

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA EVALUACION
REGIONAL DEL AGUA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**

CARLOS EDUARDO CÁCERES GONZÁLEZ



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2017**

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA EVALUACION
REGIONAL DEL AGUA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA**

CARLOS EDUARDO CÁCERES GONZÁLEZ

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Sistemas Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2017**

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a la Universidad de Manizales:

JOSE FERNANDO MEJIA

Doctor en Ingeniería
Coordinador de la Especialización

LUIS CARLOS CORREA

Maestro en Educación
Director Seminario Grado

Igualmente expresa su agradecimiento a la Corporación Regional Autónoma del Alto Magdalena CAM:

CARLOS ALBERTO CUELLAR

Ingeniero Agrónomo. MSc en Ingeniería y Gestión Ambiental
Director General

CARLOS ANDRES GONZALEZ

Ingeniero Forestal
Subdirector Regulación y Calidad Ambiental

CARLOS ALBERTO VARGAS

Ingeniero Agrícola. Esp. en Ingeniería y Gestión Ambiental
Profesional Regulación y Calidad Ambiental
Supervisor y Coordinador Proyecto ERA

WILLIAM ENRIQUE PINTO

Ingeniero Catastral y Geodesta. MSc en Ingeniería y Gestión Ambiental
Profesional Planeación

SALOMON BARRAGAN CLAVIJO

Ingeniero Civil. Esp. en Gestión de Proyectos
Componente demanda Proyecto ERA

OSCAR JAVIER MONCAYO CALDERON

Ingeniero Agrícola. Esp. en Recursos Hídricos
Componente oferta Proyecto ERA

CONTENIDO

	Pág.
SIGLAS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. MARCO TEÓRICO	21
4.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA	21
4.2 SOFTWARE PARA AL ADIMINISTRACION DE LOS SIG	24
4.3 BASES DE DATOS ESPACIALES	25
5. ANTECEDENTES	28
5.1 ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA ENA 2014	28
5.2 CODIFICACIÓN SUBZONAS HIDROGRÁFICAS IDEAM	28
5.3 CODIFICACIÓN DE MICROCUENCAS CAM 2004	29
5.4 INDICADORES DE LA EVALUACION REGIONAL DEL AGUA	30
6. METODOLOGIA	32
6.1 TIPO DE TRABAJO	32
6.2 PROCEDIMIENTOS	32
7. RESULTADOS	42
7.1 COLECCIÓN DE LA GEOINFORMACION	42
7.2 MODELO DE DATOS Y BASE DE DATOS ESPACIAL	43
7.3 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)	48
7.4 METADATOS	50
7.5 CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	51
7.6 GENERACION DE INFORMACION, GEOPROCESAMIENTOS Y AJUSTES ...	52

7.7	CODIFICACION DE CUENCAS SUBSIGUIENTES Y FUENTES HIDRICAS	62
7.8	CODIFICACION DE DRENAJES.....	66
7.9	CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS	68
7.10	DISEÑO DE MAPAS	74
8.	DISCUSION DE RESULTADOS	80
9.	CONCLUSIONES	82
10.	RECOMENDACIONES.....	84
	BIBLIOGRAFÍA	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del Departamento del Huila.....	17
Figura 2. Sistema de codificación de unidades hidrográficas.....	29
Figura 3. Requerimientos información geográfica para la ERA.....	33
Figura 4. Fuentes de información geográfica para la ERA.....	34
Figura 5. Metodología para asignar nombres a la geoinformación.....	35
Figura 6. Campos con dominios para la Feature Class Drenaje.....	39
Figura 7. Rasters datasets en el modelo de datos.	43
Figura 8. Modelo de datos del Dataset Base Cartográfica.....	44
Figura 9. Modelo de datos del Dataset ERA - CAM.....	45
Figura 10. Modelo de datos del Dataset Resultados ERA - CAM.....	46
Figura 11. Detalles de la Features Drenaje IGAC 1000K en el Modelo de Datos.....	47
Figura 12. Representación de dominio Tipo de Centro Poblado en el Modelo de datos	47
Figura 13. Representación de una relación en el Modelo de Datos.....	47
Figura 14. Representación de la Topología en el Modelo de Datos.....	48
Figura 15. Vista del explorador de datos globales del USGS.....	49
Figura 16. Model Builder para proyectar los RASTERS DEM.....	49
Figura 17. Mosaico DEM.....	50
Figura 18. Metadatos en ArcCatalog.....	51
Figura 19. Comparación de entidades de drenaje del IGAC y de la corporación.....	53

	Pág.
Figura 20. Instalación Add-In ERAToolbar.....	54
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de delimitación de cuencas con ArcGIS.....	55
Figura 22. Raster calculator para crear drenajes.....	56
Figura 23. Raster de corrientes a con valores 500 y 200.	56
Figura 24. Cuencas generadas a partir del DEM.	57
Figura 25. Insumos para el ajuste de límites de Cuencas.	58
Figura 26. Campos de coordenadas calculadas de los puntos de fuentes hídricas.	58
Figura 27. Diagrama de procesos para ajustar gráficamente los límites veredales.	59
Figura 28. Model Builder Separar_Vereda_x_Municipio.....	60
Figura 29. Model Builder para seleccionar veredas por municipio y eliminar áreas incoherentes.....	60
Figura 30. Flujo de trabajo de la herramienta ERA_WEAP.....	62
Figura 31. Cuencas Subzona hidrográfica 2112 Rio Bache.....	64
Figura 32. Puntos de dirección o sentido de codificación.....	64
Figura 33. Red de drenajes cuenca AD 01 Rio Páez.	66
Figura 34. Valores Nivel 1 para drenajes de la cuenca Cuenca AD 01 Rio Páez.....	67
Figura 35. Valores Nivel 2 para drenajes de valor de Nivel 1 igual a 15 de la cuenca.	67
Figura 36. Mapa de pendientes topográficas.....	69
Figura 37. Marco del título y/o contenido.....	75

	Pág.
Figura 38. Marco de la información de referencia, fuentes y autores.....	75
Figura 39. Marco de convenciones.....	76
Figura 40. Marco de mapa de ubicación general.....	76
Figura 41. Configuración de Data Drive Pages.....	77
Figura 42. Creación de las reglas de representación cartográfica de la Cobertura ERA.....	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Definiciones cotidianas de un SIG según el tipo de usuario.....	23
Tabla 2. Ajuste de nombres de las capas.....	37
Tabla 3. Descripción de algunas reglas de Topología.....	40
Tabla 4. Fuentes de información espacial recopilada.....	42
Tabla 5. Errores topológicos totales encontrados en la información recibida.....	52
Tabla 6. Subzonas del Departamento del Huila.....	63
Tabla 7. Muestra de Codificación de las primeras 25 cuencas de la Subzona 212 Rio Bache.....	65
Tabla 8. Ángulos de rotación y escalas de los mapas de Subzonas formato pliego.....	77
Tabla 9. Combinaciones RGB para clasificación de la Cobertura ERA.....	79

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Ajuste de nombres de campos del registro fuentes cam 2015...	38
Cuadro 2. Matriz para categorizar el Índice IVET.....	41
Cuadro 3. Relaciones para caracterizar el índice morfométrico.....	71
Cuadro 4. Relaciones entre variables para el índice morfométrico.....	72

SIGLAS

CAM:	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena.
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
ERA:	Evaluación Regional del Agua
ESRI:	Environmental Systems Research Institute
GDB:	Geodatabase o Base de Datos Espacial
IDEAM:	IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC:	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
SIG:	Sistemas de Información Geográfica

RESUMEN

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- desarrolló el modelo conceptual y metodológico para la Evaluación Regional del Agua -ERA- a nivel local para que las autoridades ambientales regionales avancen en el conocimiento, la disponibilidad y eficiencia en generación de información sobre el comportamiento y estado del agua en Colombia y en escenarios futuros para el mejoramiento de su gestión. Se diseña una primera versión de un modelo de datos para una base de datos espacial con tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica) de ESRI - Environmental Systems Research Institute- que recopila los geodatos limitados por la cobertura vegetal de escala 1:50.000 para la ejecución del proyecto en el departamento del Huila, realizando controles de calidad grafica que necesito el ajuste de algunas capas geográficas mediante herramientas de geoprocésamiento, modelos de automatización y líneas de códigos en lenguaje de programación Python.

Se realiza la codificación de las cuencas y drenajes a escala 1:25000 para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – cam, correspondiente el departamento del Huila y requerido en el Sistema de Información del Recurso Hídrico SIRH del IDEAM. Finalmente se presenta una muestra de mapas de algunos indicadores de la ERA perteneciente a una galería de mapas para impresión, presentación y documentos.

PALABRAS CLAVES: Evaluación Regional del Agua, ERA, Geodatos, Geoprocésamiento, Recurso Hídrico, SIG.

ABSTRACT

The IDEAM developed the conceptual and methodological model for the Regional Water Assessment at local level so that the environmental entities advance in the knowledge, availability and efficiency in information generation on the behavior and state of water in Colombia, future scenarios and best management. This project designed a first version of data model for a spatial database with ArcGIS technology that compiles the geodata limited by scale land cover (1: 50,000) for the implementation of the ERA in the department of Huila, intervening with quality controls that requires the adjustment of some geographical layers through geoprocessing tools, automation model and scripts in Python programming language.

Watersheds and drainage codification's is made at scale 1: 25000 for the jurisdiction of the Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - cam, corresponding to the department of Huila; required in the Information System of the Water Resource -SIRH-. Finally, its present a sample of maps of some ERA indicators of a gallery of maps for printing, presentation and documents.

KEY WORDS: Regional Water Assessment, ERA, Geodata, Geoprocessing, Water Resources, GIS.

INTRODUCCIÓN

Para que una información pueda ser fácilmente accesible tanto por usuarios especializados como por el público en general, es necesario contar con una estructura específica que aporte los servicios necesarios para la consulta, el análisis y distribución de la misma. Al integrar datos georreferenciados de diversos componentes temáticos bajo determinados estándares se permite el intercambio sin problemas entre entidades y comunidades, pero cuando no existen estos componentes que garantizan la calidad de la información ésta puede llegar a ser ineficiente porque no será comprendida ni útil para la toma de decisiones y con el tiempo deberá ser nuevamente generada invirtiendo en el mismo recurso determinada cantidad de veces. Es inconveniente se presenta actualmente en muchas entidades locales, regionales y hasta nacionales que no conocen todo lo que compone un Sistema de Información Geográfica -SIG-, o en mayor escala, una Infraestructura de Datos Espaciales -IDE-. De acuerdo con la ley 1712 del 6 de marzo de 2014, en Colombia la comunidad tiene derecho al acceso de la información de entidades estatales o que se generen con recursos públicos, por tanto, es necesario construir una o más aplicaciones para la comunidad según lo requiera pueda interactuar libremente con datos abiertos.

La Evaluación Regional del Agua ERA permite establecer el comportamiento y estado del agua (en cantidad y calidad), expresados en la distribución espacial y variación temporal de variables relacionadas con la oferta y disponibilidad, calidad, uso y demanda, amenazas y vulnerabilidad de los sistemas hídricos y del recurso asociadas con variabilidad climática y posibles escenarios de cambio climático dando a conocer los resultados dentro de un Sistema de Información Geográfica. El propósito de este proyecto es la organización de la información cartográfica y alfanumérica y el uso de las herramientas que suministran los SIG, para lograr detectar las diversas alteraciones dentro de lo concerniente a los procesos naturales

y antrópicos del recurso hídrico, permitiendo a su vez que los usuarios y funcionarios logren el intercambio de información, facilitando los diferentes procesos que se llevan a cabo en la corporación, reduciendo tiempo de ejecución y mejorando la gestión de éstos. Así mismo, la organización y asignación de un identificador único de las capas de cuencas hidrográficas y fuentes hídricas permitirá asociar un registro de facturación mediante un código de barras que facilitará los procesos de transacciones entre el usuario y la corporación.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

La necesidad de llevar una gestión de los recursos naturales que permita determinar los impactos ambientales y amenazas naturales ha conllevado a que se realicen estudios constantes mediante Planes de Ordenación y Manejo Ambiental de Cuencas Hidrográficas -POMCA-, Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico -PORH-, reglamentaciones de corrientes hídricas, entre otros, y que los resultados sean presentados de la manera más fácil tanto a las entidades gubernamentales, la empresa privada y la comunidad en general para la toma de decisiones. Esto hace importante el diseño de un SIG para una futura implementación el cual permita modelar parámetros geomorfológicas e hidrológicas que contribuyan a tener una administración adecuada de los recursos, en especial el agua.

El área del proyecto corresponde al departamento del Huila, ubicado al suroeste de Colombia, en la región andina, limitando al norte con Tolima y Cundinamarca, al este con Meta, al sur con Caquetá y al oeste con Cauca. Se extiende desde las latitudes $1^{\circ}33'10,09''$ N hasta los $3^{\circ}50'35,54''$ N, y las longitudes $76^{\circ}37'28,18''$ W hasta los $74^{\circ}24'46,91''$ W.

El decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el artículo 8 se obliga a las Autoridades Ambientales la elaboración de las Evaluaciones Regionales del Agua que comprende el análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y análisis de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción. El párrafo 1 determina al IDEAM la tarea de elaborar los lineamientos técnicos de la evaluación en un término de 1 año, el párrafo 2 establece a las autoridades ambientales un plazo de 3 años a partir de la publicación de los lineamientos para el desarrollo y ejecución, y el párrafo 3 fundamenta que servirá como base para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas.

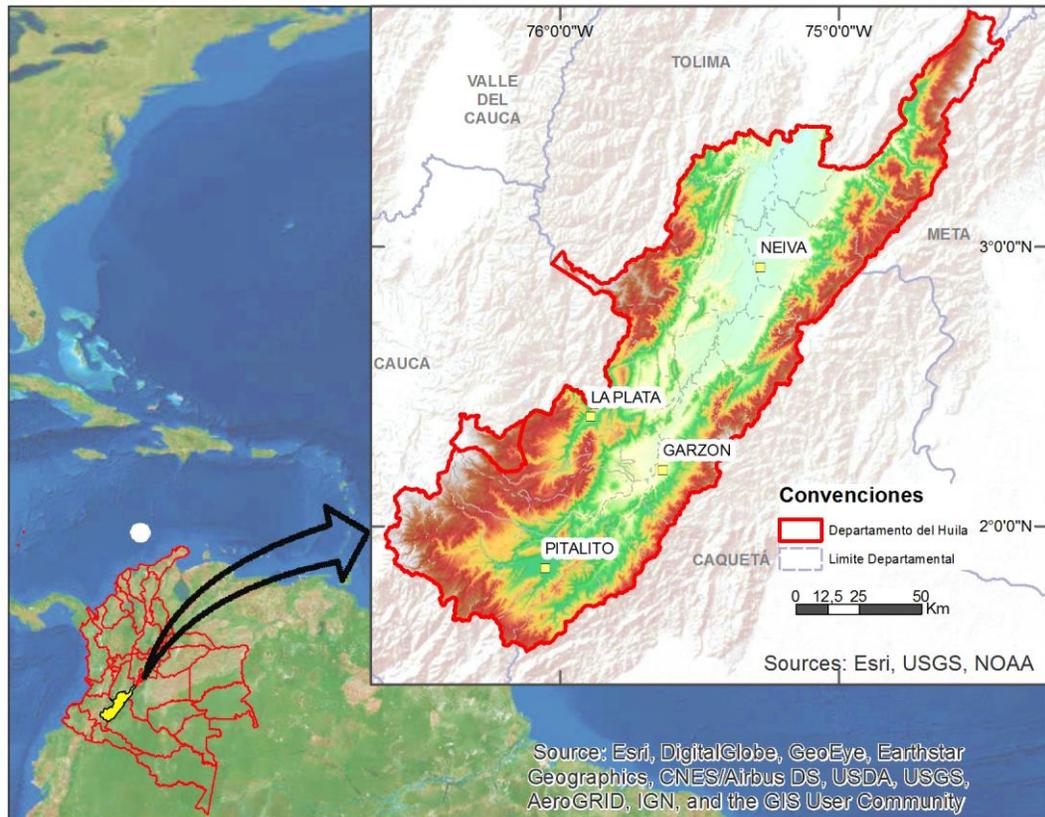


Figura 1. Ubicación del Departamento del Huila.

Un ejercicio de modelación efectivo requiere una cantidad considerable de datos con lo cual cuenta la corporación ambiental, pero existe falencias en el diseño, implementación y revisión de modelos. La creciente evolución y difusión de las herramientas de análisis de la información geográfica en los últimos años ha hecho necesaria la definición de estándares (normas, acuerdos y protocolos técnicos) que garanticen la interoperabilidad, es decir, que sean compatibles con los diferentes sistemas desarrollados. Aquí se fundamenta la necesidad de la entidad para empezar a generar un SIG inicialmente para el recurso y como una base a futuro para la generación de estándares establecidos por la Open Geospatial Consortium -OGC-, como los son los Web Coverage Service -WCS- comunes en los geoportales de entidades nacionales.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Sistema de Información Geográfica a nivel local para el proyecto Evaluación Regional del Agua “ERA” en el Departamento del Huila.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y evaluar la calidad de la información necesaria para la ejecución de las Evaluaciones Regionales del Agua.
- Crear un modelo de datos para organizar la geoinformación y bases de datos requeridas para evaluar el estado y la tendencia del recurso hídrico en el Departamento del Huila.
- Generar modelos de geoprocésamiento, scripts y herramientas de automatización para la modelación espacial de las variables e integración de los datos requeridos para la ERA.
- Generar una librería de mapas de los Indicadores de oferta, demanda, calidad y riesgo que permitan evaluar el estado y dinámica del sistema hídrico como resultado de la interacción de procesos naturales y antrópicos del departamento del Huila, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta fundamental en el desarrollo y transmisión de resultados claros y precisos en proyectos de diferentes áreas y disciplinas, que van desde la economía, la criminalística y la ingeniería hasta las diversas ciencias de la tierra como la geología, la agricultura y la geografía. El propósito de los SIG es proporcionar un marco espacial para apoyar la toma de decisiones para el uso inteligente de los recursos de la tierra y la gestión adecuada del medio ambiente por parte del hombre. Muy a menudo, un SIG presenta la información en forma de mapas y símbolos que dan la comprensión de dónde se ubican las cosas y que elementos influyen en su entorno espacial.

Las evaluaciones regionales del agua (ERA) fueron reglamentadas en el artículo 8 del Decreto 1640 del 2012: Las autoridades ambientales competentes elaborarán las Evaluaciones Regionales del Agua que comprenden el análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y análisis de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción para la zonificación hidrográfica de la autoridad ambiental, teniendo como base las Subzonas hidrográficas. La gestión integrada del agua en las regiones requiere información y conocimiento adecuados sobre las características, el comportamiento y el estado del agua (en cantidad y calidad), expresados en la distribución espacial y variación temporal de variables asociadas a la oferta y disponibilidad, calidad, uso y demanda, riesgos de los sistemas hídricos y su aprovechamiento asociados a la variabilidad climática e hidrológica, las actividades humanas actuales y proyectadas y posibles escenarios de cambio climático.

La información requerida para la gestión del agua debe ser pertinente, suficiente y confiable en unidades hídricas de análisis espaciales y temporales de mayor resolución que las utilizadas en el ámbito nacional como el Estudio Nacional

del Agua 2010. El sistema de información que se consolide a partir de la información, resultados y análisis de las ERA se convierten en un soporte fundamental del proceso de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico GIRH y un insumo para la evaluación nacional, el seguimiento de la Política Nacional de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico PNGIRH y la toma de decisiones en los diferentes niveles.

Cada vez más investigadores e instituciones se apoyan en los Sistemas de la Información Geográfica para la construcción de modelos geomorfológicos e hidrológicos especialmente cuando es necesaria la representación espacial de redes de drenajes y formas del relieve, aunque la mayor parte de las aplicaciones hidrológicas llevadas a cabo en los SIG son evaluaciones de estudios de riesgos naturales y estudios de localización. Una de las características de los SIG es su aporte para la mejor interpretación y análisis de modelos y sistemas. La estructura de datos en capas de información es intuitiva y posibilita que los modelos puedan ser interpretados con mayor facilidad.

4. MARCO TEÓRICO

Hoy en día los sistemas de información geográfica son un campo del conocimiento muy amplio. Líneas de desarrollo como la construcción de servidores cartográficos de alto rendimiento para el manejo, visualización y consulta o el análisis espacial basado en datos con estructura raster, son prácticamente especialidades que difícilmente se pueden cubrir en un solo texto. Los sistemas de información geográfica, inherentemente, buscan la explicación y/o respuestas a hechos y fenómenos que suceden en alguna porción de la superficie terrestre. Esto se logra en gran medida a través de la interrelación en el espacio y tiempo de los diferentes elementos del medio natural y humano participantes. Un proceso incipiente que nuestro país actualmente desarrolla con relación a la revalorización de la Geografía como ciencia de coyuntura para ayudar a la solución de problemas territoriales; así, los SIG emergen como una importante herramienta geográfica para entender y proponer acciones concretas.(Iturbe, Sánchez, Castillo, & Chías, 2011).

4.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA

Los sistemas de información nos ayudan a gestionar lo que conocemos y no, facilitando la organización y el almacenamiento, el acceso y la recuperación, la manipulación y la síntesis, y la aplicación del conocimiento a la solución de problemas (Longley, Goodchi, Ld, Maguire, & Rhind, 2011).

