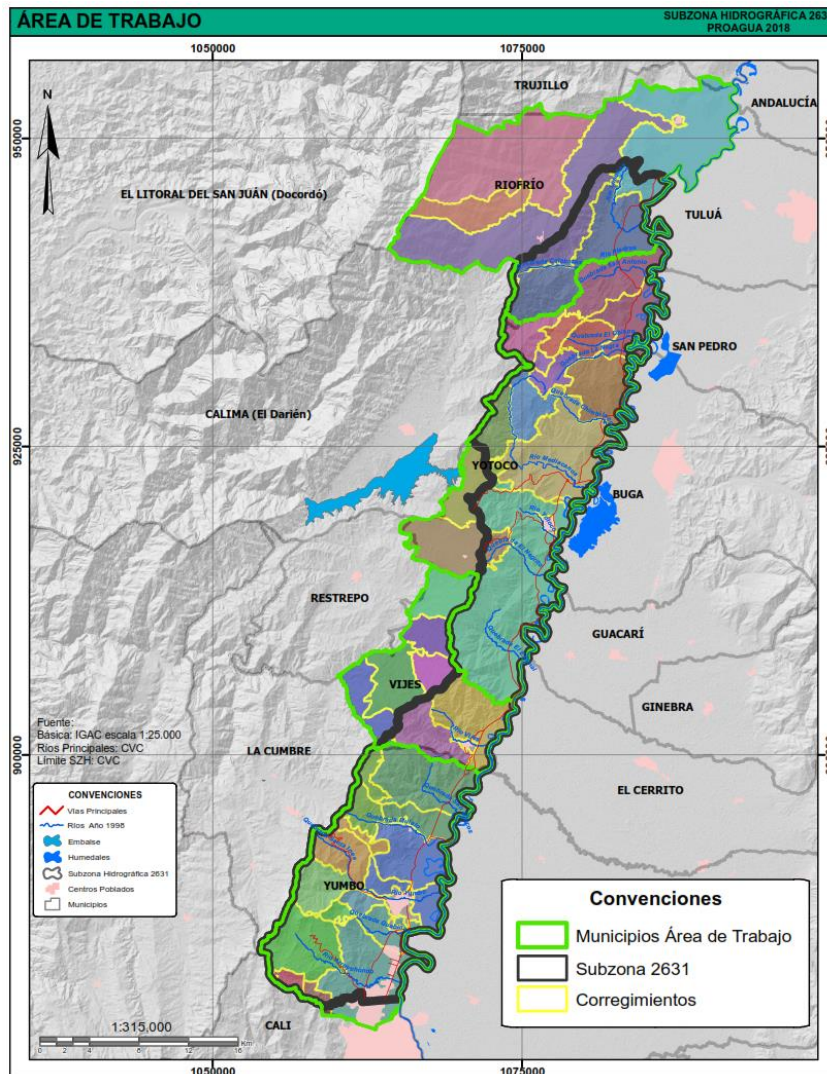
Tabla 56. Mapas de información Base

Información Base	Descripción
Áreas de aptitud forestal	Se definió como todos los territorios localizados en la zona de ladera, excluyendo las zonas urbanas, zonas industriales, zonas de recreación y centros poblados localizados en la misma.
Cultivos en áreas de aptitud forestal	Se identificaron los cultivos ubicados en el área de aptitud forestal, a partir de la información de cobertura del suelo (capítulo 3.11 del presente documento)
Cobertura de cuencas	Se consideró la longitud en metros de la red hídrica y su área de influencia lateral estimada en 100 metros a cada lado de ella. No se incluyen los ríos y quebradas localizados en la zona plana, en las zonas de reserva forestal y en las zonas de protección.
Áreas de protección	A partir de la información de la estructura ecológica principal y áreas de protección y conservación (capítulo 3.12 del presente documento), se realizó un consolidado de las áreas de protección y de

Información Base	Descripción
	importancia ambiental (AICAS, SINAP, RAMSAR, RUNAP, RNSC y predios de conservación ambiental).
Pendiente predominante	A partir de la información de la pendiente del terreno (descrita en el numeral 3.6 del presente documento), se determinaron los rangos que mayor área ocupa en cada unidad de trabajo (corregimiento), y de esta manera poder determinar el valor medio dentro de dicho rango, la cual se toma como pendiente predominante. Para la zona de trabajo se determinaron tres valores de pendiente predominante (7.5, 18.5, y 35.5).
Red Vial	Corresponde a la longitud de las vías, se considera importante en la estimación de la prioridad de protección porque puede contribuir a la ocurrencia de incendios (acceso de las personas a las zonas donde se pueden iniciar incendios), al igual que se puede tomar como recurso de control por facilitar el acceso a organismos de socorro para controlar los incendios.
Cobertura de suelos	Corresponden a bosques nativos, bosques plantados, pastos y rastrojos, ya que estas coberturas constituyen los cuatro modelos generales de tipos de combustible de la vegetación. A partir de la de cobertura del suelo, se seleccionaron las diferentes coberturas con el fin de agruparlas en los cuatro modelos generales de tipos de combustible.

Fuente: PROAGUA, 2019.

Figura 57. Área de implementación de la metodología de prioridad de protección de incendios forestales



Fuente: PROAGUA, 2019.

Análisis de amenaza: Con la finalidad de hacer una priorización relativa de cada uno de los componentes relacionados con la amenaza de ocurrencia de incendios forestales, se correlacionó la ocurrencia histórica (densidad de incendios forestales) con la densidad población, la cobertura de caminos y las áreas con cultivos agrícolas de cada una de las unidades territoriales a evaluar (Tabla 57).

Tabla 57. Variables relacionadas con la Amenaza de Ocurrencia de Incendios Forestales

Variable	Descripción
Densidad de ocurrencia de incendios	Se toma el promedio de incendios forestales de varios años y ella está expresada en número de incendios forestales por cada 1000 hectáreas sobre el área de aptitud forestal.
Densidad de población	Se considera la totalidad de la población rural y un 30% de la urbana en los centros poblados localizados en la ladera de cada unidad territorial. Está expresada en No. de habitantes por 1.000 ha de cobertura territorial. Las poblaciones o centros urbanos de la zona plana no se incluyeron por estar fuera del área de aptitud forestal.
Densidad de caminos	Se consideró la cantidad de kilómetros de vías y su área de influencia lateral estimada en 50 m, a cada lado de ellas, se tienen en cuenta las vías localizadas en la zona de ladera, excluyendo las zonas urbanas y se expresa en porcentaje de cobertura de caminos.
Áreas con cultivos agrícolas	Se consideró el número de hectáreas de terrenos destinadas a cultivos agrícolas en las áreas de aptitud forestal por unidad territorial y está expresada en porcentaje de cobertura de áreas de cultivo.

Fuente: PROAGUA, 2019.

Con el fin de asignar el peso relativo a cada variable analizada, se correlacionaron los valores de ocurrencia histórica por unidad de trabajo. El valor máximo se otorgó a la ocurrencia histórica, posteriormente se otorgaron los mayores valores a las variables con mayor correlación respecto a la ocurrencia histórica. Posteriormente se realizó una distribución de frecuencia, con el fin de conocer los rangos a aplicar en el modelo analítico a desarrollar. A partir de los valores totales de amenaza, se obtuvieron los rangos basados en el promedio por unidad de análisis (corregimiento), y la desviación estándar. Finalmente se categorizó la amenaza otorgando la valoración de alta, media o baja, según los resultados obtenidos.

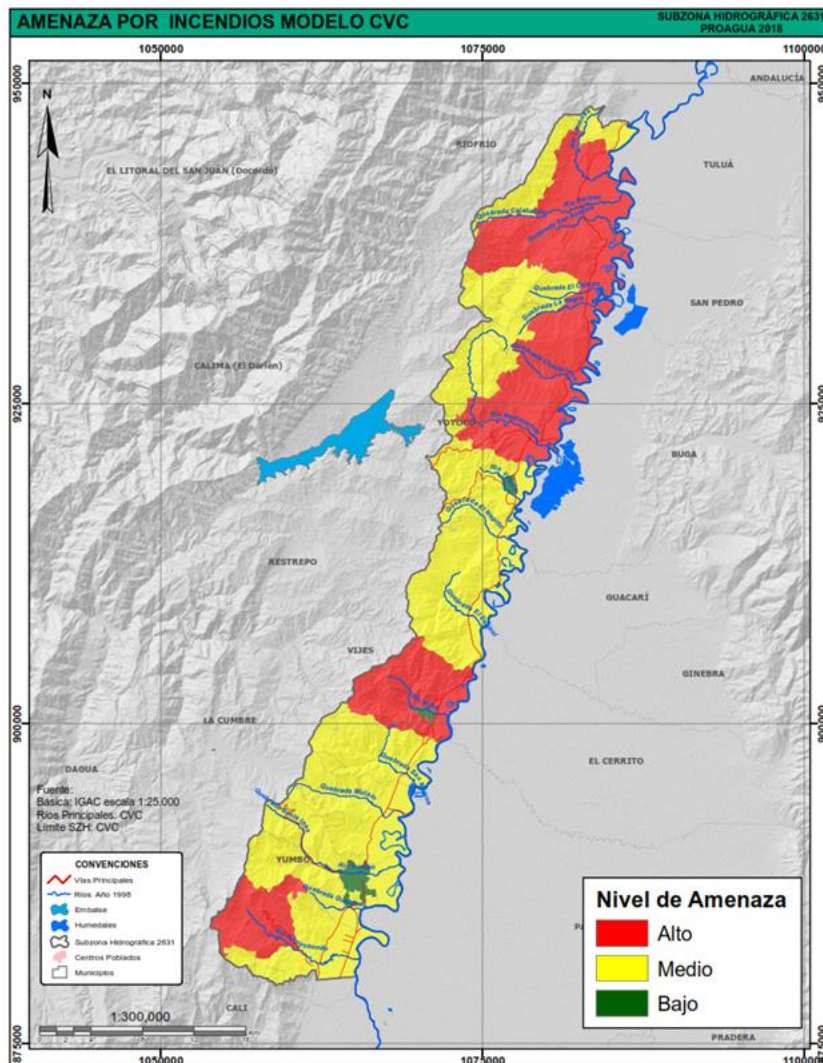
La cuenca del río Mediacanoa presenta la mayor área con categoría de amenaza alta con un cubrimiento de 9491,5 ha, mientras que la cuenca del río Mulaló, no presenta categoría alta de amenaza por eventos de incendios forestales (Tabla 58). En la Figura 58 se observa la amenaza por eventos de incendios forestales para la SZH 2631, evidenciando una amenaza alta en las cuencas de los ríos Arroyohondo, Vijes, Mediacanoa y Piedras.

Tabla 58. Área de amenaza para la SZH 2631

Cuenca	Alta		Medio		Bajo		Total	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Arroyohondo	2710,4	11,2%	3776,7	10,00%	0,0	0,00%	6487,1	10,3%
Yumbo	314,1	1,3%	5795,5	15,3%	605,7	70%	6715,4	10,7%
Mulaló	0,00	0,00%	4762,3	12,6%	4,3	0,5%	4766,6	7,6%
Vijes	4552,8	18,80%	4004,6	10,6%	120,1	14,00%	8677,5	13,8%
Yotoco	90,4	0,40%	10363,1	27,4%	130,6	15,2%	10584,1	16,8%
Mediacanoa	9491,5	39,2%	4506,4	11,9%	0,00	0,00%	13997,9	22,3%
Piedras	7079	29,20%	4595,3	12,2%	0,00	0,00%	11674,3	18,6%
Total	24238,3	100%	37803,9	100%	860,7	100%	62902,85	100%

Fuente: PROAGUA, 2019.

Figura 58. Amenaza por incendios forestales para la SZH 2631



Fuente: PROAGUA, 2019.

Análisis de vulnerabilidad: Con la finalidad de hacer una priorización relativa de cada uno de los componentes relacionados con la vulnerabilidad del recurso forestal ante los incendios, se procedió a correlacionar el Daño Histórico (promedio de hectáreas por incendio), con la topografía, resistencia al control, potencial de propagación, recursos de control y accesibilidad terrestre de cada una de las unidades territoriales a evaluar. Las variables consideradas se relacionan en la Tabla 59.

Para asignar el peso relativo a cada variable, se correlacionaron los valores de daño histórico, y se realizó una distribución de frecuencia, para conocer los rangos. Finalmente se categorizó la vulnerabilidad por unidad de análisis (corregimientos).

Se observa que la SZH presenta una vulnerabilidad media principalmente y para el caso de las cuencas de los ríos Vives y Yotoco se observa una vulnerabilidad de acuerdo con la Figura 59.

Tabla 59. Variables asociadas a la vulnerabilidad del recurso forestal ante los incendios

Variable	Descripción
Densidad de daño histórico	Se consideró el daño promedio de incendios forestales durante varios años. Se expresó en número de hectáreas afectadas en promedio sobre el área de aptitud forestal.
Topografía	Fueron considerados los rangos de pendiente del terreno como condicionante fundamental en la velocidad de propagación del fuego y en la dificultad de control de los incendios forestales.
Resistencia al control	Fueron considerados los cuatro modelos generales de combustibles forestales (Bosques Naturales, Plantaciones Forestales, Rastrojos y Pastos Naturales), clasificándolos en cuanto a la resistencia que presentan para que las fuerzas de control apaguen un incendio forestal. Se cuantifica el área que ocupa cada cobertura en la unidad territorial de análisis (corregimiento).
Potencial de propagación	Fueron considerados los cuatro modelos generales de combustibles forestales (Bosques Nativo, Plantaciones Forestales, Rastrojos y Praderas Naturales), clasificándolos en cuanto a la velocidad con que se propagan los incendios forestales en ellos.
Recursos de control	Se consideró la presencia de Unidades Operativas y Recursos humanos capacitados en cada una de las unidades territoriales, como alternativa actual para el control de los incendios forestales. Se categorizaron tres niveles (nivel Suficiente, nivel Básico y nivel Insuficiente).
Densidad de caminos	Esta variable, expresada en porcentaje (%) de cobertura territorial, juega un papel importante como condicionante de acceso para las fuerzas de control terrestre a los incendios forestales. Se estima a partir de los kilómetros de vías que se identificaron en las unidades territoriales.

Fuente: Elaboración propia, 2019

Análisis de daño potencial: Con la finalidad de hacer una priorización relativa de cada uno de los componentes que están relacionados con el daño potencial de los incendios, se realizó una valoración de los recursos forestales, enfocado en aspectos económicos, social-cultural, ambiental y estratégico. Se asignaron los valores máximos relativos (VMR) de las variables (Tabla 60), los cuales son iguales para todos los municipios analizados.

Tabla 60. Variables relacionadas con el Daño Potencial de los Incendios

Variable	Descripción	VMR
Valor económico	Fueron considerados los 4 modelos generales de combustibles forestales (Bosques Nativo, Plantaciones Forestales, Rastrojos y Praderas Naturales), clasificándolos de acuerdo con el valor económico relativo que tienen como fuente de materias primas y sustento económico.	3,3
Valor ambiental	Fue considerada la cobertura de red hídrica de cada unidad territorial, teniendo en cuenta su importancia como fuente primaria de producción de agua.	9,9
Valor social-cultural	Se consideró las zonas clasificadas como Parques Nacionales, Reservas Forestales, Reservas Indígenas y Otras Áreas Protegidas, en términos de su importancia como patrimonio de la Nación.	6,6
Valor estratégico	Fueron considerados los terrenos cuya característica son de Área de Aptitud Forestal, los cuales, en consecuencia, están expuesto a los incendios forestales y adicionalmente requieren de una protección y conservación prioritaria.	13,2

Fuente: PROAGUA, 2019

Una vez asignados los valores máximos relativos a las variables, se realizó una distribución de frecuencia para conocer los rangos a aplicar en el modelo analítico. Finalmente se categorizó el daño potencial por unidad de análisis (corregimientos).

En la Figura 60 se observa la distribución de la categorización del daño potencial, evidenciando una categorización media para la SZH 2631, con excepción de las cuencas de los ríos Arroyohondo y Mediacanoa, para los cuales se evidencia una categoría baja de daño potencial por eventos de incendios forestales.

