

**APLICACIÓN GEOGRÁFICA PARA APOYAR EL MANEJO DE
RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DEL VALLE DEL CAUCA, CVC.**

Leonardo Espinosa Pachón

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
SANTIAGO DE CALI

2015

**APLICACIÓN GEOGRÁFICA PARA APOYAR EL MANEJO DE
RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DEL VALLE DEL CAUCA, CVC.**

Proyecto Piloto: Cuenca Hidrográfica, Rio Tuluá

Leonardo Espinosa Pachón

Proyecto de Grado

Director

Olga Lucía Baquero

Física MSc Geofísica

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

SANTIAGO DE CALI

2015

Abstract

This project presents the integration processes related to concessions and regulation of surface water from a geographical perspective. this process starts from creation the data model of the database, then the consolidation and cleaning of data, the publication of the related geographical services, to the designs and integration of the application to the internal viewer GeoCVC, allowing the Corporación Autónoma Regional of the Valle del Cauca – CVC officials of water resources make decisions about concessions performing queries and analyzing the distribution network via web mapping,

Resumen

El proyecto de grado presenta la integración de los procesos relacionados a las concesiones y reglamentación de corrientes de agua superficial desde una perspectiva geográfica. estos procesos partieron desde la creación del modelo de datos en la base de datos, consolidación y depuración de los datos, y la publicación de los servicios geográficos hasta el diseño e integración de la aplicación con el visor interno GeoCVC, permitiendo a los funcionarios de recursos hídricos de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca –CVC, realizar consultas de la información y análisis de la red de distribución vía web y tomar decisiones sobre las concesiones.

Contenido

1.	Introducción.....	1
2.	Planteamiento del problema.....	2
1.1	General	3
1.2	Específicos	3
3.	Antecedentes	4
4.	Justificación.....	11
6	Marco teórico	12
6.1	Dato geográfico	12
6.2	Escalas de medida.....	13
6.3	Modelo geográfico.....	14
6.4	Sistema de información geográfica	14
6.4.1	Modelos de representación espacial	15
6.4.2	Funcionalidades de los SIG	17
6.4.3	Funciones de análisis.....	17
6.4.4	Base de datos geográfica	18
6.4.5	Redes geométricas	19
6.4.6	Servicios WEB y SIG	23
6.5	Cálculo balance oferta – demanda de agua	25
6.5.1	Definición de la zona de estudio.....	25
6.5.2	Demanda de agua	26
6.5.3	Oferta de agua.....	32
6.5.4	Balance oferta - demanda de agua.....	35
7.	Proyecto Piloto	37

7	37
7.1 Selección de la cuenca para el Proyecto piloto	37
7.2 Cuenca hidrográfica de río Tuluá	37
8 Metodología	39
8.1 Análisis de la situación actual	39
8.2 Levantamiento y análisis de requerimientos	40
8.2.1 Objetivos de la aplicación geográfica	41
8.2.2 Definición del entorno gráfico.....	43
8.2.3 Alcances de la aplicación geográfica	44
8.2.4 Limitaciones de la aplicación geográfica.....	45
8.2.5 Definición detallada de la información	45
8.3 Diseño del modelo de datos	47
8.3.1 Modelo conceptual	47
8.3.2 Modelo lógico de la aplicación geográfica	50
8.3.3 Modelo físico de la aplicación geográfica	66
8.3.4 Modelo cartográfico del sistema	68
8.3.5 Propuesta de implementación	72
8.4 Implementación de la aplicación geográfica.....	73
8.4.1 Herramientas de la aplicación.....	75
8.4.2 Descripción detallada módulo de balance	76
9. Resultados	78
9.1 Diagnóstico preparación y corrección de errores de la información	79
9.1.1 Capa de predios.....	79
9.1.2 Capas de canales y derivaciones.....	80
9.1.3 Codificación de corrientes	80

9.2	Carga en el esquema creado	81
9.3	Aplicación geográfica integrada a GeoSIMAS	81
10	Recomendaciones	83
11	Conclusiones	85
12.	Bibliografía	86

Lista de Figuras

Figura 1	Representación de la realidad geográfica a través de un modelo	15
Figura 2	Entidades participantes en una red geométrica	19
Figura 3	Red de drenaje natural con sentido de flujo definido a una desembocadura (sumidero)	22
Figura 4	Mapa de la ubicación espacial del área de estudio	38
Figura 5	Entorno grafico inicial de la aplicación geográfica	43
Figura 6	Entorno operativo de la aplicación geográfica	52
Figura 7	Diagrama UML de los componentes de la aplicación geográfica	53
Figura 8	Definición de relaciones y procesos entre los elementos de la aplicación geográfica.....	53
Figura 9	Mapa origen de la capa área de influencia	62
Figura 10	Curva de duración de caudales diarios cuenca río Tuluá	65
Figura 11	Documento de mapa que da origen al servicio operativo de la Aplicación	70
Figura 12	Documento de mapa que da origen al servicio de mapa base de la Aplicación.....	71
Figura 13	Servicio operacional visto desde un navegador web mediante la API de JavaScript.....	73
Figura 14	Servicio de mapa base visto desde un navegador web mediante la API de JavaScript	74
Figura 15	Cinta de herramientas de la aplicación	75
Figura 16	Detalle del módulo de Balance	76
Figura 17	Red de distribución seleccionada para siguiente paso de análisis.....	77
Figura 18	Detalle del resultado del balance	77
Figura 19	Reporte de errores topológicos capa de Predios	79
Figura 20	Reporte de errores topológicos de la capa Canales	80
Figura 21	Esquema materializado en una GDB de archivos	81
Figura 22	Vista de la Aplicación Geográfica.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1	Ventajas y desventajas más relevantes de las estructuras de datos	16
Tabla 2	Eficiencias para los sistemas de riego por aspersión y gravedad	29
Tabla 3	Descripción de requerimientos	42
Tabla 4	Información suministrada	54
Tabla 5	Dominio Cuencas	55
Tabla 6	Dominio AncillaryRole	55
Tabla 7	Dominio Cod_div_pol	55
Tabla 8	Dominio Si No Entero	56
Tabla 9	Dominio Deriva Mar	56
Tabla 10	Dominio Estado Agua	56
Tabla 11	Dominio Deriva Mar	56
Tabla 12	Dominio Enable	57
Tabla 13	Dominio Municipio	57
Tabla 14	Dominio Tipo Drenaje	57
Tabla 15	Esquema de la capa de RHS_Predios	58
Tabla 16	Esquema de la capa Canales	59
Tabla 17	Esquema de la capa Oferta	59
Tabla 18	Esquema de la capa Captaciones	60
Tabla 19	Esquema de la capa Derivaciones	61
Tabla 20	Esquema de la capa Área de Influencia	62
Tabla 21	Coeficientes de cultivo, Tabla Kc	63
Tabla 22	Esquema de la capa Junctions	66
Tabla 23	Identificación de capas en su orden de dibujo y geometría del servicio operacional.....	68
Tabla 24	Identificación de clases de entidad y su geometría del servicio de Mapa Base	71

1. Introducción

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) es el organismo rector ambiental en el departamento del Valle del Cauca, dentro del amplio ámbito de acción en esta temática, el recurso hídrico superficial es uno de los más importantes debido a que el agua es el sustento de la vida; la CVC cuenta con un grupo de profesionales que determinan los lineamientos técnicos para el buen uso de este recurso, para cumplir este cometido deben realizar análisis, muchos de ellos de índole geográfico.

El presente proyecto tiene como propósito integrar, tanto la información, como la metodología, utilizada en los lineamientos técnicos sobre reglamentación de corrientes y concesiones hídricas superficiales, a la base de datos geográfica corporativa y al visor geográfico interno corporativo GeoCVC; mediante la utilización de herramientas que suministran los sistemas de información geográficos, el resultado brindara una herramienta con un enfoque geográfico, integrada al sistema de información geográfico corporativo y de acceso WEB; que podrá ser empleada como apoyo a las decisiones técnicas sobre el recurso hídrico superficial.

2. Planteamiento del problema

La información empleada para el manejo del recurso hídrico superficial de uso cotidiano por los funcionarios de la corporación, se encuentra duplicada en los equipos de cómputo de cada uno de los funcionarios, generando varias versiones de la información, emplean distintos formatos y aplicaciones para almacenarla y analizarla; el registro de concesiones es llevado en una hoja de cálculo, que no posee ningún componente geográfico, el proceso de asignar una nueva concesión requiere de una cantidad considerable de tiempo de un funcionario para recalcular la distribución de caudales asignados; no se está dando cumplimiento de la normatividad vigente principalmente el decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974 y la ley 99 de 1993 que precisan que la corporación organice y mantenga un sistema de información ambiental en toda su extensión.

El grupo de recursos hídricos de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC, no cuenta con una aplicación geográfica integrada al sistema de información geográfico corporativo, que asista en la evaluación técnica y ambiental de las concesiones y reglamentación de corrientes de aguas superficiales y que permita modelar diferentes escenarios hídricos superficiales en la zona de consumo .

1.1 General

Diseñar e implementar una aplicación geográfica para apoyar el manejo de recursos hídricos superficiales de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC e Integrarla al visor interno GeoCVC

1.2 Específicos

- Levantamiento de requerimientos con los funcionarios del área de recursos hídricos superficiales de la CVC y diseñar el modelo de datos y el conjunto de servicios que apoyaran la aplicación geográfica.
- Implementar la aplicación geográfica en cuenca hidrográfica de Tuluá cuenca hidrográfica para probar su funcionamiento.
- Integrar la aplicación geográfica al sistema de información geográfico corporativo y al geo-visor (GeoCVC).

3. Antecedentes

Desde que el hombre dejó de ser nómada y empezó a cultivar sus alimentos, contar con una fuente de agua para sus necesidades se volvió una prioridad; de ahí que los asentamientos humanos en su mayoría estén cerca de un río o fuente de agua dulce, luego del asentamiento inicial, si las condiciones eran favorables, se incrementaba la población, las zonas cultivadas y por lo tanto la cantidad de agua requerida para la subsistencia del asentamiento; si la precipitación de la zona no era suficiente para las necesidades de los cultivos, se hacía necesario satisfacer este déficit para el buen desarrollo de las plantas, una de las formas de suplir ese déficit es mediante la creación de sistemas de riego, el hombre tiene una larga historia en la creación de estos sistemas, empezando por los creados por los egipcios, chinos, babilónicos, e hindúes que se remontan hasta 6000 años antes de Cristo; antes de la colonia las civilizaciones americanas desarrollaron sus propios sistemas en los cuales se destacan las chinampas (sistemas de producción agrícola sobre lagos creados por los Aztecas) así como canalizaciones hídricas para uso comunitario creados por los Olmecas y los Incas; en Colombia Los Zenúes se destacan por la implementaron de terraplenes, obras hidráulicas (diques y canales) y el aprovechamiento ciénagas, pantanos y de los sedimentos arrastrados por el río para la fertilización de los cultivos y la pesca, 600 años antes de la llegada de los españoles, siendo descritos por algunos como una cultura anfibia muy bien adaptada al medio ambiente, en lo que hoy en día son los departamentos de Córdoba y Sucre.

En cierto punto fue necesario crear reglas para el uso del agua, la primera regulación sobre el uso del agua fue creada por el rey Babilónico Hamurabi, en estas normas, la distribución del agua se realizaba de forma proporcional a la superficie labrada, se definía las responsabilidades del agricultor para el mantenimiento de los canales así como la administración colectiva de los canales por parte de todos los usuarios; las civilizaciones siguientes adoptaron sus regulaciones propias pasando por el imperio romano el cual dio un impulso a la tecnología con la creación de

acueductos, pasando por el medioevo y los señores feudales, monarquías absolutas, la colonia, la ilustración y las primeras repúblicas; desde el establecimiento de los estados modernos en América Latina, esto se ha llevado a cabo mediante leyes, creadas en muchas ocasiones siguiendo modelos normativos extranjeros, cada una de ellas para asegurar los derechos sobre el recurso, garantizar una distribución equitativa o priorizar su distribución para ciertas actividades tales como el consumo humano; pero pocas de estas normas contaban con un sustento técnico o científico al momento de su creación.

En el año de 1965 en la 13ª sección general de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura por sus siglas en inglés UNESCO se establece el Decenio Hidrológico Internacional (DHI) con el fin de promover las ciencias del agua resultando de este una serie de estudios e informes, así como la colección de documentos técnicos sobre hidrología, en 1974 se crearon comités nacionales para el DHI en 107 de los estados miembros, en el año 1975 bajo sugerencia de los estados miembros se crea el Programa Hidrológico Internacional (PHI) este programa realiza una serie de recomendaciones entre ellas la de crear grupos de trabajo regionales, entre ellos uno para la elaboración de la metodología para un eventual balance hídrico de América del Sur, en el año de 1977 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura por sus siglas en inglés FAO elabora el informe número 24 sobre las necesidades de agua de los cultivos, estudio de riego y drenaje en el cual se refinan las metodologías para la determinar el consumo de agua de los cultivos considerando factores como el clima, la evotranspiración de las plantas en los diferentes tipos de cultivos, los vientos entre otros factores; en el año de 1978 se firma el Tratado de Cooperación Amazónica suscrito por Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, este tiene como misión promover el uso sostenible de los recursos naturales, incluida el agua, en la cuenca del Amazonas.

Recientemente a nivel mundial se ha cambiado la concepción del agua como un mero recurso a tratarse como un factor clave para la conservación de los sistemas vivos y se ha tratado de determinar el impacto del cambio climático y su relación

con los recursos hídricos, muchos de estos estudios han sido subvencionados por instituciones internacionales en el marco de tratados internacionales esto con el fin de tener directrices a nivel internacional con el objetivo de la protección, uso sostenible y conservación a largo plazo de los recursos ambientales, Colombia ha participado en varios de ellos, uno de los más importantes fue la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo (Cumbre de la Tierra) en junio de 1992.

En Colombia se ha creado, eliminado y reformado una serie de leyes, normas e instituciones a medida que se cambiaba de la concepción de aprovechamiento de los recursos naturales, al de protección y uso racional sostenible. Un recuento histórico de las normas e instituciones colombianas lo realizan Ojeda y Arias en el año 2000 en su informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia.

El marco legal actual para el manejo de los recursos hídricos se compone de las siguientes leyes y decretos, presentadas a continuación por importancia:

- Constitución Política de Colombia Art 79 y 80: Los cuales deja explicito que “corresponde al Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de esos fines. Igualmente tiene a su cargo planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental”.
- Código de Recursos Naturales, decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974. “De acuerdo con los objetivos enunciados, el presente Código regula (...) a. El manejo de los recursos naturales renovables, a saber: (...) 1.Las aguas en cualquiera de sus estados”.
- Ley 99 de 1993; la que señala las guías de acción del Ministerio del Medio Ambiente. (...) Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables.

Artículo 31 Funciones de las Corporaciones Autónomas numeral 22 “implantar y operar el sistema de información ambiental en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente”.

Artículo 42 la cual se faculta a las corporaciones regionales a cobrar tasas retributivas por la utilización del recurso ya sea que se haga de forma directa o de forma indirecta.

Artículo 43 “La utilización de aguas por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, dará lugar al cobro de tasas fijadas por el Gobierno Nacional que se destinarán al pago de los gastos de protección y renovación de los recursos hídricos”.

- La Ley 388/97 de Ordenamiento Territorial, en su artículo 12, numeral 1.3, define Adopción de las políticas de largo plazo para la ocupación, aprovechamiento y manejo del suelo y del conjunto de los recursos naturales.
- El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto-Ley 2811/74).

ARTICULO 316. Se entiende por ordenación de una cuenca la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos.

- Decreto 303 feb-6-2012 Registro de usuarios recurso hídrico.
- Decreto 901 de 1997: El cual establece el cobro por la utilización de vertientes liquidas, directos o indirectos al cuerpo de agua, al suelo o al subsuelo.
- Decreto-1575-may-9-2007-Sistema-Proteccion-y-Control-Calidad-Agua-Consumo-Humano.
- Decreto-1640--ago-2-2012-Instrumentos-Planificacion-Ordenamiento-Manejo-Cuencas-H-y-Acuiferos.

- Ley-373-jun-6-1997-Programa-Uso-Eficiente-del-Agua.
- Decreto 1729 de 2002 en lo que respecta a la ordenación de cuencas, cuyo objetivo principal es el planteamiento del uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos; lo cual se constituye en el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.

Decreto Reglamentario 1541 de 1978, que desarrolla todo lo concerniente a la propiedad privada, los modos de adquirir los usos de las aguas de dominio público, los términos o plazos de las concesiones o permisos, prioridades, las obligaciones de los usuarios, procedimientos, soportes técnicos, obras hidráulicas, aguas subterráneas, reglamentaciones, aguas termales, aguas para usos mineros, etc.

En el departamento del Valle del Cauca el grupo de recursos hídricos de la Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC) es el encargado de los lineamientos técnicos con los recursos hídricos superficiales y subterráneos, es el encargado de las reglamentaciones de corrientes, en concordancia a las nuevas disposiciones de la ley.

En el año 2000 la empresa Mapas y Datos desarrolla un aplicativo a la medida para el grupo de recursos hídricos llamado SIMASII; que asiste en las tareas de balance, reglamentaciones de corrientes y concesiones hídricas superficiales, este desarrollo cuenta con cuatro módulos a saber:

- Módulo de Actualización de Datos Hidro-climatológicos (ADHI), en el cual se realizan las tareas de actualización de los datos de entrada a los módulos siguientes.

- Módulo de Demanda, en el cual se calcula la demanda de agua utilizada en riego de cultivos, consumo humano, industrial, conservación de la fauna y flora.
- Módulo de Balance, asiste en el balance hídrico el cual permite determinar si la demanda puede ser cubierta por la oferta hídrica, hay un equilibrio o si se presenta un déficit del recurso.
- Módulo de Reglamentación, el cual determina los caudales asignados a partir de una derivación a los diferentes solicitantes del recurso

Estos módulos en algunos casos permiten modificar parámetros de entrada como caudales y áreas de predios para realizar modelamientos.

En el Año 2002 la ingeniera Claudia Yiselly Soto Chavez bajo la dirección de la ingeniera María Clemencia Sandoval elaboran la segunda versión de la metodología para el cálculo del balance oferta – demanda creada originalmente por la ingeniera Mary Loly Bastidas; recopilando diversas metodologías entre ellas, **las necesidades de agua de los cultivos**, desarrollada por la FAO en su estudio de “Riego y Drenaje #24” en 1986, las metodologías de **oferta hídrica y demanda hídrica** desarrolladas dentro del marco del Proyecto Metodología para la Distribución del recurso hídrico en el Valle del Cauca (PMD) creada por la CVC y la Universidad del Valle en el año 2000 y las proyecciones de crecimiento de la población en el Valle del Cauca entre otras; luego bajo la orden de trabajo # 4527 de 2003 se elabora el balance oferta - demanda de la cuenca del río Tuluá.

En el año 2004 se inicia la implementación del Sistema de Información Geo-referenciado Corporativo el cual fue planeado en varias fases, la primera se formuló en el Plan de Acción Trienal (PAT) 2004-2007, mediante el sub-proyecto No 1081, en el que se efectuó el Análisis y Diseño.

La segunda fase se desarrolló en el PAT 2007 - 2009, mediante el proyecto 1524, se complementó el diseño de la fase uno y se desarrolló un visor web, para la consulta de datos geográficos. Es por ello que, a partir del segundo semestre del

año 2009, la CVC cuenta con un visor geográfico, a partir del cual se puede consultar la información espacial ambiental.

El sistema de Información Geográfico en las fases 1 ,2 y 3 permitió diseñar y crear una base de datos geográfica para el almacenamiento de datos organizados bajo un enfoque eco-sistémico, la creación de un visor (aplicativo) para la consulta de datos geográficos y un subsistema para el manejo de datos de la red hidro-climatológica.

En los años 2011 y 2012 se han realizado esfuerzos por actualizar la información espacial de las derivaciones, sub-derivaciones, ramificaciones, sub-ramificaciones, ramales de las cuencas del valle geográfico del río Cauca siendo la cuenca del río Tuluá la más actualizada, el resultado hasta el momento es la actualización en un 75% de los elementos de la derivación 2 que es la más grande de esta cuenca.

4. Justificación

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) es la entidad encargada de administrar los recursos naturales renovables y el medio ambiente en el departamento del Valle del Cauca; en el año 2004 inició la implementación de un Sistema de Información Ambiental en varias etapas, luego de varios estudios técnicos, la corporación decidió utilizar la plataforma ArcGIS de la Empresa ESRI para la implementación de dicho sistema

El Área de recursos hídricos es la encargada del buen manejo del recurso hídrico; las tareas que este grupo tiene a cargo se encuentran la evaluación técnica y ambiental de las concesiones de aguas subterráneas, superficiales y la reglamentación de corrientes superficiales, entre otras actividades relacionadas con dicho recurso.

Se requiere integrar los procesos que ayudan en la toma decisiones relacionadas con el recurso hídrico superficial al Sistema de Información Geo-referenciado Corporativo creando un esquema único, eliminando la duplicidad de información que en este momento se tiene en el manejo de diferentes formatos y crear una aplicación web en la cual los funcionarios puedan modelar diferentes escenarios hídricos superficiales en la zona de consumo.

6 Marcoteórico

La creación de la aplicación y su integración al sistema de información geográfico corporativo requiere entender el funcionamiento del sistema de información geográfico actual y la metodología aplicada para el cálculo balance oferta – demanda a un área de estudio, el cual permite determinar la cantidad adicional agua superficial que es demandada y como puede incorporarse toda la lógica de esta variable ambiental de tipo espacial a la aplicación geográfica; esta variable y las entidades que la sustentan se fundamentan en la apreciación de la realidad y abstracción de la misma y en la comprensión de las herramientas analíticas aplicadas. Estos fundamentos serán explicados a continuación.

