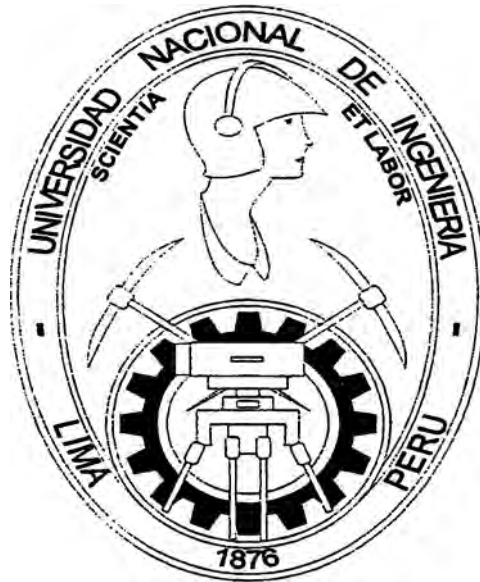


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE LA  
INGENIERIA HIDRAULICA MEDIANTE EL USO DE  
LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**NILTON ERNESTO RIVAS OYOLA**

**LIMA-PERU**

**2007**

## RESUMEN

La Tesis desarrolla y establece los fundamentos necesarios que le permitirán al Ingeniero Civil especializado en Hidráulica utilizar efectivamente los Sistemas de Información Geográfica, para el planeamiento, diseño y gestión de los recursos hídricos; obteniendo así un mejor rendimiento en el desarrollo de los proyectos, adecuando esta nueva herramienta al ejercicio profesional.

Para lograr el objetivo, se ha realizado una investigación desde los orígenes, evolución, situación actual y las tendencias de los sistemas de información geográfica en lo relacionado con ingeniería hidráulica, asimismo se ha logrado desarrollar una herramienta de aplicación directa en la elaboración de un proyecto de ingeniería.

El tema de aplicación de los Sistemas de Información Geográficos es amplio, pero se ha centralizado en las herramientas que pueden ser útiles, desde la visión del Tesista, para el desarrollo de un Ingeniero Civil en la Especialidad de Hidráulica. Se ha dedicado el segundo capítulo de la tesis a desarrollar ejemplos simples para mostrar lo que básicamente se puede hacer con un SIG, mostrando la potencialidad de cálculo con respecto a los procesos actuales, por ejemplo y cálculo de una curva hipsométrica es definida por simples procesos de álgebra de raster.

En el desarrollo de la Tesis, se recopiló información de las necesidades y de los esfuerzos que viene realizando el Estado para crear una Infraestructura de Datos Espaciales del Perú. Esta tendencia es mundial, y países como Brasil, Argentina y Chile nos llevan la delantera. En el Perú se han dado los primeros pasos, nombrando comisiones de levantamiento de información de las instituciones que producen datos espaciales, y lo más importante es creando la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP), que es un organismo formado por representantes de los principales instituciones estatales productores de información geográfica. Esta depende de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM) y tiene como función principal establecer los lineamientos, normas, estándares y a cargo la creación y difusión de una Infraestructura Nacional de Datos Espaciales (INDE). Sin embargo consideramos que esta en sus primeras etapas de desarrollo, siendo así que en el presente año se lanzó un proyecto piloto entre cuatro dependencias (SENAMHI, MTC, INRENA, INGEMMET) con información muy limitada.

En nuestro país, el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), es el principal productor de información relacionada con SIG en el área de gestión de recursos hídricos. Ha adoptado y oficialmente incorporado el Sistema de Codificación de Cuencas Hidrográficas (método Pfafstetter), el cual debemos adoptar como parte de la estandarización del INDE. En Brasil se ha tomado este sistema de codificación. El método de codificación trabaja por niveles, América del Sur es el Nivel 1, y el nivel de nuestros ríos de la costa llegan a ser nivel 7. INRENA ha desarrollado la delimitación y codificación de cuencas en el Perú hasta este nivel.

Se desarrolla el cuarto capítulo para visualizar las Perspectivas actuales del SIG en Ingeniería Hidráulica. La tendencia del mundo hace muchos años es a la globalización, pronto se verá el Google Earth en un celular, y en línea indicando su posición. En Ingeniería Hidráulica también sucede una tendencia hacia el SIG, tanto en la administración de datos, como en los procesos propios de ingeniería. Los programas de CAD tienden a incorporar herramientas de SIG.

La necesidad de una estructura de base de datos estándar es prioritaria para atender la gran cantidad de usuarios. El modelo de datos Archydro hace su aparición, conjuntamente con sus herramientas que son de gran ayuda para el ingeniero especializado en Hidráulica. El Tesista ha analizado su potencial y evaluado sus herramientas, y considera que realizando algunas modificaciones puede adoptarse como un modelo de datos estándar para almacenar la información generada en Ingeniería Hidráulica.

En el cuarto capítulo se realiza siete propuestas para el desarrollo de la ingeniería hidráulica mediante SIG. La primera es una propuesta básica que define los lineamientos para el desarrollo paralelo de áreas de estudio sin duplicar esfuerzos, la segunda es para la definición de un modelo de datos, en este caso el Archydro, el tercero es un planteamiento para la enseñanza de conocimientos básicos de estas herramientas en la facultad, la cuarta es una propuesta para la determinación de caudales máximos en cuencas mediante modelación hidrológica, la quinta es la normalización de los sistemas de referencia, la sexta es una propuesta para la construcción de un mapa de proyectos desarrollados en el Perú mediante la publicación de los resultados de estudios desarrollados y la última son los temas en los que se debe incidir para continuar con el desarrollo de la ingeniería hidráulica mediante SIG.

Cuando se dio inicio a esta tesis, nuestra propuesta principal era implantar los conocimientos básicos de SIG desde los cursos de hidrología en la FIC de manera de que el conocimiento impartido sea inherente al manejo de los recursos hídricos, el cual considero haber logrado con esta tesis. El fomentar el uso del SIG desde los cursos de Hidrología de la Universidad, bajo un patrón de datos estándar, nos permitirá implementar una gran base de datos nacional.

En el Quinto Capítulo, se desarrolla un ejemplo aplicativo de un sistema de drenaje de carreteras donde se muestra el potencial del SIG en ingeniería Hidráulica, aplicando la metodología planteada en la propuesta del cuarto capítulo.

La conclusión de esta Tesis es que el Ingeniero del futuro debe incorporar a su formación básica los conocimientos de los Sistemas de Información Geográfica, sin limitarse a ser un usuario. Los sólidos conocimientos adquiridos por los alumnos de FIC mas esta poderosa herramienta multiplica las posibilidades de aplicación y es una necesidad estratégica para el desarrollo de nuestro país, ya que los ingenieros civiles y en especial los hidráulicos son los verdaderos constructores del país.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPITULO I : ORIGEN Y EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 GENERALIDADES</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 DESARROLLO DE LOS SIG</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 DIFERENCIAS ENTRE SIG Y CAD</b> .....	<b>20</b>
<b>1.4 UTILIZACIÓN ACTUAL DEL SIG</b> .....	<b>22</b>
<b>1.5 INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES</b> .....	<b>25</b>
<b>1.5.1 Infraestructura de datos espaciales de otros países</b> .....	<b>25</b>
<b>1.5.2 Infraestructura de datos espaciales en el Perú</b> .....	<b>26</b>
<b>CAPITULO II: FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1 GENERALIDADES</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2 LA INGENIERÍA HIDRÁULICA Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3 DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS</b> <b>34</b>	
<b>2.4 PRESTACIONES RELACIONADAS CON INGENIERIA</b> .....	<b>35</b>
<b>2.4.1 Posicionamiento de un Objeto</b> .....	<b>35</b>
<b>2.4.2 Relación entre Objetos</b> .....	<b>37</b>
<b>2.4.3 Area de influencia o radio de acción de objetos</b> .....	<b>39</b>
<b>2.4.4 Distribución de parámetros en el espacio</b> .....	<b>42</b>
<b>2.4.5 Parámetros geográficos de los objetos</b> .....	<b>45</b>
<b>2.4.6 Zonificación</b> .....	<b>48</b>



<b>2.4.7</b>	<b>Análisis Espacial.....</b>	<b>52</b>
<b>2.4.8</b>	<b>Disponibilidad de información.....</b>	<b>59</b>
<b>2.4.9</b>	<b>Presentación de resultados .....</b>	<b>63</b>
<b>2.4.10</b>	<b>Modelación hidrológica .....</b>	<b>65</b>
<b>2.5</b>	<b>COMPONENTES .....</b>	<b>69</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Equipos de computo (Hardware).....</b>	<b>69</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Software .....</b>	<b>69</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Datos .....</b>	<b>70</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Recursos humanos .....</b>	<b>71</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Procedimientos .....</b>	<b>71</b>
<b>2.6</b>	<b>PROCEDIMIENTOS Y FUNCIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>CAPITULO III: SITUACION DEL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG) EN EL PERU .....</b>		<b>74</b>
<b>3.1</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>74</b>
<b>3.2</b>	<b>INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES EN EL PAÍS ..</b>	<b>75</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Instituto Geográfico Nacional (IGN).....</b>	<b>81</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA).....</b>	<b>84</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) .....</b>	<b>87</b>
<b>3.3</b>	<b>PLAN PARA LA IMPLEMENTACION Y DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DEL PERU (IDEP) ...</b>	<b>89</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Principios Básicos.....</b>	<b>91</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Componentes.....</b>	<b>91</b>
<b>CAPITULO IV: PERSPECTIVAS Y PROPUESTAS DE LA APLICACIÓN DEL SIG EN INGENIERIA HIDRAULICA .....</b>		<b>94</b>
<b>4.1</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>94</b>
<b>4.2</b>	<b>PERSPECTIVAS DEL SIG EN INGENIERIA HIDRAULICA .....</b>	<b>95</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Modelo de Datos. ....</b>	<b>99</b>

<b>4.2.2</b>	<b>Desarrollo de librerías para aplicaciones en hidráulica e hidrología.....</b>	<b>105</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Descripción de aplicaciones conocidas en Ingeniería Hidráulica.....</b>	<b>107</b>
4.2.3.1	Identificación y Definición de Sistemas de Drenaje mediante el uso de ArcInfo.	107
4.2.3.2	Identificación y Definición de Sistemas de Drenaje utilizando el ArcHydro.	116
4.2.3.3	Análisis de Ríos y Puentes .....	119
4.2.3.4	Drenaje de Carreteras .....	121
4.2.3.5	Otras Aplicaciones conocidas del SIG .....	122
<b>4.3</b>	<b>PROPUESTA DE LA APLICACIÓN DE SIG EN INGENIERÍA HIDRÁULICA .....</b>	<b>123</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Principios y Objetivos de la IDEP .....</b>	<b>123</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Propuestas Generales o Directivas.....</b>	<b>124</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Propuesta de Modelo de Datos para Ingeniería Hidráulica (Área Institucional).....</b>	<b>125</b>
4.3.3.1	Modo de Difusión.....	127
4.3.3.2	Fines.....	128
4.3.3.3	Metas.....	128
<b>4.3.4</b>	<b>Propuesta de Enseñanza de SIG en la UNI – FIC (Área Académica).....</b>	<b>129</b>
4.3.4.1	Conocimientos Básicos .....	130
4.3.4.2	Modo de Difusión.....	130
4.3.4.3	Fines.....	131
4.3.4.4	Metas.....	131
<b>4.3.5</b>	<b>Propuesta de para la Determinación de caudales de máximos avenidas por cuencas mediante el SIG en la UNI – FIC (Área Académica) .....</b>	<b>133</b>
4.3.5.1	Modo de Desarrollo .....	133
4.3.5.2	Modo de Difusión.....	135
4.3.5.3	Fines.....	135
4.3.5.4	Metas.....	135
<b>4.3.6</b>	<b>Propuesta para la Normalización del Sistema de Referencia (Área Institucional).....</b>	<b>136</b>
4.3.6.1	Modo de Desarrollo.....	136
4.3.6.2	Modo de Difusión.....	136
4.3.6.3	Meta.....	136
<b>4.3.7</b>	<b>Propuesta para la Publicación de Metadatos después del desarrollo de estudios de ingeniería (Área Institucional) .....</b>	<b>137</b>
4.3.7.1	Modo de Desarrollo.....	137
4.3.7.2	Modo de Difusión.....	139
4.3.7.3	Meta.....	139
<b>4.3.8</b>	<b>Propuesta para la Implementación de Futuros Trabajos en SIG para el desarrollo de Ingeniería Hidráulica (Área Académica).....</b>	<b>140</b>
4.3.8.1	Modo de Desarrollo .....	140
4.3.8.2	Modo de Difusión.....	141
4.3.8.3	Meta .....	141

**CAPITULO V: MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE  
CARRETERAS APLICANDO HERRAMIENTAS SIG..... 142**

**5.1 GENERALIDADES ..... 142**

**5.2 DESARROLLO DEL EJEMPLO APLICATIVO ..... 143**

**5.2.1 Recopilación de Datos..... 144**

**5.2.2 Ubicación espacial ..... 146**

**5.2.3 Construcción del DEM (Digital Elevation Model)..... 148**

**5.2.4 Identificación de puntos de drenaje ..... 149**

**5.2.5 Adquisición de datos pluviométricos..... 151**

**5.2.6 Hidrología estadística ..... 151**

**5.2.7 Delimitación de cuencas..... 152**

**5.2.8 Extracción de parámetros ..... 154**

**5.2.9 Selección de método de análisis ..... 158**

**5.2.10 Construcción de modelo hidrológico ..... 158**

**5.2.11 Construcción de modelo meteorológico ..... 160**

**5.2.12 Simulación hidrológica..... 161**

**5.2.13 Validación y calibración de resultados ..... 162**

**5.2.14 Presentación de resultados..... 163**

**5.2.15 Publicación de resultados ..... 165**

**5.2.16 Modelación Hidráulica ..... 167**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 170**

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXO A: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MEDIANTE  
ARCHYDRO**

**ANEXO B: PROGRAMA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO  
HIDROLÓGICO EN HMS DESDE ARCHYDRO**

## **LISTA DE FIGURAS**

**Figura N° 1. Ubicación del departamento de Cuzco dentro de la base de datos de departamentos del Perú. El ítem resaltado es el departamento de Cuzco.**

**Figura N° 2. Ubicación del Distrito de Anta, del Departamento de Cusco, en la Base de Datos de Límites Políticos del Perú.**

**Figura N° 3. Ubicación de la Zona de Estudio, ubicada en el Distrito de Santa Cruz, del Departamento de Cajamarca, en la Base de Datos de Límites Políticos del Perú.**

**Figura N° 4 Se muestra el proceso de intersección entre la Quebrada Ingenio con las Provincias de Cajamarca.**

**Figura N° 5. Se muestra la ubicación de las Estaciones Pluviométricas en las Provincias de Cajamarca.**

**Figura N° 6. Se muestra la ubicación de la Estaciones Pluviométrica que se encuentra dentro del radio de 10Km de la Quebrada Ingenio.**

**Figura N° 7. Se muestra la distribución de las elevaciones en las Provincias de Cajamarca mediante un TIN (Triangular Irregular Network)**

**Figura N° 8. Se muestra el DEM de las Provincias de Cajamarca**

**Figura N° 9. Se muestra las cuencas de la Provincia de Pangoa y los parámetros de las cuencas que el Arc Gis ha reconocido de acuerdo a la información brindada.**

**Figura N° 10. Se muestra el cálculo de las áreas de las cuencas de la Provincia de Pangoa**

**Figura N° 11. Se muestra la salida del cálculo de las áreas de las cuencas de la Provincia de Pangoa**

**Figura N° 12. Se muestra las cuencas de la Provincia de Pangoa en el Departamento de Junín.**

**Figura N° 13. Se muestra la clasificación que se pretende realizar con el fin de zonificar las cuencas de la Provincia de Pangoa en el Departamento de Junín.**

**Figura N° 14. Se muestra la zonificación de las cuencas de la Provincia de Pangoa en el Departamento de Junín de acuerdo a la ubicación de las Estaciones Pluviométricas.**

**Figura N° 15. Se muestra la zonificación de las áreas de las cuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.**

**Figura N° 16. Se muestra la zonificación con respecto a las altitudes de las cuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.**

**Figura N° 17. Se muestra la zonificación con respecto a la clasificación de las alturas de las cuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura con respecto a las alturas de las Estaciones Pluviométricas.**

**Figura N° 18. Se muestra la conversión de las imágenes a polígonos, que son más manejables por el Arc Gis.**

- Figura N° 19. Se muestra el proceso de intersección de los polígonos con las elevaciones de las Estaciones Pluviométricas.**
- Figura N° 20. Se muestra el resultado del proceso de intersección de los polígonos con las elevaciones de las Estaciones Pluviométricas y la tabla obtenida.**
- Figura N° 21. Se muestra las divisiones de la Carta Nacional plasmados en el Arc Gis.**
- Figura N° 22. Se muestra en que carta se encuentra la Provincia de Huaraz y la ubicación de las vías y ríos principales.**
- Figura N° 23. Se muestra los datos de la carretera indicada.**
- Figura N° 24. Se muestra los datos del río indicado.**
- Figura N° 25. Se muestra los datos posibles de identificar con una herramienta sencilla del Arc Gis.**
- Figura N° 26. Se muestra los resultados obtenidos en Tablas.**
- Figura N° 27. Se muestra los resultados representados en Esquema.**
- Figura N° 28. Se muestra las curvas de nivel de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.**
- Figura N° 29. Se muestra los ríos, quebradas y la delimitación de cuencas y subcuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.**
- Figura N° 30. Se muestra la red de afluentes y los caudales obtenidos de los ríos y quebradas existentes en la Zona de Estudio.**
- Figura N° 31. Componentes del SIG**
- Figura N° 32. Secuencia de un análisis con un Sistema de Información Geográfica.**
- Figura N° 33. Organigrama del Instituto Geográfico Nacional. Fuente: IGN.**
- Figura N° 34. Organigrama del INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES**
- Figura N° 35. Mapa de la delimitación de cuencas del Perú. Fuente INRENA**
- Figura N° 36. Delimitación de cuencas de América del Sur mediante el método PFAFSTETTER, Nivel 1. Fuente INRENA**
- Figura N° 37. Delimitación de cuencas por el método Pfafstetter. Nivel 3.**
- Figura N° 38. Organigrama del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.**
- Figura N° 39. Organigrama del IDEP**
- Figura N° 40. Sistema de información Hidrológica, enlace entre modelos matemáticos y el SIG (ArcHydro Geodatabase). Fuente ESRI.**
- Figura N° 41 Integrando los datos usando un modelo de Comportamiento. Fuente: Austin, Texas.**
- Figura N° 42. Capas o Layers de información que utiliza el ArcHydro Model.**
- Figura N° 43. Componentes del ArcHydro para análisis de Hidrología e Hidráulica.**
- Figura N° 44 Esquema de Almacenamiento del ArcHydro.**

- Figura N° 45 Esquema de Sistema de Drenaje.**
- Figura N° 46. Esquema de un DEM para una cuenca.**
- Figura N° 47. Diagrama de Flujo para la determinación de Límites de Área y cauces. Fuente Archydro.**
- Figura N° 49. Acumulación de Flujos desde el DEM.**
- Figura N° 50. Delimitación de cuencas y sub cuencas a partir de un DEM.**
- Figura N° 51. Esquematzación de los resultados de los procedimientos del Archydro Tools a partir de un DEM (Digital Elevation Model).**
- Figura N° 52. Resultados que se pueden obtener con el Archydro, teniendo la superficie previamente definida en un DEM (Digital Elevation Model).**
- Figura N° 53. Interfase grafica del HEC-RAS.**
- Figura N° 54. Proceso desarrollado por el geoRAS. En la vista de modelado se aprecia una ventana del HEC-RAS (superior derecha), el preproceso, post proceso y visualización se desarrolla en SIG.**
- Figura N° 55. Resultados del modelamiento de cuencas para drenaje de carreteras.**
- Figura N° 56. En la Izquierda se muestra la difusión del conocimiento desde la FIC hacia los estudiantes, y en la derecha la interrelación ideal del conocimiento entre la Universidades y Diferentes entidades.**
- Figura N° 57. Diagrama de flujo de la secuencia del Modelamiento de una cuenca.**
- Figura N° 58. Mapa de Ubicación de la via Buenos Aires – Canchaque. Se ubica el area de cuenca y las hojas del IGN que se necesitaran para el desarrollo del ejemplo aplicativo.**
- Figura N° 59. Ubicación de estaciones según SENAMHI.**
- Figura N° 60. Ubicación de espacial de estaciones.**
- Figura N° 61. DEM generado desde las curvas de nivel, cotas y rios, d la carta nacional.**
- Figura N° 62. Delimitación de Cuenca de acuerdo a los puntos de drenaje.**
- Figura N° 63. Inicio del proceso de delimitación, con la construcción de muros en el borde de la cuenca.**
- Figura N° 64. Fin del Proceso de delimitación y construcción de la red o sistema de drenaje.**
- Figura N° 65. Distribución espacial del numero de curva.**
- Figura N° 66. Distribución espacial de la influencia de las cuencas.**
- Figura N° 67. Rutina desarrollada para el calculo de parámetros hidrológicos.**
- Figura N° 68. Hoja de calculo para construcción del modelo en HMS.**
- Figura N° 69. Esquema de un tramo de la cuenca del rio Piura implementada en HMS**
- Figura N° 70. Parámetros de la hoja de calculo pasados desde ArcGIS -> Excel -> HMS.**

**Figura N° 71. Implementación del modelo metereologico en HMS.**

**Figura N° 72. Resultados del modelamiento hidrológico.**

**Figura N° 73. Presentación de la simulación hidrológica para un periodo de retorno de 50 años.**

**Figura N° 74. Imagen del cruce de la via con el Rio Serran. Fuente Google Earth.**

**Figura N° 75. Modelamiento mediante HEC-RAS.**



## **LISTA DE TABLAS**

**Tabla 1. Lista de principales plataformas de Sistemas de Información Geográfica (fuente wikipedia).**

**Tabla 2. Porcentaje de área de acuerdo a la altitud.**

**Tabla 3. Ubicación de Estaciones**

**Tabla 4. Cuencas Identificadas para el calculo de caudal de diseño.**

**Tabla 5. Ocurrencia del Fenómeno del Niño en Estaciones**

**Tabla 6. Valores de Precipitaciones Recomendadas para el Diseño**

**Tabla 7. Caudales de salida usando el programa HEC-HMS en las 21 cuencas del estudio.**

## INTRODUCCIÓN

La tesis busca fijar y desarrollar los fundamentos para que le permitan al Ingeniero Civil especializado en Hidráulica utilice los Sistemas de Información Geográfica, para el planeamiento, diseño y gestión de los recursos hídrico.

Desde la llegada de la computadora hace varias décadas, se ha evolucionado grandemente la metodología de los trabajos de ingeniería, acelerando y mejorando los procesos de cálculo. Es así, que a la fecha no existen profesionales que no tengan un conocimiento básico de computación (procesadores de Texto y las Hojas de Calculo). Para los ingenieros lo básico es tener conocimiento de herramientas diseño (CAD), y actualmente los Sistemas de Información Geográfica están incluidos dentro de nuestras necesidades, pero solo se tiene referencia de este, sin saber su verdadera potencialidad. Los sistemas de información geográficos son conocidos por siglas SIG en castellano, pero como se describe mas adelante, parte fundamental de esta tesis es uniformizar al patrón establecido de esta herramienta, la cual es conocida como GIS por las siglas en ingles.

En el primer capítulo se expone el origen y evolución de los sistemas geográficos, así como las necesidades de la humanidad desde tiempos remotos. En el segundo capitulo se recopila las principales características que tiene un sistema de información geográfica para el desarrollo de las actividades de ingeniería hidráulica.

En el capítulo tres se desarrolla la forma en la que se ha desarrollado el uso y la adecuación de múltiples entidades en el Perú para utilizar, almacenar y codificar la información espacial.

El cuarto capítulo comprende una visión de lo que es y rumbo que están tomando los estudios de ingeniería hidráulica con ayuda del SIG.

El sexto y último capítulo incorpora las conclusiones y recomendaciones integrales producto de la investigación.

Finalmente se anexan las salidas de los programas de cómputo, planos de cuencas y tabla de resultado de los análisis desarrollados.

# **CAPITULO I : ORIGEN Y EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA**

## **1.1 GENERALIDADES**

En el presente Capítulo, tal como indica su Título, se describirá el origen y la evolución de los Sistemas de Información Geográfica a través del tiempo y en las diferentes culturas. Se conocerán como surgieron las necesidades de información y como fue utilizada por el hombre en la medida que se desarrollaron las tecnologías en el tiempo.

En internet existe gran cantidad de información acerca de la historia y el origen de los Sistemas de Información Geográfica, por lo que trataremos de resumir la abundante información recopilada. Se observará que desde épocas muy antiguas la necesidad del hombre por referenciarse se hizo evidente cuando se realizaban actividades de exploración hacia lugares distintos al de su origen, por actividades militares en la expansión de sus dominios; así tenemos por ejemplo, a los fenicios y luego los griegos; los romanos complementaron el conocimiento adquirido y le sumaron las matemáticas logrando un avance significativo en el conocimiento del espacio geográfico, información muy útil en la expansión de su imperio.

Con los bárbaros se retrasó el avance del desarrollo de la civilización y no fue sino hasta el siglo XVIII que nuevamente se dio importancia al manejo de la información espacial. En Europa en algunos países se crearon organismos, que existen hasta la actualidad, encargados de elaborar cartas geográficas y mapas topográficos.

El conocimiento científico de la tierra y el uso de la cartografía permitió la acumulación de información espacial organizada sobre mapas base. La fotografía aérea y las imágenes de satélite permiten observar los fenómenos naturales sobre la tierra lo que hace necesario el desarrollo de tecnologías que permitan el trabajo de esta información eficientemente.

El conjunto de elementos necesarios para el manejo de la información espacial corresponde a los Sistemas de Información Geográfica formados por “objetos” relacionados entre si que permiten el manejo, uso y explotación de la información geográfica en las diferentes áreas del conocimiento donde se requiera.

El desarrollo de los SIG formalmente se da aproximadamente en la década de los 60 del siglo pasado y se empiezan a comercializar en los 80's. Este desarrollo esta muy influenciado por el uso de las computadoras y se presentan aquí las relaciones existentes y los factores de influencia resaltantes.

Como se describirá con mayor detalle el dibujo asistido por computadora (CAD) permitió un grado de acercamiento al manejo de información geográfica sin embargo, fue el desarrollo de diferentes aplicaciones de software y el incremento de las capacidades del hardware lo que impulso el nivel alcanzado en la actualidad. El futuro es muy auspicioso en cuanto a las herramientas que existirán y el potencial para la explotación de la información en beneficio del desarrollo de la humanidad. Las herramientas CAD contribuyen al desarrollo de los SIG sin embargo se detallaran las diferencias principales entre estos dos conceptos.

En la actualidad los SIG son utilizados por diferentes empresas según sus intereses comerciales principalmente, sin embargo también es necesario distinguir los esfuerzos que vienen desarrollando las entidades pertenecientes a los diferentes gobiernos en varios países conociendo el potencial que significa el uso adecuado y eficiente de la información espacial. Así tenemos por ejemplo Colombia, Chile, Venezuela y Brasil.

En nuestro país a partir del año 2003 se iniciaron actividades multisectoriales a nivel estado y organismos públicos con la finalidad de establecer la infraestructura de Datos espaciales que el país requiere para su desarrollo y explotación. Participaron entidades como INDECI, INRENA, IMARPE, entre otros.

Con la promulgación de la R.M. N° 126-2003-PCM se constituyó el Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú – IDEP. En Agosto del 2006 se presentó al Análisis del Reporte sobre la Gestión de los Datos Espaciales en las Instituciones Públicas del Perú 2005 como resultado del trabajo planificado y ejecutado por el Comité. Los miembros integrantes del Comité han sido nombrados sucesivamente y puede obtenerse mayor información sobre sus actividades en [www.idep.gob.pe](http://www.idep.gob.pe). Aquí también se encontrarán enlaces interesantes a sitios relacionados.

## 1.2 DESARROLLO DE LOS SIG

En el año 1962, en Canadá, se diseñó el primer sistema “formal” de información geográfica para el mundo de recursos naturales a escala mundial. En el Reino Unido se empezó a trabajar en la unidad de cartografía experimental. No fue hasta la época de los 80's cuando surgió la comercialización de los SIG.

Durante los años 60's y 70's se empezó a aplicar la tecnología del computador digital al desarrollo de tecnología automatizada. Excluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico; algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de información espacial, y se siguieron básicamente dos tendencias:

- Producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad grafica.
- Producción de información basada en el análisis espacial pero con el costo de una baja calidad gráfica.

La producción automática de dibujo se basa en la tecnología de diseño asistido por computador (CAD). El CAD se utilizó en la cartografía para aumentar la productividad en la generación y actualización de mapas. El modelo de base de datos de CAD maneja la información espacial como dibujos electrónicos compuestos por entidades gráficas organizadas en planos de visualización o capas. Cada capa contiene la información de los puntos en la pantalla (o píxeles) que debe “encender” para la representación por pantalla. Estos conjuntos de puntos organizados por planos de visualización se guardan en un formato vectorial.

Las bases de datos incluyen funciones gráficas primitivas que se emplean para construir nuevos conjuntos de puntos o líneas en nuevas capas y



definir un símbolo imaginado por el usuario. Por ejemplo una capa que contenga una línea vertical se puede sumar lógicamente a una capa o entidad que contenga un área circular para generar el símbolo de “phi”, definido en una nueva capa que se puede llamar “Diámetro”.

Posteriormente, a la simbología se le adicionó una variable “inteligente” al incorporar el texto, que no es otra cosa que la suma de entidades. Una similitud de esta secuencia es la definición de una recta, la cual se enuncia como un conjunto de puntos. Los textos son eso, una suma de entidades.

El desarrollo de la tecnología CAD se aplicó para la elaboración de mapas y dibujos, progresivamente esta información se utilizó optimizando el método de almacenamiento de la información cartográfica existente.

El desarrollo de muchas disciplinas requieren de la captura o digitalización de imagen para su posterior análisis y presentación de resultados (planos). Las especialidades en ingeniería civil que aprovechan al máximo las herramientas SIG son el catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros. Actualmente se ha logrado reunir el trabajo en el área de sistemas de información geográfica multipropósito, en la medida en que se están superando los problemas técnicos y mejorando los procesos de cálculo.

En los años ochenta se vio la expansión del uso de los SIG, facilitado por la comercialización simultánea de un gran número de herramientas de dibujo y diseño asistido por computadora (con siglas en inglés CAD), así como la generalización del uso de microcomputadoras y estaciones de trabajo en la industria y la aparición de las Bases de Datos relacionales (tablas con reglas entre sus campos y con registros únicos), junto a las primeras modelizaciones de las relaciones espaciales o topología. En este sentido la aparición de productos como ARC-INFO en el ámbito del SIG o

AUTOCAD en el ámbito del CAD fue determinante para lanzar un nuevo mercado de herramientas para la utilización en ingeniería. La aparición de la metodología Orientada a Objetos (OO) en los SIG, inicialmente aplicado en el ámbito militar permite nuevas concepciones de los SIG donde se integra todo lo referido a cada entidad (p.e. un polígono contiene parámetros como simbología, geometría, topología, atributos).

Luego, los Sistemas de Información Geográfica se comienzan a utilizar en cualquier disciplina que necesite la combinación de planos cartográficos y bases de datos como:

Ingeniería Civil: diseño de carreteras, presas, redes de saneamiento, embalses.

Estudios medioambientales.

Estudios socioeconómicos y demográficos.

Planificación de líneas de comunicación.

Ordenación del territorio.

Estudios geológicos y geofísicos.

Prospección y explotación de minas, etc.

Los años noventa se caracterizan por la consolidación en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales mencionados y por su expansión a nuevos campos (SIG en los negocios), propiciada por la generalización en el uso de las computadoras de gran potencia de acorde a los requerimientos del SIG.

La enorme expansión de las comunicaciones y en especial de Internet y el World Wide Web, introducen un fenómeno propio de la llamada globalización, en la que se generan grupos de usuarios que comparten experiencias y surge como en todas las áreas la necesidad de estandarizar formatos para el intercambio de información (vivimos en el mismo espacio con necesidades comunes). Los altos costos del software

hacen prosperar la idea de el código abierto y por consecuencia el Open SIG.

El incremento de la popularidad de las tendencias de programación distribuida y la expansión y beneficios de la máquina virtual de Java, permiten la creación de nuevas formas de programación de sistemas distribuidos(redes).

El Mapa del Futuro es una Imagen Inteligente en un dispositivo móvil o el comumente llamado celular. A partir de 1998 se empezaron a colocar en distintas órbitas una serie de familias de satélites que actualmente muestran en las computadoras personales fotografías digitales de la superficie de la tierra con resoluciones de acuerdo al requerimiento del estudio a desarrollar. Los costos actuales de imágenes satelitales van desde US\$4.00/km<sup>2</sup> a una resolución de 2.5m a US\$3.0/Km<sup>2</sup> a resolución 10.m, claro que por la compra de un mínimo de área de 60Kmx60km. Existen múltiples empresas de la distribución de imágenes satelitales, tales como SPOT, OrbImage, EarthWatch, Space Imaging, SPIN-2, todas trabajando bajo un mismo sistema de distribución. Curiosamente éste “Boom” de los satélites de comunicaciones, ha empujando la capacidad de ancho de banda para enviar y recibir datos, hasta el punto de que en la actualidad se habla de Internet 2.

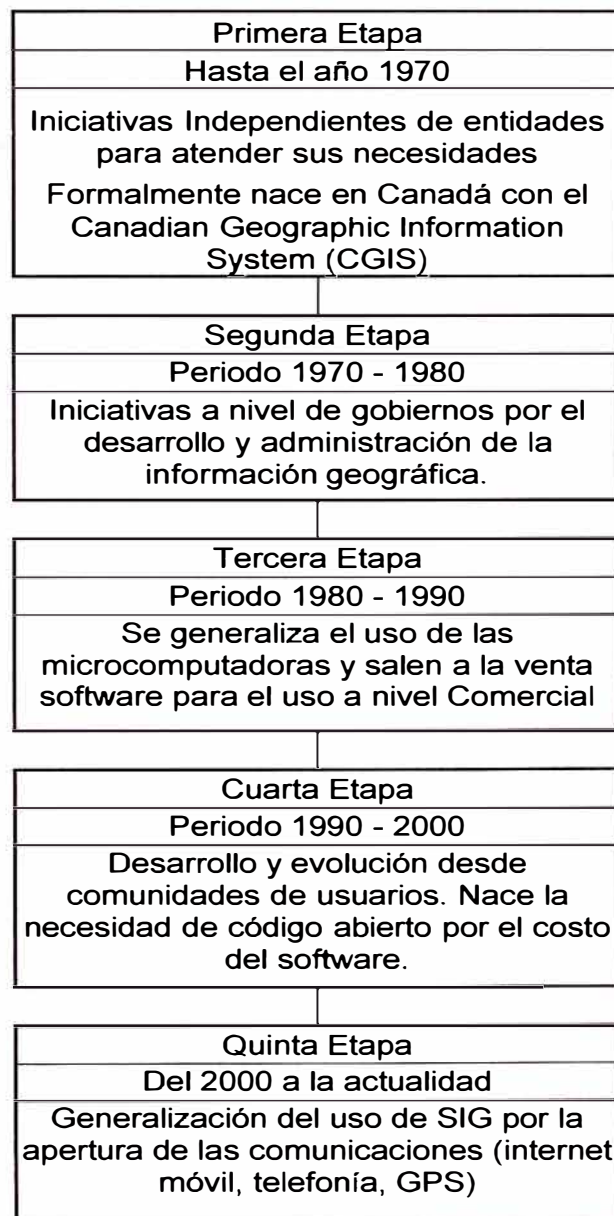
Las imágenes pancromáticas, multiespectrales, hiperespectrales, radar, infrarrojas, térmicas, crean un mundo virtual digital a nuestro alcance. Este nuevo mundo cambio radicalmente la percepción que tenemos sobre nuestro planeta.

El conocido programa “Google Earth”, nació de lo que antes solía ser el Earthview de Keyhole. Esta empresa se formo en el 2001 y en 2004 fue comprada por Google. Ahí apareció, entonces, el Google Earth que todos conocemos. Como siempre sucede, existen software similar que compiten

entre si, como es el Virtual Earth de Microsoft, el E-globe de EU, o el Geovital de España.

Actualmente al entrar a la red, escribir una dirección o un nombre de alguna persona y puede ubicar su domicilio en un mapa amigable. Los servicios móviles brindan posibilidad de localización en tiempo real, por Internet o por otro móvil.

### Diagrama de Flujo de evolución de los Sistemas de Información Geográfico



### 1.3 DIFERENCIAS ENTRE SIG Y CAD

Los sistemas CAD se basan en la computación gráfica, que se concentra en la representación y el manejo de información visual (líneas y puntos). Los SIG requieren de un buen nivel de computación gráfica, pero un paquete exclusivo para manejo gráfico no es suficiente para ejecutar las tareas que requiere un SIG y no necesariamente un paquete gráfico constituye una buena base para desarrollar un SIG.

El manejo de la información espacial requiere una estructura diferente de la base de datos, mayor volumen de almacenamiento y tecnología de soporte lógico (software) que supere las capacidades funcionales gráficas ofrecidas por las soluciones CAD. Un SIG necesita una base de datos relacional.

Los SIG y los CAD tienen mucho en común, ambos manejan la idea de referencia espacial y topología. La diferencia está en el volumen, la diversidad de información y la posibilidad de análisis de datos en un SIG.

Estas diferencias pueden ser tan grandes, que un sistema eficiente para CAD puede no ser el apropiado para un SIG y viceversa.

Actualmente la oferta de software SIG es tan grande como la de CAD, por lo que presentamos la Tabla 1.

En cuanto a lo que se refiere a CAD, los más populares actualmente son:

AutoCAD, Autodesk Inventor, Autodesk, programas de la compañía Autodesk., CATIA (programa de CAD/CAM/CAE comercial realizado por Dassault Systemes, Francia), Microstation (comercializada por Bentley, es una de las pioneras en Europa, con un costo anual de us\$1000.00),

IntelliCAD (de Bricnede España, software que cuesta unos us\$700, que nace como alternativa de autocad), Qcad (programa gratuito de código abierto disponible también en Linux), Solid Edge (programa desarrollado por Intergraph de modelamiento 3D con un costo de us\$5000 competencia de Autodesk Inventor), SolidWorks (con igual un costo de us\$5000).

**Tabla 1. Lista de principales plataformas de Sistemas de Información Geográfica (fuente wikipedia).**

Software SIG	Windows	Mac OS X	GNU/Linux	BSD	Unix	Entorno Web	Licencia de software
ArcGIS	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
Autodesk Map	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
Caris	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
CartaLinx	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
Geomedia	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
GeoServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Java	Libre: GPL
GRASS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Mediante pyWPS	Libre: GPL
gvSIG	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GPL
IDRISI	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
ILWIS	Sí	No	No	No	No	No	Libre: GPL
Generic Mapping Tools	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GPL
JUMP	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GPL
Kosmo	Java	Java	Java	Java	Java	En desarrollo	Libre: GPL
Manifold	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapGuide Open Source	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: LGPL
MapInfo	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Software no libre
MapServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: BSD
Maptitude	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapWindow SIG	Sí (ActiveX)	No	No	No	No	No	Libre: MPL
MicroStation Geographics	Sí	Abandonado	No	No	Abandonado	Sí	Software no libre
Quantum SIG	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GPL
SAGA SIG	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Libre: GPL
Smallworld	Sí	?	Sí	?	Sí	Sí	Software no libre
SavGIS	Sí	No	No	No	No	Integración con Google Maps	Software no libre: Freeware
SPRING	Sí	No	Sí	No	Solaris	No	Software no libre: Freeware
TatukGIS	Sí	No	No	No	No	?	Software no libre
TNTMips	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
TransCAD	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
uDIG	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Libre: LGPL



## 1.4 UTILIZACIÓN ACTUAL DEL SIG

Actualmente el SIG atiende requerimientos básicos a macros, desde bases de datos nacionales o empresariales, con fines comerciales o de investigación. Como ejemplo podemos citar a Telefónica del Perú que tiene el catastro de Lima y Callao y las principales ciudades del Perú en SIG, el cual ya está en la red. Las prestaciones comerciales van desde localización de puntos de venta, direcciones de clientes, seguimiento de flotas (Cruz del Sur), control de la central de llamadas, Geocenter, etc., que no son otra cosa que en términos de SIG, funciones básicas con menús atractivos y orientados a un fin. Es decir que las herramientas y métodos han sido adaptados para facilitar el seguimiento, análisis y elaboración de proyecciones de los negocios con relación a los elementos y variables que tienen una posición física en un territorio o entorno.

Las tareas que podemos describir en la aplicación SIG son:

En Logística y distribución, se optimiza la entrega de requerimientos, programación de rutas asignando sentidos de vías, tiempos de demora por tráfico, velocidades, paradas, etc. En otros países su utilización es principalmente para la atención de emergencias médicas.

Para organización se brindan soluciones que van desde un Pocket PC para la recolección de información en el terreno, optimización de recorridos, manejo de stocks entregas y pedidos en tiempo real.

Los Supermercados ahora tienen el control de su Central Telefónica, que realiza la localización exacta de una llamada (identidad, dirección y posición sobre el mapa) obtención inmediata de planos de ubicación y cálculo de itinerarios. Estas soluciones trabajan sobre arquitecturas cliente servidor e Intranet conectándose a una base de datos preestablecida.



Las decisiones actuales de los usuarios mediante SIG se basan en el análisis sobre mapas interactivos de los escenarios, segmentación de parámetros, planificación, análisis de alternativas, etc.

Los mapas pueden ser publicados en la Web, obteniéndose mapas interactivos sobre Internet, con la posibilidad de editar información y actualización en línea.

Las aplicaciones técnicas orientadas como por ejemplo en la Agricultura puede ir desde el catastro de agricultores, seguimiento de la producción, monitoreo de programas de inversión, etc.

Las aplicaciones SIG en la gestión y planificación brindan un posibilidad de control sobre cada unidad de el área analizada y una idea global de su expansión, por lo que se puede establecer prever la expansión inadecuada.

El uso de herramientas SIG permite optimizar los sistemas de planificación e información ambiental, siendo un elemento esencial para ayudar a reducir el impacto sobre el entorno que supone la construcción de infraestructuras o el desarrollo de determinadas actividades económicas.

El SIG se ha convertido en una herramienta valiosísima para de análisis que contribuyen al desarrollo y la atención de los problemas nacionales. Esto debido que cada localidad, departamento, provincia esta inventariada de acuerdo a su posición geográfica.

Datos como población, índices de pobreza, recursos naturales también pueden estar en SIG, lo que le permite al Estado tomar decisiones macros, o atender emergencias en función del grado de auxilio que necesiten las zonas.

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) es la entidad encargada del planeamiento y dirección de las labores de prevención, atención y rehabilitación en caso de desastres, y tiene servicios informativos en la Web desarrollados en base al SIG. Al igual que el INDECI, los ministerios de Transportes y de Agricultura tienen disponibles servicios orientados a sus fines. Se ofrece en la Web mapas temáticos de zonas de vulnerabilidad, cuencas hidrográficas, vías de transportes, ubicación de localidades, etc., los cuales han partido desde una base de datos común.

Para el presente trabajo se ha encontrado la tendencia de los países ha desarrollar una Infraestructura de Datos Espaciales única en cada uno, el cual responde a su estructura y necesidades de este. En nuestro país se ha iniciado el proceso de implementación, que lo explicare en el Capítulo II.

## **1.5 INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES**

La necesidad de poseer un inventario detallado de la posesión de los recursos disponibles es inherente a la raza humana. Desde los países desarrollados hasta los del tercer mundo requieren un inventario detallado, el cual debe estar asociado al espacio (localización), por lo que debe definirse primeramente la forma y organización de este inventario, lo que lo denominamos “Infraestructura de datos Espaciales”.

En diferentes países de la región se ha procedido a implementar sus respectivas infraestructuras de datos espaciales, siguiendo una tendencia mundial.

### **1.5.1 Infraestructura de datos espaciales de otros países**

La comunidad andina, en su afán de desarrollo regional ha planteado estrategias para la producción, estandarización, definición de políticas, y directivas para el manejo y administración de los datos espaciales.

En cada país de la región se ha procedido a implementar sus respectivas infraestructuras de datos espaciales, como ejemplo podemos citar los siguientes:

- Chile: Sistema Nacional de Información Territorial, Plan Nacional de Captura y Estandarización de la Información Territorial 2003-2005.
- Colombia: Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales- ICDE. (1) Definiciones y experiencias, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, abril, 1999. (2) Conceptos y Lineamientos, versión 2.3, septiembre, 1999.

- Brasil: Normas técnicas de la Cartografía Nacional, Decreto No 89.817, 20 Jun. 1984. Establece normas cartográficas a ser observadas por todas las entidades públicas y privadas productoras y usuarias de los servicios cartográficos de Brasil.
- Venezuela: Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional de Venezuela.
- Organizaciones internacionales como el Global Spatial Data Infrastructure Secretariat (GSDI) tiene un sitio Web ([www.gsd.org](http://www.gsd.org)) que divulga información sobre el tema. Está disponible en Internet el Spatial Data Infrastructure Latin America and Caribbean Newsletter, publicación electrónica que divulga los avances en el desarrollo de las IDEPs de América.

### 1.5.2 Infraestructura de datos espaciales en el Perú

Desde 1996, se promueve la construcción de las Infraestructuras Globales de Datos Espaciales – GSDI en el Perú.

Se entiende que es un proceso mundial y abierto que deberá estar interconectado con las infraestructuras nacionales y regionales.

Los beneficios de contar con una infraestructura de datos nacionales traería muchas ventajas, comenzando con el mejoramiento de la comunicación institucional y la evaluación de requerimientos y análisis de prioridad de estos.

Para una base de datos adecuada se debe trabajar bajo un mismo estándar y realizando charlas de concientización a las autoridades del beneficio de este, mas aun ahora que estamos en un país con ideas de descentralización.

En el Perú, desde que se concibió la idea de crear un Infraestructura de Datos Espaciales, desarrollándose iniciativas legales y eventos técnicos, entre los más importantes se mencionan a continuación:

- **Primer Taller Nacional de Cartografía Cibernética**

El “Primer Taller Nacional de Cartografía Cibernética” se llevó a cabo en enero del año 1999 en Lima y fue patrocinado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA) de la Pontificia Universidad Católica del Perú. El evento reunió a los principales actores en el contexto de SIG, los cuales conversaron sobre nuevas iniciativas de cooperación para el intercambio de datos y meta datos.

- **Decreto Supremo de Acceso a Información**

Mediante el Decreto Supremo N° 018-2001-PCM del 26 de febrero del año 2001 se dispuso que las entidades del sector público deben incorporar en su Texto Único de Procedimientos Administrativos (TUPA) un procedimiento que posibilite el acceso de todas las personas a la información que posean o produzcan, con excepción de aquella información que afecte la intimidad personal, la seguridad nacional o que sea protegida por derechos de autor. Explícitamente, se menciona la publicación de datos en la Internet. La interpretación general de este decreto incluye los datos espaciales, y por eso puede ser considerado como el marco legal para iniciativas como la INDE.

- **Comisión Nacional para el Ordenamiento Territorial Ambiental**

En abril del año 2001, se creó mediante Decreto Supremo la Comisión Nacional para el Ordenamiento Territorial Ambiental,

encargada de proponer lineamientos para los procesos del Ordenamiento Territorial Ambiental (OTA) y de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE). Esta comisión nacional tiene un Comité Asesor presidido por el consejo Nacional del Medio Ambiente y, constituido por representantes de las entidades más importantes en la generación de datos espaciales del país, contribuye con propuestas sobre la estandarización concertada y el intercambio de datos espaciales y alfanuméricos con importancia para estos y otros procesos.

- **Taller sobre Sistemas de Información Geográfica –SIG- y Documento INDE -MTC**

El “Taller SIG” fue organizado por el Proyecto SIG del Ministerio de Transportes y Comunicaciones desarrollado en mayo del año 2001 en Lima, con el fin de reunir a todos los usuarios actuales y futuros de esta tecnología, informar sobre el estado actual del desarrollo de Sistemas de Información Geográfica y de datos espaciales en el país y llevar adelante iniciativas de cooperación.

Además, en el mismo proyecto SIG MTC, a solicitud del Banco Interamericano de Desarrollo, se desarrolló una propuesta preliminar de lineamientos generales de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales - INDE. El objetivo primordial de esta propuesta es contribuir a la implementación de una INDE, manejada por el Gobierno del Perú, a través de la creación de un foro de discusión sobre este tema. Esta versión final fue presentada y discutida en un taller que se llevó a cabo a fines de marzo del año 2002 en la ciudad de Lima. Los documentos se encuentran disponibles en Internet <http://www.gaf.de/peru-gis>.

- **Curso “Desarrollo de Nodos Clearinghouse para Datos Espaciales”**

En junio del año 2001, se realizó en Lima el curso “Desarrollo de Nodos Clearinghouse para Datos Espaciales”, patrocinado por el Earth Resources Systems Data Center (EROS) del United States Geological Survey (USGS) y el Federal Geographic Data Committee (FGDC), que concluyó en una iniciativa para implementar un Nodo Internet (Isite Z39.50) con meta datos espaciales aportados por instituciones gubernamentales generadoras de datos espaciales, dirigido por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Perú. Este nodo recién fue puesto en la Internet y se encuentra accesible en la siguiente dirección: <http://www.ignperu.gob.pe/nodo.htm>.

- **Inventario de Datos Espaciales**

Entre abril y junio del año 2001, el Proyecto SIG del Ministerio de Transportes y Comunicaciones levantó un inventario de datos espaciales existentes en las instituciones gubernamentales y no gubernamentales del Perú. El documento resultante, publicado en julio 2001, identifica todas aquellas instituciones que generan datos espaciales en formato digital, y resume las características más importantes de los datos manejados, sirviendo de esta manera como marco base para actividades como la INDE y el OTA.

- **Proyecto Piloto MEF**

La Dirección General de Programación Multianual del Sector Público del Ministerio de Economía y Finanzas en el marco del Programa de Implementación del SNIP, llevó a cabo una prueba Piloto entre los meses de abril a Julio del 2002, el cual permitió compartir información geográfica y estadística a nivel Interministerial. Otra de las tareas importantes de este trabajo fue la integración con los Aplicativos Informáticos del SNIP como el



Banco de Proyectos y el Sistema Operativo de Seguimiento(SNIPNet). El objetivo del Piloto MEF fue demostrar la viabilidad de compartir información cartográfica y estadística estándar en forma libre a nivel del Estado para apoyar las tareas de identificación, formulación, evaluación y planificación de proyectos de inversión pública.