Figura 59. Vulnerabilidad a incendios forestales

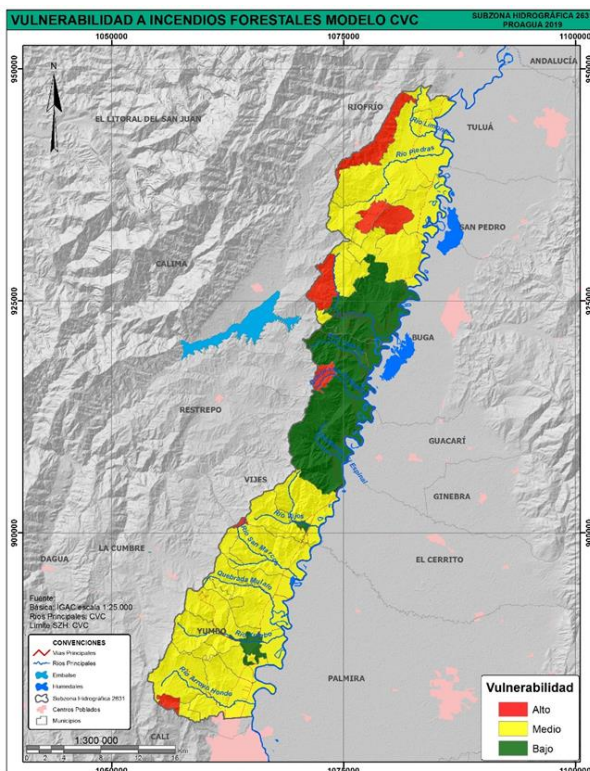
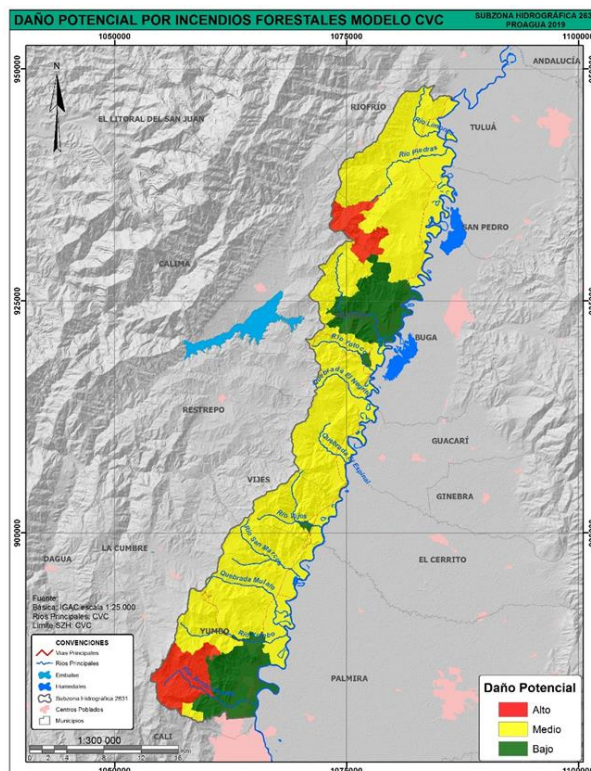


Figura 60. Daño potencial por incendios forestales



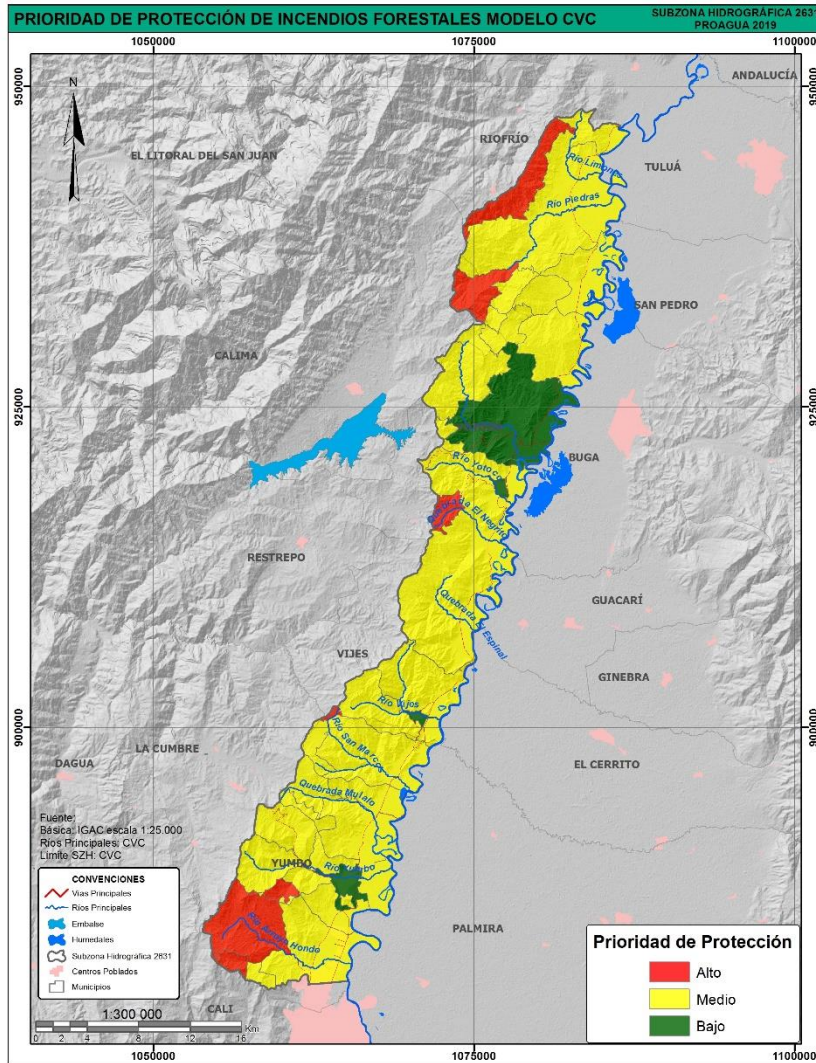
Fuente: PROAGUA 2019.

Prioridad de Protección: Se realizó la sumatoria de los valores relativos de la amenaza, vulnerabilidad y daño potencial y de acuerdo con los valores resultantes se clasificaron las unidades territoriales. Es importante destacar que, en la dinámica de ocurrencia y daño, también juega un papel importante las características climáticas, por lo cual se realizó un ajuste a con los días con precipitaciones durante el año, a partir del reporte de número de días con lluvia para por lo menos una estación hidroclimaticológica por municipio.

En la SZH 2631 se encuentra en una prioridad de protección frente a incendios forestales media, destacando que la parte alta de la cuenca del río Arroyohondo, presenta una alta prioridad de protección, mientras que la cuenca del río Mediacanoa requiere baja prioridad de protección frente a incendios forestales (Figura 61).

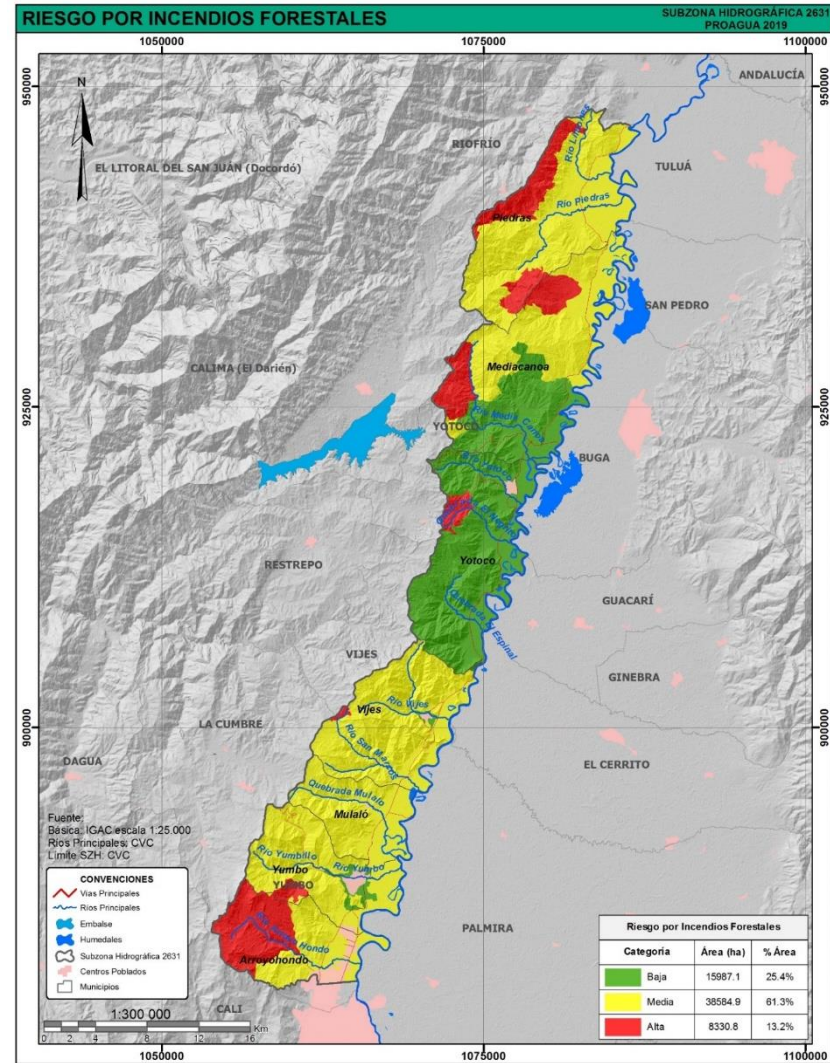
Análisis de riesgo: Aunque para la escala de trabajo del POMCA (1:25000), no es recomendable estimar el riesgo por lo eventos priorizados, la metodología implementada para el análisis de los eventos de incendios forestales permite desarrollar una valoración del riesgo, mediante la sumatoria de los valores relativos de la amenaza y la vulnerabilidad. A partir de los valores totales de riesgo, se obtienen los rangos basados en el promedio por unidad de análisis (corregimiento), y la desviación estándar de los resultados totales. En la Tabla 61 y Figura 62, se presentan los resultados obtenidos de la valoración del riesgo, evidenciando un 25,3% del área de la SZH 2631 con riesgo bajo por incendios forestales, 61,3% del área de la SZH con riesgo medio y 13,2% del área de la SZH en riesgo alto por eventos de incendios forestales, localizada principalmente en las cuencas de los ríos Arroyohondo y Piedras.

Figura 61. Prioridad de protección frente a incendios forestales



Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 62. Riesgo por incendios forestales para la SZH 2631



Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 61. Áreas de Riesgo por Incendios Forestales

Cuenca	Área en Ha según la categoría			Área total (ha)
	Alta	Media	Baja	
Arroyohondo	3041,16	3445,98	---	6487,14
Yumbo	314,10	5795,54	605,75	6715,39
Mulaló	---	4762,30	4,26	4766,55
Vijes	82,19	8447,56	147,69	8677,44
Yotoco	494,67	0,03	10089,39	10584,09
Mediacanoa	2055,46	6802,42	5140,00	13997,89
Piedras	2343,25	9331,10	---	11674,35
Total general	8330,84	38584,93	15987,08	62902,85

Fuente: PROAGUA, 2019

7.3. ANÁLISIS DE ÁREAS INDICADORAS DE CONDICIÓN DE AMENAZA Y RIESGO

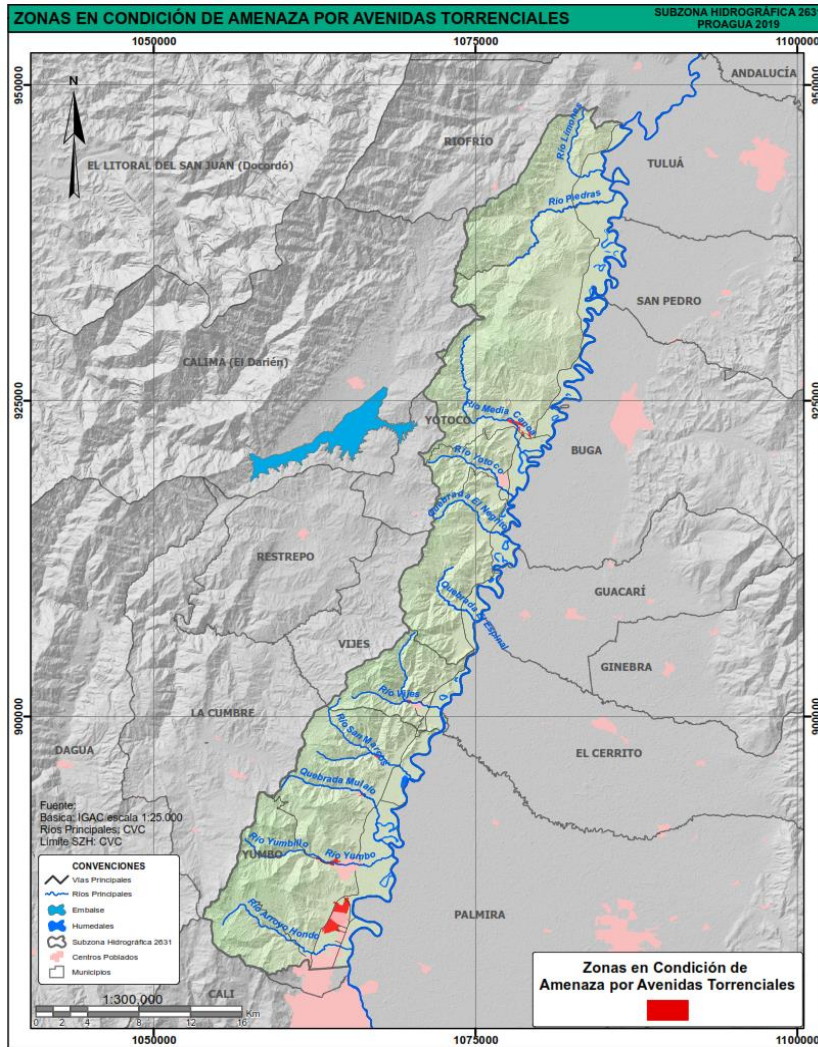
Las áreas con condición de amenaza, según lo dispuesto en el Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo. Por otra parte, este Decreto estipula que las áreas con condición de riesgo corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.

Áreas indicadoras de condición de amenaza: Las áreas indicadoras de condición de amenaza para la SZH 2631, corresponden a las áreas de los centros poblados, áreas suburbanas y zonas de expansión que se encuentran en las zonas categorizadas como de amenaza media y alta (Figura 63 a Figura 66), siendo los incendios forestales, los que generan mayores áreas indicadoras de condiciones de amenaza en la SZH 2631, mientras que los movimientos en masa presentan menores áreas indicadoras de condición de amenaza en la zona de estudio.

Áreas indicadoras de condición de riesgo: A partir de las áreas de amenaza alta y la información de centros poblados, líneas vitales (carreteras, sistemas de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos etc), y demás infraestructura ubicada en la zona de estudio (polígonos mineros, infraestructuras de captación y vertimientos, rellenos sanitarios etc.), se delimitaron las áreas indicadoras de condiciones de riesgo mediante el cruce de los mapas de áreas con amenaza alta por eventos de incendios forestales, inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa. Las áreas indicadoras de condiciones de riesgo identificadas en la subzona hidrográfica 2631 se muestran en la Figura 67 hasta la Figura 70.

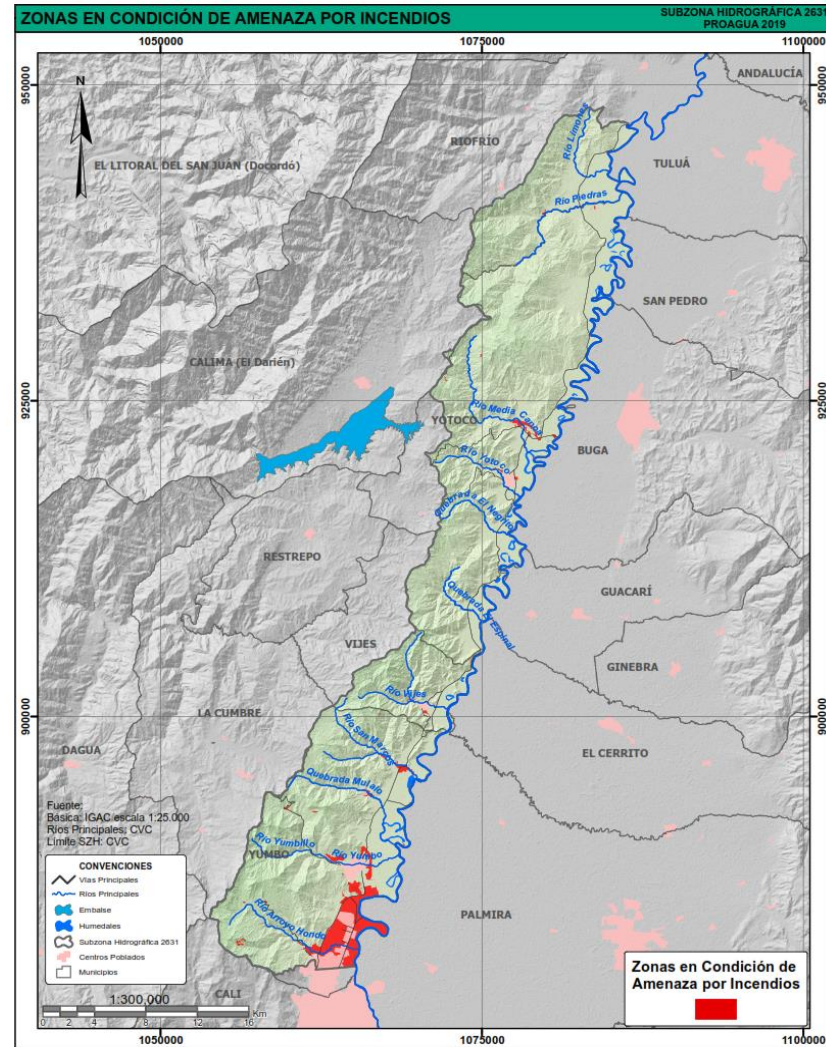
Teniendo en cuenta lo contemplado en el Decreto 1807 de 2014, las áreas indicadoras de condiciones de riesgo identificadas en la SZH 2631, se tendrán como prioritizadas para las fases de formulación principalmente, con el fin de proponer programas y proyectos que permitan estudiar y caracterizar estas áreas y de esta manera definir detalladamente su condición de riesgo.