6.1 Dato geográfico Lo que distingue la herramienta SIG de otros sistemas de información es que sus funciones de análisis espacial trabajan con variables geográficas que pueden ser tanto físicas como conceptuales. Es importante tener siempre en mente que un elemento espacial puede tener una realidad física (río, casa) o una realidad conceptual (uso de tierra).

Los datos geográficos son los valores que toman las variables geográficas. Cuando éstos se ordenan en un contexto adecuado por medio de procesamiento adquieren significado y proporcionan conocimiento sobre los hechos u objetos que ellos originan, transformándose en lo que se denomina información geográfica.

Los datos geográficos se caracterizan por:

- Ocupar un lugar sobre la superficie (o por debajo) de la tierra, es decir tienen una posición definida por sus coordenadas.
- Interactuar entre sí y tener una posición relativa con respecto a los demás.
- Poseer características o atributos que los describen.

Así, para representar un dato geográfico digital es necesario que estos posean un lugar específico en el espacio (coordenadas), descripción temática (atributos) y la componente temporal.

6.2 Escalas de medida

Hay varios tipos de atributos utilizados en datos geográficos y cada uno de ellos permite ciertas cantidades de operaciones matemáticas que pueden ser ejecutadas sobre ellos. Estos tipos son denominados escalas de medida:

- **Escala Nominal:** describe variables de naturaleza categórica que difieren en cualidad más que en cantidad, los datos son representados usualmente por un nombre o una descripción; tal como el nombre de los ríos (también son datos nominales valores ID, códigos de uso de tierra, entre otros) la operación matemática soportada es la igualdad (=).
- **Escala Ordinal:** describe las variables a lo largo de un continuo sobre el que se pueden ordenar los valores, es una medida que determina la importancia jerarquía u orden, tal como 1º, 2º, 3º lugar. Los datos ordinales soportan operaciones tales como mayor que, igual, o menor que (<, =, >).
- **Escala de Intervalo o Intervalar:** integra las variables que pueden establecer intervalos iguales entre sus valores. Los datos en intervalos soportan todas las operaciones matemáticas soportadas por los nominales y ordinales, así como adición y sustracción (<, =, >, +, -).
- **Escala de Razón o Racional:** integra aquellas variables con intervalos iguales que pueden situar un cero absoluto, estas variables nombran orden, presentan intervalos iguales y el cero significa ausencia de la característica. Todas las medias estadísticas pueden ser usadas para una variable medida a nivel de razón, todas las operaciones matemáticas están definidas (<, =, >, +, -, *, /).

6.3 Modelo geográfico

Un modelo se crea a partir de lo que se observa en la realidad; debido a que la realidad es bastante compleja y es imposible representarla por completo, se hace necesario realizar una abstracción de ésta mediante elementos más sencillos, que simbolizen de forma adecuada el aspecto relevante o de interés que se espera mostrar dependiendo de los objetivos del estudio y puede representarse en palabras, ecuaciones matemáticas, maquetas, mapas o en un prototipo.

Los modelos que nos representan esta realidad referenciada a la tierra (geo-referenciada), se les denomina modelos geográficos. Adicionalmente éstos permiten manejar y manipular los datos de forma digital.

La construcción de modelos geográficos constituye un instrumento muy eficaz para:

- Analizar los patrones en el espacio geográfico y determinar los factores que influyen en estos patrones.
- Exponer las posibles consecuencias de las decisiones o proyectos de planificación que repercuten en la utilización y ordenamiento de los recursos.
- Probar distintos escenarios y seleccionar la mejor alternativa
- Realizar predicciones en el tiempo y en el espacio.

6.4 Sistema de información geográfica

Es un sistema¹ donde la reunión de hardware, software, datos, personas, metodologías, organizaciones y arreglos institucionales permite reunir, almacenar, analizar y distribuir información sobre el territorio, permitiendo a partir de datos

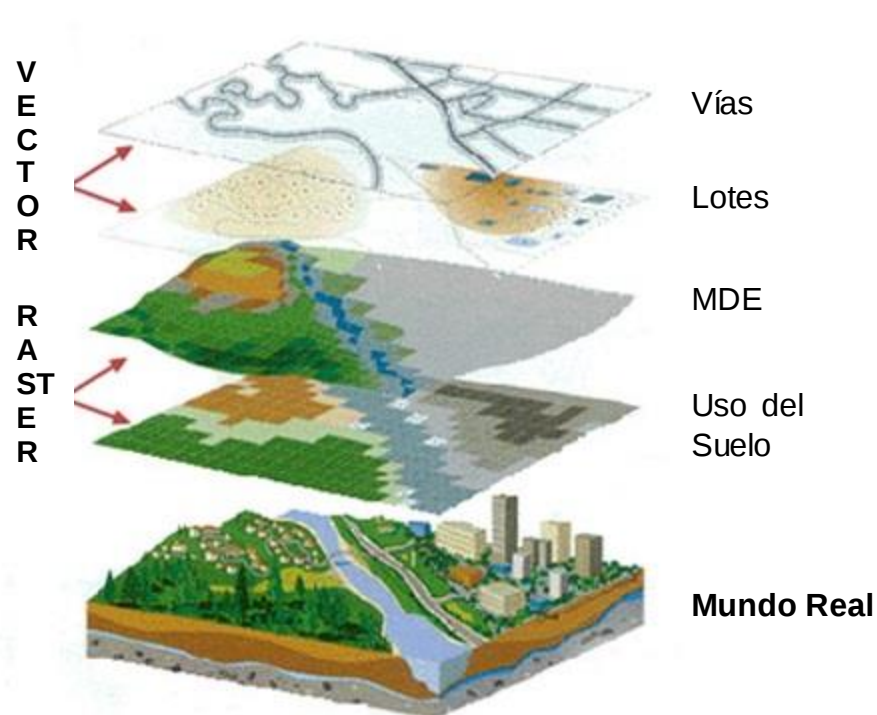
¹ La palabra sistema, implica un grupo de entidades y actividades conectadas con un propósito particular.

geográficos, producir nueva información espacial, transformando y representando estos datos geográficos en un modelo geográfico.

6.4.1 Modelos de representación espacial

Teniendo en cuenta que un modelo es una representación simplificada y manejable de la realidad que ayudan a comprender, describir, o pronosticar cómo trabajan en el mundo real las cosas. Hay dos tipos principales de modelos: aquellos que representan los objetos en el paisaje (modelos de representación) y los que intentan simular procesos en el paisaje (modelos de proceso).

Figura 1 Representación de la realidad geográfica a través de un modelo



Tomado del Curso de ArcGIS Desktop

La representación de los modelos intenta describir objetos en una superficie terrestre, tales como construcciones, corrientes de agua o coberturas vegetales. Esta representación de los modelos puede ser creada en un SIG a través de un

conjunto de datos denominado capas. Para el análisis espacial, estas capas de datos pueden ser de estructura tipo raster o vectorial.

El modelo vectorial utiliza las tres primitivas gráficas para representar los elementos cartográficos (punto, línea y área). Los detalles se interrelacionan geométricamente y están representados en su topología (vecindad, inclusión, contención, continuidad, entre otros). Los atributos temáticos están representados en tablas alfanuméricas, conteniendo mecanismos para ser entrelazados con sus respectivas entidades cartográficas.

La estructura de tipo raster está basada en la teselación² de la superficie terrestre en unidades más pequeñas denominadas celdas formando una rejilla, en el que a cada unidad mínima de representación de dicha rejilla se le ha asignado los valores del atributo medido.

Cada una de estas estructuras tienen ventajas y desventajas que deben ser consideradas al momento de ser utilizadas para la representación de algún elemento, en la **Tabla 1** se presentan las más relevantes.

Tabla 1 Ventajas y desventajas más relevantes de las estructuras de datos

	Ventajas	Desventajas
V E C T O R	Menor requerimiento en almacenamiento y memoria.	Estructura de datos más compleja.
	Codificación eficiente de la topología.	Las operaciones de superposición son más difíciles de implementar.
	Mejor compatibilidad con entornos de base de datos.	Formato más laborioso de mantener actualizado.
R A S T E R	Estructura de los datos muy simple.	Mayor requerimiento en almacenamiento y memoria.
	Las operaciones de superposición son muy sencillas.	Dependiendo de la resolución espacial, los elementos pueden tener sus límites no muy bien definidos.
	Formato óptimo para variaciones altas de datos.	

² Teselación Es el cubrimiento de una superficie plana por medio de una figura geometría (regularmente un cuadrado o rectángulo) donde las figuras no deben superponerse o dejar huecos entre ellas.

6.4.2 Funcionalidades de los SIG

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfico, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o geográficas distintas de alguna característica.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles los sistemas de información geográfica, su campo de aplicación es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

6.4.3 Funciones de análisis

Los SIG poseen un aspecto funcional, que permite evaluar el qué - frente al para qué del criterio del área de aplicación.

Las funciones permiten dar respuestas a las preguntas a tratar, y no pueden ser entendidas por separado, sino como parte de un encadenamiento de funciones, propias del modelo conceptual.

Dentro de las funcionalidades de los SIG, tenemos: la entrada de datos, edición, representación interactiva, gestión, manipulación, transformación, sobre posición, integración, análisis y representación.

6.4.4 Base de datos geográfica

Una base de datos geográfica o geodatabase (GDB) en terminología de la plataforma ArcGIS de esri es un esquema unificado de almacenamiento de información alfanumérica y espacial centralizado en un modelo de datos orientado a objetos, de diversos tamaños, y distinto número de usuarios; su almacenamiento puede estar en una carpeta del 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). Los elementos individuales son denominados clases de entidad y pueden ser de dos tipos vectoriales o raster; las clases de entidad vectoriales contienen elementos geográficos de anotaciones, punto, multipunto, línea, polígono o multipatch sin la posibilidad de mezclar estas geometrías y con características comunes como su sistema de coordenadas y sus atributos.

Además de ser un contenedor centralizado donde se puede almacenar una colección de clases de entidad raster y tablas de atributos, permitiendo la administración y edición de los datos; es también según la definición de la ayuda de ArcGIS Desktop:

La estructura de datos nativa para ArcGIS, y el contenedor de los objetos de datos SIG avanzados que agregan comportamiento SIG, reglas para administrar la integridad espacial y herramientas para trabajar con diversas relaciones espaciales de las entidades, los rasters y los atributos principales³.

Los datasets son elementos dentro de la GDB que contienen conjuntos de clases de entidad vectoriales que comparten un sistema de coordenadas común y son requeridos para implementar integridad espacial como es el caso de las redes geométricas.

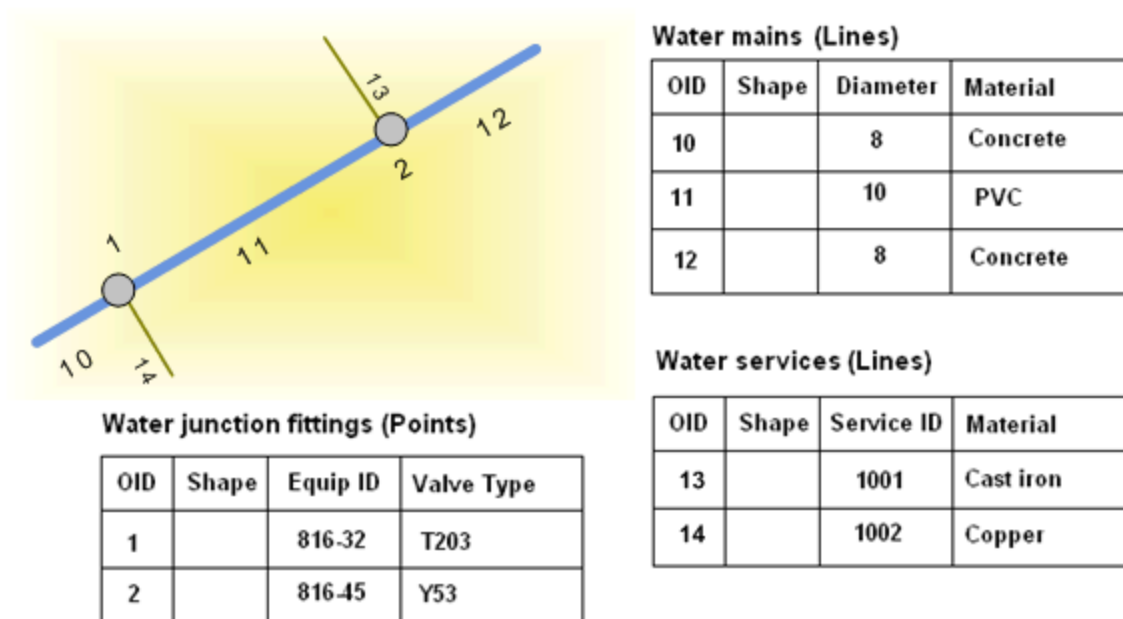
³ Ayuda de ArcGIS, “¿Que es una geodatabases?” [Online]. Redlands, California: Esri, abril de 2014

6.4.5 Redes geométricas

Una red geométrica es una forma de representar y modelar redes de flujo unidireccional como es el caso de las redes de drenaje natural o de servicios públicos; su construcción se apoya en clases de entidad de punto y de línea que en la terminología ArcGIS se denominan confluencias y ejes, estos conjuntos de elementos se conectan entre si y poseen reglas de conectividad. Los elementos constitutivos de la red se les designan los roles que desempeñarán y las reglas para el flujo de recursos a través de la red geométrica.

En la Figura 2, la representación gráfica de una red geométrica y las tablas de atributos de las clases de entidad, se modela el flujo de agua a través de la red de acueducto (wáter mains) y las acometidas (wáter services) conectados por medio de accesorios (wáter junctions fittings):

Figura 2 Entidades participantes en una red geométrica



Tomado de la Ayuda de ArcGIS Desktop

La forma de conectividad de los elementos se describe en la definición realizada por la ayuda de ArcGIS Desktop

La conectividad de red está basada en la coincidencia geométrica de las entidades de las clases de entidad utilizadas como fuentes de datos. Cada red geométrica tiene una red lógica: una colección de tablas de la GDB que almacena las relaciones de conectividad y otra información sobre las entidades de la red geométrica como elementos individuales para su uso en operaciones de trazado y flujo⁴.

Las redes geométricas se componen de dos elementos principales: confluencias y ejes, imagine que son entidades de punto y de línea con funciones específicas adicionales a las que ofrece la clase de entidad (subtipos, valores predeterminados) o la GDB (dominios); los ejes se deben conectar topológicamente a otros ejes en las confluencias; en la red, el flujo de un eje a otro se transfiere a través de confluencias. Los elementos constitutivos de una red geométrica se describen a continuación

6.4.5.1 Ejes

Es una entidad que tiene una longitud a través de la que fluye algún recurso (agua, gas, electricidad etc.). Los ejes se crean a partir de las clases de entidad de línea. Los ejes pueden ser de dos tipos.

- **Simple:** en los que el total del recurso transportado entra por el punto inicial de la línea y es entregado en el punto final, de tal forma que si un cruce se crea y establece conectividad en algún punto intermedio del borde este es dividido físicamente en dos entidades.
- **Complejo:** permiten el flujo del recurso desde el punto inicial y en puntos intermedios hasta el punto final del eje sin necesidad de dividir físicamente la entidad.

⁴ Ayuda de ArcGIS. ¿Que son las redes geométricas? [Online]. Redlands, California: Esri, mayo de 2014

6.4.5.2 Confluencias

Es una entidad que permite que dos o más ejes se conecten y facilita la transferencia de flujo y recursos entre los ejes. Los cruces se crean a partir de clases de entidad de puntos; estos pueden ser de dos tipos huérfanos y definidos por el usuario, la ayuda de ArcGIS nos brinda una descripción detallada de las confluencias.

- **Confluencias definidas por el usuario:** confluencias que se crean sobre la base de datos de origen de un usuario (clases de entidad de puntos) cuando se establece la red geométrica por primera vez. Las confluencias corresponden a elementos de cruce únicos en la red lógica.
- **Confluencias huérfanas:** cuando se crea la red geométrica, se crea al mismo tiempo una clase de entidad de confluencia simple denominada clase de entidad de confluencia huérfana. El nombre de la clase de entidad de confluencia es el nombre de la red geométrica al que se anexa `_Junctions`. Por ejemplo, una red geométrica denominada `Electric_Net` tendría una clase de entidad de confluencia huérfana correspondiente denominada `Electric_Net_Junctions`. La red geométrica utiliza la clase de entidad de confluencia huérfana para mantener la integridad de la red. Durante la creación de la red geométrica, se insertan confluencias huérfanas en los extremos de los bordes en los que no existan ya confluencias geoméricamente coincidentes en los datos de origen. Las entidades de confluencia huérfanas se pueden quitar de la red geométrica reemplazándolas por otras entidades de confluencia. Reemplazar una confluencia huérfana consiste en incorporarla a la red reemplazándola por una confluencia definida por el usuario. Hay reglas bien determinadas para el funcionamiento del reemplazo de confluencias con confluencias huérfanas.
- **Conectividad en punto intermedio:** conectar una confluencia en un punto medio a un borde, permitiendo así que los recursos se vacíen del borde, pero

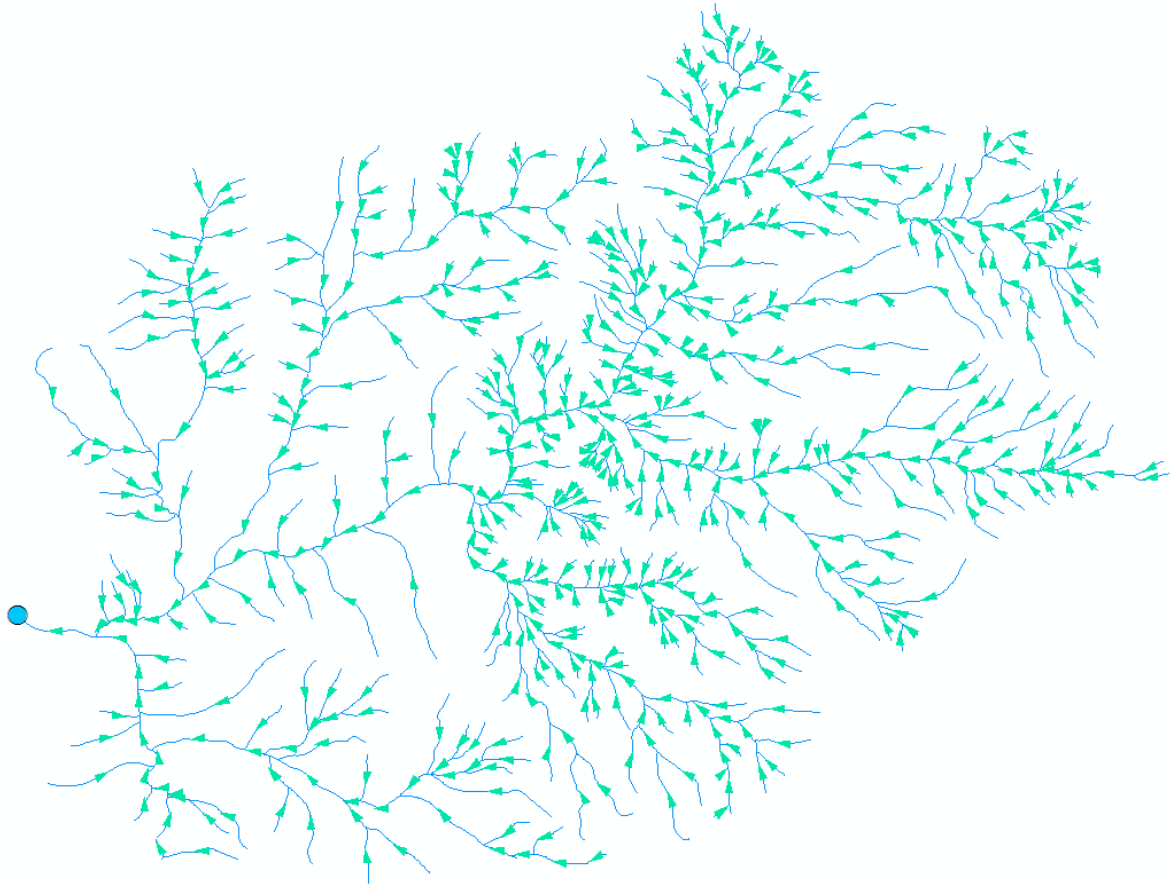
dejando el borde como una entidad única. Esto solo lo admiten los bordes complejos⁵.

6.4.5.3 Fuentes y sumideros

Para poder indicar la dirección de flujo del recurso en una red geométrica se requiere definir una clase de entidad de punto que juegue el rol de origen del recurso, fuente (ejemplo: planta generadora eléctrica) o donde todo el recurso confluye, sumidero (ejemplo: planta de tratamiento de aguas residuales). En la entidad creada para este fin se creará un campo adicional llamado RolAuxiliar para poder determinar si la entidad actuara como fuente, sumidero o ninguno de ellos, también se creará un dominio de GDB llamado DominioRolAuxiliar. Las redes geométricas son un ejemplo de sistema de flujo dirigido donde cada borde tiene una dirección fija de flujo, tal como una red fluvial que fluya aguas abajo dentro de canales hidrológicos como se aprecia en la Figura 3.