Entidades que participaron:

- Ministerio de Educación,
  - Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción
  - Ministerio de Salud
  - Superintendencia de Bienes Nacionales
  - Ministerio de Economía y Finanzas
  - Instituto Nacional de Estadística e Informática
- 
- **Creación y Logros del Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú – CC-IDEP.**

Por R.M. N° 126-2003-PCM se constituye el Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú – IDEP, presidido por la PCM, instalándose en diciembre del 2003.

Actualmente se cuenta con un enlace en internet ([www.idep.gob.pe](http://www.idep.gob.pe)) donde se informa detalladamente los logros y planes de trabajo, pagina base de los datos recopilados en esta tesis.

El desarrollo de esas iniciativas se debe trabajar a alto nivel, por lo que se organizo grupos de trabajo con limites políticos. Estos grupos de trabajo fueron encabezado por la Dirección Nacional Técnica de Demarcación Territorial-DNTDT de la Presidencia del consejo de ministros - PCM. La DNTDT organizó un equipo de

trabajo integrado por el Instituto nacional de Estadística e Informática - INEI, el Instituto Geográfico Nacional -IGN, Dirección Nacional de Urbanismo del Ministerio de Vivienda y Saneamiento con el fin diseñar un marco temporal para elaborar los límites políticos estandarizados.

La producción y demanda de la información espacial es creciente en nuestro país, pero a pesar del conocimiento adquirido en diversas entidades que usan información cartográfica digitalizada, no esta estandariza y cada institución sigue su patrón, por lo que es necesario definir un rumbo mediante una infraestructura de datos.

# Capítulo II: Fundamentos Básicos del Sistema De Información Geográfico

## 2.1 GENERALIDADES

En el presente Capítulo se detallara los fundamentos de los sistemas de información geográfica y su relación con la elaboración de modelos en Ingeniería Hidráulica.

Partimos desde la definición de SIG y mostraremos sus requerimientos para comprender la potencialidad de la herramienta mediante ejemplos en el software ArcGIS (posicionamiento de un objeto, relación entre objetos, área de influencia o radio de acción de objetos, distribución de parámetros en el espacio entre otros).

Como paso siguiente se describirán los diferentes componentes de un SIG: equipos de cómputo (hardware), software, datos, recursos humanos y procedimientos. Se detallara igualmente las funciones, principales características y atributos de cada componente.

El desarrollo de la presente tesis será desarrollado en el software ArcGIS, desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute) por lo que su uso está restringido a la adquisición de la licencia respectiva. En el capítulo anterior se mostraron las diferentes opciones de software SIG disponibles en el mercado, con referencia de los sistemas operativos disponibles.

## **2.2 LA INGENIERÍA HIDRÁULICA Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

La ingeniería hidráulica es una ciencia compleja de diseño de estructuras con múltiples variables que a menudo son complejas. Los flujos son tridimensionales y dependientes del tiempo. En hidrología los datos son escasos y/o deficientes. El planificar y diseñar estructuras resulta una tarea complicada, debido a que no podemos tener el control conocimiento de todas las variables, por lo que recurre que el criterio general esta en base a la experiencia.

Como se ha dicho, en Ingeniería hidráulica es necesario tener en cuenta la distribución de los recursos hídricos tanto en espacio como en tiempo, por lo que los datos o base de datos deben ser manejados adecuadamente. De aquí nace la relación con los Sistemas de Información geografía contiene, en los que encontramos herramientas para realizar tareas sobre un ambiente grafico, con objetos o entes que se asemejan a la realidad. Todos estos entes u objetos son susceptibles a algún tipo de medición relativa con respecto a su posicionamiento en la tierra.

En ingeniería se trata de construir modelos o representaciones del mundo real para planificar y tomar decisiones, el SIG esta íntimamente ligado a esta tarea, debido a que permite construir modelos o representaciones a partir de bases de datos digitales.

En Ingeniería hidráulica generalmente se trata de captar o desentrañar los fenómenos y sus causas relacionados con el agua, así como la tendencia que tienen estos fenómenos con respecto al tiempo, pudiéndose establecer los diferentes factores que influyen en este. Mediante mediciones, el SIG ayuda a realizar estos análisis.

## 2.3 DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS

El término **SIG** procede del acrónimo de **Sistema de Información Geográfica** (en inglés **GIS, Geographic Information System**).

La definición genérica de un sistema de información geográfica puede ser:

*“Tecnología de manejo de información geográfica formada por un **hardware** programado adecuadamente mediante **software** para manejar una serie de **datos** espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (**personal**).*

Una definición más sencilla es:

*“Un sistema de informático capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en la superficie terrestre”.*

Un sistema de información geográfica, es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.

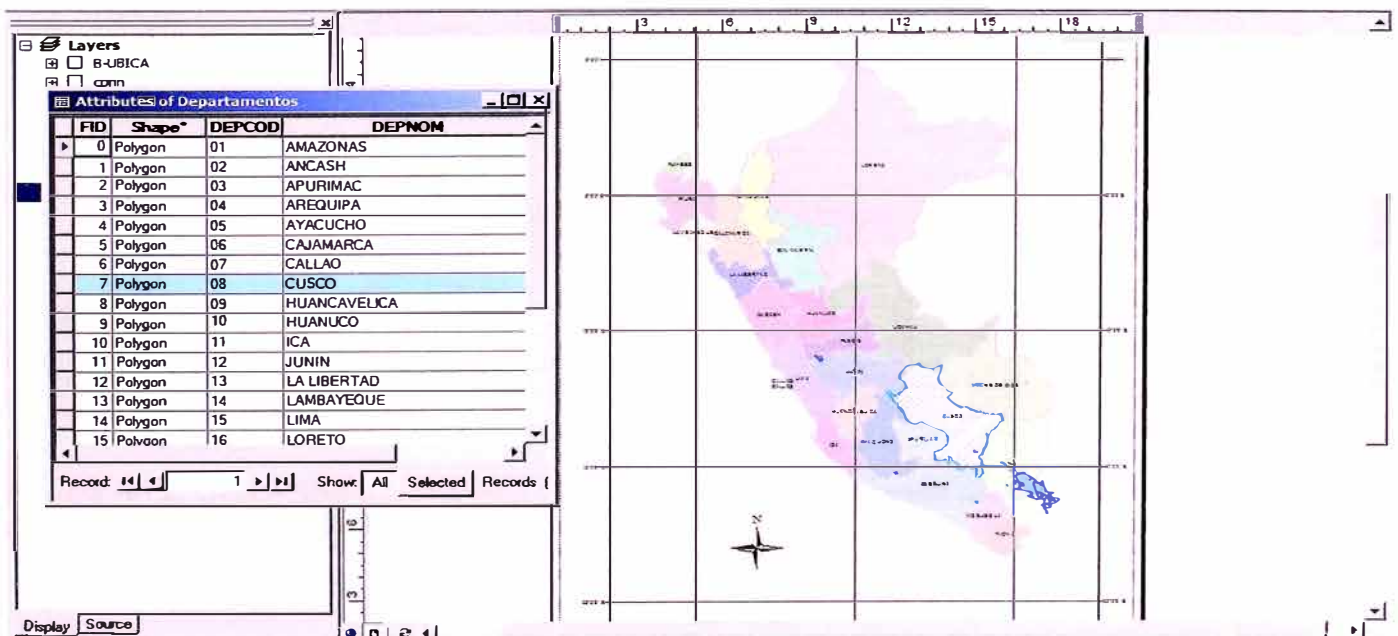
Un Sistema de Información geográfica debe resolver preguntas básicas de análisis, tal y como lo realiza hoy en día una hoja de calculo, pero en un entorno grafico. Para hacer mas didáctica la explicación, en el siguiente ítem realizaremos ejemplos prácticos de lo que hace un SIG mediante el uso del Arcgis, tal y como se realizan, en el ítem siguiente.

## 2.4 PRESTACIONES RELACIONADAS CON INGENIERIA

Es muy importante comprender la potencialidad del SIG para entender lo poderosa que es esta herramienta para ser utilizada en ingeniería hidráulica, por lo que explicaremos algunos ejemplos que se pueden lograr con conocimientos básicos de un software SIG.

### 2.4.1 Posicionamiento de un Objeto

Al inicio de cualquier proyecto de ingeniería la primera de las preguntas que formulamos es la localización del proyecto, por ejemplo el departamento, provincia o distrito según sea la escala y envergadura de este. Un sistema SIG nos ubica en poco tiempo, sin importar la escala del objeto que estamos buscando. Por ejemplo de una manera practica buscamos el distrito de “Anta”, el cual es aun no sabemos dónde esta. Cuantos distritos de ese nombre tenemos en el Perú, varios por cierto, por lo que para hacer el problema resoluble para el SIG lo ubicaremos en el departamento de Cuzco. Como una primera búsqueda se realiza la localización del departamento de Cuzco como se ve en la Figura N° 1.



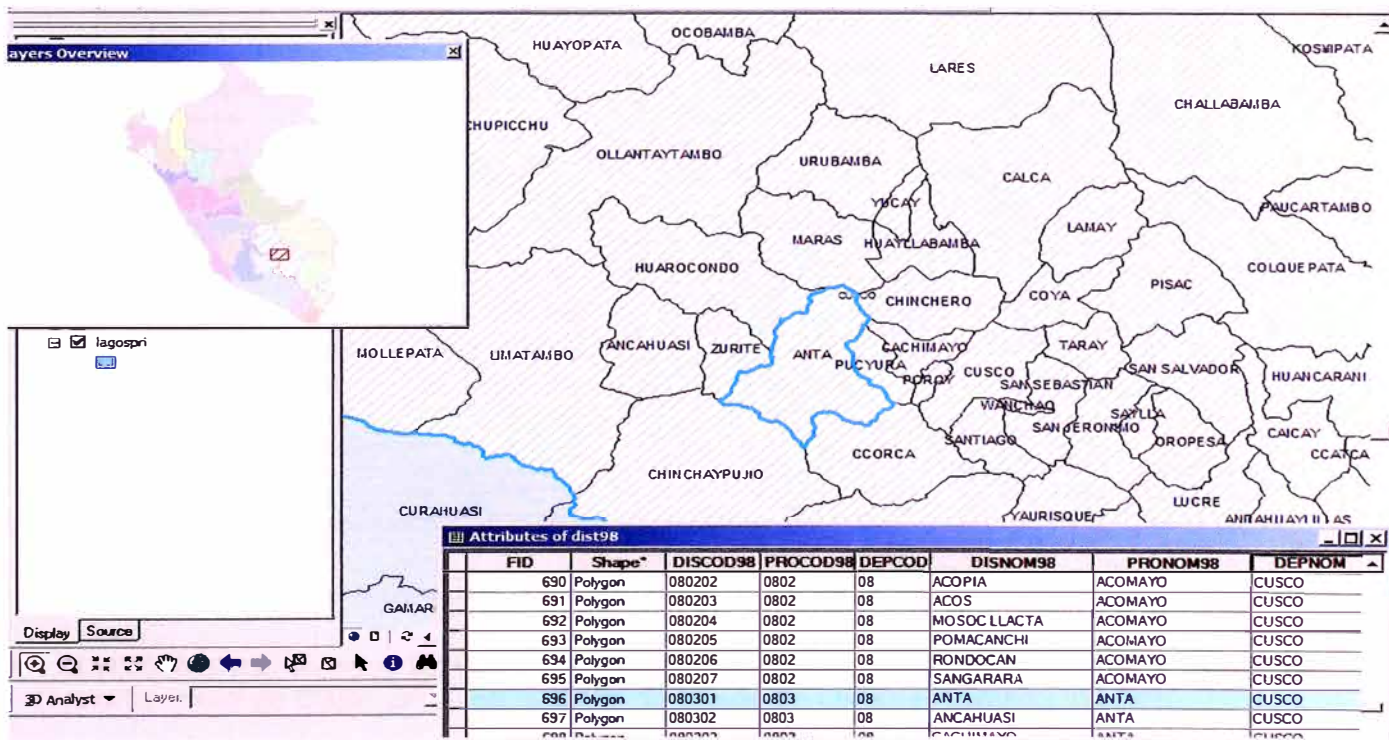
**Figura N° 1.** Ubicación del departamento de Cuzco dentro de la base de datos de departamentos del Perú. El ítem resaltado es el departamento de Cuzco.



Luego se realiza una segunda búsqueda con respecto a este departamento representada en la Figura N° 2.

El trabajo de “localización” mostrada en este ejemplo puede ser realizado tanto para un distrito, un río, una quebrada, una estación pluviométrica o cualquier objeto que este disponible en la base de datos geográfica.

Este procedimiento lleva solo un minuto, si es que se conoce las herramientas adecuadas, y pueden ser dos en el peor de los casos. En la Web encontramos ya estas funciones con un entorno atractivo, que corre vía Intranet, de las paginas del gobierno.



**Figura N° 2. Ubicación del Distrito de Anta, del Departamento de Cusco, en la Base de Datos de Límites Políticos del Perú.**

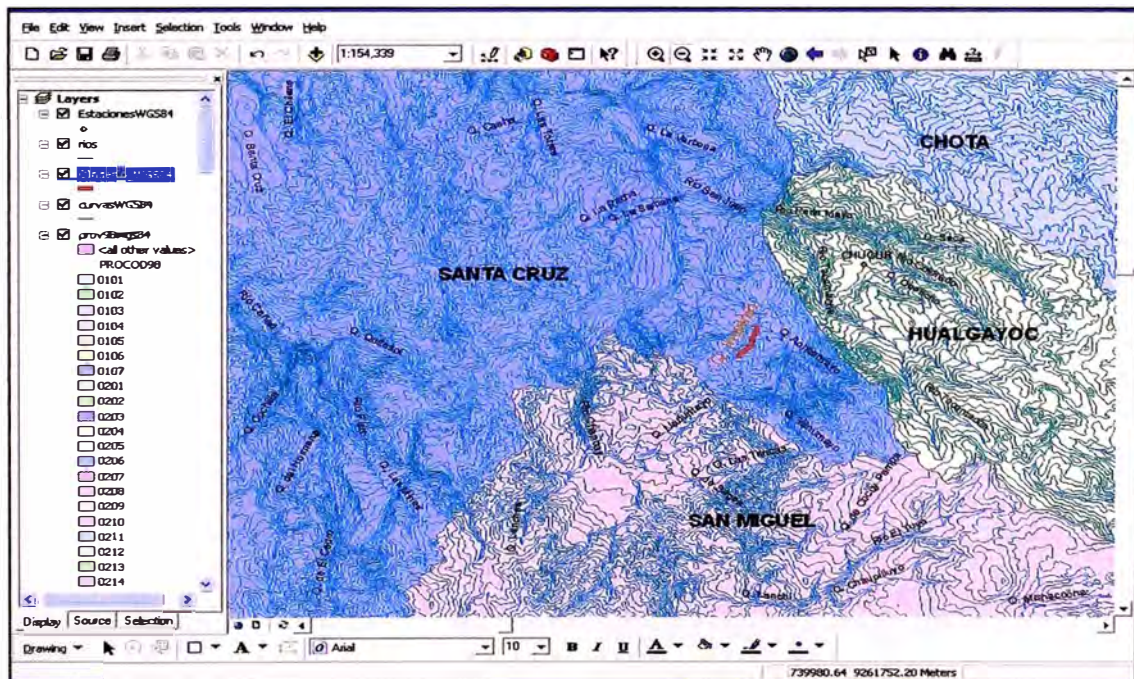


## 2.4.2 Relación entre Objetos

Con el SIG se tiene pleno conocimiento de la posición de los objetos y su relación entre ellos.

Por ejemplo, se desea realizar un análisis hidrológico de la Quebrada Ingenio del Departamento de Cajamarca.

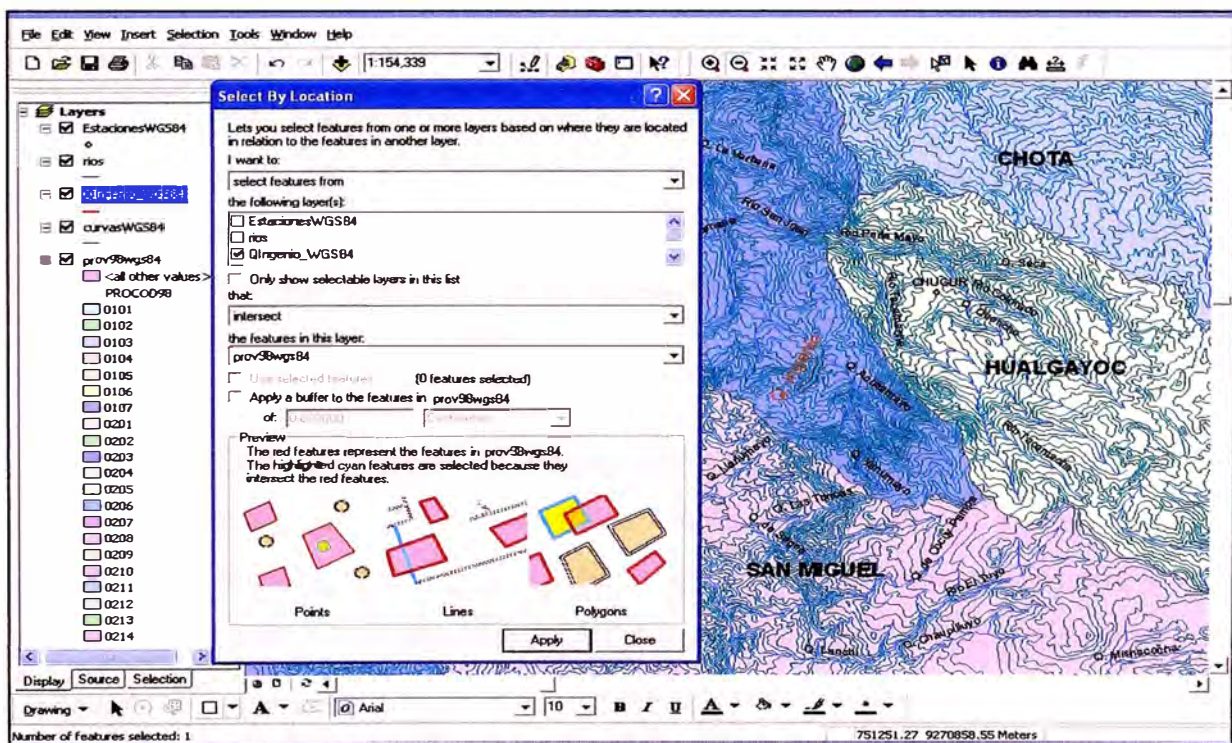
En la Figura N° 3 se muestra la ubicación de los Departamentos del Perú (para facilitar el entendimiento del lector, se ha hecho un acercamiento a la zona de estudio).



**Figura N° 3.** Ubicación de la Zona de Estudio, ubicada en el Distrito de Santa Cruz, del Departamento de Cajamarca, en la Base de Datos de Límites Políticos del Perú.

Luego se realiza el proceso de Selección por localización, es decir, mediante la herramienta del Arc Gis se puede seleccionar la Quebrada Ingenio que se encuentra en el Departamento de Cajamarca, tal como se muestra en la Figura N° 4.

Con esta herramienta se puede encontrar cualquier elemento que se intercepte con otro, ya que el Arc Gis encuentra los parámetros en común entre un elemento y otro, con el fin de localizar con mayor precisión el elemento buscado.



**Figura N° 4** Se muestra el proceso de intersección entre la Quebrada Ingenio con las Provincias de Cajamarca.

### 2.4.3 Area de influencia o radio de acción de objetos

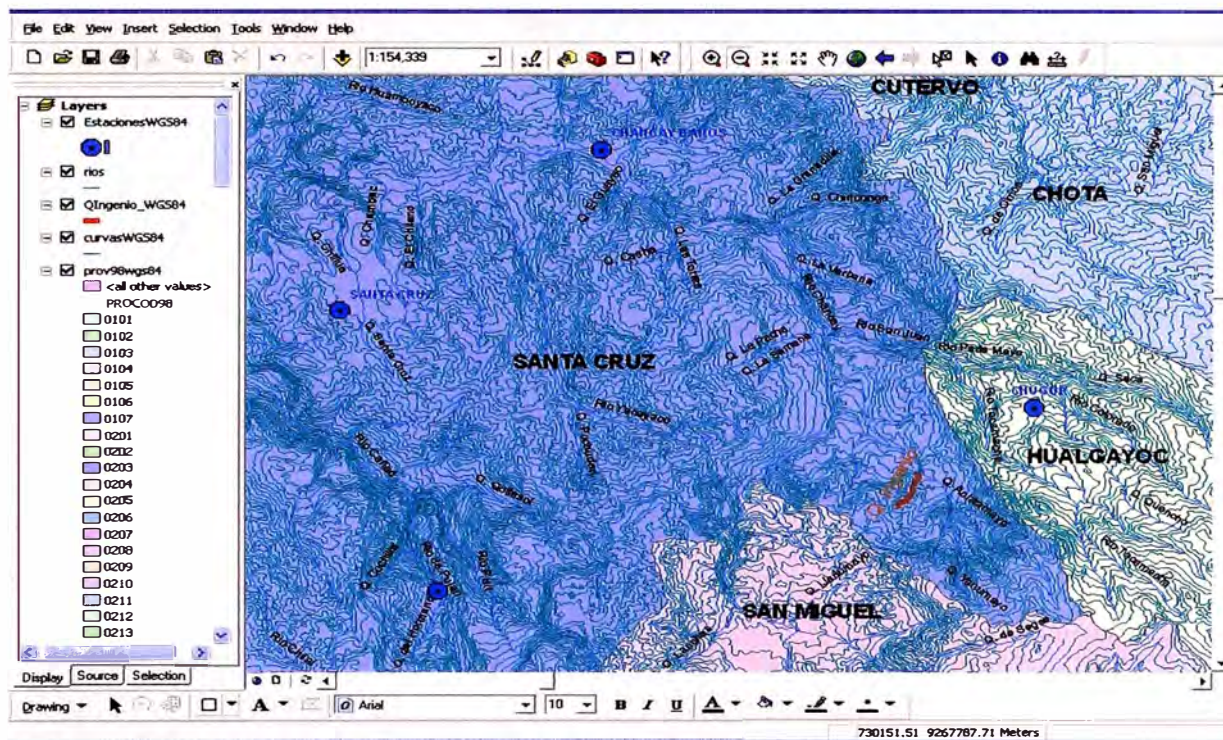
Cuando se realiza un Estudio Hidrológico se necesita saber la ubicación de las Estaciones Pluviométricas, con el fin obtener la influencia de estas sobre nuestra área de estudio.

Una vez obtenidas las ubicaciones de las estaciones es necesario cuantificar o medir la que distancia se encuentran con respecto a la Quebrada a evaluar; es decir, si existen varias Estaciones Pluviométricas, cual es la mas cercana, cual tiene la mayor cantidad de datos, cuales están dentro de la cuenca en estudio.

Para ilustrar en lo que puede ser útil el SIG, tomamos el ejemplo del ítem anterior, se desea realizar la búsqueda de las Estaciones Pluviométricas que se encuentren en un radio de por decir 10 Km de la Quebrada Ingenio. Aunque este parámetro es arbitrario, dependiendo del tamaño de la quebrada, nos servirá para ilustrar la ayuda que nos brinda el SIG.

En la Figura N° 5 se muestra la ubicación de las Estaciones Pluviométricas que se encuentran en la Provincia de Cajamarca. El tesista ha recolectado desde una hoja excel, donde se muestran las estaciones con su respectiva ubicación en coordenadas geográficas. Luego de un proceso de transformación de coordenadas las estaciones son mostradas en el sistema UTM con el datum WGS84.



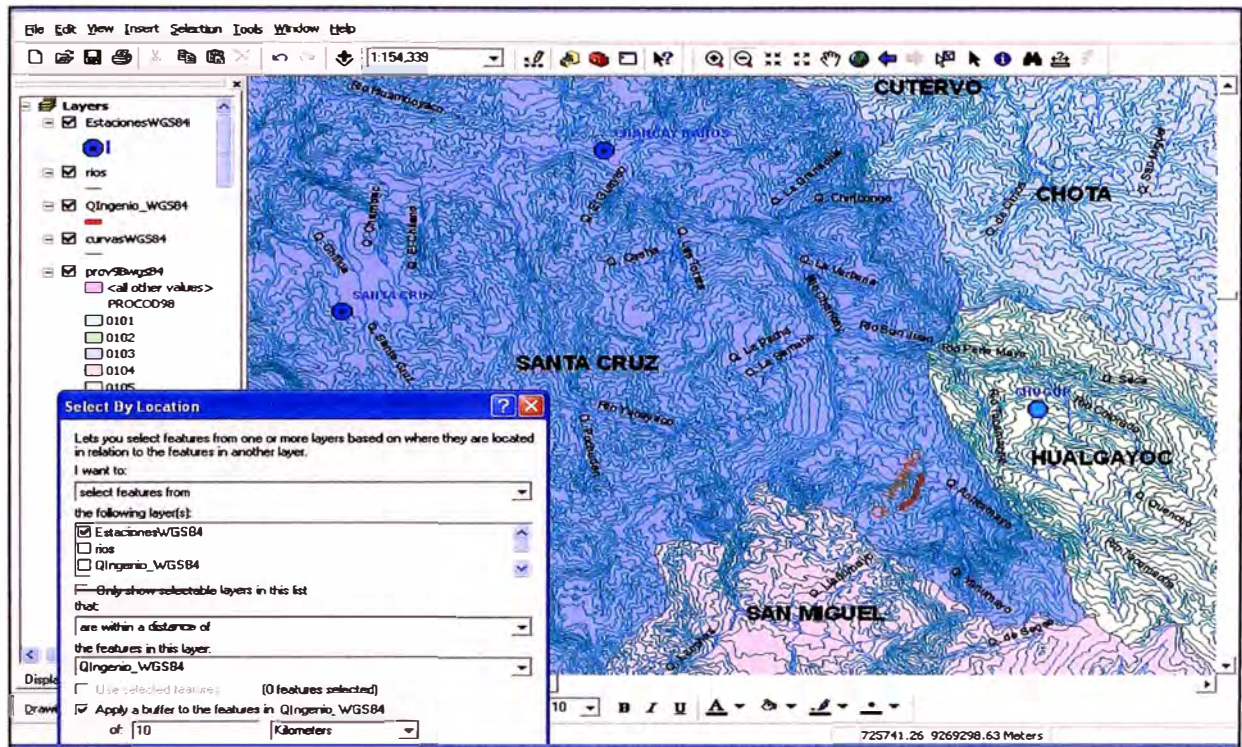


**Figura N° 5.** Se muestra la ubicación de las Estaciones Pluviométricas en las Provincias de Cajamarca.

Una vez ubicada las estaciones y la quebrada que se ha dispuesto a analizar, el siguiente paso sería la ubicación de las estaciones que se encuentran en el radio de 10 Km.

Con solo una herramienta el Arc Gis es capaz de localizar los objetos que cumplan con una condición con respecto a otros objetos, es decir, en nuestro ejemplo los objetos que se necesitan localizar son las Estaciones Pluviométricas y la condición con respecto a otro objeto (la Quebrada Ingenio) es la ubicación de los mismos y la relación que hay entre ellos.

La realización de dicho proceso y el resultado del mismo de muestra en la Figura N° 6.



**Figura N° 6.** Se muestra la ubicación de la Estaciones Pluviométrica que se encuentra dentro del radio de 10Km de la Quebrada Ingenio.

El resultado es la selección de la estación Chugup en la provincia de Hualgayoc. Este proceso de ubicación por distancia, con solo un comando puede realizarse con cualquier objeto referenciado.



#### 2.4.4 Distribución de parámetros en el espacio

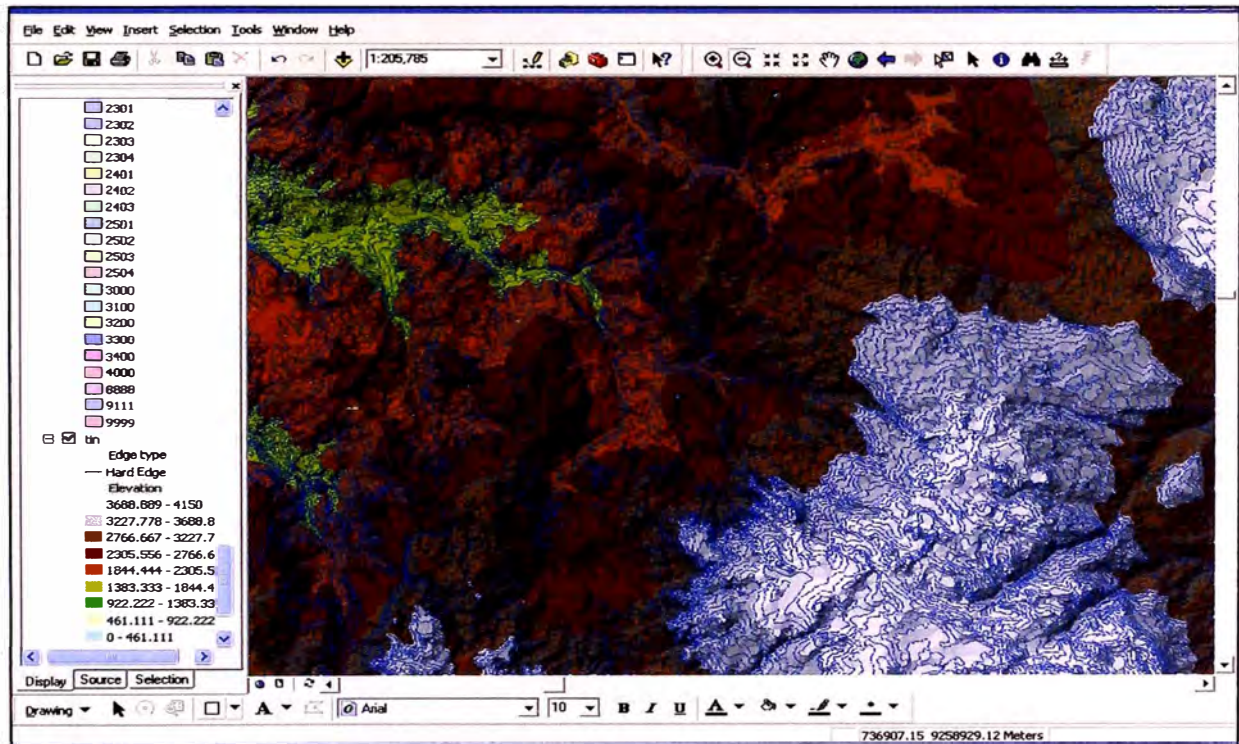
El SIG es una base de datos espacial, es decir, trabaja con figuras geométricas asociadas a una base de datos, pero no solo eso trabaja con estos objetos, sino también trabaja con imágenes satelitales, o imágenes de datos, las que se denominan raster. Un raster, para hacer simple la descripción, es una matriz de “x” filas y “y” columnas, en las que cada punto contiene un dato. Estos raster pueden definir, la temperatura en un punto, la cobertura vegetal. La dimensión de cada celda define la calidad o precisión del raster. Por ejemplo, el famoso Google Earth trabaja con recuadros de 90mx90m, es decir cada punto que vemos en la pantalla es una media ponderada de un área de 90m x 90m.

Cuando se construye un raster en el que cada punto corresponde a un nivel específico del terreno se denomina DEM (Digital Elevation Model) Es posible construir este raster a partir de un levantamiento topográfico, pero en realidad el objetivo del SIG esta en abarcar grandes áreas, por lo cual construimos el modelo digital con información de las cartas nacionales. Estas cartas nacionales poseen información de curvas de nivel, ríos y lagos y demás características. Con esta información se puede construir una imagen donde cada punto de la matriz tiene un valor igual al nivel en esa posición. La matriz esta georeferenciada, así que las coordenadas de esta celda representaran su posición en el plano, y el valor del atributo la función que deseamos representar, en este caso el nivel de terreno.

Utilizando el ejemplo del ítem anterior se realizará la construcción del DEM.

El Arc Gis tiene la virtud de poder representar las elevaciones de cada punto en el espacio, agrupándolas dependiendo de que parámetro se

quiera resaltar, en este caso será la elevación, para la construcción del DEM desde elementos vectoriales (puntos, líneas, polígonos) es necesario construir una triangulación topográfica, la cual denominamos TIN.

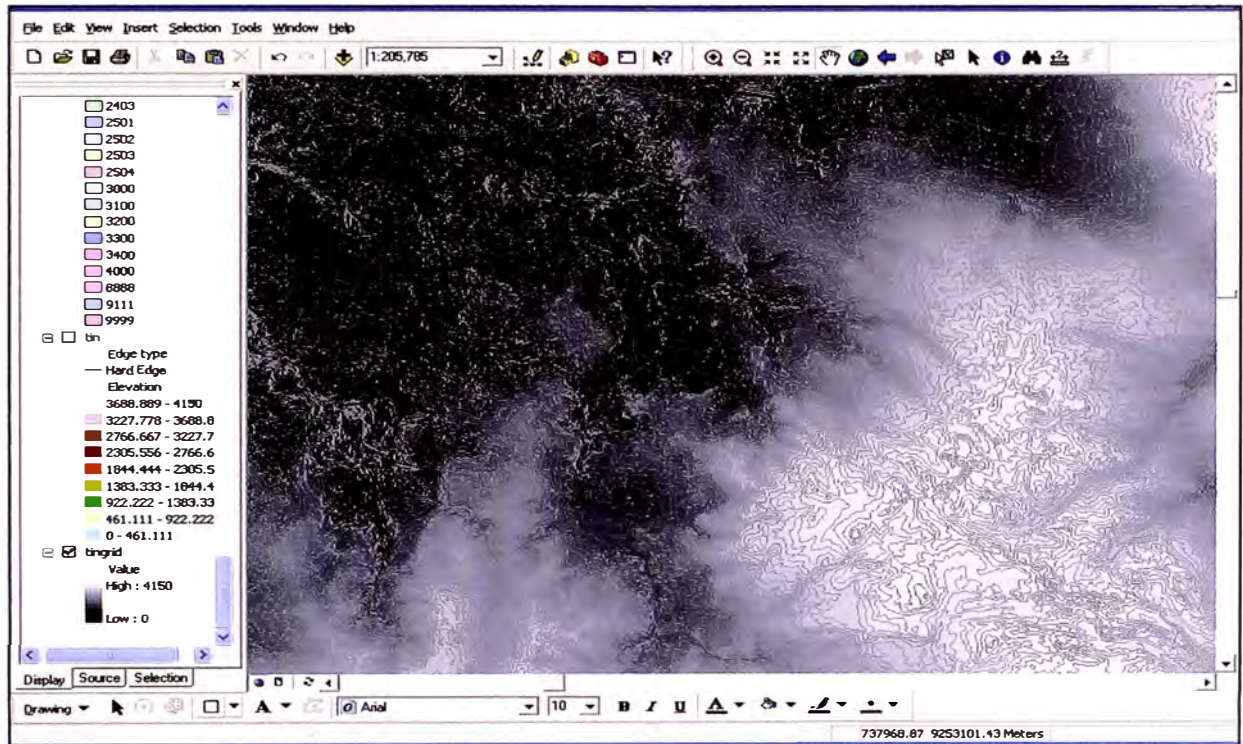


**Figura N° 7.** Se muestra la distribución de las elevaciones en las Provincias de Cajamarca mediante un TIN (Triangular Irregular Network)

Una vez obtenido el TIN se procede a crear la imagen (raster) o DEM.

En la Figura N° 8 se muestra el DEM de las provincias de Cajamarca obtenido por el Arc Gis.





**Figura N° 8. Se muestra el DEM de las Provincias de Cajamarca**

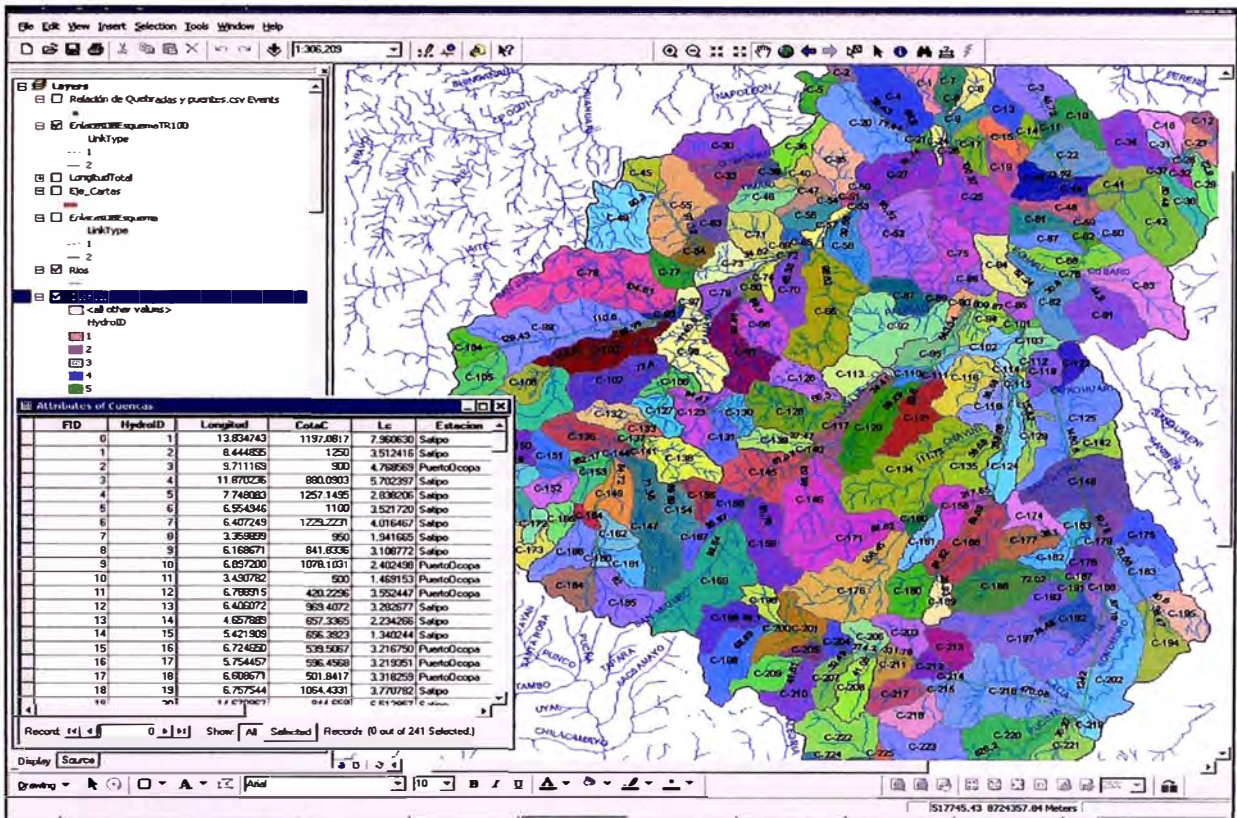
### **2.4.5 Parámetros geográficos de los objetos**

Cada objeto en SIG tiene propiedades, como su posición geográfica de un punto. Las líneas son una colección de puntos unidos por una secuencia, de lo cual se tiene la propiedad de longitud. Los polígonos tienen su área y perímetro, así como los centroides. Todas estas propiedades están dentro de la base de datos del SIG, y no hay necesidad de calcularlas, solo tenemos que llamarlas.

Para este ejemplo se realizará la obtención de las propiedades de las cuencas ubicadas en la Provincia de Pangoa, Departamento de Junín.

Primero se plasma en el Arc Gis los polígonos que corresponden al área de las cuencas que se ubican en la Provincia de Pangoa, y se obtienen los parámetros que el Arc Gis reconoce.

Los parámetros pueden ser ubicación, altitud, que estación pluviométrica influye en la cuenca, etc. Estos datos obtenidos se muestran en la Figura N° 9.



**Figura N° 9.** Se muestra las cuencas de la Provincia de Pangoa y los parámetros de las cuencas que el Arc Gis ha reconocido de acuerdo a la información brindada.

Luego con los parámetros obtenidos se pueden realizar la obtención de otros datos, ya sea área, centroide, etc.

El Arc Gis hace que este proceso de obtención de nuevos datos sea muy breve en comparación con otros softwares, ya que dicha información se encuentra en el Arc Gis y solo hay que hacer la llamada correspondiente.

En la Figura N° 10 se muestra el proceso que se tiene que realizar para la obtención de las áreas de las cuencas y en la Figura N° 11 se muestra la salida de las áreas en un cuadro que se puede exportar a Microsoft Excel para su mejor manejo.



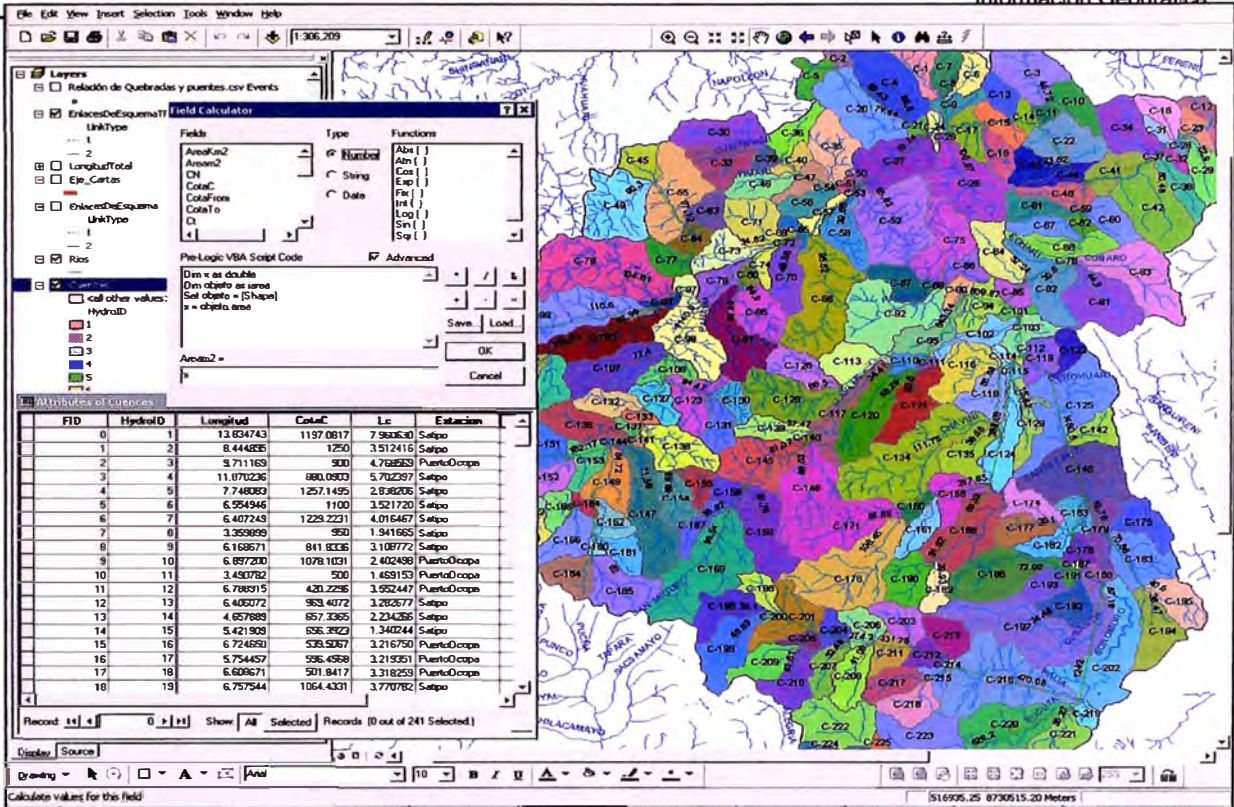


Figura N° 10. Se muestra el cálculo de las áreas de las cuencas de la Provincia de Pangaea

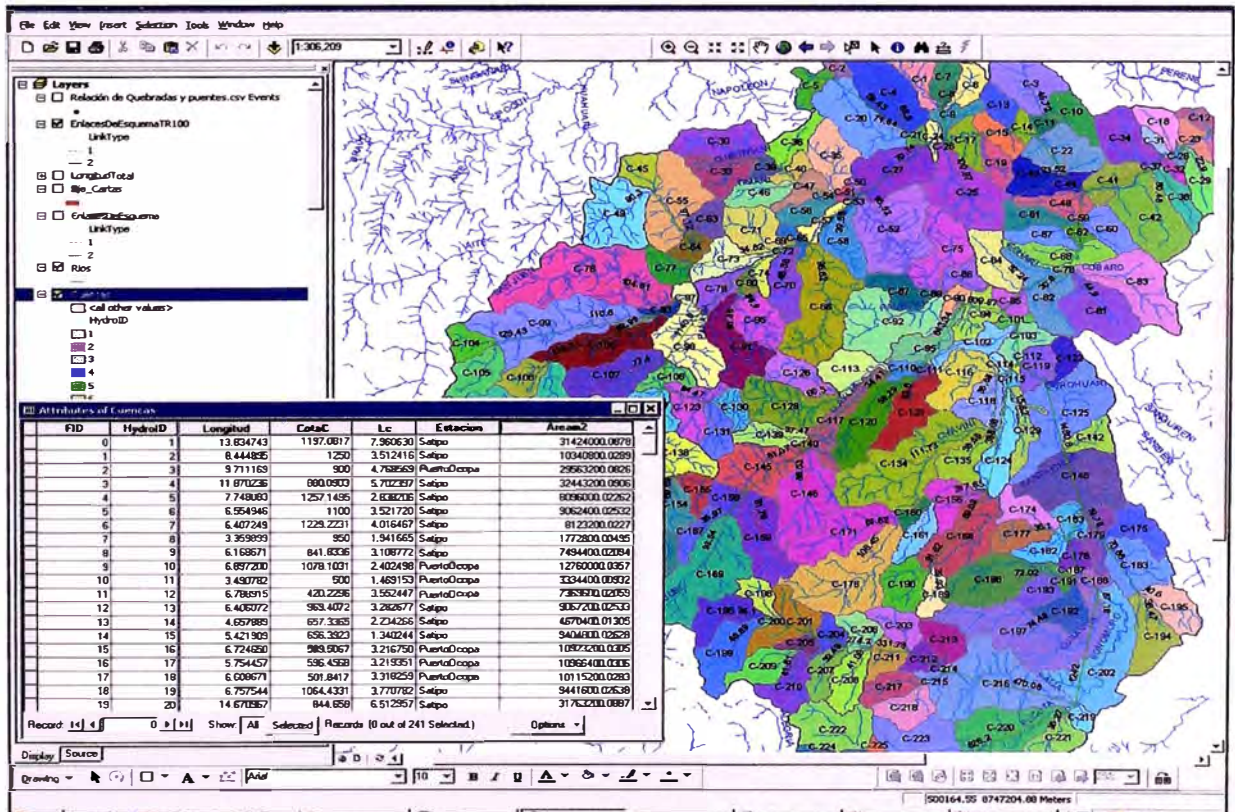


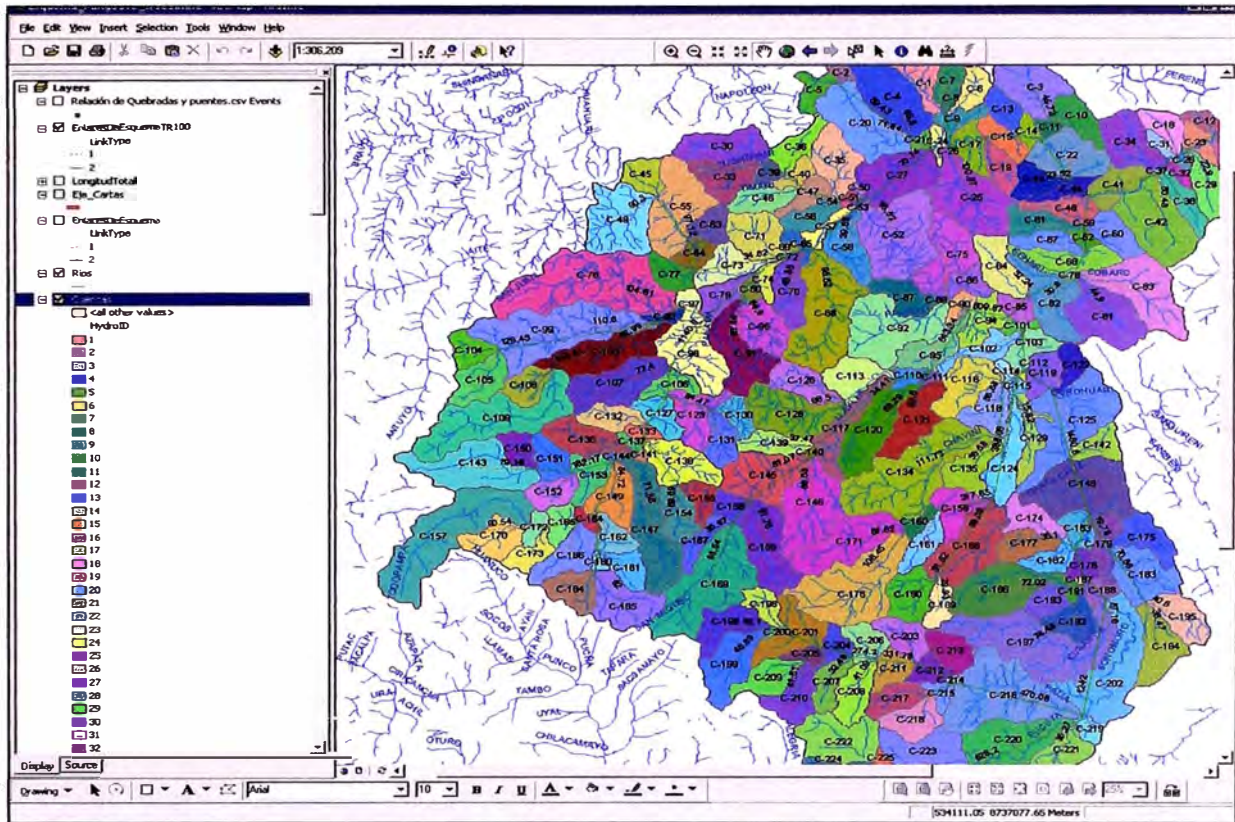
Figura N° 11. Se muestra la salida del cálculo de las áreas de las cuencas de la Provincia de Pangaea

## 2.4.6 Zonificación

Una de las primeras funciones del SIG es la zonificación, en la cual se puede obtener áreas donde los parámetros tengan valores comunes, por ejemplo sería fácil seleccionar de una cuenca el área que esta entre la cota A y la Cota B. Un ejemplo más clásico sería el muestreo, si tomamos un salón de clase, se pregunta la dirección a cada alumno y su número de horas de estudios, podemos zonificar con esa información espacial donde se sitúan los alumnos mas estudiosos, haciendo uso de “Simbología”, que es un proceso básico de SIG. Estos resultados no son solo gráficos, sino también tabulares.