En los últimos años se ha generalizado el uso del término Sistema de Información Geográfica (Geographical Information System - GIS) o SIG. Los SIG han sido ampliamente utilizados para denominar el tratamiento de datos geográficos georreferenciados a través de medios automatizados. Existen diversas definiciones, considerando que ninguna es universalmente aceptada por basarse en diferentes enfoques orientados a los procesos del sistema, su aplicación, las herramientas que

debe contener o la estructura y eficiencia de la base de datos y, sobre todo, el análisis y manejo de la información (Iturbe et al., 2011).

Entre las definiciones de SIG más difundidas en la literatura están:

Una combinación de elementos (hardware y software) para trabajar con datos espacialmente referenciados (Star y Estes, 1990, citado por Iturbe et al., 2011).

Es un sistema computarizado que provee cuatro conjuntos de capacidades para operar sobre datos georreferenciados: entrada, almacenamiento y recuperación, manejo y análisis, y salida (Aronoff, 1993, citado por Iturbe et al., 2011).

Es un sistema diseñado para almacenar, procesar y mostrar en forma gráfica computarizada datos de naturaleza espacial (Guevara, 1992, citado por Iturbe et al., 2011).

Es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, el manejo, el análisis, el modelado y el despliegue de los datos espacialmente referenciados (georreferenciados) para la solución de los problemas del manejo y planeamiento territorial (Díaz, 1992, citado por Iturbe et al., 2011).

Un SIG debe ser entendido como la integración de elementos tales como datos geográficos, procedimientos, personal general y capacitado y un sistema informático conformado por software y hardware que permitan el manejo, análisis y modelación de fenómenos y procesos territoriales para la resolución de problemas con una connotación espacial, para la toma de decisiones. Finalmente, Longley, 2011 hace una clasificación de definiciones según el tipo de usuario de aplicaciones SIG, como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Definiciones cotidianas de un SIG según el tipo de usuario.

Definición	Tipo de usuario
Un contenedor de mapas digitales	Público en general
Una herramienta computarizada para resolver problemas geográficos	Tomadores de decisiones, comunidad, planificadores
Un sistema de soporte de decisiones espaciales	Científicos, Investigadores
Un inventario mecanizado geográficamente distribuido de características e instalaciones	Administradores de servicios públicos, funcionarios de transporte, administradores de recursos
Una herramienta para revelar lo que de otro modo es invisible en la información geográfica	Científicos, Investigadores
Una herramienta para realizar operaciones en datos geográficos demasiado tediosos u costoso o inexacto si se realiza a mano	Gerentes de recursos, planificadores

Fuente: Longley, Goodchi, Ld, Maguire, & Rhind, 2011

4.1.1 Funciones importantes de un SIG

Entre las funciones más importantes que un SIG realiza se encuentran el análisis y modelación espacial, los cuales son algunos de los conceptos básicos de la ciencia geográfica (localización, condición, tendencia, patrones, accesibilidad, etc.) que se pueden generalizar en cinco preguntas (Iturbe et al., 2011):

¿Qué está en...? (localización). Un SIG debe ser capaz de proveer la ubicación de un rasgo geográfico a través de diversas formas, ya sea su ubicación directa en el plano digital o a través de una selección o cuestionamiento sobre la base de datos de atributos asociados.

¿Dónde está...? (condición). Estrechamente relacionada con la anterior, esta pregunta nos permite obtener la identificación de rasgos geográficos que reúnen determinadas condiciones. Principalmente, esta pregunta sirve para conocer la ubicación de un sitio en específico.

¿Qué ha cambiado desde...? (tendencia). Se inscribe en este cuestionamiento la variable tiempo. Un SIG debe proveer respuestas a preguntas donde la necesidad es conocer cuáles han sido las variaciones espacio temporales de un determinado fenómeno.

¿Qué comportamientos espaciales existen...? (patrones). La correlación entre diversas variables, así como la distribución de un determinado fenómeno son las respuestas que brinda un SIG.

¿Qué pasaría si...? (modelación). Sin duda alguna, es el cuestionamiento más complejo e importante en un SIG. Ello conlleva a determinar que pasaría o cuál sería la manifestación de un fenómeno a través de la variación cuantitativa y/o cualitativa de los elementos causales.

¿Cuál es el mejor camino a...? (rutas críticas), la cual pretende encontrar la ruta más corta u óptima entre dos o más puntos cualesquiera. Saber cuál es el camino más corto y rápido por una red de calles en una metrópoli es una pregunta que diversas compañías quisieran saber.

Tradicionalmente, la información espacial se aborda desde tres perspectivas, a saber, la gestión de datos espaciales, la cartografía y el análisis espacial. Estas perspectivas pueden ser descritas como la visión instrumental u orientada a herramientas de la información espacial (Yeung & Hall, 2007).

4.2 SOFTWARE PARA AL ADIMINISTRACION DE LOS SIG

El elemento que marca la diferencia entre los Sistemas de Información Geográfica y otras tecnologías relacionadas lo constituyen las altas funcionalidades para el manejo y análisis de datos geográficos. La tecnología SIG brinda enormes

recursos para el análisis espacial para las tomas de decisiones para la resolución de problemas, todos ellos relacionados con cuestiones territoriales. El mercado de los SIG es sumamente amplio: empresas relacionadas con utilidades, gobierno a nivel nacional, estatal y local, agencias ambientales, instituciones de investigación, entre otros, son algunos ejemplos de usuarios de esta geotecnología (Iturbe et al., 2011).

El costo de la tecnología SIG si bien en su proceso de evolución ha disminuido, aún se caracteriza por ser muy alto. Existen soluciones informáticas bastante sencillas pero adecuadas para realizar trabajos SIG, desde softwares libres hasta programas con costos que van desde los USD \$1,000 hasta soluciones que pueden llegar a los USD \$20,000.00. A continuación, se mencionan algunos ejemplos de programas de cómputo de sistemas de información geográfica:

- ArcGIS (www.esri.com)
- QGIS (<http://www.qgis.org/es/site/>)
- GVSIG (<http://www.gvsig.com/es>)
- GRASS (Geographic Resource Analysis Support System)
- IDRISI (www.idrisi.com)
- ILWIS (Integrated Land and Water Information System)

4.3 BASES DE DATOS ESPACIALES

Una base de datos es una gran colección de datos interrelacionados almacenados en un entorno informático. En estos entornos, los datos son persistentes, lo que significa que sobrevive a problemas inesperados de software o hardware; excepto en casos de daños en el almacenamiento. Una base de datos se puede ver como uno o varios archivos almacenados en algún dispositivo de memoria externa (Rigaux, Scholl, & Voisard, 2002).

En su nivel más básico, una base de datos espacial o geodatabase en ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario DBMS (por ejemplo, Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix o IBM DB2). Las geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta geodatabases de grupos de trabajo más grandes, departamentos o geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios¹.

4.3.1 Modelo de Datos. El modelo de datos es el esquema para documentar una base de datos, donde se indican los contenidos y características técnicas de los elementos, metadatos y capas de los mapas y/o geodatabase.

4.3.2 Dominios y Subtipos. Los dominios representan la lista o rango de valores válidos para las columnas de atributos. Estas reglas controlan la forma en que el software mantiene la integridad de los datos en ciertas columnas de atributos².

4.3.3 Datasets. Son los conjuntos de elementos donde se almacenan grupos de datos o features class correspondientes a una misma temática caracterizadas por tener un mismo sistema de referencia o de coordenadas.

4.3.4 Features Class. Las clases de entidades son conjuntos homogéneos de características comunes, cada uno con la misma representación espacial, tales como puntos, líneas o polígonos, y un conjunto común de campos o columnas de

¹ Tomado de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>

² Tomado de: <http://desktop.arcgis.com/es/desktop/latest/manage-data/geodatabases/documenting-your-geodatabase-design.htm>

atributos. Las cuatro clases de entidades más comunes utilizados en la geodatabase son puntos, líneas, polígonos y anotaciones².

4.3.5 Clases de Relaciones. Se utilizan para modelar la forma en que las entidades comparten la geometría con otras entidades. Las topologías y otros tipos avanzado proporcionan un mecanismo fundamental y muy utilizado para habilitar los comportamientos espaciales y hacer cumplir la integridad en las bases de datos en los SIG.

4.3.6 Relaciones y reglas espaciales. Se utilizan para modelar la forma en que las entidades comparten la geometría con otras entidades. Las topologías y otros tipos avanzado proporcionan un mecanismo fundamental y muy utilizado para habilitar los comportamientos espaciales y hacer cumplir la integridad en las bases de datos en los SIG

5. ANTECEDENTES

5.1 ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA ENA 2014

Es un estudio técnico-científico, que permite reconocer el estado y la dinámica del agua en Colombia. Éste logra identificar subzonas hidrográficas y cuencas que se deben priorizar, para mejorar la gestión sobre el recurso hídrico por sus vulnerabilidades, presiones por uso y afectaciones a la calidad.³ Este estudio, liderado por el IDEAM y elaborado en conjunto con 25 entidades ambientales y gubernamentales, asociaciones, federaciones, empresas del sector productivo y universidades de Colombia, destacó como novedad la presentación por primera vez para el país de la Evaluación de la Huella Hídrica nivel de las 316 subzonas hidrográficas, que representan el 100% del territorio nacional; indicador que permite conocer la cantidad de agua que se utiliza para soportar la producción de bienes y servicios del país.

5.2 CODIFICACIÓN SUBZONAS HIDROGRÁFICAS IDEAM

La metodología de la zonificación de unidades hidrográficas se basó en los procedimientos establecidos inicialmente en la Resolución 0337 en 1978 por el HIMAT, hoy IDEAM. El propósito fue identificar las cuencas donde se encontraban emplazadas las estaciones hidrometeorológicas, para asignarle, un código numérico de cuatro dígitos que permitiera relacionar la cuenca con la estación hidrológica o meteorológica, figura 2.

³ http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhhRhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones



Figura 2. Sistema de codificación de unidades hidrográficas.

Partiendo de ese trabajo se estructuró la red hidrográfica de Colombia para esta la zonificación y codificación, con la cartografía oficial del IGAC en formato shape y MDX (digital) a escala 1:500.000.⁴ Primero, se delimitaron las cinco áreas hidrográficas. Posteriormente las zonas y subzonas hidrográficas con cartografía y modelos más refinados y detallados. Además, se incorporaron ajustes sugeridos por las autoridades ambientales y el MADS cuando fueron pertinentes.

5.3 CODIFICACIÓN DE MICROCUENCAS CAM 2004

Para realizar el trabajo de zonificación y codificación de cuencas hidrográfica del año 2004 se usó la cartografía básica escala 1:25.000 IGAC y digitalizada por la CAM mediante AutoCAD y ArcGIS. En las zonas donde no existía cubrimiento las imágenes de satélite y con las curvas generadas complementó la digitalización de drenajes y divisorias de cuencas hidrográficas.⁵ El código anterior está compuesto por una llave primaria de cuatro dígitos y fue suministrada por el IDEAM

⁴ IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá, Colombia, 2013. Pág. 14,15. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/022655.htm>

⁵ Informe Final Consultoría 284 de 2004: Zonificación y Codificación de Cuencas del Departamento del Huila. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. Neiva, Huila, Colombia.

(anteriormente denominados subcuencas y actualmente el código hasta el nivel de subzona); seguido de la llave foránea de tres dígitos que permiten numerar en forma secuencial las cuencas que llegan a las Subzonas y se continuaba por niveles siguientes de dos dígitos dependiendo del orden de los drenajes.

5.4 INDICADORES DE LA EVALUACION REGIONAL DEL AGUA

Este sistema de indicadores construido por el IDEAM de forma gradual y coherente permite una evaluación y comparación permanente de escenarios dinámicos, que varían en el espacio y en el tiempo, así como, apoyar y optimizar la relación entre la disponibilidad y demandas del recurso hídrico, con protección adecuada de ecosistemas asociados a fuentes abastecedoras y receptoras de efluentes.

5.4.1 Índice de retención y regulación hídrica (IRH). Este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación (IDEAM, 2013).

5.4.2 Índice de aridez (IA). Es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial (IDEAM, 2013).

5.4.3 Índice de uso del agua de agua superficial (IUA). Cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis en relación con la oferta hídrica regional

disponible neta (OHRD) para las mismas unidades de tiempo y espaciales (IDEAM, 2013).

5.4.4 Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH). Grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) – podría generar riesgos de desabastecimiento (IDEAM, 2013).

5.4.5 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET). Índice Morfométrico de Torrencialidad es la relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación (IDEAM, 2013).

El Índice de Variabilidad muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos (IDEAM, 2013).

6. METODOLOGIA

6.1 TIPO DE TRABAJO

Las dificultades actuales para la administración y distribución de datos alfanuméricos y espaciales en la corporación exponen la necesidad de implementar sistemas que permitan almacenar y procesar la información de antecedentes estudios hidrológicos, ambientales, forestales, los censos de usuarios y demás información necesaria para optimizar la gestión del recurso hídrico. Es por eso por lo que este trabajo de tipo aplicado pretende generar con la información geográfica una base de datos para que a mediano plazo se pueda optimizar los recursos físicos, de personal y al mismo tiempo facilitar los flujos de trabajo, la interoperabilidad e intercambio interinstitucional de datos fundamentales, minimizar y distribuir costos y esfuerzos en la captura y procesamiento de datos.

6.2 PROCEDIMIENTOS

6.2.1 Colección e integración de la información. Esta primera fase consiste en la recopilación de todos los datos disponibles para la ejecución del proyecto ERA. De acuerdo con el IDEAM para la generación de indicadores y la espacialización de demás componentes se requiere información geográfica y alfanumérica como lo indica la Figura 3. Para listar archivos y capas de una carpeta o geodatabase respectivamente, se diseña una serie de scripts en Python ejecutables en la ventana Python de ArcGIS.

```

#Se importa libreria ArcGIS
import arcpy
#Se declara sobre-escribir resultados
arcpy.env.overwriteOutput=True
#Se declara carpeta que contiene los archivos
arcpy.env.workspace=r"C:\SIG_ERA_CAM_2017\Informacion_Recopilada\01_CAM"
#Se declara funcion listar archivos
listadearchivos=arcpy.ListFiles()
#Se declara donde se creara el reporte en Excel
xlsFile=open(r"C:\SIG_ERA_CAM_2017\Informacion_Recopilada\01_CAM\Reporte_archivos.xls","w")
#Escribe primera fila y columna Nombre_archivo
xlsFile.write("Nombre_archivo")
#Sentencia for para cada archivo
for archivo in listadearchivos:
    file=arcpy.Describe(archivo)
    xlsFile.write("\n" + file.name)
#Cerrar reporte excel
xlsFile.close()
#Impresion finalizado
print "Reporte de archivos finalizado"

```

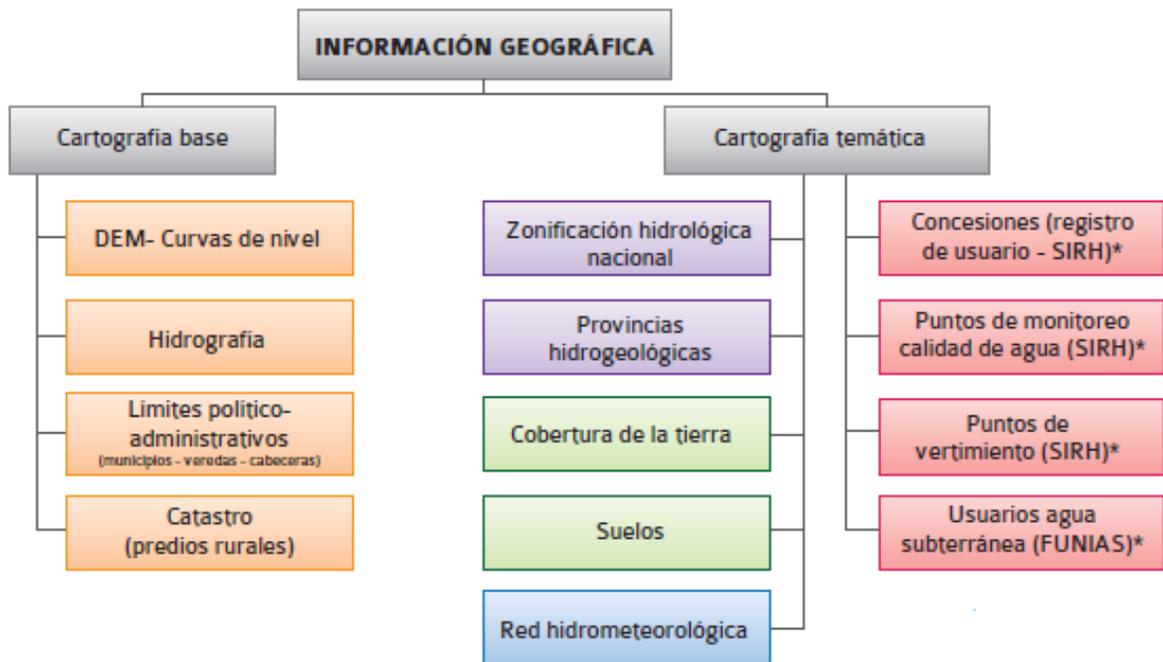


Figura 3. Requerimientos información geográfica para la ERA. Fuente: IDEAM.

Del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- se necesita las capas de curvas de nivel, redes hidrológicas, límites municipales y veredales. Como insumos propios de la corporación se tiene los estudios cobertura y/o uso del suelo y tablas de usuarios de concesiones. Los indicadores de población son suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-. Por parte del IDEAM,

se recopilan los registros de precipitación y evapotranspiración de mas de 200 estaciones hidrometeorológicas. El resumen de los datos fundamentales y fuentes de recolección se observa en la Figura 4.



Figura 4. Fuentes de información geográfica para la ERA.

6.2.2 Modelo de datos. Para generar un esquema integrado de objetos geográficos se realiza un modelo de datos mediante el programa ArcGIS Diagrammer 10, que permite exportar el modelo en un archivo compatible xml. En este programa se realiza la estructura de la Geodatabase con los datasets, dominios, features class, atributos, tablas, subtipos, rasters, relaciones espaciales y reglas topológicas que aseguren la alimentación masiva y depuración que cumpla con los requerimientos para migrar la información al Sistema de Información del Recurso Hídrico y a la Corporación.

6.2.3 Base de Datos Espacial. Para la creación de la base de datos espacial se ejecuta la línea en Python para la creación de la Geodatabase con el nombre ERA_CAM_2017_MULK:

```
# Crear file geodatabase
arcpy.CreateFileGDB_management(r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04 Geodatabases', "ERA_CAM_2017_MULK", "10.0")
```

Nombre de las capas. La importancia en asignar los nombres de los geodatos está en la facilidad de tener una idea de su contenido sin la necesidad de abrir cada uno de ellos. Se utilizó la metodología planteada por el IGAC, Figura 5.

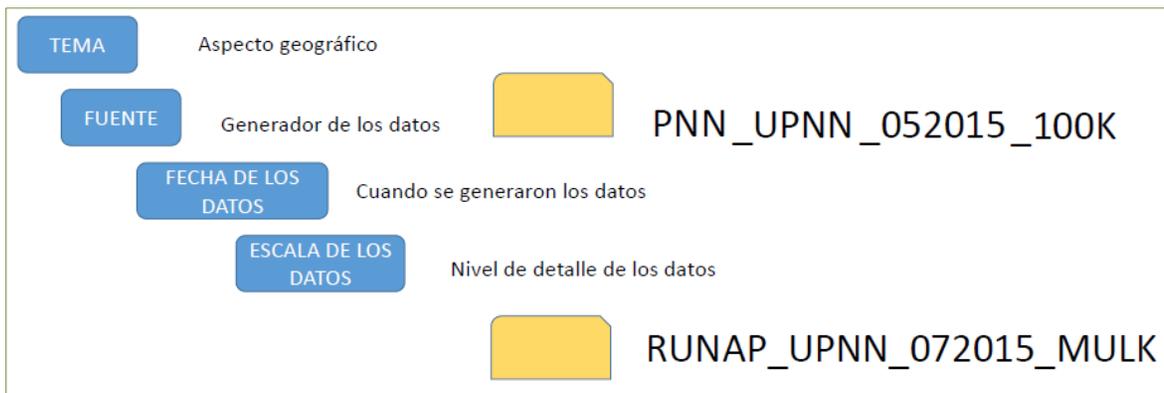


Figura 5. Metodología para asignar nombres a la geoinformación. Fuente: Primer taller de capacitación en SIG y planeación, 2015.

Sistema de Referencia. La información geográfica generada y adquirida por las entidades del Estado utilizará el Sistema de Referencia **MAGNA-SIRGAS** adoptado por Colombia (IGAC, 2005) y los datos deben ser migrados a éste cuando la autoridad ambiental este utilizando otros sistemas.

6.2.4 Dominios y Subtipos. Los dominios se crearán a partir de las listas controladas del Sistema de Información del Recurso Hídrico SIRH del IDEAM⁶ usando líneas de programación en Python. A continuación, se crean los dominios para el tipo de fuentes hídricas, Áreas, Zonas y Subzonas hidrográficas y se agregan los valores permitidos cada dominio.