Figura 3 Red de drenaje natural con sentido de flujo definido a una desembocadura (sumidero)

⁵ Ayuda de ArcGIS. ¿Que son las redes geométricas? [Online]. Redlands, California: Esri, mayo de 2014



Creado a partir de una sub-cuenca del río Tuluá mediante de ArcGIS Desktop

6.4.6 Servicios WEB y SIG

Una buena definición sin demasiada terminología técnica de Servicio WEB la proporciona Wikipedia

Es una tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Distintas aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes, y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden utilizar los servicios web para intercambiar datos en redes de ordenadores como Internet⁶.

⁶ Wikipedia. Servicio Web [Online]. abril de 2015 [citado 27 abril,. 2015],

6.4.6.1 Protocolo

Se trata de un conjunto de pautas que posibilitan la comunicación entre las distintas partes de un sistema, para que puedan intercambiar información; se trata de reglas o estándares que define la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, así como posibles métodos de recuperación de errores. Pueden ser implementados por hardware, software o una combinación de ambos. Existe una gran variedad de protocolos dependiendo de sus aplicaciones para el caso de los servicios SIG se describirán en particular los protocolos SOAP y REST que son los que se utilizan con los servicios SIG.

- **XML (Extensible Markup Language)**

Es un lenguaje de marcas utilizado para almacenar datos de forma legible, deriva del lenguaje SGML.

- **SOAP (Simple Object Access Protocol)**

Es un protocolo que define como dos objetos pueden comunicarse en diferentes procesos, utiliza el intercambio de datos XML y son utilizados por los servicios Web; este protocolo fue creado por Dave Winer en el año 1998.

- **REST (REpresentational State Transfer)**

Es un estilo de arquitectura que es frecuentemente usado para permitir la comunicación entre software distribuido a lo largo de una red, también desarrollar una interfaz web simple utilizando XML y HTTP, es preferida en vez de SOAP debido a su bajo peso y por ende requerir menos ancho de banda.

6.4.6.2 Servicios SIG

Son servicios web automatizados de información geográfica expuestos por medio de los protocolos SOAP y REST siendo el último el más utilizado para aplicaciones web geográficas, permitiendo exponer recursos geográficos tales como mapas, globos, localizadores de direcciones, redes geométricas, geo-procesamiento imágenes entre otros.

6.4.6.3 SOE (Server Object Extension)

Las extensiones de objeto del servidor permiten extender la funcionalidad base de ArcGIS Server, esto se realiza la mayoría de las veces a través de ArcObjects (componentes esenciales con los que se construye ArcGIS) se utiliza una SOE para permitir los análisis para redes geométricas, su uso se realiza por medio del servicio de mapa mediante una capacidad adicional.

6.5 Cálculo balance oferta – demanda de agua

La metodología actualmente empleada por los funcionarios de RHS de la CVC y la que será utilizada por la aplicación geográfica, los apartes relevantes para el desarrollo del proyecto fueron tomados textualmente de esta metodología la cual se describe a continuación: El balance oferta-demanda es una comparación de la demanda de agua (agrícola, domestica, conservación de la vida acuática) versus la oferta (agua superficial, agua subterránea y lluvia) que se realiza en una zona determinada para poder identificar situaciones de déficit y/o excesos de este recurso; este procedimiento se realiza en 4 pasos.

6.5.1 Definición de la zona de estudio

Se deben definir dos zonas en la cuenca, municipio o corregimiento donde se desea realizar el cálculo.

- Zona de Producción: zona alta o de ladera donde se concentran los nacimientos de agua.
- Zona de consumo: zona baja en la que se registra el mayor consumo, debido principalmente a la explotación agrícola.

En el departamento del Valle del Cauca se ha establecido el límite entre estas dos zonas, a la línea de piedemonte que diferencia las regiones con pendientes superiores al 7% (zona de producción) de aquellas con pendientes entre el 0 y 7% (zona de consumo).

6.5.2 Demanda de agua

Es la cantidad de agua requerida para el desarrollo de las diferentes actividades sociales y económicas; estas actividades son:

- *Agrícolas*. Los cultivos requieren agua para efectuar sus procesos fisiológicos, de transpiración, transformación de tejidos y alcanzar un desarrollo apropiado.
- *Domésticas*. Consumo de agua potable y uso doméstico de una población.
- *Industriales*. Fundamental para llevar a cabo sus actividades.
- *Otros Usos*. Existen otras demandas de agua, entre ellas la representada por los requerimientos mínimos de agua para conservar la biodiversidad existente en los cauces de agua superficial.

6.5.2.1 Demanda de agua por uso agrícola

El crecimiento de las plantas requiere condiciones óptimas de humedad del suelo, esto conlleva al cálculo de la demanda de agua para el sector agrícola. El agua lluvia suple parte de esta demanda, la lámina faltante se aplica mediante los sistemas de riego.

La demanda agrícola está determinada por las condiciones climáticas de la región representada por la evaporación, y las características del cultivo determinada por el coeficiente de cultivo K_c .

Evapotranspiración. La evaporación (proceso por el cual el agua pasa de estado líquido a gaseoso) y la transpiración (agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas), constituyen las pérdidas de agua reales de un sistema agua – suelo – planta, estas pérdidas se conocen como *evapotranspiración* (EVT), la cual combinada con el agua que las plantas requieren para su nutrición y construcción de tejidos que representan aproximadamente solo el 1% de la EVT, conforman lo que se conoce como “*uso consuntivo*”.

Evapotranspiración potencial o de la superficie de referencia (ETo). La definición empleada por la FAO en su estudio de riego y drenaje es la siguiente:

Es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con una frecuencia semanal aproximadamente⁷.

Existen varias fórmulas para predecir la ETo como lo son Blaney-Criddle, Penman, Makkink, Hargreaves, Thornthwaite, García López, y el tanque evaporímetro. El método a utilizar depende de la información disponible para las variables requeridas por cada uno de los métodos, uno de los más ágiles utilizado actualmente por la CVC es la del tanque evaporímetro (utiliza el tanque clase A de los EE. UU). Este relaciona la evaporación de una superficie libre de agua con la evapotranspiración potencial, esta relación se hace mediante los coeficientes de tanque o Kt obtenidos empíricamente y que tienen en cuenta el clima y medio circundante.

De acuerdo con esto el ETo se estima de la siguiente expresión:

(1)

$$ETo = EVT * Kt$$

Dónde: ETo : Evapotranspiración Potencial (mm)
 EVT : Evapotranspiración del tanque (mm)
 Kt : Coeficiente del Tanque

Uso del suelo corresponde al uso agrícola (Actual o Potencial) del suelo; para tal efecto se determinan las áreas de cultivo en la zonas productora y consumidora, considerando la información geográfica más actualizada.

Coeficiente de cultivo Kc permite relacionar la transpiración del cultivo y la evaporación de la superficie del suelo. Los factores que repercuten en el valor del coeficiente del cultivo son principalmente las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del periodo vegetativo, que es el tiempo transcurrido entre la siembra y la cosecha, y por

⁷ DOORENBOS, J. y PRUITT, W.O. "Las necesidades de agua de los cultivos", 1986. Estudio FAO: Riego y Drenaje no. 24

supuesto, varía de un cultivo a otro. La evaporación es significativa al inicio del periodo vegetativo, cuando la cubierta que ofrece el cultivo al suelo es mínima.

Los valores de Kc se encuentran detallados numéricamente o gráficamente; para nuestra región pueden escogerse aquellos definidos por una humedad relativa mayor al 70% y velocidad del viento entre 5 y 8 m/s.

Debido a que se presentan diferentes valores de Kc, se debe determinar un valor estándar para cada cultivo, se adoptó trabajar con un Kc máximo para áreas menores a 1000 hectáreas y con un Kc promedio si el área es mayor a 1000 hectáreas.⁸

Relacionando la expresión anterior, con el Kc, se obtiene:

$$ET_{cultivo} = ETo * Kc \quad (2)$$

Dónde:	ETcultivo	:	Evapotranspiración del cultivo
	ETo	:	Evapotranspiración Potencial (mm)
	Kc	:	Coefficiente del cultivo

La expresión anterior representa por si sola la demanda de agua por uso agrícola según se ha definido el término “*demanda*”, simplemente hace falta tener en cuenta el área sembrada en cada cultivo para obtener la siguiente expresión:

$$Da = \left[\sum_{i=1}^n (Kc_i * A_i) \right] * ETo \quad (3)$$

Dónde:	Da	:	Demanda de agua para uso agrícola
	A	:	Área del cultivo
	ETo	:	Evapotranspiración Potencial
	Kc	:	Coefficiente del cultivo

Sistemas de riego. Son empleados para suplir los requerimientos adicionales de agua del suelo; existen tres sistemas de riego de uso frecuente en el Valle del Cauca estos son: por gravedad, por aspersión y por goteo; la selección de uno de estos depende del presupuesto, la extensión del cultivo y del personal disponible para

⁸ CVC, Universidad del Valle (2000). “Demanda hídrica. Proyecto metodología para la distribución del recurso hídrico en el Valle del Cauca (PMD)”. Cali – Colombia

operarlos, cada sistema posee diferentes eficiencias en virtud a factores tales como el tipo de aplicación, conducción y distribución del agua, las eficiencias se clasifican en:

- **De distribución**, es la relación entre la cantidad de agua que se recibe a la entrada del campo y la cantidad que sale de la fuente de suministro.
- **De conducción**, relaciona la cantidad de agua que llega, luego de las pérdidas, estas pueden ser causadas por: infiltración en los canales no revestidos, fugas de la tubería o en los canales revestidos, evaporación en los canales, evapotranspiración de la maleza en los bordes del canal.
- **De aplicación**, se define como la relación entre el volumen de agua que está disponible para las plantas y el volumen recibido por ellas.

En la **Tabla 2** se detallan las eficiencias calculadas en un estudio realizado por el CONSORCIO INCOL para la CVC donde se tomaron en cuenta diversos factores tanto técnicos, como de calidad, programación y ejecución.

Tabla 2 Eficiencias para los sistemas de riego por aspersión y gravedad

Eficiencia	Zona de Ladera	Zona Plana
Conducción	0.8	0.8
Distribución	0.75	0.75
Aplicación	0.7 (Aspersión)	0.55 (Gravedad)
Proyecto	0.42 (42%)	0.33 (33%)

Fuente: Consorcio INCOL

Aplicando los factores de ajuste de la tabla anterior para la demanda de agua agrícola.

$D = Da * Factor$, esto es:

$$D = Da * \left(\frac{1}{Ep} \right) \quad (4)$$

Dónde:

D	:	Demanda de agua bruta
Da	:	Demanda de agua para uso agrícola (neta)
EP	:	Eficiencia del proyecto

6.5.2.2 Demanda para uso domestico

La estimación de la demanda de agua requerida para consumo humano, se determina con base en la proyección de la población, tomando como punto de partida el último censo y adoptando una dotación entre 140 y 250 litros por habitante por día (varía de acuerdo con la región en estudio y la oferta de agua para satisfacer la demanda), teniendo en cuenta labores de beneficio, eficiencia y riego de pequeñas parcelas.

Mediante la siguiente expresión exponencial es posible obtener la población proyectada:

$$Pf = Pi * e^{(r*t)} \quad (5)$$

Dónde: Pf : Población final proyectada
Pi : Población inicial
r : Rata de crecimiento de la población
t : Diferencia de tiempo para estimar la proyección de la población

La demanda de agua para uso doméstico se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Dd = Pf * Dt \quad (6)$$

Dónde: Dd : Demanda de agua para uso doméstico
Pf : Población final proyectada
Dt : Dotación de agua por habitante día

6.5.2.3 Demanda por uso industrial

La determinación de la demanda de agua para uso industrial se basa en la información de consumo por parte de cada una de las industrias en la zona que se va a trabajar.

Para estimar esta demanda, se debe contar con información detallada sobre ubicación de las industrias, caudal de consumo y vertimiento, etc.; debido a que estos datos en muchas ocasiones no se encuentran disponibles la CVC se ha basado en estudios realizados, para considerar que la demanda de agua para uso industrial corresponde al 8% de la demanda para uso agrícola.

6.5.2.4 Otras demandas, caudal ecológico

Las Corporaciones Autónomas Regionales como autoridades ambientales deben considerar el manejo de los diferentes ecosistemas en relación con el recurso hídrico, éste además de ser aprovechado para los diferentes usos demandados por la sociedad, debe garantizar el normal desarrollo de las comunidades acuáticas naturales de los ríos y sus valores ecológicos.

Es importante determinar el requerimiento mínimo de agua necesario para mantener la diversidad acuática de una corriente natural superficial (caudal ecológico), pues cualquier disminución del caudal en un cauce implica cambios en el ecosistema y por tanto una alteración del equilibrio.

Existen diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos

Las Hidrológicas. Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales

Las Hidráulicas o Hidráulico - Biológicas. Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir, que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.

Las de Simulación de Hábitats. Se basan en la estimación del caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo biológico

La aplicación de estas metodologías a una zona específica es un proceso que implica trabajo de campo y análisis de la información, por lo se requiere tiempo para la determinación de este parámetro.

La implementación de los métodos utilizados para definir el caudal ecológico deberá tener una visión integral de los componentes que hacen parte de estos estudios, con el fin de lograr un manejo adecuado del recurso desde el punto de vista hidrológico e hidrobiológico.

Mientras se define corporativamente y se llevan a cabo estudios específicos para evaluar el caudal ecológico, y para continuar con los estudios de balance oferta - demanda de agua en el Departamento Valle del Cauca en la CVC se ha adoptado como referencia de caudal ecológico un valor que oscila entre el 10 y el 30% del caudal medio mensual multianual más bajo, determinado para la fuente de abastecimiento en la zona de estudio.

6.5.3 Oferta de agua

La oferta de agua necesaria para satisfacer la demanda en una zona, está determinada por la precipitación, las corrientes de agua superficial y las reservas subterráneas existentes:

- *Precipitación.* La precipitación en una región, está sujeta a variaciones de acuerdo con los patrones generales de la circulación atmosférica y a factores locales como topografía, vientos, vegetación, entre otros; constituye el principal aporte para satisfacer la demanda agrícola de agua en una zona. El cálculo de la variación de la precipitación se realiza a partir de la serie de los registros pluviométricos medidos en las estaciones meteorológicas, aplicando el método de los Polígonos de Thiessen o las líneas Isoyetas.
- *Agua superficial.* Se define como el volumen de agua proveniente de la precipitación que puede fluir sobre la superficie del suelo o en sus estratos más elevados o en forma subterránea para formar las corrientes superficiales de agua. El cálculo del aporte de agua superficial en una zona puede realizarse de manera directa si se cuenta con información proveniente de las estaciones de aforo, en caso contrario deben emplearse metodologías para generación de caudales.
- *Agua subterránea.* Aquella que circula y se almacena debajo de la superficie del suelo o del fondo marino o la que brota en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento o las que requieren para su alumbramiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares.

6.5.3.1 Precipitación

Este parámetro es de gran importancia dentro del cálculo del balance, por ser la principal entrada de agua al sistema hidrográfico.

La precipitación media es un valor medio de lámina de agua caída en la zona de estudio, dentro de un período de tiempo predeterminado; puede determinarse a través del método de los polígonos de Thiessen o el de curvas Isoyetas.

6.5.3.1.1 Método de polígonos de Thiessen.

Asume que en cualquier punto del área de influencia de cada estación de medición (representada por el polígono que se construye alrededor de la estación) la precipitación es igual a la registrada en la estación más cercana, así como que la profundidad registrada en una estación es aplicable a la distancia media a la estación más cerca en cualquier dirección. Este método es aplicable en zonas con una distribución irregular de estaciones, donde los accidentes topográficos no juegan un papel importante en la distribución de las lluvias.

6.5.3.1.2 Método de curvas isoyetas.

Estas son curvas precipitación las cuales se determinan haciendo interpolaciones entre los datos registrados en estaciones pluviométrica, pluviográfica adyacentes; es necesario realizar ajustes en el trazado por elevación y corrientes de vientos.

No toda el agua obtenida por precipitación es aprovechable por un cultivo debido a la cobertura del suelo y al proceso de escurrimiento. Es necesario encontrar la fracción de lluvia que realmente es aprovechable por las plantas; encontrar la denomina *precipitación efectiva*. Teniendo en cuenta la dinámica de la precipitación la FAO recomienda trabajar con un 80% de confiabilidad.

6.5.3.1.3 Precipitación efectiva.

Representa el porcentaje aprovechable de lluvia total ya que no toda la lámina de agua precipitada llega a las plantas debido a las pérdidas por intercepción de follaje, percolación profunda evaporación y escorrentía rápida.

6.5.3.2 Curva de duración de caudales.

La curva de duración de caudales indica el número de días del año, o períodos en términos de porcentaje del tiempo en que un determinado caudal es excedido en magnitud, esto se define como probabilidad.

Una curva de duración de caudales se construye graficando la relación de los caudales medios de una corriente, ordenados por su magnitud, contra la frecuencia de ocurrencia del evento en términos de porcentajes del total.

Con los resultados de la curva de duración de caudales se puede determinar el caudal de distribución con el fin de suministrar agua para los diferentes tipos de demanda en una zona. Actualmente la CVC trabaja con un caudal entre el 70% y 85% de la curva de duración de caudales en los proyectos de distribución de agua. Para efectos de realizar el balance oferta - demanda de agua empleando la curva de duración de caudales, se debe realizar una comparación teniendo en cuenta la curva de duración trazada con todos los datos de caudal medio diario de determinado período de registro y la curva de duración de caudales de los meses críticos, que son realmente los periodos donde se presentan conflictos por la distribución del agua.

6.5.3.3 Factor de distribución.

Hay corrientes de agua superficial que son fuente de abastecimiento para varias zonas, es el caso de las áreas municipales y de los Corregimientos por los cuales cruza una misma corriente o que tienen como límite un río en común, por ejemplo: los Municipios de Florida y Candelaria en el Departamento del Valle del Cauca, tienen como principal fuente de abastecimiento los ríos Párraga, Fraile y Desbaratado, siendo éste último límite entre los Departamentos del Valle del Cauca y Cauca.

Por lo anterior, para determinar la oferta de agua superficial de un Municipio o Corregimiento, se debe identificar cuáles son las principales fuentes de abastecimiento de agua superficial, calcular el aporte de cada una y afectarlo por un factor de distribución. El factor de distribución es el resultado de dividir el caudal

asignado del río para la zona de estudio por el caudal total asignado, los cuales son definidos en los proyectos de distribución de agua.

Factor de distribución

$$= \frac{\text{Caudal Asignado de la Corriente para el Municipio}}{\text{Caudal Total asignado de la Corriente}} \quad (7)$$

6.5.4 Balance oferta - demanda de agua

El balance entre la demanda y oferta del recurso hídrico, permite identificar posibles soluciones frente a situaciones de déficit y/o excesos de agua, planificar, manejar y distribuir este recurso de manera adecuada en una zona determinada.

Para el cálculo del balance oferta - demanda de agua, inicialmente se efectúa un balance entre la demanda por uso agrícola, la precipitación media mensual y los distintos escenarios de probabilidad de ocurrencia, si los resultados generan déficit de agua, es decir, la demanda supera el aporte de la precipitación bajo cualquiera de los escenarios de ocurrencia considerados en el análisis *de sensibilidad*, se realiza un balance entre la demanda de agua total que incluye el uso agrícola, doméstico e industrial, la conservación de la biodiversidad acuática y la oferta de agua tanto superficial como subterránea.

6.5.4.1 Balance 1: precipitación - demanda de agua para uso agrícola

La precipitación es la oferta de agua con que se cuenta para abastecer las necesidades agrícolas de una región, una vez calculada la demanda de agua para uso agrícola, se realiza un primer balance bajo dos **escenarios** de ocurrencia de la precipitación media, así:

- **Escenario 1.** Balance entre la demanda de agua para uso agrícola y el aporte por precipitación media mensual.
- **Escenario 2.** Balance entre la demanda de agua para uso agrícola y precipitación correspondiente al 90% de probabilidad de ocurrencia.

Al efectuar el balance 1, es posible identificar los meses con déficit de agua, es decir, aquellos en los que la demanda para uso agrícola supera el aporte de la precipitación media y la precipitación bajo la probabilidad de ocurrencia del 90%. Este déficit, al igual que la demanda doméstica e industrial la conservación de la biodiversidad acuática, constituyen la demanda de agua total que debe ser cubierta con el aporte de las corrientes hídricas tanto superficiales como subterráneas, se debe efectuar entonces el balance 2.