Figura 63. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de avenidas torrenciales



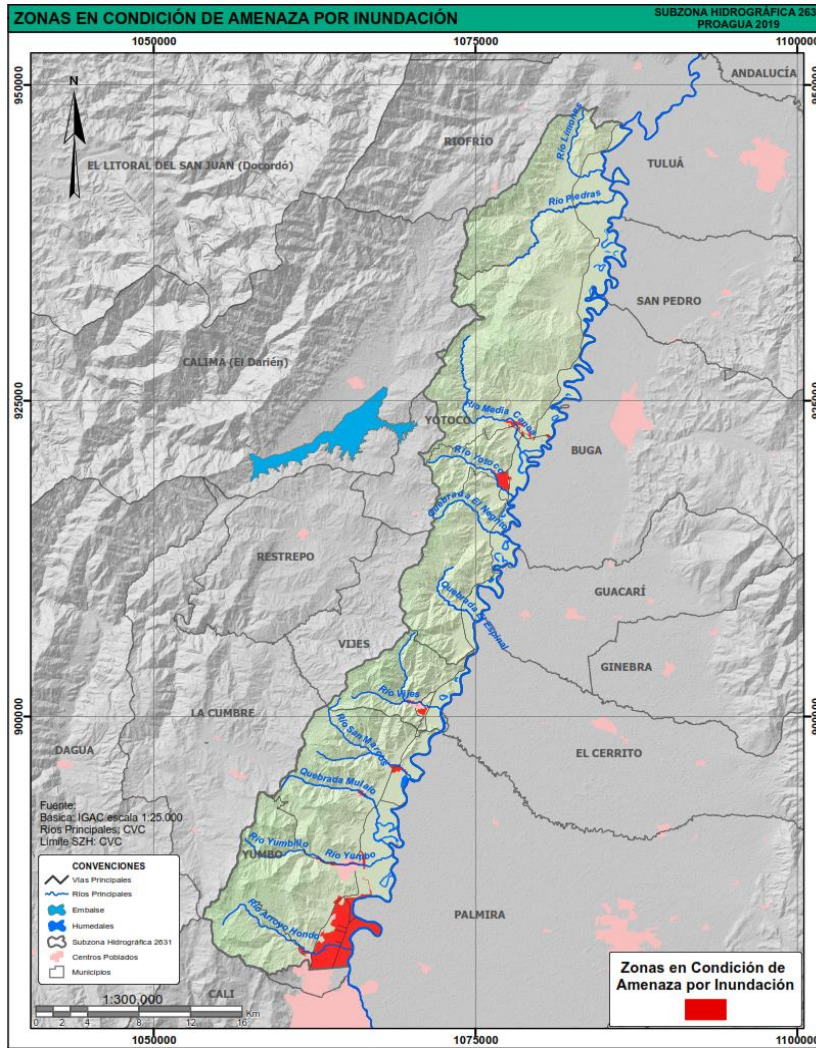
Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 64. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de incendios forestales



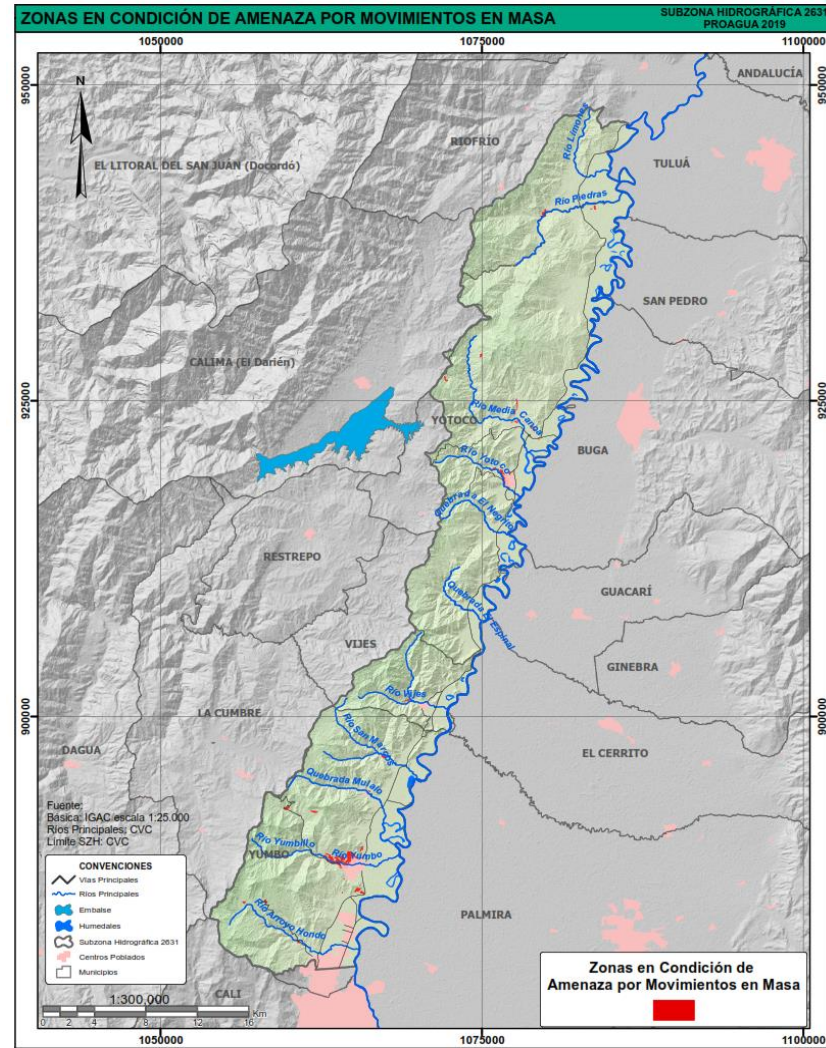
Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 65. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de inundación



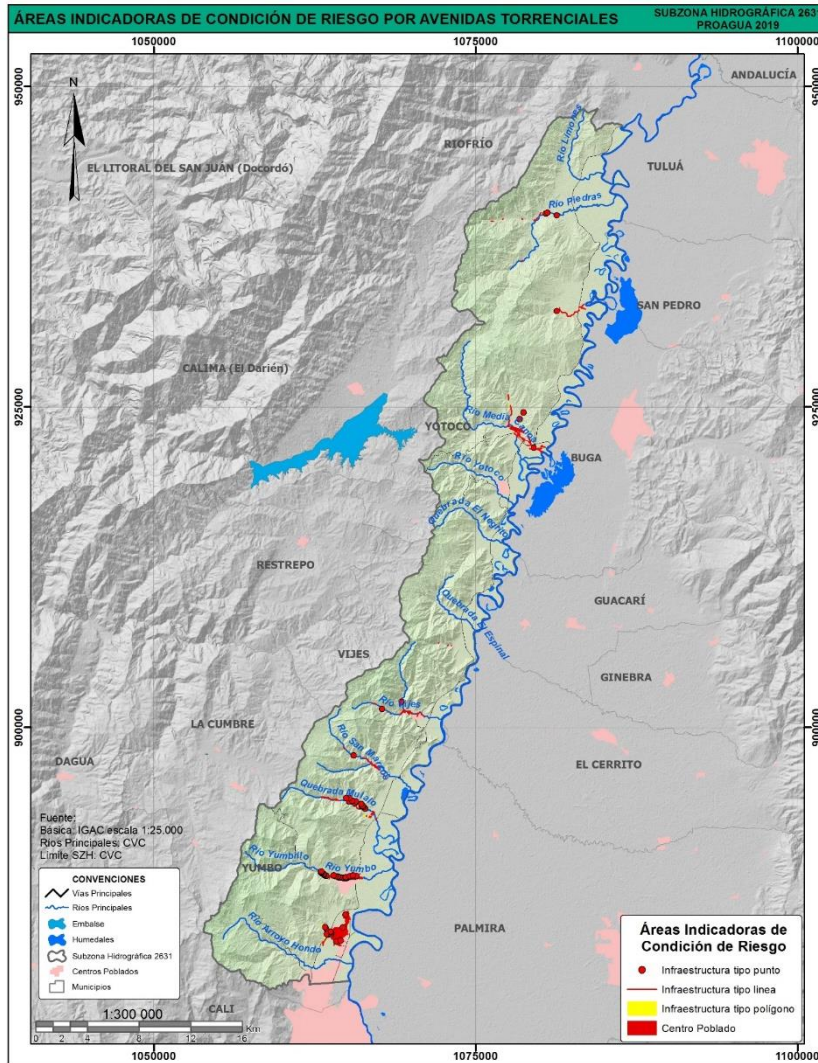
Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 66. Áreas indicadoras de condición de amenaza por eventos de movimientos en masa



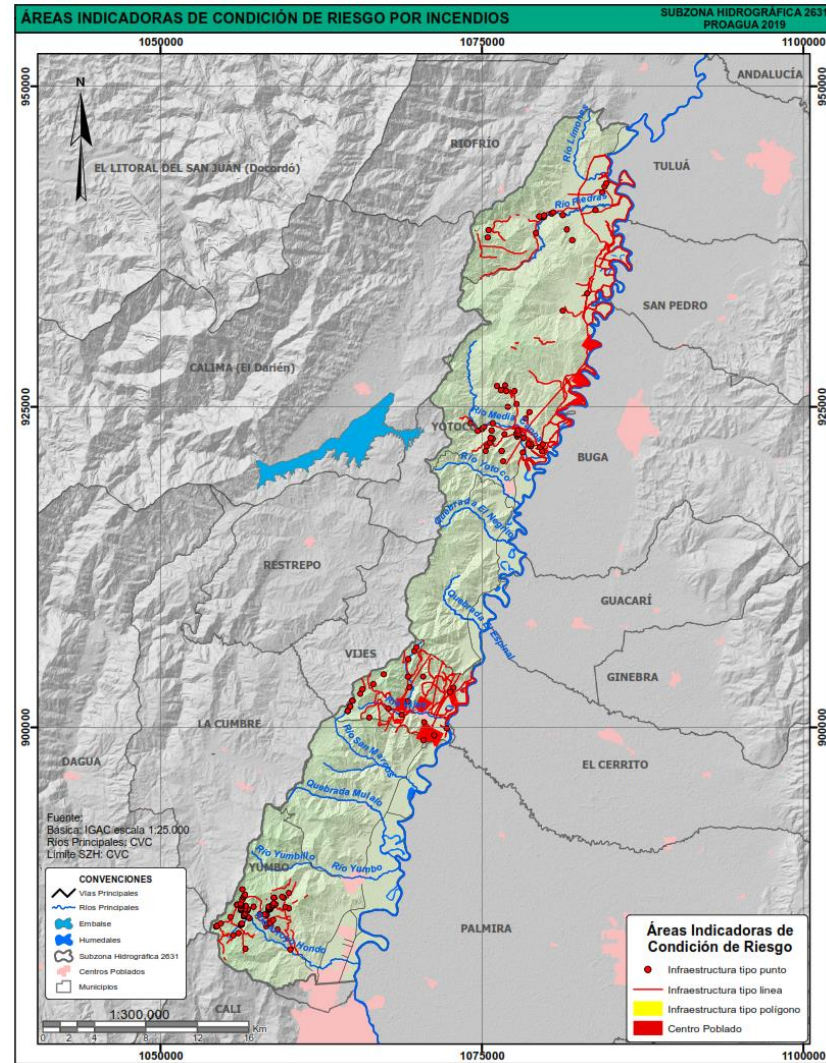
Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 67. Áreas indicadoras de condición de riesgo por avenidas torrenciales



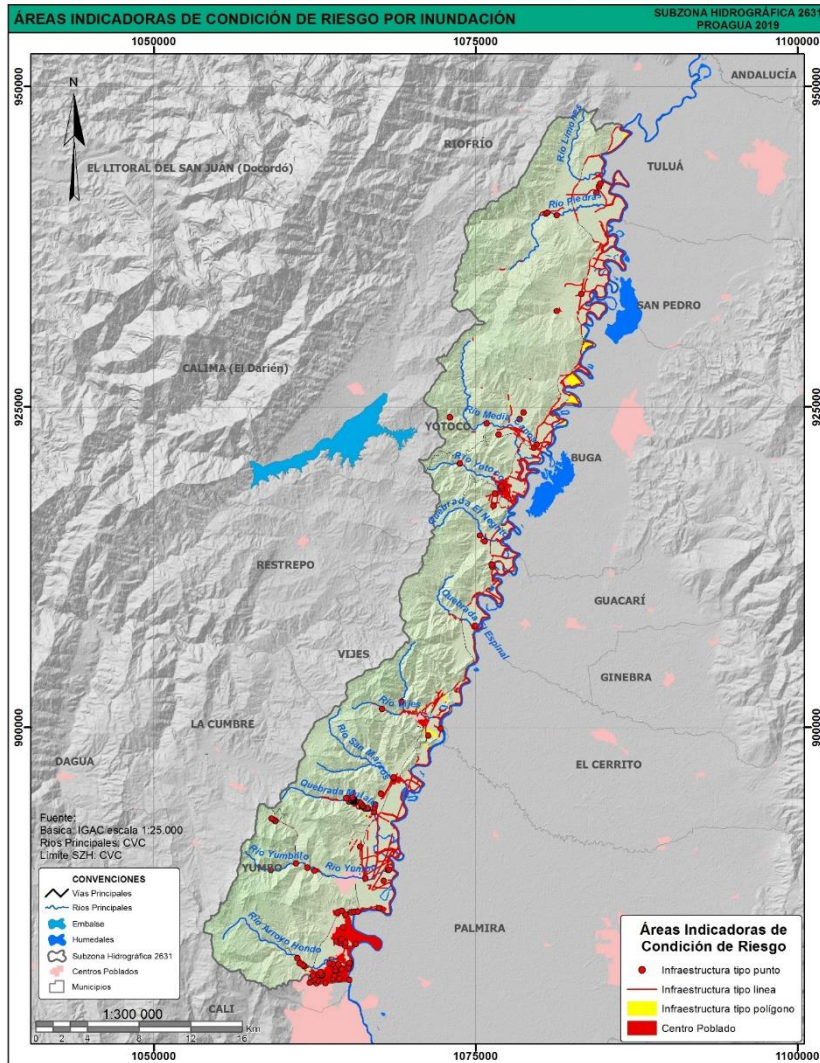
Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 68. Áreas indicadoras de condición de riesgo por incendios



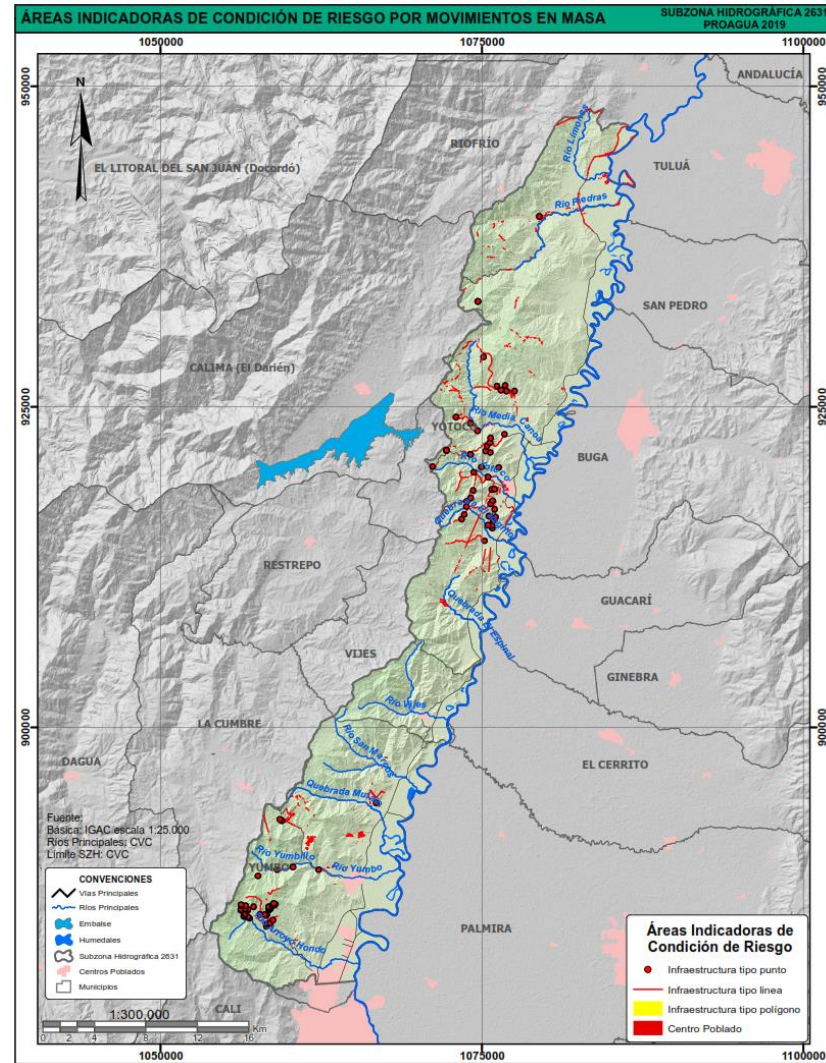
Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 69. Áreas indicadoras de condición de riesgo por inundaciones



Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 70. Áreas indicadoras de condición de riesgo por movimientos en masa



Fuente: Elaboración propia, 2019

8. ANÁLISIS SITUACIONAL

El análisis situacional, se estructura a partir de los resultados obtenidos en la caracterización de la zona de estudio en sus diferentes componentes, incluyéndose en él aspectos relacionados con el análisis de potencialidades, limitantes y condicionamientos, el análisis de los conflictos por uso y manejo de los recursos naturales, y finalmente el análisis de los territorios funcionales, en el cual se incluyen las relaciones y vínculos urbano rurales y regionales, al interior de la SZH2631 y con territorios adyacentes (MADS, 2014).