⁶ Disponible en: <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/pages/gestion.html>

```

arcpy.CreateDomain_management
(r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04 Geodatabases\ERA_CAM_2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas',
'Tipo de fuentes hidricas ','TEXT','CODED')

.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','58','Estuario')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','59','Aguas subterranas')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','60','Arroyo')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','61','Ciénaga')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','62','Canal')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','63','Caño')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','64','Embalse')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','65','Jaguey')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','66','Lago o laguna')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','67','Mar')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','68','Pantano')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','69','Quebrada')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','70','Rio')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\SIG_ERA_...2017_MULK.gdb','12 Tipo de fuentes hidricas ','999','Zanjon')

arcpy.CreateDomain_management(r'C:\...gdb','99 Area Hidrografica','Area Hidrografica','TEXT','CODED')
arcpy.CreateDomain_management(r'C:\...gdb','98 Zona Hidrografica','Zona Hidrografica','TEXT','CODED')
arcpy.CreateDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','Subzona Hidrografica','TEXT','CODED')

.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2101','Alto Magdalena')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2102','Rio Timana y otros directos al Magdalena')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2103','Rio Suaza')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2104','Rios Directos al Magdalena (mi)')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2105','Rio Paez')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2106','Rios directos Magdalena (md)')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2108','Rio Yaguara y Rio Iquira')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2109','Juncal y otros Rios directos al Magdalena')
.AddCodedValueToDomain_management(r'C:\...gdb','97 Subzona Hidrografica','2110','Rio Neiva')

```

6.2.5 Dataset Base_Cartografica_MULK: Este dataset almacena la informacion de la cartografia basica y otros recopilados de la misma tematica que sirven como referencia para el proyecto. Como ya existe el dataset suministrado por la CAM (Base_Cartografica E025000) en otro sistema de referencia, se realiza la transformación (cambio de Datum) de Colombia_Bogota_Zone a MAGNA_Colombia_Bogota y se incorpora a la Geodatabase ERA CAM 2017 MULK.

Dataset ERA_CAM_2017_MULK. Recopila la información que se requiere para el desarrollo de la ERA y requerimientos del SIRH mediante geoprocetos y ajustes. En la ventana de Python se ejecuta la línea para la creación del Dataset:

```

arcpy.CreateFeatureDataset_management(r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04
Geodatabases\ERA_CAM_2017_MULK.gdb','ERA_CAM_2017_MULK','MAGNA Colombia Bogota.prj')

```

Resultados_ERA_CAM_2017_MULK. Almacena todas las salidas de formato vectorial generadas durante diferentes geoprosesos. Se crea mediante líneas de código Python:

```
arcpy.CreateFeatureDataset_management(r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04
Geodatabases\ERA_CAM_2017_MULK.gdb', 'Resultados_ERA_CAM_2017_MULK', 'MAGNA Colombia Bogota.prj')
```

Ubicacion_MULK: Dataset donde se almacena las features class de escalas pequeñas usados para la sección de mapas de localización o ubicación:

```
arcpy.CreateFeatureDataset_management(r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04
Geodatabases\ERA_CAM_2017_MULK.gdb', 'Ubicacion_MULK', 'MAGNA Colombia Bogota.prj')
```

6.2.6 Features Class. Al compilar los datos de diferentes fuentes en la geodatabase se asignan nuevos nombres a las capas para estandarizar la información con la metodología mencionada y facilitar el uso de los mismos. Algunos de los nombres y sus equivalentes se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Ajuste de nombres de las capas.

Nombre Anterior	Nombre asignado
BC025_BancosArena	Bancos_Arena_2017_25K
BC025_CentrosPoblados	Centro_Poblado DANE 2013 NNK
BC025_CurvaNivel	Curva_Nivel_IGAC_2010_25K
BC025_CuerpoAgua	Cuerpo_Agua_CAM_2017_25K
BC025_Drenaje	Drenaje_CAM_2017_25K
BC025_Infraestructura	Infraestructura_2017_25K
BC025_Toponimia	Toponimia_2017_25K
BC025_Vias	Vías_2017_25K

Fuente: Grupo de trabajo ERA-CAM

6.2.6.1 Creación de la Capa Drenaje_CAM_2017_25K. Esta capa va a contener los drenajes o fuentes hídricas del departamento del Huila. Se crea a partir del formato con el mismo nombre por el IDEAM y el cual es solicitado para el SIRH (Disponible en <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/pages/gestion.html>). Para ello se

realiza la depuración para dejar una única primera fila revisando que los nombres no contengan caracteres especiales no permitidos en una geodatabase de ArcGIS, cuadro 1.

Cuadro 1. Ajuste de nombres de campos del registro_fuentes_cam_2015

PUNTO INICIAL							PUNTO FINAL						
GEORREFERENCIACIÓN							GEORREFERENCIACIÓN						
GRAD LAT	MIN LAT	SEG LAT	GRAD LOG	MIN LOG	SEG LOG	ALTITUD m.s.n.m.	SISTEMA REF	GRAD LAT	MIN LAT	SEG LAT	GRAD LOG	MIN LOG	
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
PL_GRA D_LAT	PL_MIN_ LAT	PL_SEG_ LAT	PL_GRAD_ LOG	PL_MIN_ LOG	PL_SEG_ LOG	PL_ALTITUD_msnm	PF_SISTEMA_REF	PF_GRAD_ LAT	PF_MIN_ LAT	PF_SEG_ LAT	PF_GRAD_ _LOG	PF_MIN_ LOG	

Seguidamente, se revisan y ajustan los tipos y las longitudes de los campos y se asignan los dominios de acuerdo al modelo de datos de la ERA o del SIRH disponibles o <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/pages/DiccionarioDeDatos.pdf>, respectivamente. Se crea cada uno de los campos establecidos para la Feature Class de acuerdo con el modelo de datos, asignando los dominios mencionados anteriormente y subtipos respectivos. En la Figura 6, se observa que para el campo SUBZONA_H se ha asignado el dominio correspondiente. Una vez finalizado la creación de todos los campos requeridos, se da finalizar.

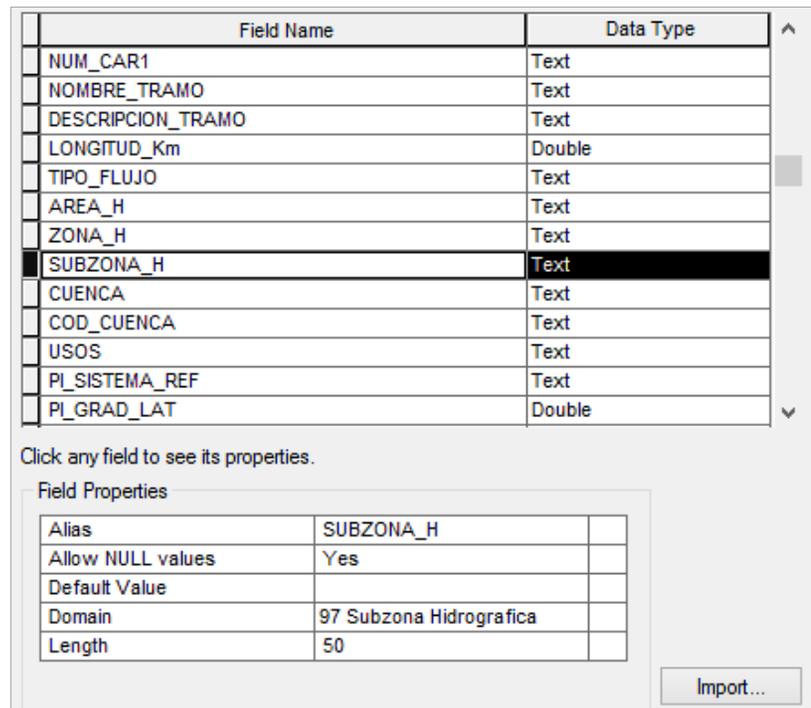


Figura 6. Campos con dominios para la Feature Class Drenaje.

6.2.7 Metodología de control de calidad. En esta fase se realizan las actividades pertinentes a establecer las metodologías para el control de la calidad gráfica. Corresponde a la calidad topológica de las capas geográficas mediante las reglas establecidas en el software ArcGIS 10. Las reglas usadas se describen a continuación:

Tabla 3. Descripción de algunas reglas de Topología.

CLASE DE ENTIDAD	REGLA	DESCRIPCION
	Must Be Larger Than Cluster Tolerance	Necesario para que una entidad no colapse durante el proceso de validación.
	Must Not Overlap	Requiere que el interior de los polígonos no se superponga.
	Must Not Have Gaps	Precisa que no haya vacíos dentro de un polígono simple o entre polígonos adyacentes.
	Must Not Overlap With	Requiere que el interior de los polígonos en una clase (o subtipo) de entidad no se deba superponer con el interior de los polígonos en otra clase (o subtipo) de entidad.
	Must Cover Each Other,	Requiere que los polígonos en una clase (o subtipo) de entidad compartan toda su área con los polígonos de otra clase (o subtipo) de entidad.
	Must Be Covered By	Los polígonos de una clase de entidad estén contenidos en polígonos de otra clase de entidad.
	Boundary Must Be Covered By	Requiere que los límites de las entidades poligonales deban estar cubiertos por líneas en otras clases de entidad.
	Must Not Overlap	Requiere que las líneas no se superpongan con las líneas en la misma clase (o subtipo) de entidad.
	Must Not Intersect	Requiere que las entidades de línea desde la misma clase (o subtipo) de entidad no se crucen ni se superpongan entre sí.
	Must Not Intersect With	Requiere que las entidades de línea de una clase (o subtipo) de entidad no se crucen ni se superpongan las líneas de otra clase (o subtipo) de entidad con otras.
	Must Not Have Pseudo Nodes	Requiere que una línea se conecte, por lo menos, con otra línea en sus extremos.
	Must Not Overlap With	Requiere que una línea desde una clase (o subtipo) de entidad no se superpongan con las líneas de entidad en otra clase (o subtipo) de entidad.
	Endpoint Must Be Covered By	Requiere que los extremos de las entidades de línea estén cubiertos por entidades de puntos en otra clase de entidad.
	Must Not Self-Overlap	Requiere que las entidades de línea no se superpongan entre sí.
	Must Be Single Part	Requiere que la línea tenga una única parte. Esta regla es útil allí donde las entidades de línea, como carreteras, no deben tener múltiples partes.
	Must be properly inside polygons	Requiere que los puntos se encuentren dentro de las entidades de área.

6.2.8 Geoprocesamiento de la geoinformación y cálculo de indicador IVET. La fase tres comprende la creación de metodologías para el ajuste de la información que no cumple con los estándares de calidad y el geoprocesamiento mediante herramientas propias del software y códigos en lenguaje Python para la automatización de procesos requeridos para el cálculo de indicadores de la evaluación regional del agua.

De igual manera, se establece la metodología de codificación de cuencas y fuentes hídricas del Departamento del Huila según la iniciativa del IDEAM y la creación de una herramienta que facilite el procedimiento. Para la modelación espacial de las variables climáticas y morfométricas para el cálculo de indicadores se realiza de acuerdo con los lineamientos de la Evaluación Regional del Agua del IDEAM descritos en el siguiente ítem.

6.2.9 Calculo de Indicador IVET. El Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) se determina por medio de una matriz de decisión entre las categorías del índice morfométrico y el índice de variabilidad. La unidad de medida del indicador es cualitativa y se expresa en términos de vulnerabilidad muy alta, alta, media y baja (IDEAM, 2014).

Cuadro 2. Matriz para categorizar el Índice IVET.

Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de Torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

6.2.10 Galería de Mapas. En esta última fase se determina el diseño del formato y elementos de presentación para una galería de mapas en formato digital que tendrán las diferentes salidas graficas del proyecto ERA.

7. RESULTADOS

7.1 COLECCIÓN DE LA GEOINFORMACION

Se recopila la cartografía base generada por el IGAC a escala 1:25.000 la cual se compone del límite administrativo del departamento del Huila y sus municipios, la red de drenajes, la red de vías, toponimia de puntos de interés. La CAM suministra los puntos de tomas de agua, de vertimientos de aguas residuales, de monitoreo del recurso hídrico y polígonos de microcuencas generadas en el año 2005 y límites veredales. Las áreas de Subzonas Hidrográficas se reciben del IDEAM a escala menor (1:500.000). En la Tabla 4 se resume la información espacial recopilada para el proyecto ERA indicando los formatos en los que se recibe, escalas y vigencia.

Tabla 4. Fuentes de información espacial recopilada.

Información	Fuente	Formato	Escala	Año
Acuíferos y Provincias Hidrogeológicas	IDEAM	shp	1.200.000	2000
Bocatomas	CAM	shp	-	-
Cabeceras municipales	SIGOT-IGAC	shp	-	-
Cartografía_Base (Vías, Curvas nivel, toponimia)	IGAC	mbd	25.000	2010
Centro Poblados	DANE	xls	-	2013
Cobertura Vegetal	CAM	Gdb	50.000	2010
Concesiones	CAM	xls	-	-
Drenajes	SIGOT-IGAC	shp	100.000	2002
Drenajes y Cuerpos de Agua	IGAC	mbd	25.000	2010
Estaciones Hidroclimatológicas	IDEAM	shp	-	-
Imágenes Spot	CAM	img	30 m	2010
Índice planchas nacionales	IGAC	shp	10.000	2010
Límite veredal	CAM	shp	25.000	-
Límites Administrativos (Departamento - Municipio)	IGAC	shp	25.000	2015
Modelo Digital de Elevación DEM	ASTER GDEM	Tiff	30 m	2014
POT municipales	CAM	Acad, shp, mbd	-	-
Puntos Monitoreo	CAM	xls	-	-

Tabla 4. Fuentes de información espacial recopilada. (Continuación).

Información	Fuente	Formato	Escala	Año
Subzonas Hidrográficas	IDEAM	shp	500.000	2010
Usuarios de concesiones	CAM	xls	-	-
Vertimientos	CAM	shp	-	-
Zonificación Microcuencas	CAM	shp	25.000	2005

* El contenido de la geodatabase se describe en la siguiente tabla. Fuente: Grupo de trabajo ERA-CAM

7.2 MODELO DE DATOS Y BASE DE DATOS ESPACIAL

Inicialmente se definen las imágenes o rasters comprendidas en el proyecto, todas generadas a partir del DEM. Se generaron 13 Raster Dataset, como se observa en la figura 7.

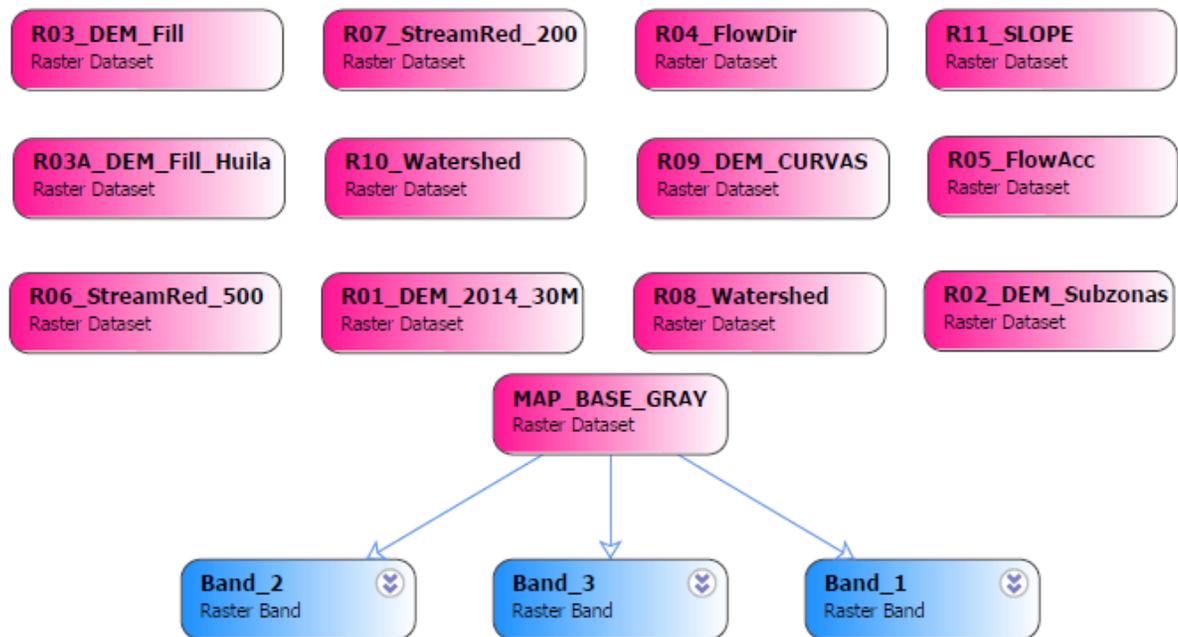


Figura 7. Rasters datasets en el modelo de datos.

Se obtiene la estructura del modelo de datos para el Dataset Base Cartográfica y ERA CAM 2015 MULK con 16 capas geográficas cada una (Figuras 8 y 9).

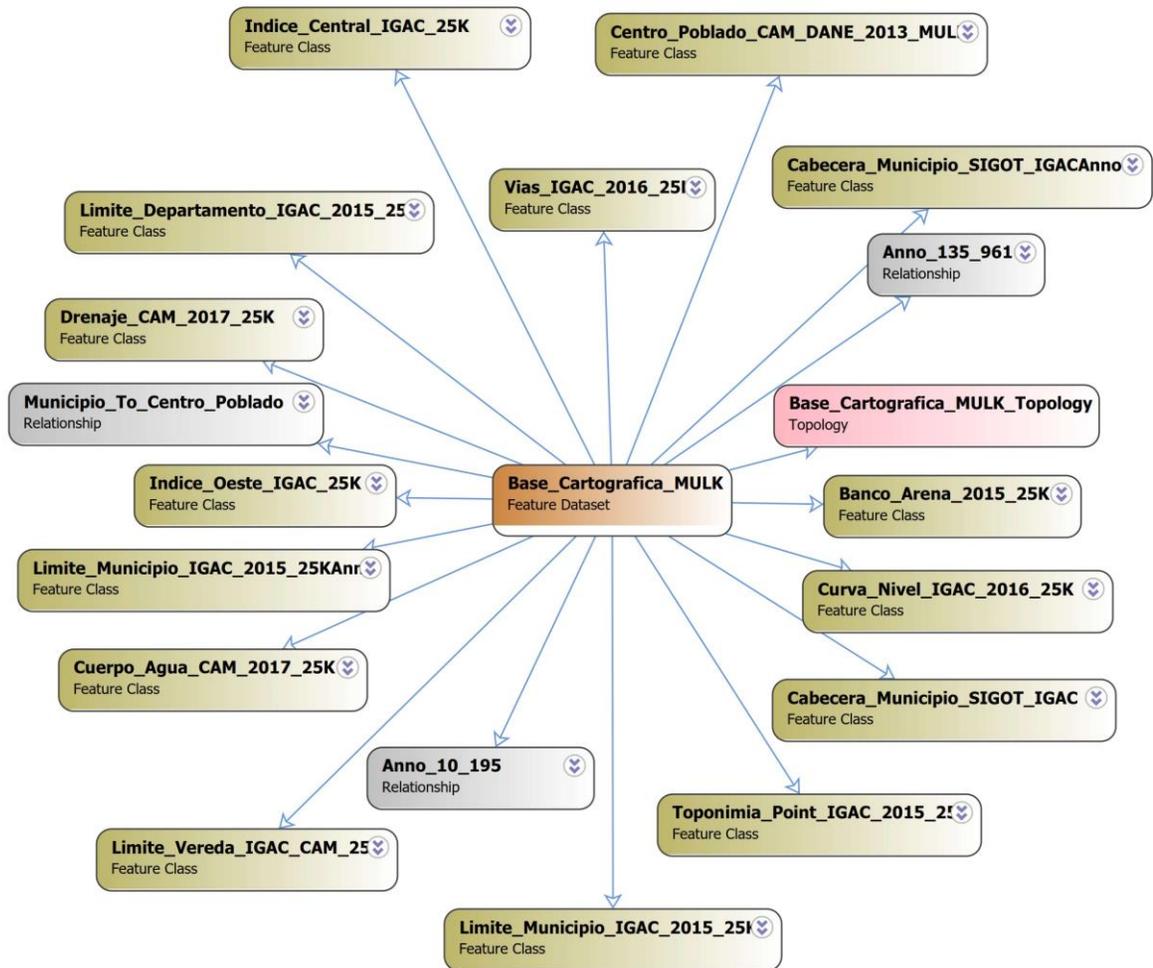


Figura 8. Modelo de datos del Dataset Base Cartográfica.

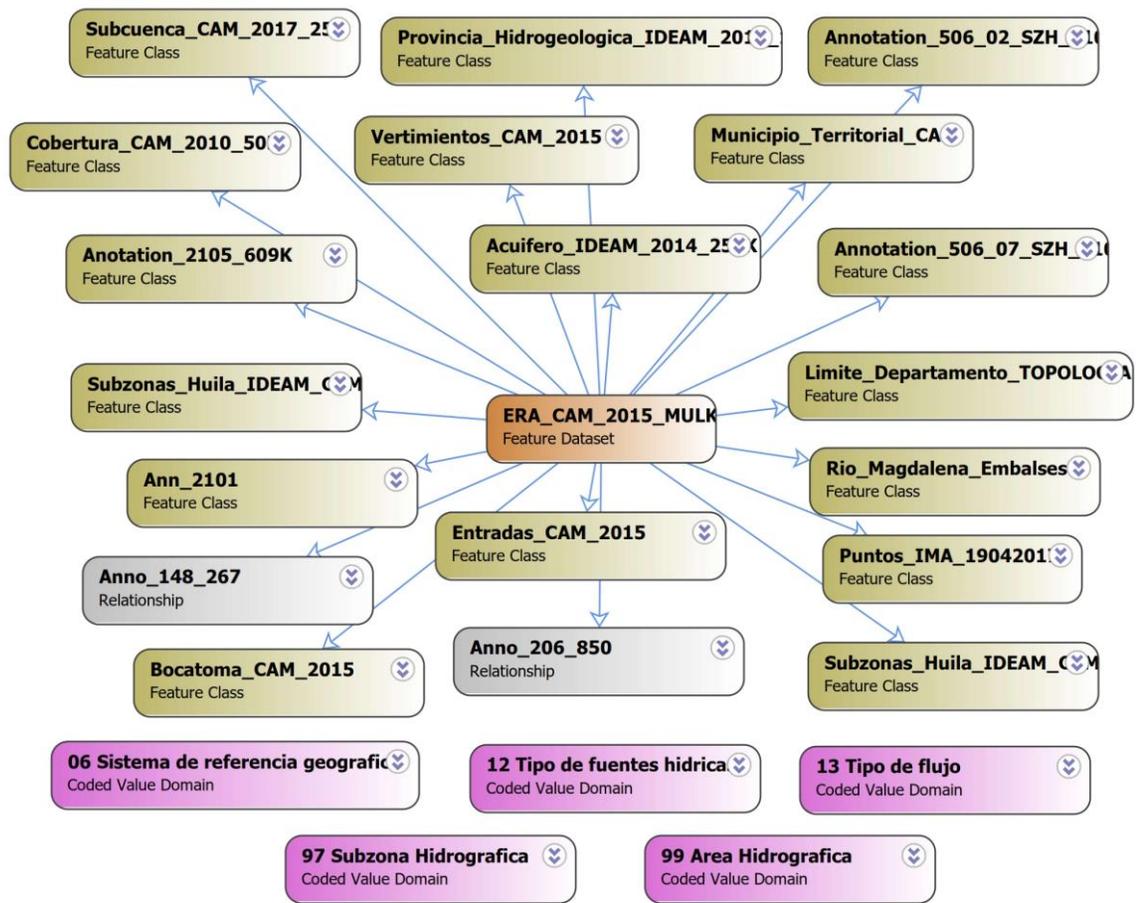


Figura 9. Modelo de datos del Dataset ERA - CAM.