6.5.4.2 Balance 2: oferta de agua - demanda total de agua

El Balance 2 se lleva a cabo entre la demanda total de agua, equivalente al resultado obtenido en el balance 1 (déficit de agua para uso agrícola), la demanda de agua por uso doméstico e industrial, el caudal ecológico, y la oferta representada por el aporte de agua superficial y subterránea. Este balance se realiza bajo los dos escenarios planteados en el punto anterior.

$$\text{Balance 2} = \text{Oferta de agua} - \text{Demanda de agua} \quad (8)$$

Si los resultados del balance 2 son positivos, se pueden plantear proyectos de distribución de agua; por el contrario, si éstos registran déficit de agua, es decir, si la oferta de agua superficial y subterránea no cubre la demanda de la zona de estudio, se deben buscar alternativas de solución, entre las que se encuentran:

- Manejar adecuadamente el recurso agua a través del mejoramiento de las eficiencias de los sistemas de riego.
- Regular el agua a través del almacenamiento en épocas de lluvia para emplear este recurso en épocas de verano.
- Captar agua de otras fuentes.
- Explorar la capacidad futura de explotación del agua subterránea

7. Proyecto Piloto

7.1 Selección de la cuenca para el proyecto piloto

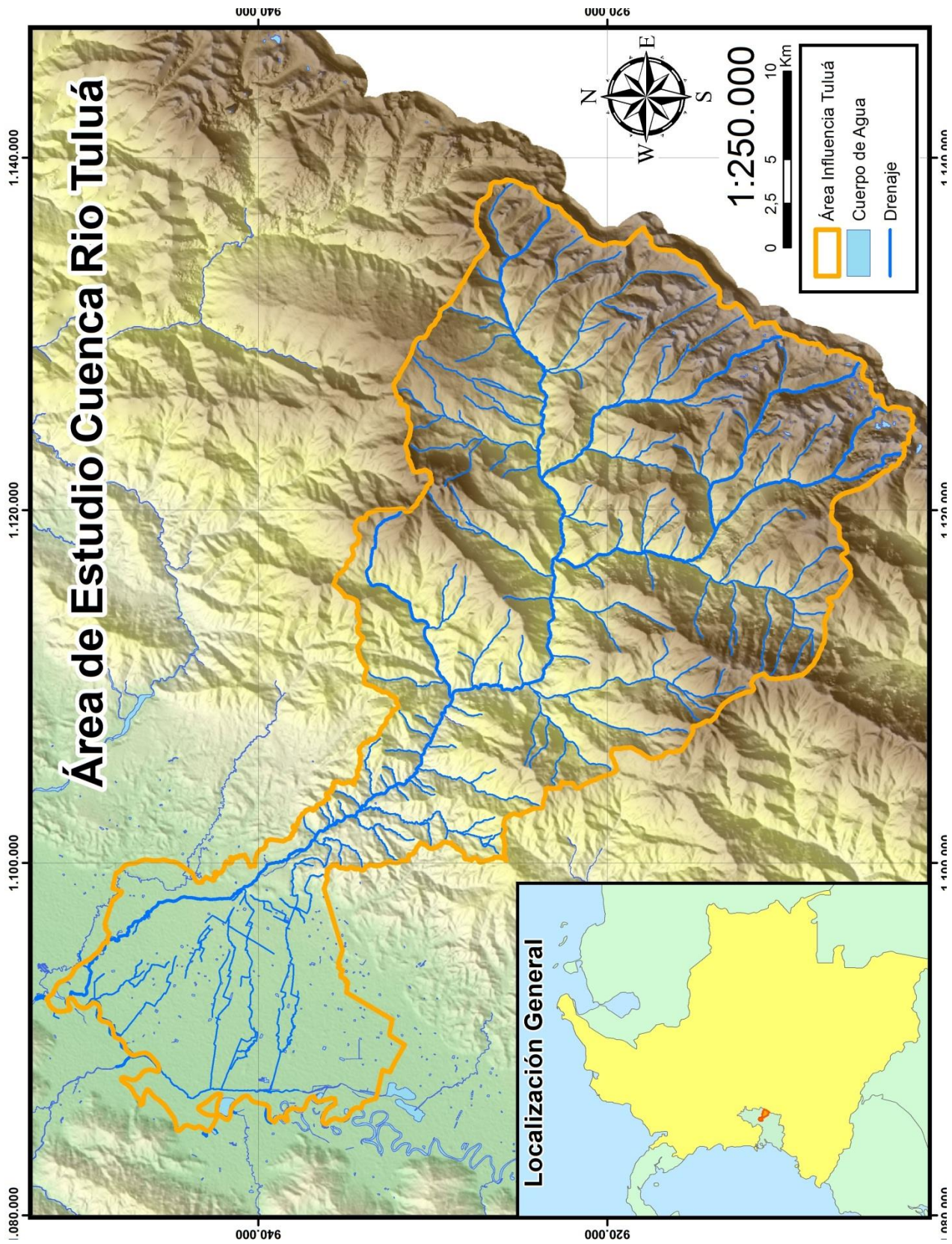
El proyecto Piloto fue determinado por los funcionarios de recursos hídricos de la CVC en base a la disponibilidad y completitud de información disponible por cuencas; luego de esta revisión se encuentra que la cuenca del río Tuluá es la que cumplía estas condiciones y cuenta con un balance hídrico y la Resolución reglamentaria # SGA.006 del 17 enero de 2003.

7.2 Cuenca hidrográfica de río Tuluá

La cuenca hidrográfica del río Tuluá, se localiza en el suroccidente de Colombia en el centro del departamento del Valle del Cauca, está limitada por el norte con las cuencas de los ríos Morales y Bugalagrande, por el este con el departamento del Tolima, por el sur con las cuencas de los ríos Amaime, Guabas, Guadalajara y San Pedro y por el oeste con el cauce del río Cauca, en jurisdicción de los municipios de Tuluá, Buga, San Pedro y El Cerrito.

El río Tuluá nace en el Parque Natural Nacional Páramo de las Hermosas, a una altura de 3800 m.s.n.m. con una longitud aproximada de su cauce de 73 Km, la cuenca posee una extensión de 91.485,5 Ha, el 85,9% del área corresponde a la zona de ladera y el 14,1% al valle geográfico del río Cauca o zona plana, pertenece a la vertiente occidental de la Cordillera Central, las alturas van desde los 900 hasta los 4100 m.s.n.m. Es una de las cuencas más grandes tributarias del Río Cauca en el departamento, sus principales afluentes son los ríos son: Cofre, Loro y San Marcos y las quebradas San Antonio y Nogales; posee cuatro pisos térmicos generales: cálido, templado, frío y páramo (CVC, 2003).

Figura 4 Mapa de la ubicación espacial del área de estudio



8 Metodología

8.1 Análisis de la situación actual

En la CVC el grupo de Recursos Hídricos es el encargado de realizar los conceptos técnicos para el adecuado manejo del recurso hídrico superficial en particular las reglamentaciones de corrientes y las solicitudes captaciones de agua superficial realizadas por los usuarios.

Se realizó un análisis de la situación actual en base a reuniones con los funcionarios del área de recursos hídricos en las cuales se enseñan los procedimientos empleados en los conceptos técnicos, la información utilizada, se definieron las responsabilidades a la hora de mantenimiento y actualización de las capa temáticas empleadas para el cálculo del balance oferta - demanda en la cuencas del departamento del Valle del Cauca así como el funcionamiento de las aplicaciones empleadas para estos cálculos.

A nivel de datos se encuentra que la información utilizada esta almacenada de manera local en los equipos de los funcionarios generando diversas versiones de la información dificultando la consolidación de una capa actualizada; esta información esta almacenada en diferentes formatos tales como: archivos CAD, libros de Excel, archivos shape, archivos de map-info, archivos de surfer, información tabular en archivos de textos etc. Lo cual requiere la atención de varios funcionarios para que mantengan los diversos formatos, esta es una tarea dispendiosa, causa demoras a la hora de consultar esta información y no está integrada al sistema de información geográfico corporativo.

A nivel de aplicaciones fuera de los programas que manejan los formatos anteriormente descritos, se cuenta con el aplicativo SIMASII el cual asiste en las tareas de balance, reglamentaciones de corrientes y concesiones hídricas superficiales, este debe ser instalado en cada uno de computadores de los funcionarios a cargo de estas tareas, el diseño de la aplicación se basa en una serie de cuadros de dialogo los cuales no tienen un enfoque geográfico; fuera de esto, es muy complejo e ineficiente integrar el aplicativo con el SIG corporativo de la CVC,

debido a que este último se ha venido desarrollando en la plataforma ArcGIS de ESRI (Environmental Systems Research Institute) la cual sirve una serie de servicios geográficos los cuales son consumidos por el visor corporativo llamado GoeCVC, mientras que el aplicativo SIMASII no da la posibilidad de consumir dichos servicios, o exponer un servicio que pueda ser consumido por la plataforma ArcGIS o el visor GeoCVC.

8.2 Levantamiento y análisis de requerimientos

Esta etapa es vital debido a que permite definir el alcance del módulo en base a las necesidades y expectativas que tengan los usuarios; para recoger estas necesidades se realizaron varias reuniones con los funcionarios del grupo de Recursos Hídricos Superficiales (RHS), en conjunto con funcionarios del grupo Sistema de Información Ambiental (SIA). El resultado de estas reuniones fueron unas actas con los compromisos para entrega de los formatos contenedores de la información, esquema dentro de la GDB, metodología utilizada para el cálculo de las variables de hídrica superficial y responsabilidades en cuanto al manejo mantenimiento y actualización de las clases de entidad creadas en el esquema, necesarias para la estructuración de la aplicación geográfica.

A partir de los requerimientos realizados, se establecieron una serie de componentes que definen el alcance de la aplicación.

Componentes del sistema:

- Objetivos de la aplicación geográfica.
- Definición del entorno gráfico.
- Alcances y limitaciones.
- Definición detallada de requerimientos.

8.2.1 Objetivos de la aplicación geográfica

Se debe crear e integrar a la GDB corporativa el nuevo esquema y crear la aplicación que desplegara los servicios SIG para el manejo del recurso hídrico superficial de forma dinámica acorde a las metodologías actuales empleadas por los funcionarios del área de recursos hídricos conforme a los análisis de requerimientos.

- La aplicación debe desplegar los canales, derivaciones y captaciones, de la cuenca de estudio.
- Mostrar la información asociada la captación de cada uno de los usuarios
- Desplegar la información predial
- Realizar análisis de redes y un cálculo aproximado del balance hídrico

Dentro de las categorías de funciones que llevará a cabo la aplicación geográfica se consideraron los siguientes.

- **Visualización:** desplegar las clases de entidad que representan los elementos naturales y antrópicos para reconocerlos a simple vista.
- **Consulta Espacial:** resaltar los elementos en el espacio geográfico.
- **Consulta No Espacial:** retorna registros alfanuméricos de una tabla sin representación geográfica o espacial.
- **Análisis de Redes y Balance Hídrico:** permite calcular el balance hídrico de la zona de consumo y calcular el flujo del recurso a través de la red de canales

La **Tabla 3** describe los requerimientos para la aplicación geográfica de recursos hídricos superficiales con su respectiva función y agrupamiento por categorías:

Tabla 3 Descripción de requerimientos

Requerimiento	Variables	Tipo
Red hídrica superficial		
Desplegar la red hídrica superficial	Drenajes	Visualización
Red de canales de distribución		
Determinar el flujo del recurso en la red de canales de distribución	Canales	Visualización, Análisis de Redes ⁹ , consulta Espacial
	Derivaciones	
	Captaciones	
	Punto inicio red de distribución	
Cuencas en el Departamento del Valle del Cauca		
Identificar las cuencas en el departamento y las zonas de consumo	Cuencas Hidrográficas	Consulta Espacial
	Área de consumo	
Oferta por precipitación		
Determinar la lámina de agua debido a la precipitación	Precipitación	Análisis
Zona de consumo		
Identificar los predios beneficiarios del recurso	Predios con concesiones	Consulta Espacial
Determinar la lámina de agua por consumo	Uso del Suelo	Consulta Espacial
	Coeficientes de Cultivo	Consulta de Atributos

Algunas fuentes de información se les realiza actualización, el sistema debe estar en capacidad de actualizar esta información en el momento que la actualización esté disponible, las capas susceptibles de actualización son: usos actuales o potenciales, canales, derivaciones, captaciones y predios.

⁹ Análisis de redes: se trata de las operaciones de selección de los elementos de red (captaciones derivaciones y canales) de trazado de elementos de red a partir de una derivación o canal inicial

8.2.2 Definición del entorno gráfico

La aplicación geográfica para asistir al manejo del recurso hídrico superficial de las cuencas hidrográficas del Valle del Cauca se realizará en una primera implementación en la cuenca del río Tuluá debido a que la información disponible para esta cuenca es la más completa, por lo tanto, el ambiente físico corresponde al área de la cuenca hidrografía más el área de la zona de consumo, esta suma es el origen de la capa Área de influencia como se muestra en el siguiente mapa.

Figura 5 Entorno grafico inicial de la aplicación geográfica



Fuentes: Servicio de mapa base National Geographic de ArcGIS Online, Clase de entidad de cuencas en la GDB corporativa de la CVC.

La información cartográfica básica y temática proviene de los grupos SIA y RHS y comprenderá inicialmente la cuenca del río Tuluá finalmente tendrá todas las cuencas del departamento del Valle del Cauca.

8.2.3 Alcances de la aplicación geográfica

Para la realización de este proyecto se presentan 3 tipos de funciones, visualización cartográfica directa, búsqueda alfanumérica y análisis de redes.

8.2.3.1 Visualización cartográfica directa

El usuario tendrá el control de visualización de las capas desplegadas en el mapa mediante controles para el encendido y apagado de las mismas, también dispondrá de herramientas para la navegación dentro de la aplicación.

8.2.3.2 Consultas

La aplicación dispondrá de distintas herramientas de consulta que serán accedidas mediante iconos en la interfaz estas herramientas son:

- Identificar: permite obtener los atributos de los elementos temáticos o cartográficos desplegados en pantalla.
- Se podrá imprimir el Mapa y exportar datos
- Se contará con herramientas de medición las cuales permitirán obtener áreas y distancias en distintas unidades de medida, permitirá la toma de coordenadas planas y su proyección a otros sistemas de coordenadas.
- La herramienta de balance permitirá recrear distintos escenarios con sub-selecciones o con toda la red de distribución, se deberán ingresar los parámetros iniciales como la cuenca de interés, el área de interés (con la ayuda de trazado que brinda el análisis de redes), y los valores disponibles de la curva de duración de caudales respectivo de la cuenca luego del ingreso de estos parámetros brindará al usuario información de la demanda agrícola, demanda total por predio, demanda total y balance hídrico, mediante información tabular y la selección en el área de despliegue de los elementos participantes en los cálculos.

8.2.3.3 Análisis de red

El análisis de red funciona en conjunto con la herramienta de balance, ésta funcionalidad permite realizar sub-selecciones de elementos por medio de la conectividad que estos posean aguas abajo del elemento inicial seleccionado; se

podrán indicar elementos de inicio en canales o nodos o restringir el flujo en un canal o nodo de la red.

8.2.4 Limitaciones de la aplicación geográfica

A continuación, se listan las limitaciones del sistema

- Toda la implementación se realizará utilizando la plataforma ArcGIS debido a que la GDB corporativa existente y los visores geográficos actuales se han creado utilizando varios de estos productos.
- La aplicación geográfica será una herramienta de trabajo para los funcionarios del área de recursos hídricos, y de consulta para los funcionarios que requieran información del área de consumo o de la codificación de corrientes.
- La aplicación geográfica será accesible mediante autenticación como funcionario de la CVC.
- La información de redes de drenaje está en proceso de codificación y la de canales está en proceso de actualización y levantamiento detallado por lo tanto se contará con un 80% de la red de canales.

8.2.5 Definición detallada de la información

Este paso reúne los aspectos específicos que la aplicación geográfica debe plantear como solución a partir de las especificaciones realizadas tales como: tipo de usuario, tipo de información a consultar, tipo de resultados obtenidos, forma de consulta de la información, forma de realizar los análisis de redes, como abordar el balance hídrico. En consideración de lo anterior se identifica que la aplicación geográfica debe reemplazar en su totalidad al aplicativo SIMASII y proveer una visión geográfica del fenómeno a través de una aplicación en la intranet de la corporación.

8.2.5.1 Requerimientos sobre las Características de la Información

Información espacial base: la información espacial de mapa base debe ser representada inicialmente sobre una cartografía básica a una escala adecuada para

la cuenca hidrográfica del río Tuluá, pero teniendo en consideración a futuro una escala para todo el Valle del Cauca.

Información operativa: las capas operativas corresponden a la red de canales, derivaciones, captaciones, la capa de predios y el uso actual o potencial del suelo, los cuales serán utilizados para fines de consulta y despliegue de los resultados de los análisis de redes y cálculo del balance.

Otras capas: la red de drenaje estará presente para propósitos de consulta de la codificación de corrientes de la cuenca, pero no será empleada para fines análisis.

Información alfanumérica: esta información estará contenida en la tabla asociada a cada una de la capa según su temática, o como una tabla individual en el caso que la información contenida no posea representación espacial y debe de dar respuesta a las consultas generadas por los usuarios.

8.2.5.2 Requerimientos específicos de la respuesta esperada

El tipo de respuesta generada por la aplicación debe ser entregada de dos maneras:

- Información gráfica: consiste en desplegar los elementos de las redes hídricas y de canales en el entorno geográfico en el que están y en resaltar los elementos que son resultado de los análisis.
- La información tabular: consiste en desplegar la información contenida a nivel de la tabla de atributos de los elementos seleccionados y los resultados numéricos de la demanda hídrica y el balance estos resultados deben desplegarse en la interfaz de la aplicación.

8.2.5.3 Requerimientos específicos de la parte operativa y de consulta

Hay dos maneras de acceder a la información subyacente:

Mediante la aplicación geográfica es una aplicación en la intranet con acceso vía web, previa autenticación con las credenciales corporativas.

Mediante la aplicación ArcGIS desktop, para los usuarios que deban actualizar las capas temáticas de recursos hídricos superficiales deberán contar con mayores

privilegios, acceso exclusivo mediante la red corporativa y con autenticación a nivel de GDB a la versión correspondiente.

8.3 Diseño del modelo de datos

Podemos decir que, en líneas generales, el diseño de un sistema de información geográfico tiene cinco fases:

- Diseño conceptual: en la que se formalizan las estructuras que se observan en el mundo real produciendo lo que se denomina Esquema Conceptual.
- Diseño Lógico: en la que se estructura el conjunto de información de la fase anterior teniendo en cuenta el sistema gestor de base de datos que se vaya a utilizar. En esta fase obtendremos el Esquema Lógico.
- Diseño Físico: en la que se estructuran los datos en términos de almacenamiento en los dispositivos del ordenador. Es lo que se conoce como Esquema Interno.
- Diseño Cartográfico: en la que se define las representaciones gráficas de los elementos, los colores, los símbolos que comuniquen el mensaje de forma efectiva.
- Propuesta para la implementación de la aplicación geográfica.

Para definir esas representaciones, es decir, los distintos esquemas, utilizaremos uno o varios modelos de datos, un formalismo o un lenguaje que nos permite representar una realidad con una mayor o menor riqueza de detalle.

8.3.1 Modelo conceptual

Es la abstracción de la realidad, identificación de los elementos del sistema a implementar, sus procesos, interface, jerarquías, prioridades de procesos, requerimientos del sistema entre módulos o subsistemas, resultados de la información interna, relaciones y funciones de los sub-módulos.

Luego de tener los requerimientos definidos se deben analizar de tal manera que permita realizar el diseño del modelo conceptual, un modelo que interprete claramente la realidad, para ello es necesario identificar cada uno de los objetos o

variables que van a interactuar dentro del sistema y así obtener como resultado las entidades y atributos.

8.3.1.1 Elementos de la aplicación geográfica

Realizando una abstracción de la realidad se pueden identificar los siguientes elementos que tienen un rol activo dentro de la aplicación geográfica.

- **Usuario:** Funcionario de la corporación que realiza la consulta.
- **Editor:** Funcionario del grupo RHS o del grupo SIA que se encarga de actualizar la información que alimenta a la aplicación geográfica.
- **Consulta:** Está constituida por la interacción de la persona con la aplicación y el tipo de tarea que este realiza las cuales pueden ser de tres tipos: búsqueda cartográfica directa, búsqueda alfanumérica, o análisis de redes.
- **Red de canales:** estructuras de canales y obras civiles para controlar el flujo del agua en la zona de consumo.
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo
- **Predios:** inmueble con un área en el terreno la cual tiene una demanda de agua.
- **Uso actual del suelo:** Es la relación del uso actual de las tierras.

Existen otros elementos que tienen un rol pasivo dentro de la aplicación geográfica.

- **Red hídrica:** drenajes naturales que convergen a un cauce principal del cual se deriva parte de su caudal.
- **Mapa base:** cartografía de referencia con información de toponimias, vías de comunicación entre otros.
- **Uso potencial del suelo:** capacidad natural que poseen las tierras para producir o mantener una cobertura vegetal.
- **Precipitación:** cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre.

8.3.1.2 Procesos de la aplicación geográfica

Los procesos necesarios para el funcionamiento de la aplicación geográfica son los siguientes:

- Recopilación de la información
- Consolidación de los elementos a incluir en la GDB corporativa
- Consultas espaciales y por atributos
- Análisis de redes y balance hídrico
- Salida de datos

8.3.1.3 Concepción operativa

En base a los requerimientos colectados a partir de las reuniones temáticas, la actividad operativa del sistema se enmarca en consultar los diferentes elementos de la red de distribución, y la codificación de las corrientes así como poder simular distintos escenarios en cuanto a selección de caudales, tramos de canales, y captaciones, y obtener el balance hídrico a partir de los elementos seleccionados o de toda la zona de consumo, la aplicación geográfica podrá ser accedida por los funcionarios en las diferentes DARs (Direcciones Ambientales Regionales) que requieren esta información de insumo en el proceso de reglamentación de corrientes y concesiones hídricas superficiales, esto se realizará mediante una aplicación web que se integrara al visor existente y su acceso se realizará mediante autenticación; el componente operativo consistente en el mantenimiento de los elementos en la GDB se realizará mediante la herramienta de escritorio ofrecida por la plataforma (ArcGIS for Desktop) previa autenticación mediante el usuario en la base de datos.

8.3.1.4 Jerarquización y prioridades del proceso

Existen capas que tienen establecido una jerarquía dentro de sus elementos, como el caso la capa de drenaje o la capa de canales; pero no existe una jerarquización en los procesos de la aplicación geográfica. En cuanto al proceso de balance se deben seguir una serie de pasos específicos para obtener el resultado esperado, estos pasos son:

- a) Selección de la cuenca de interés.