8.1. ANÁLISIS DE POTENCIALIDADES, LIMITANTES Y CONDICIONAMIENTOS

Con los resultados de la caracterización biofísica, social, cultural y económica, realizada con la información primaria recogida a través de los recorridos y trabajo de campo, con la información de los estudios existentes y con los resultados de las diferentes jornadas de trabajo que hacen parte de la implementación de la estrategia de participación, en la cual se llevaron a cabo espacios de participación donde se utilizó la técnica de mapas parlantes (ver Foto 10), a través de los cuales se pudo obtener información de cómo las personas ven su territorio.

Foto 10. Actores sociales elaborando el Mapa Parlante de potencialidades (27-nov-19)



Fuente: Proagua, 2018

También se tuvo en cuenta los aportes recibidos por parte del Consejo de Cuenca, se pudieron determinar las potencialidades de la subzona.

Las potencialidades, están asociadas a aspectos naturales, culturales, económicos y sociales, las cuales pueden ser fortalecidas, con un manejo adecuado que contribuya al desarrollo sostenible de la SZH y su entorno próximo. Una de las situaciones que fortalece el territorio está relacionada con el sistema vial, que ha sido y será un aliado estratégico para el florecimiento del desarrollo económico y social del territorio, el cual permite la movilidad de carga y pasajeros y la integración con zonas vecinas. Es así como en la SZH se resalta la vía panorama, la autopista Cali - Yumbo, y la doble calzada Buga - Loboguerrero (tramo Mediacanoa - Buga). En proyecto de construcción se encuentra la vía Mulaló - Loboguerrero y la construcción de la primera fase de la carretera del Valle del Dorado, en el municipio de Yotoco.

También se tiene que en el valle geográfico del río Cauca, el cultivo de la caña de azúcar, que ocupa al 12% del área total de la SZH, está contribuyendo en la consolidación de la industria azucarera y de producción de alcohol carburante. Subiendo hacia la parte media del área de estudio, se reporta un área equivalente al 5,6% del total de área sembrada con cultivos de frutales (vid, piña, papaya y cítricos) y ají; el cual es exportado hacia Estados Unidos, Medio Oriente, Europa, México y Perú (Cámara de Comercio de Cali).

Se observa énfasis en la producción de uva que se focaliza en el municipio de Yumbo. Hacia la zona alta del área de estudio, se tiene la presencia del cultivo de café y café en asocio con otros cultivos (4% del área de la SZH). Aunado a estas condiciones de producción, se tiene que aproximadamente en el 2,2% del área total, se cuenta con la presencia de cultivos de pino y eucalipto, los cuales se convierten en la base de materia prima para la industria del papel.

Desde la dimensión industrial, se tiene una amalgama de grandes, medianas y pequeñas compañías, la mayoría asentadas en el municipio de Yumbo. La producción avícola y porcícola se sigue consolidando en los primeros lugares, fortaleciendo con ello el clúster de la proteína blanca, cuyos desarrollos cobran importancia en el municipio de Yotoco, especialmente.

En términos de biodiversidad, se tiene una importante área de conservación que conforman su estructura ecológica principal, tales como las áreas protegidas públicas privadas, y áreas de especial importancia ecosistémica. Todas estas son áreas clave de biodiversidad que permite en su conjunto albergar más de 400 especies de plantas, 19 especies de anfibios, 29 especies de réptiles y 329 especies de aves. En todo este complejo de biodiversidad se entretajan las condiciones han permitido la conservación de sitios de patrimonio cultural e interés arqueológico, los cuales se deben potencializar mediante el desarrollo de actividades turísticas y de investigación.

En el campo de las fuentes de energía alternativa, en la SZH se tiene la presencia de referentes importantes, tal es el caso de una Granja Solar (CELSIA, 2017), la cual está concebida para abastecer alrededor de 8000 viviendas, en cercanías del denominado sector conocido como “Ciudad Guabinas”, también se han gestado iniciativas de energía solar por parte de las empresas públicas de Cali EMCALI E.S.P.

Otra de las potencialidades identificadas corresponde a la consolidación del sector del manejo de residuos especiales, con aproximadamente 20 empresas que prestan este servicio. Se debe hacer mención también al relleno sanitario “Colomba - El Guabal”, donde son dispuestos los residuos ordinarios de varios municipios de los departamentos del Valle del Cauca y del Cauca.

Cabe resaltar que en la SZH tienen coexistencia la presencia de cabildos indígenas, consejos comunitarios, población campesina y población que habita en los centros urbanos, lo que le permite brindar a esta área en general, una connotación multicultural, que se enriquecen con la oferta de sitios para el desarrollo de turismo de naturaleza representado en charcos, cuevas, haciendas, lugares de esparcimiento y disfrute del paisaje, turismo gastronómico y potencialidades de geoturismo (turismo geológico). De igual manera se cuenta con valiosos relictos culturales relacionados especialmente con la cultura Calima.

Los centros poblados de la SZH representan sitios de tranquilidad y seguridad, los cuales, dada su cercanía a Cali, han sido escogidos para establecer fincas de veraneo, que dan cuenta de la potencialidad del territorio para estos servicios.

Las potencialidades que presenta la SZH que pueden favorecer la adaptación y mitigación al cambio climático, están representadas en la existencia de diversas instituciones de carácter

público y privado, que han liderado investigaciones y acciones encaminadas a equilibrar los desarrollos productivos con el cuidado y preservación del ambiente.

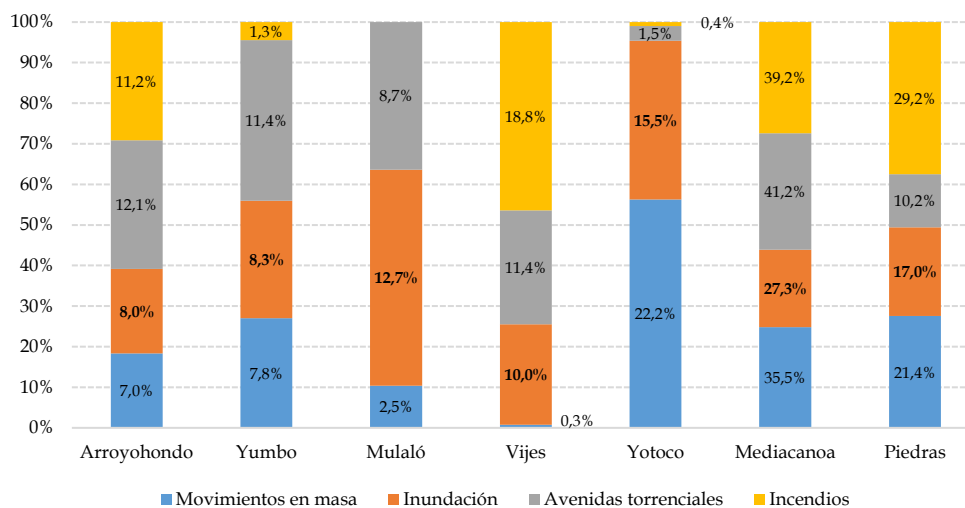
Adicionalmente en la SZH y zonas adyacentes, se localizan centros de educación superior que promueven el desarrollo de estudios asociados a temas ambientales, así como centros de investigación, orientados a mejorar las condiciones de producción de algunos cultivos.

Respecto a las situaciones o eventos que podrían llegar a condicionar el uso del territorio se identificó que los desarrollos habitacionales o productivos en la SZH, están condicionados por la pendiente del terreno. Así mismo la baja profundidad de los suelos, dificulta la implementación de sistemas agrícolas.

En la SZH se reportan que 11.373,5 ha presentan condición de amenazas alta frente al evento de movimientos en masa. Se destacan algunos movimientos en masa en la subcuenca del río San Marcos, los cuales están asociados al movimiento traslacional que afecta la unidad de calizas que es explotada para la fabricación de cemento. Referente al condicionante asociado a las inundaciones, se reporta la existencia de 10.658 ha en condición de amenaza alta, entre ellas se incluye la zona que ocupa el río Cauca, en época de desbordamiento y que afecta desarrollo productivo asociados principalmente al sector agrícola, localizados en el valle geográfico del río Cauca. Frente al tema de avenidas torrenciales, se tiene que la SZH presentan 1.196,3 ha en condiciones de categoría de amenaza alta. Con relación al condicionante de incendios, de acuerdo con los análisis realizados, se reporta para la SZH la existencia 24.238,3 ha bajo condición de amenaza alta.

La distribución porcentual de los diferentes eventos generadores de amenaza alta por cuenca se presenta en la Figura 71.

Figura 71. Distribución porcentual de eventos amenazantes (categoría alta) por cuenca. SZH 2631



Fuente: PROAGUA 2019, a partir de cruce de información cartográfica CVC

De la anterior figura se puede concluir que la cuenca del río Mediacanoa es la que presenta las condiciones amenazantes con los mayores porcentajes, frente a las cuencas de los ríos Yumbo y Mulaló que son las que presenta en términos generales los porcentajes más bajo. No obstante, hay que indicar que, si bien la SZH tiene una condición de amenaza alta en 38.000 ha aproximadamente, ello no implica que no se factible implementar ningún tipo de desarrollo económico o de infraestructura, para lo cual se deberá realizar análisis particularizados por tipo de amenazas que pudieran afectar las acciones a emprender.

Igualmente condiciona el uso del territorio la disponibilidad de recurso hídrico, pues si bien en algunas zonas (como en la parte alta de Arroyohondo), existe una oferta importante, la demanda de agua enfrenta el territorio a periodos de escasez.

Acorde con los resultados reportados en el Plan Integral de Cambio Climático (PICC), fue posible identificar los impactos asociados al recurso hídrico, para un escenario futuro de cambio climático al año 2040. Además de acuerdo con la Tercera Comunicación del IDEAM, se espera a nivel del departamento del Valle del Cauca, un aumento de la temperatura hasta en 2,4°C y un aumento de precipitación de 6,14%, lo cual genera impactos fuertes sobre la biodiversidad y ecosistemas, agricultura, salud, abastecimiento de agua, generación de incendios, entre otros.

El PICC estableció una ganancia en producción de agua total anual (para el departamento) de hasta 119.785 mm. No obstante, este estudio plantea para la SZH una pérdida de agua de hasta el 24%, con una pérdida total de hasta 1.083 mm/año, hacia la parte sur en las cuencas de los ríos Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes y ganancias de hasta 5.114 mm/año hacia la parte centro y norte en las cuencas de los ríos Yotoco, Mediacanoa y Piedras.

De igual manera se abordó como el cambio climático impactará algunos cultivos de interés, especificándose entre ellos el fríjol (considerado por algunas instituciones como uno de los cultivos obligatorios para los programas de seguridad alimentaria en zonas deprimidas y en conflicto), plátano, piña, naranja, mandarina y limón.

Para el caso del cultivo de fríjol, se estableció que las áreas que en la actualidad son aptas para su desarrollo, bajo los escenarios planteados para el futuro ya no lo serán, debido a que las condiciones climáticas no favorecerán su desarrollo (bajas precipitaciones y altas temperaturas), por lo que se disminuirán sus condiciones de floración. Respecto al cultivo de plátano, considerado el cuarto más importante a nivel mundial, por ser un producto básico y de exportación, y cuyo desarrollo responde a un amplio rango altitudinal de desarrollo, presentará disminuciones en su aptitud, sobre todo a lo largo del valle geográfico.

Para los cítricos (naranja, limón y mandarina) se espera que se gane en aptitud climática, dadas las condiciones de resiliencia de estos cultivos. En el caso del cultivo de piña, cuya comercialización gana cada vez más espacio en los mercados de Japón, Estados Unidos y Europa; se espera en los escenarios futuros planteados de cambio climático, que las zonas que cultivadas ganen idoneidad, principalmente en la parte media y baja del departamento.

8.2. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CONFLICTOS POR USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES

Son varios los factores que inciden en el surgimiento de los conflictos por uso y manejo de los recursos naturales en la SZH, los cuales parten de condiciones naturales y de tipo antrópico. Los conflictos se analizan desde la identificación de situaciones que generan conflicto entre las comunidades y con relación a conflictos por uso de suelo, del agua y de pérdida de coberturas áreas y ecosistemas estratégicos.

Se exponen a continuación algunos de los conflictos latentes y manifiestos que fueron factibles de identificar, algunos de ellos fueron precisados con los aportes de los actores sociales durante la implementación de la estrategia de participación, relacionados algunos de ellos con los componentes agua, suelo y ecosistemas.

8.2.1. Conflictos ambientales latentes y manifiestos

A continuación, se presentan los conflictos ambientales desde el análisis de relaciones entre actores identificados en la SZH 2631.

- Posible conflicto ambiental entre las comunidades aledañas a las zonas de extracción de cal y arcilla en el municipio de Vijes y los mineros por contaminación asociada al aprovechamiento de la arcilla que degrada el suelo y produce contaminación eólica e hídrica, sin desconocer las posibles afectaciones a la salud y la emisión GEI. Se trata de un conflicto latente que se manifestó durante los talleres de aprestamiento, en los cuales la comunidad siente amenazada su salud.
- Posible conflicto ambiental entre los pobladores de la parte alta de la SZH, municipios de Vijes (específicamente para el corregimiento de Carbonero), Yotoco y Riofrío y la empresa Smurfit Kappa Cartón de Colombia, por la afectación de franjas protectoras de afluentes por plantaciones comerciales de eucalipto y pino, en la zona alta de la cuenca. Este posible conflicto ha sido expresado en los talleres de aprestamiento por los asistentes quienes manifiestan que Cartón Colombia tiene también predios donde existen bocatomas. De igual modo este conflicto se encuentra documentado en el Atlas de Justicia Ambiental para Colombia.
- Posible conflicto ambiental entre los consejos comunitarios Los Negros de San Marcos y Vereda Manga Vieja, y el Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Alcaldías de los municipios de Vijes y de Yumbo, por la categorización, distribución y agrupación que el IDEAM hizo de la Subzona Hidrográfica 2631, al no incluir la cuenca del río San Marcos de manera independiente, habiéndolo anexado a la cuenca del río Vijes, lo que -a consideración de la comunidad- hace que esta cuenca no sea claramente visible. Más que una situación ambiental, se trata de un conflicto de intereses de tipo territorial, que compromete lo político-administrativo de dos municipios -Vijes y Yumbo-.
- Posible conflicto ambiental entre comunidad del corregimiento de Dapa y dueños de parcelaciones de la cuenca de Arroyohondo, corregimiento de Dapa, ante la posible disminución de la disponibilidad de agua, bien sea a partir de las concesiones de aguas superficiales otorgadas para su aprovechamiento por parte de la autoridad ambiental,

o por el manejo y uso inadecuado del agua que hace la comunidad. También por la imposibilidad de desarrollar construcciones habitacionales en predios adquiridos para tal fin, debido a las dificultades de que sean asignados los permisos necesarios, por la difícil situación ambiental en la parte alta de Dapa.