El Dataset de Resultados presenta 24 capas de información, sin embargo 11 corresponde a layers que almacenan las anotaciones o etiquetas de las demás entidades. En la Figura 10 se observa la estructura del modelo.

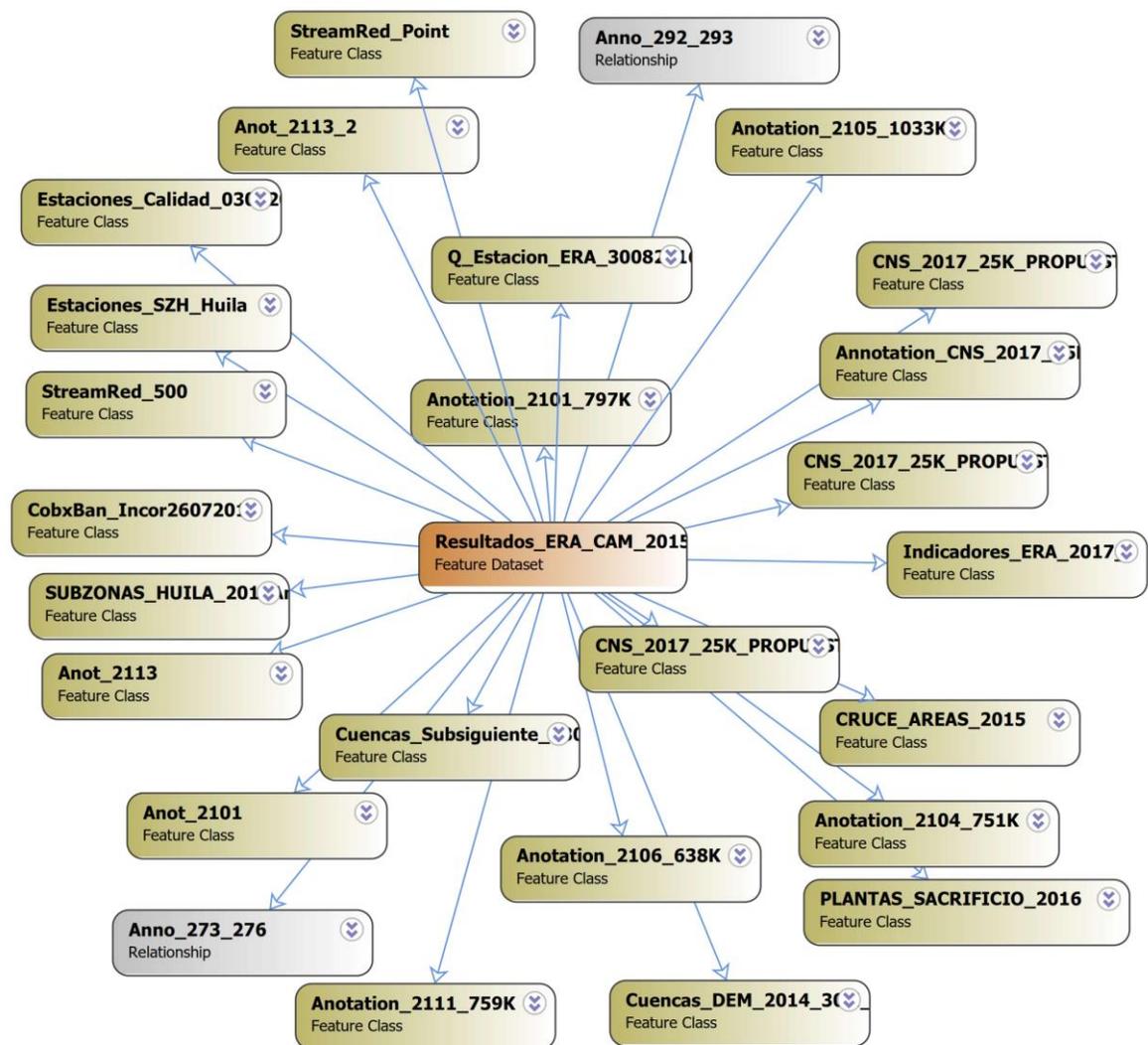


Figura 10. Modelo de datos del Dataset Resultados ERA - CAM.

Otra manera de representar el modelo de datos es mediante las plantillas que administra Esri establecidas segun la tematica de la Base de Datos Espacial. En la figuras 11 a 14 se puede observar algunos ejemplos de los elementos de la estructura de la Geodatabase.

Simple feature class		Geometry		Polyline			
Drenaje_IGAC_1000K		Contains M values	No	Contains Z values	No		
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
NOMBRE_GEO	String	Yes					50
ESTADO_DRE	Double	Yes			0	0	
ESC_VIS	Double	Yes			0	0	
Shape_Length	Double	Yes			0	0	

Figura 11. Detalles de la Features Drenaje IGAC 1000K en el Modelo de Datos.

Coded value domain	
96 Tipo Centro Poblado	
Description	Tipo Centro Poblado
Field type	String
Split policy	Default value
Merge policy	Default value
Code	Description
C	CENTRO POBLADO TIPO CORREGIMIENTO
IP	CENTRO POBLADO TIPO INSP ECCION DE POLICIA
IPM	CENTRO POBLADO TIPO INSP ECCION DE POLICIA MUNICIPAL
IPD	CENTRO POBLADO TIPO INSP ECCION DE POLICIA DEPARTAMENTAL
CM	CABECERA MUNICIPAL
CAS	CENTRO POBLADO TIPO CASERIO
CP	CENTRO POBLADO NO CATEGORIZADO
CD	CORREGIMIENTO DEPARTAMENTAL
O	OTROS

Figura 12. Representación de dominio Tipo de Centro Poblado en el Modelo de datos.

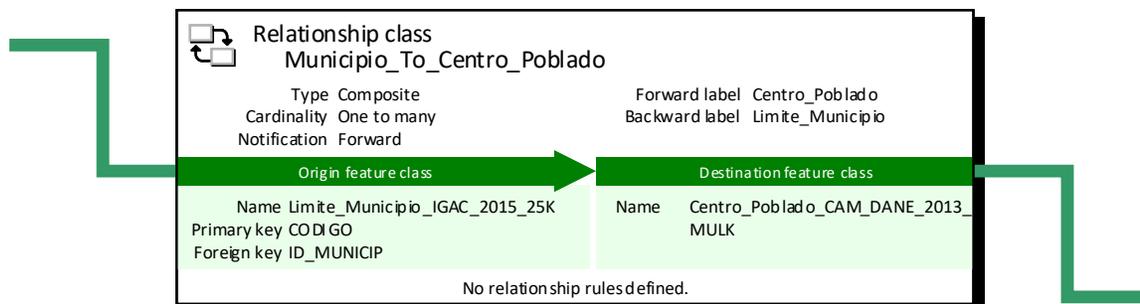


Figura 13. Representación de una relación en el Modelo de Datos.

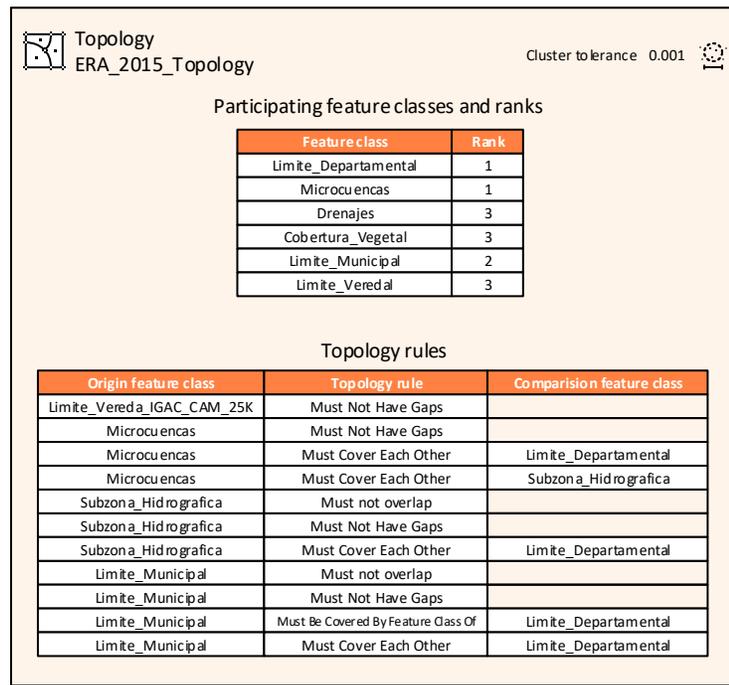


Figura 14. Representación de la Topología en el Modelo de Datos

7.3 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)

Los modelos de elevación digital se obtienen por medio del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>.

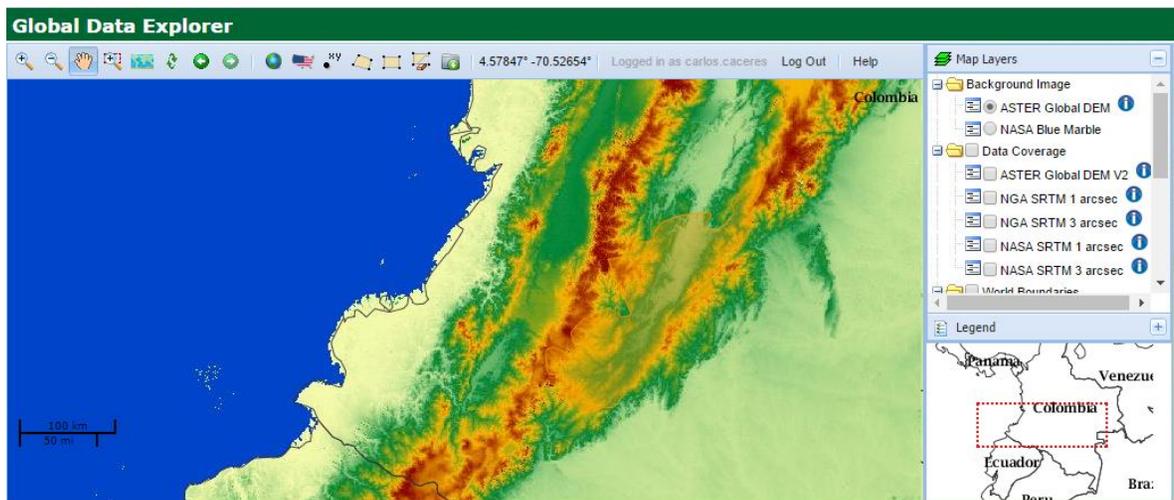


Figura 15. Vista del explorador de datos globales del USGS.

Se determina el área de interés y se procede a la descarga en formato Geo TIFF. Se realiza la proyección de los rasters de WGS_1984 a MAGNA_Colombia_Bogota mediante la automatización del Model Builder de la figura 16.

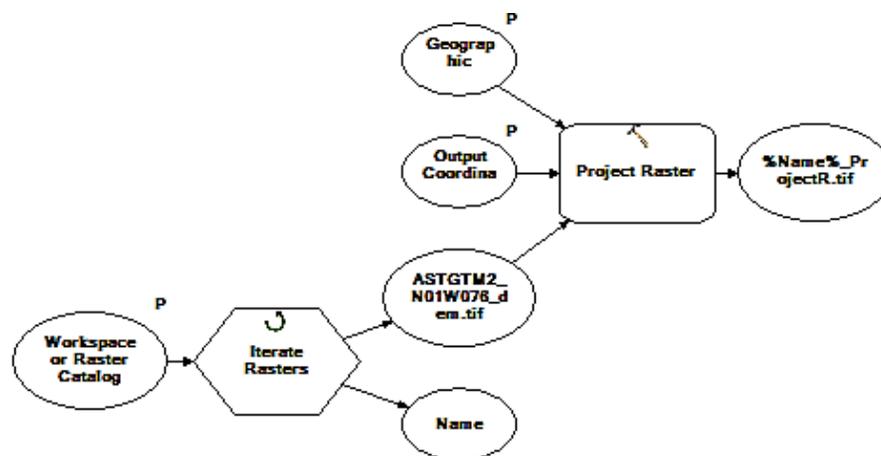


Figura 16. Model Builder para proyectar los RASTERS DEM.

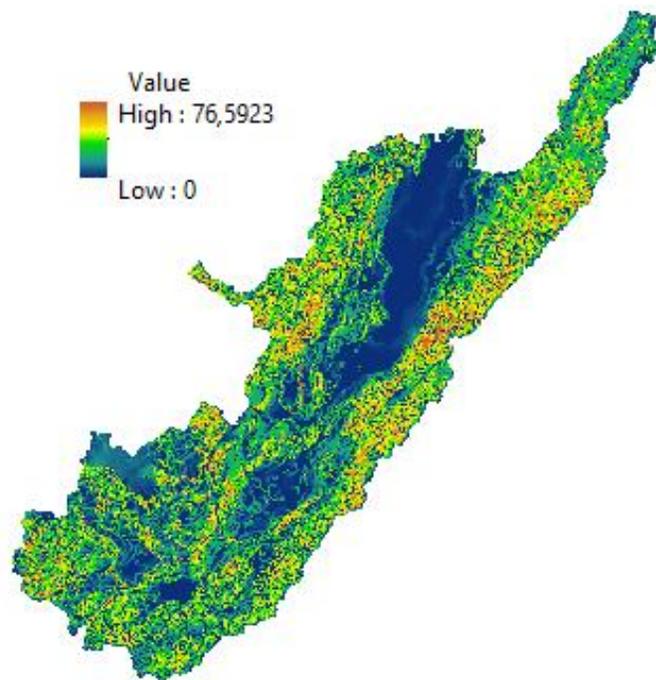


Figura 17. Mosaico DEM.

7.4 METADATOS

La información que describe elementos se llama metadatos. En los metadatos de un elemento se puede registrar la información que sea importante la organización conozca sobre ese elemento. Esto puede incluir información sobre lo preciso y reciente que es el elemento, las restricciones asociadas con utilizar y compartir el elemento, los procesos importantes en el ciclo de procesos, entre otros.⁷ A continuación, en la figura 18 se documenta la Geodatabase con metadatos basados en estándares, que se pueden crear, editar, ver y exportar.

⁷ Tomado de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/metadata/what-is-metadata.htm>



Figura 18. Metadatos en ArcCatalog.

7.5 CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

La información geográfica utilizada por las Autoridades Ambientales para las Evaluaciones Regionales del Agua y la resultante de este proceso debe cumplir con los lineamientos y estándares dados por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE).

De este modo, es posible garantizar la compatibilidad de los productos generados en las ERA, esta compatibilidad se refiere a que los archivos entregados puedan ser leídos y manipulados sobre software especializado de SIG, sin requerir pre-procesamiento que actúe en detrimento del producto original, así mismo que al incorporar la información de las diferentes autoridades ambientales para trabajos conjuntos se disponga de las mismas capas con sus correspondientes atributos y no se presenten diferencias significativas en el empalme como traslapes, vacíos, cambios en el detalle y densidad de elementos dados por la escala de trabajo.⁷ En la tabla 5. se resume los errores determinados.

Tabla 5. Errores topológicos totales encontrados en la información recibida.

Class1	Rule	Class2	TOTAL
Limite_Vereda_IGAC_CAM_25K	Must Not Have Gaps		79
Limite_Vereda_IGAC_CAM_25K	Must Not Overlap		224
Cuerpo_Agua_2015_25K	Must Not Overlap		146
Limite_Vereda_IGAC_CAM_25K	Must Cover Each Other	Limite_Municipio_IGAC_2015_25K	1094
Limite_Vereda_IGAC_CAM_25K	Must Be Covered By	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	198
Drenaje_SIGOT_IGAC_NNK	Must Be Inside	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	174
Drenaje_CAM_2015_25K	Must Be Inside	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	2577
Curva_Nivel_IGAC_2015_25K	Must Be Inside	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	2050
Infraestructura_2015_25K	Must Be Properly Inside	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	499
Curva_Nivel_IGAC_2015_25K	Must Not Overlap		259
Drenaje_CAM_2015_25K	Must Not Overlap		3371
Curva_Nivel_IGAC_2015_25K	Must Not Intersect		1588
Vias_2015_25K	Must Not Intersect		151
Drenaje_CAM_2015_25K	Must Not Intersect		6403,9
Vias_2015_25K	Must Not Have Pseudo Nodes		159
Drenaje_SIGOT_IGAC_NNK	Must Not Have Pseudo Nodes		44
Drenaje_CAM_2015_25K	Must Not Have Pseudo Nodes		4508
Curva_Nivel_IGAC_2015_25K	Must Not Self-Intersect		1164
Drenaje_CAM_2015_25K	Must Not Self-Intersect		47
Curva_Nivel_IGAC_2015_25K	Must Not Intersect Or Touch Interior		1602
Drenaje_SIGOT_IGAC_NNK	Must Be Single Part		108
Drenaje_CAM_2015_25K	Must Be Single Part		865
Vias_2015_25K	Must Be Single Part		449
Curva_Nivel_IGAC_2015_25K	Must Be Single Part		5656
Cobertura_CAM_2010_50K	Must Not Have Gaps		939
Cobertura_CAM_2010_50K	Must Not Overlap		1237
Cuenca_Subsiguiente_CAM_2015_25K	Must Cover Each Other	Subzonas_Huila_IDEAM_2013_500K	713
Subzonas_Huila_IDEAM_2013_500K	Must Cover Each Other	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	1089
Cobertura_CAM_2010_50K	Must Cover Each Other	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	2104
Cuenca_Subsiguiente_CAM_2015_25K	Must Cover Each Other	Limite_Departamento_IGAC_2015_25K	1190
TOTALES POR SUBZONA			41204,9

7.6 GENERACION DE INFORMACION, GEOPROCESAMIENTOS Y AJUSTES

7.6.1 Corrección de los Drenajes. Se tiene como insumo la red de drenaje de la corporación y la perteneciente a las planchas IGAC a escala 1:25.000. Se realiza la comparación visual (Figura 19) por sectores (Subzonas y microcuencas) para completar los drenajes faltantes de acuerdo con los mapas bases que ofrecen Google Earth y ArcMAP. En algunos sectores se contó con las imágenes spot de la corporación usadas en el último año para el nuevo estudio de la cobertura vegetal.

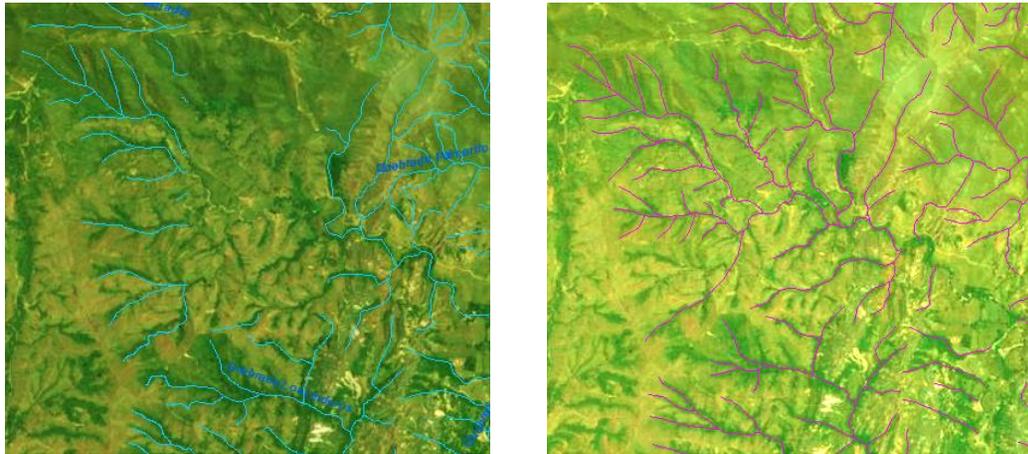


Figura 19. Comparación de entidades de drenaje del IGAC (Izquierda) y de la corporación (derecha).

Inicialmente se corrige en los posible los errores gráficos de los drenajes por medio del inspector de errores de la topología, sin embargo, existen algunos que deben ser tratados de manera puntual mediante las herramientas de geoprocésamiento.