- b) Selección de la probabilidad de ocurrencia según el parámetro de la curva de caudales.
- c) Determinación del caudal ecológico.
- d) Selección de los elementos de la red de distribución derivación (nodo) o canal (eje) a partir de los cuales se desea determinar el consumo y tener una aproximación del balance.
- e) Proceder al cálculo de la demanda.
- f) En el área de despliegue se resaltarán los elementos que entrarán en el cálculo y en la tabla se calculará la demanda total.

8.3.2 Modelo lógico de la aplicación geográfica

En el modelo lógico se realiza una descripción de los requisitos funcionales, es decir lo que hará el sistema para resolver los problemas identificados en el levantamiento de requerimientos; en este paso se considera cada elemento participante en el sistema sin pensar en el hardware o software que se utilizará.

8.3.2.1 Entorno operativo

Se han identificado 2 tipos de entornos el primero será para los funcionarios grupo RHS y del Grupo SIA y el segundo para los usuarios de la aplicación geográfica en general (funcionarios de CVC).

8.3.2.1.1 Primer entorno

- **Funcionarios del grupo SIA** son los encargados de mantener las capas temáticas generales y de cartografía base, estos utilizan ArcGIS desktop para la gestión y actualización de las clases de entidad contenidas en la GDB las cuales son la base de los servicios geográficos.
- **Funcionarios del grupo RHS** son los encargados de mantener las capas temáticas de recursos hídricos superficiales (canales, drenajes, captaciones, derivaciones, predios, codificación de corrientes) estos utilizan ArcGIS desktop para la gestión y actualización de las clases de entidad y las redes geométricas.

Los usuarios de este entorno deben tener un conocimiento y manejo de la herramienta ArcGIS Desktop y credenciales de acceso a la GDB corporativa.

8.3.2.1.2 Segundo entorno

- ***Usuarios de la aplicación geográfica en general*** son los funcionarios que requieren información del recurso hídrico superficial, codificación de corrientes, o tener una aproximación del consumo, oferta y balance de ciertos elementos o de toda la zona de consumo, estos usuarios accederán mediante la aplicación geográfica vía web.

Los ***usuarios en general*** realizan 3 tipos de operaciones dentro de la aplicación geográfica.

- Consulta: el usuario podrá realizar consultas mediante la visualización de tablas y aplicando filtros y reglas de validación a la información contenida en las mismas.
- Consulta Espacial: el usuario contará con herramientas para dibujar las geometrías de punto línea o polígono también podrá utilizar un shapefile para realizar selección interactiva de los elementos que se despliegan en pantalla.
- Análisis balance hídrico: realizando la secuencia anteriormente nombrada se puede obtener la demanda de los elementos seleccionados y una aproximación al balance hídrico.

Figura 6 Entorno operativo de la aplicación geográfica



8.3.2.2 Definición de relaciones y procesos entre los componentes de la aplicación geográfica

Las relaciones vinculan elementos que tienen algún tipo de interacción o dependencia entre ellos, pueden representar un proceso o una acción necesarios para el funcionamiento de la aplicación geográfica, estas relaciones son el marco funcional y operativo que ayudan a describir el patrón de funcionamiento requerido para la representación adecuada del fenómeno en este caso la distribución de agua por medio de canales.

Figura 7 Diagrama UML de los componentes de la aplicación geográfica

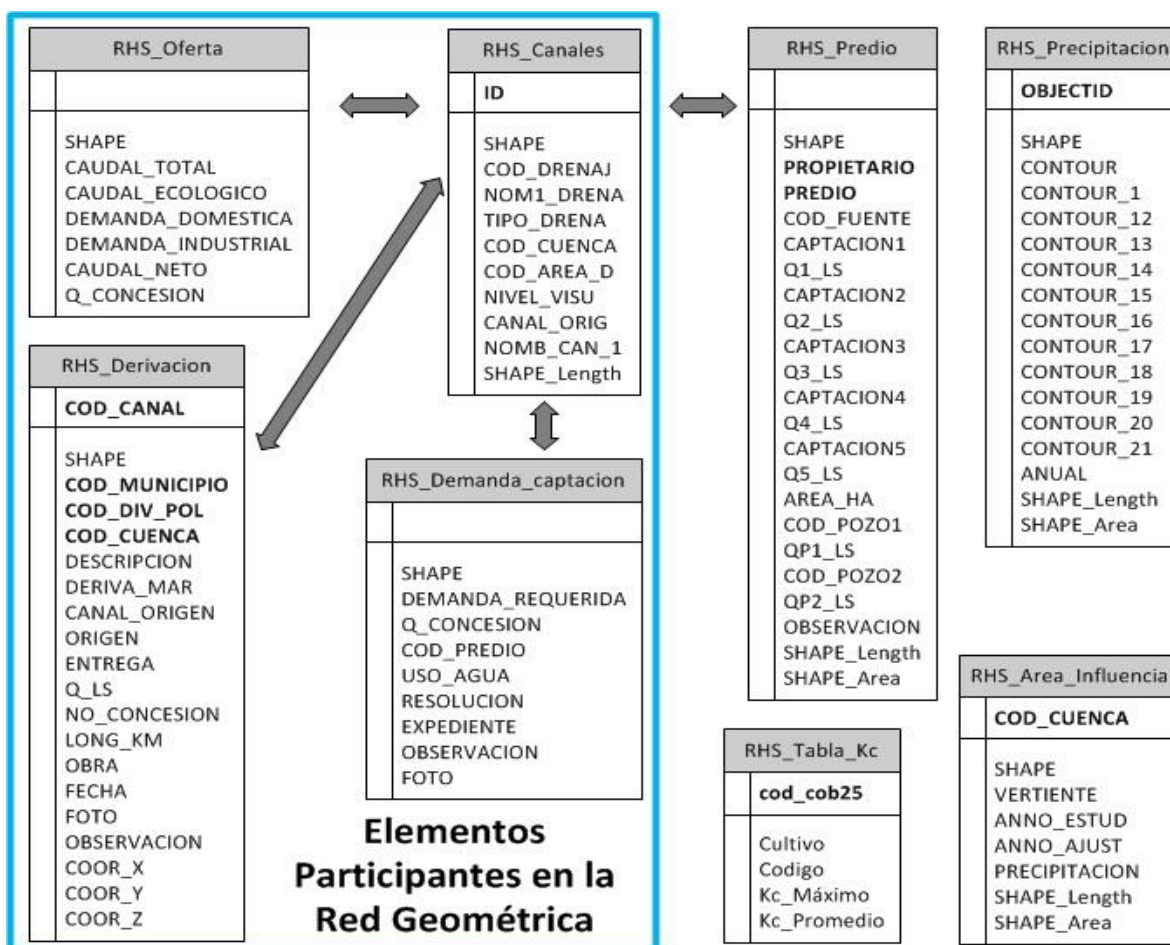
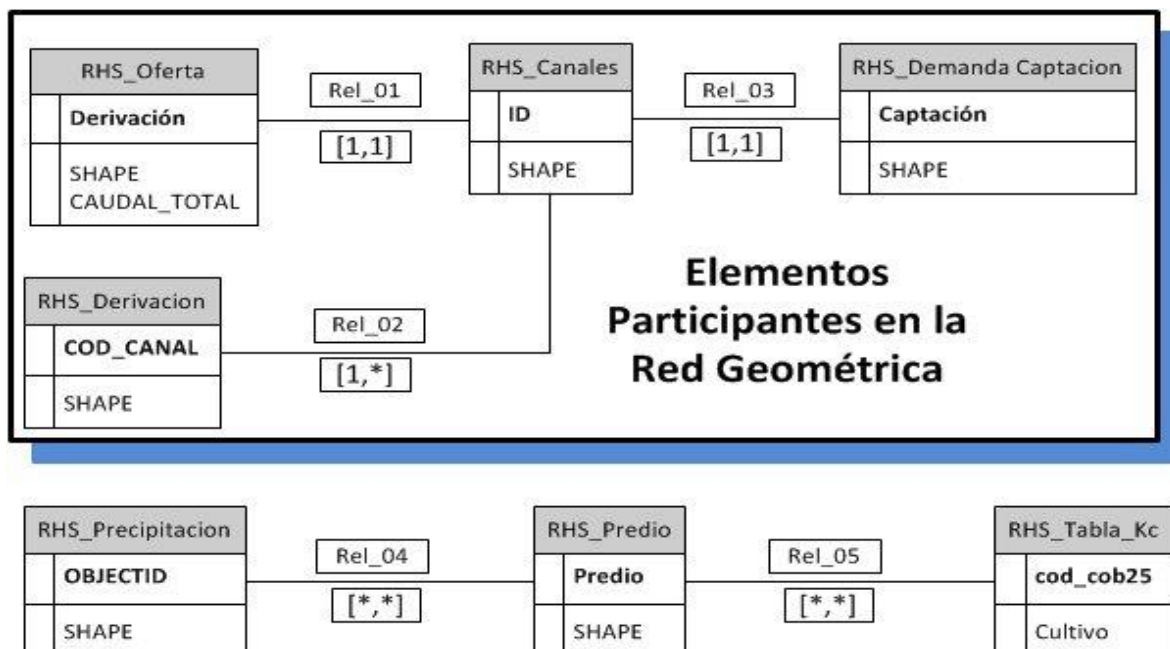


Figura 8 Definición de relaciones y procesos entre los elementos de la aplicación geográfica



8.3.2.3 Identificación de las entidades de la aplicación geográfica

Se proporcionó por los funcionarios de los grupos de RHS y SIA la información existente de la cuenca del río Tuluá; en la **Tabla 4** se encuentra la lista de entidades que fueron suministradas.

Tabla 4 Información suministrada

Nombre	Primitiva Gráfica	Fuente	Sist. de Coordenadas	Descripción
Área de Influencia	Polígono	RHS	Magna	Esta área representa la suma del área de la cuenca más el área de la zona de consumo
Canales	Línea	RHS	Bogotá	Son las obras civiles por las cuales circula el agua para abastecer las captaciones
Captación	Punto	RHS	Bogotá	Punto en el cual se entrega un caudal asignado
Delimitación de Cuenca	Polígono	SIA	Magna	Límite de divisoria de aguas de una corriente principal
Derivación	Punto	RHS	Bogotá	Punto en el cual se divide el caudal e inicia un nuevo canal
Drenaje	Línea	SIA	Magna	Corriente natural de agua que fluye con continuidad
Oferta	Punto	RHS	Magna	Punto en el que se toma un caudal del río principal
Precipitación	Polígono	SIA	Magna	Capa con las isoyetas de todo el Valle del Cauca
Predios	Polígono	RHS	Bogotá	Sub-divisiones prediales rurales en la zona de consumo, que según su uso, se emplean para calcular la demanda de agua por uso agrícola
Uso de Suelo	Polígono	SIA	Magna	Es la relación del uso actual de las tierras

A partir de la información proporcionada para su evaluación y depuración se definirán las entidades necesarias para cumplir los requerimientos de la aplicación geográfica y se definirá o ajustará su esquema para que cumpla y se ajuste a las necesidades de los funcionarios del grupo RHS y al esquema de la GDB corporativa.

8.3.2.3.1 Dominios

Primero se entrará a definir los dominios los cuales son una propiedad de la GDB y permiten la consistencia a nivel de atributos para campos categóricos que tienen un número definido de clases.

- **Dominio Cuencas:** (tipo de dato texto) son los códigos y nombres de las 48 cuencas hidrográficas dentro de la jurisdicción de la CVC, en la **Tabla 5** se encuentra un ejemplo de los registros del dominio.

Tabla 5 Dominio Cuencas

Código Cuenca	Nombre
26147000000	Las Cañas
26149000000	Los Micos
26228000000	Mulalo
26150000000	Obando
26139000000	San Pedro

- **Dominio AncillaryRole:** (tipo de dato entero corto) Son las posibles opciones para los elementos de la capa fuente y permite establecer la dirección de flujo del recurso hídrico; en la **Tabla 6** se describen los valores del dominio.

Tabla 6 Dominio AncillaryRole

Código	Descripción
0	Ninguno (None)
1	Source (Fuente o Nacimiento)
2	Sink (Sumidero o Desembocadura)

- **Dominio Código división política (cod_div_pol):** (tipo de dato texto) códigos y nombres de las 550 divisiones político administrativas dentro de la jurisdicción de la CVC; en la **Tabla 7** se encuentra un ejemplo.

Tabla 7 Dominio Cod_div_pol

Código Cuenca	Nombre
76001000	Santiago de Cali
76001001	El Saladito
76001002	Felidia
76001003	Golondrinas
76001004	El Hormiguero

- **Dominio Campo SI NO Entero:** (tipo de dato entero corto) booleano SI o NO; la **Tabla 8** describe los valores del dominio.

Tabla 8 Dominio Si No Entero

Código	Descripción
1	Si
0	No

- **Dominio Deriva Mar:** determina a qué lado desemboca el drenaje de próximo drenaje; la **Tabla 9** describe los valores del dominio.

Tabla 9 Dominio Deriva Mar

Código	Descripción
0	Derecha
1	Izquierda
2	Ambos
3	De Frente
4	N/A

- **Dominio Estado Agua:** (tipo de dato texto) define el tipo de corriente de las escorrentías superficiales de las cuencas; la **Tabla 10** describe los valores.

Tabla 10 Dominio Estado Agua

Código	Descripción
1402010401	Perenne
1402010402	Intermitente
1402010403	Seco

- **Dominio Evaluación Morfométrica:** (tipo de dato texto) indica si a la cuenca se le realizó una evaluación morfométrica; la **Tabla 11** describe los valores del dominio.

Tabla 11 Dominio Deriva Mar

Código	Descripción
01	Evaluada
02	No evaluada

- **Dominio Enable:** (tipo de dato entero corto) utilizado por la red geométrica para indicar si el elemento está habilitado para su uso; la **Tabla 12** describe los valores del dominio.

Tabla 12 Dominio Enable

Código	Descripción
0	False
1	True

- **Dominio Municipios:** (tipo de dato texto) códigos y nombres de los 42 municipios del departamento del Valle del Cauca; en la **Tabla 13** se encuentra un ejemplo de los valores del dominio.

Tabla 13 Dominio Municipio

Código Municipio	Nombre
76001	Santiago de Cali
76020	Alcalá
76036	Andalucía
76041	Ansermanuevo
76054	Argelia
76100	Bolívar

- **Dominio Tipo Drenaje:** (tipo de dato texto) códigos y tipos de drenajes para la red de hídrica superficial; la **Tabla 14** describe los valores del dominio.

Tabla 14 Dominio Tipo Drenaje

Código	Tipo
1402010201	Río
1402010202	Quebrada
1402010203	Brazo-Bracito
1402010204	Arroyo
1402010210	Acequia
1402010211	Zanja-Cano
1402010212	Zanjón
1402010213	Cañada
1402010214	Canal
1402010215	Estero

8.3.2.3.2 Clases de Entidad (tablas espaciales)

Los esquemas que se describen a continuación conformaron los atributos que contendrán las tablas espaciales o clases de entidad dentro de la GDB corporativa,

estas serán referenciadas por los documentos de mapa y los servicios geográficos que consume la aplicación geográfica.

Predios: Esta capa representa predios rurales del área plana (zona de consumo) de los municipios de Tuluá y San Pedro, los cuales poseen concesiones hídricas superficiales, los predios de gran área son subdivididos, cada una de estas subdivisiones corresponden al área de riego cubierta por una concesión hídrica. Se realiza una revisión del esquema de la capa, se renombra la clase de entidad a RHS_Predio, para que se diferencie de la capa de predios de la GDB corporativa, se realizan ajustes a los nombres de los campos, y se borran algunos campos duplicados; la **Tabla 15** contiene el esquema de la clase de entidad.

Tabla 15 Esquema de la capa de RHS_Predios

Nombre		Tipo	Long	Dominio
Original	Esquema			
PROPIETARI	propietario	Texto	75	
PREDIO	predio	Texto	75	
CODIGO_FUE	cod_fuente	Texto	11	
CAPTACION1	captacion1	Texto	75	
Q1_LPS	Q1_Is	Float	7,2	
CAPTACION2	captacion2	Texto	75	
Q2_LPS	Q2_Is	Float	7,2	
CAPTACION3	captacion3	Texto	75	
Q3_LPS	Q3_Is	Float	7,2	
CAPTACION4	captacion4	Texto	75	
Q4_LPS	Q4_Is	Float	7,2	
CAPTACION5	captacion5	Texto	75	
Q5_LPS	Q5_Is	Float	7,2	
AREA_HA	area_Ha	doble		
COD_POZO1	cod_pozo1	Texto	8	
QPOZO1_LPS	QP1_Is	Float	7,2	
COD_POZO2	cod_pozo2	Texto	8	
QPOZO2_LPS	QP2_Is	Float	7,2	
OBSERVACIO	observacion	Texto	75	

Capa Canales: Esta capa representa los conductos artificiales utilizados para transportar el agua, desde de las derivaciones hasta los puntos de concesión. Se

renombrar la clase de entidad a RHS_Canales se realiza revisión del esquema, se eliminan campos duplicados y ajustes a los nombres de los campos. El esquema final creado para la capa se encuentra en la **Tabla 16**.

Tabla 16 Esquema de la capa Canales

Nombre		Tipo	Long	Dominio
Original	Esquema			
ID	ID	Largo		
COD_DRENAJ	Cod_Drenaje	Texto	11	
NOM1_DRENA	Nombre_Drenaje	Texto	60	
TIPO_DRENA	Tipo_Drenaje	Texto	10	
COD_CUENCA	Cod_Cuenca	Texto	50	
COD_AREA_D	Cod_Area_Drenaje	Texto	11	
NIVEL_VISU	Nivel_Visual	Corto		
CANAL_ORIG	Canal_Origen	Texto	50	
NOMB_CAN_1	Nombre_Canal	Texto	50	
ENABLE	ENABLE	Corto		EnableDomain

Capa de Oferta: se crea con el fin de tener un elemento fuente para la red geométrica y corresponde a la segunda derivación sobre el río Tuluá (Acequia grande). El esquema creado para esta capa se muestra en la **Tabla 17**.

Tabla 17 Esquema de la capa Oferta

Nombre	Tipo	Long	Dominio
Esquema			
CAUDAL_TOTAL	Doble		
CAUDAL_ECOLOGICO	Doble		
DEMANDA_DOMESTICA	Doble		
DEMANDA_INDUSTRIAL	Doble		
CAUDAL_NETO	Doble		
Q_CONCESION	Doble		

Capa de Captaciones: Representa el punto de entrega del caudal asignado al predio Diagnóstico: a nivel espacial no se realizó ningún tipo de corrección. A nivel de esquema se ajustan los nombres de los campos, y se implementan los adjuntos para almacenar las imágenes tomadas en campo; el esquema final creado para la capa se presenta en la **Tabla 18**.

Tabla 18 Esquema de la capa Captaciones

Nombre		Tipo	Long	Domino
Original	Esquema			
Municipio	cod_municipio	Texto	5	Dom_Municipios
Corregimie	cod_div_pol	Texto	9	Dom_div_Pol
Cod_cuenca	cod_cuenca	Texto	11	Dom_Cuenca
Deriva_mar	deriva_mar	Corto		Deriva_Mar
Cod_Canal	cod_canal	Texto	15	
Canal_orig	canal_origen	Texto	25	
Caudal_l_s	Q_ls	Float	7,2	
Propietari	propietario	Texto	75	
Predio	predio	Texto	75	
Cod_predio	cod_predio	largo		
Uso_agua	uso_agua	Texto	75	
Resoluci34n	resolucion	texto	25	
Expediente	expediente	Corto		
DESCRIPCIO	descripcion	Texto	75	
Fecha	fecha	Fecha		
Foto	foto	Texto	50	
Observacio	observacion	Texto	250	
Area_ha	area_Ha	doble		
POINT_X	coor_X	doble	15,3	
POINT_Y	coor_Y	doble	15,3	
POINT_Z	coor_Z	doble	10,3	

Capa de Derivaciones: Sitio de captación sobre una fuente de agua superficial a través de una obra de ingeniería destinada para controlar y regular el paso del agua a un sistema de conducción.

Diagnóstico: a nivel espacial no se realizó ningún tipo de corrección. A nivel de esquema se ajustan los nombres de los campos, se unifican otros y se implementan

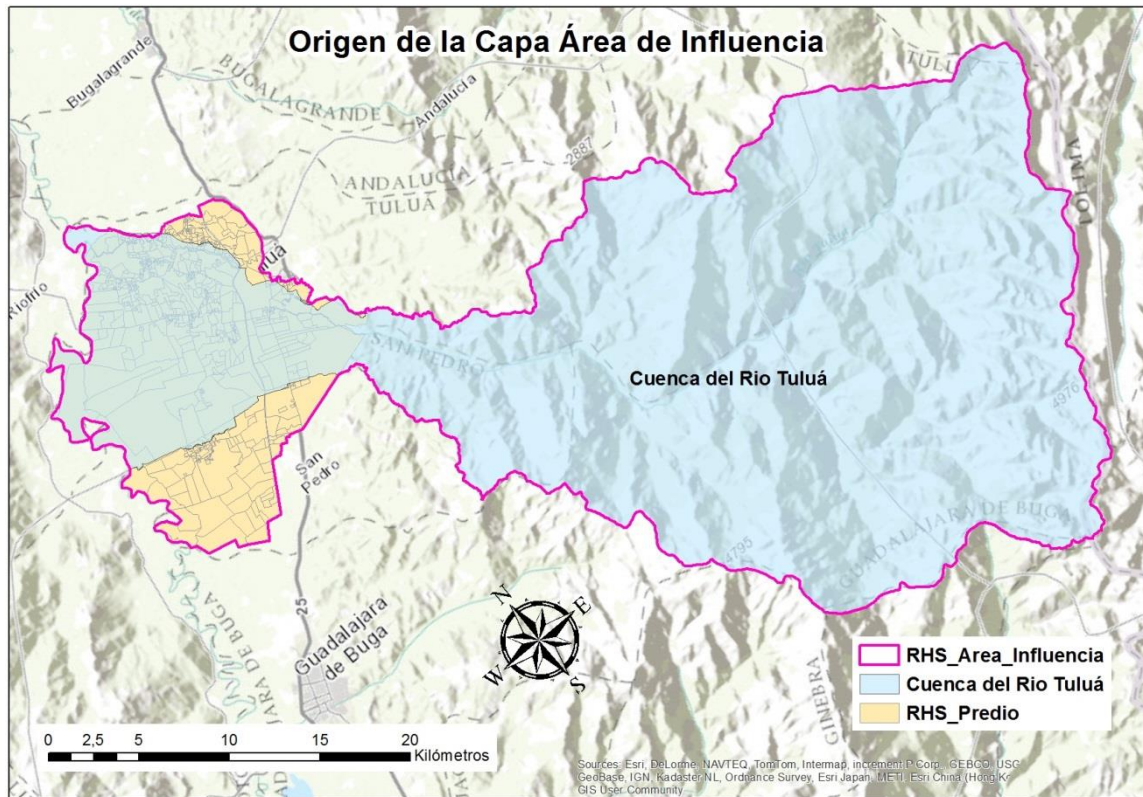
los adjuntos para almacenar las imágenes tomadas en campo; el esquema final creado se muestra en la **Tabla 19**.