Con el ejemplo del ítem anterior se zonificará las cuencas de la Provincia de Pangoa con respecto a las estaciones que se encuentran en dicha provincia.

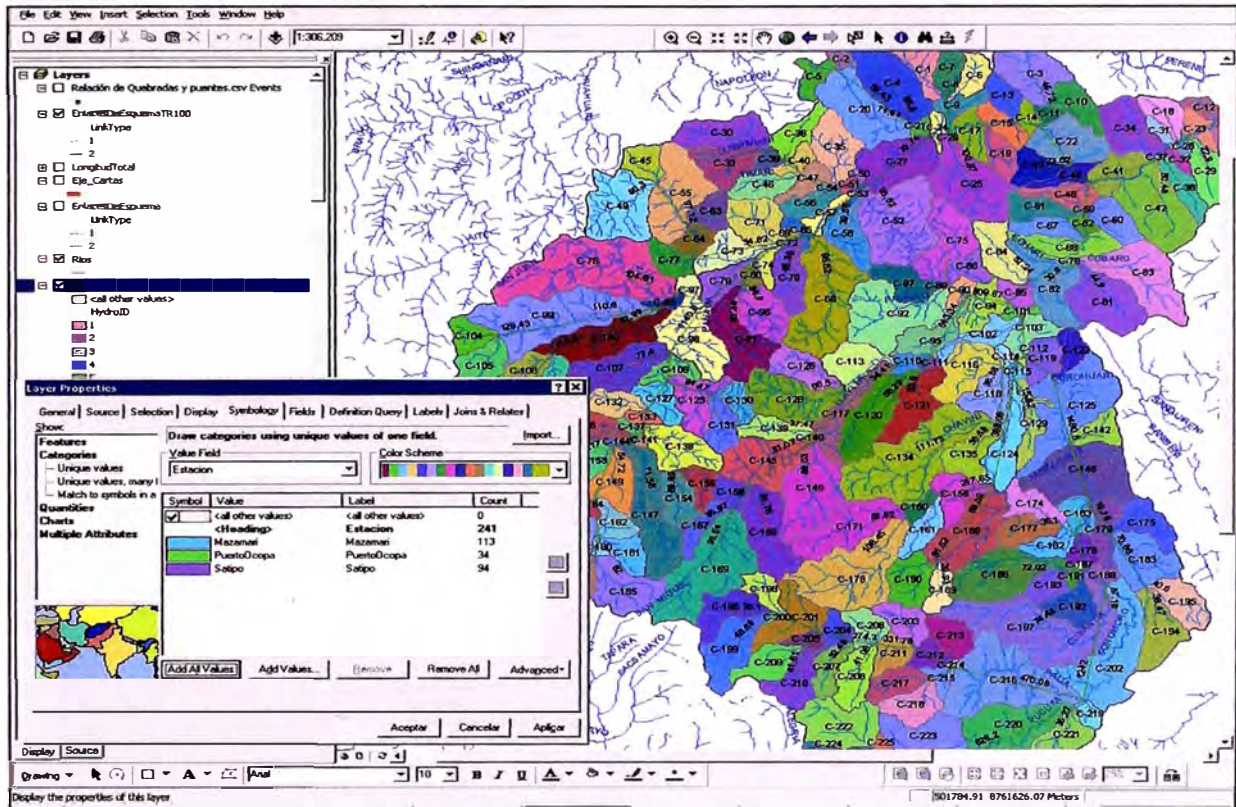




**Figura N° 12.** Se muestra las cuencas de la Provincia de Pangoa en el Departamento de Junín.

Con un proceso del Arc Gis se puede clasificar las cuencas con respecto a que estaciones pluviométricas pertenecen sus parámetros.

En la Figura N° 13 se muestra el proceso que hay que realizar para la clasificación de zonas de acuerdo a que estaciones pertenece a las cuencas.

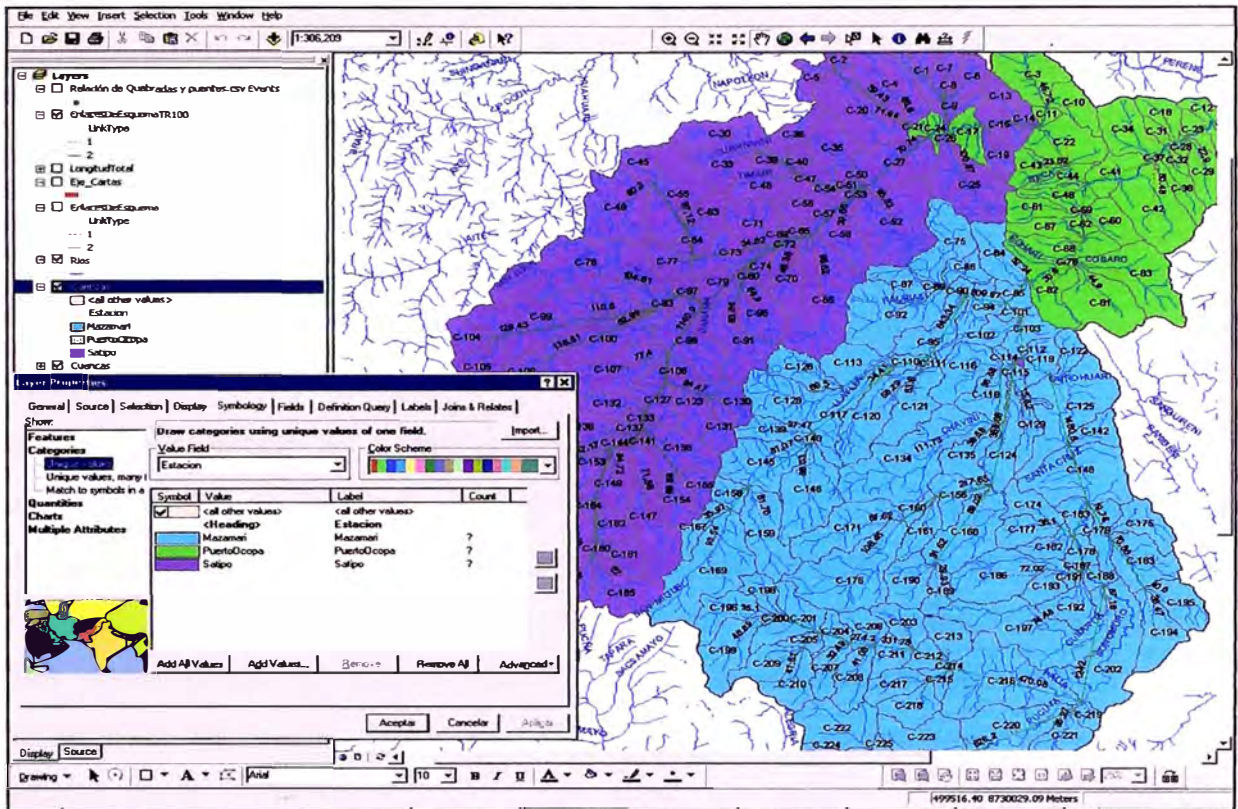


**Figura N° 13.** Se muestra la clasificación que se pretende realizar con el fin de zonificar las cuencas de la Provincia de Pangoa en el Departamento de Junín.

A continuación en la Figura N° 14 se podemos observar como el Arc Gis ha zonificado las cuencas de acuerdo a las estaciones que contienen los parámetros que afectan a dichas cuencas.

Con este proceso se puede realizar diferentes tipos de zonificaciones con el fin de poder diferenciar las áreas obtenidas de los varios parámetros que se puedan clasificar.





**Figura N° 14.** Se muestra la zonificación de las cuencas de la Provincia de Pangoa en el Departamento de Junín de acuerdo a la ubicación de las Estaciones Pluviométricas.

### 2.4.7 Análisis Espacial

El análisis tridimensional no es ajeno al SIG, debido a que se involucra el parámetro altitud.

Cuando realizamos un trabajo de Hidráulica siempre necesitamos el dato de caudal, el cual debe ser entregado por el Hidrólogo. Existen muchos métodos de cálculo, dependiendo del criterio del especialista. Por ejemplo, en un estudio hidrológico se tienen varias cuencas y varias estaciones pluviométricas, y se desea evaluar el caudal en cada una de las cuencas. Un criterio hipotético es considerar que cada estación tiene influencia en un intervalo de altitud. Si se realiza el cálculo con este criterio para una cuenca, puede ser viable, pero si tenemos más de una, el proceso resulta tedioso y al final se terminara abandonando el método y asignando una estación pluviométrica para cada cuenca por cercanía geográfica o por consideraciones conservadoras.

El SIG nos puede ayudar a realizar esta labor, que se reduce a estimar la curva hipsométrica de cada cuenca. Por lo que procedemos a calcular cuál es el porcentaje de área de una cuenca que esta dentro del intervalo de altitud que afecta una estación determinada.

El problema es complejo, pero en realidad la solución es sencilla, lo que debemos de tener en cuenta es la dificultad para generar las imágenes para la toma de decisiones. Olvidarse por un momento de el álgebra vectorial y pasar al álgebra matricial.

El cálculo consiste en diferenciar las altitudes de la zona para después poder zonificar las áreas con parámetros comunes, en este caso las zonas con la misma altitud.

Y finalmente calcular el porcentaje de área de cada cuenca que pertenece a cierta altitud y por consecuencia que encaja con los datos que se obtuvieron de las estaciones pluviométricas de las altitudes correspondientes.

En la Figura N° 15 se muestra las áreas de las cuencas de la Zona del Alto Piura, en las cuales tenemos siete estaciones disponibles. El análisis se realizara para 21 cuencas identificadas en la carretera Bueno Aires Canchaque.

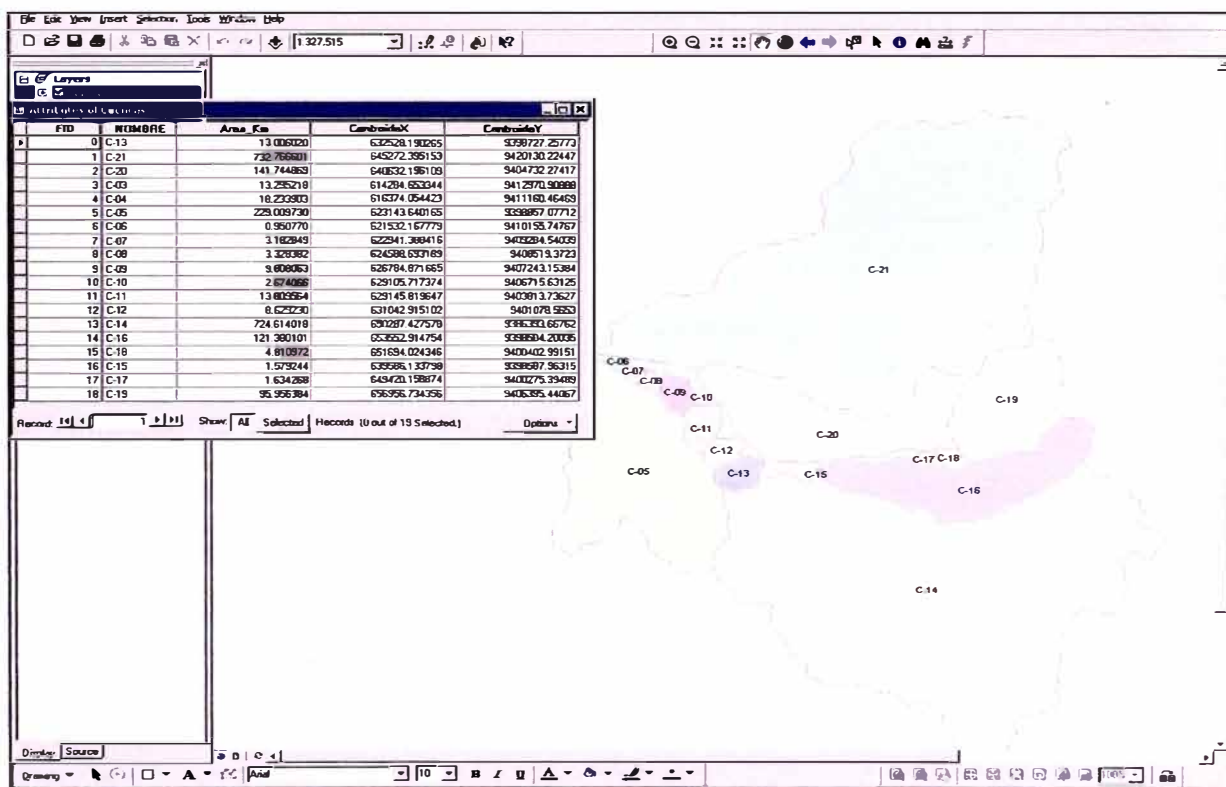
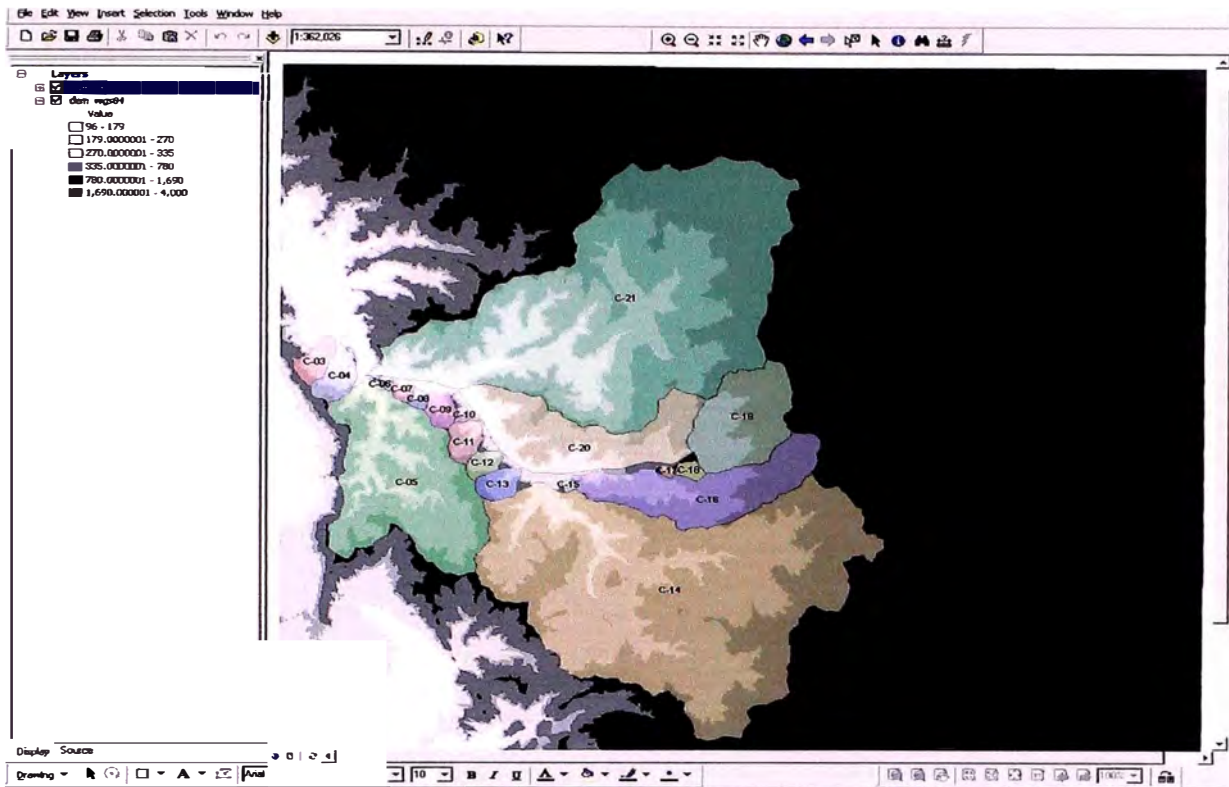


Figura N° 15. Se muestra la zonificación de las áreas de las cuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.

Luego se realiza la zonificación de las cuencas con respecto a las altitudes en común, tal como se muestra en la Figura N° 16.



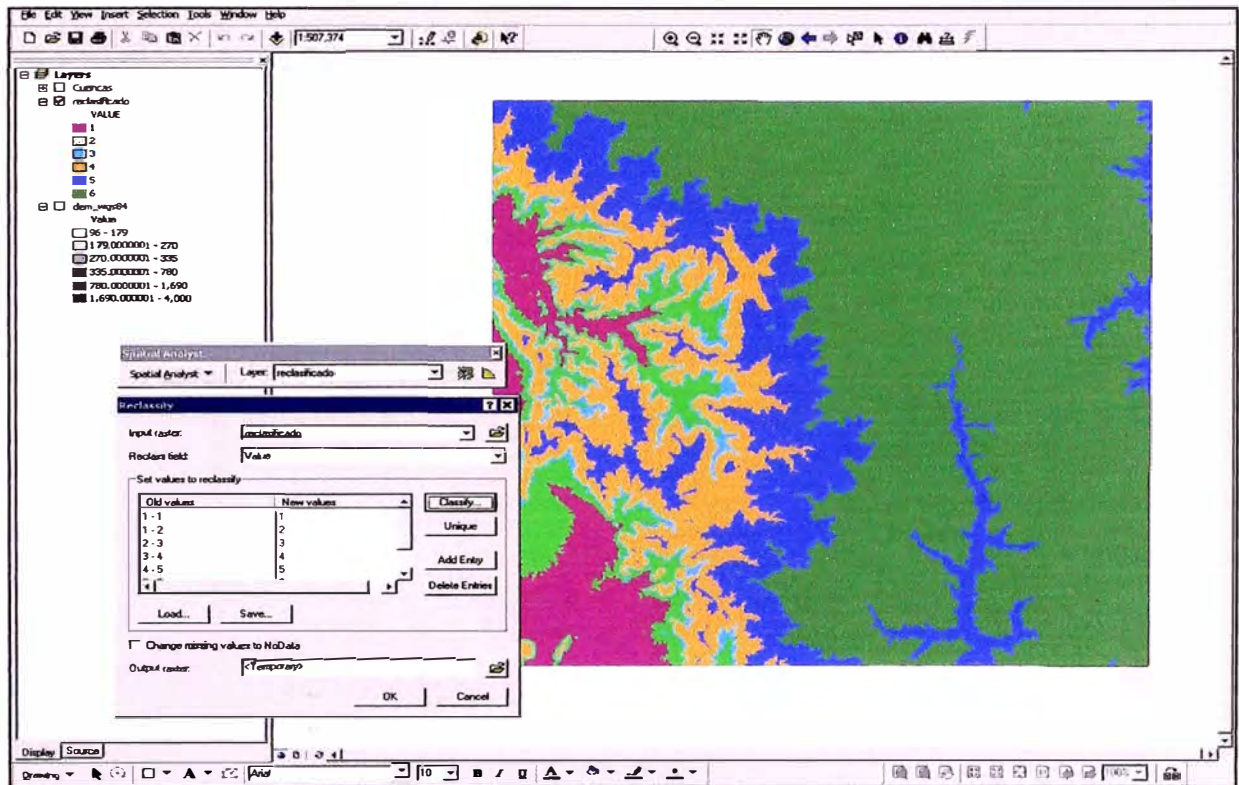
**Figura N° 16.** Se muestra la zonificación con respecto a las altitudes de las cuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.

Se obtiene el DEM de la zona, para luego procede a clasificar los intervalos de altitud de acuerdo a la influencia de cada estación pluviométrica. Los intervalos de clasificación son: 99msnm al 179msnm, del 179msnm al 270msnm, del 270msnm al 335msnm, del 335msnm al 780msnm, del 780msnm al 1670msnm y por ultimo del 1670 hasta los 4000msnm.

Con el Arc Gis este proceso es una función simple, ya que en otros Softwares esta tarea sería muy dificultosa de realizar.

En la Figura N° 17 se muestra el proceso de reclasificación, donde a cada intervalo se le da un código, es decir al primer intervalo le corresponde el código 1, al segundo el código 2 y así sucesivamente. Aun la reclasificación sigue siendo una matriz o raster.





**Figura N° 17.** Se muestra la zonificación con respecto a la clasificación de las alturas de las cuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura con respecto a las alturas de las Estaciones Pluviométricas.

Después de realizado dicho proceso es necesario convertir el raster reclasificado en elementos vectoriales (polígonos) para que sean pedan interceptarse con las cuencas. Este proceso se esquematiza en la Figura N° 18.

Con la reclasificación como dato vectorial (polígono), se procede a hacer la intersección con las cuencas, la cual resultara en dividir cada cuenca en diferentes altitudes, según nuestros polígonos reclasificados.

En la Figura N° 19 se muestra dicho proceso realizado con una herramienta del Arc Gis.

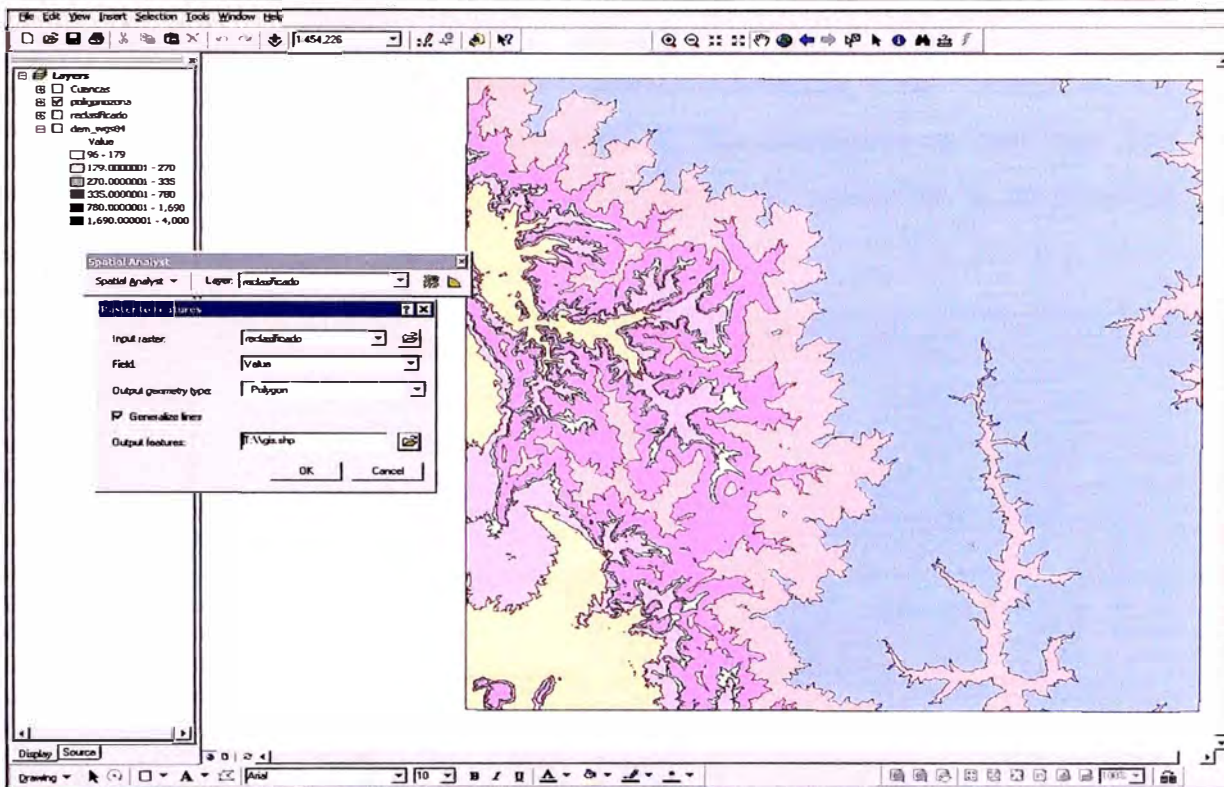


Figura N° 18. Se muestra la conversión de las imágenes a polígonos, que son más manejables por el Arc Gis.

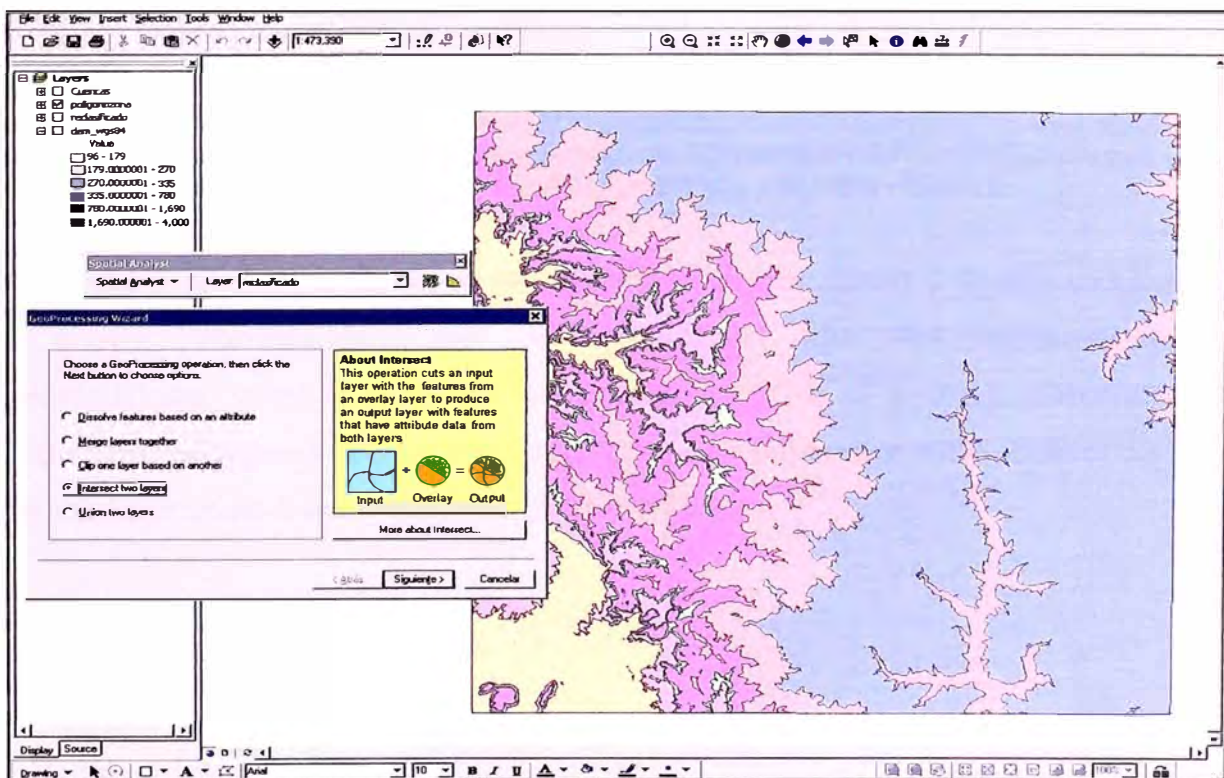


Figura N° 19. Se muestra el proceso de intersección de los polígonos con las elevaciones de las Estaciones Pluviométricas.



Finalmente, al tener dividida cada cuenca en fragmentos correspondientes a intervalos de altitud, se procede a calcular los porcentajes de influencia de cada intervalo con respecto a la cuenca total.

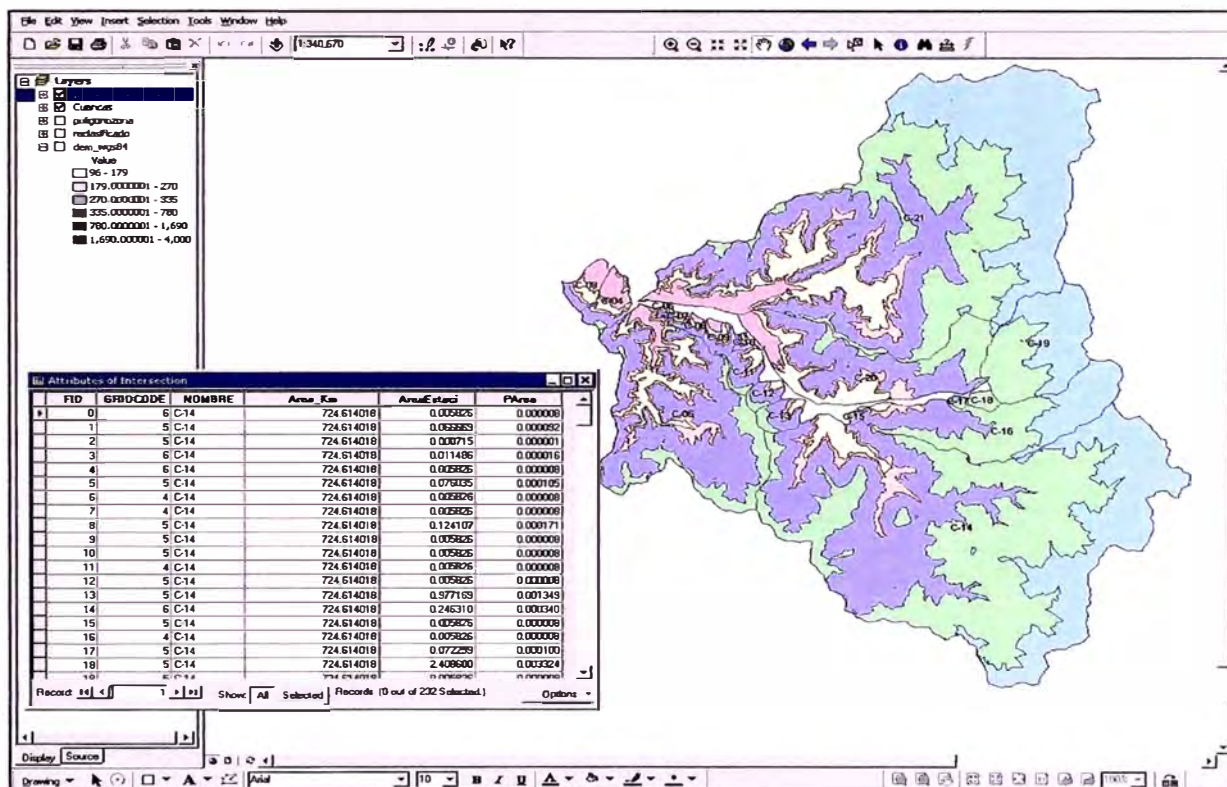


Figura N° 20. Se muestra el resultado del proceso de intersección de los polígonos con las elevaciones de las Estaciones Pluviométricas y la tabla obtenida.

En la Figura N° 20 se observa el resultado del proceso y el cálculo de las áreas zonificadas por la elevación de las estaciones pluviométricas; y en la Tabla 2 se muestra como el archivo obtenido por dichos procesos es manejable con un software más comercial como el Microsoft Excel, para su mejor manejo.



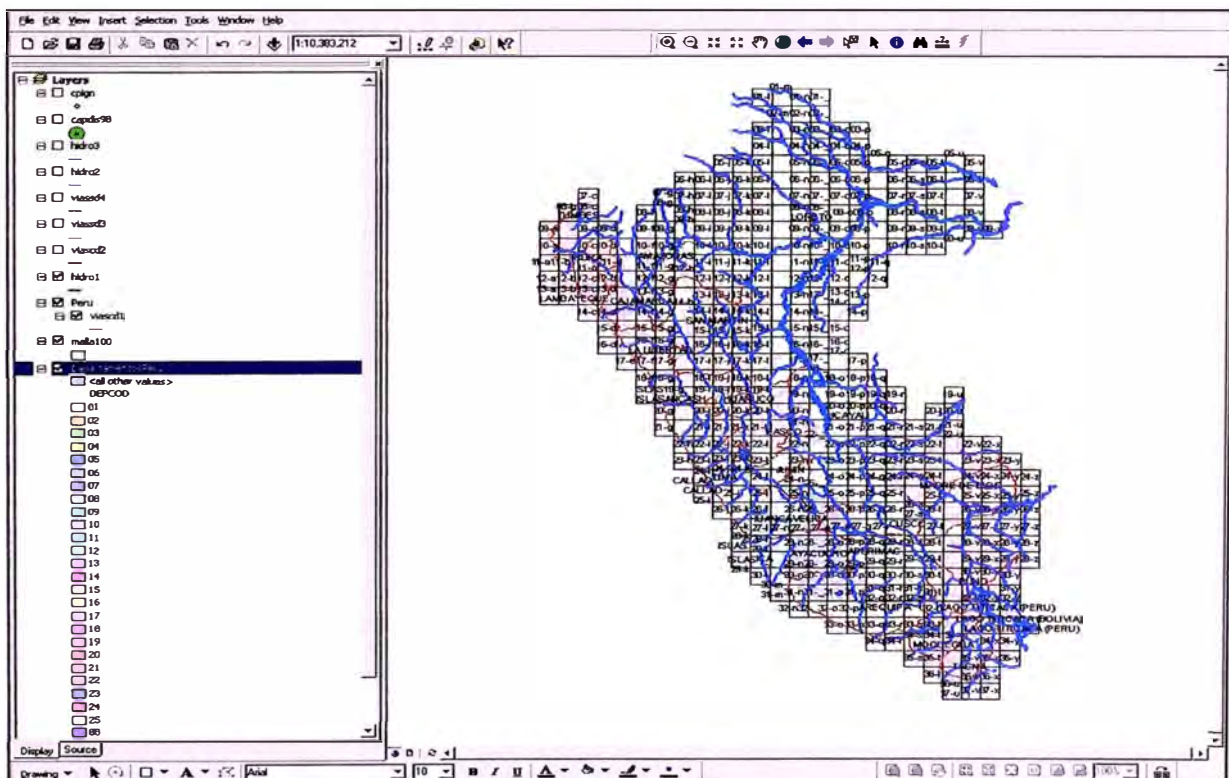
**Tabla 2. Porcentaje de área de acuerdo a la altitud.**

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Estaciones (% área que representa según altitud)						Precipitación de Diseño (mm) para un Tr		
		Malacasi	Virrey	Barrios	Chignia	Canchaque	Huarmaca	25 Años	50 Años	100 Años
C-01	2.17	68%	21%	7%	4%	—	—	259.10	309.28	358.67
C-02	18.21	23%	26%	13%	37%	0%	—	199.80	238.90	277.20
C-03	13.30	35%	35%	9%	21%	—	—	223.88	269.37	313.84
C-04	18.23	32%	35%	10%	21%	3%	—	219.74	264.30	307.85
C-05	229.01	1%	15%	12%	58%	15%	—	161.94	191.02	219.61
C-06	0.95	12%	48%	23%	17%	—	—	201.63	244.54	286.19
C-07	3.18	13%	51%	17%	19%	—	—	206.21	250.87	294.21
C-08	3.33	8%	53%	12%	27%	—	—	201.71	245.94	288.81
C-09	9.81	0%	44%	13%	41%	1%	—	183.49	222.49	260.33
C-10	2.67	—	42%	20%	38%	—	—	179.53	217.05	253.49
C-11	13.81	—	19%	14%	55%	12%	—	162.77	192.74	222.13
C-12	8.63	—	14%	9%	59%	18%	—	160.72	189.49	217.77
C-13	13.01	—	11%	10%	55%	24%	—	158.57	186.06	213.15
C-14	724.61	—	2%	3%	29%	43%	24%	147.70	170.39	192.88
C-15	1.58	—	31%	19%	50%	—	—	171.06	205.16	238.40
C-16	121.38	—	2%	3%	22%	39%	34%	143.15	164.66	185.98
C-17	1.63	—	—	—	53%	47%	—	154.76	179.29	203.65
C-18	4.81	—	—	—	4%	96%	—	163.88	188.74	213.43
C-19	95.96	—	—	—	0%	42%	58%	134.21	152.76	171.19
C-20	141.74	0%	24%	9%	43%	23%	1%	169.54	201.55	232.87
C-21	732.77	1%	11%	5%	25%	26%	31%	151.23	176.31	201.01

## 2.4.8 Disponibilidad de información

Muchas veces cuando iniciamos un estudio de ingeniería, se nos da el lugar de emplazamiento de las obras o estudios. Este sitio debe estar referenciado con coordenadas, y lo primero que buscamos son las vías de acceso, para lo cual el SIG es una herramienta indispensable, porque con la información que existe podemos saber si las carreteras que llegan son afirmadas o pavimentadas, si son de primer, segundo, tercer o cuarto orden. También los ríos que están cerca, o quebradas principales. En otras palabras le preguntamos al SIG: que hay en el punto X, Y?.

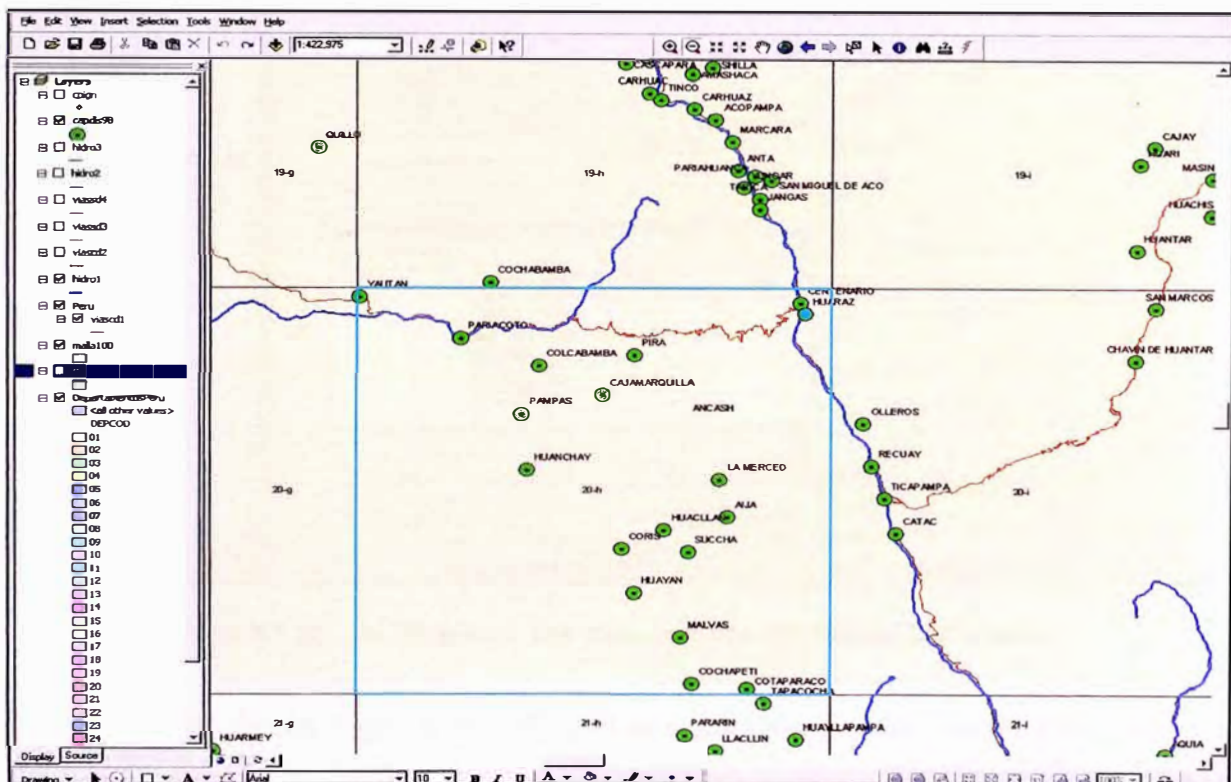
En la Figura N° 21 se muestra las divisiones de la Carta Nacional del Perú y la codificación que se le asigna a cada división.



**Figura N° 21.** Se muestra las divisiones de la Carta Nacional plasmados en el Arc Gis.

A partir de tener la información plasmada en el Arc Gis se procede a la ubicación de cualquier punto del Perú que se quiera, en este caso ubicaremos la Provincia de Huaraz que se encuentra en el Departamento de Ancash.

Entonces se logra ubicar la Provincia de Huaraz en el Departamento de Ancash en el Arc Gis, en la Figura N° 22. Se puede ver que se encuentra en la Carta 20-h y a simple vista se puede reconocer que existen vías y ríos principales cerca.



**Figura N° 22. Se muestra en que carta se encuentra la Provincia de Huaraz y la ubicación de las vías y ríos principales.**

Ya ubicada la Provincia, las vías, los ríos principales y algunas ciudades cercanas; se procede a la investigación más profunda de los elementos cercanos a nuestro punto de análisis, en este caso la Provincia de Huaraz.

Con un solo toque del cursor se puede obtener diferentes tipos de datos de los elementos cercanos, ya sea tipo de río, nombre de río, nombre de vía, nombre de ciudades cercanas, etc.

- ◆ En la Figura N° 23 se obtienen los datos de la carretera cerca de la Provincia de Huaraz y en la Figura N° 24 se obtienen los datos del río que pasa por la Provincia de Huaraz.

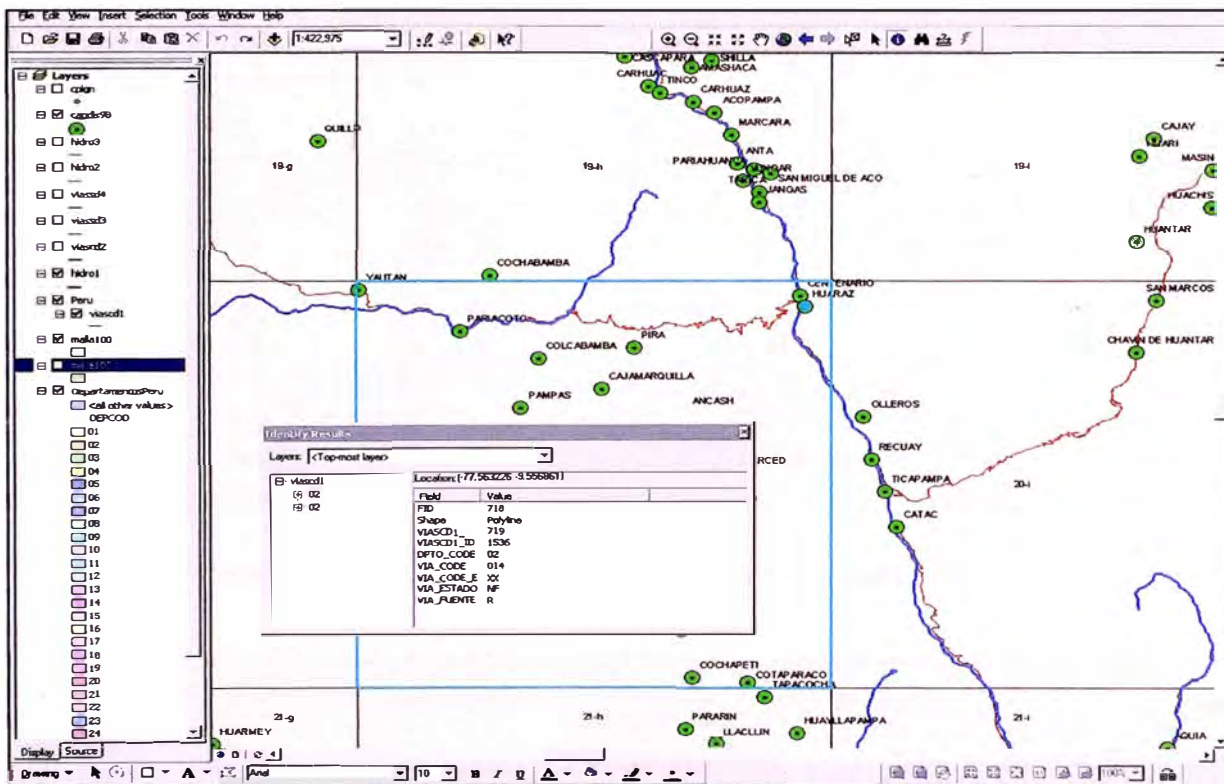


Figura N° 23. Se muestra los datos de la carretera indicada.

Finalmente, en la Figura N° 25 se muestra todos los datos posibles de obtener, si se requiere de su uso, con una simple herramienta del Arc Gis.



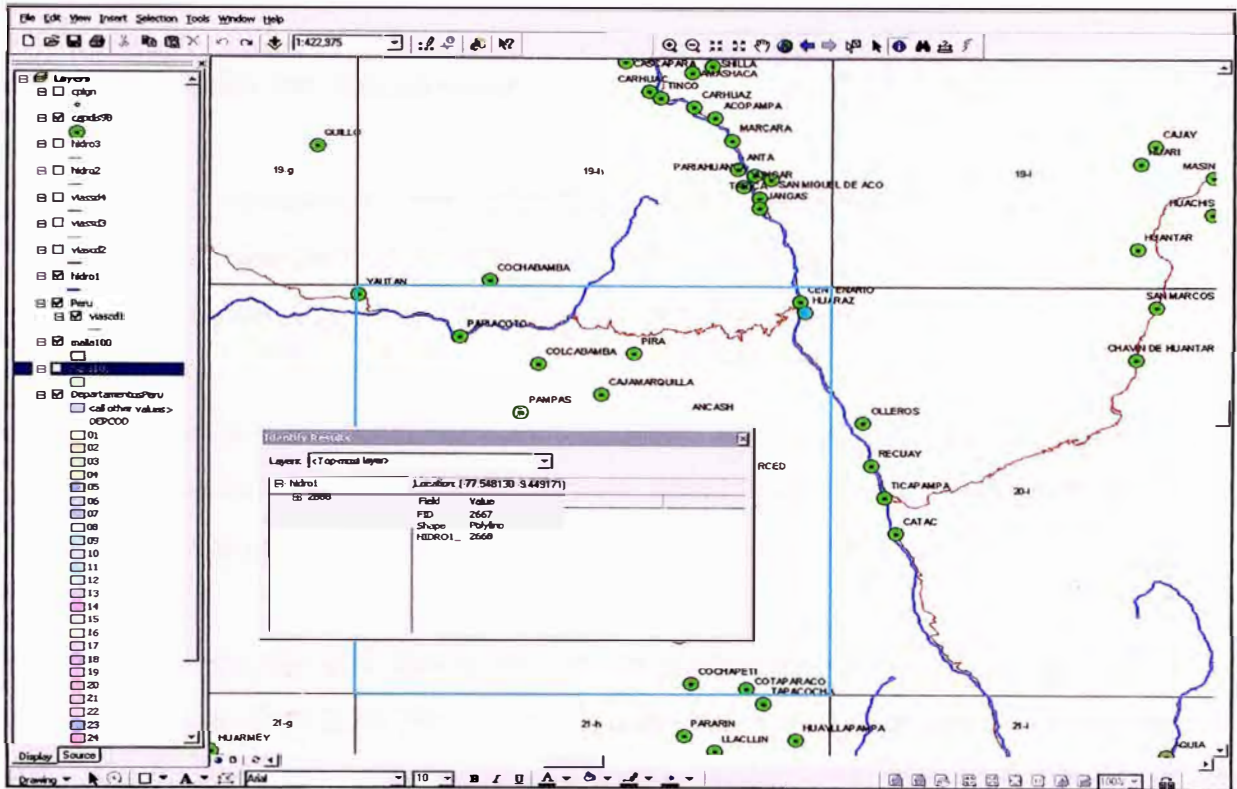


Figura N° 24. Se muestra los datos del río indicado.

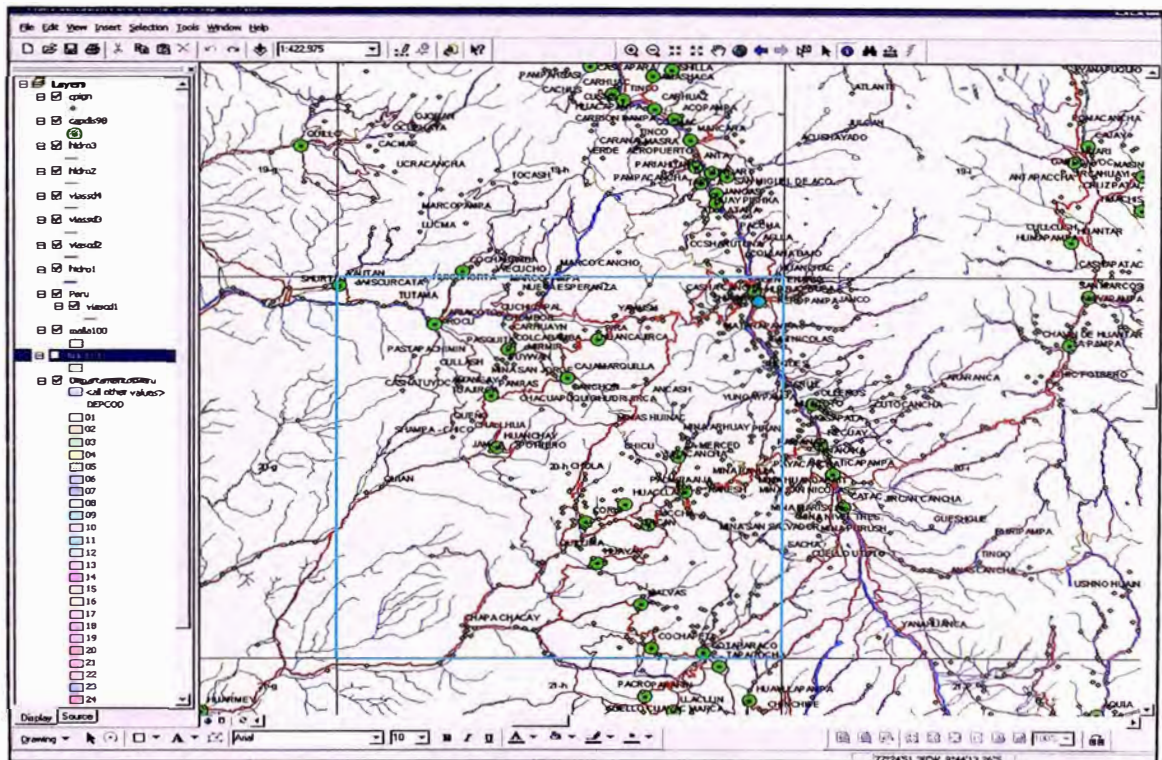


Figura N° 25. Se muestra los datos posibles de identificar con una herramienta sencilla del Arc Gis.

## 2.4.9 Presentación de resultados

¿Cuál es el resultado de clasificar los siguientes conjuntos de información espacial? Arc Gis permite mostrar los resultados de diferentes parámetros de acuerdo a la conveniencia.