7.6.2 Scripts Y Toolbar ERA. Con el objetivo automatizar las tareas de geoprocésamiento requeridas para realizar la depuración y ajuste de la información geográfica se generan una serie de scripts o códigos en lenguaje de programación Python para ser ejecutados a partir de botones de la barra de herramientas ERA Tools que se instala a través de un Add in para ArcMap.

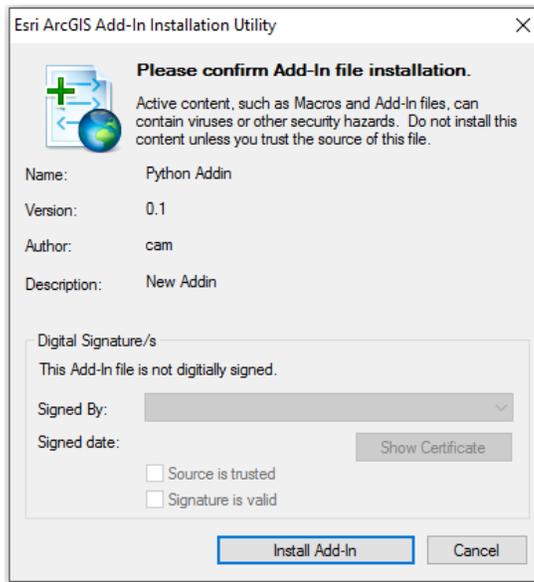
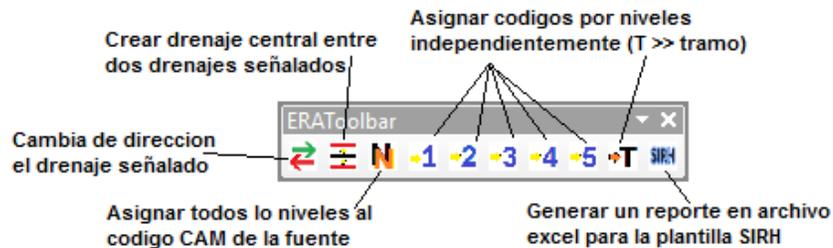


Figura 20. Instalación Add-In ERAToolbar.

Al instalar el Add in se puede activar la barra de herramientas ERAToolbar. A continuación, se describe rápidamente cada uno de los botones de la barra generada.



7.6.3 Generar Cuencas a partir del DEM. Se generan las cuencas a partir del DEM que sirven como insumo para para verificar y ajustar las cuencas subsiguientes elaboradas en el año 2005. Para este proceso se utilizó líneas de código de Python y ejecución de herramientas de ArcGIS para agilizar el procedimiento común en la delimitación de cuencas, como se muestra en la figura 21.

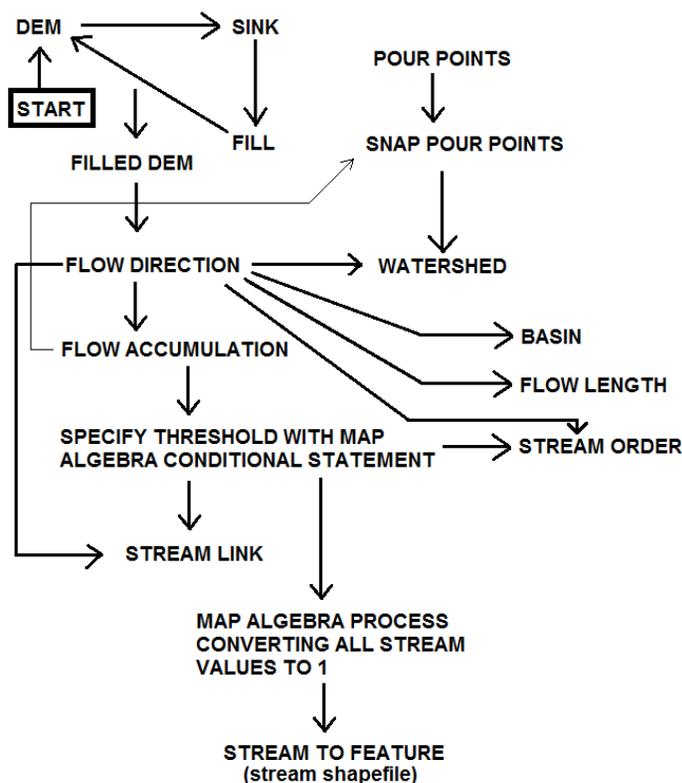


Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de delimitación de cuencas con ArcGIS.

Fuente: <https://maybeitsamap.wordpress.com/2015/06/15/quick-tip-039/>

Los procesos pertenecen a las metodologías de la extensión de análisis espacial (Spatial Analyst Tools) de ArcGIS rellenar⁸ (Fill), dirección de flujo⁹ (Flow Direction), Sumideros¹⁰ (Sinks) y acumulación de flujos¹¹ (Flow Accumulation). Esta primera parte se realiza en el script que se muestra a continuación:

```
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
env.workspace = "C:/SIG_ERA_CAM_2015/ANEXO 4 Geodatabases/ERA_CAM_2015_MULK.gdb"
mask="C:/SIG_ERA_CAM_2015/ANEXO 4 Geodatabases/ERA_CAM_2015_MULK.gdb/ERA_CAM_2015_MULK/Subzonas_Huila_IDEAM_2013_500K"
outExtractByMask = ExtractByMask("R01_DEM_2014_30M", mask)
outExtractByMask.save("C:/SIG_ERA_CAM_2015/ANEXO 4 Geodatabases/ERA_CAM_2015_MULK.gdb/R02_DEM_Subzonas")
outFill = Fill("R02_DEM_Subzonas")
outFill.save("C:/SIG_ERA_CAM_2015/ANEXO 4 Geodatabases/ERA_CAM_2015_MULK.gdb/R03_DEM_Fill")
outFlowDirection = FlowDirection("R03_DEM_Fill", "NORMAL")
outFlowDirection.save("C:/SIG_ERA_CAM_2015/ANEXO 4 Geodatabases/ERA_CAM_2015_MULK.gdb/R4_FlowDir")
outFlowAccumulation = FlowAccumulation("R04_FlowDir")
outFlowAccumulation.save("C:/sapyexamples/output/R05_FlowAcc.img")
```

⁸ Mayor información en <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fill-works.htm>

⁹ Mayor información en <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>

¹⁰ Mayor información en <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-sink-works.htm>

¹¹ Mayor información en <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-accumulation-works.htm>

A continuación, se determina el grupo de celdas pertenecientes a cada red de flujo. Al asignar un umbral bajo se obtendrá afluentes pequeños mientras un valor alto genera los drenajes de mayor longitud. Mediante la caja de herramientas Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator, se crea un primer raster de red de flujo con un valor de 500 (si hay más de 500 píxeles que desembocan en él será parte de la red de corriente), figura 22.

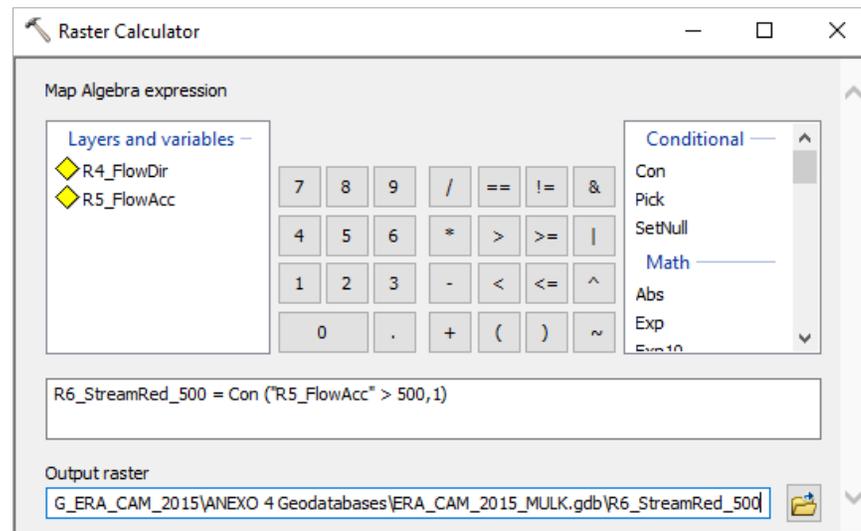


Figura 22. Raster calculator para crear drenajes.

Se realiza el mismo procedimiento con valor de 200. En la figura 23 se puede comparar los resultados.

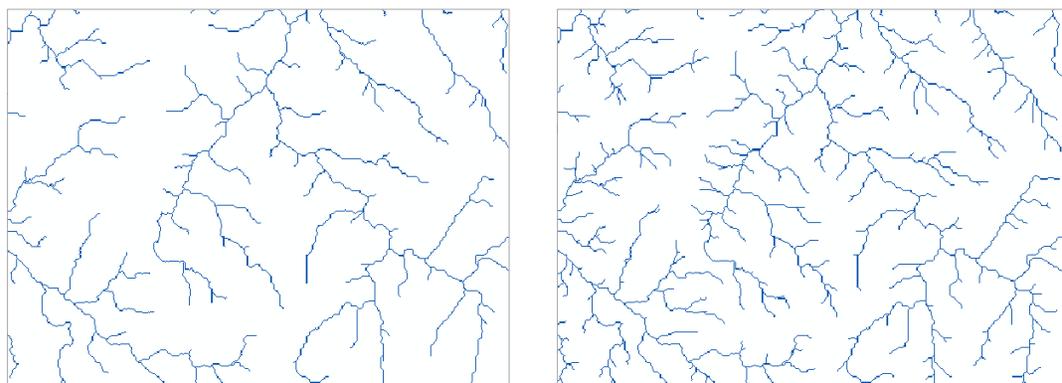


Figura 23. Raster de corrientes a con valores 500 y 200.

Se asignan valores únicos a secciones de una red lineal del raster entre intersecciones¹² y se realiza la conversión a Feature Class de la red de drenajes:

```
import arcpy.sa
R8_StreamLink = arcpy.sa.StreamLink("R7_StreamRed_200", "R4_FlowDir")
arcpy.sa.StreamToFeature("R8_StreamLink", "R4_FlowDir", "StreamRed_200", "SIMPLIFY")
```

Para la delimitación de las cuencas se deben determinar los puntos de desembocadura de los drenajes (Se utilizan los drenajes con umbral de 500, para generar cuencas mayores). Se ejecuta la herramienta Data Management tools > Feature > Feature Vertice to Point. Se establecen las cuencas mediante la herramienta Spatial Analyst Tools > Hydrology > Watershed. Se realiza la conversión del Raster de las cuencas a Polígonos. ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon.

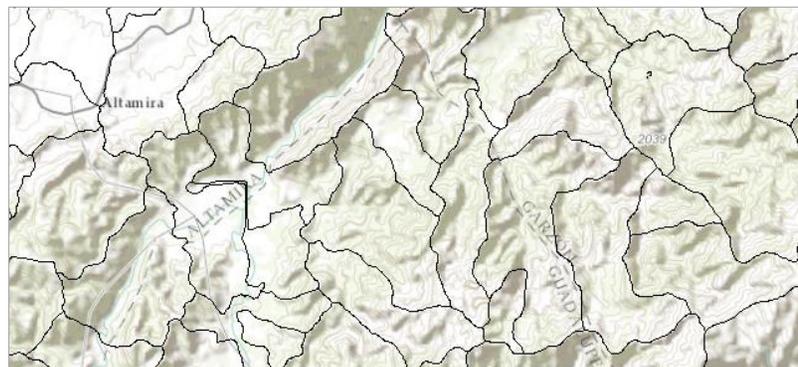


Figura 24. Cuencas generadas a partir del DEM.

7.6.4 Corrección Límites Cuencas. Se realiza el ajuste espacial de las cuencas a partir de las entidades creadas en el estudio del año 2005 y usando como insumo el DEM de 30 metros, las cuencas generadas a partir del mismo, la información topográfica según las curvas de nivel, el visor de Google Earth y la red de drenaje a escala 1:25.000 existente, figura 25.

¹² Más información en <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/stream-link.htm>

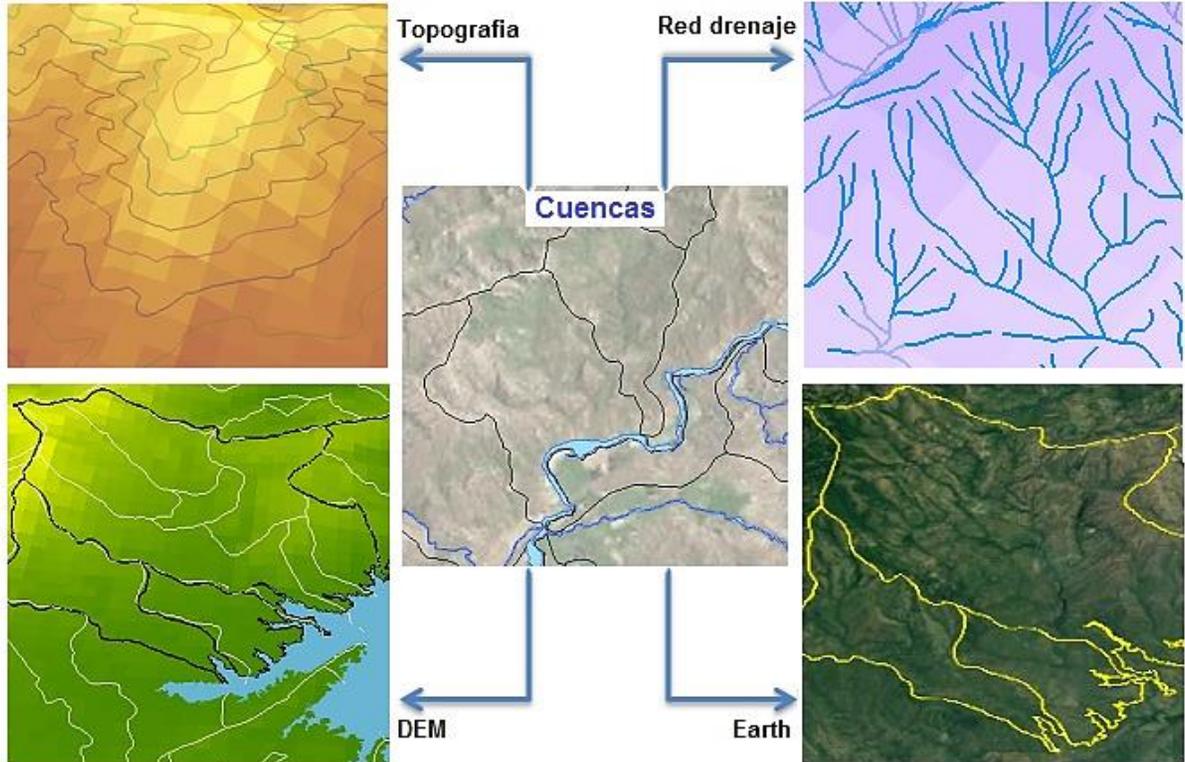


Figura 25. Insumos para el ajuste de límites de Cuencas.

7.6.5 Preparar Reporte SIRH. Primero se debe asegurar que los campos estén completos y con la exactitud requerida. Para calcular los valores de los grados, minutos y segundos para las coordenadas tanto inicial como final de la fuente, primero se calculan las coordenadas decimales los siguientes campos:

LATITUD INICIAL	LONGITUD INICIAL	LATITUD FINAL	LONGITUD FINAL
3,18961	-75,315928	3,190476	-75,288124
3,201708	-75,295352	3,190473	-75,285052
3,210328	-75,282369	3,185902	-75,274111
3,200147	-75,308509	3,178447	-75,265415

Figura 26. Campos de coordenadas calculadas de los puntos de fuentes hídricas.

Para asignar los valores de Grados, Minutos y Segundos de los puntos iniciales y finales de la red de drenajes en cada uno de los campos solicitados en el

formato del SIRH, y la longitud en kilómetros, se crea un script en Python que automatice la esta tarea:

```
import arcpy

#Declaramos una variable de entorno
arcpy.env.workspace=r"C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04 Geodatabases\ERA_CAM_2015_MULK.gdb\Base_Cartografica_MULK"

#Declarar variables locales
CapaEntrada="Drenaje_CAM_2017_25K"

# Calculamos los grados de la latitud del punto inicial del drenaje
arcpy.CalculateField_management(CapaEntrada, "PI_GRAD_LAT", "int( !LATITUD_INICIAL!)", "PYTHON_9.3", "")

# Calculamos los minutos de la latitud del punto inicial del drenaje
arcpy.CalculateField_management(CapaEntrada, "PI_MIN_LAT", "int((!LATITUD_INICIAL! -int( !LATITUD_INICIAL!)) *60)", "PYTHON_9.3", "")

# Calculamos los segundos de la latitud del punto inicial del drenaje
arcpy.CalculateField_management
( CapaEntrada, "PI_SEG_LAT", "(((!LATITUD_INICIAL!-int( !LATITUD_INICIAL!)) *60-int(!LATITUD_INICIAL! -int( !LATITUD_INICIAL!)) *60))*60", "PYTHON_9.3", "" )

# Calculamos los grados de la longitud del punto inicial del drenaje
arcpy.CalculateField_management(CapaEntrada, "PI_GRAD_LOG", "int( !LONGITUD_INICIAL!)", "PYTHON_9.3", "")

# Calculamos los minutos de la longitud del punto inicial del drenaje
arcpy.CalculateField_management(CapaEntrada, "PI_MIN_LOG", "int((abs(!LONGITUD_INICIAL!) -int( abs(!LONGITUD_INICIAL!)) *60)", "PYTHON_9.3", "")

# Calculamos los segundos de la longitud del punto inicial del drenaje
arcpy.CalculateField_management
( CapaEntrada, "PI_SEG_LOG", "(((abs(!LONGITUD_INICIAL!) -int( abs(!LONGITUD_INICIAL!)) *60)-int((abs(!LONGITUD_INICIAL!) -int( abs(!LONGITUD_INICIAL!)) *60))*60",
"PYTHON_9.3", "" )

# Calculamos los grados de la latitud del punto final del drenaje
arcpy.CalculateField_management(CapaEntrada, "PF_GRAD_LAT", "int( !LATITUD_FINAL!)", "PYTHON_9.3", "")
```

7.6.6 Ajuste de Limites Veredales. EL procedimiento general para ajustar los límites de las veredas a los de los municipios se resume en el diagrama de procesos de la figura 27.

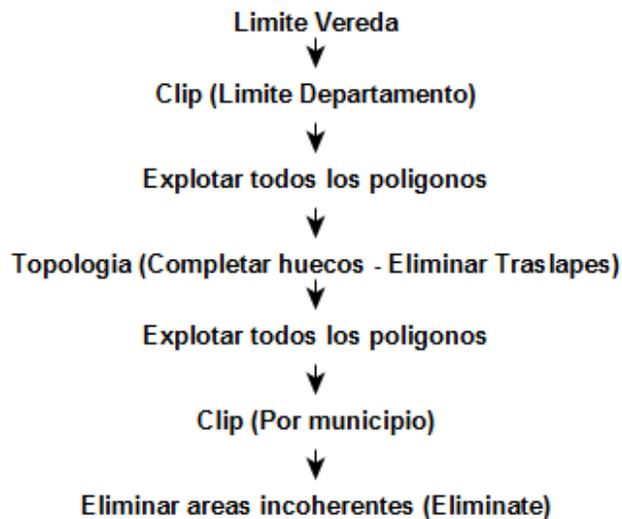


Figura 27. Diagrama de procesos para ajustar gráficamente los limites veredales.

Mediante el model builder se desarrolla el procesamiento para separar (realizar un clip) las veredas de acuerdo con el límite municipal. Para esto se creó un dataset temporal llamado “VEREDA_MUNICIPIO” que almacenará las capas de salida y que posteriormente se elimina.

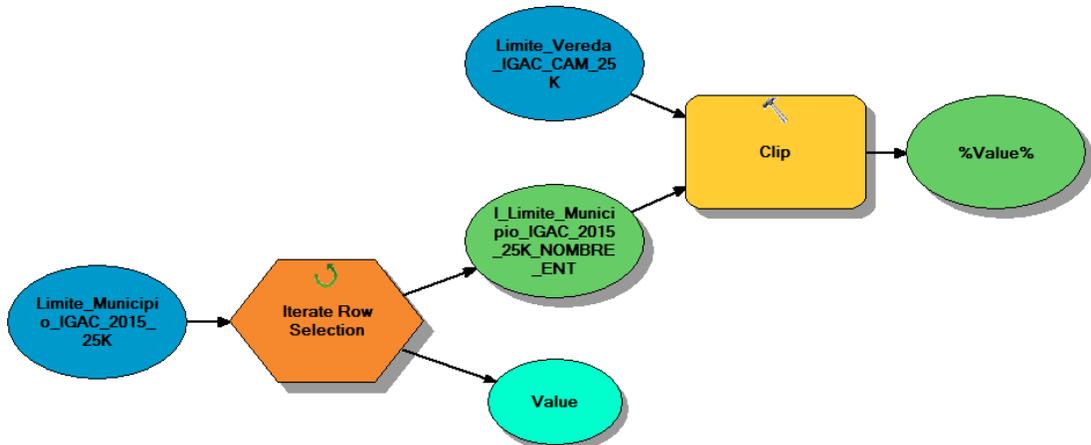


Figura 28. Model Builder Separar_Vereda_x_Municipio.