Tabla 19 Esquema de la capa Derivaciones

Nombre		Tipo	Long	Domino
Original	Esquema			
Municipio	cod_municipio	Texto	5	Dom_Municipios
Corregimie	cod_div_pol	Texto	9	Dom_div_Pol
Cod_Cuenca	cod_cuenca	Texto	11	Dom_Cuenca
Descripci34	descripcion	Texto	75	
Deriva_mar	deriva_mar	Corto		Deriva_Mar
Cod_Canal	cod_canal	Texto	25	
Canal_orig	canal_origen	Texto	30	
Origen	origen	Texto	75	
Entrega	entrega	Texto	150	
Caudal_I_s	Q_Is	Float	7,2	
No_Concesi	No_concesion	Corto		
Long_km	long_Km	Float	7,4	
Obra	obra	Corto		Campo SI NO
Fecha	fecha	Fecha		
Foto	foto	Texto	50	
Observacio	observacion	Texto	210	
POINT_X	coor_X	doble	15,3	
POINT_Y	coor_Y	doble	15,3	
POINT_Z	coor_Z	doble	10,3	

Capa de Área de Influencia: Es producto de la unión del límite de la cuenca del río Tuluá y la de la clase de entidad de predios del área plana o zona de consumo agregada como un solo polígono. En la Figura 9 se puede observar la clase de entidad resultado con línea de contorno color fucsia.

Figura 9 Mapa origen de la capa área de influencia



Fuentes: Servicio de mapa base topográfico de ArcGIS Online, Clase de entidad de cuencas de la GDB corporativa de la CVC.

En cuanto al esquema de la clase de entidad, esta hereda los atributos de la capa de cuencas adicionando el campo precipitación. La **Tabla 20** ilustra el esquema creado.

Tabla 20 Esquema de la capa Área de Influencia

Nombre		Tipo	Long	Domino
Original	Esquema			
COD_CUENCA	cod_cuenca	Texto	11	Dom_Cuenca
VERTIENTE	vertiente	Texto	10	
ANNO_ESTUD	anno_Estudio	Corto		
ANNO_AJUST	anno_ajuste	Corto		
PRECIPITACION	precipitacion	Doble		

8.3.2.3.3 Tablas Alfanuméricas

Tabla KC: Para el cálculo de la demanda se requiere los coeficientes de cultivo (Kc) y su código de uso potencial asociado. La **Tabla 21** ilustra el esquema de la tabla alfanumérica.

Tabla 21 Coeficientes de cultivo, Tabla Kc

Cultivo	cod_cob25	Código	Kc_Máx	Kc_Prom
Aguacate	21112	AG	0,85	
Ají	23111	AJ	0,85	0,95
Algodón	22191	AL	1,05	0,9
Arracacha	23213	AC	1,05	0,62
Árboles Frutales	21112	AF	0,85	
Arroz	23121	AR	1,1	1,05
Banano	22114	BA	1,15	0,95
Bosque de Guadua	xxxxx	BG	1,15	0,85
Bosque Plantado	xxxxx	BP	1,15	0,85
Bosque Natural	xxxxx	BN	1,15	0,85
Cacao	22131	CA	0,85	
Cacao-plátano	22113	CA-PL	0,95	
Café	22121	CC	0,9	0,9
Café-plátano	22122	CC-PL	0,95	
Caña de azúcar	22171	CN	1,05	0,7
Cebolla Junca	23113	CJ	0,95	
Cítricos	xxxxx	CT	0,75	0,7
Fríjol	23211	FR	1,15	0,76
Frutales-plátano	xxxxx	AF-PL	0,95	
Granadilla	22161	GR	0,8	
Habichuela	23221	HA	0,95	0,73
Hortalizas	24121	HO	0,95	0,73
Maiz	22181	MZ	1,05	0,84
Maiz-habichuela	xxxxx	MZ-HA	1,1	
Maiz-zapallo	xxxxx	MZ-ZA	1,1	
Mango	xxxxx	MG	0,85	
Maracuya	23231	MY	0,85	
Melón	23114	ME	0,95	0,8
Papa	23151	PA	1,05	0,4

Tabla 21 Coeficientes de cultivo Tabla Kc (continuación)

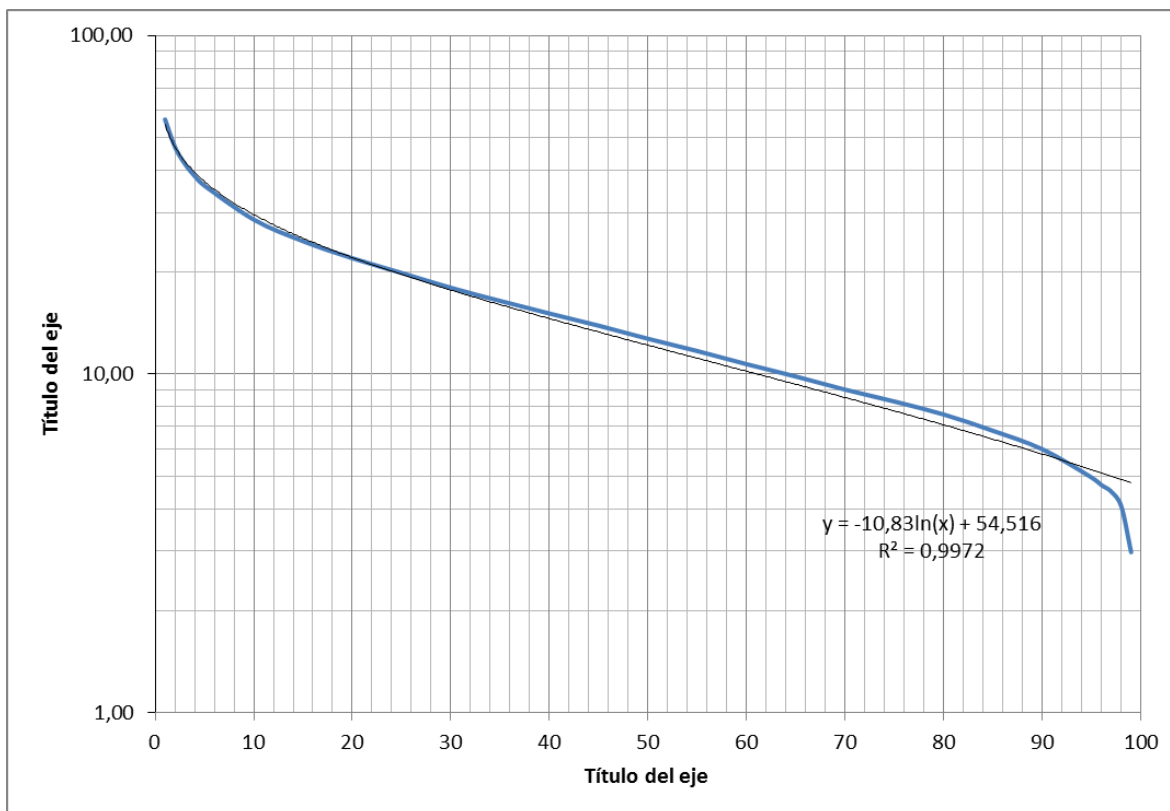
Cultivo	cod_cob25	Código	Kc_Máx	Kc_Prom
Pasto cultivado	23162	PC	1,1	1
Pasto natural	xxxxx	PN	1,15	1,05
Piña	23115	PI	0,8	
Pimentón	23216	PM	0,95	0,76
Plátano	22113	PL	0,95	
Praderas	xxxxx	PR	1	
Rastrojo	xxxxx	RA	0,9	0,85
Sorgo	23131	SO	1	0,65
Soya	23141	SY	1	0,62
Tabaco	xxxxx	TB	1	0,75
Té	xxxxx	TE	1,15	
Tomate	23218	TO	1,05	0,85
Trigo	xxxxx	TR	1,1	0,7
Uva	22151,00	UV	0,7	
Vegetación de páramo	xxxxx	VP	1	0,85
Yuca	22212	YU	0,75	0,69
Zapallo	23219	ZP	0,85	
Zonas urbanas continuas	11111	ZUC	0	
Zonas urbanas discontinuas	11212	ZUD		
Otras superficies artificiales con construcción	12111	OICC		
Otras superficies artificiales sin construcción	12211	OISC		

Fuente: Grupo de Recursos Hídricos de la CVC

Curva de duración de caudales: El grupo de recursos hídricos proporcionó una hoja de cálculo llamada curva_de_caudales_Tuluá_OK.xls. Esta contiene un gráfico con la curva de duración de caudales diarios para la cuenca del río Tuluá, resultado del análisis de frecuencias en la serie histórica de caudales medios diarios desde el año 1945 al 2000 en la estación limnográfica Mateguadua.

Esta hoja de cálculo permite calcular el caudal para un valor de probabilidad determinado. La Figura 10 ilustra la curva de caudales para el río Tuluá.

Figura 10 Curva de duración de caudales diarios cuenca río Tuluá



Fuente: Grupo de Recursos Hídricos de la CVC

8.3.2.3.4 Clases de Entidad Creadas por la Red Geométrica

El elemento que permite modelar el comportamiento de los canales y las escorrentías superficiales se denomina en terminología ArcGIS red geométrica, este elemento crea una clase de entidad adicional Junctions.

Capa Junctions: almacena los nodos huérfanos (nodo faltante entre dos líneas) los cuales son necesarios para el funcionamiento de la red, cuando se determina que un nodo pertenece a alguna de las clases de entidad de puntos participantes en la red geométrica puede ser adicionado a la capa correspondiente. El esquema de esta capa se muestra en la **Tabla 22**.

Tabla 22 Esquema de la capa Junctions

Esquema	Tipo	Long	Dominio
ENABLE	Corto		Enable

8.3.2.3.5 Capa derivada

Estas capas son el resultado de geo-procesamientos tales como uniones o intersecciones de capas, por lo tanto, sus esquemas son la suma de los esquemas de las capas de entrada a la herramienta.

Capa Balance: corresponde a la intercepción de las capas predio, precipitación y uso del suelo.

8.3.3 Modelo físico de la aplicación geográfica

El modelo físico para la implementación de la aplicación geográfica para el apoyo del manejo del recurso hídrico superficial, se implementará en dos plataformas:

8.3.3.1 Servidor de base de datos

La GDB está implementada con el gestor de base de datos objeto - relacional Oracle 11G, sobre un sistema operativo Oracle Linux, este gestor posee una instancia destinada a la GDB corporativa, en la cual se almacenarán el dataset y las clases de entidad requeridas por la aplicación geográfica; el gestor de base de datos proporciona el manejo del almacenamiento mediante tablespaces (archivos de almacenamiento) en el sistema de archivos del servidor, permite la consulta a las tablas mediante lenguaje SQL o mediante las aplicaciones de la plataforma ArcGIS; el hardware donde corre esta base de datos Oracle es un servidor HP Proliant el cual fue previamente dimensionado para atender las necesidades en cuanto a cantidad de transacciones, replicación, redundancia y alta disponibilidad requeridas para que la aplicación geográfica esté disponible 365 días/24 horas.

8.3.3.2 Servidor de servicios geográficos y de aplicaciones

En este servidor se instalará la aplicación ArcGIS server la cual será la que aloje los servicios geográficos (SIG) para el despliegue de la información cartográfica base, la cartografía específica de redes de distribución, el servicio de red geométrica para las operaciones de trazado en la red y la aplicación geográfica como tal; es un servidor HP Proliant el cual fue previamente dimensionado para atender las necesidades en cuanto a cantidad de transacciones, redundancia y alta disponibilidad requeridas.

8.3.3.3 Estación de trabajo

Este equipo tendrá un sistema operativo Windows 7 con un procesador de al menos cuatro cores, y 8 Gb en RAM en el cual se instalarán ArcGIS desktop, y un cliente Oracle a 32 bits, el software ArcGIS desktop se establecerán conexiones a la GDB mediante el cliente Oracle y conexión al servidor de servicios geográficos y de aplicaciones.

8.3.3.4 Esquema de software utilizado

A continuación, se relacionan el software utilizado para la implementación de la aplicación geográfica:

- Sistema operativo Oracle Linux versión 6.5 (servidor de Base de Datos)
- Sistema operativo Windows server 2012 R2 (servidor de App y servicios) implementación de rol IIS para habilitar el servidor como servidor WEB
- Sistema operativo Windows 7
- ArcGIS for Server nivel de licenciamiento Advanced versión 10.2
- ArcGIS for Desktop nivel de licenciamiento Advanced versión 10.2
- Gestor de base de datos objeto relacional Oracle 11G versión 11.2.04
- Cliente Oracle 11G de 64 bits (servidor) 32 bit (Estación de trabajo)
- Navegador Google Chrome + Plugin Silverlight última versión
- API de Silverlight
- Entorno de desarrollo Visual Studio versión 2010
- Recurso en línea moqups.com

8.3.4 Modelo cartográfico del sistema

En los mapas creados se busca la mejor representación mediante símbolos cartográficos de los elementos que visualizará el usuario en la aplicación geográfica, entre ellos la información de contexto (mapa base) y las redes de distribución de agua superficial y escorrentía natural.

8.3.4.1 Relacionar los datos con el mapa mediante software SIG de escritorio

Los mapas en formato mdx (documento de mapa de ArcGIS Desktop) referencian clases de entidad almacenadas en la GDB corporativa, en estas se realiza una abstracción de los elementos del mundo real; a partir de estos mapas se crearán los servicios de mapa base y operacional de la aplicación geográfica.

8.3.4.1.1 Mapa operacional

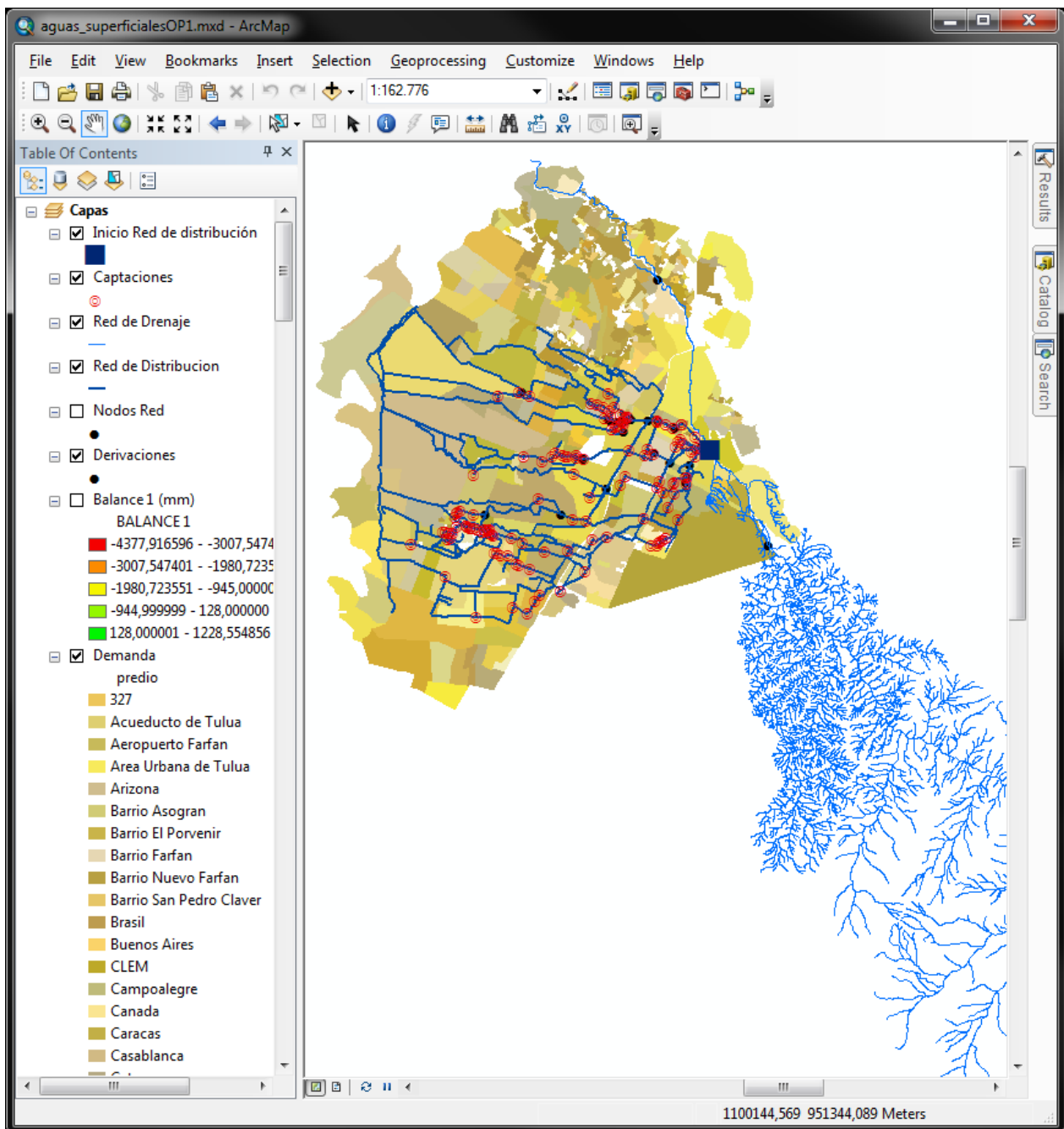
El mapa operacional utiliza un sistema de coordenadas MAGNA Oeste, referencia las clases de entidad que representan el fenómeno, en este caso la red de distribución de la zona de consumo, su simbología debe destacar de la simbología que se utilizara en el mapa base; también referencia la red geométrica la cual proporcionara la funcionalidad de trazado de red necesaria para los análisis de que realizaran los usuarios. En la **Tabla 23** está el listado de capas y en la Figura 11 el mapa.

Tabla 23 Identificación de capas en su orden de dibujo y geometría del servicio operacional

Capa	Clase de entidad	Geometría
Inicio Red Distribución	RHS_Oferta	Punto
Captaciones	RHS_Demanda_Captación	Punto
Red de Drenajes	RHS_Drenaje	Línea
Red de Distribución	RHS_Canales	Línea
Nodos Red	AS_Net_Junctions	Punto
Derivaciones	RHS_Derivación	Punto
Balance1	RHS_Balance1	Polígono
Demanda	RHS_Demanda	Polígono

	RHS_Probabilidad_Ocurrencia	Tabla
--	-----------------------------	-------

Figura 11 Documento de mapa que da origen al servicio operativo de la Aplicación



Fuentes: Grupos de recursos hídricos y sistema de información ambiental de la CVC.