Es decir cuando se termina un proceso de Arc Gis los resultados pueden ser obtenidos en la forma más conveniente o de acuerdo a lo que se requiera para un mejor manejo de información.

Utilizaremos uno de los ejemplos de modelación hidrológica, esta vez en la carretera Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura. En la Figura N° 26 se muestra los datos de salida en “Tablas” de los parámetros de las cuencas del lugar.

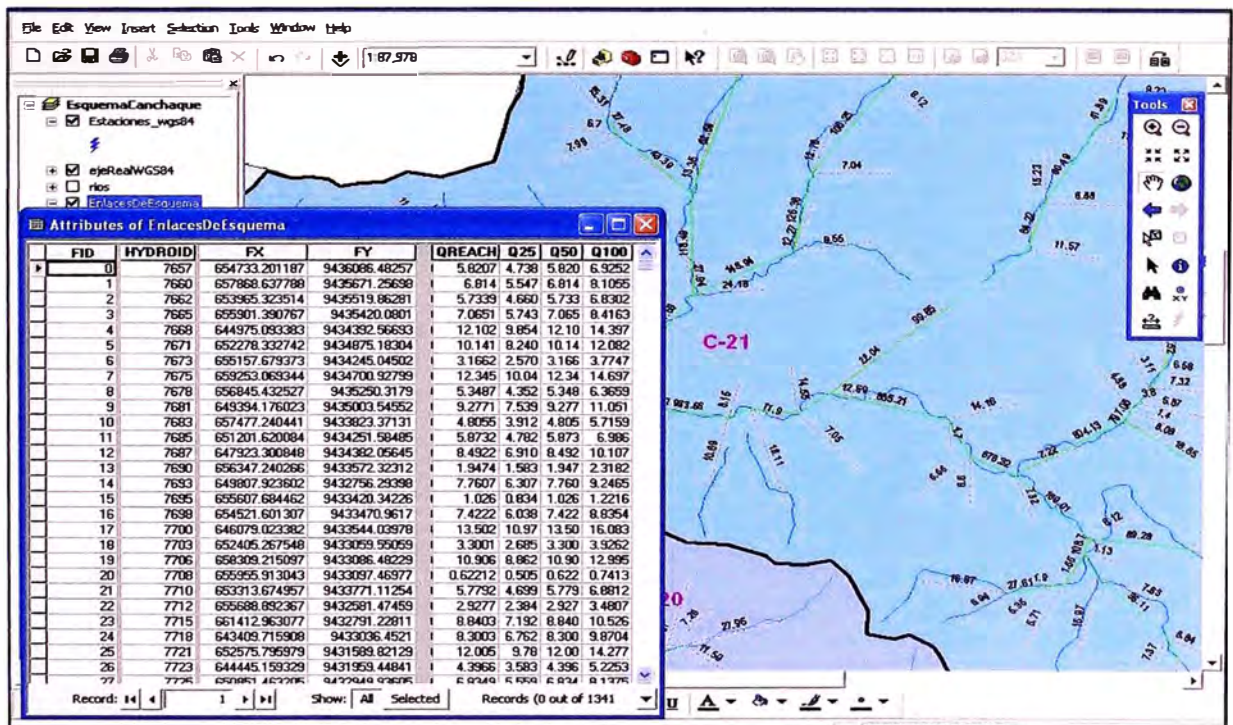


Figura N° 26. Se muestra los resultados obtenidos en Tablas.



En la Figura N° 27 se muestra los datos de salida en “Esquema”, es decir cuando se requiere realizar la presentación gráfica de los resultados el Arc Gis maneja un estilo de presentación gráfica de muy alto nivel.

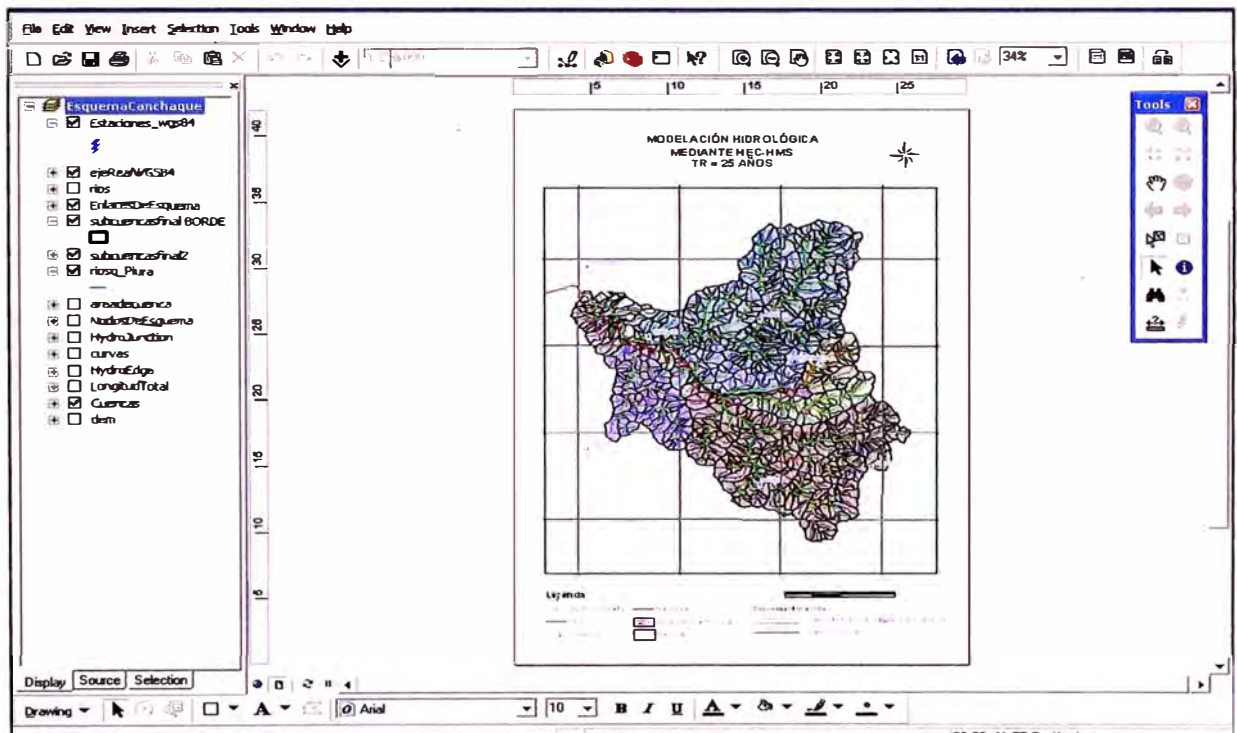


Figura N° 27. Se muestra los resultados representados en Esquema.

### 2.4.10 Modelación hidrológica

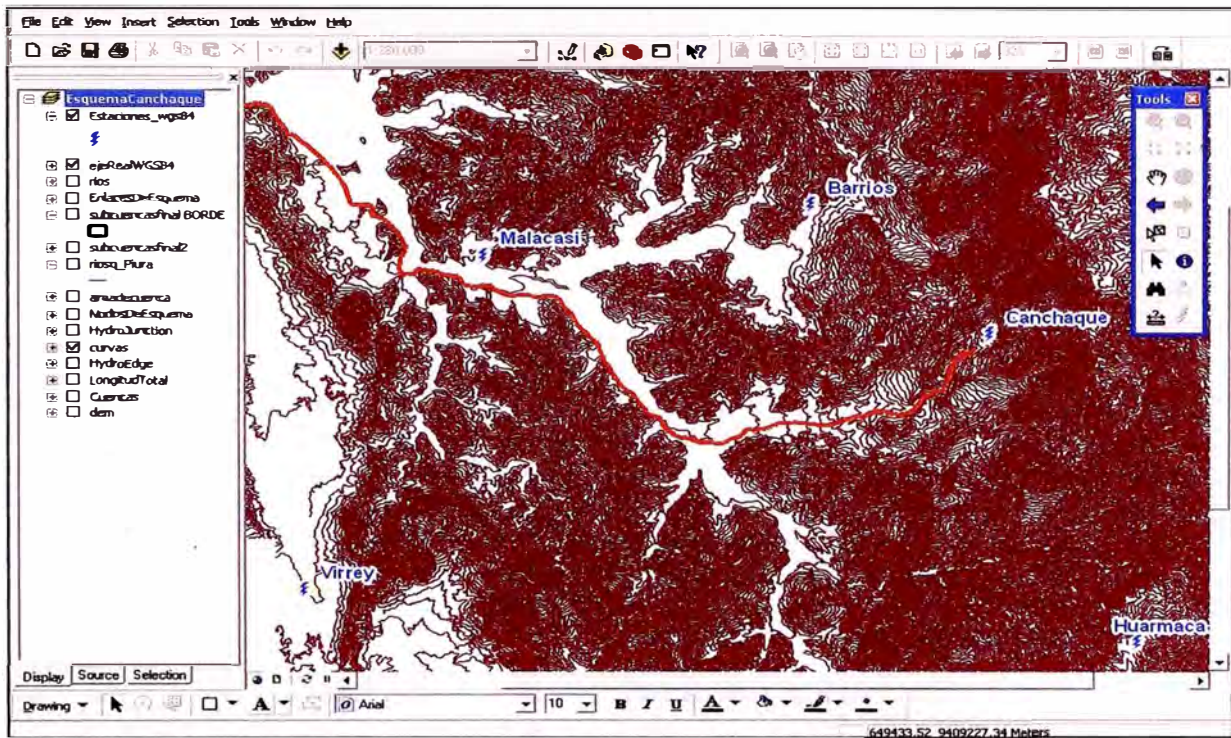
Utilizando el modelo definido del mundo real, simule el efecto del proceso  $P$  en un tiempo  $T$  dado un escenario  $S$ . Con el SIG se están realizando muchos esfuerzos para enlazarlos con modelos matemáticos, por la versatilidad y facilidad de manejar grandes bases de datos.

Tomaremos como ejemplo la realización de una modelación Hidrológica Con la herramienta del Arc Gis este proceso se vuelve sencillo, ya que la cantidad de información y el manejo de la misma es muy óptimo, aunque no se realiza el calculo desde SIG.

Regresamos con la carretera Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura, en el que se identificaron 21 cuencas principales, en los que se desea calcular el caudal de diseño.

La datos necesarios, de partida siempre serán las cartas nacionales. Con dicha información y un modelo matemático es simple delimitar las Cuencas y Subcuencas, a una precisión acorde con el método hidrológico a utilizar.

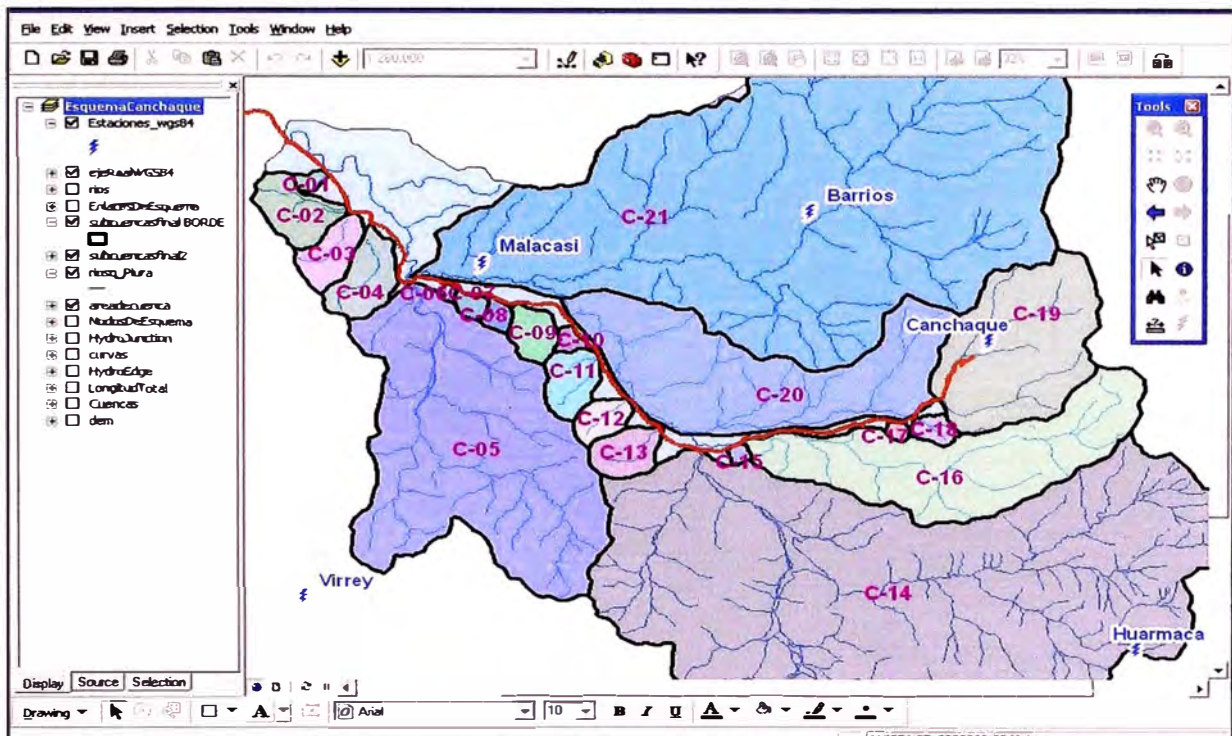
En la Figura N° 28 se muestra las curvas de nivel de la Zona de Estudio ingresada como dato al Arc Gis, así como también las estaciones disponibles en la cuenca.



**Figura N° 28.** Se muestra las curvas de nivel de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.

Una vez ingresada la topografía se realiza la delimitación de cuencas y subcuencas, y la ubicación de los ríos y quebradas. Adicionalmente, se ha realizado una delimitación manual de 21 cuencas en el área de estudio, las cuales influyen en el cálculo de las obras de cruce de la carretera. Este esquema se muestra en la Figura N° 29



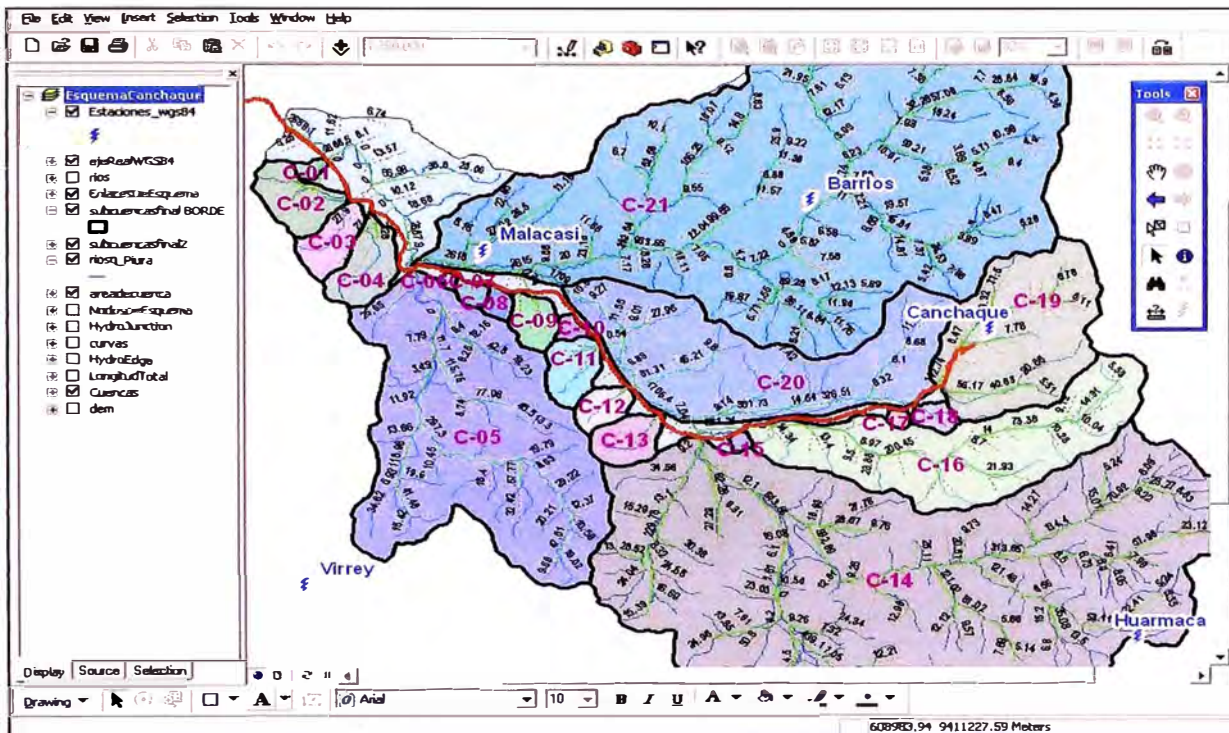


**Figura N° 29.** Se muestra los ríos, quebradas y la delimitación de cuencas y subcuencas de la Zona de Buenos Aires – Canchaque en el Departamento de Piura.

Una vez ingresados dichos datos se procede al cálculo de los caudales de las quebradas y afluentes que se encuentren en la Zona de Estudio con el programa HEC-HMS; y con un proceso interactivo se presentan los valores en Arc Gis.

Para realizar el modelamiento hidrológico, se tiene que establecer una red de drenaje, lo cual lo define el SIG, con ayuda del usuario. Esta información de la red de drenaje es un dato para el programa HEC-HMS.

Los caudales son calculados en cada punto de la red de drenaje, y el Arcgis tiene la capacidad de mostrar todos los valores obtenidos para la interpretación del Ingeniero y utilización de los resultados según su conveniencia, tal como se muestra en la Figura N° 30.



**Figura N° 30.** Se muestra la red de afluentes y los caudales obtenidos de los ríos y quebradas existentes en la Zona de Estudio.

Se han obviado muchos pasos, los mismos que se detallaran los siguientes capítulos.



## 2.5 COMPONENTES



Figura N° 31. Componentes del SIG

### 2.5.1 Equipos de computo (Hardware)

En computación sabemos que el hardware esta asociada a la parte física de la informática, es decir los procesadores, lectoras, discos duros, monitores, etc. El SIG no es ajeno a esta, por lo cual necesita computadores de ultima generación por el requerimiento de proceso. En la década pasada aun estaba dedicado el SIG a las mini computadoras, por el volumen de datos para realizar procesos simples. En la actualidad poseemos computadoras personales basadas en dos procesadores (core 2 duo), la cual tiene una gran performance, aunque cuando se comenzó esta tesis utilizaba la famosas Pentium IV 2.8Ghz bus 800Mhz, con 2Gb de RAM y un HD de 200Gb, la cual demoraba para realizar una delimitación de cuenca de 1000km<sup>2</sup> por lo menos 6 horas, por supuesto para un nivel de detalle de un estudio de carreteras (cuencas de 2km<sup>2</sup>).

### 2.5.2 Software

Como usualmente decimos es el alma del computador, encargado de hacerlo funcionar, que parezca que piense la computadora. La

plataforma ARGIS esta disponible ahora en Windows, por lo que se nos acerca a nuestra comunidad, debido a que la influencia en el Perú es mayor por este sistema operativo.

Tanto Arcgis como Autocad Map proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes estos programas son:

- ◆ Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica, la cual provee tablas de análisis y búsquedas.
- ◆ Un sistema de manejador de base de datos, que puede ser basado en el clásico dbf de dbase o en el mdb de access.
- ◆ Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización, como las herramientas de cad inquirí o las de argis como selección.
- ◆ Interfase gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.

### 2.5.3 Datos

La parte más importante de un sistema de información geográfico son sus datos. Los datos geográficos pueden ser administrados por quien los implementa el sistema de información, pero lo más recomendable sería tener un ente único regido por un estándar determinado.

El orden de almacenamiento es importante, así como las estructuras que seguirán los usuarios. En SIG no existe la mezcla de datos en capas, es decir que las entidades básicas son puntos, líneas o polígonos, y a cada una de ellas se asocian campos.

Los puntos pueden ser estaciones hidrometeorológicas, con registros de su ubicación geográfica (coordenadas geográficas, altitud) y política (región, provincia, distrito), periodos de años de datos, calidad

de información, etc. Los datos pluviométricos propiamente dichos serán tablas asociadas a los puntos.

Las líneas pueden representar ríos, vías de comunicación, etc. Estos tienen registro de nombre y ubicación geográfica, usos, estado, características, etc.

#### **2.5.4 Recursos humanos**

El recurso humano es el más importante, debido a que si no se tiene personal capacitado, el SIG se limita a ser una base de datos.

El personal debe operar, desarrollar y administrar; y establecer planes para aplicarlo en el desarrollo u objetivos planteados.

#### **2.5.5 Procedimientos**

Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras de la aplicación, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización.

## 2.6 PROCEDIMIENTOS Y FUNCIONES

En cualquier proceso de ingeniería existen un proceso secuencial de recopilación de información existen, análisis de datos, modelamientos, elaboración de diseños y presentación de resultados mediante planos y expedientes. Estos procesos básicos mantienen la secuencia en un análisis con SIG, con la diferencia de que estos sistemas permiten el almacenamiento de información masiva, que por ende debe tener un orden establecido. En el siguiente esquema se muestra dicho proceso, con términos manejados por los sistemas de información geográfica.



**Figura N° 32.** Secuencia de un análisis con un Sistema de Información Geográfica.

Los levantamientos de información se realizan mediante la captura de la información mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesos aerofotogramétricos, entre otros. Esta información quedara almacenada bajo parámetros propios del SIG (vector o raster), para después poder realizar funciones básicas de procesamiento, la cual corresponde al análisis con los datos gráficos y no gráficos. Se puede especificar la función de continuidad de objetos sobre una área determinada, del mismo modo, se puede especificar la función de coincidencia que se refiere a la superposición de objetos o entes dispuestos sobre un mapa. Para hacer un ejemplo,

podemos diferenciar en una imagen las diferentes coberturas vegetales (árboles, pastos, bosques secos) en un área determinada, solo analizando el color o los espectros registrados en las fotos satelitales.

La manera como se agrupan los diversos elementos de un SIG esta determinada por las necesidades de los usuarios, las cuales generalmente son variables y dinámicas.

Particularmente la terminología de SIG cambia de acuerdo a las al software que se maneja, por ejemplo en el mismo ESRI entre las versiones 3 y 8 se manejan archivos tipo “.apr” y “.mxd”, en el primero se habla de tema, categoría, objetos, en el segundo de capas, grupos de capas, objetos. En ambas versiones se puede realizar el mismo tipo de análisis, teniéndose diferencias en la terminología y las prestaciones de la versión 8.



# **CAPITULO III: SITUACION DEL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG) EN EL PERU**

## **3.1 GENERALIDADES**

En este Capítulo se muestra de forma específica, como parte del diagnóstico de la situación actual, algunas actividades y normas legales emitidas por el gobierno con la finalidad de construir la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú estableciendo su importancia y relevancia para el desarrollo nacional.

Asimismo se detallan los aspectos principales que caracterizan el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica en la Administración Pública tales como duplicidad de esfuerzos, falta de estandarización, desarrollo fragmentado, entre otros, lo que permite pronosticar el impacto negativo como consecuencia de postergar una adecuada y óptima implementación.

La información estadística proveniente de los registros administrativos también tienen una situación que es necesario considerar para un adecuado desarrollo de la infraestructura de datos espaciales. Las carencias y deficiencias en su producción indica que requerimos orientar más recursos y potenciarlas dado que es un componente principal de los SIG.

Finalmente se describirá el Plan de Implementación y Desarrollo de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP) desde las conclusiones emitidas por el Comité designado hasta los principios básicos y sus componentes. A la fecha se puede obtener información de los resultados obtenidos en la implementación en la página Web [www.idep.gob.pe](http://www.idep.gob.pe).

### 3.2 INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES EN EL PAÍS

En el Perú se está trabajando en la construcción de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú - IDEP.

En la dirección [www.idep.gob.pe](http://www.idep.gob.pe) se encuentra gran cantidad de información que describe la historia, necesidades, planes y alcances para la creación de la Infraestructura de datos espaciales del Perú. Esta Tesis recopila la información necesaria que está ligada con el desarrollo de la ingeniería hidráulica.

Para una mejor comprensión de lo que significa una infraestructura de datos espacial, nos referiremos al documento de difusión de la IDEP, el cual fue publicado en el año 2003, y que aparece en la portada del sitio web.

*“La Infraestructura de Datos Espaciales del Perú - IDEP es un conjunto de políticas, estándares, organizaciones y recursos tecnológicos que facilitan la producción, obtención, uso y acceso a la información georeferenciada de cobertura nacional ....”*

El diseño de cualquier sistema de información nos exige un análisis del problema, que incluye las necesidades y requerimientos de los usuarios, conocimiento de los procesos y resultados, para después definir las reglas sobre las que va a funcionar nuestro sistema. El IDEP no es ajeno a esto, y entendiendo esto, se plantearon objetivos específicos, los que enunciamos a continuación:

- a) Definir lineamientos y estrategias que ordenen la producción y difusión de la información geográfica.
- b) Establecer un marco de cooperación entre productores y usuarios de la información geográfica.

- c) Documentar los datos cartográficos básicos y temáticos producidos y facilitar el acceso a ellos (Meta datos).
- d) Armonizar los Sistemas de información para asegurar la interoperabilidad de los datos. (Estándares –comité de normalización de datos espaciales)

Tomando en cuenta que es una base de datos nacional, el requerimiento de estandarización es aun mayor.

Existe acuerdos para compartir información entre los organismos, es decir comparte sus base de datos espaciales, por lo cual se debe contar con información espacial y estadística compatible y estandarizada.

Desde 1996, se promueve la construcción de las Infraestructuras Globales de Datos Espaciales - GSDI, entendida como un proceso mundial y abierto que interconecta las infraestructuras nacionales y regionales para coordinar la gestión y el uso de datos espaciales y las actividades relacionadas.

En el Perú, desde que se concibió la idea de crear un Infraestructura de Datos Espaciales, se han desarrollado iniciativas legales y eventos técnicos, entre los más importantes se mencionan a continuación:

#### Primer Taller Nacional de Cartografía Cibernética

El “Primer Taller Nacional de Cartografía Cibernética” se llevó a cabo en enero del año 1999 en Lima y fue patrocinado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA) de la Pontificia Universidad Católica del Perú. El evento reunió a los principales actores en el contexto de SIG, que propició discusiones sobre nuevas iniciativas de cooperación para el intercambio de datos y meta datos.

### Decreto Supremo de Acceso a Información

Mediante el Decreto Supremo N° 018-2001-PCM del 26 de febrero del año 2001 se dispuso que las entidades del sector público deben incorporar en su Texto Único de Procedimientos Administrativos (TUPA) un procedimiento que posibilite el acceso de todas las personas a la información que posean o produzcan, con excepción de aquella información que afecte la intimidad personal, la seguridad nacional o que sea protegida por derechos de autor. Explícitamente, se menciona la publicación de datos en la Internet. La interpretación general de este decreto incluye los datos espaciales, y por eso puede ser considerado como el marco legal para iniciativas como la INDE.

### Comisión Nacional para el Ordenamiento Territorial Ambiental

En abril del año 2001, se creó mediante Decreto Supremo la Comisión Nacional para el Ordenamiento Territorial Ambiental, encargada de proponer lineamientos para los procesos del Ordenamiento Territorial Ambiental (OTA) y de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE). Esta comisión nacional tiene un Comité Asesor presidido por el consejo Nacional del Medio Ambiente y, constituido por representantes de las entidades más importantes en la generación de datos espaciales del país, contribuye con propuestas sobre la estandarización concertada y el intercambio de datos espaciales y alfanuméricos con importancia para estos y otros procesos.

### Taller sobre Sistemas de Información Geográfica –SIG- y Documento INDE - MTC

El “Taller SIG” fue organizado por el Proyecto SIG del Ministerio de Transportes y Comunicaciones desarrollado en mayo del año 2001 en Lima, con el fin de reunir a todos los usuarios actuales y futuros de esta tecnología, informar sobre el estado actual del desarrollo de Sistemas de



Información Geográfica y de datos espaciales en el país y llevar adelante iniciativas de cooperación.

Además, en el mismo proyecto SIG MTC, a solicitud del Banco Interamericano de Desarrollo, se desarrolló una propuesta preliminar de lineamientos generales de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales - INDE. El objetivo primordial de esta propuesta es contribuir a la implementación de una INDE, manejada por el Gobierno del Perú, a través de la creación de un foro de discusión sobre este tema. Esta versión final fue presentada y discutida en un taller que se llevó a cabo a fines de marzo del año 2002 en la ciudad de Lima. Los documentos se encuentran disponibles en Internet <http://www.gaf.de/peru-gis>.

#### Curso “Desarrollo de Nodos Clearinghouse para Datos Espaciales”

En junio del año 2001, se realizó en Lima el curso “Desarrollo de Nodos Clearinghouse para Datos Espaciales”, patrocinado por el Earth Resources Systems Data Center (EROS) del United States Geological Survey (USGS) y el Federal Geographic Data Committee (FGDC), que concluyó en una iniciativa para implementar un Nodo Internet (Isite Z39.50) con meta datos espaciales aportados por instituciones gubernamentales generadoras de datos espaciales, dirigido por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Perú. Este nodo recién fue puesto en la Internet y se encuentra accesible en la siguiente dirección: <http://www.ignperu.gob.pe/nodo.htm>.

#### Inventario de Datos Espaciales

Entre abril y junio del año 2001, el Proyecto SIG del Ministerio de Transportes y Comunicaciones levantó un inventario de datos espaciales existentes en las instituciones gubernamentales y no gubernamentales del Perú. El documento resultante, publicado en julio 2001, identifica todas aquellas instituciones que generan datos espaciales en formato digital, y resume las características más importantes de los datos manejados,

sirviendo de esta manera como marco base para actividades como la INDE y el OTA.

### Proyecto Piloto MEF

La Dirección General de Programación Multianual del Sector Público del Ministerio de Economía y Finanzas en el marco del Programa de Implementación del SNIP, llevó a cabo una prueba Piloto entre los meses de abril a Julio del 2002, el cual permitió compartir información geográfica y estadística a nivel Inter-ministerial. Otra de las tareas importantes de este trabajo fue la integración con los Aplicativos Informáticos del SNIP como el Banco de Proyectos y el Sistema Operativo de Seguimiento(SNIPNet). El objetivo del Piloto MEF fue demostrar la viabilidad de compartir información cartográfica y estadística estándar en forma libre a nivel del Estado para apoyar las tareas de identificación, formulación, evaluación y planificación de proyectos de inversión pública.

Entidades que participaron:

- Ministerio de Educación,
- Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción
- Ministerio de Salud
- Superintendencia de Bienes Nacionales
- Ministerio de Economía y Finanzas
- Instituto Nacional de Estadística e Informática

Creación del Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú – CC-IDEP.

Por R.M. N° 126-2003-PCM se constituye el Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú – IDEP, presidido por la PCM, instalándose en diciembre del 2003.

Las principales instituciones generadoras de datos espaciales relacionadas con ingeniería hidráulica son:

*El Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA*  
*El Instituto Geográfico Nacional – IGN*  
*El Instituto Geológico Minero Metalúrgico – INGEMMET*  
*El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI*  
*La Dirección de Hidrografía y Navegación Marina – HIDRONAV*  
*El Ministerio de Transportes y Comunicaciones.*  
*El Instituto del Mar del Perú – IMARPE.*

Existen otras instituciones generadoras de información espacial, pero no serán incluidas en esta tesis.

En general, el INRENA, IGN y el SENHAMHI son las instituciones que mayor interrelación con ingeniería hidráulica, cuyos datos deberían ser públicos, pero por diversos motivos (autosostenimiento, derechos de autor) no pueden estar disponibles en internet.

Al inicio de esta tesis, la información espacial entre la instituciones se caracterizaba por:

- Inexistencia y/o desactualización de meta datos.
- En el poder Ejecutivo, el 80% de los Ministerios tenía implementada una Unidad de Sistemas de Información Geográfica -SIG.
- Esfuerzo aislado de algunas entidades para su modernización tecnológica con el fin de aumentar su productividad a través del desarrollo de Sistemas de Información Geográfica.
- Desarrollo fragmentado y heterogéneo de los sistemas de información de cada institución considerando diferentes criterios de seguridad y de transparencia y diferentes enfoques sobre evaluación, adquisición y mantenimiento de la infraestructura informática y de comunicaciones.

- Diferentes niveles de capacitación o especialización del personal, factor que dificulta los procesos de transferencia de tecnología.
- Inadecuadas o inexistentes políticas y marcos normativos.
- Capacidad limitada de investigación y desarrollo, en particular en las áreas de software y aplicaciones.
- Limitada información estadística georeferenciable proveniente de registros administrativos.
- Desconocimiento del valor estratégico de la información geográfica – cartográfica, sin un plan de actualización periódica y sin un control de calidad que sea monitoreada permanentemente.

Esta situación está siendo superada a la fecha, con la puesta en marcha de un programa piloto, el cual logra interconectar cuatro instituciones que comparten datos en diferentes plataformas.

Ahora con la puesta en marcha de convenios entre las dependencias, se ha logrado crear normas para estandarizar los datos, o al menos no duplicar esfuerzos.

### **3.2.1 Instituto Geográfico Nacional (IGN)**

El Instituto Nacional Geográfico (IGN – [www.ign.gob.pe](http://www.ign.gob.pe)) es el ente rector del estado en cuanto a la cartografía oficial del Perú. En su página web podemos encontrar todo el procedimiento seguido por ellos para publicar las cartas nacionales que pueden ser adquiridas en su sede.

Dentro de su organización se distinguen dos grandes áreas, como son el área técnica y el área administrativa. (ver Figura N° 33). Dentro del Área Técnica se encuentra la Dirección de Geografía y la Dirección de Cartografía, las cuales son de interés para el desarrollo de esta tesis.



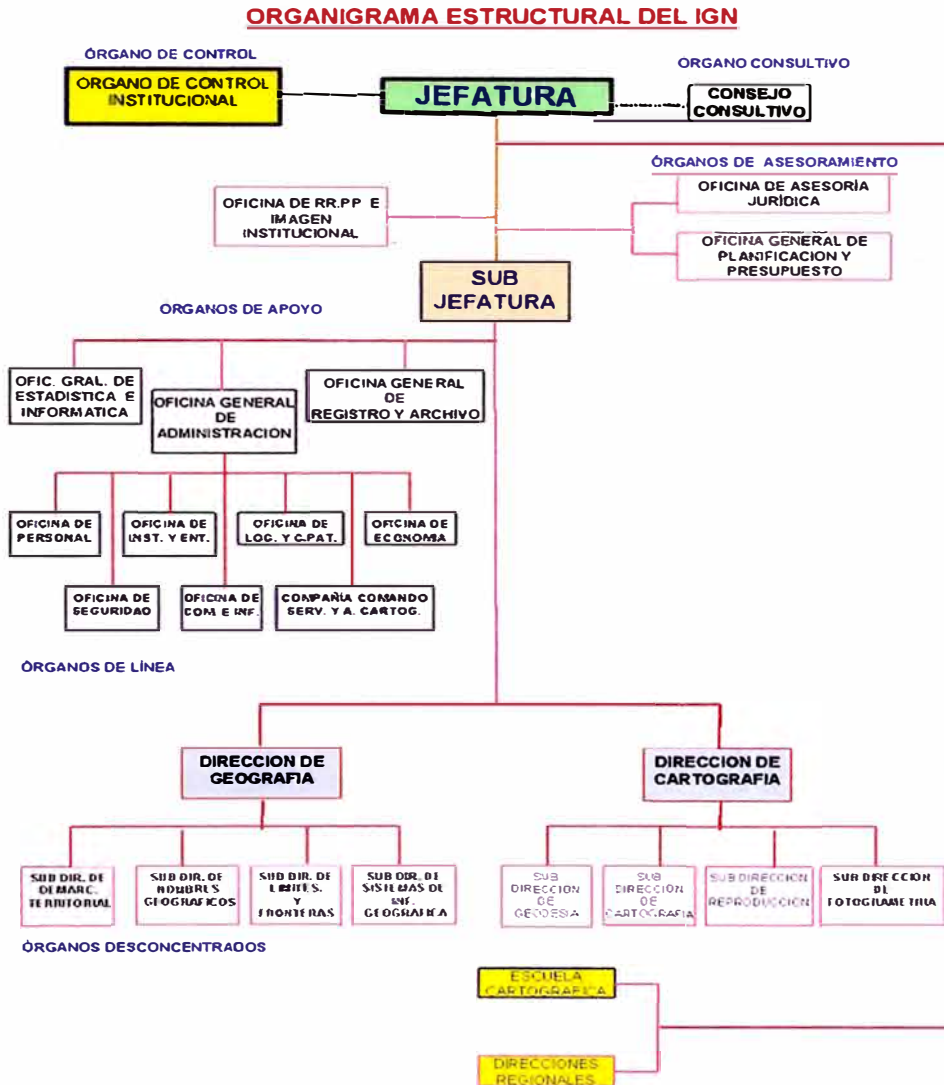


Figura N° 33. Organigrama del Instituto Geográfico Nacional. Fuente: IGN.

De la información recabada, esta entidad trabaja con un preproceso en microstation (formato dgn) y arcview (formato shape), para luego publicar la información en raster (imágenes). Se comercializa archivos digitales, según requerimiento de los usuarios.

La proyección empleada es la proyección Transversa de Mercator y la Cuadrícula utilizada es UTM dicha proyección cartográfica sobre el elipsoide WGS 84.

Posee un manual completo de sus procesos, por lo que podemos catalogarlo como trabajo coordinado, cuyos manuales son publicados en Noviembre del 2005. Si se desea un mayor detalle de cómo es el proceso del área técnica del IGN se debe ir a la siguiente dirección electrónica: [http://www.ign.gob.pe/web\\_espanol/IGN/Descargas/MAPROA.TECNICA.doc](http://www.ign.gob.pe/web_espanol/IGN/Descargas/MAPROA.TECNICA.doc)

Esta entidad ha elaborado normas técnicas, entre las que podemos citar:

- Especificaciones Técnicas para la Producción de Mapas Topográficos a escala de 1:100,000
- Especificaciones Técnicas para la Producción de Mapas Topográficos a escala de 1:50,000
- Especificaciones Técnicas para la Producción de Mapas Topográficos a escala de 1:25,000
- Normas Técnicas de Levantamiento Geodésico (Proyecto)

No se realiza la publicación electrónica de los mapas digitales del Perú en SIG, pero si se comercializa, de acuerdo a las necesidades de los usuarios. La información data del año 2004. En sus archivos digitales se tiene Límite, Proyección, Fisiografía, Hidrografía, Industria, Cultura, Vegetación, textos, Transportes y Comunicaciones. Información Cartográfica Digital en formato shape y datos alfa numéricos.

### 3.2.2 Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)

El Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA, es un Organismo Público del Ministerio de Agricultura, creado el 27 de noviembre de 1992.

Esta entidad tiene relación con esta tesis en la información sobre la gestión de recursos hídricos y evaluación ambiental.

Dentro de esta institución se tiene tres intendencias: Recursos Hídricos, Forestal y de Fauna Silvestre, Áreas Naturales Protegidas. Dentro de la intendencia de Recursos Hídricos se tiene:

- Dirección Gestión de cuencas Hidrológicas
- Dirección Gestión de recursos Hídricos
- Administraciones Técnicas de Distritos de Riego.

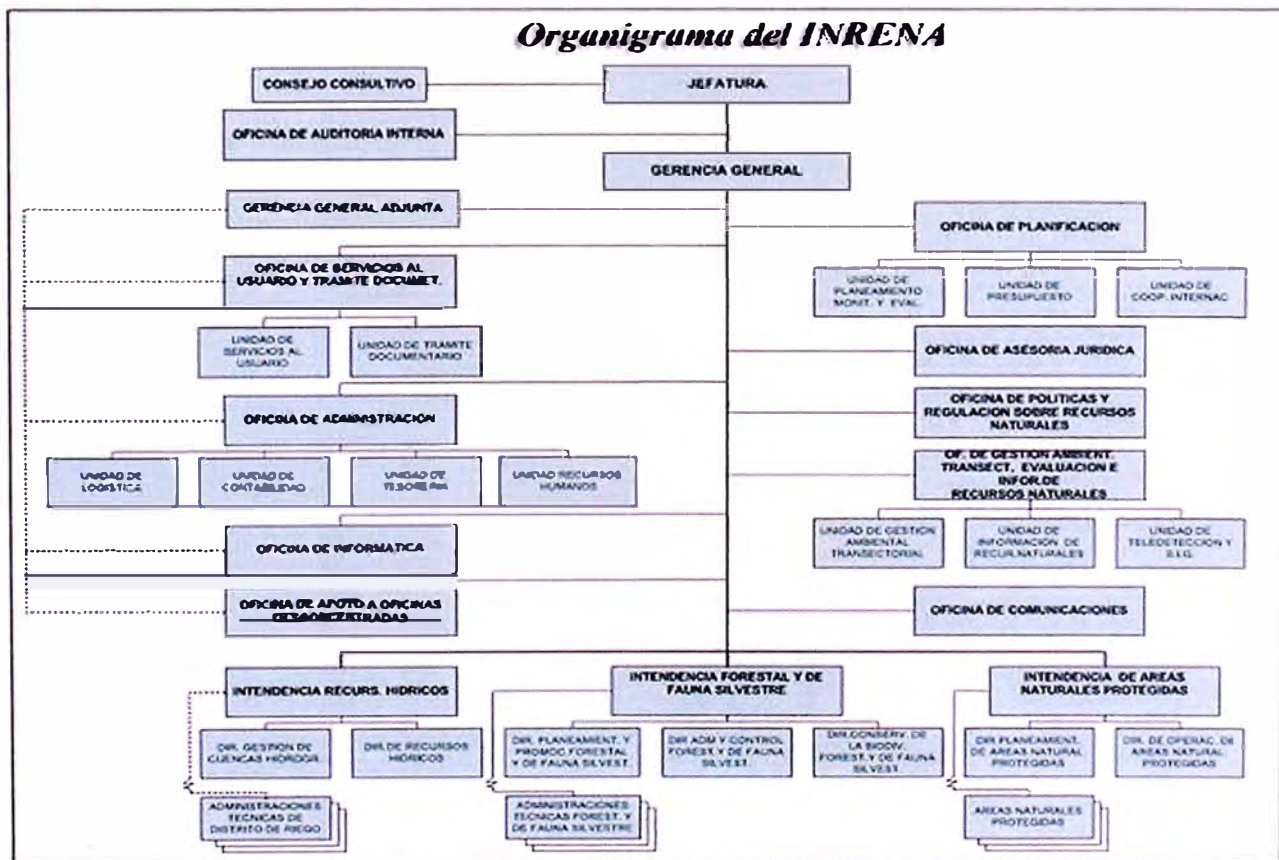


Figura N° 34. Organigrama del INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES

En la intendencia de recursos hídricos se trabaja a nivel macro, con cuencas mayores a 1000 km<sup>2</sup>, analizando los datos de disponibilidad hídrica, es decir trabaja con caudales y precipitaciones mensuales.

El INRENA ha publicado información concerniente a sus trabajos en un compendio denominado Mapas de Perú Ambiental, entre los cuales podemos citar:

- Mapa de Regiones Naturales (Costa, Sierra y Selva)
- Mapa Fisiográfico (relieve, vegetación, suelos)
- Mapa de Suelos (de acuerdo a la formación)
- Mapa de Cuencas Hidrográficas
- Mapa de Erosión de Suelos
- Mapa Forestal
- Mapa de Áreas Naturales Protegidas

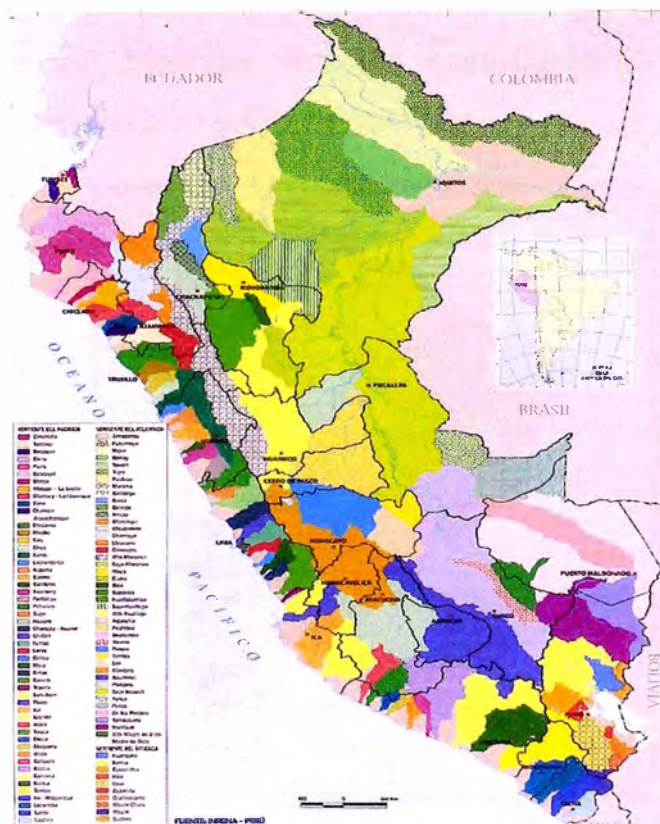


Figura N° 35. Mapa de la delimitación de cuencas del Perú. Fuente INRENA

Estos mapas son temáticos, sobre la base del IGN. Para esta Tesis es de especial interés el Mapa de Cuencas Hidrográficas, las que han sido codificadas de acuerdo a la metodología de Otto Pfafstetter.

La finalidad de esta delimitación fue de constituir la Base Cartográfica Digital de Cuencas Hidrográficas como Unidades de Gestión Territorial en general y como Unidades de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en particular.

La metodología de delimitación y codificación de cuencas fue creada en Brasil en 1989 y fue adoptada en 1997 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), quienes realizaron la Delimitación y Codificación Mundial de Cuencas Hidrográficas, con el apoyo del Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas - PNUMA.

En la actualidad el Método se va constituyendo en el estándar internacional de Delimitación y Codificación.



**Figura N° 36.** Delimitación de cuencas de América del Sur mediante el método PFAFSTETTER, Nivel 1. Fuente INRENA





**Figura N° 37.** Delimitación de cuencas por el método Pfafstetter. Nivel 3. Fuente INRENA

Esta metodología de delimitación se revisara mas adelante, pero lo importante es que se tiene una metodología oficial, regional para las cuencas de América del sur.

### 3.2.3 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Este organismo es el que centraliza la información meteorológica e hidrológica del país.

Una de las metas principales que se propuso llevar a cabo el SENAMHI fue el conocimiento, evaluación, estudio y clasificación de los recursos climáticos e hidrológicos del país y la realización de las investigaciones necesarias para el mejor aprovechamiento de esos recursos.

Su organización muestra 4 direcciones, las cuales son: agro meteorología, meteorología, hidrología y recursos hídricos, investigación y asuntos ambientales.

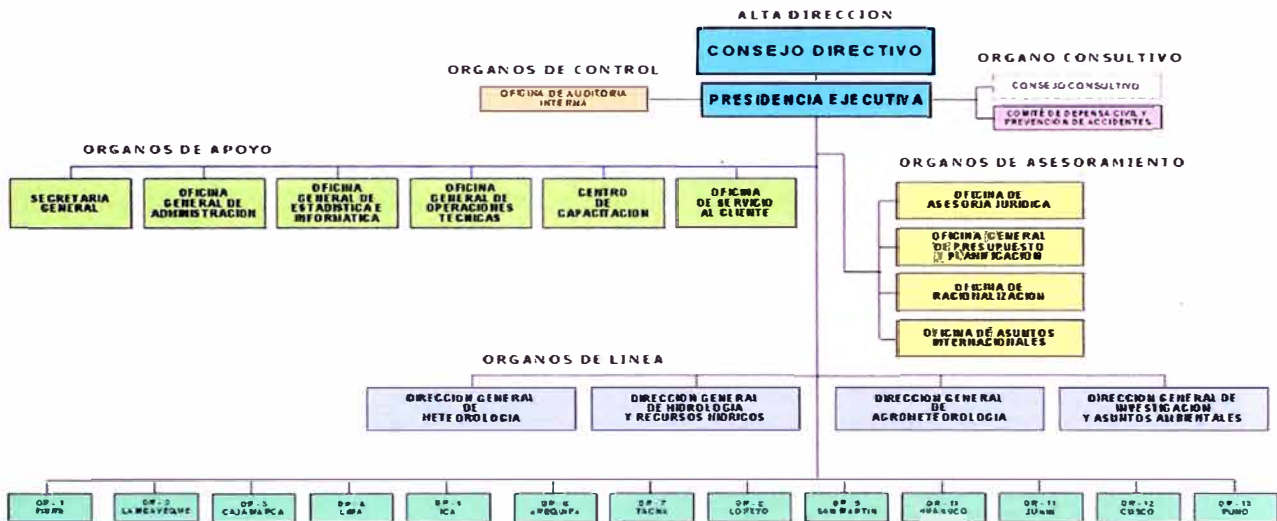


Figura N° 38. Organigrama del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

En ingeniería hidráulica, se necesita contar con un inventario de datos disponibles, para lo cual sería de mucha ayuda que las estaciones meteorológicas estén en la web. Lamentablemente esta información a la fecha no está accesible, a pesar de que se cuenta con información SIG de la ubicación de estaciones, dentro de la dirección de hidrología y recursos hídricos.

Para poder tener acceso a los registros de precipitación y de caudal del SENAMHI, es necesario primero indicar la zona donde realizamos el estudio. Luego se nos indica que información existe, con los periodos o años, el costo de cada uno de ellos, para recién poder adquirirlo. Esta labor podría ser eficiente, si se utiliza los meta datos de cada estación. El SENAMHI tiene esta información en SIG, pero no hay razón para no publicarla en índices.

### **3.3 PLAN PARA LA IMPLEMENTACION Y DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DEL PERU (IDEP)**

Para la elaboración del Plan de Implementación de la infraestructura de datos espaciales se conformaron cinco Mesas de Trabajo. Se identificó y logró la participación de las principales entidades productoras y usuarias de información geográfica y se definió la IDEP como un proceso abierto que permite la vinculación de organizaciones públicas, privadas, académicas, organizaciones no gubernamentales(ONG's) y entidades sin fines de lucro.

#### **Mesa de Trabajo 1: Datos Espaciales**

Elaboración de normas y estándares de datos espaciales. En este taller se llegó a la conclusión de generar una institución líder en normalización de los datos geográficos, que estandarice nomenclaturas, calidad de información, etc, para poder ser compartida entre instituciones y usuarios generales.