Nuevamente se explotan todos los polígonos para evitar polígonos con partes separadas. A continuación, se eliminan por cada features las áreas o polígonos que no son del municipio correspondiente. Para esto se creó un dataset temporal llamado “VEREDA_ELIMINATE” que almacenará las capas de salida y que posteriormente se elimina

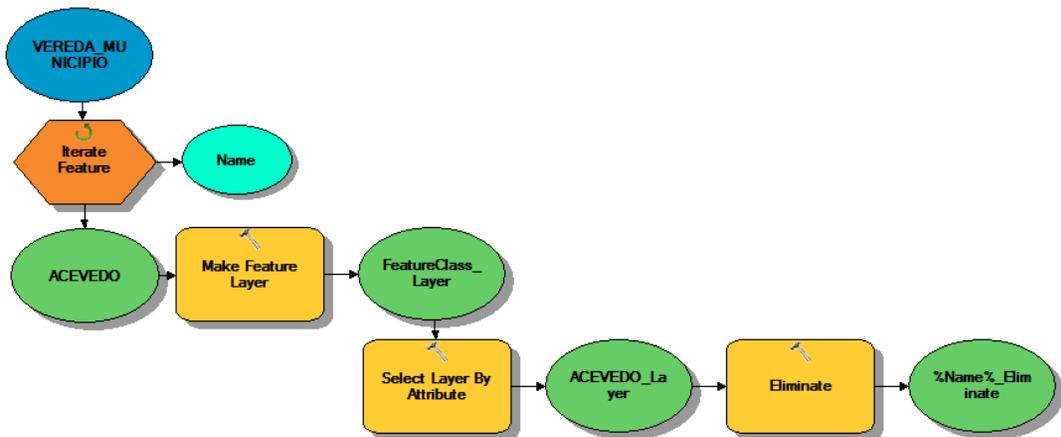


Figura 29. Model Builder para seleccionar veredas por municipio y eliminar áreas incoherentes.

7.6.7 Herramienta Estadística Zonal. Para el proceso de la modelación hidrológica mediante el software WEAP¹³ se requiere determinar la precipitación por cuenca a partir de los raster de precipitación generados por la modelación espacial de los datos anuales multianuales de precipitación de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM con área de influencia en el departamento del Huila. Para ello se desarrolla una herramienta (toolbox de ArcGIS) que se compone de 4 models builder (figura 30):

1. Creación de una carpeta donde se almacenan los resultados.
2. Ejecución de la estadística zonal mediante iteraciones raster a raster.
3. Merge o fusión de todas las tablas seleccionadas en una sola tabla.
4. Exportar la tabla final (Tabla merge) a Excel (Puede estar limitado al número de registros de Excel)

¹³ Mayor información en <http://www.weap21.org/>

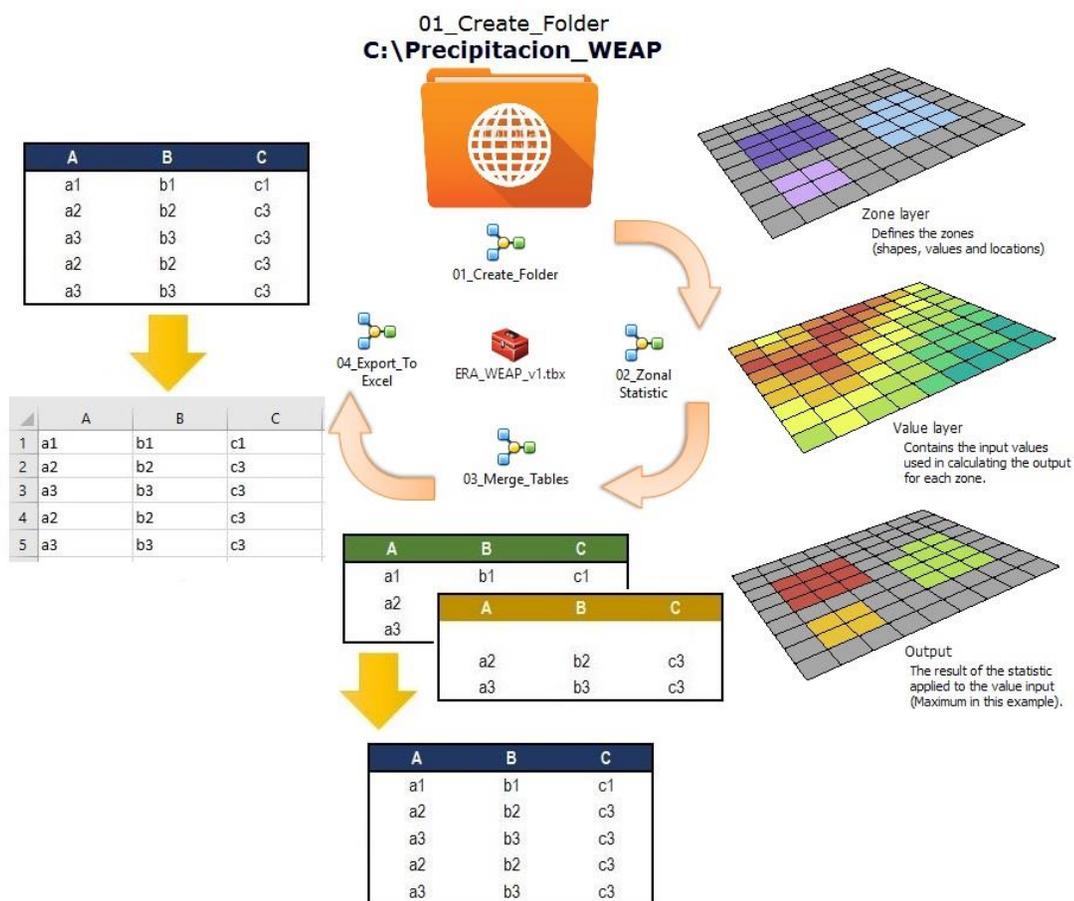


Figura 30. Flujo de trabajo de la herramienta ERA_WEAP.

7.7 CODIFICACION DE CUENCAS SUBSIGUIENTES Y FUENTES HIDRICAS

El **primer dígito** corresponde a las áreas hidrográficas y sus valores se encuentran entre 1 y 5. El Departamento del Huila se encuentra dentro del Área Hidrográfica **2 Magdalena Cauca**. El **segundo dígito** representa las zonas hidrográficas, las cuales son 41 en el total nacional; en el interior de cada área hidrográfica se inicia la numeración desde 1 y dado que estas no se subdividen en más de 9 zonas, los valores asignados se encuentran entre 1 y 9. El área Departamento del Huila se encuentra dentro de la Zona Hidrográfica **1 Alto Magdalena**.

El **tercer y el cuarto dígito** corresponden a las subzonas hidrográficas, que en total son 311; estas se enumeran iniciando en 01 en cada zona hidrográfica; en el interior de cada zona se encuentran hasta 34 subzonas. Para el Departamento del Huila se definen 13 Subzonas, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Subzonas del Departamento del Huila.

Área	Zona	Subzona	Nombre de la Subzona
2	1	01	Alto Magdalena
		02	Río Timaná y otros directos al Magdalena
		03	Río Suaza
		04	Ríos Directos al Magdalena (mi)
		05	Río Páez
		06	Ríos directos Magdalena (md)
		08	Río Yaguará y Río Iquira
		09	Juncal y otros Ríos directos al Magdalena
		10	Río Neiva
		11	Río Fortalecillas y otros
		12	Río Baché
		13	Río Aipe, Río Chenche y otros directos al Magdalena
		14	Río Cabrera

Como ejemplo se muestra la codificación de la Subzona 2112 para Río Bache, figura 31. El **quinto dígito** corresponde a una división de la de las Subzonas por parte de la Corporación las cuales aún deben someterse a consideración para su aprobación de acuerdo con parámetros como el área de extensión de acuerdo con estudios requeridos como los POMCA, interés de monitoreo o seguimiento, puntos de registros de acumulación de caudal, características particulares como importancia de abastecimiento del recurso hídrico o de reserva forestal, etc. **Los dígitos siguientes deben ser asignados por la corporación autónoma**, la cual debe realizar la zonificación hidrográfica regional con apoyo de la cartografía base oficial e insumos disponibles.

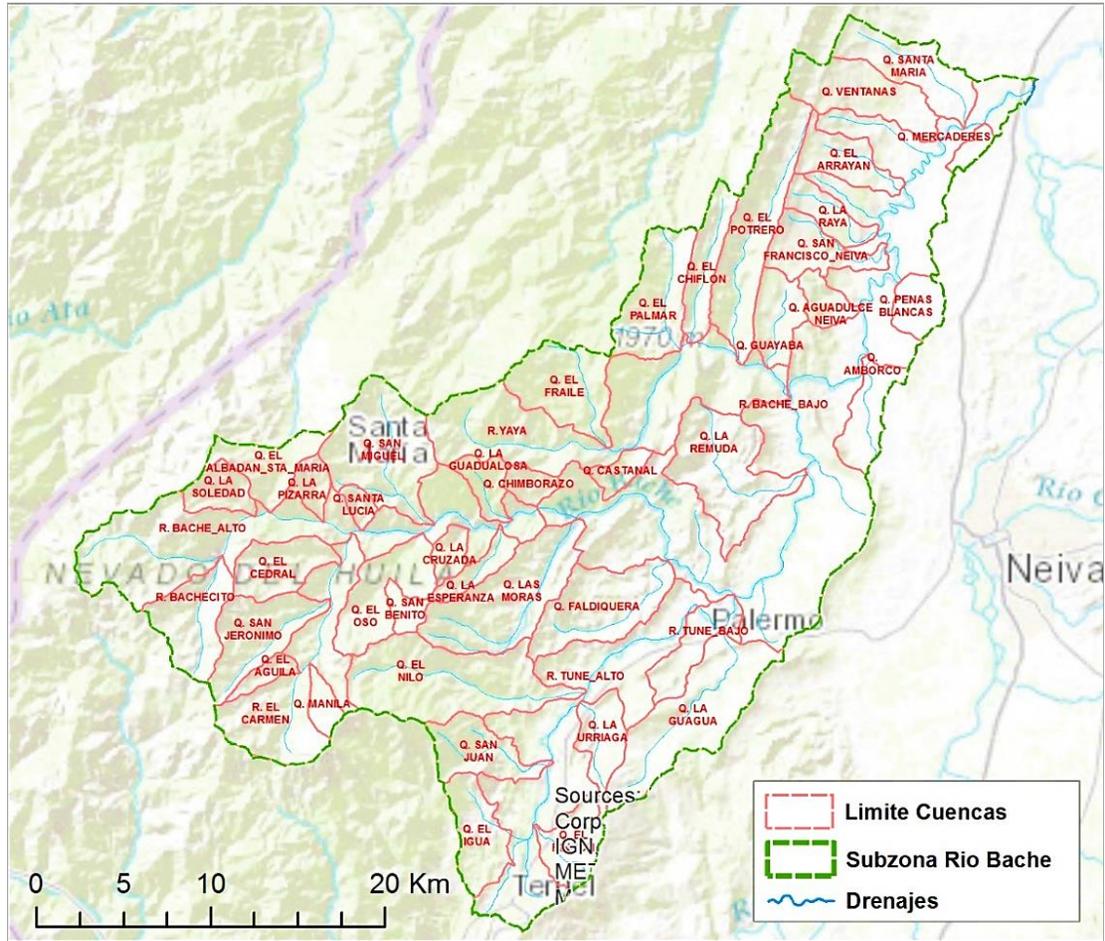


Figura 31. Cuencas Subzona hidrográfica 2112 Rio Bache.

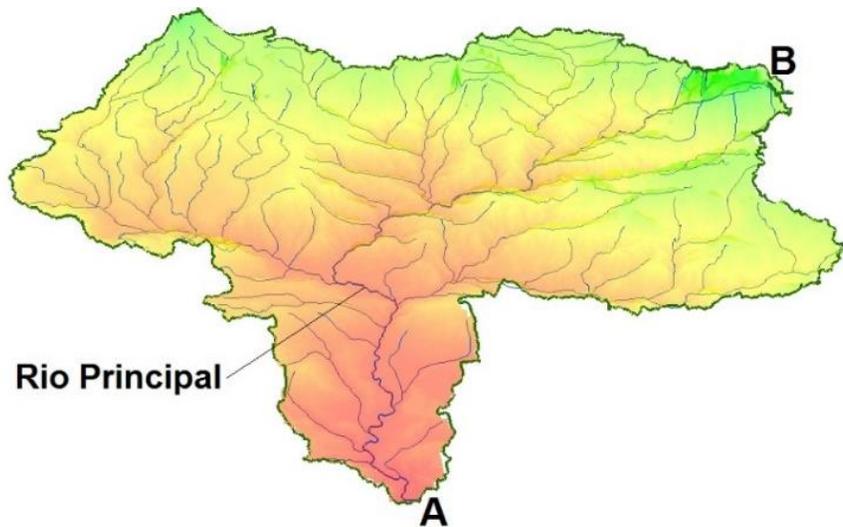


Figura 32. Puntos de dirección o sentido de codificación.

El **sexto y séptimo dígitos** corresponden al primer nivel de codificación, el cual será 01 para todas las cuencas ya que todas desembocan finalmente en el río principal, Río Bache. Los siguientes niveles se generan a partir del punto de entrega o desembocadura del Río Bache (A) y sentido por la derecha o izquierda según el orden de llegada se inicia la asignación de valores de forma consecutiva comenzando por 01, hasta la cuenca del punto más alto, (B) figura 32. Así mismo se realiza la segregación sobre cada nivel.

Tabla 7. Muestra de Codificación de las primeras 25 cuencas de la Subzona 212 Río Bache.

CUENCA	NIVELES							CODIGO ASIGNADO
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
R. BACHE_BAJO	01	00	00	00	00	00	00	21120010000000000000
Q. MERCADERES	01	01	00	00	00	00	00	21120010100000000000
Q. SANTA MARIA	01	02	00	00	00	00	00	21120010200000000000
Q. VENTANAS	01	03	00	00	00	00	00	21120010300000000000
Q. EL ARRAYAN	01	04	00	00	00	00	00	21120010400000000000
Q. LA RAYA	01	05	00	00	00	00	00	21120010500000000000
Q. SAN FRANCISCO_NEIVA	01	06	00	00	00	00	00	21120010600000000000
Q. PENAS BLANCAS	01	07	00	00	00	00	00	21120010700000000000
Q. AGUADULCE NEIVA	01	08	00	00	00	00	00	21120010800000000000
Q. AMBORCO	01	09	00	00	00	00	00	21120010900000000000
R. YAYA	01	10	00	00	00	00	00	21120011000000000000
Q. GUAYABA	01	10	01	00	00	00	00	21120011001000000000
Q. EL POTRERO	01	10	02	00	00	00	00	21120011002000000000
Q. EL CHIFLON	01	10	03	00	00	00	00	21120011003000000000
Q. EL PALMAR	01	10	04	00	00	00	00	21120011004000000000
Q. EL FRAILE	01	10	05	00	00	00	00	21120011005000000000
Q. LA REMUDA	01	11	00	00	00	00	00	21120011100000000000
R. TUNE_BAJO	01	12	00	00	00	00	00	21120011200000000000
Q. LA GUAGUA	01	12	01	00	00	00	00	21120011201000000000
R. TUNE_ALTO	01	12	02	00	00	00	00	21120011202000000000
Q. EL NILO	01	12	02	01	00	00	00	21120011202010000000
Q. LA URRIAGA	01	12	02	02	00	00	00	21120011202020000000
Q. SAN JUAN	01	12	02	03	00	00	00	21120011202030000000
Q. EL RINCON	01	12	02	04	00	00	00	21120011202040000000
Q. EL IGUA	01	12	02	05	00	00	00	21120011202050000000

7.8 CODIFICACION DE DRENAJES

Para la codificación de fuentes se parte de la codificación de cuencas. Después de este código el orden en la codificación de los niveles de las fuentes hídricas a escala 1:25.000 se genera a partir del punto de entrega o desembocadura del río principal de la cuenca y sentido por la derecha o izquierda según el orden de llegada de los drenajes del siguiente orden, se inicia la asignación de valores de forma consecutiva comenzando por 001, hasta el punto más alto de acuerdo con el número de orden de los drenajes. Los niveles de código de drenajes se componen de 3 dígitos por nivel, debido a la cantidad de entidades a la escala 1:25.000. Se presenta el ejemplo de codificación para la cuenca 2105001080400000000 AD 01 PAEZ, figura 33.

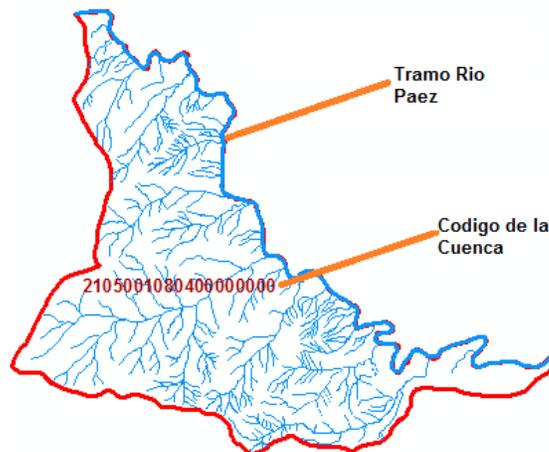


Figura 33. Red de drenajes cuenca AD 01 Río Páez.

Debido a que la fuente principal es el Río Páez, este tendrá los valores de 0 en todos sus niveles. Las fuentes que llegan directamente a él se codificarán en su primer nivel desde 1 hasta 40, figura 34. Se continúa el procedimiento para cada uno de los drenajes de orden de nivel 1. Por ejemplo, se continúa el ejemplo para el drenaje de valor de Nivel 1 igual a 15, figura 35.



Figura 34. Valores Nivel 1 para drenajes de la Cuenca AD 01 Rio Páez.

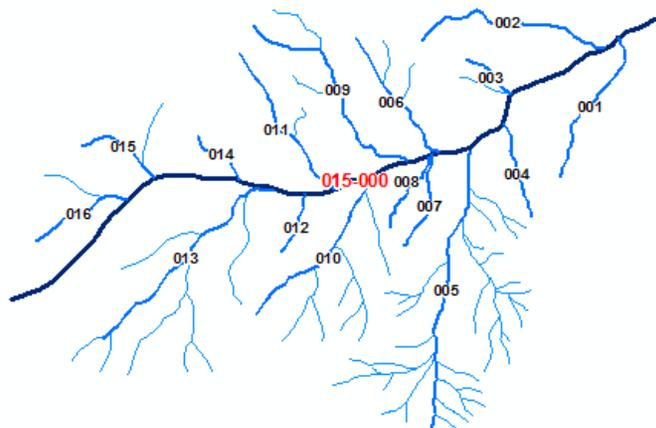


Figura 35. Valores Nivel 2 para drenajes de valor de Nivel 1 igual a 15 de la cuenca.

El mismo procedimiento se aplica para cada uno de los órdenes siguientes. Finalmente, el código del drenaje se forma a partir del numero de la cuenca más los 15 niveles.

7.9 CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

Las cuencas se consideran como unidades territoriales adecuadas para la gestión integrada del agua, porque son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y concentran la oferta del agua que proviene de las precipitaciones; en donde interactúan en un proceso permanente y dinámico el agua con los subsistemas físico (recursos naturales) y biótico (flora y fauna). Finalmente, sobrelleva el subsistema socioeconómico, formado por los usuarios de los servicios ambientales de la cuenca, habitantes e interventores externos de la misma¹⁴.

7.6.1 Coeficiente de Compacidad. Es un indicador adimensional de la forma de la cuenca, basado en la relación del perímetro de la cuenca con el área de un círculo igual a la de la cuenca (círculo equivalente); de esta manera, entre mayor sea el coeficiente más distante será la forma de la cuenca con respecto del círculo. Para valores cercanos o iguales a uno, la cuenca presenta mayor tendencia a crecientes o concentración de altos volúmenes de aguas de escorrentía. La ecuación define el índice de compacidad como:

$$k_c = 0,28 \times \left[\frac{p}{\sqrt{A}} \right]$$

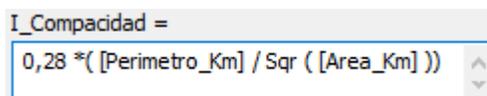
Donde:

k_c : Índice de la compacidad o índice de Gravelius (Adimensional).

P : Perímetro de la cuenca (km).

A : Área de la cuenca (km^2).

El cálculo se realiza mediante el calculador de campos de ArcGIS:



¹⁴ Trujillo, A., Barroso, F., y Escobar Y. Guía Básica para la caracterización morfométricas de cuencas hidrográficas. 2016.

7.6.2 Pendiente media de la Cuenca. Es la variación de inclinación de la cuenca y ayuda a definir el comportamiento respecto a los procesos de erosión (zonas de alta pendiente) y sedimentación (regiones planas). Mediante Python se genera el raster de pendiente (slope) a partir del DEM del proyecto (figura 36).