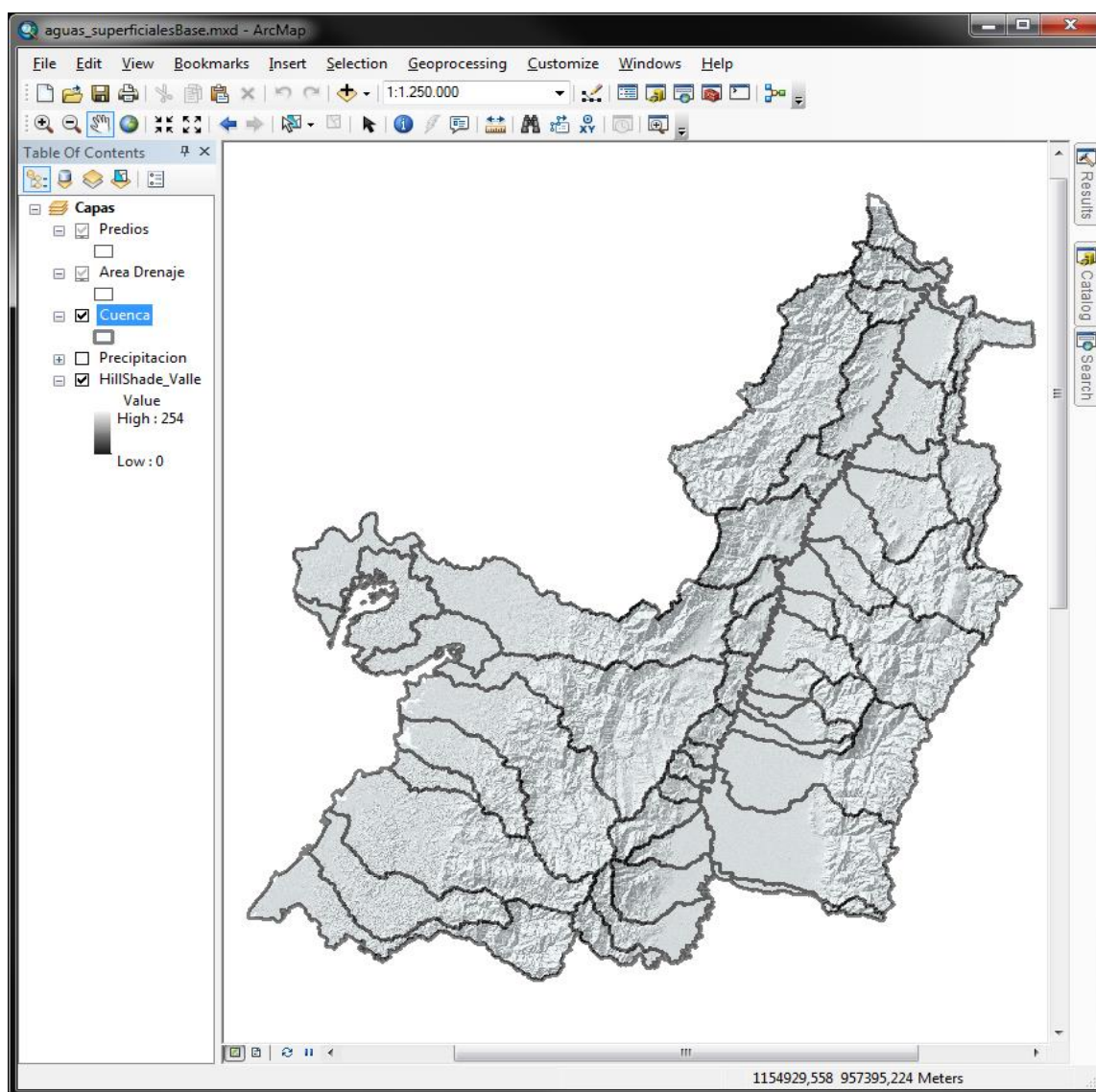
8.3.4.1.2 Mapa base

El mapa base brinda la información de contexto para que el usuario tenga un referente geográfico. En la **Tabla 24** está el listado de capas y en la figura 12 el mapa.

Tabla 24 Identificación de clases de entidad y su geometría del servicio de Mapa Base

Capa	Fuente de Datos	Tipo de Dato
Predios	RHS_Predio	Polígono
Área Drenaje	RHS_Area_Drenaje	Polígono
Cuenca	RHS_Cuenca	Polígono
Precipitación	RHS_Precipitación	Polígono
Modelo de Sombras	HillShade_Valle	Raster

Figura 12 Documento de mapa que da origen al servicio de mapa base de la Aplicación



Fuentes: Grupos de recursos hídricos y sistema de información ambiental de la CVC

8.3.5 Propuesta de implementación

Para el desarrollo de la aplicación se partirá de información digital proporcionada por los grupos SIA y RHS; se creará el esquema en la GDB como se describió en la identificación de las entidades de la aplicación geográfica, e implementando los elementos que permiten comprobar la consistencia de atributos (dominios) y la consistencia espacial y trazado (red geométrica).

Luego de que los elementos en la GDB estén contruidos y se realice la carga de la información, se construirán los mapas (operacional y de mapa base) estos mapas referenciaran los datos en la GDB corporativa y representará estos elementos como capas mediante simbología adecuada.

Luego que estos mapas estén listos se procederá a publicar los servicios geográficos mediante ArcGIS Server y se activará la capacidad especial de trazado de red para el servicio operacional, este servicio, tanto como el de mapa base son requeridos para el funcionamiento de la aplicación y serán utilizados para el despliegue del mapa en el navegador.

La arquitectura de hardware se realizará en dos capas, una para el servidor de base de datos y otra para los servicios geográficos y la aplicación como tal.

Será utilizado un recurso en línea moqups.com, esta herramienta colaborativa permite crear una maqueta de la aplicación geográfica, esta permite mostrar a los usuarios la interfaz gráfica sin necesidad de construir la aplicación completamente y de esta forma ajustar el diseño de la interfaz gráfica de la aplicación web.

Por último, se creará la aplicación con las distintas funcionalidades anteriormente descritas mediante la utilización de la API de Silverlight para ArcGIS Server y el entorno de desarrollo visual estudio 2010; esta aplicación será alojada en el servidor web destinado para tal fin donde se encuentran funcionando los demás visores de la CVC.

8.4 Implementación de la aplicación geográfica

A partir del modelo cartografico se crean los documentos de mapa y mediante estos se publican los servicios operacionales y de mapa base; las Figuras 13 y 14 muestran los servicios desplegados mediante un navegador web y la API de JavaScript.

Figura 13 Servicio operacional visto desde un navegador web mediante la API de JavaScript

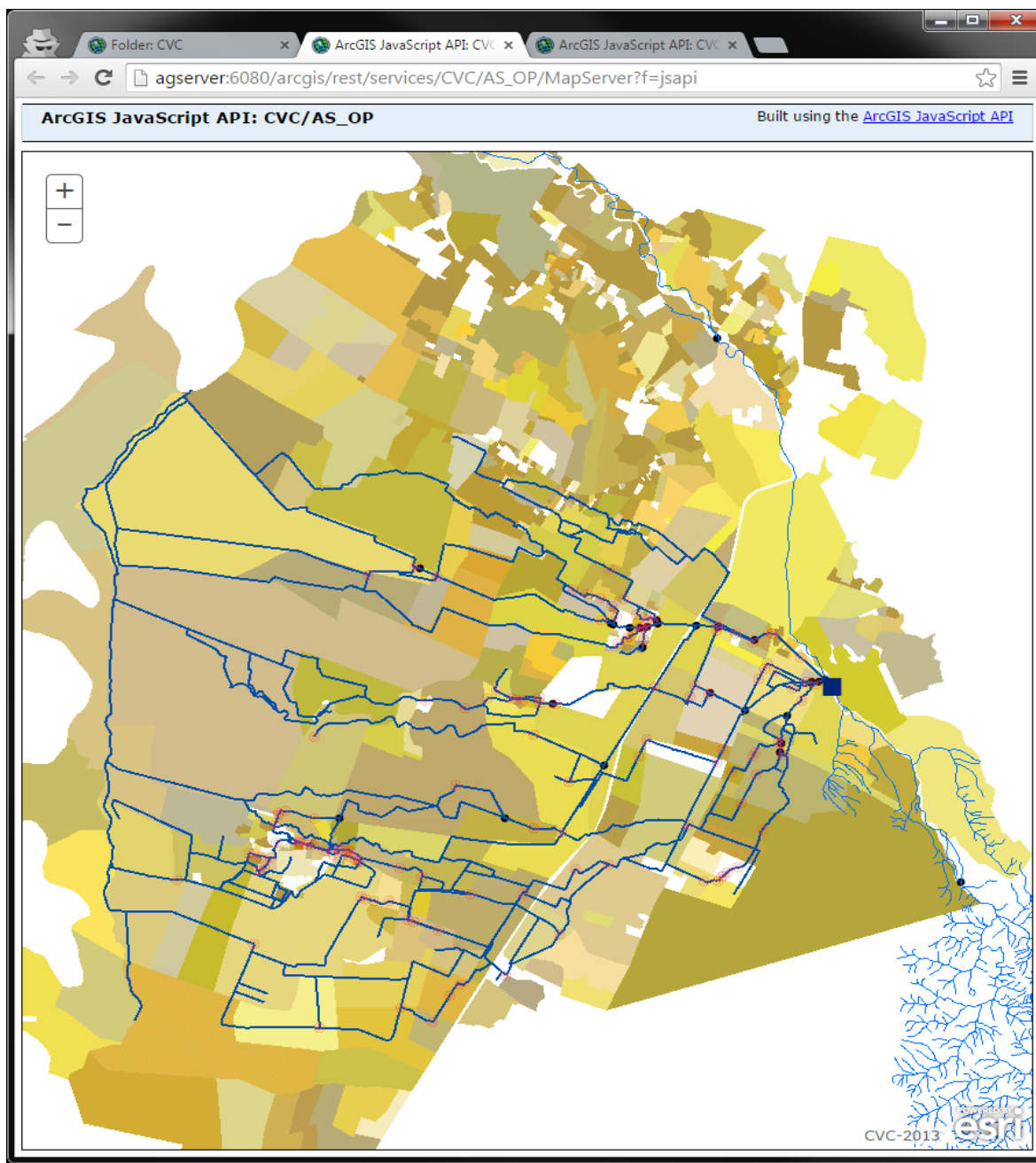
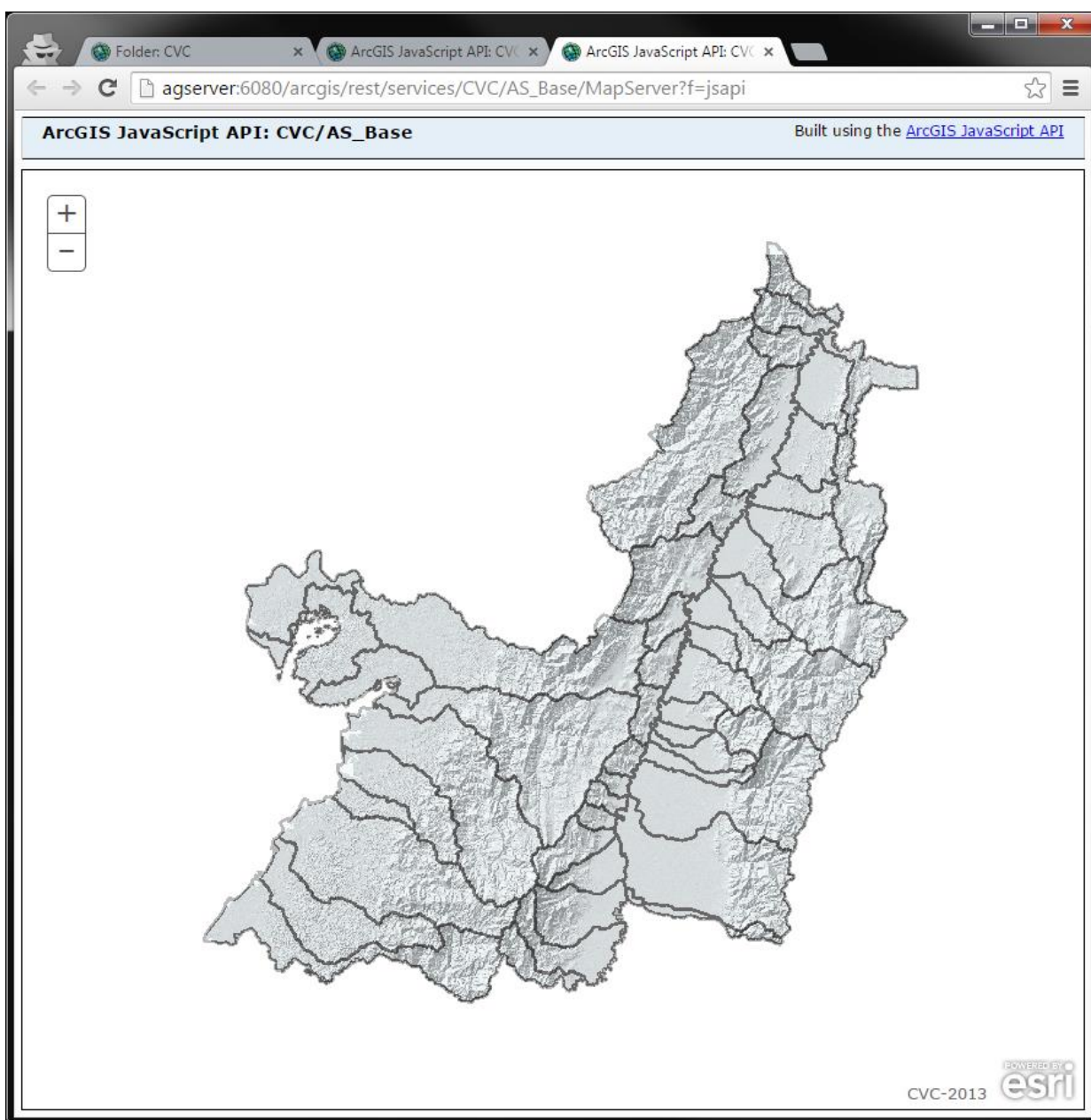


Figura 14 Servicio de mapa base visto desde un navegador web mediante la API de JavaScript

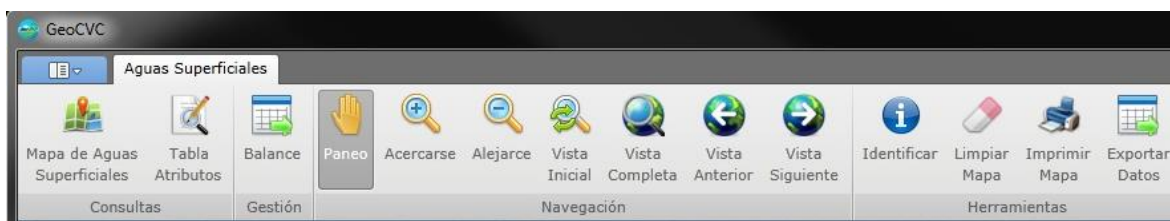


A partir del último moqup aprobado se desarrolla la aplicación geografía esta cuenta con una presentación tipo cinta, donde las herramientas se encuentran en la parte superior de la ventana esta contiene varias herramientas que serán descritas a continuación.

8.4.1 Herramientas de la aplicación

La cinta de herramientas se muestra en la Figura 15. A continuación se realiza una descripción de cada una de sus herramientas.

Figura 15 Cinta de herramientas de la aplicación



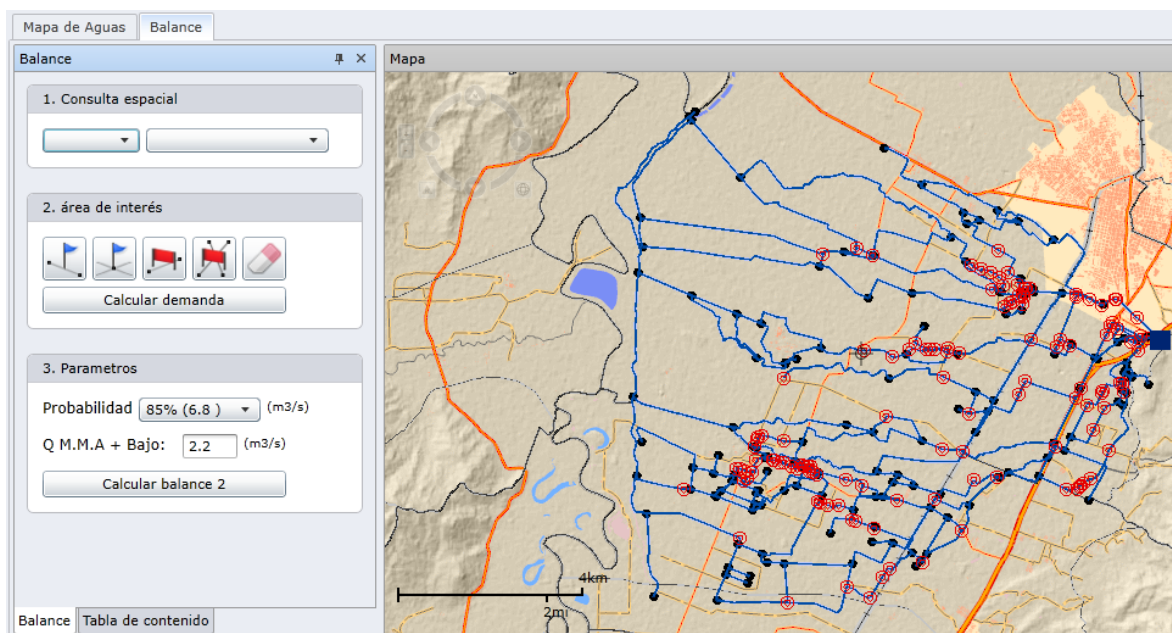
Fuente: GeoCVC

- En el grupo de herramientas de consulta el primer icono de la izquierda (Mapa de Aguas Superficiales) permite desplegar el mapa con los elementos de la hídrica superficial de manejo de la CVC. La Tabla de atributos permite consultar la información alfanumérica de cualquiera de las capas que se muestran en el mapa, permitiendo la aplicación de filtros de atributos para restringir los resultados.
- El grupo de herramientas de gestión lo compone únicamente la herramienta de Balance esta despliega un mapa que invoca la funcionalidad de trazado de red descrita a lo largo del documento.
- Las siete herramientas siguientes (paneo, acercarse, alejarse, vista inicial, vista completa, vista anterior y vista siguiente) permiten desplazarse por el área de despliegue geográfica de la aplicación.
- En el grupo de herramientas se encuentran: Identificar: permite desplegar la información tabular de forma interactiva haciendo un clic sobre el elemento de interés, Limpiar Mapa: borra cualquier tipo de operación realizada en el mapa, también se encuentran las herramientas de Imprimir Mapa o Exportar Datos.
- Hay dos grupos adicionales: Coordenadas y Buscar Dirección; los cuales permiten acercarse a un área del mapa mediante un par de coordenadas o una dirección.

8.4.2 Descripción detallada módulo de balance

A continuación, se realiza una descripción detallada de funcionalidad de balance. En la Figura 16 se puede observar los parámetros iniciales requeridos para realizar el trazado de red y el área de despliegue geográfico con los resultados gráficos.

Figura 16 Detalle del módulo de Balance

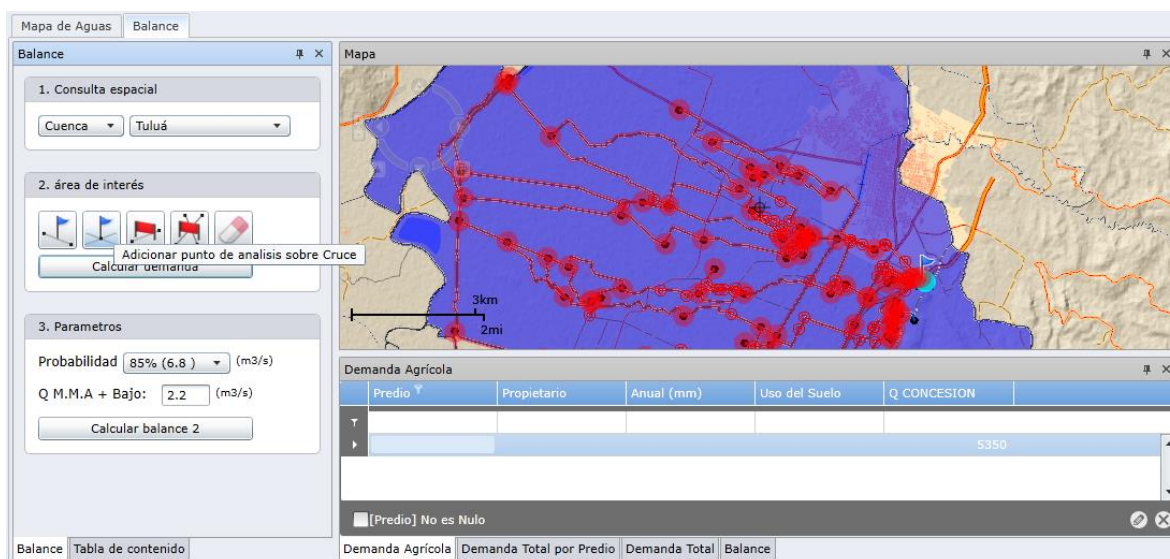


Fuente: GeoCVC

- En el área de Consulta Espacial se debe determinar la cuenca objetivo del análisis (inicialmente solo la cuenca del río Tuluá).
- En Parámetros se determina la probabilidad de ocurrencia según la curva de caudales disponible para la cuenca, la aplicación toma el 10% del caudal medio mensual multianual más bajo (QMMA+Bajo) para determinar el caudal ecológico.
- La herramienta de Área de Interés permite seleccionar un eje o una confluencia específica para que a partir de esta se realice el trazado red, si se selecciona la derivación principal se hará para toda la red de distribución.

Una vez se selecciona la red de distribución como se muestra en la Figura 17 se realizan los cálculos de demanda y balance.