#### **Mesa de Trabajo 2: Metadatos**

Elaboración de la propuesta de estándares de metadatos, catálogos y servicios. De igual manera que el ítem anterior, se llegó a la conclusión de estandarizar y hacer directivas para la creación y actualización de metadatos en las instituciones generadoras de esta información.

#### **Mesa de Trabajo 3: Arquitectura**

Consensuar, difundir y proponer un conjunto de recomendaciones sobre la arquitectura que garantice su transparencia e interoperabilidad.

#### **Mesa de Trabajo 4: Política de datos, acceso, precios y licencias de uso de los datos espaciales.**

Se llegaron a las siguientes conclusiones:

Formular un proyecto de ley que regule el sistema cartográfico nacional básico y temático, definiendo campos de acción y responsabilidades

Elaborar y aprobar un paquete de políticas básicas de aplicación pronta para regular el acceso, precios, intercambio, seguridad, derechos de autor y demás aspectos

Firmar Acuerdos institucionales para compartir datos.

Efectuar un estudio de mercado que defina las necesidades de información de los clientes públicos y privados y sus proyecciones de demanda

Desarrollar mecanismos de difusión de los productos y servicios que cada institución ofrece

Constituir un comité sobre calidad de datos que examine y evalúe el estado actual de los datos de cada institución y proponga las correcciones del caso y sus costos

Preparar un plan de difusión de la IDEP a nivel nacional para difundir la importancia de la IDEP y sus beneficios para el país

Efectuar un survey de los recursos humanos en geoinformación y de las necesidad de reforzar su capacitación. El capital humano debe ser la clave del éxito de la IDEP.

La información geoespacial debe considerarse como recurso estratégicos del estado y de sus entidades. Debe ser considerada como infraestructura nacional, por tanto, responsabilidad del gobierno nacional.

Se deben dictar políticas y lineamientos que guíen la producción, administración, difusión, acceso y uso de la información

El manejo y utilización de la información espacial y la tecnología deben tener como objetivo el bienestar social y el servicio a la comunidad

Se debe dar más importancia al capital humano encargado de esta tarea en el Estado

## **Mesa de Trabajo 5: Registros Administrativos y Estadísticos del Estado.**

Determinar las políticas de consenso y proponer pautas para asegurar la actualización, mantenimiento y calidad de los registros administrativos y estadísticos que serán asociados y enlazados a las bases de datos gráficas, tomando en cuenta los procedimientos que siguen cada una de las entidades del Estado.

A todo esto se debe entender que se busca una Infraestructura de Datos Espaciales del Perú, para lo que describimos los principios básicos y sus componentes.

### **3.3.1 Principios Básicos**

La IDEP, que en la mayoría de países es denominado Infraestructura Nacional de Datos Espaciales- INDE, se fundamenta en dos principios básicos:

**Estandarización y Normalización.** La producción y documentación debe ser estándar sin tener en cuenta la institución que las crea, además debe seguir estándares preestablecidos, y si no existen crearlos.

**Difusión.** Los datos espaciales creados deben estar documentados y disponibles para cualquier usuario interesado, con la información de su ubicación, métodos de colección, costo de los datos, etc.

### **3.3.2 Componentes**

Con el desarrollo de la IDEP, la disponibilidad y el acceso a información geográfica oportuna, confiable y estandarizada, tendrá



un efecto directo en los procesos de toma de decisiones desde lo nacional hasta lo local, y contribuirá a la masificación del uso de la información.

Actualmente, existen dos necesidades imperativas que justifican la importancia de desarrollar la IDEP:

1. Conocer la disponibilidad de datos espaciales y facilitar su acceso e intercambio.
2. Facilitar el uso de información geográfica estandarizada y de cobertura nacional

La IDEP proporciona los mecanismos de cooperación e intercambio entre los actores sociales, para facilitar el acceso y uso de la información geográfica a nivel local, regional y nacional, mediante la formulación de políticas, la estandarización de los datos y la transferencia y aplicación de tecnologías, que permiten actualizar los métodos convencionales de gestión de datos geoespaciales y satisfacer las necesidades de los usuarios actuales y potenciales.

La Figura N° 39 muestra los principales componentes que se deben desarrollar para garantizar la implementación de la IDEP. El desarrollo de la IDEP, es una iniciativa nacional urgente. Como una base de producción eficiente, tendrá el potencial de la fuente primaria de datos fundamentales y de interés nacional para las diferentes actividades relacionadas con información geográfica.

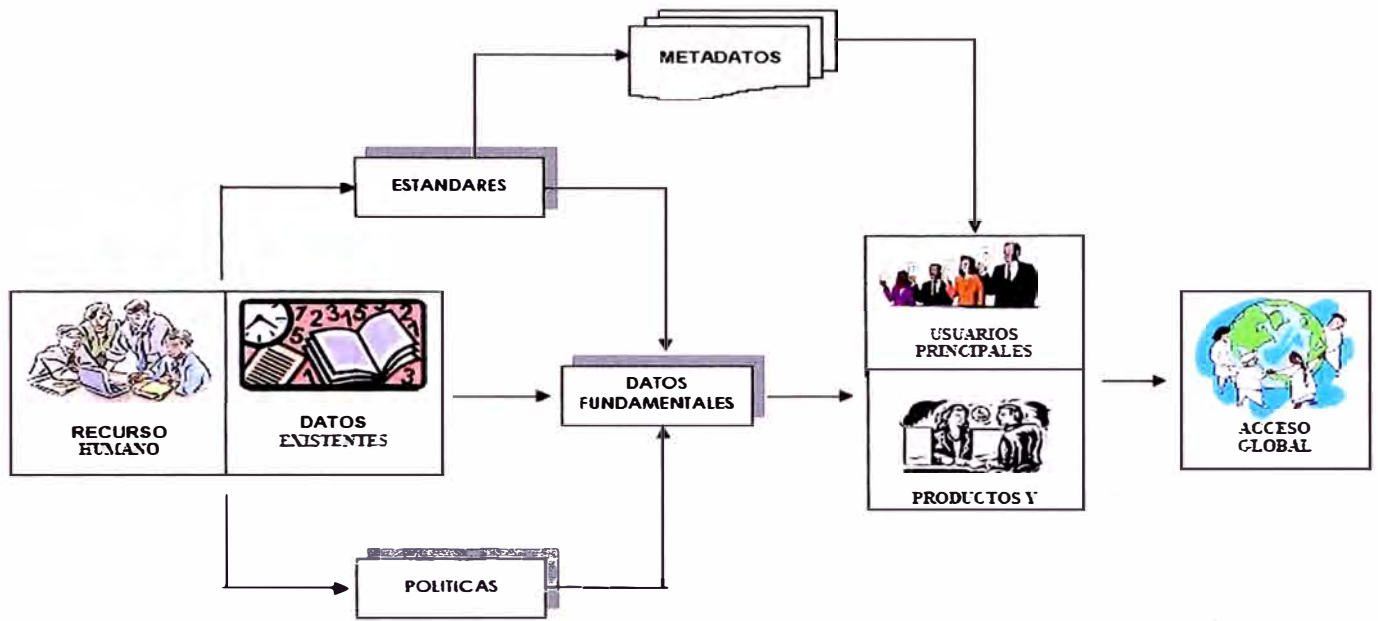


Figura N° 39. Organigrama del IDEP

# **CAPITULO IV: PERSPECTIVAS Y PROPUESTAS DE LA APLICACIÓN DEL SIG EN INGENIERIA HIDRAULICA**

## **4.1 GENERALIDADES**

En este Capítulo se muestra de forma específica, como se están desarrollando modelos y estudios con apoyo del SIG, como herramienta base de la Ingeniería Hidráulica. Se ha intentado resumir lo que significa el modelo de datos Archidro desarrollado por en la Universidad de Austin Texas, el cual sirve para realizar las modelaciones hidrológicas y es base de los cursos de maestría de dicha universidad.

Este modelo se está intentando estandarizar, y lo debemos tomar de referencia para el desarrollo de nuestras aplicaciones, de acuerdo a las necesidades del país. Se explica como otras herramientas también están siendo utilizadas para el desarrollo de diversos proyectos hidráulicos.

La estandarización y difusión del conocimiento de SIG es una necesidad global, por lo que la propuesta está grandemente ligada a estos conceptos. Se plantea dos rubros de desarrollo, el primero en lo académico y lo segundo en lo institucional.

La necesidad académica de impartir conocimientos básicos de SIG en las universidades es prioritaria, así como la colaboración del alumnado en el desarrollo de herramientas mediante código abierto.

Institucionalmente, el estado debe realizar mejoras en cuanto a su rol de construcción de la infraestructura de datos espaciales del Perú, así como la metodología de difundir esta.

## 4.2 PERSPECTIVAS DEL SIG EN INGENIERIA HIDRAULICA

La aplicación de SIG en cualquier campo está limitado a las necesidades de los usuarios, es decir que mejor sería establecer donde no podemos aplicar este sistema, que enumerar sus aplicaciones. El SIG es un sistema netamente para planificación y desarrollo, por lo que actividades individuales serían un desperdicio de esfuerzo, debido a que muchas de las aplicaciones que necesitamos ya han sido desarrolladas y documentadas por otros usuarios, por lo que deberíamos seguir el patrón de los que nos llevan años de investigación.

La complejidad y la escala de los problemas en recursos hídricos hacen del SIG una herramienta poderosa para analizar y encontrar soluciones, y últimamente se está reestructurando la manera de representar los datos en SIG. El resultado más próximo es el esquema ArcHydro, el cual plantea la construcción de un modelo de sistema de información hidrológica que sintetice geoespacial y temporal los datos, a fin de lograr un modelado hidrológico adecuado.

Al igual como lo establecido por el IDEP, es útil e indispensable tener un modelo común de organización de información. Esta información puede ser requerida por cualquier institución o entidad pública o privada, ya sea regional o nacional.

En Estados Unidos y Europa la localización de los recursos hídricos y datos meteorológicos - hidrológicos son medidos para muchos propósitos por empresas e instituciones locales, regionales para ser usadas posteriormente en análisis hidrológicos. Particularmente en Estados Unidos los cuatro años anteriores, el Centro de Recursos Hidráulicos (CRWR) y la Universidad de Austin, Texas han coordinado un consorcio internacional para el desarrollo internacional del SIG en recursos

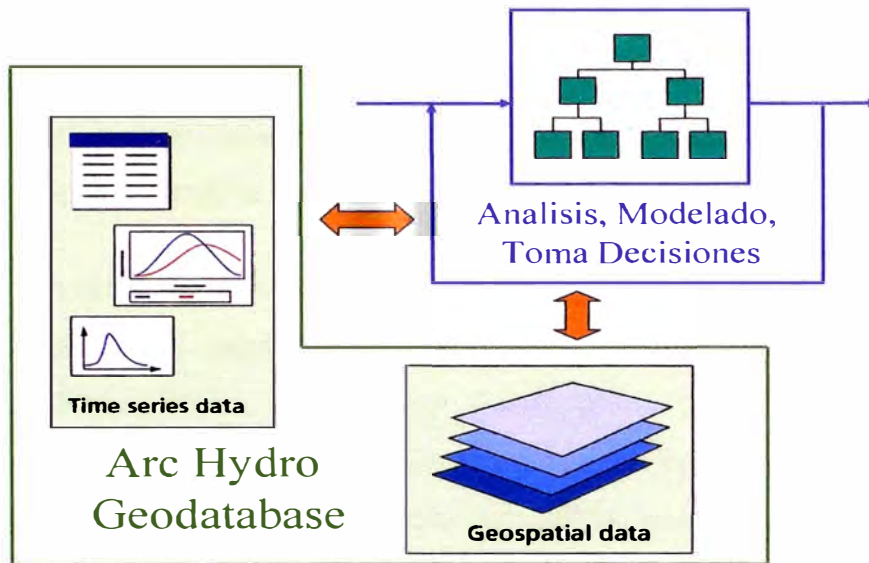
hidráulicos, que puede ser usado como soporte para de hidrología y aplicaciones hidráulicas.

ESRI es una empresa que ha desarrollado el ArcGIS, el programa pionero en el desarrollo de SIG a nivel mundial. Este software nace en plataformas UNIX, sistema operativo para computadoras. Luego de varios años aparecieron las versiones para PC, teniendo como limitación su velocidad de proceso, tal como se describió en el capítulo I.

ESRI ha colaborado con la universidad de Austin, Texas la cual ha desarrollado el ArcHydro. El arc Hydro es mas que un modelo de datos o una infraestructura de datos espaciales, que incluye herramientas libres que complementarias al ArcGIS construyen la red espacial, también permite procesar y almacenar información hidrológica de cualquier fuente, ya sea medida o estimada. El “ArcHydro Data Model” suministrará una estructura para almacenar y preprocesar los datos SIG para ser usados en los modelos de simulación hidrológica. Este modelo esta desarrollado para las condiciones de los Estados Unidos, en realidad para satisfacer sus necesidades, las que nos son las mismas en nuestro país.

Al inicio del desarrollo de esta tesis se vio la tendencia de que el SIG era un punto intermedio de desarrollo para las demás aplicaciones, como el administrador de la información e interprete de los resultados, con capacidad de tomar decisiones tal como se refleja en la Figura N° 40. Los que procesaban los datos eran modelos matemáticos comprobados, como lo es la familia HEC, que se enlazaban al SIG. Al finalizar este trabajo ya se cuenta con el ArcGIS 9.3 y con una serie de librerías que corren desde SIG y contienen las rutinas producidas hace varias décadas por el Cuerpo de Ingeniero de la armada de los Estados Unidos (USArmy) para simulación hidrológica e hidráulica. Esto es por el avance y disponibilidad de la velocidad y potencia de las computadoras personales.





**Figura N° 40.** Sistema de información Hidrológica, enlace entre modelos matemáticos y el SIG (ArcHydro Geodatabase). Fuente ESRI.

En el Perú ya se cuenta con el “Plan para la implementación de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP)”, mientras diversas instituciones han desarrollado e inventariado información valiosa de acuerdo a sus requerimientos. En Hidrología e Hidráulica seguramente muchos han desarrollado trabajos con el ArcHydro, pero aun no se puede utilizar estos resultados por haber sido esfuerzos individuales y sin coordinación. Es decir, por ejemplo, podríamos analizar una misma cuenca varias veces, si es necesario para cada estudio que necesite estos datos. Los resultados con seguridad serán diferentes para cada autor, cayendo nuevamente en la duplicidad de esfuerzos.

Por otra parte, el ArcHydro es un modelo de datos desarrollado para la realidad de Estados Unidos, donde los datos están disponibles de estaciones meteorológicas, y es mas, automáticamente se puede obtener desde Internet en tiempo real. Sus simulaciones son para calibrar datos de sus cuencas, debido a que ellos miden precipitación y escorrentía. En

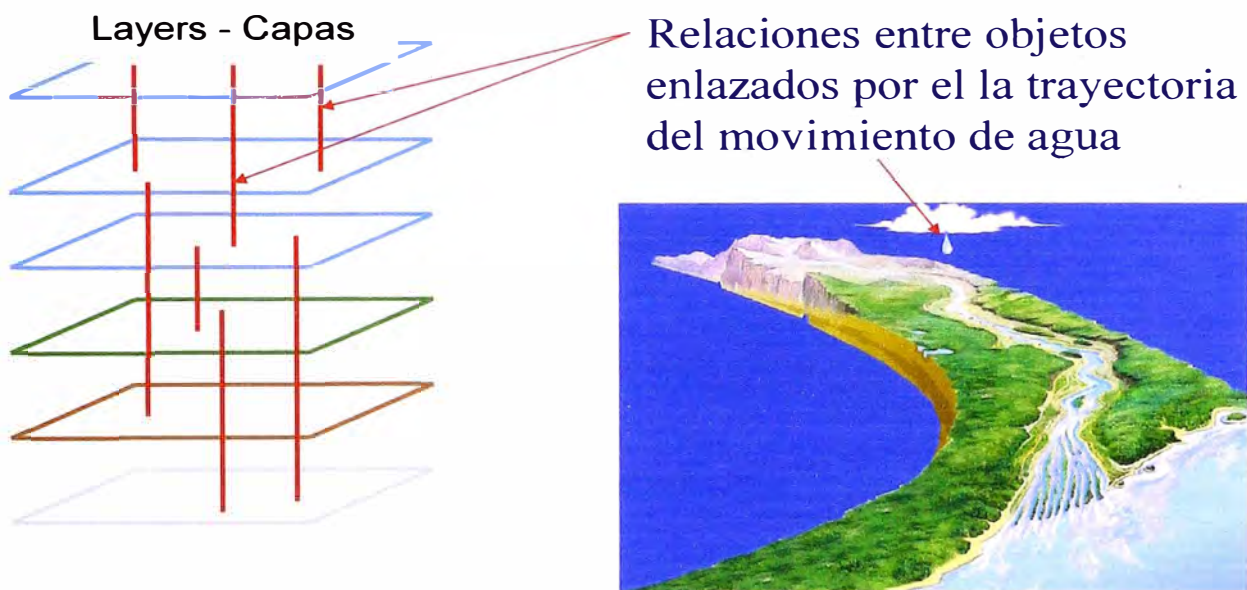
el Perú es diferente, porque no tenemos información de caudales, y poca información de precipitación. Generalmente nuestros estudios tienen que desarrollar un modelo de precipitación-escorrentía para estimar los caudales, y estamos directamente ligados a la estadística. La necesidad de INRENA es en base a un inventario de recursos hídricos, los cuales están catalogados por cuencas de interés. Las cuencas ya tienen un código único, de acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior.

El desarrollo en SIG no plantea nuevos métodos, sino que reestructura la forma de análisis a un sistema globalizado en donde se utilizan todas las herramientas disponibles. El primer paso para desarrollar el SIG en Ingeniería Hidráulica es establecer un sistema de datos único, para lo cual debemos entender que es un modelo de datos, por lo que describiremos más adelante el modelo de datos ArchHydro. El segundo paso es entender que la utilización de modelos matemáticos estándares, los cuales ya están desarrollados hace décadas. Por otra parte, debemos fomentar e informar la potencialidad y uso del SIG por las diversas aplicaciones que se pueden desarrollar, como por ejemplo:

- Identificación y Definición de Sistemas de Drenaje (Delineación de Cuencas, Trazo de cauces probables, conectividad.).
- Análisis de Ríos y Puentes.
- Modelamiento Hidráulico.
- Estudio de Áreas Inundables.
- Irrigación.
- Agua Subterránea.
- Evaluación de riesgo.
- Drenaje de Carreteras.

### 4.2.1 Modelo de Datos.

Un modelo de datos para recursos hidráulicos debe suministrar una estructura para el almacenamiento geoespacial y temporal de datos, el cual debe facilitar el enlace de los datos con los modelos de simulación hidrológica. Existe el modelo Archydro, el cual cumple estos requerimientos.



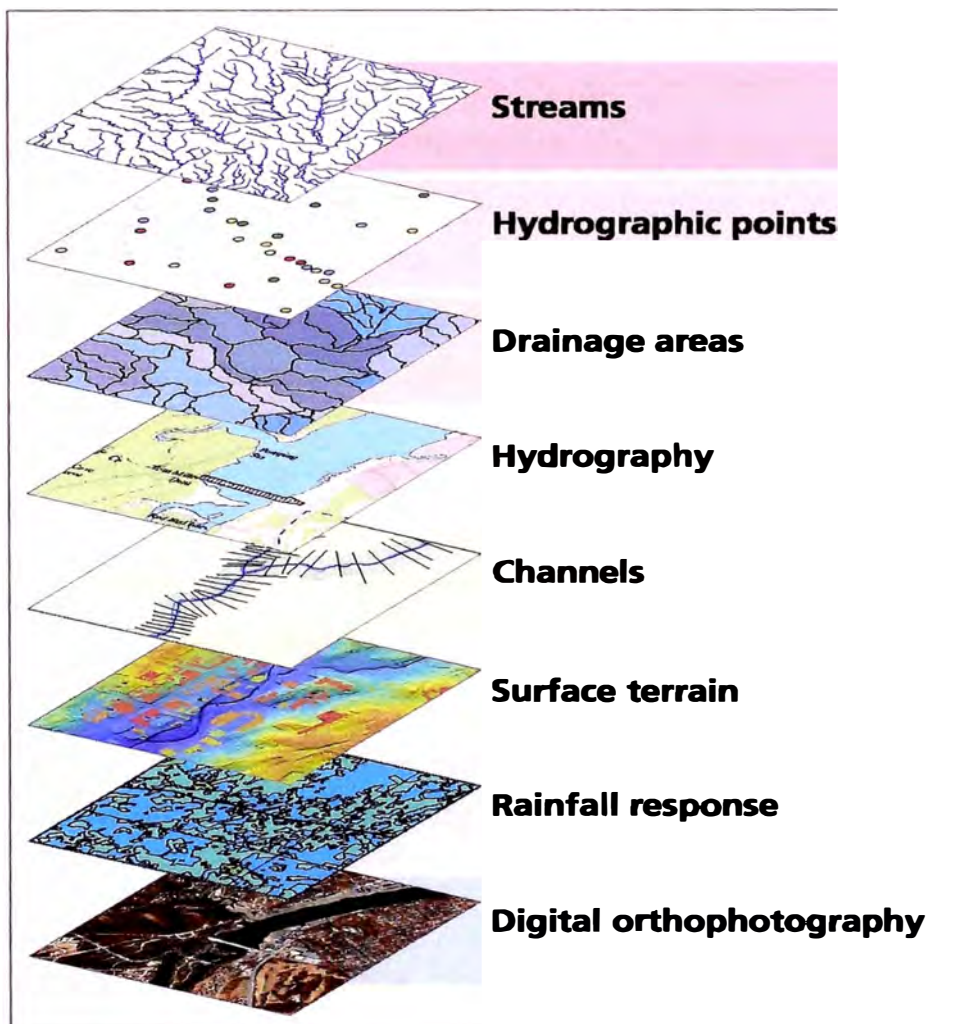
**Figura N° 41** Integrando los datos usando un modelo de Comportamiento. Fuente: Austin, Texas.

El ArchHydro establece una temática o layers (capa) basados en la experiencia acumulada por las diferentes entidades para manejar los recursos hidráulicos, relacionados a como se almacenan en la superficie terrestre. En la Figura N° 41 se muestra como almacena la información para describir un proceso, y en la Ilustración 41. se muestran las capas en un esquema para representar los recursos hidráulicos

Para los usuarios comunes de SIG el almacenamiento en capas no es una novedad, pero para los estudiantes de ingeniería si lo será.

- **Cursos de agua (Stream)**

Son datos extraídos de los mapas cartográficos de las quebradas y Ríos que pueden ser usados en la red de drenaje. Actualmente disponemos en el IGN de las capas de cauces de ríos o streams.



**Figura N° 42.** Capas o Layers de información que utiliza el ArcHydro Model.

- **Puntos Hidrográficos (Hydrographic points)**

Son puntos de monitores, presas, estaciones de bombeo, y otras facilidades que frecuentemente están localizados desde una

distancia a las confluencias. Estos puntos son importantes para el análisis. Los puntos de control están inventariados por INRENA, desde el punto de vista de disponibilidad hídrica, y catalogados por cuenca hidrológica.

- **Áreas de Drenaje (Drainage Areas)**

Alternativamente llamadas cuencas (catchment, watershed, basin), estas áreas de drenaje varían de tamaño, desde pequeñas cuencas que drenan a un riachuelo hasta grandes áreas que drenan a un Río. Técnicamente las cuencas pueden ser definidas desde los datos del DEM's, o pueden ser definidos por propósitos políticos, tales como jurisdicciones de manejo de agua. Actualmente INRENA ha realizado la delimitación de cuencas con el método pfafstetter hasta el nivel 6 o 7.

- **Hidrografía (Hydrography)**

Mapas base Topográficos que incluyen las modificaciones realizadas por el hombre. En nuestro caso tenemos las cartas nacionales a escalas 1:100000 del IGN. En US se tiene al USGS que tiene mapeado los estados unidos a escala 1:24000, y la National Hydrographic Dataset (NDH) que ha compilado de la USGS y EPA la red hidrográfica en escalas 1:100,000 y 1:24,000.

- **Canales (Channels)**

Son cauces pequeños que se procesan para análisis hidráulico, tales como mapeo de inundaciones. Para analizar estos es necesaria información tridimensional del canal, así como secciones y perfil longitudinal.

- **Superficies de Terreno (Surface terrain)**

Es la más importante fuente de definición para la red de drenaje. Esto se logra con un modelo digital de terreno (DEM Digital



Elevation Model) que se obtiene de la superficie de terreno. Se han desarrollado métodos analíticos para delinear las redes de drenaje y los bordes o límite de las cuencas desde el DEM's. Otras fuentes de datos de elevaciones incluyen el LIDAR (Light Detection and Ranging), y los modelos de superficie digital (DSM) tales como el Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). LIDAR produce información detallada que es la que más se usa en US. El DSM también se utiliza, pero necesita a menudo correcciones para la determinación de la red de drenaje. Actualmente se puede obtener un modelo digital de cualquier parte del planeta mediante el Google Earth.

- **Caracterización de Suelos (Rainfall response areas)**

Para un mejor entendimiento del contexto ambiental de los ríos y cuencas, como complemento a los mapas topográficos y ortofotos, estos mapas deben mostrar los patrones de uso de suelos, suelos, cobertura vegetal y otros términos que contribuyen a la escorrentía superficial (respuesta). INRENA tiene un mapa detallado de estas áreas en el país.

- **Fotos Digitales (Digital Orthophography)**

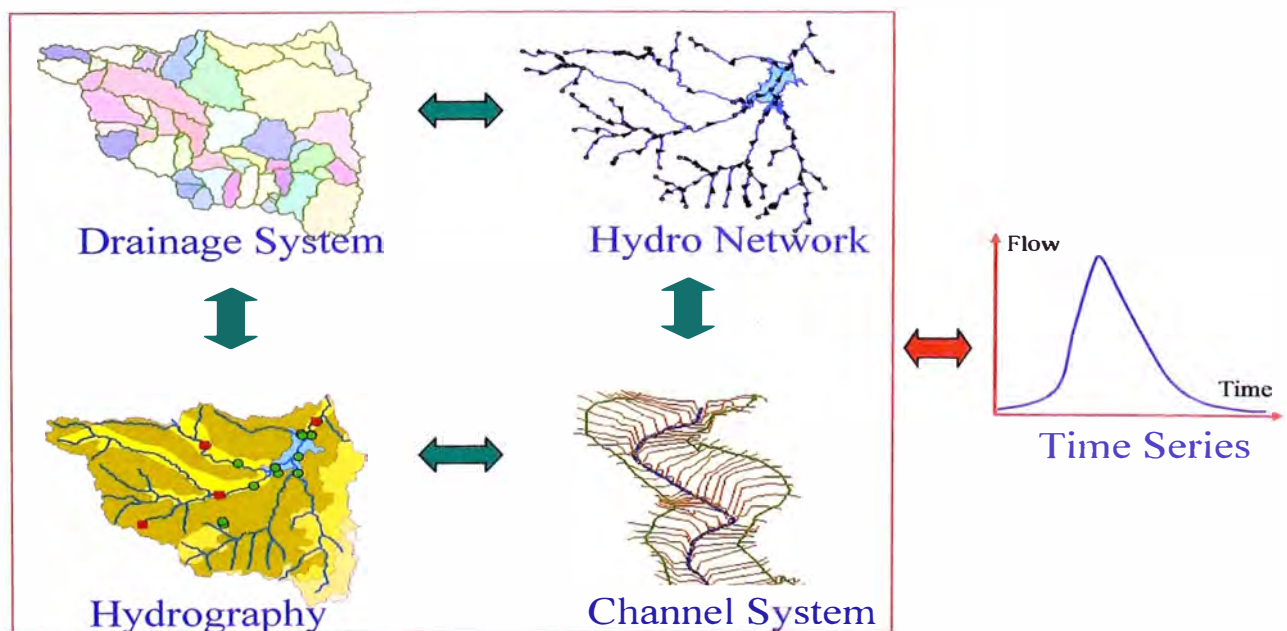
En un terreno plano, los métodos analíticos pueden tener dificultades en determinar las cuencas y cauces desde los DEM's. Las Ortofotos y LIDAR pueden ser utilizados para corregir los errores inducidos por el DEM's. Las ortofotos son una herramienta importante de análisis y trabajan con las otras capas. Estas fotos digitales son muy importantes en zonas donde no se cuenta con información topográfica, debido a la imposibilidad de las mediciones, como es en la selva peruana.

Las series de tiempo aun no están disponibles en el Perú, pero debemos estar preparados para implementarla. El modelo de datos

ArchHydro establece una asociación entre entidades geoespaciales y datos de series de tiempo, según:

- Cada entidad o “feature” en archHydro esta indexada con un único identificador denominado HydroID. (estandarización)
- Cada registro de serie de tiempo contiene un FeatireID, el cual apunta al HydroID de la entidad (feature) asociada con el registro se serie de tiempo. Todas los registros de series de tiempo son almacenadas en una tabla denominada TSTypeID. El TSTypeID es un identificador, por ejemplo para el archHydro el valor 7 representa datos de lluvia, mientras que el 9 es de caudales.
- Los diferentes tipos de datos que se usan pueden ser encontrados en <http://www.crrw.utexas.edu/giswr/hydro/ArcHOSS/model/index.cfm>.

Los componentes que utiliza el ArchHydro para los análisis hidrológicos e hidráulicos se muestran en la Figura N° 43.



**Figura N° 43.** Componentes del ArchHydro para análisis de Hidrología e Hidráulica.

El desarrollo de un modelo de datos único pasa por tener un sistema de referencia único, y cambiar la filosofía y voluntad de los usuarios de compartir información. Este trabajo puede ser realizado desde las universidades, a la vez que se afianza los conocimientos en este tema. El desarrollo del modelo de datos nacional de hidrología puede ser una suma de esfuerzos de trabajos de investigación con ayuda de las herramientas del archHydro. El ArchHydro es de uso libre, porque fue desarrollado con fondos del tesoro de los Estados Unidos, y el soporte, esta asegurado.

En cuanto a los derechos de autor de los datos bases para el modelo, estos están disponibles en internet (DEM), y deberíamos entablar convenios con el IGN, INRENA y SENAMHI para compartir su información.

La forma de almacenamiento, posición, cantidad de caracteres, identificadores, reglas, están definidos en la estructura del ArchHydro, tal como se muestra en la Figura N° 44. Esta estructura es invariante y permite un adecuado manejo. Se puede obtener detalle en varios sitios Web.

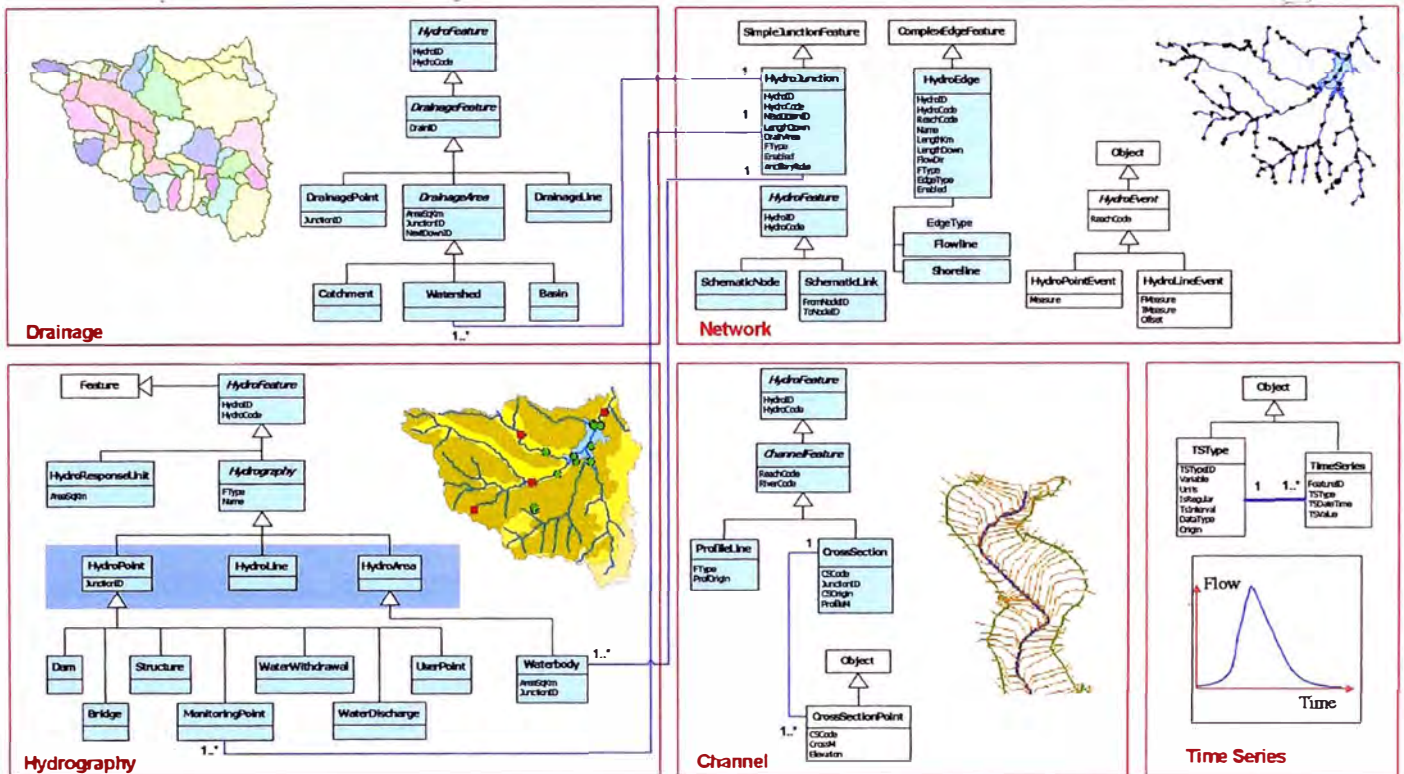


Figura N° 44 Esquema de Almacenamiento del ArchHydro. Fuente ESRI.

La documentación y los procedimientos que utiliza el ArchHydro esta también disponible en la Internet.

#### 4.2.2 Desarrollo de librerías para aplicaciones en hidráulica e hidrología

En SIG no plantea nuevos métodos, sino que reestructura la forma de análisis a un sistema globalizado en donde se utilizan todas las herramientas disponibles. Durante años hemos utilizado los programas HEC, que son los desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. Estos programas tienen por lo menos 40 años de desarrollados y suficiente tiempo como para ser validados sus resultados. Estos modelos actualmente consisten en interfaces graficas que mandan datos del usuario a un conjunto de procedimiento para realizar simulaciones. Estas rutinas están desarrolladas en

Fortran, y han sido reorganizadas por HEC en una librería de funciones denominada libHydro, la cual esta disponible en la Web. Con el libHydro se determina el exceso de precipitación, escorrentía, transito de avenidas, etc., que pueden ser llamados desde cualquier programa. Verdaderamente, el desarrollo de una aplicación puede tomar a los usuarios finales una década de desarrollo, que lo tenemos disponible ahora.

La metodología para compartir estas rutinas ha sido siempre un reto, por lo que Hec ha puesto a disposición las funciones del libHydro en un archivo DLL (dynamic linked library), además del código fuente que ya estaba disponible. Una librería dinámica o DLL no es un archivo que pueda correr por si solo, sin embargo este puede ser llamado de otra aplicación existente. Este archivo puede ser llamado desde Visual Basic, ya sea desde una hoja de calculo o desde el usuario lo considere conveniente, es así que desde el ArcGIS puede realizarse las simulaciones.

La Propuesta es simple, y se trata de desarrollar los complementos necesarios para incorporar rutinas validas para determinar parámetros que no tenemos medidos, es decir, tener disponibles todas las rutinas y métodos de calculo de información hidrológica dentro de un modelo de datos nacional.

En el ejemplo que se explica en el siguiente capítulo se ha desarrollado con rutinas para extraer parámetros de cuencas desde ArcGIS (previamente procesados por ArcHydro), para depositarlos en una hoja de calculo que realiza cálculos de tiempos de concentración y duración critica de tormenta, luego llevados al HEC-HMS para su simulación hidrológica. Los datos del HEC-HMS vuelven nuevamente a la hoja de calculo, para luego ser mostradas y analizadas en ArcGIS. La hoja de calculo que fue intermedia se puede obviar si todos los



usuarios tuvieran conocimiento de SIG, pero por ahora solo sirvió para mostrar que las librerías dinámicas rompen la barrera de aplicaciones, como lo hace la globalización con el comercio mundial.

### **4.2.3 Descripción de aplicaciones conocidas en Ingeniería Hidráulica.**

#### **4.2.3.1 Identificación y Definición de Sistemas de Drenaje mediante el uso de ArcInfo.**

La filosofía que me impulso a realizar esta tesis es haber observado que cualquier esfuerzo individual y sin planificación hará de cualquier herramienta poderosa en convertirse en una herramienta común y un gasto innecesario de energías. El ArcInfo por si solo tiene un Data Model que realiza las mismas funciones del software de soporte del ArcHydro, específicamente para la Identificación de Sistemas de drenaje. Para poder comprender este modelo, es necesario (igual que con ArcHydro) los conceptos básicos de sistemas de drenaje, aunque en ArcHydro es un procedimiento secuencial, en los Data Model de ArcInfo requiere mas intervención del usuario.

La forma de una superficie determina el modo en que el agua pueda fluir a través de la misma. Las herramientas de análisis hidrológico de ArcInfo proveen un método que permite describir las características físicas de una superficie. Utilizando el modelo de elevación digital o DEM, es posible delinear un sistema de drenaje y cuantificar las características de cada una de las subcuencas que interviene. Estas herramientas permiten determinar para cualquier ubicación de la cuenca el área de contribución y la cantidad de agua que puede recibir dicho punto.

Las cuencas y las redes de drenaje creadas a partir de un modelo de elevación digital utilizando ArcInfo son las fuentes primarias para la mayoría de los modelados hidrológicos de superficie. Dichos modelos pueden ser utilizados, entre otros, para determinar la altura, tiempo y magnitud de inundación de un área, localización de área que contribuye a la contaminación de los cursos fluviales o predecir los efectos de alteración del paisaje.

### I. Sistema de drenaje

El área en la cual cae el agua y la red a través de la cual el cual fluye hacia un punto más bajo es referido normalmente como sistema de drenaje. El flujo del agua a través del sistema de drenaje es sólo una parte del ciclo hidrológico, el cual incluye precipitación, evapotranspiración y agua subterránea.

En la Figura N° 45 se muestra un esquema del Sistema de drenaje (límites y cauces.)

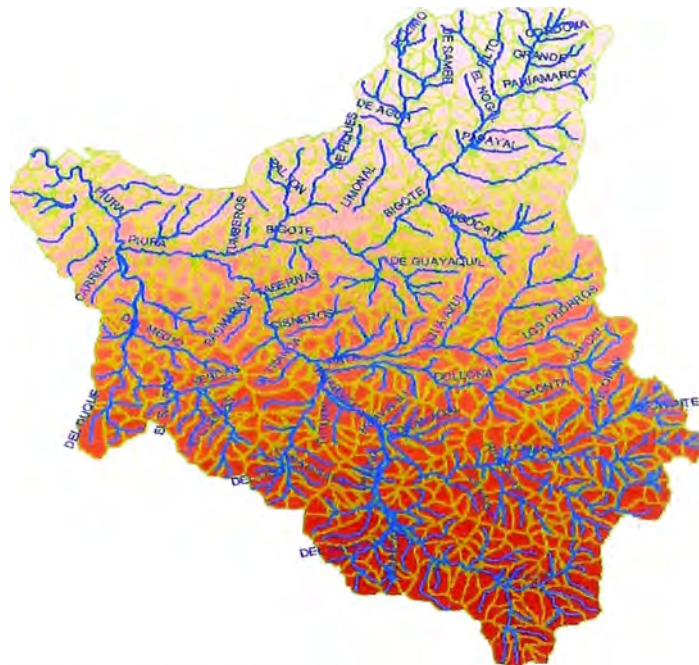


Figura N° 45 Esquema de Sistema de Drenaje.

## **II. Procesos de Modelado del Terreno**

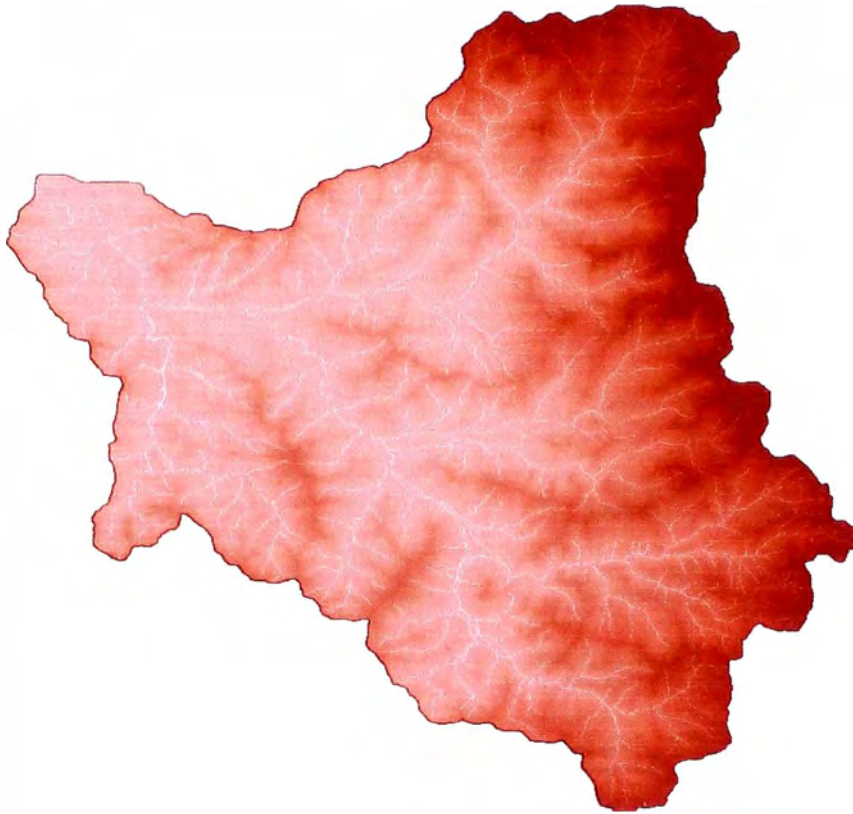
Las características físicas de la superficie determinan las características del flujo del agua a través de la misma; paralelamente, el flujo del agua tiende a cambiar las características del terreno.

La dirección del flujo es determinada por el "aspecto" o dirección de la pendiente, esto es la dirección donde se produce la mayor velocidad de cambio de elevación en un modelo digital.

## **III. Modelo de Elevación Digital**

La forma más común de representar digitalmente la forma de la tierra es a través de un modelo basado en celdas, conocido como modelo de elevación digital (DEM). Estos datos son utilizados en ArcInfo para cuantificar las características de la superficie de la tierra.

Un DEM es una representación gráfica de una superficie continua, usualmente referida como una superficie de la tierra. La precisión de estos datos es determinada primariamente por resolución del modelo y resulta de vital importancia para la determinación de la dirección de flujo del agua.

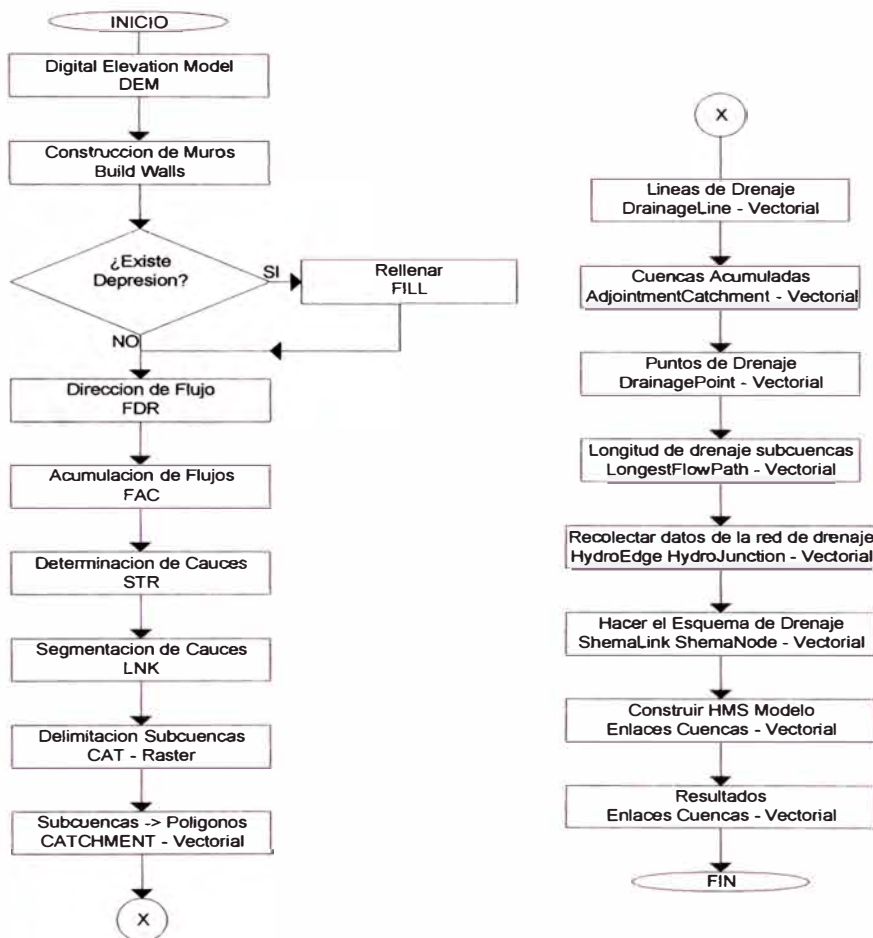


**Figura N° 46.** Esquema de un DEM para una cuenca. Fuente NRO

Los mapas de pendiente (grado o porcentaje), aspecto de la pendiente, relieve de sombras, vistas en perspectiva 3D, son algunos los productos derivados del análisis topográfico a partir de un DEM.

#### **IV. Información Hidrológica a extraerse de un DEM**

Dado que el flujo de las aguas a través de la superficie es siempre en la dirección de máxima pendiente, una vez que la dirección de flujo es conocida es posible determinar cuales y cuántas celdas fluyen hacia una celda particular. Esta información puede ser utilizada para definir los límites de las cuencas y la red de drenaje. El siguiente diagrama de flujo muestra los procesos de extracción de la información hidrológica a partir de un DEM.



**Figura N° 47.** Diagrama de Flujo para la determinación de Límites de Área y cauces.  
Fuente NRO.

## V. Dirección de Flujo

Una de las claves del modelado hidrológico lo constituye la determinación de la dirección de flujo de cualquier punto de una cuenca (cualquier celda). El proceso de cálculo de la dirección de flujo consiste en determinar la dirección de máxima pendiente hacia abajo de cada celda. Existen ocho direcciones posibles de flujo de una celda considerando las ocho celdas adyacentes (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW).



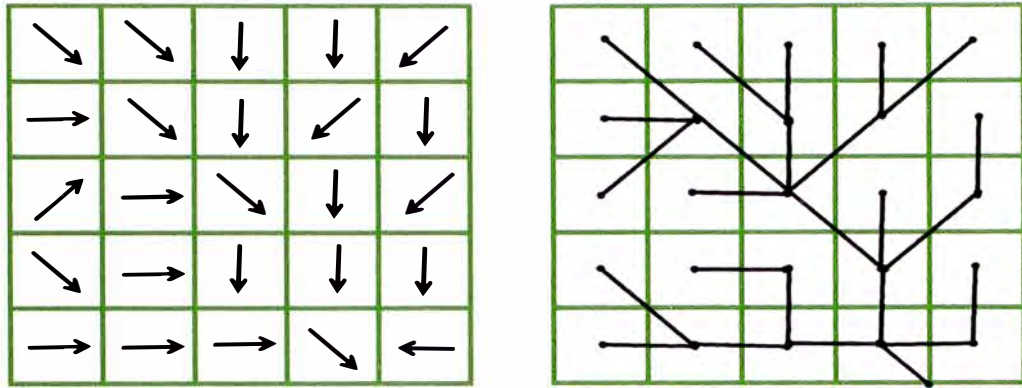


Figura N° 48. Esquema de dirección de flujo desde del DEM. Fuente Archydro Data Model.

**VI. Flujos Acumulados**

Constituye el peso acumulado en una celda determinada de todas celdas que fluyen pendiente abajo hacia la misma. De este modo es posible conocer rápidamente la cantidad de agua que puede recibir una celda determinada.

Asimismo, el cálculo de flujos acumulados posibilita también determinar la cantidad de agua de lluvia que puede fluir por una celda dada, asumiendo que toda la lluvia se convierte en escurrimiento superficial y que no existe infiltración, evapotranspiración u otras pérdidas de agua.

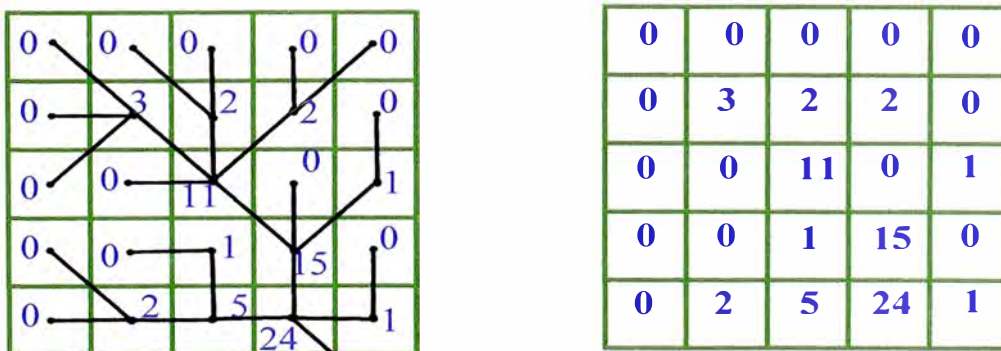


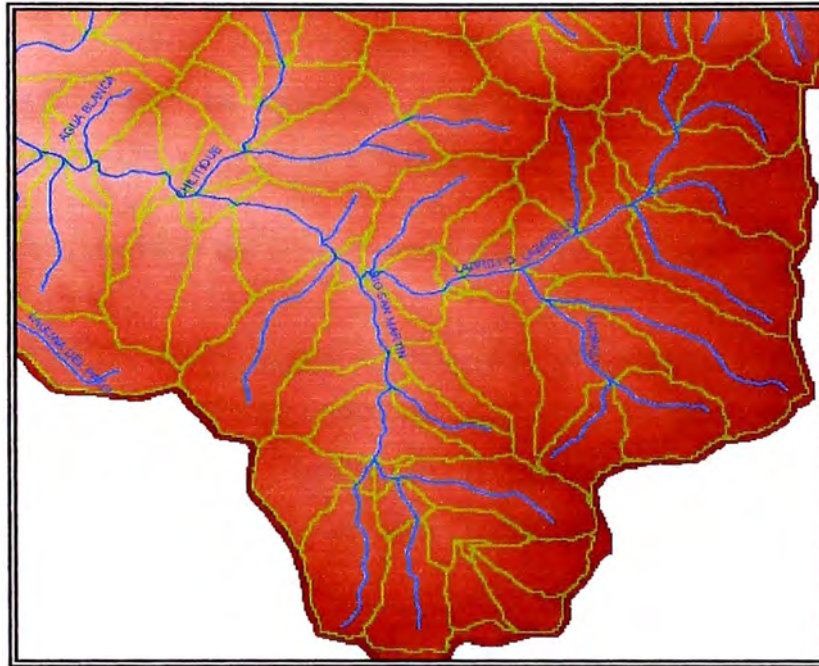
Figura N° 49. Acumulación de Flujos desde el DEM. Fuente Archydro Data Model.