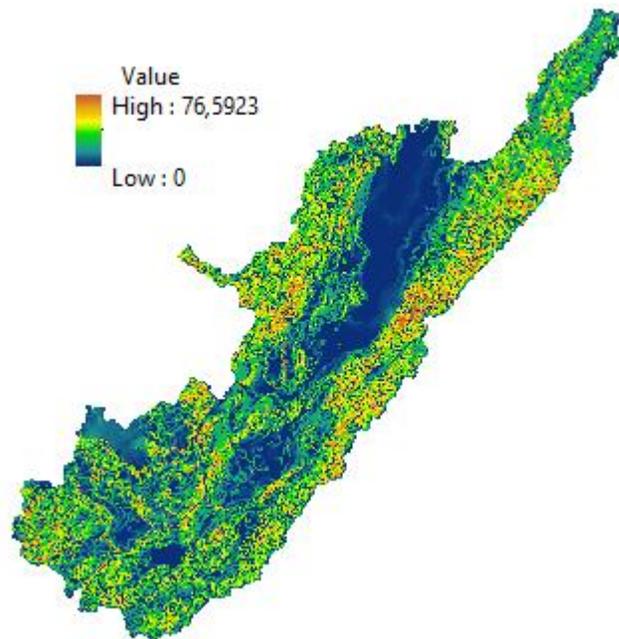


Figura 36. Mapa de pendientes topográficas.

```
# Import arcpy modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
# Workspace
env.workspace = r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04 Geodatabases\ERA_CAM_2017_MULK.gdb'
#Spatial Slope tool
outSlope = Slope("R03_DEM_Fill", "DEGREE", "30,84306025")
#Save Slope Raster
outSlope.save(r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04 Geodatabases\ERA_CAM_2017_MULK.gdb\R11_SLOPE')
```

Para determinar la pendiente de cada cuenca se realiza mediante Python una estadística zonal para hallar el porcentaje medio por cuenca.

```
# Import arcpy modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
# Workspace
env.workspace = r'C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_04 Geodatabases\ERA_CAM_2017_MULK.gdb'
#Zonal Statistics As Table
outZsaT = ZonalStatisticsAsTable("Cuenca_CAM_2017_25K", "ID_CAM", "R11_SLOPE", "T02_Morfometria_Cuencas", "NODATA", "MEAN")
```

7.6.3 Densidad de Drenajes. Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total, y permite tener un conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Para determinar la longitud total de drenajes se realiza una intersección en un software SIG entre los drenajes y cuencas y seguidamente un summarize por cada identificador.

7.6.4 Índice Morfométrico. Es la relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales.¹⁵

En el cuadro 3 se muestra los rangos de la clasificación de los parámetros mencionados²⁴.

¹⁵ IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua, Bogotá, Colombia, 2013.

Cuadro 3. Relaciones para caracterizar el índice morfométrico.

Índice Morfométrico	Escala	Área (km ²)	Valor de categorías a asignar				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2.00	2,01 – 2.50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2.00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2.00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad	Independiente del área y escala		> 1,5	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,25	1,00 – 1,125
			Oval - oblonga a rectangular - oblonga	Oval - redonda a oval - oblonga		Casi redonda a oval - redonda	

Para determinar cada una de las categorías de las variables de la tabla anterior, se utiliza Python mediante la sentencia condicional de control de flujo (if, elif, else):

```
def Categoria(Compacidad):
    if Compacidad <= 1.125:
        return 5
    elif Compacidad > 1.125 and Compacidad <= 1.250:
        return 4
    elif Compacidad >1.250 and Compacidad <= 1.375:
        return 3
    elif Compacidad >1.375 and Compacidad <= 1.500:
        return 2
    else:
        return 1
```

```
def Categoria(Drenaje):
    if Drenaje > 2.5:
        return 5
    elif Drenaje > 2 and Drenaje <= 2.5:
        return 4
    elif Drenaje >1.5 and Drenaje <= 2.0:
        return 3
    elif Drenaje >1.0 and Drenaje <= 1.5:
        return 2
    else:
        return 1
```

```
def Categoria(por_pendiente):
    if por_pendiente > 75:
        return 5
    elif por_pendiente > 50 and por_pendiente <= 75:
        return 4
    elif por_pendiente >35 and por_pendiente <= 50:
        return 3
    elif por_pendiente >20 and por_pendiente <= 35:
        return 2
    else:
        return 1
```

IM_MULTICRITERIO =

[DENSIDAD_CATEGORIA] & [PENDIENTE_CATEGORIA] & [COMPACIDAD_CATEGORIA]

IM_MULTICRITERIO	
	111
	112
	112
	211
	311

Mediante Python se determina la categoría del Índice Morfométrico multicriterio según los valores del cuadro 4.

```
def IM_Criterio(IM_multicriterio):
    if IM_multicriterio >=111 and IM_multicriterio <=114 or IM_multicriterio >=121 and IM_multicriterio <=122:
        return "MUY BAJA"
    elif IM_multicriterio == 115 or IM_multicriterio == 241 or IM_multicriterio >=123 and IM_multicriterio <=155
        or IM_multicriterio >=211 and IM_multicriterio <=233:
        return "BAJA"
    elif IM_multicriterio >=311 and IM_multicriterio <=314 or IM_multicriterio >=321 and IM_multicriterio <=322:
        return "BAJA"
    elif IM_multicriterio == 315 or IM_multicriterio >=323 and IM_multicriterio <=325 or IM_multicriterio >=234
        and IM_multicriterio <=235:
        return "MEDIA"
    elif IM_multicriterio >=242 and IM_multicriterio <=255 or IM_multicriterio >=331 and IM_multicriterio <=344
        or IM_multicriterio >=351 and IM_multicriterio <=353:
        return "MEDIA"
    elif IM_multicriterio >=411 and IM_multicriterio <=424 or IM_multicriterio >=431 and IM_multicriterio <=433 or IM_multicriterio >=511
        and IM_multicriterio <=514:
        return "MEDIA"
    elif IM_multicriterio ==345 or IM_multicriterio ==425 or IM_multicriterio >=354 and IM_multicriterio <=355 or IM_multicriterio >=434
        and IM_multicriterio <=435:
        return "ALTA"
    elif IM_multicriterio ==515 or IM_multicriterio >=441 and IM_multicriterio <=454 or IM_multicriterio >=521 and IM_multicriterio <=543:
        return "ALTA"
    elif IM_multicriterio ==455 or IM_multicriterio >=544 and IM_multicriterio <=555:
        return "MUY ALTA"
    else:
        return "ERROR!"
```

Cuadro 4. Relaciones entre variables para el índice morfométrico

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4
		315	325	335	345	355	5
	4	411	421	431	441	451	1
		412	422	432	442	452	2
		413	423	433	443	453	3
		414	424	434	444	454	4
		415	425	435	445	455	5
5	511	521	531	541	551	1	
	512	522	532	542	552	2	
	513	523	533	543	553	3	
	514	524	534	544	554	4	
	515	525	535	545	555	5	

Coeficiente de forma

7.6.5 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET). Representa el grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Varía cualitativamente desde vulnerabilidad baja a muy alta. La vulnerabilidad se expresa en relación con los índices morfométricos de torrencialidad e Índice de variabilidad¹⁶. Finalmente, para determinar el índice IVET se usa Python asignando las categorías de acuerdo con la matriz del cuadro 4.

¹⁶ Para más información del Índice de variabilidad consultar el documento Evaluación Regional del Agua en el Departamento del Huila. Corporación Regional del Alto Magdalena cam. 2017.

```

def IVET_Criterio(IVAR_multicriterio, IM_multicriterio):
    if IVAR_multicriterio == 'MUY BAJA' and IM_multicriterio == 'MUY BAJA':
        return "MUY BAJA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY BAJA' and IM_multicriterio == 'BAJA':
        return "MUY BAJA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY BAJA' and IM_multicriterio == 'MEDIA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY BAJA' and IM_multicriterio == 'ALTA':
        return "ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY BAJA' and IM_multicriterio == 'MUY ALTA':
        return "ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'BAJA' and IM_multicriterio == 'MUY BAJA':
        return "BAJA"
    if IVAR_multicriterio == 'BAJA' and IM_multicriterio == 'BAJA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'BAJA' and IM_multicriterio == 'MEDIA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'BAJA' and IM_multicriterio == 'ALTA':
        return "ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'BAJA' and IM_multicriterio == 'MUY ALTA':
        return "MUY ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'MEDIA' and IM_multicriterio == 'MUY BAJA':
        return "BAJA"
    if IVAR_multicriterio == 'MEDIA' and IM_multicriterio == 'BAJA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'MEDIA' and IM_multicriterio == 'MEDIA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'MEDIA' and IM_multicriterio == 'ALTA':
        return "ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'MEDIA' and IM_multicriterio == 'MUY ALTA':
        return "MUY ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'ALTA' and IM_multicriterio == 'MUY BAJA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'ALTA' and IM_multicriterio == 'BAJA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'ALTA' and IM_multicriterio == 'MEDIA':
        return "ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'ALTA' and IM_multicriterio == 'ALTA':
        return "MUY ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'ALTA' and IM_multicriterio == 'MUY ALTA':
        return "MUY ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY ALTA' and IM_multicriterio == 'MUY BAJA':
        return "MEDIA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY ALTA' and IM_multicriterio == 'BAJA':
        return "ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY ALTA' and IM_multicriterio == 'MEDIA':
        return "ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY ALTA' and IM_multicriterio == 'ALTA':
        return "MUY ALTA"
    if IVAR_multicriterio == 'MUY ALTA' and IM_multicriterio == 'MUY ALTA':
        return "MUY ALTA"
    else:
        return "ERROR!"

```

7.10 DISEÑO DE MAPAS

El formato de papel corresponde al tamaño pliego, es decir, 70 cm de ancho por 100 cm de largo. Todos los elementos mencionados a continuación están ubicados desde su punto extremo inferior izquierdo respecto al extremo inferior izquierdo de la hoja pliego con coordenadas xy (0,0) en unidades de centímetros.

El recuadro del marco exterior de 67x97cm tiene un espesor de 2 puntos (0,0706 cm) ubicado en las coordenadas xy (1.5,1.5). El marco de datos (Data Frame) principal tendrá las dimensiones de 65x84 cm en una posición de su punto inferior izquierdo de coordenadas xy (2.5,13.5). Además del contenido geográfico del mapa contendrá la grilla de coordenadas tanto del sistema de coordenadas planas Magna Colombia Bogotá, así como el del datum internacional WGS84, en geográficas.

El marco exterior de la información del contenido del mapa corresponde a un recuadro de 66x10.5 cm con un espesor de 1.5 puntos (0,0529 cm) ubicado en las coordenadas xy (2,2). Dentro de estos se ubican 4 recuadros de espesor de línea de 1 punto (0,0353 cm) como se presenta en las figuras 37 a la 40.

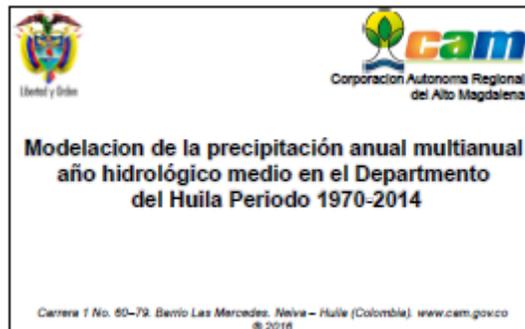


Figura 37. Marco del título y/o contenido, 15.25x10, xy (2.25,2.25).

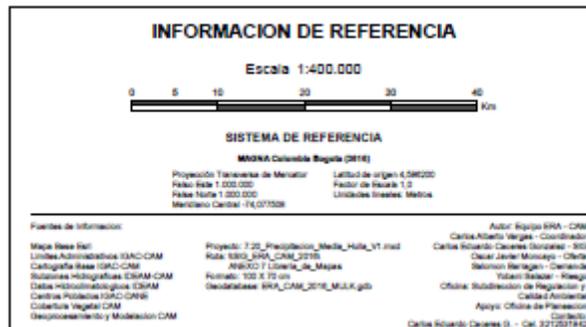


Figura 38. Marco de la información de referencia, fuentes y autores, 17x10, xy (17.75,2.25).



Figura 39. Marco de convenciones, 17.25x10, xy (35,2.25).

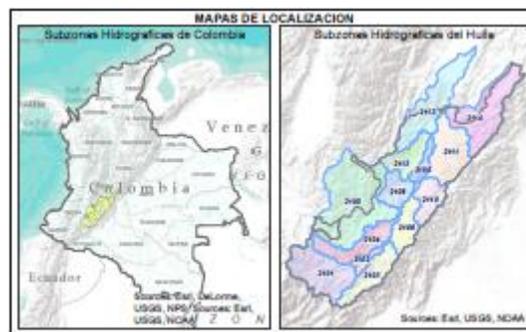


Figura 40. Marco de mapa de ubicación general, 15.25x10, xy (52.5,2.25).

7.7.1 Mapas Generales de Subzonas Hidrográficas. Estos mapas son generados en formato de pliego (100x70 cm) tomando algunos referentes de las normas de la cartografía geológico del INGEOMINAS. Para aprovechar de manera eficiente el área de presentación del contenido del mapa se determinaron las escalas y ángulos de rotación del marco de acuerdo con la manera que mejor se adecue la extensión de cada Subzona. En la tabla 8 se presenta esta información.

Para automatizar el proceso de generación se configura la herramienta Data Driven Pages del programa ArcMap en un modelo base exportando el archivo mxd de cada Subzonas una vez sea generado y revisado.

Tabla 8. Ángulos de rotación y escalas de los mapas de Subzonas formato pliego.

Subzona	Nombre	Angulo Rotación	Escala Impresión
2101	Alto Magdalena	330	100.000
2102	Rio Timaná y otros directos al Magdalena	15	60.000
2103	Rio Suaza	10	100.000
2104	Ríos Directos al Magdalena (mi)	25	120.000
2105	Rio Páez	20	125.000
2106	Ríos directos Magdalena (md)	0	100.000
2108	Rio Yaguará y Rio Iquira	10	60.000
2109	Juncal y otros Ríos directos al Magdalena	350	60.000
2110	Rio Neiva	0	75.000
2111	Rio Fortalecillas y otros	340	100.000
2112	Río Bache	20	75.000
2113	Rio Aipe, Rio Chenche y otros directos al Magdalena	10	75.000
2114	Rio Cabrera	5	125.000

Enable Data Driven Pages

Index Layer

Data Frame: MAPA

Layer: Limite Subzona Hidrografica

Name Field: SZH

Sort Field: NOMSZH

Sort Ascending

Optional Fields

Rotation: Rotacion_100x70_

Spatial Reference: none

Page Number: none

Starting Page Number: 1

Figura 41. Configuración de Data Drive Pages.

Mediante Python se guarda automáticamente el archivo mxd de ArcGIS de cada página de la data drive pages, en este caso cada Subzona:

```
import arcpy, os
mxdPath = r"C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_05 Galeria_Mapas\5.05 MAPAS GENERALES SUBZONAS 70X100\MODELO_503_00_SUBZONAS_HUILA
mxd = arcpy.mapping.MapDocument(mxdPath)
mxdDir = os.path.dirname(mxdPath)
for pageNum in range(1, mxd.dataDrivenPages.pageCount + 1):
    mxd.dataDrivenPages.currentPageID = pageNum
    mxdName = os.path.join(mxdDir, "Mapa" + str(pageNum) + ".mxd")
    mxd.saveACopy(mxdName)
del mxd
```

Mediante Python se guarda automáticamente el archivo pdf de cada página de la data drive pages, en este caso cada Subzona:

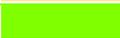
```
import arcpy, os
mxdPath = r"C:\SIG_ERA_CAM_2017\ANEXO_05 Galeria_Mapas\5.05 MAPAS GENERALES SUBZONAS 70X100\MODELO_503_00_SUBZONAS_HUILA_
mxd = arcpy.mapping.MapDocument(mxdPath)
mxdDir = os.path.dirname(mxdPath)
for pageNum in range(1, mxd.dataDrivenPages.pageCount + 1):
    mxd.dataDrivenPages.currentPageID = pageNum
    mxdName = os.path.join(mxdDir, "Mapa" + str(pageNum) + ".mxd")
    print "Save mxd {0} of {1}".format(str(mxd.dataDrivenPages.currentPageID), str(mxd.dataDrivenPages.pageCount))
    mxd.saveACopy(mxdName)
del mxd
```

7.7.2 Representación Cartográficas de Features Class. Las representaciones le permiten personalizar la apariencia de las entidades almacenando la información del símbolo con la geometría de la entidad dentro de las clases de entidad. Este control adicional puede ayudarle a cumplir las especificaciones cartográficas restrictivas o a simplificar la mejora de la visualización. Las representaciones son una propiedad de una clase de entidad que se almacenan en tablas del sistema dentro de la geodatabase y en la propia clase de entidad. Una clase de entidad puede tener más de una representación asociada con ella, permitiendo que los mismos datos se muestren de forma única en distintos productos del mapa.¹⁷

A partir de los colores RGB estandarizados se plantea la representación para la feature class de Cobertura vegetal (año 2010) reclasificada para el proyecto ERA, como se presenta en la tabla 9.

¹⁷ Tomado de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/map/working-with-layers/working-with-feature-class-representations.htm>

Tabla 9. Combinaciones RGB para clasificación de la Cobertura ERA.

COBERTURA	RGB	COLOR
ZONAS URBANAS	230-000-077	
ZONAS AGRICOLAS	230-204-077	
SUELOS AL DESNUDO	230-230-230	
PASTOS	230-230-077	
PARAMO	000-166-000	
GLACIARES	166-230-204	
CAFÉ	230-128-000	
CACAO	255-230-166	
BOSQUES	128-255-000	
ARROZ	230-230-000	
AGUAS ABIERTAS	000-204-242	

Definidas la simbología de cada clase de cada entidad, se realiza la representación cartográfica la cual queda almacenada en la Gdb y ayuda a guardar la simbología una vez la capa sea cargada en cualquier proyecto de ArcGIS (Figura 42).

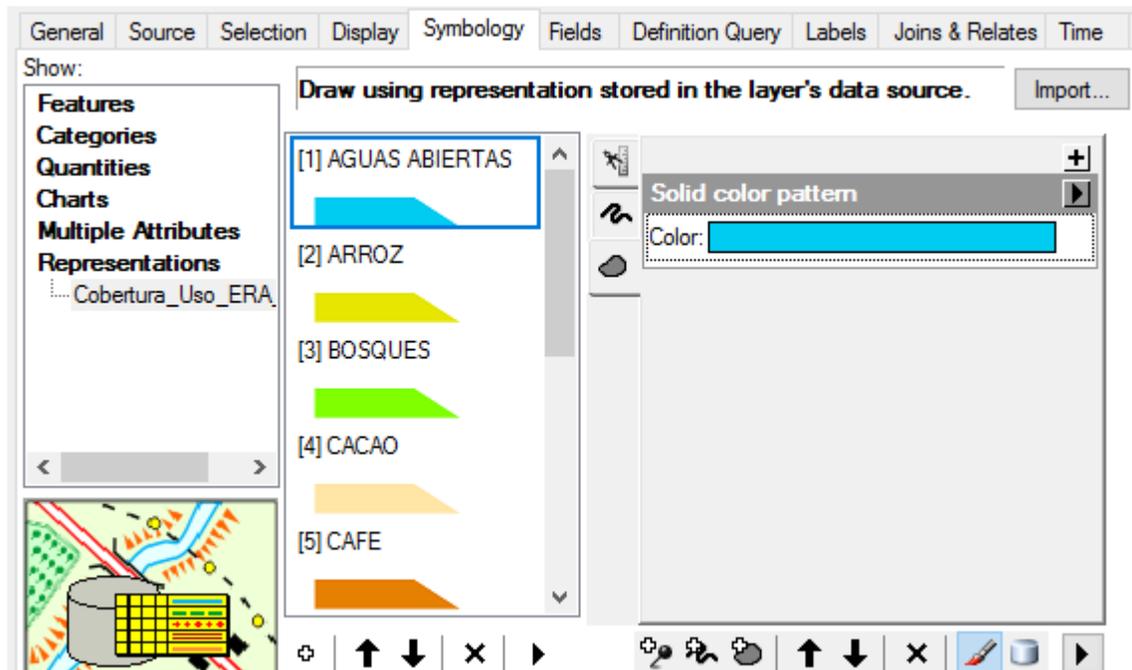


Figura 42. Creación de las reglas de representación cartográfica de la Cobertura ERA.

8. DISCUSION DE RESULTADOS

La mayor importancia de implementar desde la etapa inicial de un proyecto un modelo de datos se fundamenta en la necesidad de tener una integración adecuada en cantidad y calidad de la información que se requiere y/o manipula. El modelo de datos generado y la base de datos espacial establecida cumple con las expectativas teniendo en cuenta que es una primera versión para el proyecto como una primera parte de la organización de la información local y regional que administra la corporación, por tanto, el diseño puede presentar ajustes de acuerdo con las necesidades que se presente en la institución, pero es importante conservar la integridad de los datos actualmente existentes.

La mayoría de los elementos recopilados, en especial los datos geográficos que caracterizan la cartografía básica, como la del IGAC se encuentran en escala 1:25.000 adecuada para un estudio a nivel regional, sin embargo, las limitaciones de la escala de estudio están definidas por los datos de menor escala relacionados directamente con la modelación de las variables, en este caso, la capa de cobertura vegetal de un estudio realizado en el año 2010, de escala 1:50.000. Así que, para obtener una escala de trabajo mayor, es decir, mayor detalle de los elementos se tendría que obtener un nuevo estudio de cobertura vegetal, lo que implica mayor costo de ejecución.

Se incorporaron solo los dominios requeridos en la ejecución del ERA, ya que las listas controladas del SIRH del IDEAM establecen más de 800 valores a incorporar. Estos valores bastantes pueden ser incluidos en cualquier momento a la Geodatabase de manera manual, o de manera rápido mediante líneas de ejecución en Python.

Muchos geoprocursos fueron realizados por medio de códigos de Python ejecutables mediante el módulo arcpy. Esto contribuye a la disminución de tiempos

al automatizar algunos procesos que de manera rutinaria abarcarían diez meses más el tiempo de ejecución. El ajuste de cuencas hidrográficas se realizó a partir de modelos de elevación de 30 metros, en donde la zona con alto porcentaje de pendientes del terreno determina una mayor precisión en la digitalización, sin embargo, en zonas planas se requiere de acompañar los trazados mediante trabajos de campo y de topografía.