- Conflicto manifiesto entre habitantes de la vereda Manga Vieja, corregimiento San Marcos, (Yumbo) y la empresa de Cementos San Marcos por el derrumbe de material y el posterior taponamiento de la quebrada Peñalisa, ocurrido en octubre de 2018, toda vez que la zona estaba siendo utilizada para disposición de material de descapote.
- Conflicto manifiesto entre los propietarios de los predios que quieren iniciar construcciones de viviendas en la vereda de Dapa (Zona alta de la cuenca del río Arroyohondo) y la administración municipal, debido a las restricciones por las características de la zona relacionadas con la baja disponibilidad de agua y la presencia de áreas protegidas en el territorio.

8.2.2. Conflicto por pérdida de cobertura en áreas y ecosistemas estratégicos

Este conflicto es el resultado de cruzar y analizar los resultados obtenidos en el índice de vegetación remanente (IVR), el cual expresa la cobertura de vegetación natural de un área como porcentaje total de la misma (Márquez, 2002, con modificación); el Índice de Fragmentación (IF), entendido este como la división de un hábitat originalmente continuo en relictos remanentes inmersos en una matriz transformada (Sanders et ál., 1991), y el índice de Ambiente Crítico (IAC), el cual combina el IVR y el Índice de Presión Demográfica (IPD).

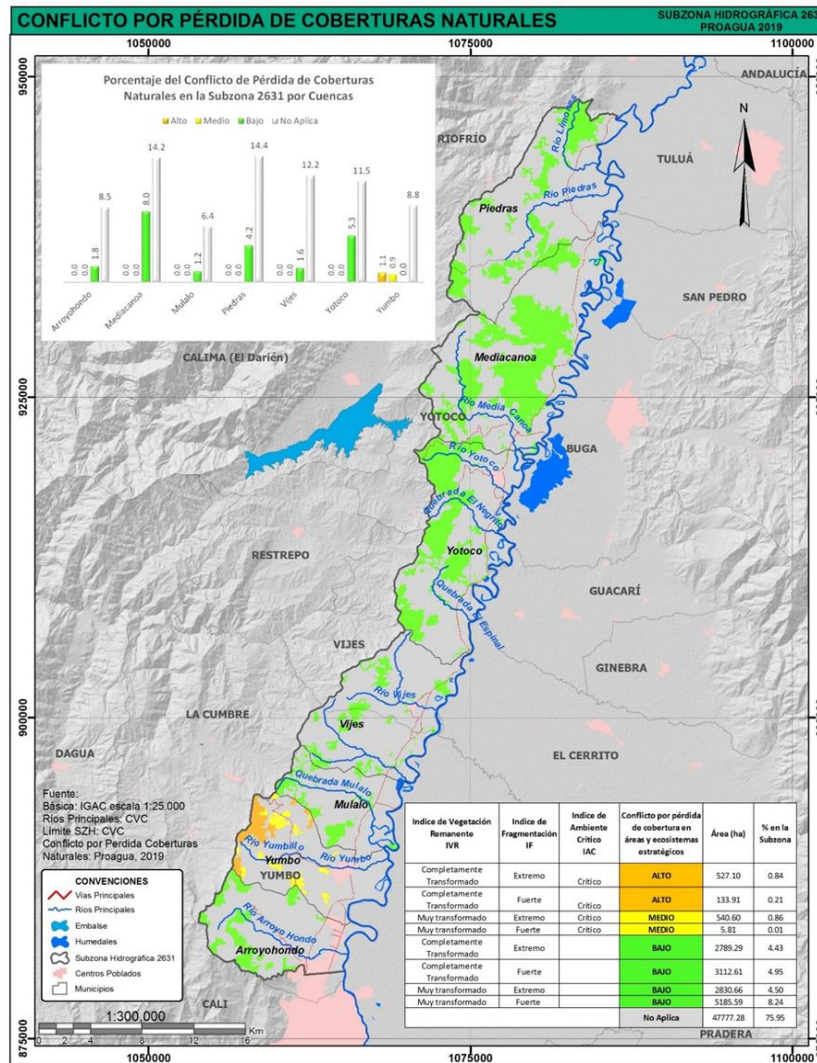
En lo que se refiere a la pérdida de cobertura, se reporta que de acuerdo con el análisis temporal de coberturas años 2002 – 2016, se presentó una disminución en el bosque denso cercana al 47%, en bosque fragmentado del 34% y bosques de galería y ripario del 37%, pérdidas que posiblemente estén direccionadas al establecimiento de cultivos de pastos y pastos limpios (para el desarrollo de ganadería), así como cultivos comerciales. En términos generales se podría indicar que la cuenca que ha presentado mayores condiciones de pérdida de cobertura es Mediacanoa (9,21%), seguida de Piedras (7,74%), Vijes (7,10%), Yumbo (6,72%), Yotoco (5,78%), Arroyohondo (5,06%) y Mulaló (2,74%). Las condiciones anteriores permiten establecer que la SZH, presenta una fragmentación fuerte (57,2%) en cuanto a sus coberturas y un 42,8% bajo la connotación de fragmentación extrema.

No obstante, hay que indicar que al estimar el índice de vegetación remanente, en el cual se consideran los ecosistemas presentes en la SZH, pero vistas las coberturas objeto de análisis como las áreas totales (año 2002), y comparándolas con las reportadas en las coberturas del año 2016, se identifica que los mayores porcentajes de cambios se presentan en la categoría completamente transformado, en especial para cobertura Bosque denso (7,2%), seguido por la cobertura vegetación secundaria o en transición (7,0%); en la categoría muy transformado se localiza la cobertura Arbustal (28,6%). Es de destacar que las coberturas con mayores niveles de transformación se localizan en las partes altas de las cuencas.

Una vez cruzados espacialmente los índices asociados a vegetación remanente (IVR), fragmentación (IF) y de ambiente crítico (IAC), se obtiene el conflicto por pérdida de cobertura

en áreas y ecosistemas estratégicos, el cual arroja como resultado que 1,05% posee una categoría alta, el 0,87% categoría media y el 22,13% categoría baja, cuyas condiciones más severas se presentan hacia la parte alta de las cuencas hacia la parte alta de la cuenca del río Yumbo (la Figura 72).

Figura 72. Conflicto por pérdida de coberturas en la SZH 2631



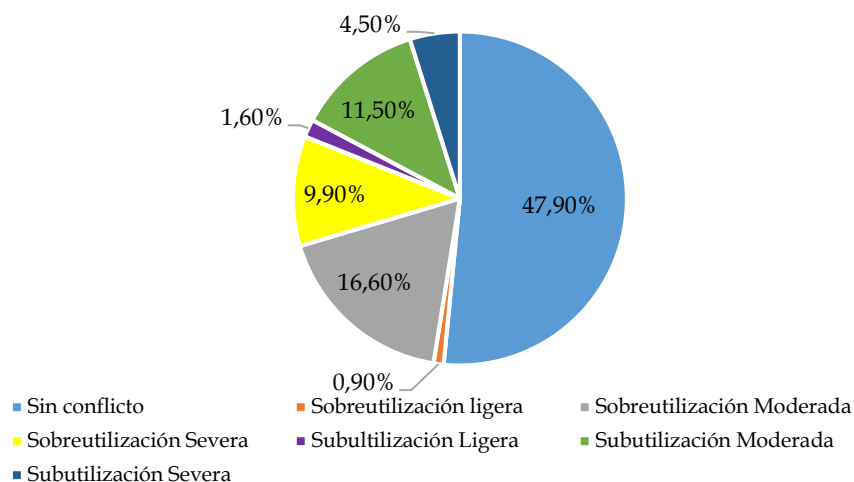
Fuente: Construcción Proagua 2019, a partir de información cartográfica CVC

8.2.3. Conflicto por uso del suelo

El conflicto por uso de la tierra se presenta cuando el hombre no utiliza de manera adecuada la oferta ambiental, es decir, cuando se tienen condiciones de sobreutilización o subutilización de las potencialidades de la tierra (MADS, 2014). Para determinar el conflicto por uso del suelo, se construyó una matriz de comparación entre la capacidad de uso y el uso principal propuesto.

En el caso del conflicto por sobreutilización o subutilización de la tierra, estos pueden clasificarse como severa, moderada o ligera. Para la SZH 2631, el 47,9% de la tierra no presenta conflicto, el 27,4% presenta conflicto por sobreutilización y el 17,6% conflicto por subutilización. Es de notar que en 4512,06 ha de la SZH, la tierra es utilizada en zonas urbanas, vías, canales de riego, entre otros y no se le realizó ninguna evaluación asociada al conflicto por uso de la tierra. (Figura 73).

Figura 73. Conflicto por uso del suelo



Fuente: PROAGUA, a partir de información cartográfica CVC.

El mayor uso de la tierra donde no se genera ningún conflicto se encuentra en la cuenca del río Yotoco con 6356,9 ha, seguida por la cuenca del río Vijes con 5110,9 ha (ver Tabla 62). Se puede observar que el mayor conflicto por sobreutilización de la tierra se presenta en la cuenca del río Piedras (40.0%) seguida por la de Mulaló (32.4%). En cuanto al conflicto por subutilización es la cuenca del río Mediacanoa la que presenta el mayor conflicto (32,6%) seguida de la cuenca del río Yotoco con un 17,1% del total del área de la cuenca. La cuenca del río Piedras presenta el mayor conflicto por sobreutilización moderada con 27,4% y el mayor conflicto por subutilización moderada se presenta en la cuenca del río Mediacanoa con un 23,1%.

Tabla 62. Evaluación del conflicto por uso de la tierra en la en las cuencas de la SZH 2631

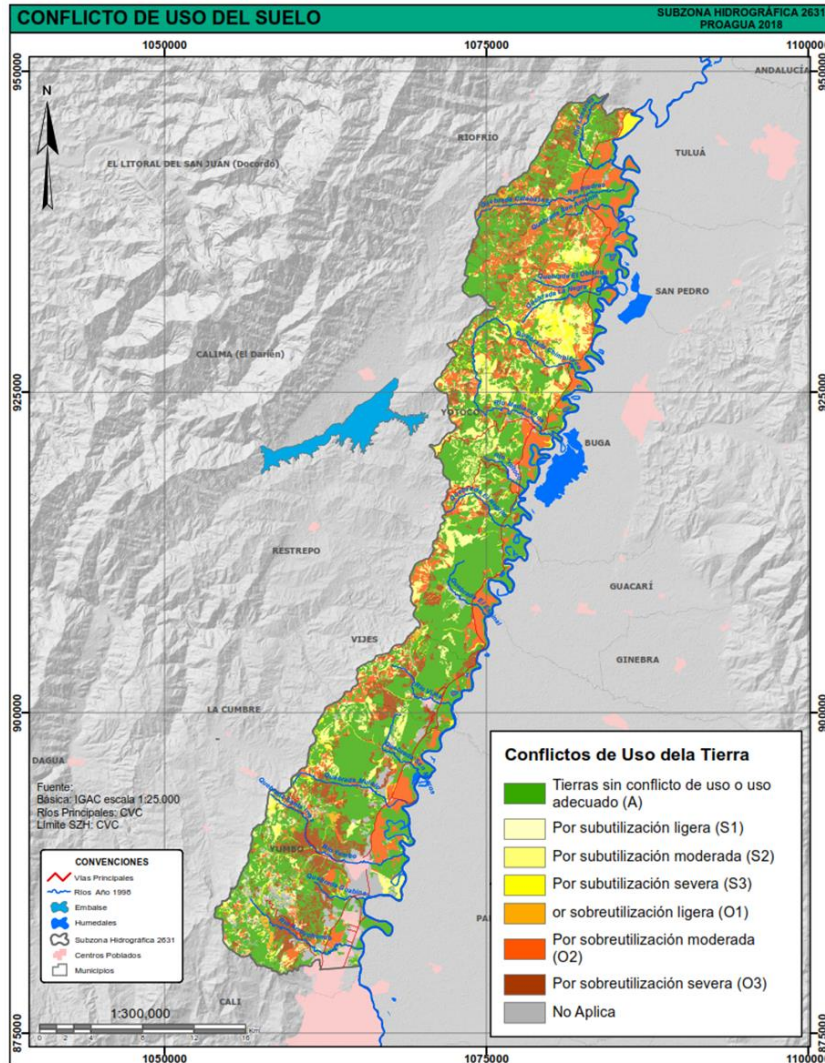
	Arroyohondo	Yumbo	Mulaló	Vijes	Yotoco	Mediacanoa	Piedras
No Aplica	20,6%	18,4%	7,7%	4,7%	3,9%	3,4%	2,4%
Sin Conflicto	43,1%	41,2%	49,5%	58,9%	60,1%	37,1%	47,5%
Conflicto por Sobreutilización	23,8%	26,0%	32,4%	22,3%	18,9%	26,9%	40,0%
Conflicto por Subutilización	12,5%	14,5%	10,5%	14,2%	17,1%	32,6%	10,1%

Fuente: Elaboración propia, a partir de información cartográfica CVC

La clase de tierra que tiene la mayor área sin conflicto son los suelos de la clase 2; entre tanto el suelo clase 6 son los que tiene la mayor área donde se presentan los conflictos por sobreutilización con 6158,4 ha y también los mayores por subutilización con 7601,1 ha.

También es importantes considerar que existen 1489,2 ha que pertenecen a la case 4 pero que están ocupadas como zona urbana, vías, canales de riego, entre otros. Esta clase corresponde a suelos mecanizables, aptas para cultivos, pastos y bosques de producción adaptados a las condiciones climáticas y edáficas de cada región.

Figura 74. Espacialización conflicto por uso del suelo en la SZH 2631



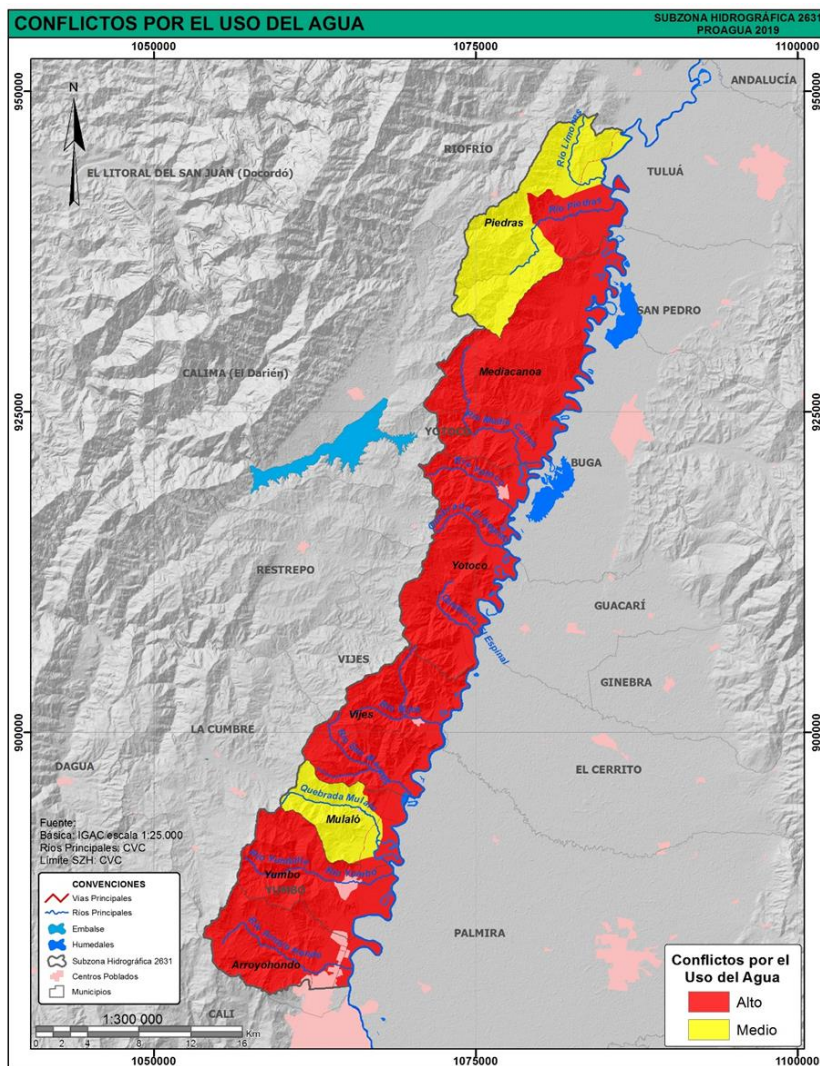
Fuente: Proagua 2019, a partir de información cartográfica CVC

8.2.4. Conflicto por uso del agua

En lo que respecta al recurso agua, considerado como eje articulador de los procesos de planificación y motor dinamizador de los desarrollos económicos y sociales de cualquier territorio, se tiene que este conflicto está sujeto a la relación entre el índice de uso del agua (IUA) y el índice de Alteración de la calidad del agua (IACAL).