## VII. Determinación de Cuencas Hidrográficas

Las cuencas pueden ser delineadas automáticamente a partir del modelo de elevación digital, utilizando como entrada la información de dirección de flujos, lo cual posibilita conocer el área de contribución de agua.

Asimismo, a partir de una cuenca dada es factible delinear nuevas subcuencas. Debido que muchas subcuencas pueden resultar de dimensiones muy pequeñas y sin interés para la aplicación, el usuario tiene la posibilidad de especificar el tamaño mínimo deseado para las subcuencas, acorde con el método de cálculo hidrológico de la cuenca (el límite de aplicación del método SCS es de 10km<sup>2</sup>, y el racional es 2km<sup>2</sup>).

Los límites de distintas cuencas son comúnmente requeridos para todo tipo de modelado hidrológico. Utilizando herramientas de ArcInfo es posible combinar dichos límites con información de suelos y uso de la tierra para obtener información estadística para cada cuenca. Por ejemplo podemos interceptar los polígonos del tipo de suelo, con cobertura vegetal para asignar el número de curva a una cuenca o subcuenca determinada. El proceso es similar al descrito como análisis espacial en el capítulo 2.



**Figura N° 50I.** Delimitación de cuencas y sub cuencas a partir de un DEM. Fuente NRO

### **VIII. Determinación de Pendientes Medias**

Si tomamos como referencia que un raster es una matriz de puntos, donde el valor de cada punto tiene un significado útil en ingeniería. Si este valor es la elevación, entonces el raster es denominado DEM. Con el álgebra de raster podemos calcular la diferencia entre este punto y los vecinos, y acumular el mayor (máxima pendiente). Estas operaciones están programadas en ArcInfo, las cuales se proveen para el cálculo de la pendiente media de una cuenca o subcuenca.

### **IX. Redes Hidrográficas**

Las redes hidrográficas pueden ser delineadas a partir de DEM utilizando información sobre los flujos acumulados. Con esta herramienta es posible asignar un orden jerárquico a los distintos cursos que conforman la red de una cuenca dada.

#### **X. Determinación de los cursos más importantes dentro de una cuenca**

Los cursos más largos (más importantes) dentro de una cuenca dada pueden ser obtenidos automáticamente con ArcInfo, pudiéndose determinar asimismo la pendiente promedio del mismo y la su representación gráfica de un perfil longitudinal.

#### **XI. Determinación del Escurrimiento en una Cuenca Hidrológica**

Otra característica muy significativa del modelado hidrológico lo constituye el CN (Curve Number) el cual está basado en el Uso del Suelo, Tipo de Suelos y la Pendiente, y que puede ser utilizado luego para estimar el escurrimiento de una cuenca.

#### **XII. Simulación de Tormentas y análisis de las consecuencias resultantes**

Dentro de las herramientas de modelado hidrológico, el SIG puede establecer un enlace con el HMS para simular una lluvia con determinadas características y luego poder analizar los resultados en SIG. Existe el GEOHMS, el cual realiza esta labor, pero por ahora no he logrado correrlo en ArcGIS 9.x.

#### **XIII. Incorporación de Presas al Modelo**

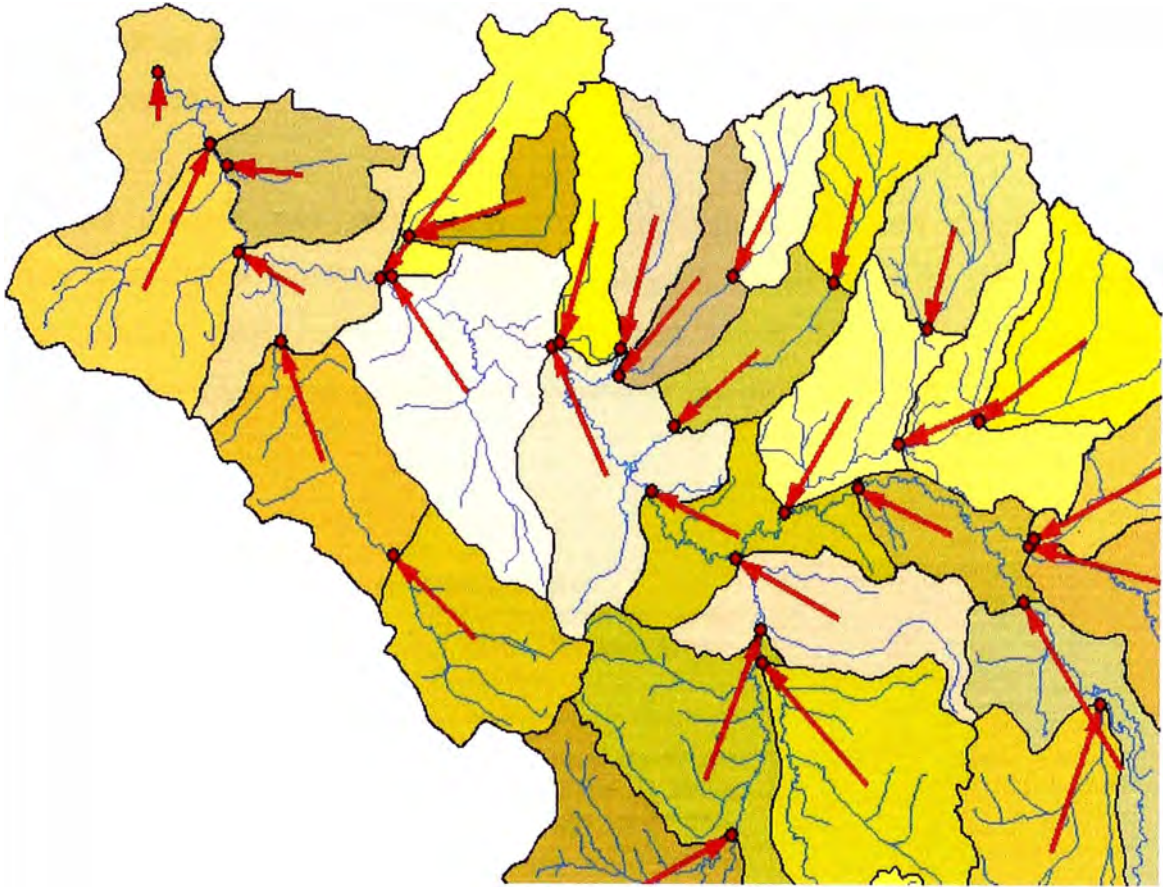
Para realizar un modelo de presa, es necesario remitirse al análisis espacial, en el que podemos ubicar un punto y simular la construcción del dique, para que el programa nos indique la extensión del espejo de agua. En realidad es una tarea fácil, la dificultad está en determinar la curva altura volumen, que la realizamos con la herramientas presentadas en el capítulo II.

#### **4.2.3.2 Identificación y Definición de Sistemas de Drenaje utilizando el ArchHydro.**

En el análisis hidrológico se desea identificar la cuenca de un determinado punto de drenaje, para lo cual se recurre a las cartas nacionales donde sobre la base de curvas de nivel se delimita la extensión de esta. Luego se calcula el área, se estima la longitud máxima de recorrido de la partícula mas alejada y el centroide de la cuenca, todo esto para determinar el tiempo de concentración de la cuenca. Este proceso tedioso establece los parámetros con los que se puede estimar un caudal la cuenca, claro esta basándose en una lluvia de diseño. Si la cuenca es de un tamaño considerable, con varios afluentes, el problema se complican aun más debido a la limitación de los métodos de calculo. Por ejemplo, dentro de la bibliografía especializada encontramos que el método racional puede ser aplicado para cuencas de máximo 2km<sup>2</sup> y el metodo SCS a cuencas de 10km<sup>2</sup>. La recomendación para cuencas mayores es subdividirlas y hacer un transito entre ellas, tarea que comúnmente no se realiza.

Parte del proceso anteriormente descrito se puede desarrollar utilizando el ArchHydro Tools, para ello se debe tener definida la superficie de terreno en un modelo digital de elevaciones (DEM), el cual se puede construir a partir de las curvas de nivel o de puntos, como lo hacemos en topografía o bajarla de alguna parte de internet (disponibles y el costo varia de acuerdo a la calidad). El DEM es una imagen o raster, donde cada píxel o cuadrícula tiene un valor correspondiente a la cota de la posición donde se ubica. El archivo DEM esta referenciado espacialmente (sistema de coordenadas geodesicas).





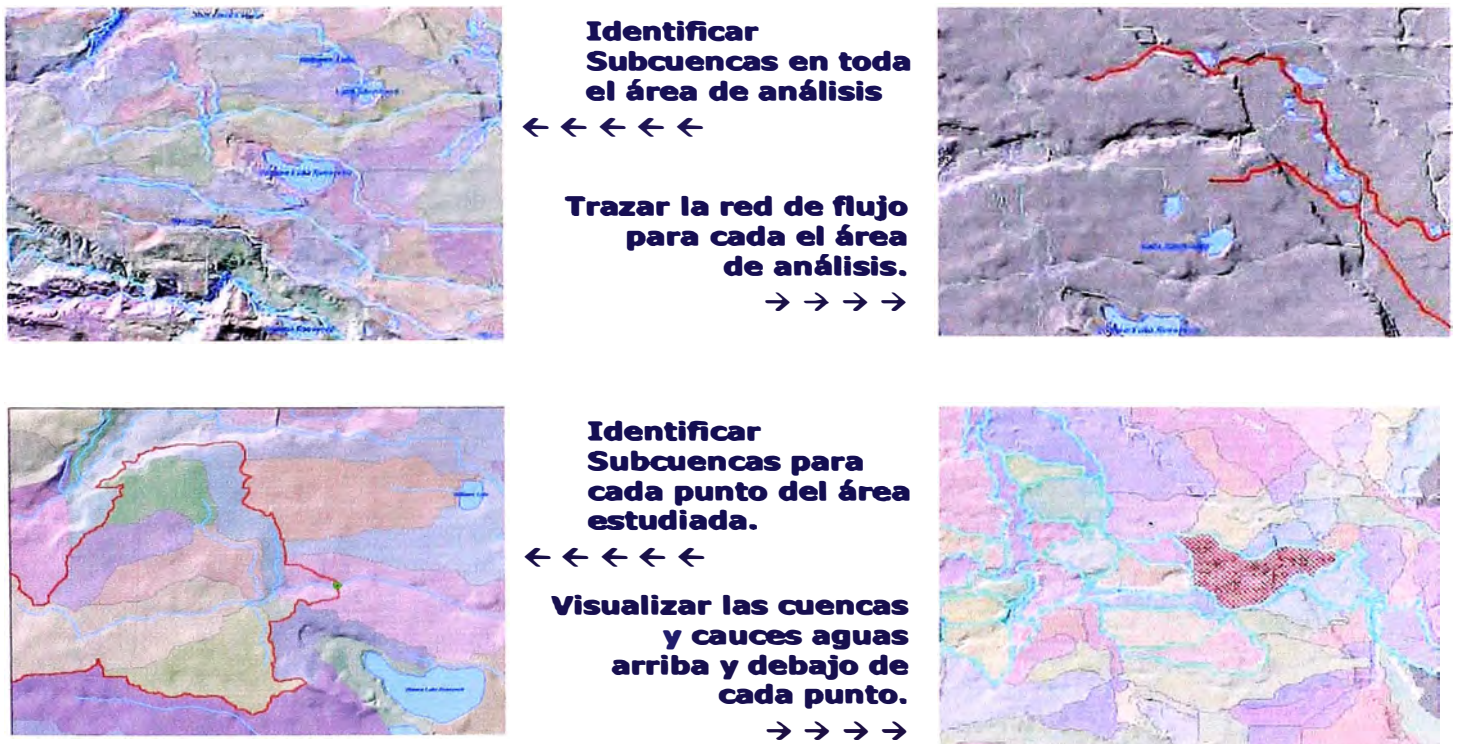
**Figura N° 51.** Esquematación de los resultados de los procedimientos del ArcHydro Tools a partir de un DEM (Digital Elevation Model).

El ArcHydro, mediante procedimientos matemáticos determina los límites de cuenca y las redes de drenaje como se muestra en la Figura N° 51. En base a estos traza áreas poligonales correspondientes a cuencas de acuerdo al tamaño que el usuario previamente especifica.

En la Figura N° 52 se muestran los resultados que se pueden obtener utilizando el ArcHydro Tools, los cuales son una ayuda para el análisis hidrológico. Cada subcuenca tiene un identificador único, así como cada tramo de río y confluencia de cauces.

En una base de datos están las conectividades entre estas, lo que define perfectamente el sistema de drenaje. Con estos datos se le puede definir al HEC-HMS el Basin Model o Modelo de cuenca para el análisis hidrológico.

Esta tarea puede ser realizada con HEC-geoHMS, el cual es un software que corre en ArcView 3.1 y desarrolla el modelo de cuenca para el HMS, pero solo esta disponible para la versión que se menciona, mientras que a la fecha existe la versión ArcGIS 9.0.



**Figura N° 52.** Resultados que se pueden obtener con el Archydro, teniendo la superficie previamente definida en un DEM (Digital Elevation Model). Fuente Archydro Data Model

### 4.2.3.3 Análisis de Ríos y Puentes

Para realizar estos análisis se debe contar con información de detalle (levantamiento topográfico) del río, así como definida su hidrología. La primera parte debe desarrollarse con el ArcHydro y HEC-HMS, la segunda se desarrolla con otro programa HEC, como es el HEC-RAS o el HEC-geoRAS. El HEC-geoRAS esta disponible para ArcView 3.1 y existen versiones Beta para versiones ArcGIS 8.3 y ArcGIS 9.0.

El HEC-RAS es un sistema de análisis de ríos basados en un programa desarrollado por US Army Corps of Engineers hydrologic engineering center que analiza las características hidráulicas de un sistema de canal abierto. Este programa reemplaza al conocido como HEC-2, y se complementa con el UNET unsteady flow y el HEC-6 (Control de erosión y sedimentación). Este software es capaz de determinar niveles de inundación, calculo de socavación, modelado de puentes y alcantarillas, todo esto en régimen permanente y no permanente.

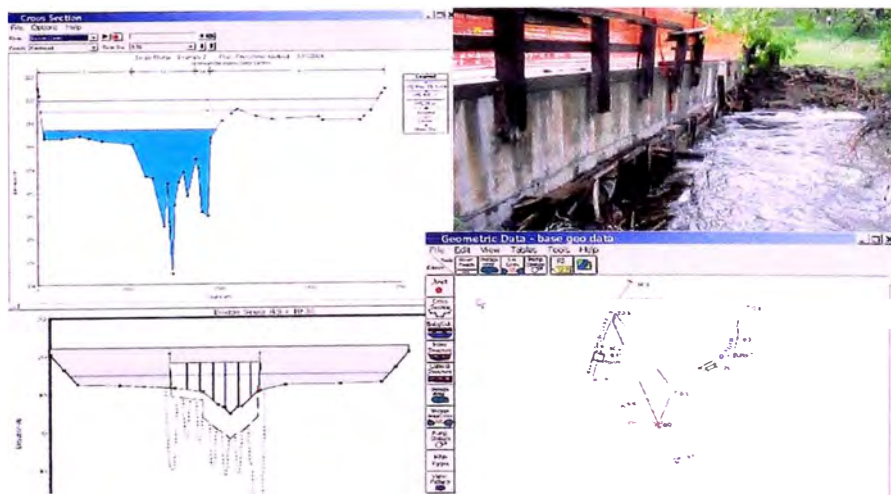
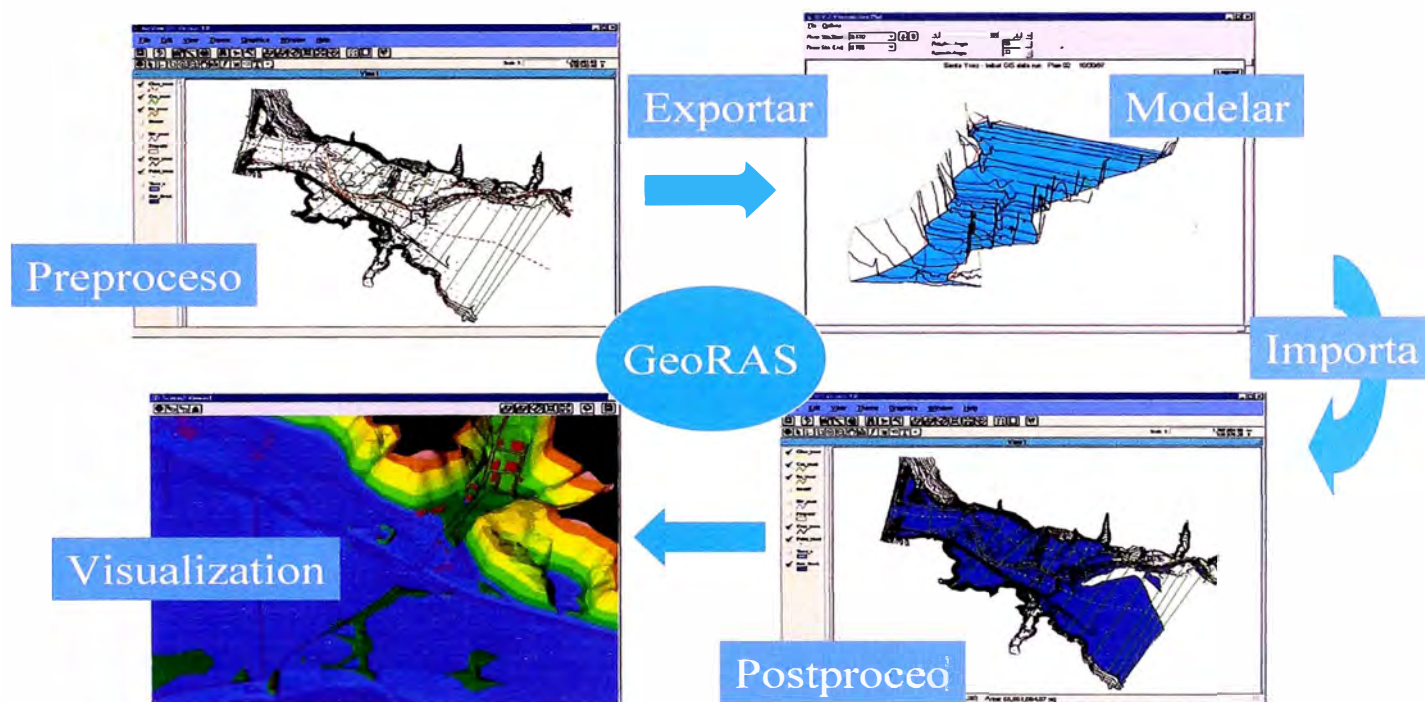


Figura N° 53. Interfase grafica del HEC-RAS.



El HEC-geoRAS es una interfase que corre en SIG, el cual permite exportar e importar datos entre SIG y el HEC-RAS. El modelado siempre se desarrolla en el HEC-RAS, tal como se muestra en la Figura N° 54.



**Figura N° 54.** Proceso desarrollado por el geoRAS. En la vista de modelado se aprecia una ventana del HEC-RAS (superior derecha), el preproceso, post proceso y visualización se desarrolla en SIG.

#### 4.2.3.4 Drenaje de Carreteras

Uno de las más útiles aplicaciones encontradas en ArcGIS esta en el campo del drenaje de carreteras, en la que se puede definir con buena precisión las áreas contribuyentes de agua hacia la carretera, la cual debe dejarse pasar, para no alterar el sistema de drenaje natural.

El ejemplo desarrollado en el siguiente capítulo esta ligado a este tema, por lo que mostraremos haremos un resumen de los cálculos que se pueden realizar.

- Se establece los puntos de drenaje que son la intersección de la carretera con los cauces inventariados en la carta nacional.
- Se definen, construyen o importan los DEM
- Se utiliza el ArcHydro Tools para hacer la delimitación de cuencas pequeñas. Con el mismo se definen las cuencas desde la posición que deseamos (intersección entre la carretera y cauces)
- Se realiza la extracción de parámetros de las cuencas, tales como Longitud Máxima de cauce, Longitud al centroide de la cuenca, Pendiente media, nivel máximo y mínimo de la cuenca. Este trabajo es adicional a lo considerado por ArcHydro, por lo que se ha desarrollado programas utilitarios que se incorporan en esta tesis para visualizar el potencial del SIG en ingeniería hidráulica.
- Previamente se ha realizado un análisis estadísticos para definir el modelo meteorológico para cada área de influencia o cuenca.
- Con ambos datos se construye el proyecto para el HEC-HMS y se simula cada cuenca.
- Los resultados son importados con la hoja de calculo hacia el ArcGIS.



En la Figura N° 55 se muestra los resultados obtenidos del análisis de 250 cuencas en un tramo de carretera que va desde Chimbote hasta Tocache, con dos alternativas (aprox. 800km).

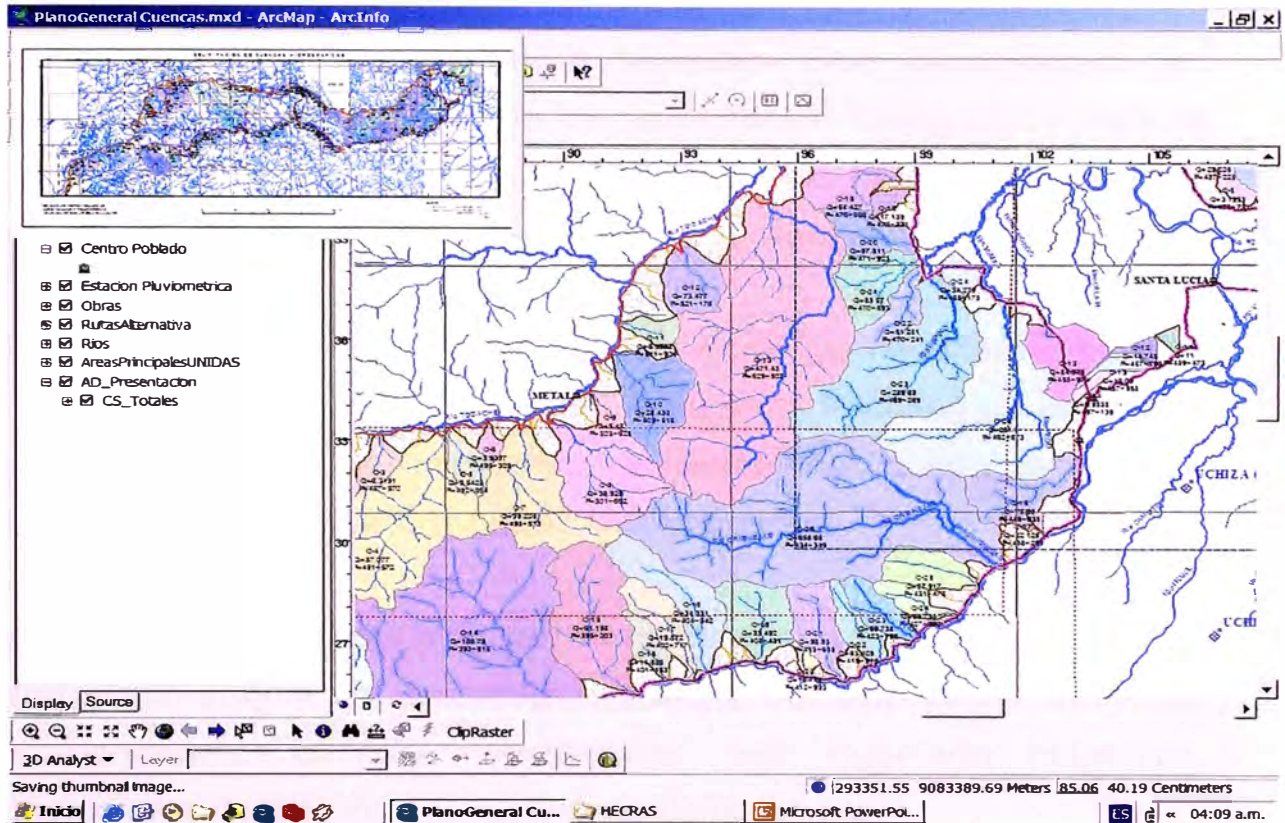


Figura N° 55. Resultados del modelamiento de cuencas para drenaje de carreteras.

#### 4.2.3.5 Otras Aplicaciones conocidas del SIG

Además de lo expuesto, existen otras herramientas en ArcInfo orientadas al modelado hidrológico de acuíferos subterráneos, incluyendo:

- Determinación de niveles piezométricos de un acuífero.
- Perfiles del acuífero.
- Localización áreas alto riesgo de contaminación.
- Cálculo de volumen de un acuífero.
- Determinación de Focos de contaminantes.

## 4.3 PROPUESTA DE LA APLICACIÓN DE SIG EN INGENIERÍA HIDRÁULICA

La Propuesta ha desarrollar se basa en fijar y desarrollar los fundamentos que le permitan al Ingeniero Civil especializado en Hidráulica utilizar los Sistemas de Información Geográfica, para el planeamiento, diseño y gestión de los recursos hídricos; obteniendo así una mejor perspectiva en el desarrollo profesional.

El alcance es fijar los requerimientos mínimos necesarios para la enseñanza de esta poderosa herramienta en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, desde la cual se irradiara los conocimientos a otras Universidades.

Para realizar esta propuesta se ha desarrollado una recopilación de información acerca del desarrollo del SIG en el país, presentación de las bondades de este relacionadas con ingeniería hidráulica, necesidades de una infraestructura de datos única.

### 4.3.1 Principios y Objetivos de la IDEP

Dentro del desarrollo del SIG en el Perú se describió los principios básicos para la creación de una infraestructura de datos únicos (ver ítem 3.3.1), que se fundamente en dos principios:

- **Estandarización:** La producción y documentación estandarizada de los datos geográficos.
- **Difusión:** La creación de mecanismos que faciliten el acceso y uso de los datos.

Esto define una línea de estandarización y difusión de los sistemas de información geográfica. Esta debe ser la guía para realizar cualquier esfuerzo de desarrollo de los SIG en cualquier área.

Los objetivos de la IDEP son:

- Definir lineamientos y estrategias que ordenen la producción y difusión de la información geográfica.
- Establecer un marco de cooperación entre productores y usuarios de la información geográfica.
- Documentar los datos cartográficos básicos y temáticos producidos y facilitar el acceso a ellos (Metadatos).
- Entregar productos y servicios de información geográfica en línea, que apoyen la toma de decisiones.
- Mejorar la capacidad de gestión tecnológica de las Entidades participantes.
- Armonizar los Sistemas de información para asegurar la interoperabilidad de los datos. (Estándares –comité de normalización de datos espaciales)

#### **4.3.2 Propuestas Generales o Directivas**

De acuerdo con el ítem anterior, para el desarrollo del SIG en Ingeniería Hidráulica se debe realizar las propuestas teniendo en cuenta las siguientes directivas:

- I. Aceptar las normas actuales en lo referente a gestión, producción y difusión de la información geográfica.
- II. Plantear a nivel Institucional, como Universidad, las normas necesarias para el desarrollo de SIG en Hidráulica.
- III. Aceptar como normas, las tendencias adoptadas por las instituciones en cuanto a la producción de SIG.
- IV. Identificar y Desarrollar el SIG en áreas que no estén desarrolladas por otras instituciones.

### **4.3.3 Propuesta de Modelo de Datos para Ingeniería Hidráulica (Área Institucional)**

Es necesario la definición de un modelo de datos estándar para el desarrollo del SIG en cualquier área. Oficialmente no existe un modelo de datos para el manejo de la información de recursos hídricos.

El termino modelo es genérico, en ingeniería hablamos de modelo conceptual y modelos matemáticos.

Un modelo conceptual es un conjunto de reglas o procedimientos que definen un proceso real. Un modelo matemático es un modelo conceptual expresado en ecuaciones. Un modelo de datos es un modelo conceptual expresado en una infraestructura de datos.

El desarrollo de la un modelo de datos en ingeniería hidráulica pasa por definir una base de datos a nivel de cuencas, con el fin de realizar una gestión efectiva de los recursos hídricos a escala nacional.

La creación de un modelo de datos único permite su utilización en múltiples propósitos, por ejemplo para manejar los derechos de agua, evaluar calidad de agua, control de avenidas o simplemente para entender la hidrología de la cuenca.

El objetivo concordante con la tesis es aceptar las tendencias como normas, sin duplicar esfuerzos, así que el elegir elaborar un modelo de datos seria no entender la idea de estandarizar ni las directivas mencionadas en el 4.3.2.

El Tesista ha trabajado sobre la base de un modelo elaborado, tal como se indica y detalla en las perspectivas de la ingeniería hidráulica. Este modelo es el denominado Archydro.

El modelo de datos ArcHydro fue desarrollado en principio para facilitar a la organización, los datos de recursos de agua de acuerdo a “la cuenca” y para permitir el acceso a la información hidrológica por los modelos (Maidment, 2002).

La utilización de este modelo de datos nos lleva a la utilización de dos software especiales, uno comercial (ArcGIS) y dos de dominio público (ArcHydro Tools):

1. ArcGIS de ESRI con una licencia de ArcInfo y la extensión del Spatial Analyst.
2. ArcHydro Tools, desarrollado en La Universidad de Texas de Austin, Centro para la Investigación en Recursos de Agua (CRWR)

En la Universidad de Austin Texas, se utiliza el modelo Archydro como modelo de datos, para gestión de recursos hídricos. El Archydro es de uso libre y esta disponible en Internet. Si se desea mayor información se debe dirigir a: <http://www.cwr.utexas.edu/reports/pdf/2006/rtp06-03.pdf>.

Las ventajas del modelo de datos Archydro son:

- Uso libre
- Herramientas de Soporte permanente
- Estructura de datos conocida
- Capacidad de poder adaptarse a las nuevas necesidades

La principal desventaja que se opone a la adopción de este modelo de datos es el costo del software comercial ArcGIS, pero hemos comprobado que en todas las instituciones se esta adquiriendo este software para el manejo de la información espacial.



El Tesita ha revisado el modelo de datos Archydro, tanto en su desarrollo, como en las utilidades y bondades, por lo que recomienda:

- Entablar comunicaciones con la Universidad de Austin Texas para realizar convenios e implementar el modelo de datos Archydro como gestor de los datos en recursos hídricos en el Perú.
- Adecuación a nuestra problemática, consensuado con las entidades interesadas (INRENA) y la publicación oficial de su adopción como sistema de datos oficial.

Debo mencionar que en Brasil se esta haciendo este esfuerzo, y muchos países como España están observando esta tendencia.

#### **4.3.3.1 Modo de Difusión**

La difusión de este modelo pasa por las siguientes fases:

- Adopción formal del modelo de datos Archydro como gestor de los recursos hídricos en el Perú, por consecuencia su integración al IDEP.
- La enseñanza de este modelo de datos se desarrollara desde la Universidad de Ingeniería hacia otras universidades e instituciones.
- Desde otras Universidades se generara la producción de data espacial regional (por departamento), logrando una base de datos nacional.
- El modelo es de dominio publico, cuyas características y detalles técnicos están en Internet.

#### **4.3.3.2 Fines**

Se tiene los siguiente fines:

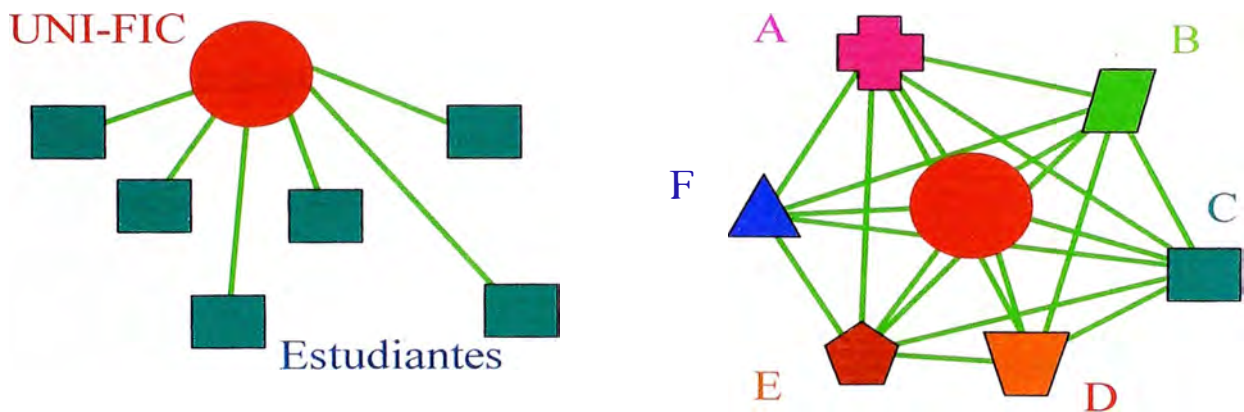
- Difundir las características del modelo de datos a nivel nacional, a fin de ser utilizado como un estándar en el manejo de los recursos hídricos.
- Estandarizar la forma de manejo de datos espaciales en ingeniería hidráulica.

#### **4.3.3.3 Metas**

- Obtener un modelo de datos único en Ingeniería Hidráulica para el Perú.
- Incorporación de un sistema único de datos para el almacenamiento de información hidrológica al IDEP
- Conocimiento pleno de la estructura de datos de ingeniería hidráulica en el Perú.

#### 4.3.4 Propuesta de Enseñanza de SIG en la UNI – FIC (Área Académica)

El conocimiento se imparte desde la Universidad hacia los estudiantes, y la universidad se interrelaciona con diferentes entidades, enriqueciendo el conocimiento a impartir a los estudiantes. El esquema básico se muestra en la Figura N° 56.



**Figura N° 56.** En la izquierda se muestra la difusión del conocimiento desde la FIC hacia los estudiantes, y en la derecha la interrelación ideal del conocimiento entre la Universidades y Diferentes entidades.

Al generalizar este conocimiento a las demás Universidades Nacionales, con los parámetros de estandarización y difusión, se lograra un desarrollo nacional de cualquier herramientas.

En el área académica se debe dar a conocer y fomentar la utilización del SIG y la necesidad de la creación de un el sistema único de datos desde las universidades.

#### **4.3.4.1 Conocimientos Básicos**

Los conocimientos básicos del uso del SIG en Hidráulica que un estudiante de ingeniería civil debe saber son:

- a) Posicionamiento de un Objeto.
- b) Relación entre Objetos.
- c) Área de influencia o radio de acción de objetos.
- d) Distribución de parámetros en el espacio.
- e) Parámetros geográficos de los objetos.
- f) Zonificación.
- g) Análisis Espacial.
- h) Disponibilidad de información.
- i) Presentación de resultados.
- j) Modelación hidrológica.

Estos fundamentos básicos del SIG han sido desarrollados en el capítulo II.

#### **4.3.4.2 Modo de Difusión**

La enseñanza de estos conocimientos básicos deben realizarse en el primer curso de la especialidad de Hidráulica, es decir en el curso de Hidrología General, paralelamente a el desarrollo del curso, en talleres o en las horas de practica.

El estudiante de Ingeniería Civil debe manejar la idea de lo que es un Modelo de Datos Geográficos, haciendo la diferencia entre los modelos conceptuales, modelos matemáticos y modelo de datos.

#### 4.3.4.3 Fines

A excepción de la parte estadística de los cursos universitarios, las múltiples herramientas de SIG hacen amena y fácil el desarrollo de la hidrología, por lo que se puede utilizar con varios fines:

- Difundir y homogenizar el conocimiento del SIG en ingeniería hidráulica, capacitando a los futuros ingenieros en esta herramienta tan poderosa.
- Capacitar ingenieros desarrolladores SIG con conocimiento de nuestra problemática, los cuales podrán crear aplicaciones para ser utilizados en nuestro país o región.
- Desarrollar el SIG desde la Universidad sin interponerse en el desarrollo de otras entidades (ver ítem 4.3.2)

#### 4.3.4.4 Metas

- Los conceptos básicos como el ciclo hidrológico, delimitación de cuencas, procesos de escorrentía superficial, modelación de ríos, modelos de presas, simulación de reservorios pueden ser desarrollados con la ayuda de SIG, logrando una mejor llegada al alumno.
- Las nuevas generaciones de profesionales estarán ligados estrechamente a los procesos computacionales, por lo que conceptos de programación en SIG serán sólidos en su desarrollo profesional.
- Elaborar rutinas complementarias a las existentes en los modelos del HEC (Hydrologic Engineering Center). Debemos



seguir adelante con el desarrollo de herramientas de ingeniería, adicionales a las uso libre en US.

En resumen, desde el punto de vista académico, se puede lograr:

- Elaboración de librerías dinámicas relacionadas con los métodos aplicables en el Perú para ingeniería análisis hidráulica e hidrología, que trabajen conjuntamente con los datos del sistema único de datos.
- Publicación y libre acceso mediante internet a los datos generados por las Universidades desde un ente público, y administración de las bases de datos. Esto debe realizarse, porque el conjunto de Universidades de la región pueden lograr los objetivos en un corto tiempo.

#### **4.3.5 Propuesta de para la Determinación de caudales de máximos avenidas por cuencas mediante el SIG en la UNI – FIC (Área Académica)**

Como se indico en las directivas, el área de desarrollo de SIG en la Universidad debe ser paralela a la gestión de datos de otras instituciones como son las relacionadas con ingeniería hidráulica, especialmente el INRENA y el SENAMHI.

##### **4.3.5.1 Modo de Desarrollo**

La no duplicidad de esfuerzos es la clave para el desarrollo de la ingeniería hidráulica.

Los datos generados por instituciones como INRENA, IGN, SENAMHI no son publicas, y no se debe plantear publicarlas, si no solamente utilizarlas mediante convenios con las universidades.

INRENA, es la institución que ha desarrollado trabajos en SIG, por lo que nos corresponde seguir desarrollando paralelamente sin interferir en el desarrollo propio de dicha institución. El área ligada a la ingeniería hidráulica de INRENA es la gestión de los recursos hídricos, es decir se basa en disponibilidad hídrica, realizando modelos en base a precipitaciones o caudales mensuales.

El área aun no desarrollada es la de generación de caudales para máximas avenidas, en las cuales nos ayuda las herramientas del Archydro como modelo de datos.

INRENA ha estandarizado las cuencas hidrográficas hasta el nivel 7, oficialmente a nivel nacional, es decir que poseemos códigos únicos para cada cuenca de nuestro territorio. Debemos solicitar a INRENA

sus capas de delimitación de cuencas para estar acorde con su codificación.

La metodología de delimitación y codificación realizada por INRENA es conocida y esta disponible en su pagina WEB, es decir se puede rehacer, pero seria un esfuerzo doble, que no va con las directivas planteadas en la tesis. Lo que si podemos desarrollar es un método de delimitación y codificación automático, en base al método Pfafstetter, utilizado por INRENA, lo que podría ser nuestro primer paso o aporte.

En el ejemplo aplicativo mostrado en esta tesis (ver Capítulo V), se ha logrado desarrollar el análisis para caudales máximos de la cuenca del Alto Piura, utilizando las herramientas del modelo de datos Archydro, al cual se le ha incorporado campos para visualizar los caudales para diferentes periodos de retorno. El análisis se ha realizado con metodologías de precipitación-escorrentía, las cuales son las mas adecuadas y aceptadas para la escasez de información pluviométrica en nuestro país.

El desarrollo general de los análisis de eventos extremos o determinación de caudales máximos para cada cuenca alcanzaran un nivel nacional si se procede según:

- Análisis por cuencas, de acuerdo a la codificación oficial del INRENA
- El análisis inicial será realizado para las cuencas cercanas por la UNI, en los trabajos de hidrología general o de tesis de antegrado.
- El conocimiento de la metodología se irradiara a las Universidades a nivel nacional, conjuntamente con la experiencia obtenida en el desarrollo
- Los análisis hidrológicos de cada cuenca deberán ser realizados por las Universidades de la zona, las cuales tienen

mejores datos en cuanto al comportamiento físico de las cuencas.

#### **4.3.5.2 Modo de Difusión**

El método de difusión será:

- Oficialmente desde la UNI-FIC hacia otras Universidades.
- Los resultados obtenidos de cada modelación deberán estar centralizados en una Universidad o entidad. En este caso propongo que los resultados de los análisis sean publicados por INRENA.

#### **4.3.5.3 Fines**

- Involucrar a las Universidades en la utilización de las herramientas SIG para alimentar la base de datos nacional de Ingeniería Hidráulica.
- Uniformizar criterios en el análisis de avenidas para cuencas de gran área, calibrando de acuerdo a las características de la zona.
- Determinación de caudales máximos de avenidas para dimensionamiento de obras de arte en carreteras que pasan por las cuencas estudiadas.

#### **4.3.5.4 Metas**

- Obtener una base de datos estándar para todas las cuencas del país, con participación de las Universidades a nivel nacional.

### **4.3.6 Propuesta para la Normalización del Sistema de Referencia (Área Institucional)**

El sistema de referencia debe ser estándar para todos los estudios a desarrollarse en el territorio nacional, como es el sistema UTM con datum en WGS84. Actualmente esta es una tendencia, pero aun sigue encontrándose estudios con el datum PSAD56, esto porque las cartas del IGN antiguas siguen con este sistema, a pesar que la información digital si esta en WGS84.

#### **4.3.6.1 Modo de Desarrollo**

Se debe comunicar al IDEP mediante la Universidad la necesidad de formular una norma para la estandarización de los sistemas de referencia al sistema UTM con datum en WGS84 en el desarrollo de los estudios. Incorporar esta norma a los reglamentos de construcciones.

#### **4.3.6.2 Modo de Difusión**

Se debe plasmar este requerimiento en todos los documentos del Estado, como son los reglamentos de construcción, términos de referencia, bases de licitación, siempre al inicio de cada estudio.

#### **4.3.6.3 Meta**

- Lograr una homogeneidad en los sistemas de medición de los trabajos de ingeniería.



### 4.3.7 Propuesta para la Publicación de Metadatos después del desarrollo de estudios de ingeniería (Área Institucional)

Cada proyecto desarrollado, sea con fondos del estado o de privados, debe terminar con un resumen de resultados (Metadatos), a fin de ubicar su influencia en un mapa digital.

Este procedimiento se realizó en un inicio en SEDAPAL, pero fracasó al no haber estandarización de los datos.

#### 4.3.7.1 Modo de Desarrollo

Se debe comunicar al IDEP mediante la Universidad la necesidad de formular una norma para la publicación de resúmenes digitales del área de influencia de los proyectos.

En este resumen se debe incluir:

N°	Campo	Descripción
1	Nombre de la Institución / Empresa	En este ítem se debe colocar el nombre de la institución.
2	Tema de los datos espaciales	El tema debe ser genérico.
3	Breve Descripción del contenido	Describe brevemente la información que contiene.
4	Almacenamiento de Atributos	Algunos SIG vienen con la tabla anexa de datos, en la que se asignan atributos, como ejemplo en el MapInfo es TAB, en Arcview es DBF, etc. Si es una base de datos anexa, como el MDB que manejan los archivos vectoriales de Idrisi, es decir se manipulan externamente y tienen un campo con códigos de enlace entre la base de datos alfanumérica y el archivo vectorial o ráster.
5	Cubrimiento geográfico	Colocar la extensión que cubre el archivo, por ejemplo si es un mapa político departamental del Perú, poner cobertura nacional. Si la información se refiere al departamento, como las provincias del departamento de Piura, poner

		<p>“Departamental”, o si es de un proyecto que involucra parte importante de uno o más departamentos, entonces poner “Departamental”. En este caso, indique el nombre del departamento.</p> <p>Si es información exclusiva de una cuenca u otra área, entonces colocar “Otro” y describir el área que cubre la información</p>
6	Escala Base	<p>Para el caso de usuarios, se refiere a la escala en la que fue ingresada la información, es decir si digitalizó una carta nacional 1 :1 00,000 debe de poner entonces 1 :1 00,000. Si la base son fotos aéreas 1 :1 5,000, podría poner esta escala, indicar que es aerofotografía.</p> <p>Para el caso de productores se requiere especificar el intervalo de curva</p>
7	Proyección:	<p>“UTM”</p> <p>En esta parte se debe de consignar la información referente al sistema de proyección utilizado y la zona en la que se encuentra, de usar el sistema UTM.</p>
8	Datum:	<p>“WGS84”</p> <p>Indicar el datum geodesico que referencia los datos espaciales de su institución, Por ejemplo la carta nacional del IGN originalmente tuvo hojas en PSAD56 (Provisional South American Datum 1956), hoy han sido transformadas al datum WGS84. La cartografía recientemente elaborada, así como los GPS, por lo general utilizan WGS84. Si no es alguna de las anteriores, entonces poner 'Otro' y apuntar el datum de referencia.</p>
9	Infraestructura Geodesica, soporte de la Data espacial institucional	Identificar la fuente de la infraestructura Geodesica
10	Formato:	En este ítem se consigna el formato del dato espacial, es análogo si es un mapa impreso. Si es digital, es decir es un dato vectorial o ráster, indicar el formato del archivo, según las opciones presentes.
11	Clase de elementos:	Indicar el tipo de elementos consignados en los datos espaciales, si son puntos, líneas polígonos en el caso de vectores, o píxeles (ráster, DEM) o triángulos (TIN). Puede marcar varias opciones.
12	Fuente primaria (fuente de la información base):	Indicar la fuente que sirvió de base para la información, es decir, la que levantó la información, por ejemplo, el mapa de suelos de la cuenca del Rímac fue elaborado por INRENA, con base en las hojas de la carta nacional producida por el IGN. El plano de Lima originalmente elaborada por el IGN tiene actualmente varias versiones de diferentes fuentes. La digitalización de las cartas del IGN, y después actualizadas la red vial con datos GPS por cuenta del MTC; el IGN es la fuente primaria, y el levantamiento de campo es una actualización (véase abajo).
13	Año última edición:	Verificar el año de la última edición (=actualización) de la información.
14	Actualización:	Indique aquí si se actualiza la información

		continuamente, si se piensa actualizar en el futuro, o si el trabajo ya es terminado y no será actualizado
15	Forma de actualización /	Si la información ha sido elaborada o actualizada utilizando como fuente imágenes de satélite, algún trabajo de campo o otra metodología, favor consignar esta información.
16	Calidad:	En esta parte se consigna los datos de calidad de la información, al respecto se debe de ser lo más imparcial posible, e identificar claramente las conocidos fuentes de errores (mapas fuente de baja calidad, o mapas antiguos, etc.). Puede marcar "Buena" o una / varias de las otras cajillas.
17	Acceso:	"Intercambio según política de la institución"

#### 4.3.7.2 Modo de Difusión

Se debe plasmar este requerimiento en todos los documentos del Estado, como son los reglamentos de construcción, términos de referencia, bases de licitación, siempre al inicio de cada estudio.

#### 4.3.7.3 Meta

- Lograr un inventario de la influencia espacial y el área de estudio de cada proyecto realizado, sea por el estado o entidades privadas.
- Eliminar la duplicidad de esfuerzos al realizar el mismo análisis para la misma área de estudio.

#### **4.3.8 Propuesta para la Implementación de Futuros Trabajos en SIG para el desarrollo de Ingeniería Hidráulica (Área Académica)**

El área de aplicaciones SIG es amplia, por lo que en esta tesis se ha centrado en los primeros pasos para el desarrollo de esta herramienta en Ingeniería Hidráulica con motivos académicos. Esta Tesis debe ser continuada siguiendo las directivas citadas en el ítem 4.3.2, en otros temas relacionados, como el desarrollado en el ejemplo aplicativo.

##### **4.3.8.1 Modo de Desarrollo**

Para el desarrollo de la ingeniería hidráulica utilizando SIG planteamos se realicen trabajos de investigación de las necesidades en las siguientes áreas:

- Desarrollo de la infraestructura de datos para el inventario de obras de arte en carreteras que cruzan las cuencas hidrográficas en el Perú.
- Desarrollo de la infraestructura de datos espaciales para la identificación de áreas inundables.
- Desarrollo de la infraestructura de datos para la simulación hidrológica a fin de evaluar los permisos de derechos de agua.
- Desarrollo de la infraestructura de datos para aguas subterráneas.
- Delineación de cuencas en zona de Selva mediante ortofotos

El método de desarrollo puede ser mediante trabajos de Tesis de Integrado.

#### **4.3.8.2 Modo de Difusión**

Cada uno de los trabajos planteado puede desarrollarse mediante el auspicio de alguna institución estatal o privada, la cual se realizara en convenio con la Universidad.

#### **4.3.8.3 Meta**

- Lograr un inventario de la influencia nacional, en todas las áreas de ingeniería.
- Eliminar la duplicidad de esfuerzos al realizar el mismo análisis para la misma área de estudio.



# **CAPITULO V: Modelamiento de un Sistema de Drenaje de Carreteras aplicando herramientas SIG**

## **5.1 GENERALIDADES**

En este Capítulo se muestra la forma en que nos ayuda el SIG en la definición del un Sistema de Drenaje.

Se presentara paso a paso la metodología para determinar los caudales de diseño de la obras principales de drenaje, a lo largo de una vía.

Se debe tener en cuenta que muchas veces tenemos en mente que los cauces naturales cruzan la vía, pero en realidad son las vías que cruzan los cauces; por lo que partiendo de este punto de vista, debemos estudiar la cuenca integral, es decir no desde el punto donde se cruza la carretera, sino desde que nace la cuenca, hasta su entrega a al mar. En realidad esto es un sobreesfuerzo, un desperdicio de energía, pero si tenemos una herramienta que lo desarrolla, entonces no tenemos que preocupamos. Una buena aproximación es modelar la cuenca húmeda, es decir solo el área donde llueve. Dejemos que la computadora haga el trabajo tedioso, y nosotros el trabajo intelectual.