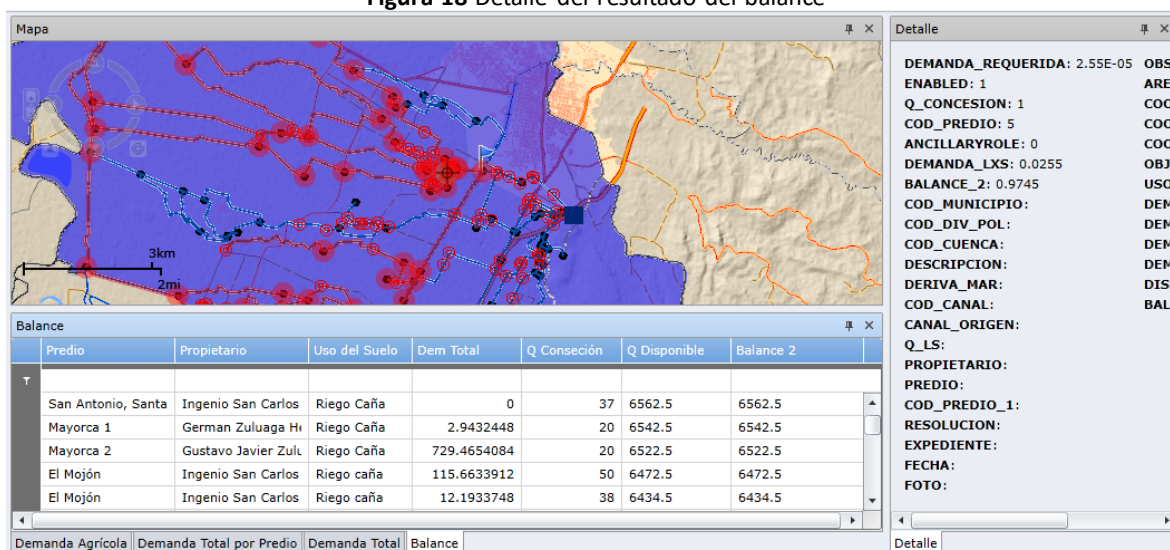
Figura 17 Red de distribución seleccionada para siguiente paso de análisis



Fuente: GeoCVC

- Luego de que se establecen las condiciones iniciales se procede al cálculo de la demanda. En la Figura 18 en la parte inferior se observa las pestañas con los cálculos aproximados de demandas agrícolas total por predio y demanda total.
- La pestaña de balance corresponde a un cálculo aproximado del balance 1 el balance 2 se obtiene mediante botón Calcular balance 2.

Figura 18 Detalle del resultado del balance



Fuente: GeoCVC

9. Resultados

Para la correcta implementación de la aplicación se realizaron ciertas operaciones a través del desarrollo e implementación de la aplicación descritas a continuación.

- Se realiza la conversión de formatos shapefiles y libros de Excel de las capas canales, drenajes, captaciones, derivaciones, predios, codificación de corrientes a Clases de entidad y tablas en la GDB corporativa.
- Se unificó el sistema de coordenadas utilizando Magna Colombia Oeste, de todas las fuentes de datos suministrados, realizando las proyecciones cartográficas correspondientes según el sistema de coordenadas en el que se encontraba originalmente la capa.
- Se realiza entrega de las capas predios y canales depuradas sin errores topológicos para la capa de canales se asegura la coincidencia geográfica con las capas de derivaciones y captaciones para la implementación de la aplicación en la cuenca del río Tuluá inicialmente.
- Se hace entrega de la codificación completa de la capa de drenajes naturales superficiales de la cuenca del río Tuluá; esta tarea se continuará realizando hasta tener todas cuencas codificadas.
- Se implementa consistencia espacial mediante la creación de la red de distribución de la zona de consumo; esto permite las operaciones de trazado y cálculo del balance oferta-demanda para elementos específicos o la red completa.
- Se desarrolla el aplicativo inicialmente para la cuenca del río Tuluá este es otro paso para integración de las temáticas ambientales de manejo de la corporación al sistema de información ambiental.

La cartografía suministrada se encuentra en coordenadas planas, con estructura vectorial y proyección Transversal de Mercator, origen oeste, en datum Bogotá y Magna – Sirgas, las escalas de las fuentes cartográficas son 1:25.000 1:50.000 y 1:500.000 esta información fue suministrada por los grupos SIA y RHS de la CVC.

Las capas que provee el grupo SIA hacen parte de la GDB corporativa de la CVC; el esquema y los elementos espaciales de estas capas fueron depuradas en las fases anteriores del SIG corporativo y no contienen errores espaciales. Para las capas proporcionadas por el grupo RHS se debe realizar un diagnóstico y corrección de errores espaciales y de atributos para el correcto trazado de red y para el buen funcionamiento de la aplicación.

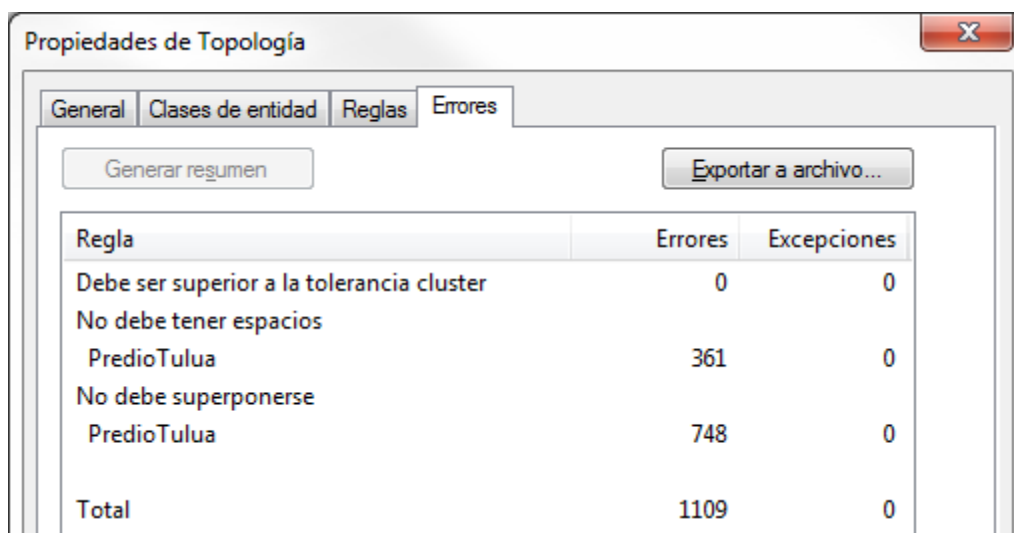
9.1 Diagnóstico preparación y corrección de errores de la información

Se procedió a revisar la información suministrada por el grupo RHS y a prepararla acorde al esquema existente en la GDB corporativa; para esto se implementa el flujo de trabajo de topología, inicialmente en una GDB de usuario; el primer paso consiste en la migración de las capas en formato shape a clases de entidad dentro de un dataset de entidades; se procede a la corrección de los errores; se encuentra que las capas con más errores espaciales son las capas de canales y de predios.

9.1.1 Capa de predios

Se encuentran errores topológicos de sobre-posición y huecos en la capa, en la Figura 19 se encuentra el reporte de los errores espaciales encontrados.

Figura 19 Reporte de errores topológicos capa de Predios



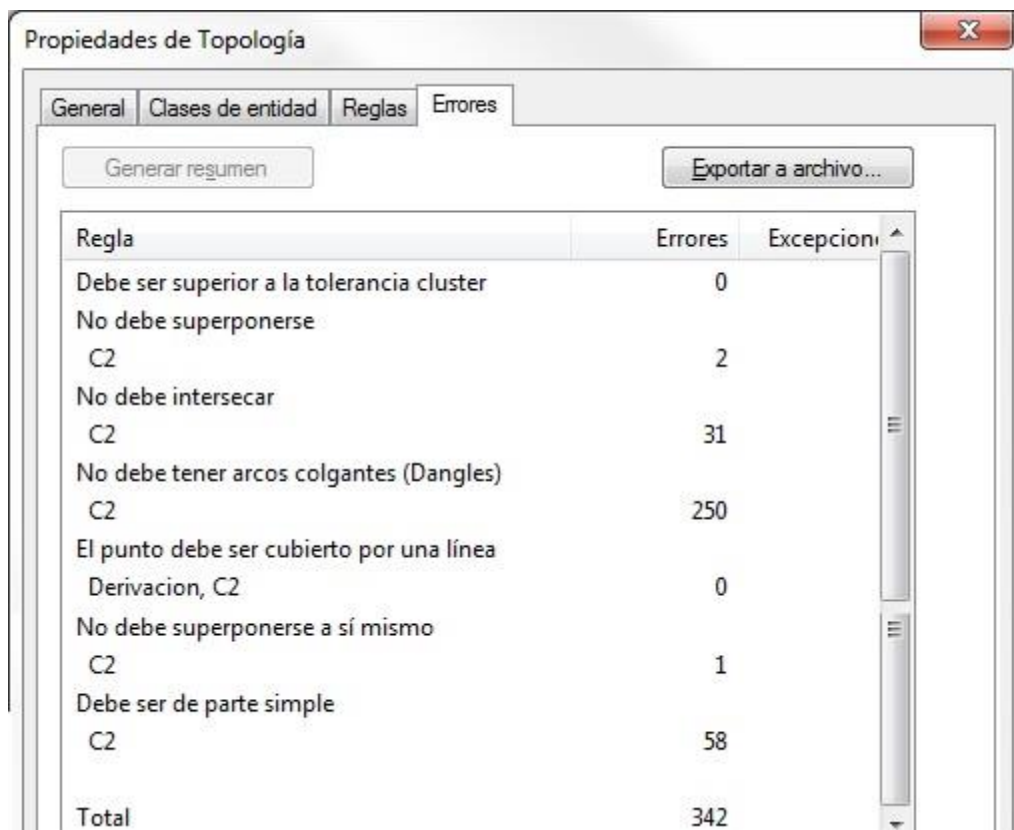
Regla	Errores	Excepciones
Debe ser superior a la tolerancia cluster	0	0
No debe tener espacios PredioTulua	361	0
No debe superponerse PredioTulua	748	0
Total	1109	0

Fuente: Cuadro de Dialogo de propiedades de topología, pestaña errores, ArcGIS Desktop

9.1.2 Capas de canales y derivaciones

Se encuentran errores topológicos de sobre-posición a otro segmento y a sí mismo, intersección, arcos colgantes y líneas multi-parte; se eliminan siete registros sin geometría con nom_drenaje = “Acequia San Antonio” de la capa; en la Figura 20 se encuentra el reporte de los errores espaciales encontrados.

Figura 20 Reporte de errores topológicos de la capa Canales



Regla	Errores	Excepciones
Debe ser superior a la tolerancia cluster	0	
No debe superponerse		
C2	2	
No debe intersectar		
C2	31	
No debe tener arcos colgantes (Dangles)		
C2	250	
El punto debe ser cubierto por una línea		
Derivacion, C2	0	
No debe superponerse a sí mismo		
C2	1	
Debe ser de parte simple		
C2	58	
Total	342	

Fuente: Cuadro de Dialogo de propiedades de topología, pestaña errores, ArcGIS Desktop

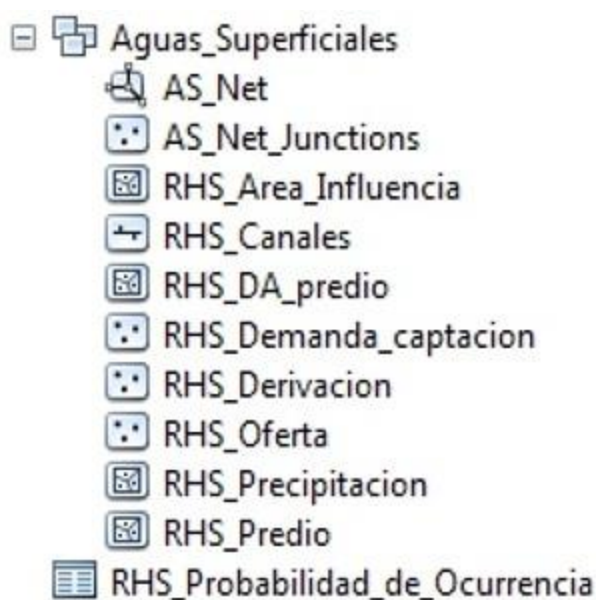
9.1.3 Codificación de corrientes

Se realizó un trabajo exhaustivo para darle una codificación a los drenajes, siguiendo los lineamientos establecidos por los funcionarios del grupo RHS

9.2 Carga en el esquema creado

Se procede a la carga de la información en el esquema creado. La Figura 21 despliega el esquema creado en una GDB de archivos antes de su carga a la GDB corporativa.

Figura 21 Esquema materializado en una GDB de archivos

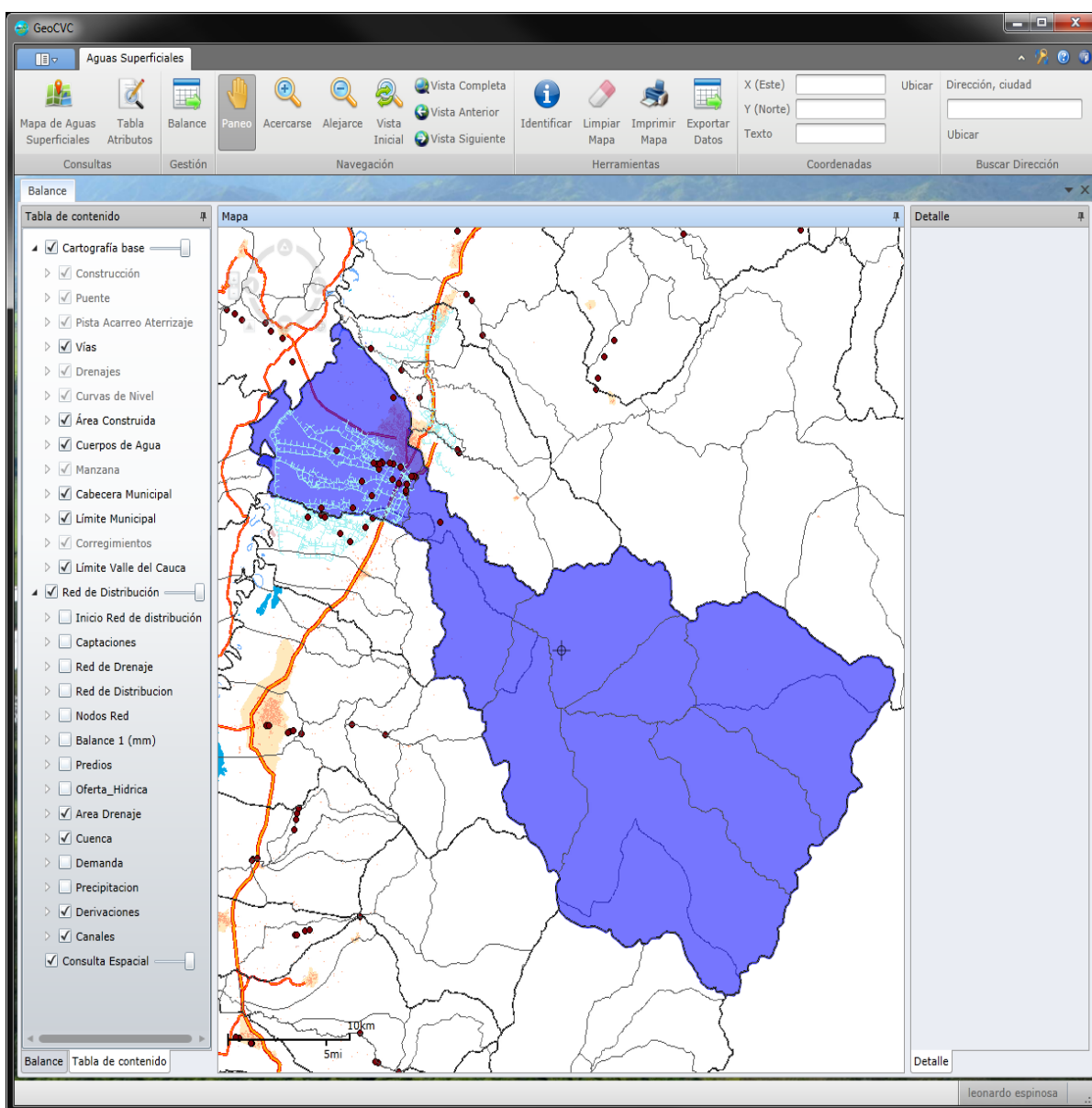


Fuente: Árbol del Catálogo, ArcGIS Desktop

9.3 Aplicación geográfica integrada a GeoSIMAS

La aplicación se encarga de realizar la sobre posición del servicio operacional sobre el servicio de mapa base, y ofrece en su interfaz unas herramientas dispuestas en una cinta, las cuales fueron descritas anteriormente, así como una aproximación balance oferta demanda inicialmente de la cuenca del río Tuluá, la Figura 22 muestra una captura de la aplicación

Figura 22 Vista de la Aplicación Geográfica



Fuente: GeoCVC, CVC

10 Recomendaciones

Se debe implementar la revisión de errores topológicos para la capa de predios en especial la comprobación de sobre-posición y huecos, para los predios de las cuencas subsiguientes; dejar de utilizar el formato shape y en vez de este utilizar la GDB para el almacenamiento de la capa, debido a que este no permite comprobar la consistencia espacial.

Se debe implementar revisión topológica en conjunto, para las capas de Canales, Derivación y Captación; antes de incluir estos elementos a la red geométrica, esto con el propósito de comprobar errores de sobre-posición a otro segmento y a sí mismo, intersección, arcos colgantes y debe ser de parte simple, que afectan la conectividad de la red.

Mantenimiento de la aplicación geográficaMLa efectividad de aplicación geográfica dependerá en gran medida de que tan actualizados estén los datos que esta despliega, una primera instancia se integraran las demás cuencas hidrográficas a la aplicación esta es una gran tarea que se realizara cuenca a cuenca, luego de esto se tendrá que realizar la actualización de las clases de entidad en la GDB, para esta tarea se definieron las responsabilidades a la hora de mantenimiento y actualización de las capas temáticas empleadas para el cálculo del balance oferta - demanda en las cuencas del departamento del Valle del Cauca una vez sean añadidas a la base de datos. Por tanto se recomienda un mantenimiento cuando OTI ()

La Oficina de Tecnologías de la Información_OTI deberá encargarse del mantenimiento del servidor de base de datos y del servidor de servicios geográficos y de aplicaciones, también de la intranet corporativa, y la salida a la web de la aplicación geográfica; el Grupo SIA (Sistema de Información Ambiental)

se encargará del mantenimiento de las capas generales empleadas en el mapa base y otra información temática de referencia que es de interés para toda la CVC, en particular las capas de cuencas, uso actual y potencial precipitación, los dominios

de divisiones políticas y de la GDB en general y el mantenimiento de los servicios geográficos que consume la aplicación y el Grupo RHS (Recursos Hídricos Superficiales) se encargará, empleando ArcGIS Desktop, del mantenimiento de las capas temáticas que modelan el recurso hídrico superficial: RHS_predios, canales, derivaciones, captaciones, así como la red de drenaje natural y su codificación, esto se realizara

11 Conclusiones

Con el desarrollo de la aplicación geográfica se incorpora la información temática de recursos hídricos superficiales a la GDB de la corporación, dando orden y unificando el esquema que será utilizado por el grupo de recursos hídricos evitando la duplicidad de información que tenían en un principio.

Se creó una aplicación que tiene el componente geográfico como núcleo principal, y se eliminó la barrera que no permitía la integración con el sistema de información corporativo; se reemplazó la anterior aplicación SIMASII la cual era obsoleta.

Se creó una aplicación que posee varias herramientas útiles para los usuarios finales con una interfaz gráfica atractiva y bastante funcional que brinda información completa tanto espacial como de atributos de los recursos hídricos superficiales.

12. Bibliografía

1. Ayuda de ArcGIS. ¿Que son las redes geométricas? [Online]. Redlands, California: Esri, mayo de 2014 [citado 20 enero,. 2015], Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/na/002r00000001000000/>
2. Ayuda de ArcGIS, “¿Que es una geodatabases?” [Online]. Redlands, California: Esri, abril de 2014 [citado 20 enero,. 2015], Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/na/003n00000001000000/>
3. BUSTAMANTE, Daniel. Reglamentación de Corrientes superficiales en la parte técnica para la gestión del recurso hídrico, Medellín 2008, 230 p. Tesis de Grado (Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente
4. CAPONERA, Dante. Principios de derecho y administración de aguas, Universidad Externado de Colombia, 2014, 576p ISBN: 9789587722123
5. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia, 2010. 124 p. ISNB: 978-958-8491-35-6
6. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC (2002). Manual de Procedimiento para el Cálculo del Balance Oferta-Demanda de Agua Segunda versión. Cali – Colombia. 47 p.
7. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC (2003). “Balance Oferta-Demanda Cuenca del río Tuluá”. Orden de trabajo No. 4527. Cali – Colombia. 38 p.
8. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC Universidad del Valle (2000). “Demanda hídrica. Proyecto metodología para la distribución del recurso hídrico en el Valle del Cauca (PMD)”. Cali – Colombia.
9. DOORENBOS, J. y PRUITT, W.O. “Las necesidades de agua de los cultivos”, 1986. Estudio FAO: Riego y Drenaje no. 24, Roma, 194 p. ISBN 92-5-300136-4
10. MAIDMENT, David R. Arc Hydro, GIS for Water Resources. Redlands, California EE.UU. ESRI Press 2002, 208 p. ISBN 978-1-58948-034-6
11. Mapas y Datos. Manual de Usuario SIMASII Módulos: Actualización de Datos Hidro-climatológicos (ADHI), Demanda, Balance, Reglamentación. Bogotá – Colombia 2000.

12. FU Pinde y SUN Jiulin. Web GIS Principles and Applications. Redlands, California EE. UU. ESRI Press, 2011, 296 p. ISBN 978-1-58948-245-6
13. OJEDA Eduardo y ARIAS Raúl. Informe Nacional Sobre la Gestión del Agua en Colombia. [Archivo PDF] [Online] Enero del 2000, 77 p. Disponible en: <http://www.eclac.cl/cgi-bin/getProd.asp?xml=/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23345/P23345.xml&xsl=/samtac/tpl/p38f.xsl&base=/samtac/tpl/top-bottom.xslt>
14. Salkind, N. J. (1998). Métodos de Investigación (3º ed.). México: Prentice Hall. 380 p.
15. UNESCO Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe - ROSTLAC, "Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur ", Montevideo – Uruguay 1982. 147 p. ISBN: 92-3-302074-6
16. Wikipedia. Servicio Web [Online]. abril de 2015 [citado 27 abril,. 2015], Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Servicio_web