Para la zona de estudio, el IUA arrojó como resultado que el 27% del área de la SZH presenta unas condiciones de categoría muy alta, representada ellas por áreas de las cuencas de los ríos Arroyohondo y Yotoco; el 33% presenta unas condiciones de categoría Alto, representado por áreas de las cuencas de los ríos Yumbo y Mediacanoa; el 19% bajo la categoría Moderado, localizándose las áreas en la cuenca del río Piedras y el 21% restante bajo las condiciones de categoría Baja (cuencas ríos Mulaló y Vijes). Con respecto al IACAL, el cual contempla en su mayoría información presuntiva; cabe destacar que el 33% del de la SZH presenta una categoría Muy Alta, el 39% del área una categoría Alta, el 14% una categoría Media Alta, y el 14% una categoría Baja. El conflicto por uso de agua se presenta en la Figura 75.

Figura 75. Espacialización conflicto por uso del agua - SZH 2631



Fuente: PROAGUA 2019, a partir de información cartográfica CVC

Se observa que el 71% de las cuencas que conforman la SZH presentan con unas condiciones de conflicto Alto, representadas ellas por las cuencas de los ríos Arroyohondo, Yumbo, Vijes, Yotoco y Mediacanoa, mientras que el 29% presenta unas condiciones de conflicto medio

(cuencas Mulaló y Piedras), resaltándose que estas categorías se alcanzan principalmente debido a las condiciones que aporta el índice de alteración de la calidad (IACAL). La consolidación de los diferentes conflictos asociados al manejo de los recursos naturales se presenta en Capítulo 9: Síntesis ambiental, convirtiéndose estos en la base para el establecimiento de las áreas críticas.

9. SÍNTESIS AMBIENTAL

La SZH es un territorio conformado por 62.902,85 ha sobre la cual se localizan 7 cuencas hidrográficas que tiene extensión en 4 municipios del Valle del Cauca. El 23,7% de su territorio es una zona plana y un 73,3% es zona de montaña, en esta área se presentan problemas y conflictos dado el uso de los recursos naturales y se propician áreas que resultan ser críticas. Es necesario entonces realizar una consolidación de estos aspectos para definir los asuntos clave que orientarán un posterior análisis prospectivo.

9.1. PROBLEMAS

Los problemas de la SZH se identificaron a partir de tres componentes, siendo el primero de ellos el asociado al conocimiento y aportes de los actores sociales durante las jornadas de implementación de la estrategia de participación, el segundo correspondió al conocimiento técnico del equipo de trabajo durante recorridos de campo, información recopilada en la fase de aprestamiento y análisis de información, y el tercero tiene que ver con los estudios detallados realizados durante la fase de diagnóstico.

9.1.1. Identificación de problemas

La identificación de los problemas se presenta a continuación iniciando con los resultados desde los aportes de los actores sociales, donde diferentes grupos asistentes a los espacios de participación en las mesas zonales (norte, centro y sur) realizaron un ejercicio de “análisis de causalidad” utilizando la herramienta denominada “árbol de problemas”, ubicando el problema central en el tronco, las causas en las raíces y las consecuencias o efectos en las hojas o ramas. Esta información fue sistematizada procurando que prevalezcan las ideas como fueron expresadas, respetando los espacios de participación para poder conocer con detalles cual es la visión, sentir y pensar de los actores sociales. Esta información es contrastada con los conocimientos del equipo de trabajo frente al territorio, con lo cual se tiene un contexto que permite su posterior priorización utilizando para ello, la metodología propuesta por la Guía POMCAS (MADS, 2014).

-Asociados al recurso hídrico: Los problemas se asocian especialmente con la escasez y con la contaminación del agua de la SZH. El primero de ellos se debe a las reducidas condiciones de precipitación, sobre todo en la zona central y sur de la SZH, lo cual ocasiona bajos aportes hídricos de sus fuentes, siendo en algunos casos incapaz de suplir las necesidades que presenta el territorio. Con relación al aumento de la población y por consiguiente de la demanda de agua se prevé un aumento en la afectación al recurso hídrico e impactos en la calidad del mismo. Varios de los nacimientos de agua tienen poca protección en cuanto a los aislamientos

por lo cual se presentan impactos por actividades agrícolas y ganaderas. La contaminación se asocia además con la utilización de agroquímicos, vertimientos generados por el desarrollo de la minería y tránsito de vehículos pesados que pasan por el cauce de los ríos e inadecuados sistemas de saneamiento de la población. Es importante mencionar también que con relación al agua subterránea en las cuencas especialmente en Yumbo y Arroyohondo se hace un uso intensivo del recurso, con alta densidad de pozos profundos en áreas industriales.

-Asociados a la deforestación: La pérdida de los bosques naturales se genera por la disposición del suelo a otros usos, como el desarrollo agrícola, ganadero, emplazamiento de infraestructura productiva, así como las vías y el desarrollo urbano. Lo anterior, ocasiona erosión, arrastre de material durante época de lluvias y alta turbiedad del agua, lo cual a su vez conlleva a la disminución de agua, que influye en el desplazamiento de la población, el empobrecimiento de las comunidades, el desplazamiento de la fauna por la destrucción de su hábitat. Esta situación propicia el cambio en el uso del suelo originando un riesgo en la seguridad alimentaria y en los servicios ecosistémicos. Todo esto se agrava por la ausencia de cultura ambiental y la debilidad de incentivos para que las personas protejan, conserven e incrementen sus bosques, como área forestal protectora, que por norma debe existir para ríos y quebradas.

-Asociados a la erosión: Si bien la erosión es un proceso natural, se reconoce en el PGAR que las actividades antrópicas lo aceleran. Es así como la afectación a la cobertura forestal y la deforestación que se presenta en la SZH origina en algunos casos situaciones de erosión, la cual se agrava por la construcción de vías, desarrollos de infraestructura, aprovechamiento minero y por las inadecuadas prácticas de la actividad ganadera, tanto así que la erosión muy severa se localiza principalmente en áreas de ganadería extensiva (CVC, 2015). De acuerdo con los estudios de erosión realizados por la CVC y reportado en la fase de aprestamiento del POMCA SZH 2631, para la zona de estudio el tipo de erosión más recurrente es el hídrico y las clases predominantes muestran que la mayor parte del área tiene proceso laminar presentándose en altas pendientes principalmente, donde se localizan los cultivos. En algunas áreas de la SZH como la cuenca río Mediacanoa, se identificaron situaciones asociadas a la erosión dada la actividad denudativa condicionada por estructuras geológicas y favorecida por pérdida de coberturas naturales producto de incendios, ganadería extensiva y detonada por eventos lluviosos.

-Asociados al área forestal protectora de ríos y quebradas: La ausencia o afectación del área forestal protectora de ríos y quebradas se identificó como un problema que afecta la biodiversidad de la SZH, se favorece la desaparición de flora y fauna y se afecta el recurso hídrico. Esta situación se agudiza por la debilidad institucional para el cumplimiento normativo con respecto a los usos permitidos dentro del área forestal. De igual manera una situación que genera la afectación del área forestal protectora es la división predial especialmente cuando las familias realizan procesos de sucesión o similares, situación de alta complejidad en la cuenca de Arroyohondo y Yumbo.

-Asociados a la disposición inadecuada de residuos sólidos: Aun cuando la CVC ha brindado apoyo y asesoría en los municipios para la identificación de sitios potenciales para la disposición de Residuos de Construcción y Demolición – RCD (escombros) (CVC, 2015), se siguen presentar problemas debido a que la comunidad dispone de estos residuos a orillas de

ríos y quebradas ocasionando que el material se derrumbe y generando taponamiento en época lluviosa, especialmente. En la zona alta de las cuencas no existe recolección y disposición adecuada, como en algunos sectores de la zona plana. Esta situación ocasiona contaminación del suelo, del agua, olores ofensivos y vectores ya que se dispone de ellos en sitios inapropiados. No existen lugares para depositar los residuos y contenedores de herbicidas, ni tampoco programas de responsabilidad ambiental que promueva el ciclo de recolección posconsumo de envases contaminados, por lo cual la comunidad los deposita en suelos y quebradas. Igualmente se identifica que la debilidad de la cultura ambiental ciudadana y de las capacidades de las entidades municipales para implementar el PGIRS ocasiona que no se cuente con soluciones en el tema. También refiere la comunidad, que existe ineffectividad del comparendo ambiental, y que solo funciona en la parte urbana.

-Asociados a la débil articulación institucional: Se evidencian inversiones cuantiosas que se abandonan, como el caso de la PTAR en Yumbo, donde la inadecuada planificación del proyecto ocasionó que esta infraestructura no fuera sostenible en el tiempo y se abandonara, ocasionando vertimientos de agua residual sin tratar al río Cauca. El desarrollo de infraestructuras, se permite pese a que se conoce que corresponde a zonas que requieren estudios detallados. Así mismo el aprovechamiento tradicional e intensivo del suelo para actividades agrícolas ha conllevado a la afectación y desaparición de humedales en el valle geográfico del río Cauca, sin una adecuada gestión de las autoridades. De igual manera se presenta un abandono de las instituciones competentes en cuanto a los acueductos rurales, sobre los cuales la gestión de la comunidad se ha convertido en la única forma de lograr un abastecimiento de agua para sus necesidades. En las cuencas de Arroyohondo y Yumbo, un tema que requiere del concurso continuo y planificado del municipio y la CVC, se relaciona con el uso del suelo, especialmente, donde las altas densidades prediales en zonas que corresponden a suelo rural han ocasionado conflictos, siendo el más sentido el relacionado con el uso del agua.

-Asociados a la débil cultura ambiental: Los temas relacionados con la cultura ciudadana resultan claves para una avanzar en la construcción de relaciones entre las personas, en el fortalecimiento de las entidades e instituciones, en la resolución de conflictos y en la búsqueda de soluciones efectivas a problemas que son comunes en la sociedad. Para los actores sociales, el tema de la cultura ambiental ha sido manejado solo con la promoción aislada de eventos que buscan enaltecer el cuidado de los recursos naturales, pero no a través de un acompañamiento continuo en las instituciones especialmente las educativas, que permitan formar a la población estudiantil en valores orientados hacia la protección de los recursos naturales; o escuelas de capacitación a la población adulta en temas ambientales, para crear sinergias con lo que se deba impartir desde las instituciones educativas. Se hace necesario indicar que la débil gestión de las entidades, la baja cultura ambiental y participación comunitaria en la gestión y toma de decisiones y la escasa inversión económica, son condiciones que implican de alguna manera retomar el concepto de gobernanza⁷, a fin de lograr soluciones sostenibles en el tiempo.

⁷ *Gobernanza es la realización de relaciones políticas entre diversos actores involucrados en el proceso de decidir, ejecutar y evaluar decisiones sobre asuntos de interés público, proceso que puede ser caracterizado como un juego de poder, en el cual competencia y cooperación coexisten como reglas posibles; y que incluye instituciones tanto formales como informales. La forma e interacción entre los diversos actores refleja la calidad del sistema y afecta a cada uno de sus componentes; así como al sistema como totalidad.* María Victoria Whittingham Munévar, Ph.D - Universidad Jorge Tadeo Lozano. ¿Qué es la gobernanza y para qué sirve?

9.2. CONFLICTOS

Los conflictos, se agrupan en tres recursos de acuerdo con las orientaciones de la Guía POMCAS (2014). El análisis conjunto de los tres conflictos analizados permite consolidar las áreas donde el conflicto por recursos naturales es más agudo, como se presenta a continuación.

Tabla 63, Conflictos asociados al Suelo, Agua y Ecosistemas Estratégicos.

Conflicto	Descripción
Asociados al uso del suelo	Se presentan suelos con vocaciones y aptitudes diferentes, encontrándose que el 27,40% del área de la SZH, evidencia conflicto por sobreutilización, donde el mayor peso porcentual está asociado a la sobreutilización moderada; la otra condición está asociada a la subutilización que llega a un porcentaje cercano al 17,60%, donde nuevamente las condiciones moderadas poseen el mayor peso porcentual. El conflicto por sobreutilización severa, se presenta en 6.220,6 ha que tienen un uso que sobre pasa en tres niveles su capacidad, volviéndolas susceptibles a ser degradadas. El mayor uso de la tierra donde no se genera ningún conflicto se encuentra en la cuenca del río Yotoco con 6.356,9 ha y después la del río Vijes con 5.110,9 ha.
Relacionados con el uso del agua	Se conjugan aspectos de cantidad y calidad; primera condición asociada al relacionamiento entre la oferta y la demanda de agua por parte de los diferentes sectores (doméstico, agrícola, pecuario, etc.) y la segunda relacionada las actividades que deterioran las condiciones de calidad de agua por cargas de vertimientos (doméstico y cargas del sector caficultor), cuyos resultados evidenciaron que el 19% de la SZH presenta una condición de conflicto medio localizándose en las cuencas de los ríos Mulaló y Piedras y el 81% restante presenta condiciones de conflicto alto localizadas en las cuencas del río Arroyohondo, Yumbo, Vijes, Yotoco y Mediacanoa; y el 19% presenta condiciones de conflicto medio. Las áreas de drenaje denominada zona baja del río Mulaló, la zona baja del río Piedras y la quebrada San Antonio (cuenca río Piedras), presentan una condición de categoría alta de conflicto por uso del agua.
Relacionados con pérdida de coberturas en áreas y ecosistemas estratégicos	Se encuentra que el 1,05% presenta condiciones altas de pérdida de coberturas naturales, el 0,87% condiciones medias y el 22,13% presenta condiciones bajas. Las condiciones más críticas (altas), se ubican hacia las partes altas de las cuencas especialmente en la zona alta de la cuenca del río Yumbo.

Fuente: Elaboración propia, 2019

9.2.1. Conflicto por recursos naturales

El conflicto por uso y manejo de recursos naturales presentado con base en los conflictos anteriores, los cuales están documentados de manera más completa en el Análisis Situacional, con ellos se ha realizado el análisis de conflicto por recursos naturales. En la Figura 76, se presentan esquemáticamente la articulación de las condiciones encontradas para cada uno de los recursos naturales analizados, convirtiéndose estos en la base del análisis a desarrollar.

Figura 76. Cruces de conflictos



Fuente: Construcción Proagua 2019

Para determinar las áreas con conflicto por uso y manejo de los recursos naturales inicialmente se realizó una intersección mediante la herramienta 'Intersect' del software ArcGis de los conflictos por uso de la tierra, uso del agua y por pérdida de cobertura en áreas y ecosistemas estratégicos. Posteriormente, se procedió a extraer las categorías más altas o críticas de cada conflicto, es decir, de los conflictos por uso del agua y por pérdida de cobertura natural solo se tuvieron en cuenta aquellos registros con conflicto alto, y del conflicto por el uso de la tierra los registros con sobreutilización y subutilización severa (O3 y S3 respectivamente). Finalmente, se calificaron las áreas en las que se superponían por lo menos dos de los tres conflictos, asignando los números 2 y 3 de acuerdo con el número de conflictos superpuestos.