Es así que presento en esta tesis la aplicación de herramientas SIG para la determinación de caudales máximos en una cuenca integral. Los caudales de diseño para las obras principales de la vía lo hallamos por intersección de los cauces con la vía.

La vía Seleccionada será es la carretera Buenos Aires – Canchaque..

## 5.2 DESARROLLO DEL EJEMPLO APLICATIVO

Para la realización del ejemplo aplicativo se ha confeccionado un esquema que nos indica los pasos a seguir, desde el punto de vista del tesista. (ver Figura N° 57)

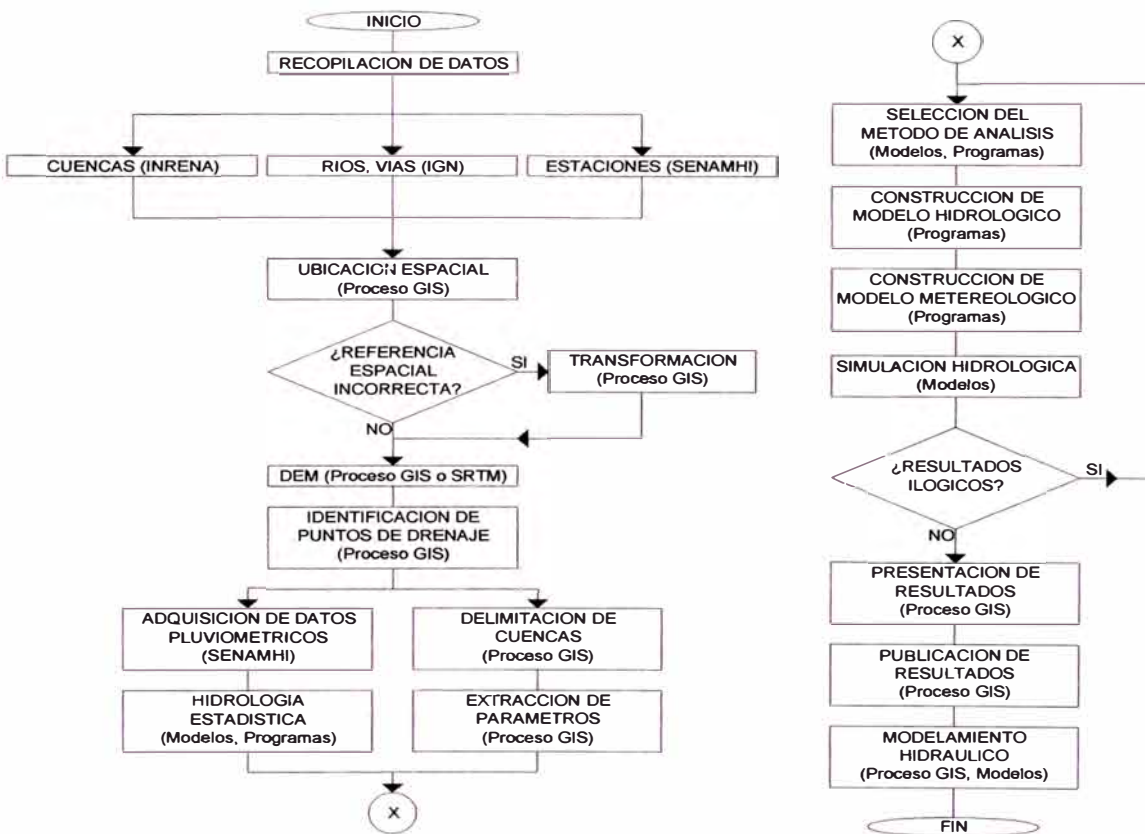
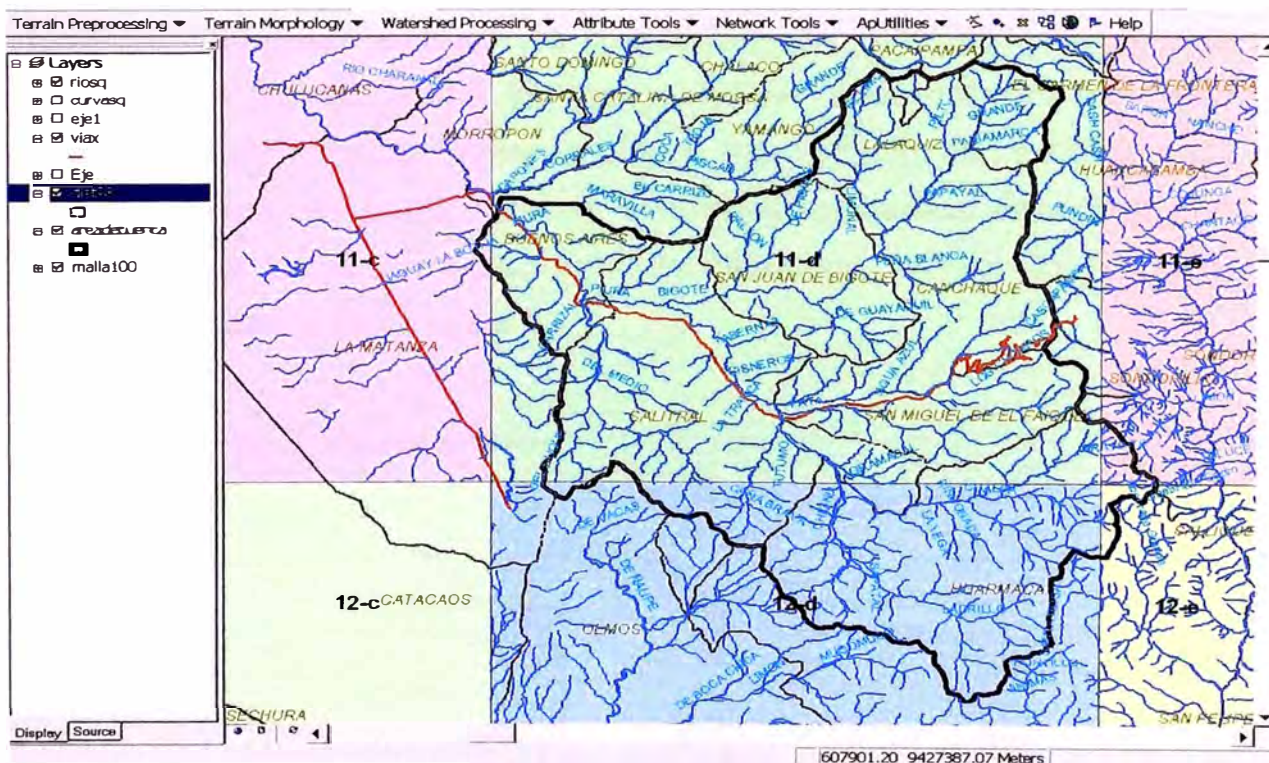


Figura N° 57. Diagrama de flujo de la secuencia del Modelamiento de una cuenca.

### 5.2.1 Recopilación de Datos

La Vía a desarrollarse como ejemplo de aplicación corresponde a la carreta a Huancabamba, que nace de la Panamericana Norte. Esta área a sufrido los dos últimos eventos extremos, como son los fenómenos del niño de los años 1983 y 1998. La vía elegida va desde el poblado de Buenos Aires cerca de Chulucanas hasta el Poblado de Canchaque, en el departamento de Piura. Según los datos de INRENA, esta cuenca pertenece a la cuenca de río Piura.



**Figura N° 58.** Mapa de Ubicación de la vía Buenos Aires – Canchaque. Se ubica el área de cuenca y las hojas del IGN que se necesitarán para el desarrollo del ejemplo aplicativo.

El archivo de vías ha sido esta basado en el mapa vial del Perú, el cual esta disponible en el IGN o en el MTC. Las cartas nacionales necesarias para el análisis son las 11-c, 11-d, 11-c, 12-d y 12-e, cuadrilla disponible en el IGN o INGEMMET ([http://www.ingemmet.gob.pe/publicaciones/serie\\_a/mapas/indice.htm](http://www.ingemmet.gob.pe/publicaciones/serie_a/mapas/indice.htm)).

La cuenca del Alto Piura es la concordante con la información de INRENA, aunque no se ha tenido acceso a sus capas de cuencas.

Las estaciones meteorológicas en la zona deben solicitarse al SENAMHI, debido a que no existe un listado oficial de las estaciones y el índice de datos disponibles por cada estación. Se muestra en la siguiente figura las estaciones disponibles por internet según esta institución, y si revisamos el código fuente encontramos que esta aplicación es realizada mediante macro media flash. Sin embargo, de estudios anteriores publicados en la internet podemos encontrar que existen en la zona las estaciones de Malacasi, Virrey, Canchaque, Barrios, Chignia y Huarmaca.



Figura N° 59. Ubicación de estaciones según SENAMHI.



### 5.2.2 Ubicación espacial

Las capas del IGN están referenciadas al sistema UTM con datum WGS84. En este caso la zona en estudio esta en la zona 17S.

Para las capas de las vías debe realizarse una transformación de coordenadas, debido a que el plano del mapa vial esta en coordenadas geográficas.

La capa de estaciones debe generarse según la siguiente tabla:

**Tabla 3. Ubicación de Estaciones**

Nº	ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO	AÑOS
1	Morropon	05°11' Sur	79°59' Oeste	172 msnm	1988-1997	10
2	Malacasi	05°19' Sur	79°53' Oeste	128 msnm	1998-2006	09
3	Virrey	05°32' Sur	79°59' Oeste	230 msnm	1980-2006	27
4	Chignia	05°36' Sur	79°42' Oeste	360 msnm	1973-1991	19
5	Barrios	05°17' Sur	79°42' Oeste	310 msnm	1974-1992	19
6	Huarmaca	05°34' Sur	79°31' Oeste	2180 msnm	1964-2006	43
7	Canchaque	05°22' Sur	79°36' Oeste	1200 msnm	1973-1991	19

Como se aprecia las estaciones están referenciadas en coordenadas geográficas. Como recomendación, se debe establecer las coordenadas de referencia hasta los segundos, debido que al reverenciarlos con minutos puede conducir a un error de interpretación.

La transformación se hace desde un archivo \*.csv, el cual se genera desde excel. Primeramente debemos crear dos columnas donde la latitud y longitud deben ser un campo numérico y negativo, por están en el hemisferio sur y al Oeste. El Argis importa estos datos como tabla, mediante la herramienta “Add XY Data”. Esta herramienta es utilizada también para incorporar puntos GPS en nuestros planos.



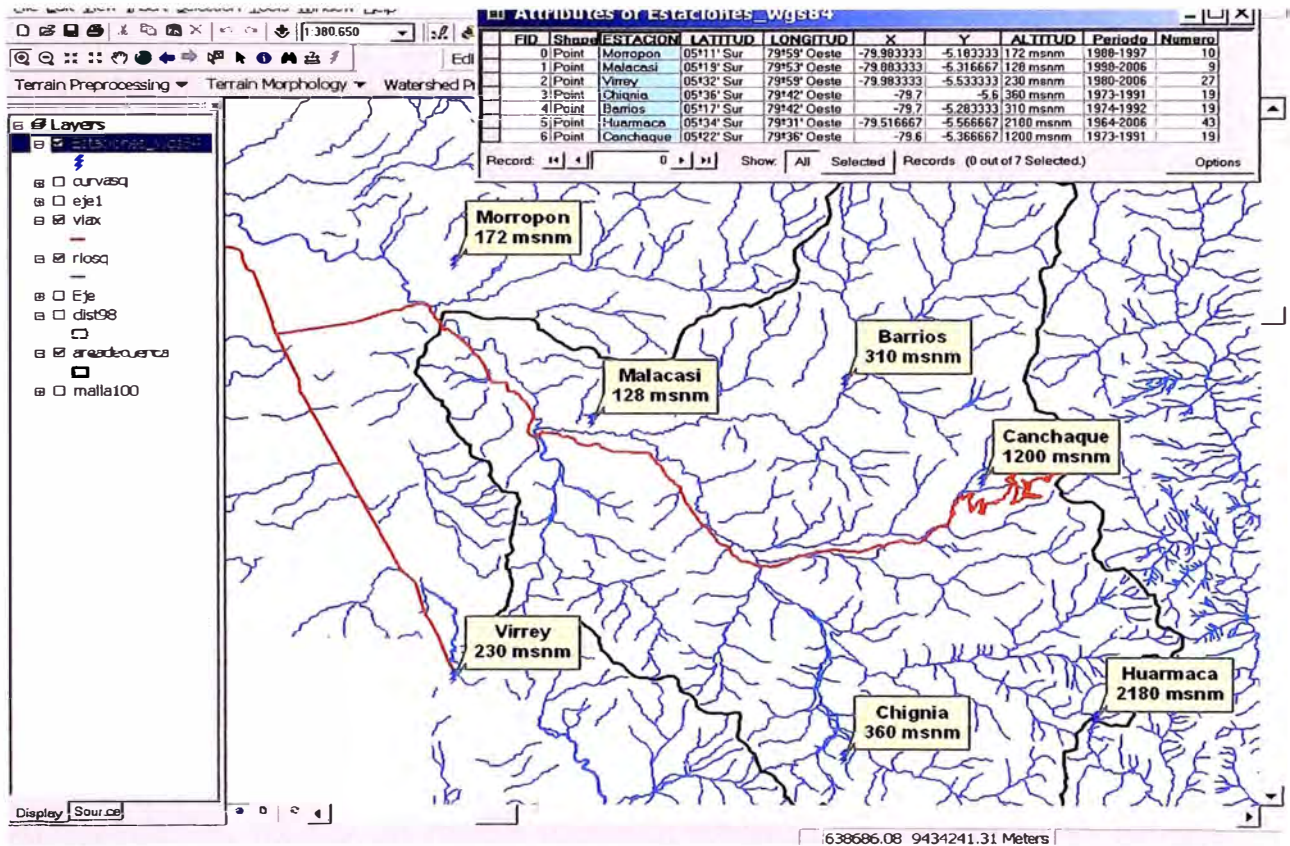


Figura N° 60. Ubicación de espacial de estaciones.

Nótese que en la anterior ilustración se han anexado los campos X e Y, los que resultan del calculo de latitud y longitud a un numero decimal.

Tal vez, una de las mejores utilidades que han salido últimamente es el compartir datos desde Argis o Cad con el famoso Google Earth. (Ver <http://bbs.keyhole.com/ubb/showthreaded.php/Cat/0/Number/103029/page/2>)

### 5.2.3 Construcción del DEM (Digital Elevation Model)

El DEM es una imagen georeferenciada, es decir tiene una posición dentro del espacio terrestre. Cada punto o píxel del DEM representa un nivel topográfico absoluto.

Esta imagen o raster debe cubrir el área de estudio, y se puede generar mediante una transformación de un TIN a Raster, o comprarla de alguna de las empresas que se dedican a suministrar dicha información.

El Google Earth trabaja con esta información, y sus imágenes superpuestas a un DEM, lo que le permite hacer visualizaciones tridimensionales.

Actualmente, existe un mapa mundial tomado por el proyecto Shuttle Radar Topographic Misión, el cual suministra imágenes en alta resolución de la superficie terrestre. Este proyecto está desarrollado por NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) y la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Esta información es libre y puede descargarse desde un servidor ftp, el cual lo encontraremos en: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

Del ftp se baja un DEM en coordenadas geográficas, y en formato ASCII. Para realizar la conversión es necesario utilizar el ArcToolbox de importar desde ASCII. Luego se realizara una transformación desde coordenadas geográficas a el Sistema UTM con datum WGS84.

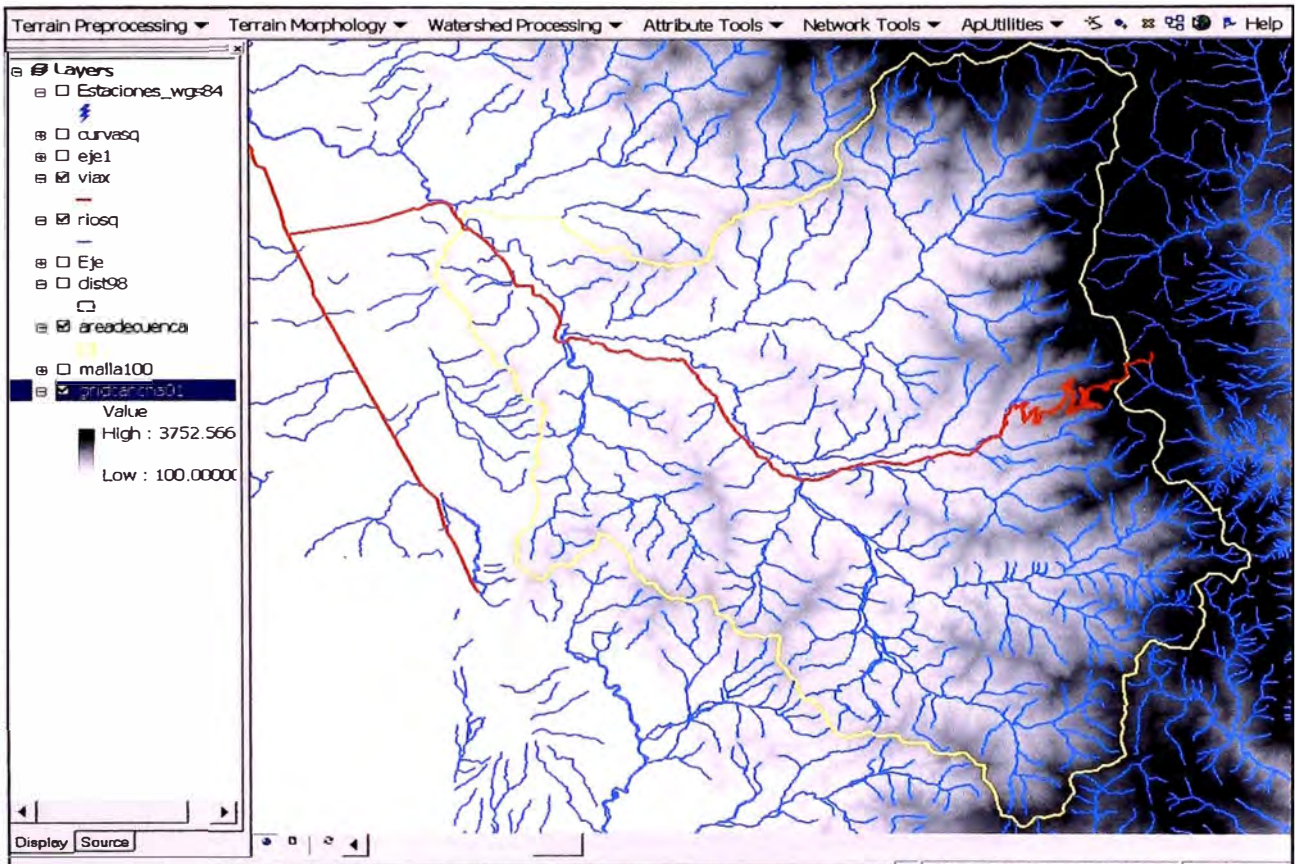


Figura N° 61. DEM generado desde las curvas de nivel, cotas y rios, d la carta nacional.

#### 5.2.4 Identificación de puntos de drenaje

La identificación de puntos de drenaje se refiere a localizar aquellos puntos donde se necesita calcular el caudal. En general, estos puntos son la intersección de la vía con los cauces naturales.

El proceso de ubicación de estos puntos es la intersección de dos capas, la vía y los cauces naturales. El Resultado es una colección de puntos con al lista de quebradas a analizar. De acuerdo a estos puntos se ha realizado un trabajo de delimitación previo en CAD.



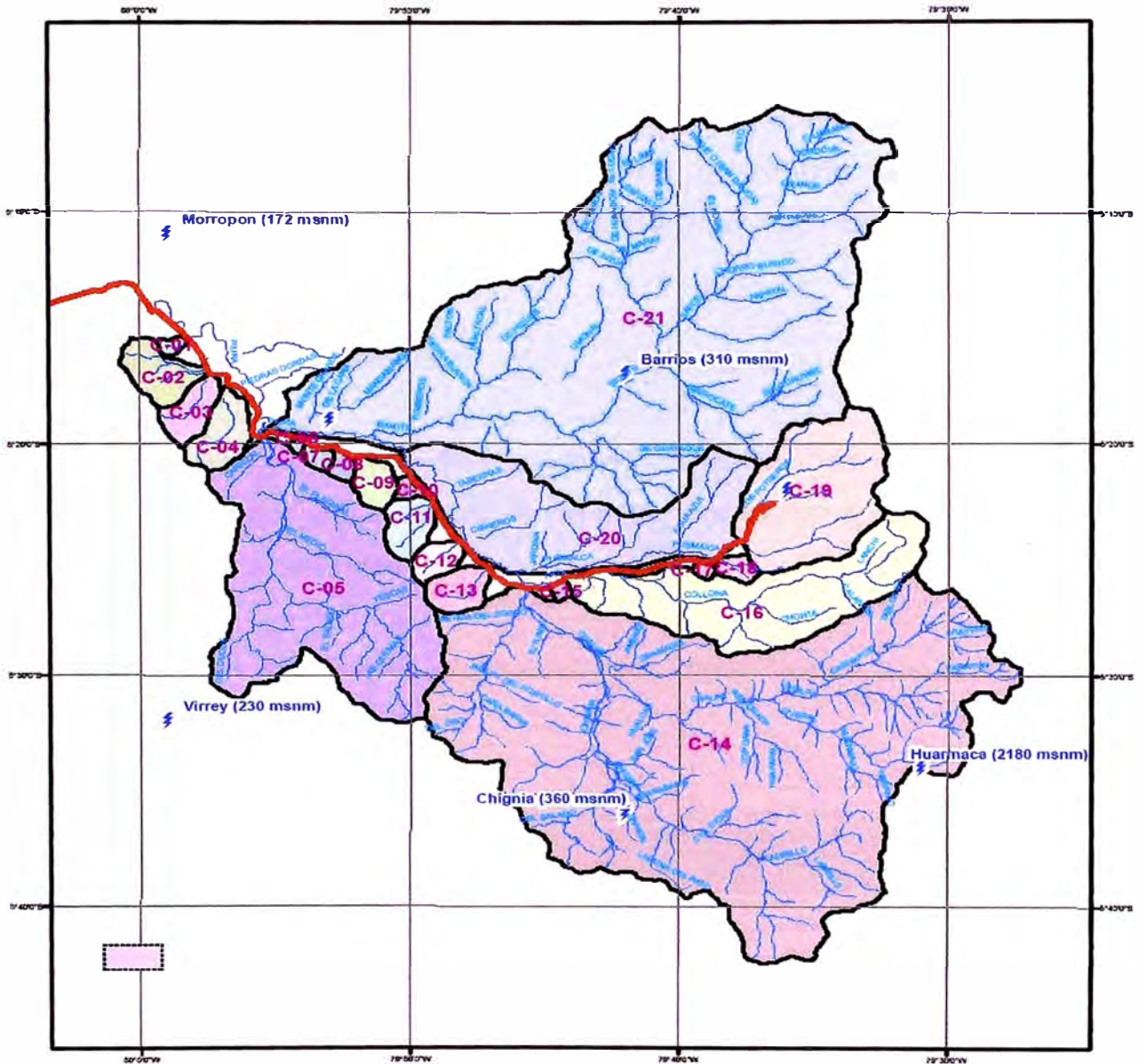


Figura N° 62. Delimitación de Cuenca de acuerdo a los puntos de drenaje.

Tabla 4. Cuencas Identificadas para el calculo de caudal de diseño.

Nro	Cuenca	Nro	Cuenca
1	BUENOS AIRES	12	PALO BLANCO
2	JAHUAY EL COCHE	13	LA TRANCA
3	EL ALMENDRO	14	SERRAN
4	EL ALA	15	LAS HUACAS
5	RIO SECO	16	COLLONA
6	HUALAS	17	HUABAL
7	POLLUCO	18	EL PICHO
8	S/N	19	SAN ANTONIO
9	MALACASI	20	CANCHAQUE
10	LA MASEFA	21	BIGOTE
11	PARMARAN		

### 5.2.5 Adquisición de datos pluviométricos

Los datos pluviométricos son requeridos por los usuarios directamente al SENAMHI. El procedimiento es solicitar una cotización de los datos indicando el nombre de las estaciones y el tipo de información a solicitar.

### 5.2.6 Hidrología estadística

El análisis de la información pluviométrica no es parte de esta tesis, pero realizaremos unos alcances de esta, conforme a las enseñanzas adquiridas en la universidad.

Se tienen seis estaciones pluviométricas, todas tienen por lo menos 1 fenómeno del niño registrado.

**Tabla 5. Ocurrencia del Fenómeno del Niño en Estaciones**

Nº	Estación	Altitud (msnm)	Nº DE REGISTROS	Nº Niños
1	Huarmaca	2180	43	2
2	Canchaque	1200	19	1
3	Chignia	360	19	1
4	Barrios	310	19	1
5	Virrey	230	27	2
6	Malacasi	128	09	1

Para cada estación se debe realizar un análisis estadístico, considerando por lo menos las distribuciones Normal, LogNormal, LogPearson III y Gumbel. En cada una de las estaciones se debe tener cuidado de ser conservador, es decir siempre comparar los máximos registrados con los resultados de las distribuciones.



Después de realizado un exhaustivo análisis, se tiene como resultados:

**Tabla 6. Valores de Precipitaciones Recomendadas para el Diseño**

**Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)**

N°	Estación	Altitud (msnm)	N° DE REGISTROS	Periodo de Retorno (Años)			Registrado
				25	50	100	
1	Huarmaca	2180	43	112,54	126,56	140,48	111,40
2	Canchaque	1200	19	164,56	189,45	214,16	137,30
3	Chignia	360	19	164,40	170,47	194,53	164,40
4	Barrios	310	19	135,34	153,85	172,23	119,70
5	Virrey	230	27	231,55	290,51	347,08	230,70
6	Malacasi	128	09	287,06	339,22	390,99	251,20

Las Estación Virrey se ajusta a la distribución Log Pearson III, y las demás estaciones a la distribución Gumbel.

### 5.2.7 Delimitacion de cuencas

La delimitación de cuencas la realizare con el modelo Archydro El trabajo de este modelo es secuencial, con un total de 25 pasos contados desde la incorporación del DEM, los cauces naturales, los polígonos de las áreas de las cuencas. Se anexa este procedimiento en el Anexo A.

En este capítulo mostraremos el inicio y el final de la secuencia de delimitación de cuenca y de generación del sistema de drenaje.

Dentro de la secuencia de delimitación incluimos la construcción de la red de drenaje, la cual utiliza herramientas de análisis espacial de redes (Utility Network Analyst). Es necesario para realizar las delimitaciones tener activas las extensiones 3D Analyst y Spatial Analyst. El proceso solo puede ser realizado en Arc Info.

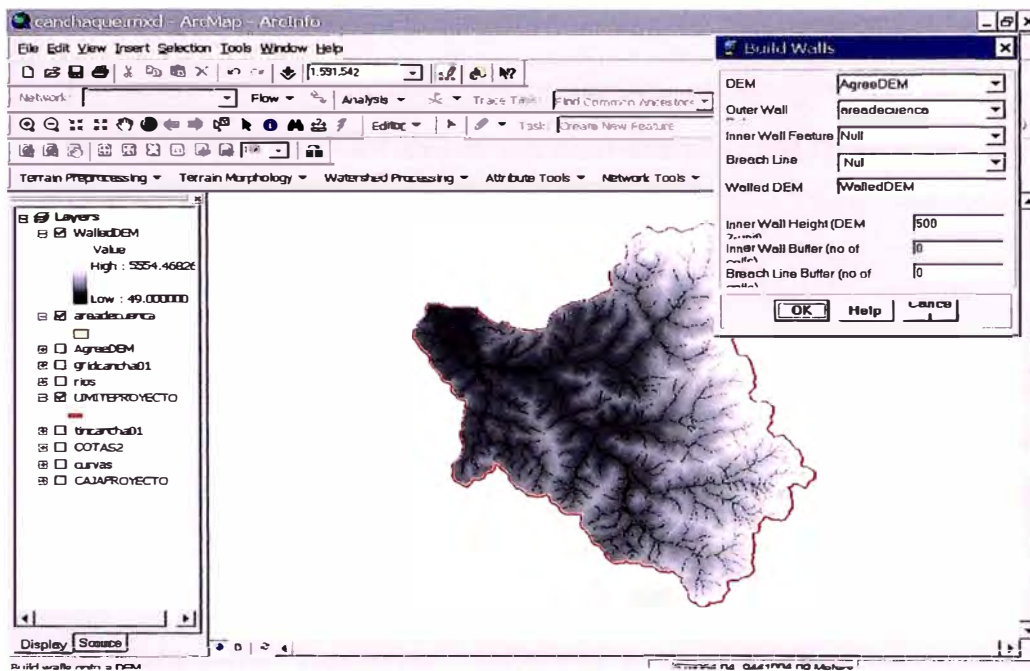


Figura N° 63. Inicio del proceso de delimitación, con la construcción de muros en el borde de la cuenca.

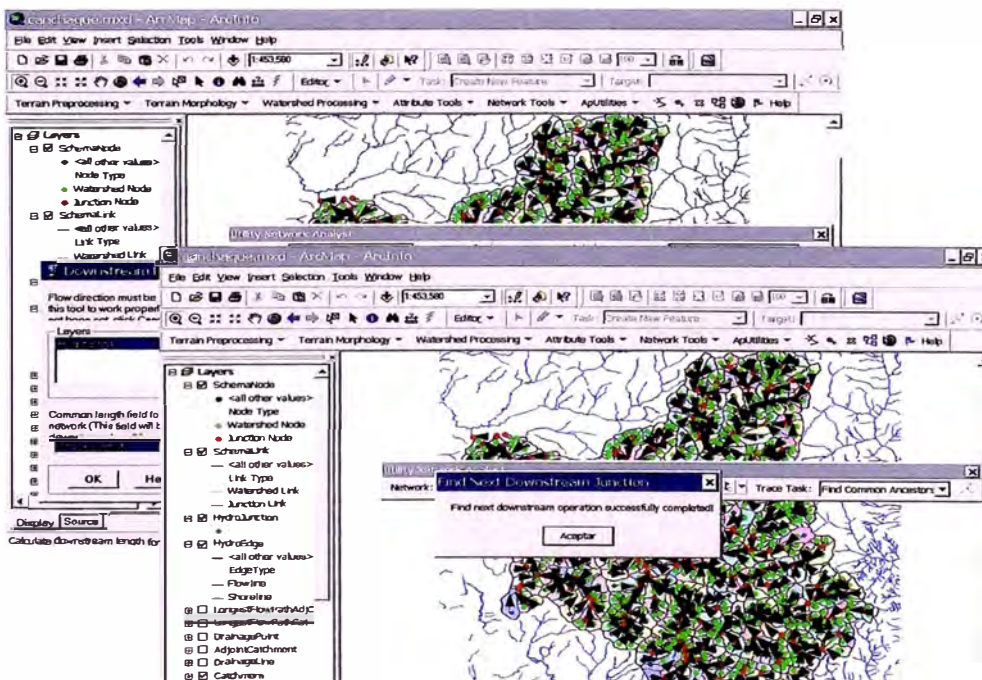


Figura N° 64. Fin del Proceso de delimitación y construcción de la red o sistema de drenaje.

### 5.2.8 Extracción de parámetros

El cálculo de caudales se realizara en un programa conocido, tal como es el HMS, el cual tiene un compendio de métodos, pero en esta tesis utilizaremos el método SCS.

Dentro de este método de cálculo hidrológico se debe tomar los datos geomorfológicos de las cuencas. El calcular la longitud de cauce mas largo, es decir el mayor recorrido de la partícula mas alejada, o la altitud máxima de la cuenca, la pendiente, el cauce mayor, etc., son una tarea laboriosa, de la que nos debemos librar.

El Archydro, después delimitar la cuenca en subcuencas, nos genera una serie de archivos, que como usuarios no estaríamos en la obligación de revisar. Las herramientas del ArcHydro generan una capa que contiene la longitud del recorrido de la partícula mas alejada de cada subcuenca, asociada o enlazada a la capa de cuencas (catchment) mediante un identificador único denominado HydroID. Para nuestro análisis hidrológico necesitamos mas que esta longitud, así que con el fin de demostrar la potencialidad del SIG se procedió a desarrollar rutinas para calcular en cada subcuenca:

- Las cota mas alta y mas baja ( $C_{max}$  y  $C_{min}$ ).

- El Centroide y su cota.

- El área ( $A$ ).

- El perímetro ( $P$ ).

- La pendiente ( $S$ ).

- La longitud de recorrido mas larga ( $L_t$ )

- La longitud de recorrido mas larga proyectada desde el centro de gravedad ( $L_c$ )

Estos parámetros nos servirá para definir el tiempo de desfase y el tiempo de concentración de cada Subcuenca, conforme a varios metodos como Kirpich, Bransby – Williams, US Corps Engineers

Adicionalmente, el HMS requiere datos de conectividad entre los elementos.

El Archydro, después del proceso de delimitación, forma una base de datos de los enlaces del sistema de drenaje, nos deja los siguientes archivos:

- HydroJunction
- HydroEdge
- ShemeNode
- ShemeLink.

En las rutinas desarrolladas por el tesista, se ha incorporado el reporte de los enlaces. Aprovechando un código de identificador único, se ha desarrollado un algoritmo para definir los cauces, y sus pendientes.

Antes de procesar los reportes, debemos definir ciertos parámetros de las cuencas, como por ejemplo, el numero de curva, y la estación pluviografica con la que se va a realizar el calculo. El numero de curva nos ayudamos por las tablas del SCS, en las que nos define los valores de 78 para un bosque seco en regular conservación y de 85 para un bosque seco en pobre estado.

Según las imágenes revisadas del Google Earth, se tiene que toda la parte inferior tiene esta denominación, por lo que procedemos a hacer una selección espacial de todas las cuencas que tienen este numero de curva. En SIG se realiza la asignación correspondiente, y se presenta el siguiente plano que condensa el resultado de nuestro análisis.



A manera de ejemplo se a realizado la elección de la estación para cada cuenca de acuerdo a la altitud del centro de gravedad.

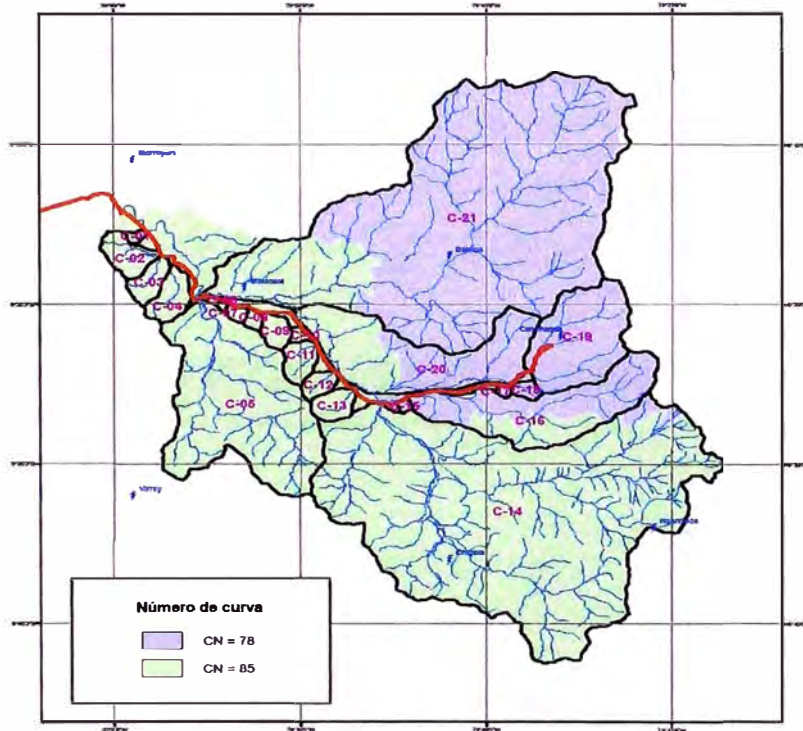
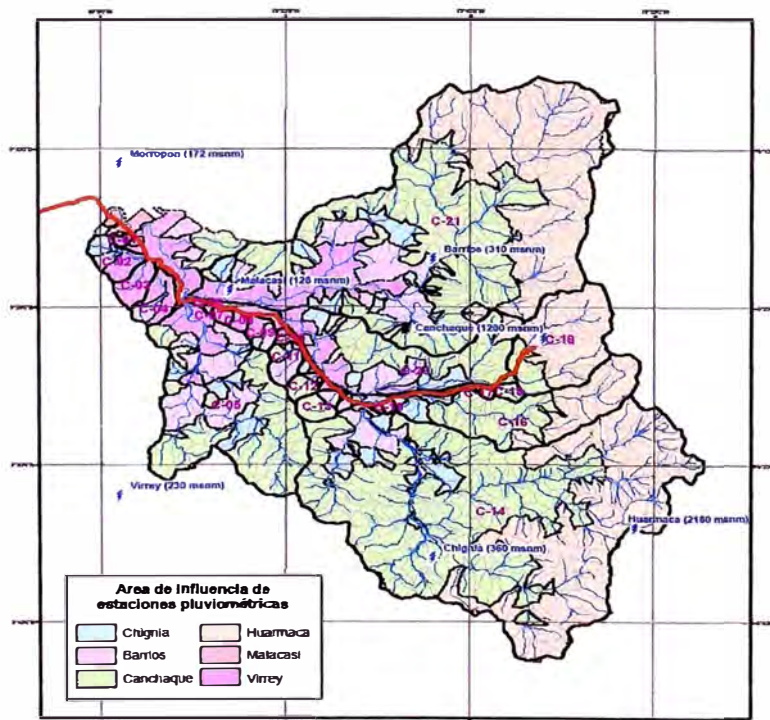


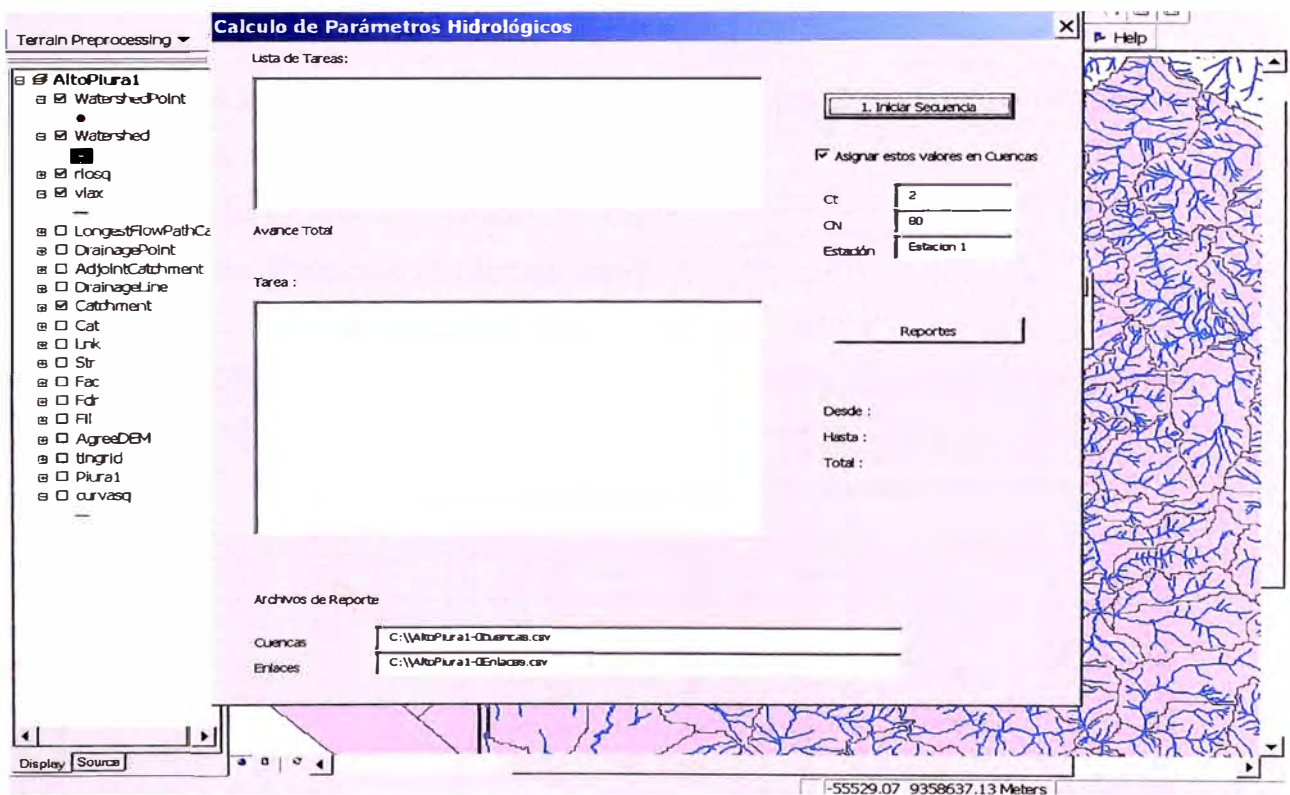
Figura N° 65. Distribución espacial del numero de curva.





**Figura N° 66.** Distribución espacial de la influencia de las cuencas.

Cada entidad generada por el ArcHydro posee un numero único denominado HydroID, por lo que se ha podido realizar el trabajo de conectividad de cada cuenca y los enlaces. Luego de haber definido los parámetros de Numero de Curva y de Estación a asignar, se realizan los reportes.



**Figura N° 67.** Rutina desarrollada para el calculo de parámetros hidrológicos.

### 5.2.9 Selección de método de análisis

El método de análisis seleccionado será el del SCS. Para definir los tiempos de concentración y el tiempo base se realizará un promedio geométrico entre las formulas de Kirpich y de Bransby - Williams.

La tormenta de diseño será definida como la Tipo I, acorde con las tormentas que ocurren en la vertiente del Pacífico.

### 5.2.10 Construcción de modelo hidrológico

Los reportes generados en la extracción de parámetros se resumen en dos archivos (ver Figura N° 68):

- Archivo de Cuentas (Cuentas.csv)
- Archivo de Enlaces (Enlaces.csv)

The image shows a screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet titled "Reporte HMS Rio Piura\_v2.xls". The spreadsheet is divided into two main sections: "SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO PIURA - PARAMETROS DE CUENCAS Y CAUDALES" and "Cuentas y Enlaces".

The first section, "SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO PIURA - PARAMETROS DE CUENCAS Y CAUDALES", contains a table with columns: Cuentas, Area (Km²), Longitud (L) (Km), Cota Min (m.s.n.m.), Cota Max (m.s.n.m.), S, Tiempo de Concentración (min) (Kirpich, S-W, Medio), Dur. Crítica (min), Lc (Km), Ci, Ip (hr), QN, Qcomp, Estacion, Q50 (m³/s), and Q100 (m³/s). Rows 7 through 33 list various catchment areas with their respective parameters.

The second section, "Cuentas y Enlaces", contains a table with columns: Tipo, Yprom, Ycota, Xcota, Xcota, Ycota, Longitud, Velocidad, Tiso, Qprom, Qcota, Qcota, Qcota-25, Qcota-50, and Qcota-100. Rows 34 through 82 list individual links between catchment areas with their respective parameters.

Figura N° 68. Hoja de calculo para construcción del modelo en HMS.

Los archivos han sido extraídos en el formato separado por comas, para poder exportarlo a nuestra clásica hoja de calculo Excel.

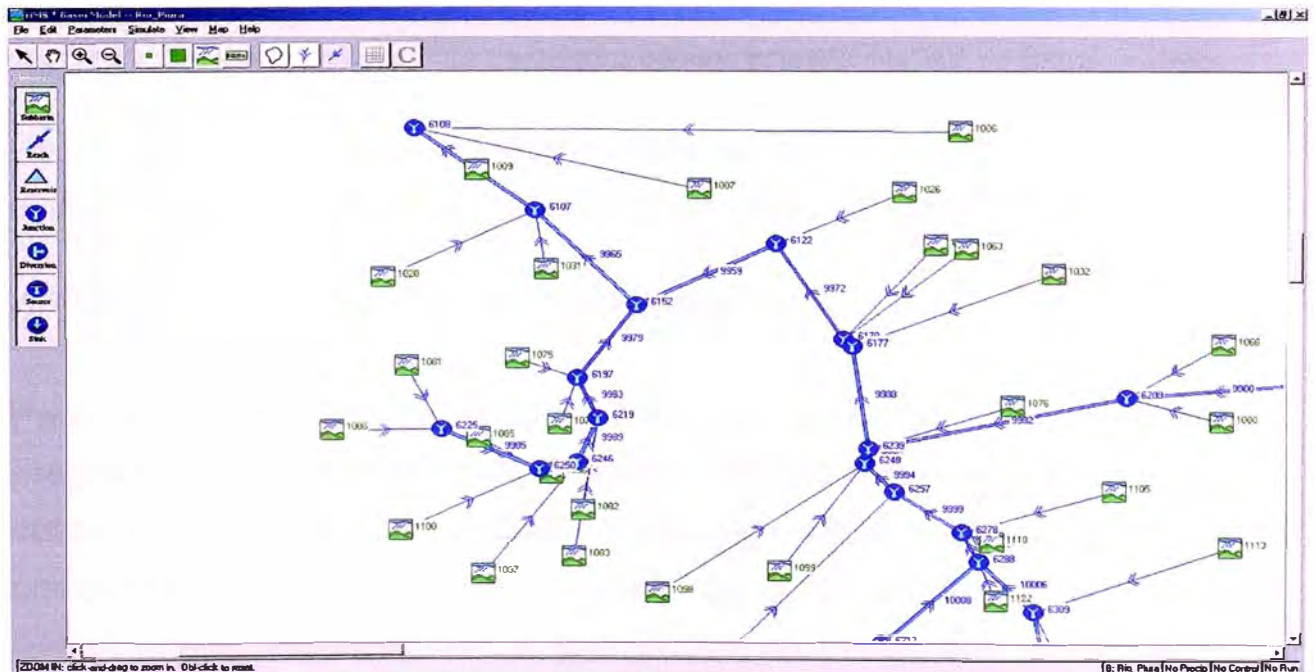
Nótese en la figura anterior, existen dos hojas denominadas "0cuencas" y "0Enlaces", que existen para copiar los datos extraídos del ArcGIS.

Este paso a excel es innecesario si trabajáramos todos en SIG, pero por fines de mejor entendimiento se esta exportando los resultados a una hoja de calculo.

El modelo hidrológico realizado por el HMS esta en script, tiene una estructura conocida que ha podido ser reconstruida mediante Visual Basic para Aplicaciones.

El hidrograma unitario de Snyder ha sido modelado usando un valor de 0.6 para factor de pico ( $C_p$ ) y  $C_t$  variable (en promedio 1.8).

En el Anexo B presentamos el código de estas rutinas.



**Figura N° 69. Esquema de un tramo de la cuenca del rio Piura implementada en HMS**



HMS + Basin Model + Subbasin Editor

Help

Subbasin Name : 1501 Area (sq. km.) 10.4700001375

Description :

Loss Rate Transform Baseflow Method

Method: Snyder

Snyder "Standard" Lag, tp (hr): 3.196

Snyder Peaking Coefficient, Cp : 0.6

OK Apply Cancel

Subbasin name

**Figura N° 70.** Parámetros de la hoja de calculo pasados desde ArcGIS → Excel → HMS.

Los enlaces han sido estimados con un transito con el método de Lag, el cual se calcula desde la longitud de recorrido de cada cauce.

### 5.2.11 Construcción de modelo meteorológico

Para la construcción del modelo meteorológico utilizamos el mismo programa del ítem anterior. El Programa HMS trabaja con una base de datos en formato HEC – DSS (Data Storage System), el cual es compartido en todas sus aplicaciones. Este archivo debe ser creado por el mismo HMS, debido a que tienen un índice que relaciona la cantidad de pluviografos en un proyecto, por lo que el ingreso de estos es realizado por el usuario.

El HMS tiene disponible los hidrogramas de tormentas I, IA, II y III, pero elegida esta opción se le pedirá solo una precipitación de diseño para todas las subcuencas.

Dentro de la misma hoja de calculo de modelamiento se ha tabulado las diferentes tormentas, considerando un intervalo de lluvia de 15'.