Los ajustes de los límites administrativos correspondientes a las veredas de los diferentes municipios no son de manera oficial, debido que la corporación no es la entidad oficial de definir estos estamentos territoriales. Se realizó únicamente para cumplir con el control de calidad topológico.

9. CONCLUSIONES

Si se aplican estándares en la información geográfica se va a tener un producto que se puede intercambiar sin problemas no solo con otras entidades locales y regionales sino con la comunidad en general. Cuando la información no está bajo componentes de estandarización que garantice la calidad de la información, ésta puede llegar a ser inservible porque la información no será entendida ni utilizada con un buen propósito y con el tiempo deberá ser nuevamente generada, esto hará que sea tiempo perdido e invertido en lo mismo varias veces. Es lo que sucede en entidades que no conocen hoy en día que existen la Infraestructura de Datos Espaciales.

Si bien las Corporación no genera cartografía básica, si hace uso de ella la cual es la oficial nacional elaborada por el IGAC, y a partir de esta genera cientos de mapas con temáticas de tipo ambiental como usos y coberturas del suelo, áreas de afectación de incendios, disponibilidad y consumo del recurso hídrico, delimitación de parques naturales regionales y zonas de reserva y protección forestal, entre otros; es importante que esa cartografía temática llegue al usuario final con igual magnitud de estándares de la cual se generó.

El tratamiento de los resultados en el proyecto se realizó en un formato vectorial por decisión del coordinador, lo cual generó una disminución en la precisión de los resultados ya que generan valores promedios a nivel de cada cuenca hidrográfica, lo cual se puede contrarrestar en la actualización del proyecto trabajando la mayor parte de información en formatos rasters como se deja claro en la entrega de recomendaciones a la corporación.

Se logra realizar el ajuste de más de 100.000 fuentes hídricas a escala 1:25.000, para la codificación de un único identificador que va a representar el código de barras en el sistema de facturación de la corporación para agilizar los métodos de recaudo por servicios ambientales cuando se trata de concesiones de agua en diferentes usos.

10. RECOMENDACIONES

Año tras año en la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena se realizan decenas de procesos de contratación en donde los productos finales en su mayoría involucran información geográfica representada en mapas temáticos impresos, capas de información en formatos shape (formato estándar de ArcGIS), bases de datos espaciales muchas veces sin controles de calidad; productos que muchas veces son almacenados sin darle una segunda aplicación que permita la toma de decisiones y aumentar el costo beneficio de las inversiones que se realizan. El desarrollo e implementación de una Infraestructura de datos Espaciales -IDE- en la corporación no solo es importante, sino que se requiere con prioridad para lograr una adecuada gestión de la información geográfica bajo estándares que permitan que productos, procesos y servicios cumplan y garanticen una información bajo los mismos parámetros y que tenga la mayor veracidad posible, eficiente y con la calidad que permite la producción, acceso y uso de la misma en proyectos siguientes.

A nivel institucional es importante centrar toda la información geográfica con la que cuenta la corporación para que tenga acceso el personal que día a día la requiere como consulta y la cual actualmente se desarrolla a través de las oficinas de planeación donde se encuentra la persona experto en SIG, teniendo que esperar la disponibilidad para obtener respuesta lo que genera un retraso en las actividades individuales. Facilitar el acceso directo a cada profesional aumentaría la eficiencia por parte del personal y así cumplir los objetivos del Plan de Acción de la institución. Una manera eficiente de llevar esta información a la comunidad usuaria es a través de Geoportales o Geovisores web, el cual permite el acceso ya sea de manera libre o con un registro básico de tal manera de tener un control de acceso a la información.

Se deben establecer las políticas para de operatividad de normativa organizacional que hace referencia a aquellas que rigen las organizaciones que lleguen a ser articuladas en la consolidación de esfuerzos para estandarizar y transferir la información. Política de datos que rige los estándares con la que los datos futuros son recibidos e incorporados a la IDE una vez sea establecida. Política de disposición, acceso y uso para determinar el alcance que tienen los usuarios sobre los datos, ya que, aunque por ley la información debe ser pública se van a encontrar datos que pueden afectar el buen accionar de la entidad y estos deben tener cierto tipo de restricción.

BIBLIOGRAFÍA

Barnali D., Venkatesh U. GIS and Geocomputation for Water Resource Science and Engineering. 2 ed. Estados Unidos. 2016.

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua. Bogotá. 2013.

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Lineamientos. Estudio Nacional del Agua. Bogotá. 2014.

Iturbe, A., Sánchez, L., Castillo, L., & Chías, L. Consideraciones conceptuales sobre los Sistemas de Información Geográfica. 2011.

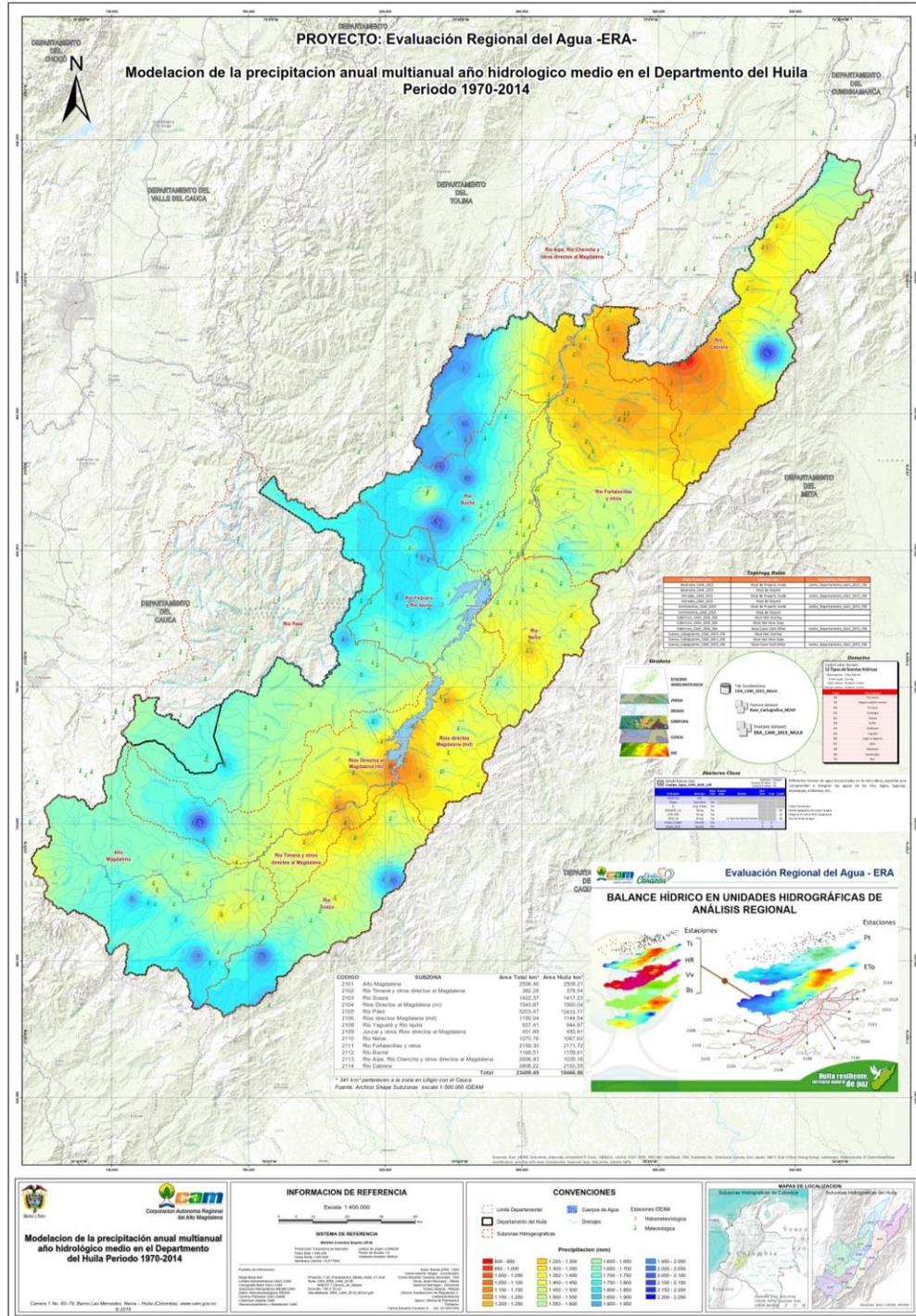
Longley, P. A., Goodchi, Ld, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. Geographical Information Systems and Science. Estados Unidos. 2011.

Rigaux, P., Scholl, M., y Voisard, A. E. Spatial Databases with Application to GIS. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems. Estados Unidos. 2002.

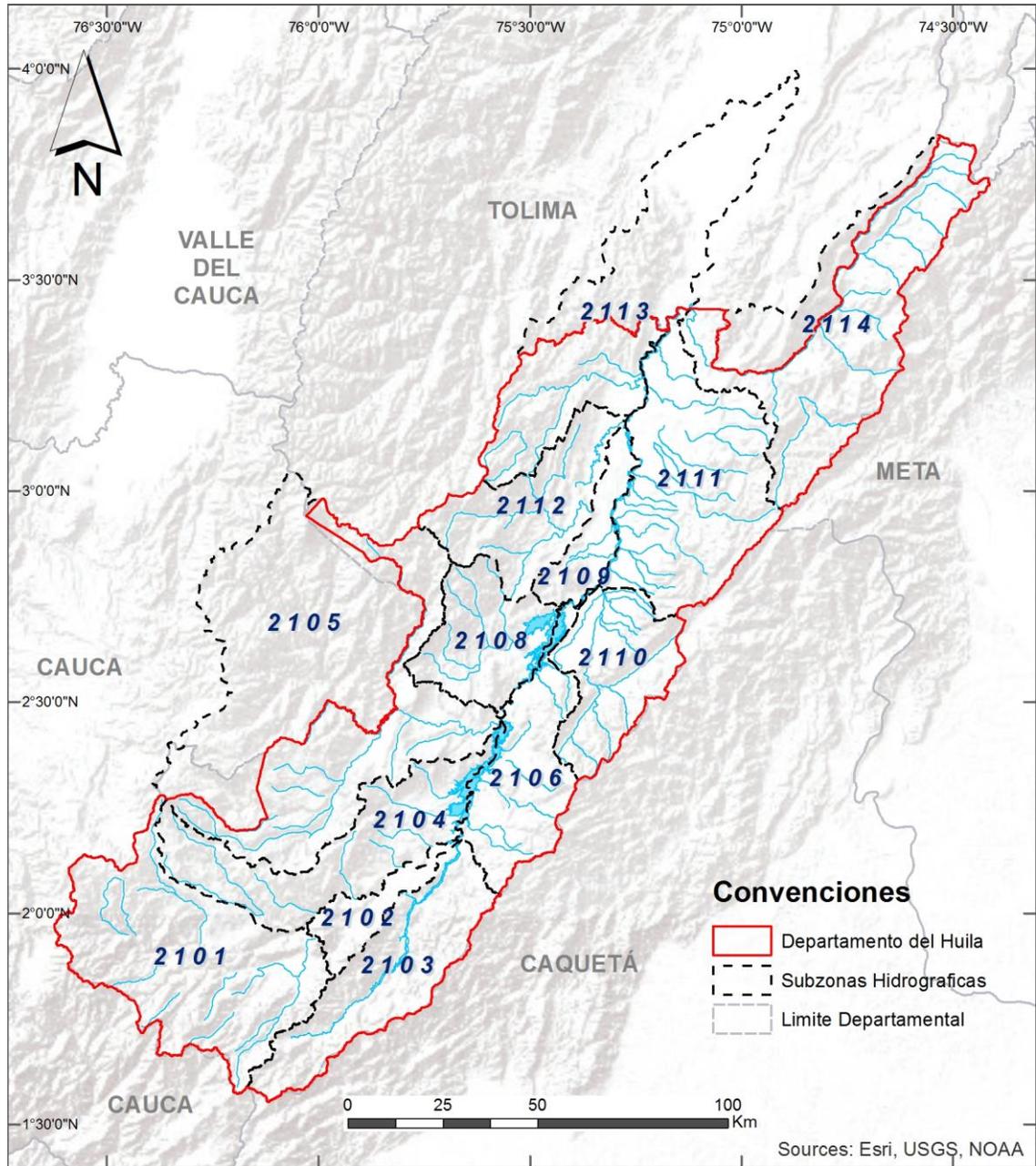
Yeung, a. K. W., y Hall, G. B. Spatial Database Systems. Design, Implementation and Project Management. Estados Unidos. 2007.

ANEXO A. MUESTRA DE LA GALERIA DE MAPAS

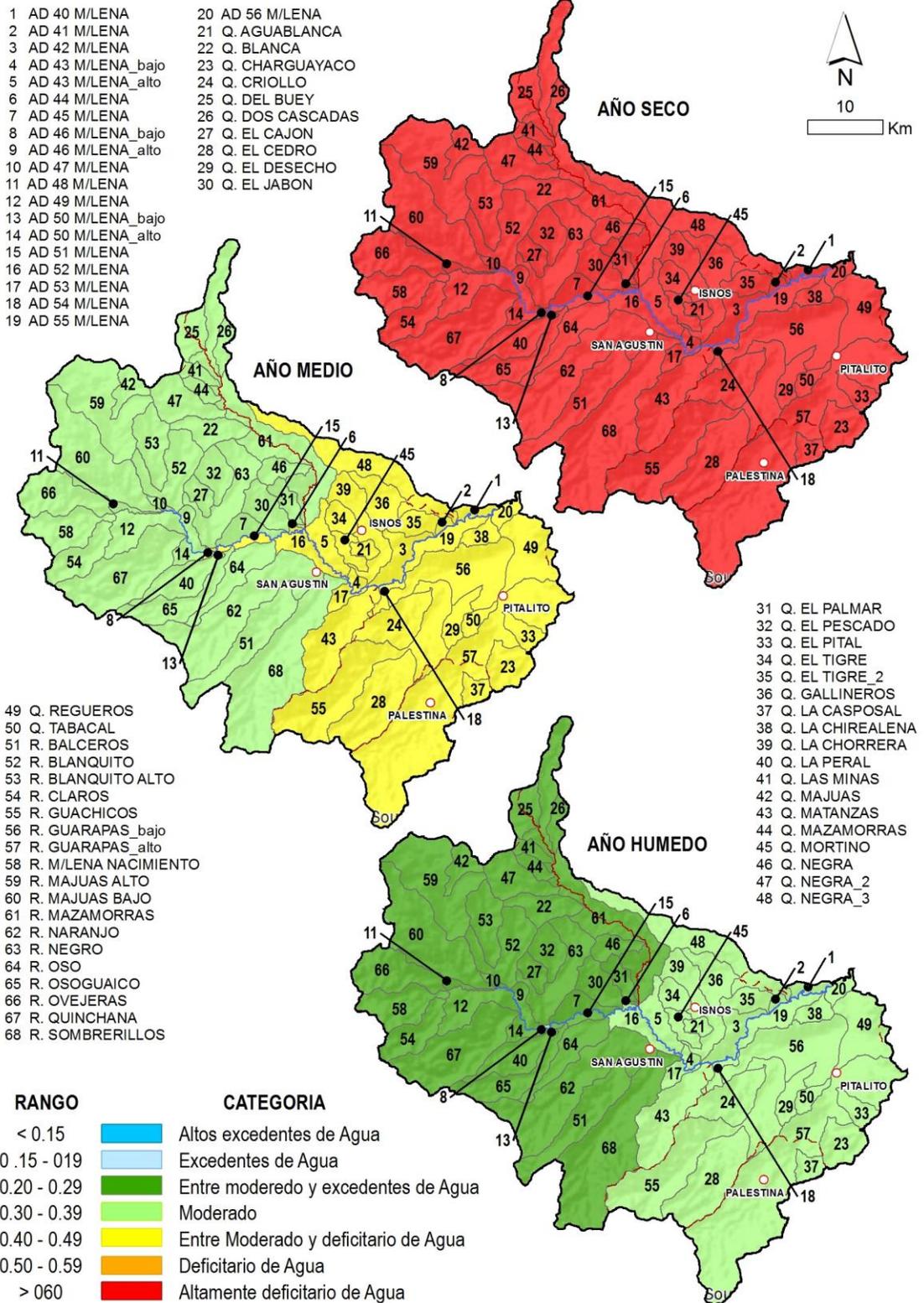
Mapa Modelación de la precipitación anual multianual año hidrológico medio en el Departamento del Huila Periodo 1970-2014



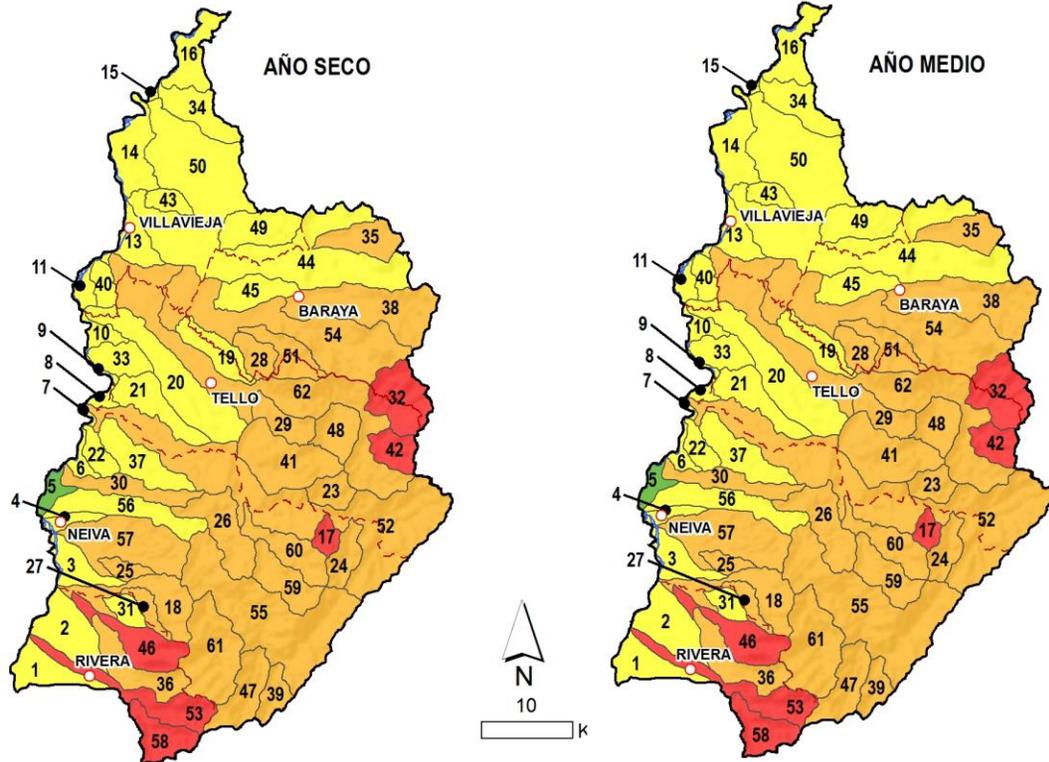
Mapa de Subzonas Hidrográficas del departamento del Huila



Mapa Índice de Aridez Subzona hidrográfica 2101 Alto Magdalena



Mapa Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales IVET de la Subzona Hidrográfica 2111-Río Fortalecillas y otros directos al Magdalena



- | | | |
|------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 AD 76 M/LENA | 21 Q. EL ACEITE | 41 Q. LA TAFURA |
| 2 AD 77 M/LENA | 22 Q. EL CAIMAN | 42 Q. LA URRACA |
| 3 AD 78 M/LENA | 23 Q. EL CANDADO | 43 Q. LA VENTA |
| 4 AD 79 M/LENA | 24 Q. EL COLEGIO | 44 Q. LAS LAJAS |
| 5 AD 80 M/LENA | 25 Q. EL MADRONO | 45 Q. MANO DE LEON |
| 6 AD 81 M/LENA | 26 Q. EL MICO | 46 Q. MEDINA |
| 7 AD 82 M/LENA | 27 Q. EL NEME | 47 Q. MOTILON |
| 8 AD 83 M/LENA | 28 Q. EL OLIVO | 48 Q. ROMERO |
| 9 AD 84 M/LENA | 29 Q. EL TIGRE | 49 Q. SALTAREN |
| 10 AD 85 M/LENA | 30 Q. EL VENADO | 50 Q. TATACOA |
| 11 AD 86 M/LENA | 31 Q. JAGUAL | 51 Q. LEMAYA |
| 12 AD 87 M/LENA | 32 Q. JUNTAS | 52 R. FORTALECILLAS |
| 13 AD 88 M/LENA | 33 Q. LA ARENOSA TELLO | 53 R. FRIO RIVERA |
| 14 AD 89 M/LENA | 34 Q. LA ARENOSA VVIEJA | 54 R. GUAROCO |
| 15 AD 90 M/LENA | 35 Q. LA HONDA BARAYA | 55 R. LAS CEIBAS_Alto |
| 16 AD 91 M/LENA | 36 Q. LA HONDA RIVERA | 56 R. LAS CEIBAS_Bajo |
| 17 Q. AHUYAMALES | 37 Q. LA JAGUA | 57 R. LORO |
| 18 Q. ARENOSO_NR | 38 Q. LA NUTRIA | 58 R. NEGRO |
| 19 Q. ARENOSO_TB | 39 Q. LA PLATA | 59 R. PALESTINA |
| 20 Q. BATEAS | 40 Q. LA SUCIA | 60 R. SAN ANTONIO |
| | | 61 R. SAN BARTOLO |
| | | 62 R. VILLAVIEJA |

Indice Variabilidad	Indice Morfometrico de Torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy Alta
Medio	Baja	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Muy Alta	Media	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