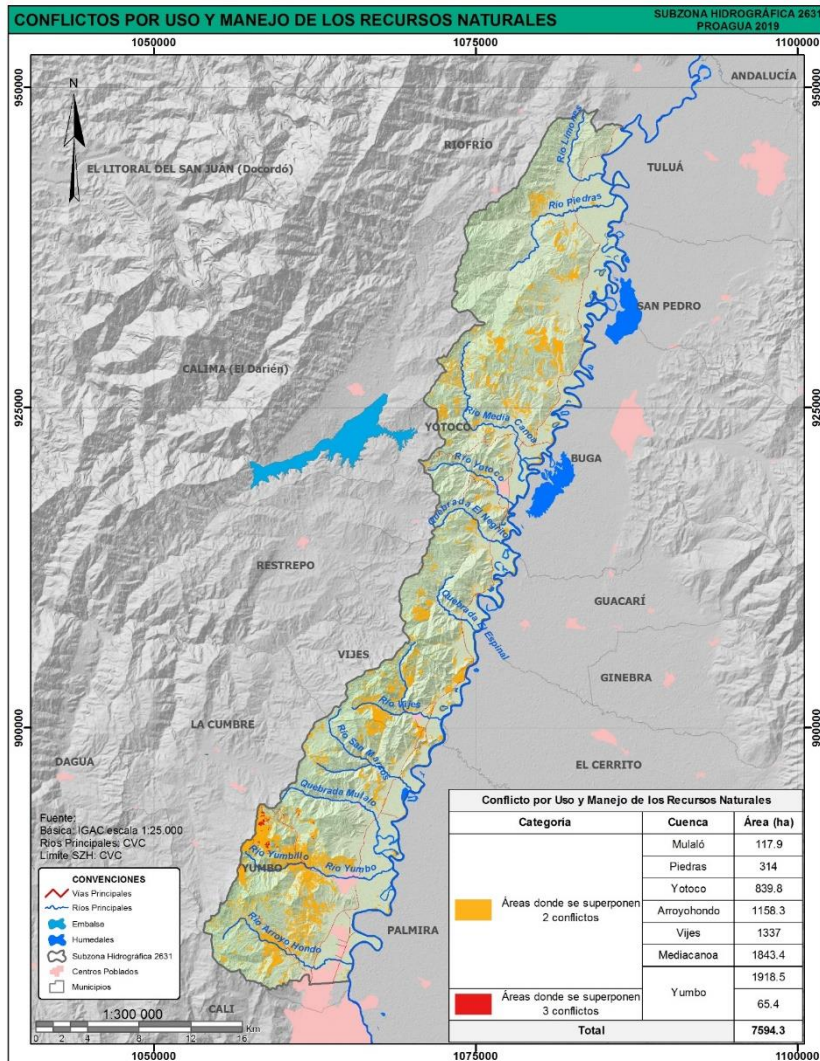
Las áreas de conflicto más severo donde convergen tres conflictos, están ubicadas especialmente en la parte alta de la cuenca de Yumbo, donde se encuentran 65,4 ha que corresponden al conflicto por uso y manejo de los recursos naturales más crítico (Figura 77). En la cuenca del río Yumbo se observa que hay presencia de coberturas muy transformadas a completamente transformadas con pérdidas críticas de su cobertura natural, con una muy alta contribución o alteración potencial de la calidad del agua por presión de la actividad socioeconómica, así como una alta presión de la demanda con respecto a la oferta hídrica disponible, esta última asociada a las construcciones rurales dispersas, parcelaciones y/o edificaciones campestres y vías o carretables.

Existen 7.528,9 ha donde se superponen solo dos de los tres conflictos analizados y se distribuyen a lo largo de las siete cuencas que conforman la SZH 2631, siendo la cuenca de Mulaló la que menor conflicto presenta con 117,9 ha y las cuencas de Yumbo y Mediacanoa las que tienen mayor área en conflicto con 1.918,5 y 1.843,4 ha, respectivamente. Sobre la cuenca del río Vijes, las zonas en conflicto se localizan en el Orobioma Azonal, ecosistema definido como estratégico para el Valle del Cauca.

La evaluación de los conflictos apoyada en la espacialización sobre la SZH permite construir conocimiento orientado al manejo del territorio, para que en posteriores fases se analice cuáles son las zonas donde se pueden continuar los usos actuales o manejos similares, siempre y cuando las categorías de ordenación lo permitan, que suelos deben ser recuperados de tal manera que permitan nuevamente su potencial de uso y cuáles serán los futuros limitantes desde la perspectiva del riesgo y de la conservación de la oferta hídrica y los recursos naturales asociados.

Llama la atención que, en la zona alta de la cuenca del río Yumbo, que es una de las áreas de mayor conflicto, existen áreas del SINAP (Dapa Carisucio y La Elvira) sin embargo en este caso se debe aclarar que, en estas áreas, se tiene un conflicto por uso del suelo en subutilización, situación ésta que es necesario conservar, dado que sobre ella prima una estrategia de conservación.

Figura 77. Conflictos por uso y manejo de los recursos naturales



Fuente: PROAGUA, 2019

9.3. ÁREAS CRÍTICAS

Un área crítica es aquella en la que existen situaciones en las cuales hay alteraciones que disminuyen condiciones ambientales que hacen sostenible la cuenca (MADS, 2014). Para determinar las áreas críticas se tuvieron en consideración las siguientes variables, buscando

que se superpusieran, para poder obtener unas áreas donde confluyen situaciones complejas que conforman criticidad, como lo recomienda la guía POMCAS (MADS, 2014).

1. Erosión moderada, severa y muy severa (Información suministrada por CVC)
2. Zonas de amenaza alta (Información determinada en la consultoría actual)
3. Áreas de asentamientos humanos en zonas de amenaza alta (Información determinada en la consultoría actual)
4. Áreas donde se superponen por lo menos 2 tipos de conflicto (derivado del análisis de conflicto por uso y manejo de los recursos naturales) donde se tiene considerado el conflicto de suelo, agua y pérdida de área en ecosistemas estratégicos.

Para el análisis en la consultoría, se realizaron tres formas de análisis. Inicialmente se realizó la intersección de las 4 situaciones expuestas, sin embargo, las áreas resultantes fueron de poca representación para la SZH, de acuerdo con el conocimiento del territorio y con los resultados de los estudios, pues solo se obtenían 13 ha.

Posteriormente se analizó el cruce de 3 situaciones, sin considerar los asentamientos humanos en zonas de amenaza alta, dado que reducen las áreas, de esta manera se obtienen áreas de interés para la sostenibilidad de la SZH. Con este análisis se concluyó en 3.327 ha identificadas como área crítica. El tercer y último análisis correspondió al cruce de 2 situaciones, sin considerar los asentamientos humanos ni los conflictos, con lo cual se obtuvieron 22.961 ha como área crítica.

Finalmente se decidió que la segunda opción, representa de mejor manera lo que se presenta en la SZH ya que tiene en cuenta erosión, conflicto y amenaza alta, situaciones que conforman áreas que requieren intervención desde el POMCA.

Es así como se determinó que las áreas críticas se concentran como se presenta en la Figura 78. Las áreas críticas sobre la cuenca de Mediacanoa representan 1.176,2 ha, en la cuenca de Vijes 865,2 ha, mientras que las cuencas con menor presencia de estas áreas son Mulaló y Yotoco con 41,3 y 164,3 ha, respectivamente.

La zona media y alta de la cuenca Arroyohondo presenta 446,5 ha en áreas críticas debido a que es una zona con altos conflictos por sobreutilización y subutilización del suelo, con una alta demanda hídrica respecto a la oferta disponible, sin mencionar que se evidencia una erosión que va de moderada a severa y la amenaza por incendios forestales y movimientos en masa es alta.

La cuenca Yumbo tiene 382,6 ha de áreas críticas distribuidas en las zonas media y alta de la misma, siendo el conflicto por uso y manejo de los recursos naturales, en esta cuenca se observa presencia de erosión moderada a muy severa y amenaza alta por movimientos en masa. A lo largo de toda la cuenca Vijes hay presencia de áreas críticas, generadas principalmente por la poca disponibilidad hídrica a causa de la presión que ejerce la actividad socioeconómica sobre este sector del territorio. Las 164,3 ha de áreas críticas de la cuenca Yotoco surgen a raíz de los conflictos por el uso del suelo y el agua, por la presencia de erosión severa y muy severa que incentiva la alta amenaza por movimientos en masa de esta parte del territorio.

Tabla 64. Indicadores de línea base para la SZH

Nombre y Variables	Objetivo	Resultados
Índice de Aridez (IA)	Estimar la suficiencia o insuficiencia de precipitación para sostenimiento de ecosistemas	Con relación al año medio se tiene que cerca del 47,2% presenta un índice de aridez entre 0,19 y 0,29; lo que significa que existe una disponibilidad entre moderada y excedente de agua, El 39,5% del área de la SZH se indica que existe una moderada y deficitario de la disponibilidad agua, condición característica de las áreas más planas. Para el año seco aproximadamente el 48% del área presenta un índice de aridez entre 0,29 y 0,39 (disponibilidad de agua moderada).
Índice de Uso del Agua (IUA)	Estimar la relación porcentual entre la demanda de agua con respecto a la oferta hídrica disponible.	Se observa que el 51% de la SZH presenta una categoría Alto; lo que indica que existe una alta presión de la demanda con respecto a la oferta. Al realizar el análisis por cuencas se tiene que en Arroyohondo y Yotoco, el IUA toma valores de 56% y 58% clasificando en la categoría de Muy Alto. Las cuencas de los ríos Yumbo, Mediacanoa y Piedras tienen valores de 36%, 31% y 16% respectivamente. Para las cuencas de Vijes y Mulaló se tiene una categoría de baja con 5% y 9% respectivamente.
Índice de Regulación Hídrica (IRH)	Estimar la capacidad de la subzona de mantener los regímenes de caudales	Los resultados muestran que en para la SZH en general se presenta una categoría “baja”, lo cual indica que presentan una baja retención y regulación de humedad, dado que el 81% del territorio de la SZH se categoriza en este nivel. Solamente la cuenca Piedras, se encuentran en el rango “moderada”. El IRH Bajo es un indicativo de que prevalecen los caudales mayores o iguales al caudal medio.
Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IVH)	Determinar la fragilidad de mantener la oferta de agua para abastecimiento.	El 71% de la SZH presenta un IVH Alto dado que las cuencas de Arroyohondo, Yumbo, Mediacanoa y Yotoco, se encuentran en esta categoría. La condición de un IVH Alto se relaciona con un IUA muy alto y un IRH bajo. Las cuencas de Mulaló, Vijes y Piedras presentan un IVH “medio”.
Índice de Calidad del agua (ICA)	Determinar el estado de la calidad de agua en la cuenca	En términos generales los ríos conservan su calidad del agua al observar el ICA CESTESB, pero en la última estación se deteriora su calidad, ocasionado por vertimientos domésticos especialmente en los ríos Yumbo y Yotoco. En promedio todos los ríos tienen un ICA Aceptable.
Índice de Alteración de la Calidad del agua (IACAL)	Estimar la afectación al cuerpo de agua por las presiones de actividades socioeconómicas	La categoría Muy Alta se presenta en un porcentaje de 50,8% del área de la SZH, la cual corresponde a las áreas de drenaje de las cuencas de Arroyohondo, Yumbo y Vijes y para las áreas de drenaje de las zonas alta y baja del río Mulaló. Por otro lado, el 27,5% del área de estudio presenta una categoría Alta, condición que se localiza principalmente en las cuencas de Yumbo y Vijes.
Indicador de Tasa de Cambio de las Coberturas Naturales de la Tierra (TCCN)	Medir la pérdida o recuperación de los diferentes tipos de coberturas naturales con relación al tiempo en años.	Las áreas en categoría “completamente transformado” se presentan en la cobertura Bosque denso (7,2%), seguido por la cobertura vegetación secundaria o en transición (7,0%); en la categoría “muy transformado” se localiza la cobertura Arbustal (28,6%). Es de destacar que las coberturas con mayores niveles de transformación se localizan en las partes altas de las cuencas.
Índice de vegetación remanente (IVR)	Cuantificar el porcentaje de vegetación remanente por tipo de cobertura vegetal a través del análisis multitemporal, con	Los resultados del índice de Vegetación Remanente involucrando como unidad de análisis los ecosistemas de la SZH, presentan que los tipos de intervención de mayor área corresponden a “Medianamente Transformado” con un 14,46% del área de estudio y “Muy Trasformado” que corresponde a área un 13,61%. Las cuencas de Yotoco y Vijes presentan las mayores zonas con categoría “Medianamente Transformada” con porcentajes de área de 4,94 y 5,09% respectivamente.

Nombre y Variables	Objetivo	Resultados
	énfasis en las coberturas naturales.	
Índice de Fragmentación (IF)	Cuantificar el grado o tipo de fragmentación de los diferentes tipos de cobertura natural de la tierra.	Se concluye que el 57% de la SZH tiene una fragmentación extrema y el 42.8% fragmentación fuerte. La cuenca de Yotoco presenta un 14,1% de su área en la categoría de fragmentación fuerte, mientras que la cuenca de Piedras presenta un 18,3% de su área en fragmentación extrema. Ambas cuencas corresponden a las mayores áreas de cada categoría
Índice de Presión Demográfica (IPD)	Medir la presión de la población sobre los diferentes tipos de coberturas naturales de la tierra.	Los resultados muestran que la mayor presión demográfica de la población es registrada en la cuenca Yumbo la cual se presenta con valores extremadamente altos indicando que existe un crecimiento excesivo, grave que amenaza la sostenibilidad de la cuenca. En la cuenca Arroyohondo se establece que hay población y amenazas crecientes pero normales. Las cuencas Mulaló, Mediacanoa, Vijes y Yotoco presentan presión de la población baja y sostenibilidad alta.
Índice de Ambiente Crítico (IAC)	Identificar los tipos de cobertura natural con alta presión demográfica.	Las áreas que se mantiene estables y que presentan amenazas moderadas representan el 22.8%. Estas son áreas que se encuentran expuestas a la expansión de las fronteras agrícolas y pecuarias. Las áreas en peligro y con un bajo estado de conservación representan el 1,9%, son espacios naturales que están expuestos a la expansión de las fronteras agrícolas y expansión urbana.
Porcentaje y Área (Ha) de Áreas Protegidas del SINAP	Definir la participación en porcentaje de las áreas protegidas del SINAP dentro de la extensión total de la cuenca de interés	El índice es bajo si se analiza la totalidad de la subzona. En la cuenca de Arroyohondo existen 2.344,9 ha con figura de conservación del SINAP lo cual representa el 3,73% de la SZH. La cuenca del río Yumbo cuenta con 1.473,5 ha que equivalen a 2,34% de la SZH. En la cuenca de Yotoco se tiene 1.215 ha que equivalen al 1,93% de la SZH, en la cuenca de Mediacanoa existen 220 ha (0,35%) y en la cuenca de Vijes 126 ha (0,2%). No se tienen áreas SINAP en las cuencas de Piedras y Mulaló.
Porcentaje de Áreas con otra Estrategia de Conservación	Definir la participación en porcentaje de áreas con estrategias de conservación del nivel internacional, nacional, regional y local dentro de la extensión total de la cuenca de interés.	El valor del índice es bajo (7,66%), lo que hace intuir sobre el grado de conservación que puede presentar la subzona o el nivel de desarrollo de acciones implementadas para alcanzar tal fin.
Porcentaje de Área de Ecosistemas Estratégicos Presentes	Definir la participación en porcentaje de los ecosistemas estratégicos y otras áreas de importancia ambiental del nivel regional y local dentro de la extensión total de la SZH	El valor del índice es alto para la SZH, lo que hace intuir sobre el grado de conservación que pueden presentar todas las cuencas o el nivel de desarrollo de acciones a implementar para alcanzar tal fin. Sin embargo en desarrollo de la consultoría se identificaron áreas aferentes a las bocatomas que abastecen los centros poblados, y que no todas ellas pertenecen a los ecosistemas estratégicos, por lo tanto debe ser considerado en las siguientes fases del POMCA la necesidad de promover figuras de protección para las áreas que surten acueductos y que no están actualmente protegidas.
Estado actual de coberturas naturales	Mostrar de manera consolidada los resultados de las calificaciones relacionadas con el estado actual por tipo de	El índice del estado actual de las coberturas, indica que el 13,0 % de la SZH se encuentra conservada; el 26,6 % transformada y Altamente transformada el 8,2 %. Según el análisis realizado el Índice no aplica para el 52,2 % de la SZH.

Nombre y Variables	Objetivo	Resultados
	cobertura natural a través de los indicadores IVR, TCCN, IF e IAC.	
Porcentaje de áreas con conflicto por uso del suelo	Evaluar las áreas con conflictos de uso del suelo en la cuenca.	Para la SZH el 47,9% de la tierra no presenta conflicto, el 27,3% presenta conflicto por sobreutilización y el 17,6% conflicto por subutilización. En 4512,06 ha la tierra es utilizada en zonas urbanas, vías, canales de riego, entre otros y no se evaluó el conflicto por uso de la tierra.
Densidad Poblacional - Dp	Expresar la forma en que está distribuida la población a nivel municipal.	Para la SZH la Dp es de 229 hab/km ² , siendo la cuenca del río Yumbo la más poblada, con 1.691 hab/km ² , con una alta diferencia entre las otras cuencas puesto que la segunda más densa es Vijes con 113 hab/km ² . Estos resultados confirman la alta presión sobre los recursos naturales en la cuenca Yumbo, que resulta ser la cuenca con mayores situaciones ambientales identificadas.
Tasa de crecimiento - r	Explicar en forma porcentual a qué ritmo crece una población determinada a nivel municipal.	las cuencas de Arroyohondo, Yumbo y Mulaló, ubicadas en el municipio de Yumbo, presentan una tasa de crecimiento de 2,39% para la zona rural y 2,41% para la zona urbana. Las cuencas ubicadas en los municipios de Vijes, Yotoco y Riofrío presentan una tasa negativa para la zona rural.
Índice de seguridad alimentaria - SA	Determinar el nivel de seguridad alimentaria de la cuenca	La subzona se posiciona en la categoría alta, ya que el 52% de los productos considerados en el ítem Alimentos, de la canasta familiar del DANE, se producen o procesan en la subzona hidrográfica. Es importante resaltar que aunque el aporte principal del PIB del departamento es generado por la caña de azúcar, en la SZH existe una importantes variedad de productos generados en menor cantidad.
Porcentaje de Población con Acceso al Agua por Acueducto	Cuantificar de la población que tiene acceso a este servicio.	Los resultados muestran que las cuencas de Arroyohondo, Mulaló, Vijes y Yotoco, cuentan con un cubrimiento del 100% de personas con acceso al agua por acueducto. En la SZH este servicio lo prestan, principalmente las juntas administradoras de acueducto. Para el caso de las cuencas de Yumbo, Vijes y Yotoco, que también cuentan con centros urbanos, el servicio lo prestan empresas como la ESPY y ACUAVALLE, y en el sector de Acopi el servicio lo presta EMCALI.
Porcentaje de Área de Sectores Económicos	Determinar las áreas con incidencia directa de los diferentes sectores económicos presentes en la cuenca a partir del análisis asociado al uso de la tierra.	<ul style="list-style-type: none"> - Actividad forestal (pino - eucalipto): 2,2% del área de la SZH (1414,40 ha) - Actividad agrícola (variedad de cultivos): 17,8% del área de la SZH (11200,7 ha) - Actividad ganadera (vacas): aproximadamente 12745 cabezas de ganado (destinados a diversos fines: carne, leche y carne-leche) - Actividad porcícola: aproximadamente 76942 cabezas de ganado - Actividad avícola: aproximadamente 2550400 pollos - Actividad minera: 3,81% (2395,12 ha).
Porcentaje de niveles de amenaza	Evaluar el grado de incidencia de amenaza alta y media en la cuenca hidrográfica por inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales e incendios forestales.	Los resultados obtenidos permiten indicar que del total del área de la SZH, existen 11.399,5 ha que se encuentran categorizadas con amenaza media y alta por eventos de inundaciones, representando un 18,12% del área. Con respecto a los eventos de avenidas torrenciales, se tiene un 3,29% del área de la zona en amenaza media y alta (2.069,53 ha). Los eventos con mayor área categorizada con amenaza media y alta corresponden a los incendios de la cobertura vegetal y los movimientos en masa, donde 62.042 ha para incendios 29.166,4 para movimientos en masa. Los incendios se presentan en el 98,6% en categoría media y alta.

Fuente: Elaboración propia, Proagua 2019

10. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

10.1. ESPACIOS DE RETROALIMENTACIÓN TÉCNICA

En desarrollo de la fase de diagnóstico, se realizaron diferentes espacios de retroalimentación con la CVC y otros actores de interés. Algunos de los propósitos de estos espacios fueron revisar metodologías de trabajo y su implementación para realizar los análisis en cada uno de los componentes del diagnóstico, socializar avances, realizar talleres, fortalecer el conocimiento del Consejo de Cuenca, apoyar las reuniones con las comunidades étnicas, etc. de manera que como entidad ejecutora del proyecto se contara con las herramientas necesarias para el logro de los objetivos propuestos en esta fase de desarrollo del POMCA.

10.2. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE PARTICIPACIÓN Y COMUNICACIÓN

La implementación de la estrategia de participación y el plan de medios desarrollado para la conformación del Consejo de Cuenca se detalló en el capítulo 1 del presente documento. La caracterización del medio físico-biótico en el componente hídrico se desarrolló mediante recorridos guiados por actores sociales del territorio. La caracterización de las amenazas y eventos se desarrolló mediante recorridos guiados por algunos habitantes del territorio, a partir del conocimiento histórico que pudieran tener acerca de los eventos ocurridos. La socialización y retroalimentación con el Consejo de Cuenca se realizó una vez obtenidos los productos de la fase de diagnóstico.

El análisis situacional se desarrolló con la implementación de las mesas técnicas propuestas: Mesa Institucional y Mesas Zonales (Norte, Centro y Sur); así como con el Consejo de Cuenca como el principal espacio de participación para el POMCA dada su condición de instancia consultiva y representativa de todos los actores sociales en la SZH. En estos eventos se abordó el análisis situacional y el tema de cambio climático y gestión del riesgo (Ver Foto 11).

Foto 11. Espacios de participación



Mesa Institucional (22-nov-18)



Mesa zonal norte (24-nov-18)

Fuente: Proagua, 2018

10.2.1. Conformación del colectivo de comunicación

El colectivo de comunicación es un grupo de actores propuesto para el desarrollo de la estrategia de comunicación propuesta, que siendo consecuente con el carácter participativo del proceso, se propone para que lideren paralelamente a la planeación de la SZH, un proceso de comunicación que incluye su capacitación para el desarrollo de campañas y productos de divulgación y sensibilización. Para su conformación, en las mesas zonales e institucional, se realizó la invitación a los actores que pudieran estar interesados en hacer parte de este grupo. Para esto, se realizaron tres talleres con estos actores sociales y donde se ha logrado comenzar una planeación apoyando el plan de medios y la capacitación de dichos actores.

En los talleres se generó el ejercicio para construcción conjunta del logo del POMCA, el cual a partir de las opiniones de los participantes se estableció que debía reunir como elementos principales una mano que representara la presencia del ser humano, la cual debía estar integrada a los demás elementos de la naturaleza (agua, árbol, flora, fauna, y la cordillera). Estas sugerencias fueron tenidas en cuenta en el diseño final.

También se capacitó al colectivo de comunicación, en redacción básica de noticias, fotografía básica y manejo de Facebook.

10.2.2. Productos de divulgación

De acuerdo con el plan de medios propuesto, se produjeron programadores tipo calendario (Ver Figura 79). De igual manera, se elaboraron camisetas, con el logo del POMCA, (ver Figura 80) que se diseñó con aportes de los actores sociales y de la CVC y boletines y plegables que se utilizaron para difundir el proceso de conformación del Consejo de Cuenca, y los avances del proyecto.

Figura 79. Caratula Programador



Figura 80. Propuesta Camisetas POMCA



Fuente: PROAGUA, 2019.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Yumbo. (2016). *Bases del Plan de Desarrollo (Diagnóstico) Yumbo territorio de oportunidades para la gente 2016-2019*. Yumbo.
- Anderson. (1993). Clasificación de uso de tierra y cobertura" 1976. *Revista SIG - PAF*, 74.
- Andrade, A. (1994). "Notas de Clase para el curso de Evaluación de Tierras". *Subdirección de Docencia e Investigación*. Bogotá.
- Bocanegra, M., Edgar, J., & Caicedo, J. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 2, 7-21.
- Borroto-Páez, R. &. (2017). Biodiversity and conservation of Cuban mammals: past, present, and invasive species. *Journal of Mammalogy*.
<https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx017>.
- Cámara de Comercio de Cali. (s.f.). *Un negocio picante*. Recuperado el 2018, de Cámara de Comercio de Cali: www.ccc.org.co/revista-accion-ccc/un-negocio-picante/
- Canseco-Márquez, L. &.M. (2010). Anfibios y Reptiles del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán A. C., Benemérita Universidad A.
- Carmona, A., & Poveda, G. (2012). Application of Hilbert-Huang transform to detect hydroclimatic variability modes in Colombia. *Dyna*, 79(175), 72-80.
- Carvajal, J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano.
- Carvajal, J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá: INGEOMINAS.
- CELSIA. (3 de septiembre de 2017). *Empezó a generar energía Celsia Solar Yumbo, primera granja fotovoltaica de Colombia*. Obtenido de <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/empez243-a-generar-energ237a-celsia-solar-yumbo-primera-granja-fotovoltaica-de-colombia>
- Cenicana. (2017). *Fechas históricas de la agroindustria de la caña en Colombia*. Recuperado el 26 de octubre de 2018, de <http://www.cenicana.org/web/acerca-de/agroindustria/fechas-historicas>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa fe de Bogota: McGraw-Hill.
- Colmenares, G. (1975). *Cali: Terratenientes, Mineros y Comerciantes. Siglo XVIII*. Universidad del Valle, Biblioteca Banco Popular.
- Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012, Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*.

- Congreso de la República. (6 de julio de 2012). Ley 1551 de 6 de julio de 2012. Por la cual se dictan normas para modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios. Bogotá.
- Cortés Gómez, A. M., Valencia Aguilar, A., Torres Domínguez, D. M., García Calderón, L. M., Villaquirán Martínez, D. F., Cáceres Franco, A. d., & Castro Herrera, F. (2010). *Guía de los Anfibios y Reptiles, Área de conservación de la microcuenca Quebrada Pericos*. Santiago de Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- CVC. (2007). *Acuerdo C.D. número 038 de 2007, por el cual se declaran los humedales naturales del valle geográfico del río Cauca como reservas de recursos naturales renovables y se adoptan otras determinaciones*. Santiago de Cali.
- CVC. (2015). *Plan de Gestión Ambiental Regional 2015-2036*. Santiago de Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- CVC. (2018). *Convenio Interadministrativo 4488 IGAC - 087 CVC de 2014. Levantamiento semidetallado de suelos a escala 1:25.000 para las cuencas priorizadas por la CVC*.
- CVC; Secretaria de Ambiente, Agricultura y Pesca; CIAT. (2018). *Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PICC*.
- Dearman, W. R. (1974). *Weathering classification in the characterization of rock for ingenieering propourses in the British practice*. Bulletin international Association of Ingenieering Geology.
- Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. Todos por un nuevo país*. Bogotá D.C.
- Diaz, D., & Villegas, N. (2015). Correlación canónica entre índices macroclimáticos y variables meteorológicas de superficie en Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2).
- DNP. (2014). *Misión Sistema de Ciudades. Una política nacional para el sistema de ciudades colombiano con visión a largo plazo*. Bogotá: Puntoaparte Bookvertising.
- DNP. (2016). *El Campo Colombiano: Un camino hacia el bienestar y la paz. Informe detallado de la Misión para la Transformación del Campo*. Bogotá: Nuevas Ediciones S.A.
- DNP. (2017). *Fichas territoriales*. Recuperado el 2018, de Departamento Nacional de Planeación - DNP: <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles>
- Empresa Oficial de Servicios Públicos de Yumbo S.A. ESP. (2016). *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) para el corregimiento de Dapa, Yumbo, Valle del Cauca. Colombia*.
- Escamilla, V., Puertes, C., & Francés, F. (2017). Capacidades del modelo hidrológico TETIS versión 9. 9-15.
- Espinosa Jaramillo, G. (2005). *Valle del Cauca. Pobladores y fundadores. Ciudades, pueblos y aldeas*. Universidad Santiago de Cali.
- ESPY. (2015). *Diagnóstico y apoyo técnico de la infraestructura de acueducto y alcantarillado en las zonas rurales y urbano marginales del municipio de Yumbo*.

- ESPY. (2016). *Diagnóstico y apoyo técnico de la infraestructura de acueducto y alcantarillado en las zonas rurales y urbano marginales del municipio de Yumbo.*
- Flórez, A. (2003). *Colombia: evolución de sus relieves y modelados.* Universidad Nacional de Colombia.
- Galindo Díaz, J. A. (2003). *Cruzando el Cauca, pasos y puentes sobre el río Cauca en el Departamento del Valle hasta la primera mitad del siglo XX.* Cali.
- GIMHA. (2014). *Descripción del Modelo conceptual distribuido de simulación hidrológico TETIS.* España: Universidad Politécnica de València.
- Gobernación del Valle del Cauca. (2016). *Plan de Desarrollo del Valle del Cauca 2016-2019, "El Valle está en vos".* Santiago de Cali.
- Gobernación del Valle del Cauca. (2016). *Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca.* Santiago de Cali.
- Gonzalez, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. J. (2013). Aplicación de los Índices de Calidad de Agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente.*
- Gutiérrez, S. E., Carvajal, Y., & Ávila, Á. J. (2013). Estudio de la Influencia del Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur en la Oferta Hídrica de la Cuenca Hidrográfica del Río Dagua. *Entre Ciencia e Ingeniería*(13), 26-33.
- Gutierrez-Garaviz, J. P.-R.-S. (2016). Macroinvertebrados acuáticos presentes en dietas de peces de la cuenca del río Hacha (Caquetá, Colombia). *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*
- Hoek, E. &. (1980). *Empirical strength criterion for rock masses.* *J. Geotech. Engng Div., ASCE* 106 (GT9), 1013-1035.
- IDEAM. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia.* Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. En M. y. Instituto de Hidrología. Bogotá, D. C.,.
- IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua.* Bogotá D.C.
- IDEAM, et. al. (2015). *Nuevos escenarios de Cambio Climático para para Colombia 2011-2100. Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones. Nivel Nacional Departamental : Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.* IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA.
- IGAC. (2014). *Clasificación de las tierras por su capacidad de uso.* Bogotá. D.C: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología.
- INGEOMINAS. (2001). *Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Valle del Cauca.* Bogotá.
- Londoño G., C. (2015). *Articulación de los Instrumentos de Ordenamiento Territorial del Modelo Propuesto para el Corredor río Cauca.* Producto del Convenio Especial de Cooperación Técnica y Académica No. 072 de 2014 entre la CVC y la Univ San Buenaventura, Cali.

- Londoño G., C., Falla G., M., & otros. (2016). *Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca. Documento síntesis*. Universidad San Buenaventura Cali, Gobernación del Valle del Cauca. Santiago de Cali: Bonaventuriana.
- Londoño Rosero, L. A. (1997). *Yumbo - De resguardo indígena a capital industrial del Valle del Cauca*.
- Lugo Hubp, J. (1989). *Diccionario geomorfológico*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- MADS. (2014). *Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos*. Bogotá, D.C: Imprenta Nacional de Colombia.
- MADS. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá.
- MADS. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. "Formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento Ambiental del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenomeno de la Niña 2010-2011, como una Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País".
- MADS, Fondo Adaptación. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá D.C.
- Marinos, P.; Hoek, E.;. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proceedings of GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering* (págs. 1422-1446). Melbourn, Victoria, Australia: Lancaster: Technomic Publishers.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *Resolución 0509 (21-mayo-2013). Por la cual se definen los lineamientos para la conformación de los Consejos de Cuenca y su participación en las fases del Plan de Ordenación de la Cuenca y se dictan otras disposiciones*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible. (2010). *Guía Metodológica para la Elaboración del Plan General de Ordenación Forestal - PGOF*. Colombia.
- Monsalve, S. (1995). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Nace, R. L. (1971). *Scientific framework of world water balance*. Paris: UNESCO.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Nivia. (2001). *Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Valle del Cauca*. Cali.
- Pabón-Caicedo, J. D. (2011). Los incendios de la cobertura vegetal en Colombia y su relación con la variabilidad climática y con el cambio climático. En Á. Parra Lara, *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia* (págs. 145-165). Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Parra, E., Viana, R., & Gonzales, M. (1995). Metodología para la evaluación de la torrencialidad caso oriente antioqueño. 189-201.
- Phillips, S. D. (2004). *A maximum entropy approach to species distribution modeling*. In *Proceedings of the Twenty-First International*. Obtenido de Conference on Machine Learning (pp. 655-662).
- Phillips, S. J. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. *Ecological Modelling*, 190, 231-259. Obtenido de Science Direct:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438000500267X?via%3Dihub>

- PROACANA. (2018). *Presentación del sector agroindustrial de la caña de azúcar*.
- Quesada-Quirós, M. A.-V.-A.-G. (2017). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoa*.
- Reyes, T. A., Ulises, B. F., & Carvajal, E. Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Colombia: Programa editorial Universidad del Valle.
- Segura-Serrano, L. (2014). Conocimiento de la dinámica fluvial como herramienta para la planificación territorial. Caso río Volcán, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 12-21.
- SGC. (2015). *Memoria explicativa Mapa Geomorfológico aplicado a movimientos en masa, Escala 1:100.000 Plancha 280 – Palmira*. Bogotá.
- SGC. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa escala 1:25000*. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano.
- Thornthwaite, C. W. (Enero de 1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Valencia, A., & Zuluaga, F. (1992). *Historia Regional del Valle del Cauca*. Cali: Univalle.
- Villota, H. (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. *Revista CIAF*, 15 (1), 83-115.
- West, A. K. (2016). *Field validation of an invasive species Maxent model*. *Ecological Informatics*, 36, 126–134. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.11.001>
- Zambrano H, M. P. (2003). *Evaluación de Integridad Ecológica Propuesta Metodológica*. WWF. *Parques Nacionales Naturales*. Instituto Humboldt. Bogotá. .
- Zinck, J. (2012). *Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*.
- Zinck, J. A. (2012). *Geopedología*. Enschede: ITC Especial Lecture Notes Series.