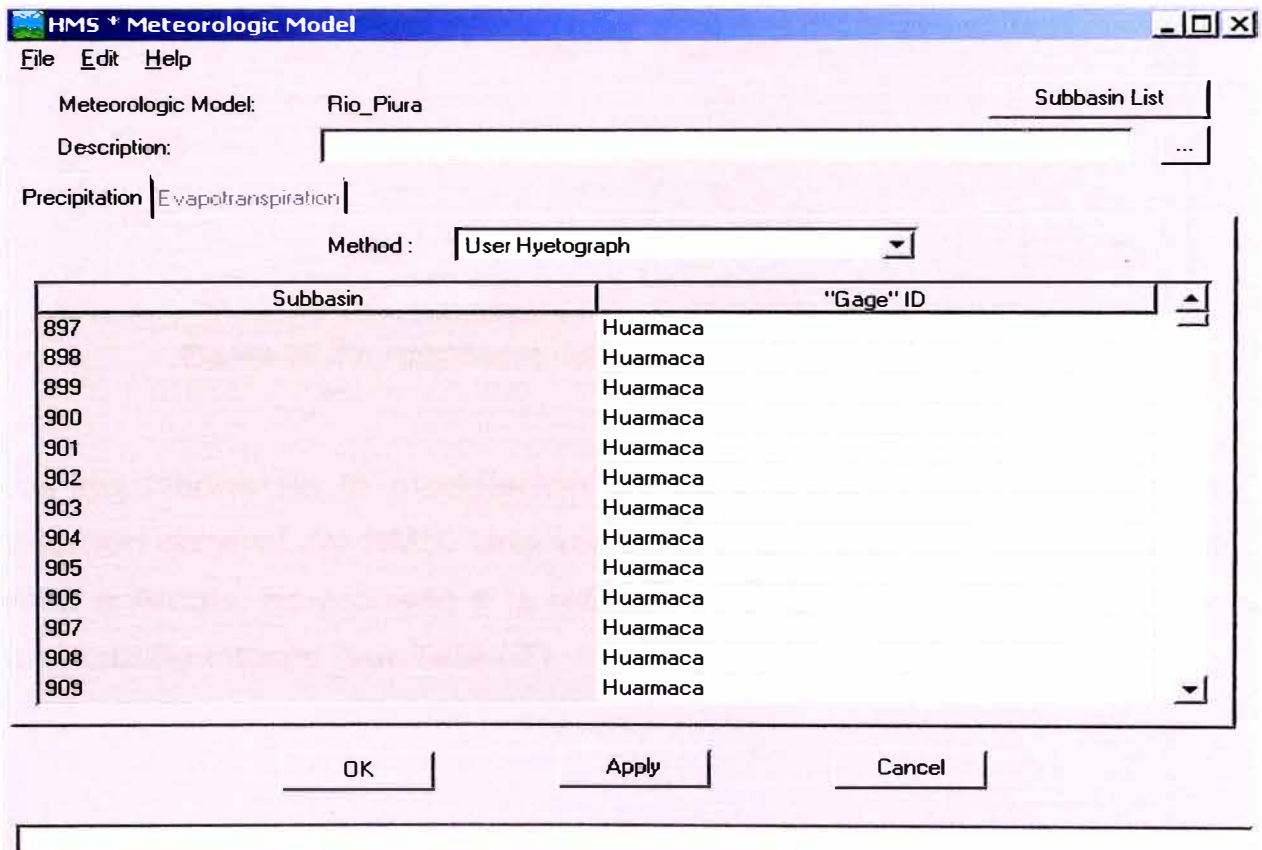


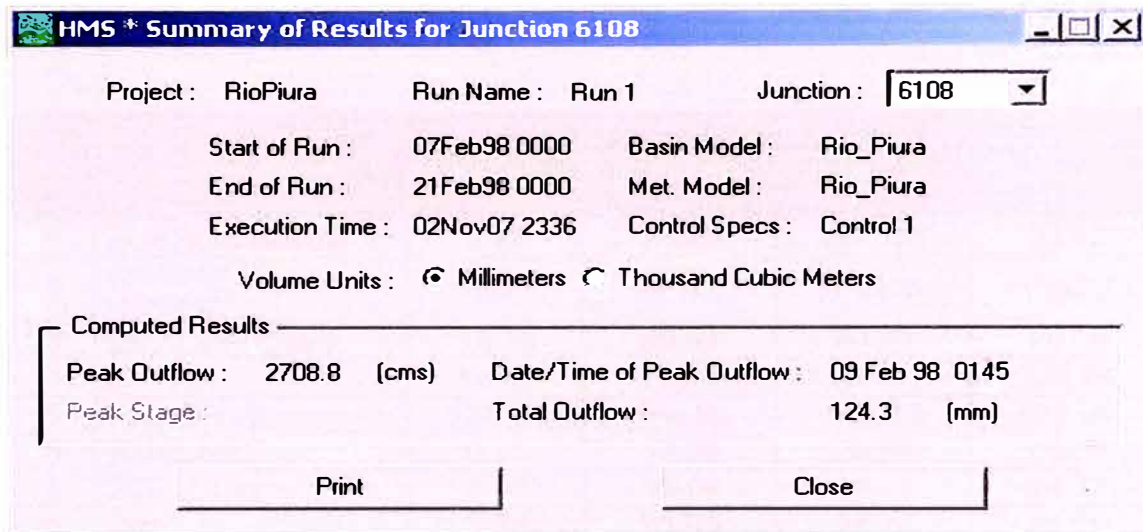
Figura N° 71. Implementación del modelo metereologico en HMS.

### 5.2.12 Simulación hidrológica

Con el modelo hidrológico y meteorológico construidos, procedemos a la simulación propiamente dicha.

Se cambia el pluviómetro de acuerdo a la precipitación de diseño para obtener los caudales de 25, 50 y 100 años.





**Figura N° 72.** Resultados del modelamiento hidrológico.

Los resultados de la modelación se regresan a Arcgis mediante el resumen general del HMS. Una vez puesto copiados los resultados del HMS a Arcgis, se procede a la recopilación de los resultados para las cuencas de interés (ver Tabla 7).

### 5.2.13 Validación y calibración de resultados

La validación y calibración de los resultados de un modelo hidrológico es uno de los trabajos mas complicados a ser realizado por un profesional. En el País no se tiene registro de caudales, por lo que es necesario recurrir a los modelos de precipitación escorrentía. Es necesario realizar una estimación de los caudales mediante métodos hidráulicos (curva de descarga) para ser contrastados con los resultados hidrológicos, a fin de ajustar los parámetros como: Numero de curva, distribución espacial de la lluvia.

El programa HMS esta validado, pero debe ser calibrado con esta metodología.

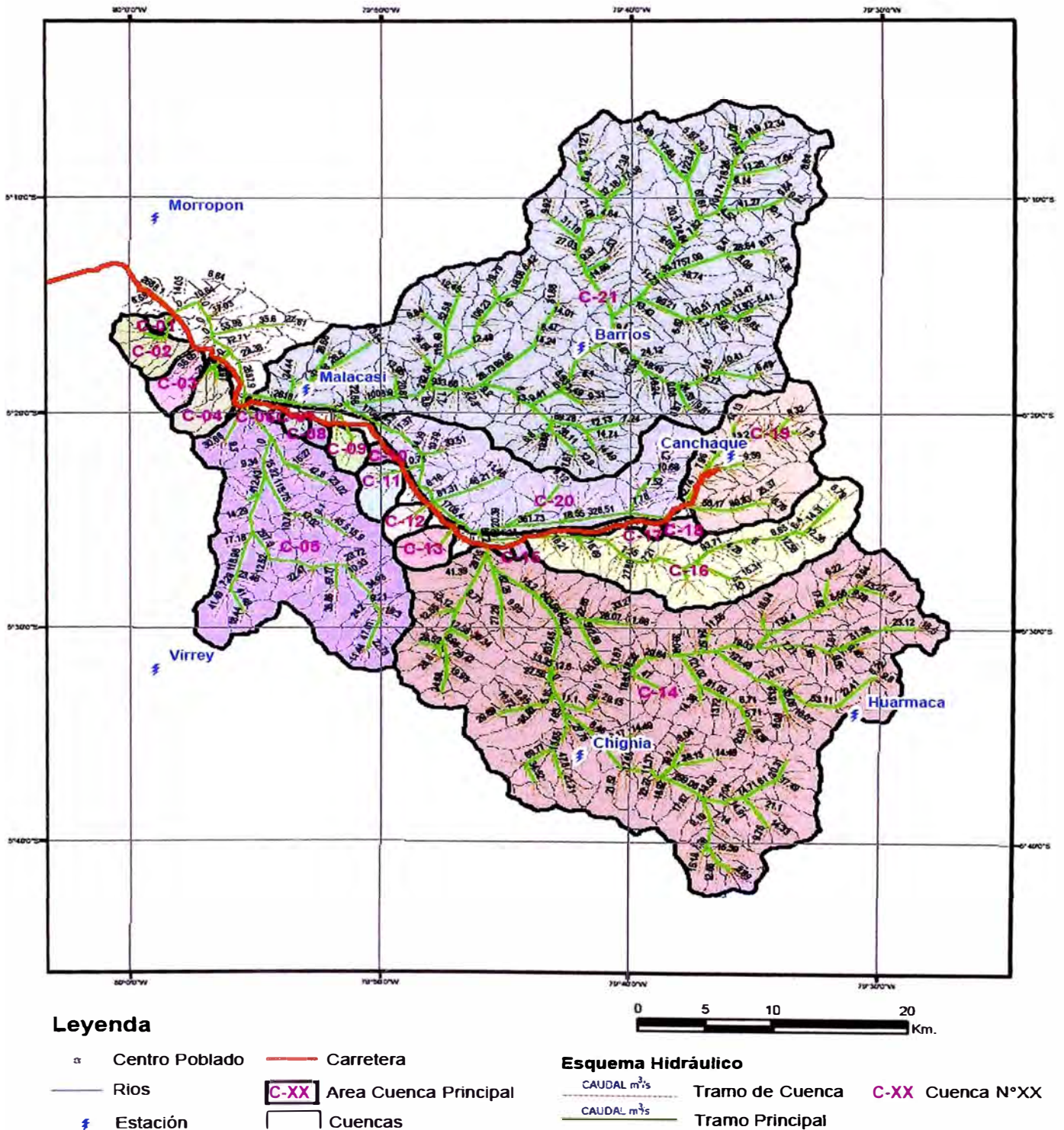
**Tabla 7. Caudales de salida usando el programa HEC-HMS en las 21 cuencas del estudio.**

Nro	Subcuenca	Area (km <sup>2</sup> )	Q25 (m <sup>3</sup> /seg)	Q50 (m <sup>3</sup> /seg)	Q100 (m <sup>3</sup> /seg)
1	BUENOS AIRES	2.17	21.20	27.73	33.97
2	JAHUAY EL COCHE	18.21	86.32	110.76	133.22
3	EL ALMENDRO	13.30	60.93	80.03	98.38
4	EL ALA	18.23	77.85	101.41	122.54
5	RIO SECO	229.01	450.92	548.49	637.20
6	HUALAS	0.95	17.95	23.54	28.88
7	POLLUCO	3.18	15.04	19.71	24.17
8	S/N	3.33	21.93	28.74	35.29
9	MALACASI	9.81	40.21	51.59	61.09
10	LA MASEFA	2.67	9.44	11.85	13.08
11	PARMARAN	13.81	45.50	56.06	63.85
12	PALO BLANCO	8.63	45.87	55.33	63.99
13	LA TRANCA	13.01	61.39	74.18	85.81
14	SERRAN	724.61	1158.85	1379.49	1603.36
15	LAS HUACAS	1.58	10.93	14.24	15.96
16	COLLONA	121.38	231.89	280.68	330.19
17	HUABAL	1.63	6.19	7.62	9.11
18	EL PICO	4.81	17.52	21.57	25.79
19	SAN ANTONIO	95.96	182.59	222.52	263.70
20	CANCHAQUE	141.74	1435.90	1711.60	1990.60
21	BIGOTE (*)	732.77	2188.49	2653.48	3120.68

### 5.2.14 Presentación de resultados

Los caudales para cada subcuenca y cada río es organizada en Arcgis para ser presentada con una representación grafica (ver Figura N° 73).

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA MEDIANTE HEC-HMS TR = 50 AÑOS



**Figura N° 73.** Presentación de la simulación hidrológica para un periodo de retorno de 50 años.



## 5.2.15 Publicación de resultados

Después de la terminación del modelamiento se debe confeccionar un resumen de los resultados, el cual pueda servir de guía a cualquier lector o interesado en nuestro trabajo, antes de ser solicitar la base de datos SIG. El formato ha sido tomado del “Reporte sobre la gestión de datos espaciales en instituciones públicas del Perú”

N°	Campo	Descripción
1	Nombre de la Institución / Empresa	“Universidad Nacional de Ingeniería” - Tesis para obtener el grado de Ingeniero. En este ítem se debe colocar el nombre de la institución.
2	Tema de los datos espaciales	“Hidrología”. El tema debe ser genérico.
3	Breve Descripción del contenido	“Modelación Hidrológica de la cuenca del Alto Piura mediante HMS para los periodos 25, 50 y 100 años. Método: SCS, Hidrograma de Snyder, Estaciones Malacasi, Virrey, Huarmaca, Barrios, Chignia..” Describe brevemente la información que contiene.
4	Almacenamiento de Atributos	“Junto con Base de Datos dbf” Algunos SIG vienen con la tabla anexa de datos, en la que se asignan atributos, como ejemplo en el MapInfo es TAB, en Arcview es DBF, etc. Si es una base de datos anexa, como el MDB que manejan los archivos vectoriales de Idrisi, es decir se manipulan externamente y tienen un campo con códigos de enlace entre la base de datos alfanumérica y el archivo vectorial o ráster.
5	Cubrimiento geografico	“Otro: Cuenca del Rio Piura” Colocar la extensión que cubre el archivo, por ejemplo si es un mapa político departamental del Perú, poner cobertura nacional. Si la información se refiere al departamento, como las provincias del departamento de Piura, poner “Departamental”, o si es de un proyecto que involucra parte importante de uno o más departamentos, entonces poner “Departamental”. En este caso, indique el nombre del departamento. Si es información exclusiva de una cuenca u otra área, entonces colocar “Otro” y describir el área que cubre la información
6	Escala Base	“1 : 100,000” Para el caso de usuarios, se refiere a la escala en la que fue ingresada la información, es decir si digitalizó una carta nacional 1 : 1 00,000 debe de poner entonces 1 : 1 00,000. Si la base son fotos aéreas 1 : 1

		5,000, podría poner esta escala, indicar que es aerofotografía. Para el caso de productores se requiere especificar el intervalo de curva
7	Proyección:	“UTM” En esta parte se debe de consignar la información referente al sistema de proyección utilizado y la zona en la que se encuentra, de usar el sistema UTM.
8	Datum:	“WGS84” Indicar el datum geodesico que referencia los datos espaciales de su institución, Por ejemplo la carta nacional del IGN originalmente tuvo hojas en PSAD56 (Provisional South American Datum 1956), hoy han sido transformadas al datum WGS84. La cartografía recientemente elaborada, así como los GPS, por lo general utilizan WGS84. Si no es alguna de las anteriores, entonces poner 'Otro' y apuntar el datum de referencia.
9	Infraestructura Geodesica, soporte de la Data espacial institucional	“IGN” Identificar la fuente de la infraestructura Geodesica
10	Formato:	En este ítem se consigna el formato del dato espacial, es análogo si es un mapa impreso. Si es digital, es decir es un dato vectorial o ráster, indicar el formato del archivo, según las opciones presentes.
11	Clase de elementos:	Indicar el tipo de elementos consignados en los datos espaciales, si son puntos, líneas polígonos en el caso de vectores, o píxeles (ráster, DEM) o triángulos (TIN). Puede marcar varias opciones.
12	Fuente primaria (fuente de la información base):	“IGN, INRENA”. Indicar la fuente que sirvió de base para la información, es decir, la que levantó la información, por ejemplo, el mapa de suelos de la cuenca del Rímac fue elaborado por INRENA, con base en las hojas de la carta nacional producida por el IGN. El plano de Lima originalmente elaborada por el IGN tiene actualmente varias versiones de diferentes fuentes. La digitalización de las cartas del IGN, y después actualizadas la red vial con datos GPS por cuenta del MTC; el IGN es la fuente primaria, y el levantamiento de campo es una actualización (véase abajo).
13	Año última edición:	“2007-Octubre” Verificar el año de la última edición (=actualización) de la información.
14	Actualización:	“Planeada para 2008-Octubre” Indique aquí si se actualiza la información continuamente, si se piensa actualizar en el futuro, o si el trabajo ya es terminado y no será actualizado
15	Forma de actualización /	“Otra Metodología: Trabajo de Gabinete” Si la información ha sido elaborada o actualizada utilizando como fuente imágenes de satélite, algún trabajo de campo o otra metodología, favor consignar esta información.
16	Calidad:	“Buena” En esta parte se consigna los datos de calidad de la



		información, al respecto se debe de ser lo más imparcial posible, e identificar claramente las conocidos fuentes de errores (mapas fuente de baja calidad, o mapas antiguos, etc.). Puede marcar "Buena" o una / varias de las otras cajillas.
17	Acceso:	"Intercambio según política de la institución"

### 5.2.16 Modelación Hidráulica

La modelación Hidráulica también puede realizarse con SIG. Toda la información resultante de la modelación hidrológica puede plasmarse en un plano o mejor aun en el Google Earth, para tener una perspectiva virtual de la obra.

Por ejemplo el río Serran tiene un área de 800km<sup>2</sup>, y su altitud varia desde la 3500msnm a los 200msnm en los que se cruza con la via del ejemplo de aplicación. Según la curva hipsométrica de esta cuenca, el 43% del área esta influenciada la estación Canchaque (Ver capítulo II – Ejemplo de Análisis Espacial).

Su ancho es de 1000m, debido muy cerca esta la confluencia del rio Huarmaca y una quebrada Garabo.

Según el modelamiento hidrológico realizado, el caudal de diseño es de 637.20 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 100 años.

Actualmente en la zona existe un Badén, que se ve interrumpido durante el fenómeno del niño.



**Figura N° 74.** Imagen del cruce de la vía con el Río Serran. Fuente Google Earth.

Del análisis de la imagen del Google Earth (ver Figura N° 74) se puede apreciar que la quebrada Serran nace en la intersección de la quebrada Garabo y el río Huarmaca. La vía cruza esta quebrada antes de la entrega de este al río Piura, es decir esta en el delta de los cauces, lo geomorfologicamente ocasiona su expansión.

Luego se procede a realizar el modelamiento hidráulico mediante HEC-RAS (ver Figura N° 75). Para este modelo es necesario tener una topografía de detalle, la calidad de las fotografías SIG no son suficientes para realizar el modelamiento hidráulico.

RioSerran Plan: Plan 01 03/11/2007

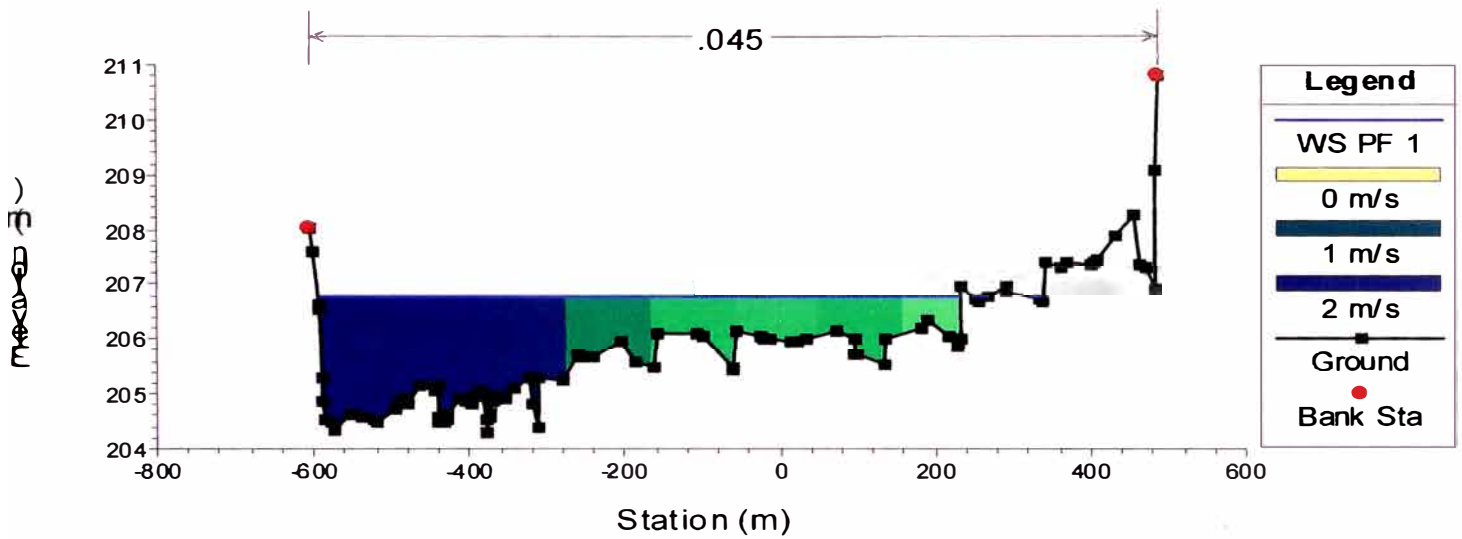


Figura N° 75. Modelamiento mediante HEC-RAS.

El modelamiento Hidráulico nos indica la concentración de flujo en la margen izquierda del río, ratificado por lo que apreciamos en la imagen del Google Earth.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El tema de los sistemas de información geografía es muy amplio, y cada vez abarca a mayores usuarios. De lo revisado en esta tesis se puede llegar a las siguientes conclusiones.

- Los Sistemas de Información Geográfica forman parte de nuestra vida cotidiana, el Mapa del Futuro es una Imagen Inteligente en un dispositivo móvil o el comúnmente llamado celular.
- Los Sistemas SIG y CAD se están integrando, alentados por el desarrollo de nuevas tecnologías (hardware) y beneficios de las comunidades de usuarios.
- El Ingeniero de debe incorporar a su formación básica los conocimientos de los Sistemas de Información Geográfica, sin limitarse a ser un usuario.

- El Estado no ha sido ajeno a la tendencia de creación de una Infraestructura Datos Espaciales del Perú (IDEP), por lo que esta realizando esfuerzos para lograr las normas de estandarización para la producción de esta información.
- En el estado se a definido una línea de estandarización y difusión de los sistemas de información geográfica. Esta es la guía para realizar cualquier esfuerzo de desarrollo del los SIG en cualquier ingeniería.
- La ingeniería hidráulica es una ciencia compleja de diseño de estructuras con múltiples variables que a menudo son complejas. Los flujos son tridimensionales y dependientes del tiempo. El SIG nos provee las herramientas necesarias para el manejo de tan abundante información.
- Los SIG están diseñados para el trabajo de planeamiento, pero podemos utilizarlos como soporte de modelamiento, utilizando los grandes recursos computacionales y la facilidad de estos sistemas para manejar abundante información.
- Para el elaborar las propuestas del desarrollo de la Ingeniería Hidráulica utilizando SIG se considero las siguientes directivas:
  - Aceptar las normas actuales en lo referente a gestión, producción y difusión de la información geográfica.
  - Plantear a nivel Institucional, como Universidad, las normas necesarias para el desarrollo de SIG en Hidráulica.
  - Aceptar como normas, las tendencias adoptadas por las instituciones en cuanto a la producción de SIG.
  - Identificar y Desarrollar el SIG en áreas que no estén desarrolladas por otras instituciones.



- Sugerir como UNIVERSIDAD la creación e incorporación de un sistema único de datos para el almacenamiento de información hidrológica al IDEP.
- Desde la Universidad se debe definir un modelo de datos estándar para la enseñanza y el manejo de los recursos hídricos.
- El Definir una base de datos estándar nos lleva a definir un software a utilizar. En el caso de esta tesis se recomienda utilizar el modelo de datos Archydro, por su libre disponibilidad, documentación completa, prestaciones comprobadas. Para implementar este modelo, se debe utilizar dos software, uno comercial y el otro libre. El primero es el Arcgis, distribuido por ESRI y el segundo es el Archydro tools, desarrollado y distribuido por la Universidad de Texas de Austin, Centro para la Investigación en Recursos de Agua (CRWR)
- La utilización de Arcgis como software base para el desarrollo de la información espacial es una tendencia comprobada. El cambio de este software por otro nos llevara a un retraso en los objetivos de desarrollo.
- La utilización de software libre, debe realizarse en áreas donde no se haya implementado modelos de datos.
- Implantar los fundamentos y conocimientos básicos de SIG desde los cursos bases de ingeniería hidráulica, es decir desde hidrología general.

- Los conocimientos básicos del SIG que un estudiante de ingeniería en el área de hidráulica debe saber son:
  - Posicionamiento de un Objeto.
  - Relación entre Objetos.
  - Área de influencia o radio de acción de objetos.
  - Distribución de parámetros en el espacio.
  - Parámetros geográficos de los objetos.
  - Zonificación.
  - Análisis Espacial.
  - Disponibilidad de información.
  - Presentación de resultados.
  - Modelación hidrológica.
- En la FIC se debe impartir este conocimiento básico con el fin de que las futuras generaciones lo consideren inherente al manejo de los recursos hídricos.
- Con el desarrollo de la enseñanza de los conocimientos básicos en SIG en los cursos de hidráulica en la FIC se deberá irradiar la experiencia hacia otras Universidades, para así lograr un desarrollo homogéneo a nivel nacional.
- El fomentar el uso del SIG desde los cursos de Hidrología de la Universidad, bajo un patrón de datos estándar, nos permitirá implementar una gran base de datos nacional.
- En esta tesis se ha desarrollado el modelo Archydro como base de almacenamiento de información hidrológica.

- Se ha desarrollado, con el modelo de datos Archydro, una metodología para la determinación de caudales máximos en cuencas. Esta área no es manejada por ninguna institución, por lo que la Universidad puede incentivar su desarrollo.
- La metodología anterior descrita, se puede utilizar para el dimensionamiento de las obras de drenaje de las carreteras que cruzan las cuencas.
- Se plantea la uniformización del sistema de referencia en todos los estudios hidrológicos e hidráulicos, siendo la tendencia a el sistema UTM con datum WGS84.
- Se propone terminar los estudios de ingeniería con un resumen o metadatos para crear un mapa temático de los estudios realizados en el Perú, de acuerdo a su área de influencia.
- Con los dos ítems anteriores se lograra la Normalización para los estudios contratados por el estado y además se podrá retro-alimentar y actualizar la IDEP.
- Como continuación de esta tesis se puede desarrollar la delineación y determinación de cuencas a nivel nacional e incorporación al IDEP, basándose en la metodología oficial de delimitación de cuencas adoptada por el INRENA (método Pfafstetter).
- El difundir el SIG en ingeniería hidráulica, nos proporción futuros ingenieros capaces de manejar y aprovechar al máximo esta herramienta con el objetivo de desarrollo del país.

- La enseñanza de SIG en la UNI-FIC nos proporcionara ingenieros desarrolladores SIG con conocimiento de nuestra problemática, los cuales podrán crear aplicaciones validas en nuestro país o región.
- Existe actualmente un modelo digital de terreno del mundo, el cual es de libre acceso. Debemos aprovechar la abundancia de información para crear nuestra base de datos única.
- La comunidad SIG es tan amplia, que por lo general, si uno tiene una necesidad, alguien en el mundo ya desarrollo la aplicación lo comparte con el resto del mundo.
- En el Perú, la falta de registros de precipitación nos obliga a utilizar los modelos de precipitación-escorrentía, los cuales no podrán ser calibrados si no se realizan las primeras modelaciones. Debemos difundir estas herramientas SIG para que sea aplicado en diferentes regiones del país, por parte de personal calificado, como los encontramos en las Universidades. El estándar de codificación y orden de trabajo debe conservarse para poder utilizar confiablemente los datos generados.

## BIBLIOGRAFIA

- Adam J. Czekanski, B. S. and Daene C. McKinney, PhD., PE  
Introduction to Arc-Hydro  
<http://www.cwrw.utexas.edu/reports/pdf/2006/rtp06-03.pdf>  
May 2006
- ArchHydro Tools, developed at The University of Texas at Austin, Center for Research in Water Resources (CRWR), and maintained and freely distributed by ESRI:  
ftp site: [ftp.esri.com](ftp://ftp.esri.com)  
User: RiverHydraulics  
Password: river.1114
- Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú – CC-IDEP  
Políticas de Difusión  
Setiembre 2003
- Comité Coordinador de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú – CC-IDEP  
PLAN DE IMPLEMENTACION DE LA IDEP  
Setiembre 2003
- David R. Maidment, Arc Hydro: SIG for Water Resources, published by ESRI Press, 2002.
- David Tarboton, SIG in Water Resources, Utah State University, Setiembre 2003.
- Fernando Carreto Bernal, Coordinador de Investigación y Posgrado, Facultad de Geografía, UAEM.  
Propuesta para el desarrollo integral de la investigación regional en la facultad de geografía de la UEAM  
Jun 2004
- IDEP - Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (RM 126-2003-PCM)  
Proyecto Piloto.  
Octubre 2006
- IDEP - Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (RM 126-2003-PCM)



Reporte sobre la gestión de datos espaciales en instituciones públicas del Perú.  
Setiembre 2005

- IDEP - Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (RM 126-2003-PCM)  
Documento de Difusión.  
Marzo 2004
- Instituto Geografico Nacional  
MAPRO AREA TECNICA IGN.  
Abril 2004
- Kristina Schneider, Francisco Olivera, and David R. Maidment. Introduction to SIG, Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin , September 2003.
- Kristina Schneider, David R. Maidment, and Oscar Robay. Building a Base Map in Water Resources, University of Texas at Austin, Setiembre 2003.
- MAguirre, HTorres, RRuiz , INRENA  
MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL PERÚ.  
Año : 2007.
- M. Zeiler. Modeling Our World, ESRI Press, 1999.
- Secretaria dos recursos hídricos do Ceará – srh/ce  
termos de referênciã para contrataçaõ de empresa especializada para o desenvolvimento do sistema integrado de gestão técnica dos recursos hídricos – siget – do estado do Ceará  
Agosto 2006
- The University of Texas at Austin, Center for Research in Water Resources (CRWR), and maintained and freely distributed by ESRI: Arc Hydro Tools v1.1 – Tutorial  
May 2005
- Manuales Arc View SIG 8.3, Arc Map, Arc Catalog, Arc Toolbox, publicado por ESRI, 2003.

# **ANEXO A: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MEDIANTE ARCHIDRO**

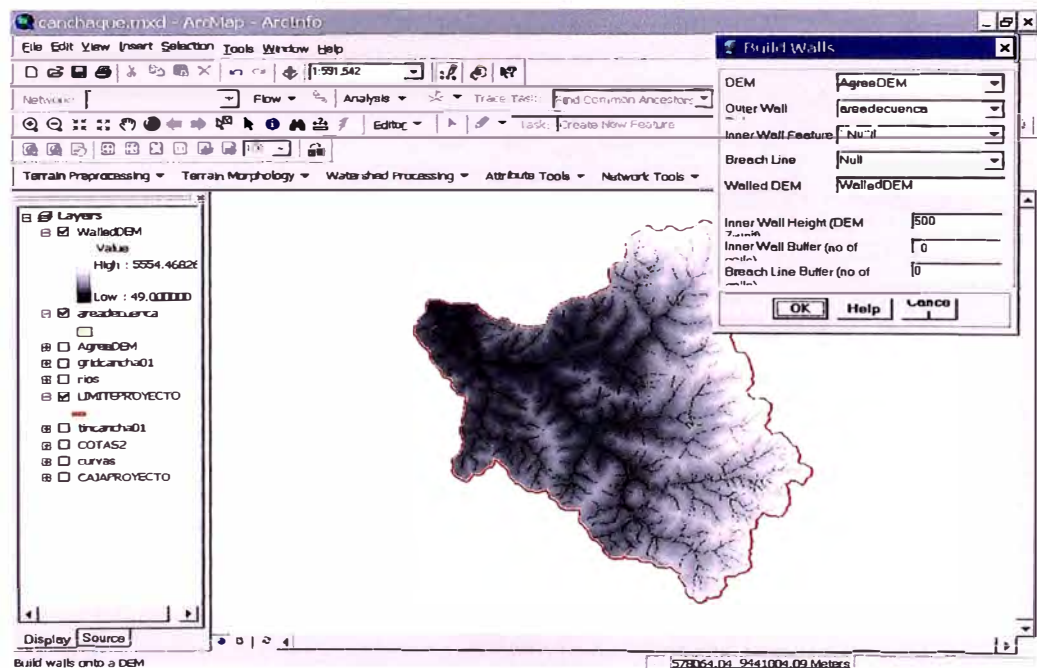
# ANEXO A

## CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE DRENAJE MEDIANTE ARCHYDRO

### 1. Construcción de los muros de la cuenca (Build Walls - Raster)

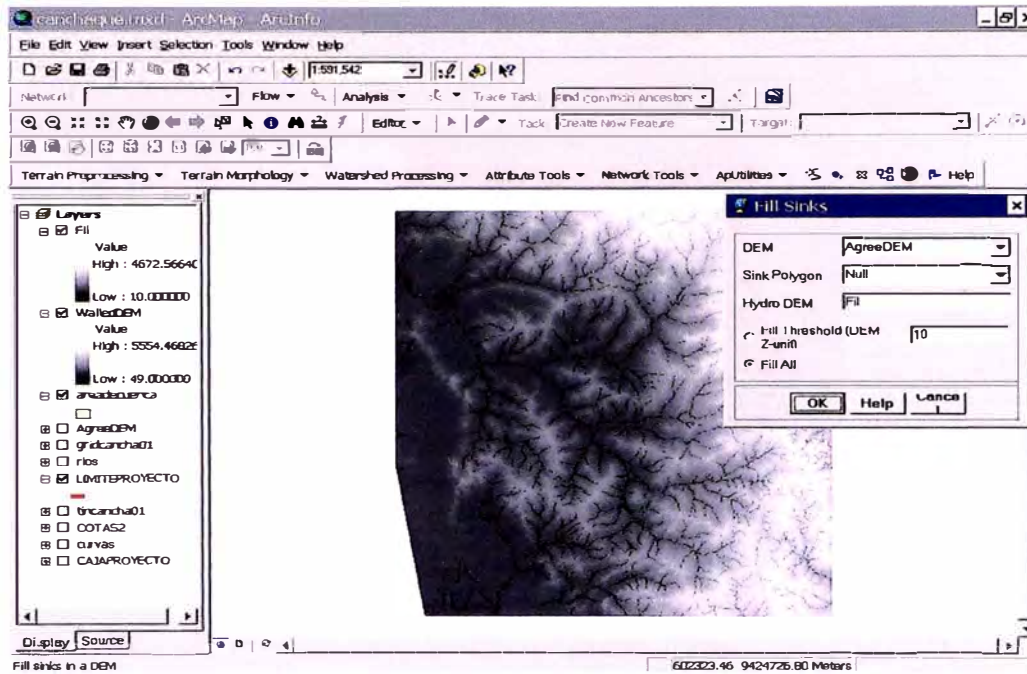
Después de generado el DEM, se realiza un trabajo de delimitación de la zona de estudio, por lo que se utiliza:

Terrain Preprocessing / Build Walls.

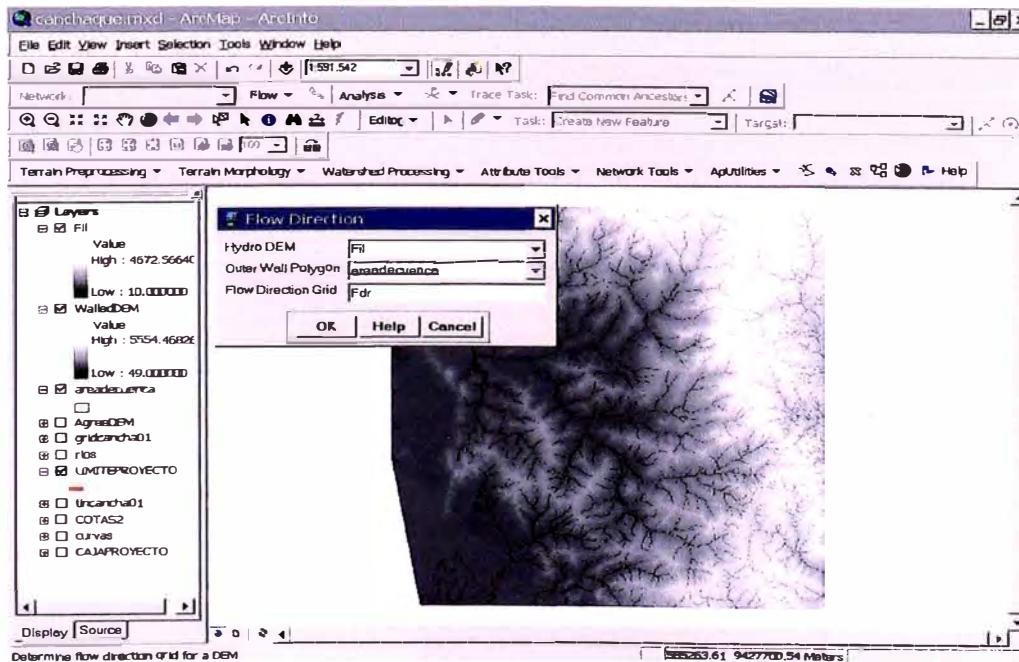


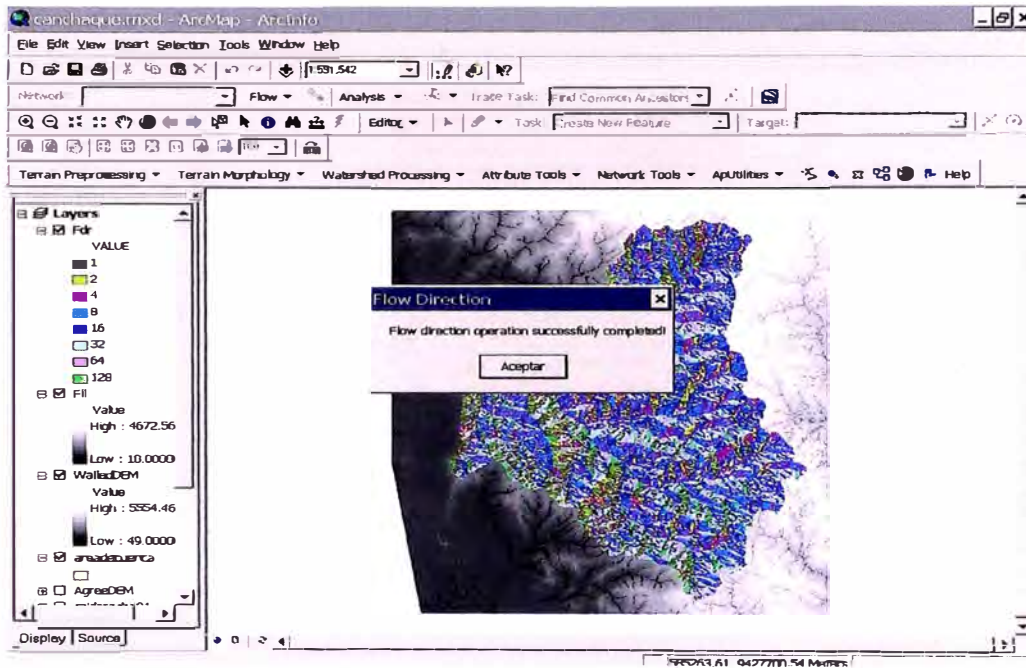
Para esta tarea se solicita el polígono “área de cuenca” y el DEM (AgreeDEM).

## 2. Localización de Puntos de drenaje (Fill Links - Raster)

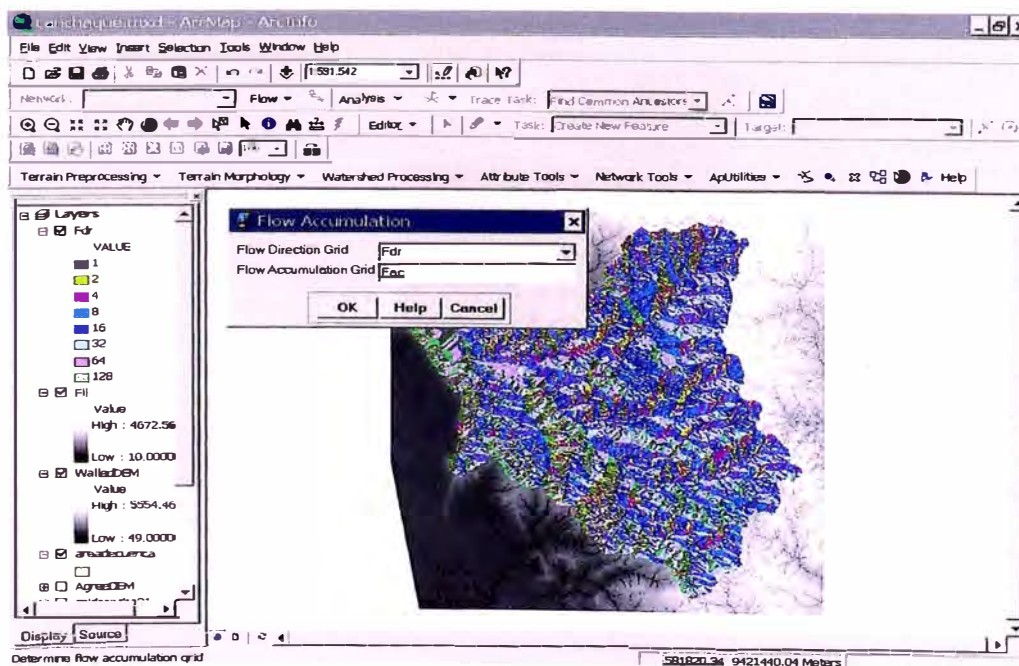


## 3. Determinación de la dirección de Flujo (Flow Direction - Raster)

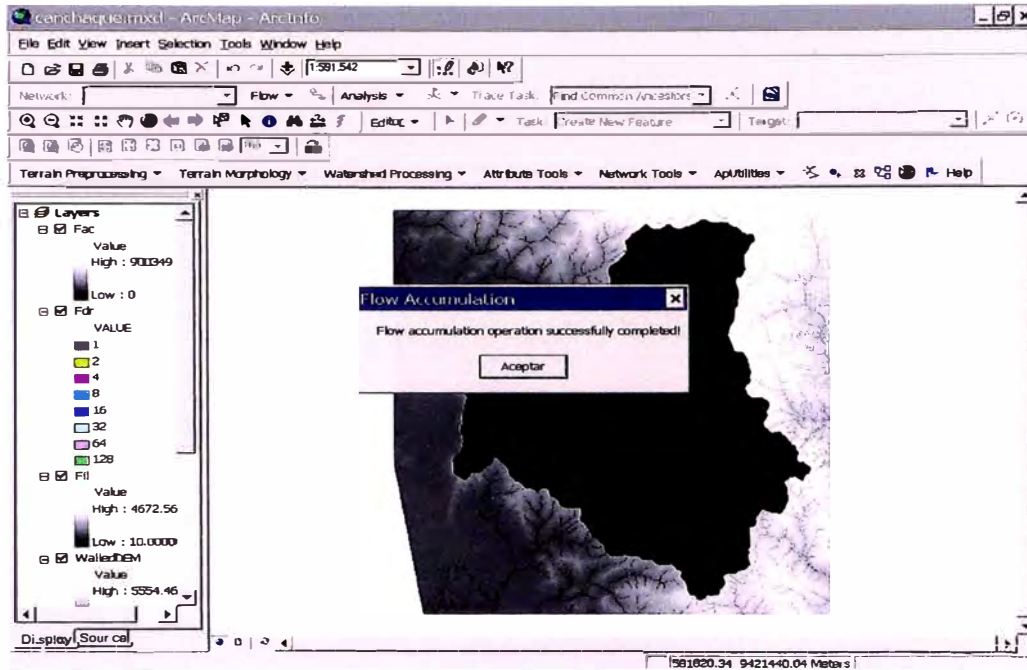




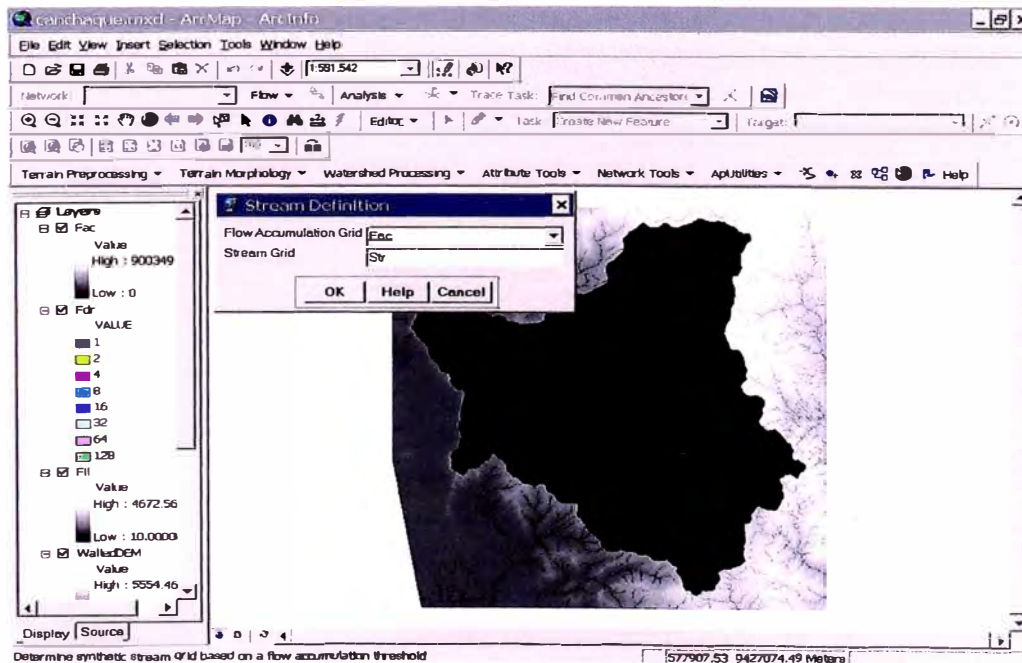
#### 4. Determinación de flujos Acumulados (Flow Accumulation - Raster)

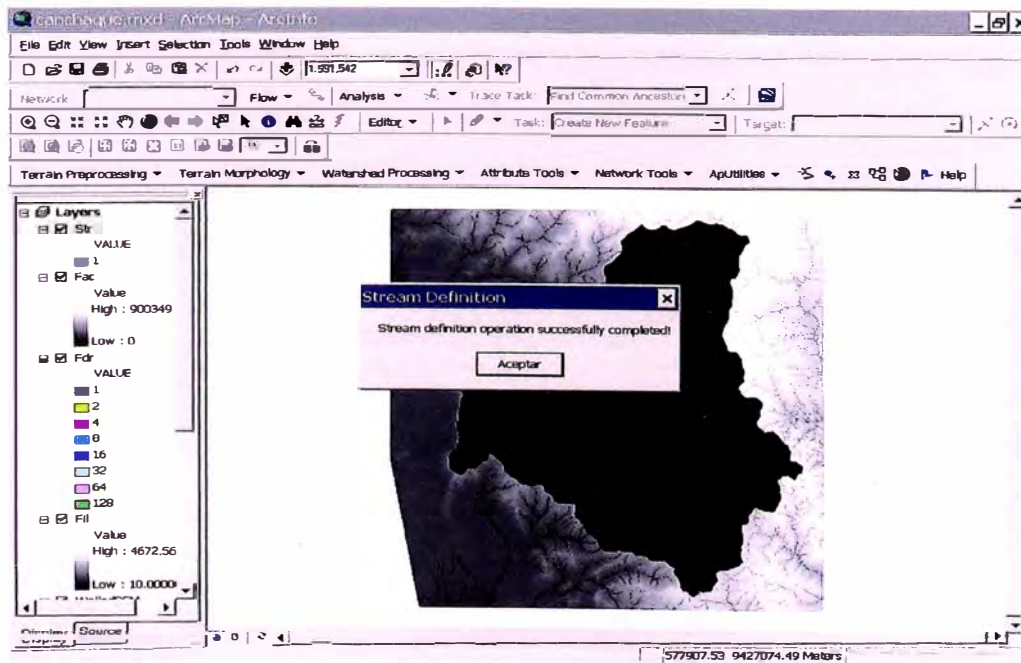
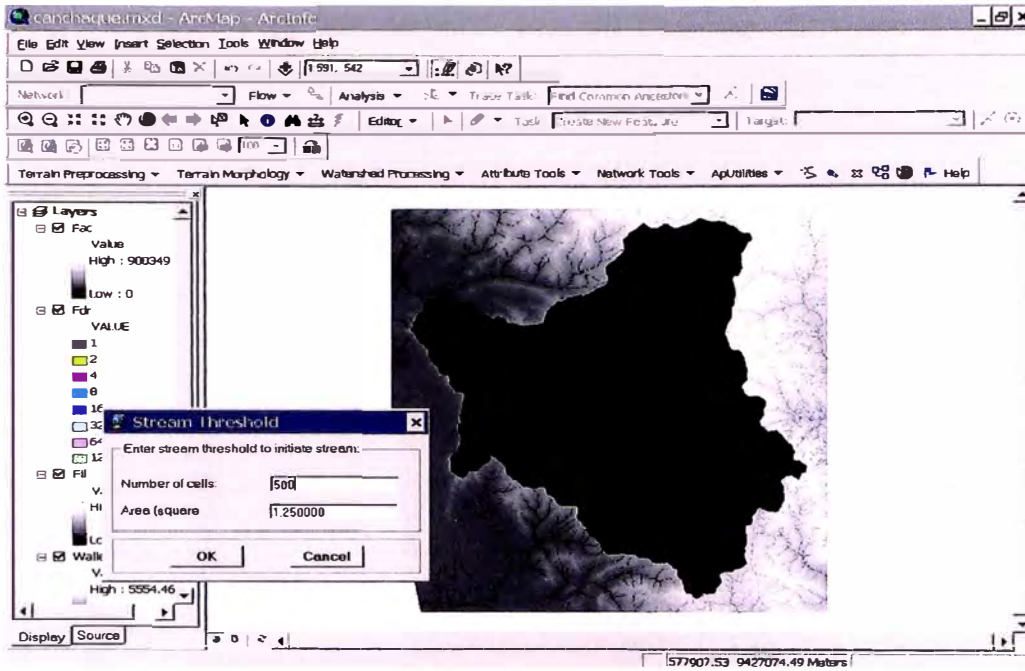




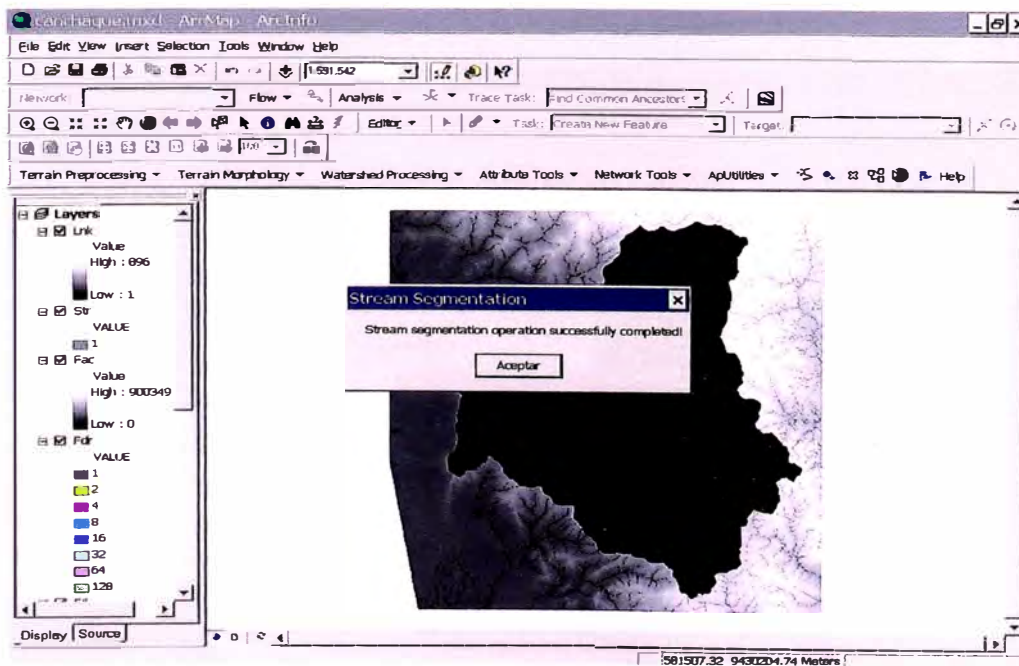
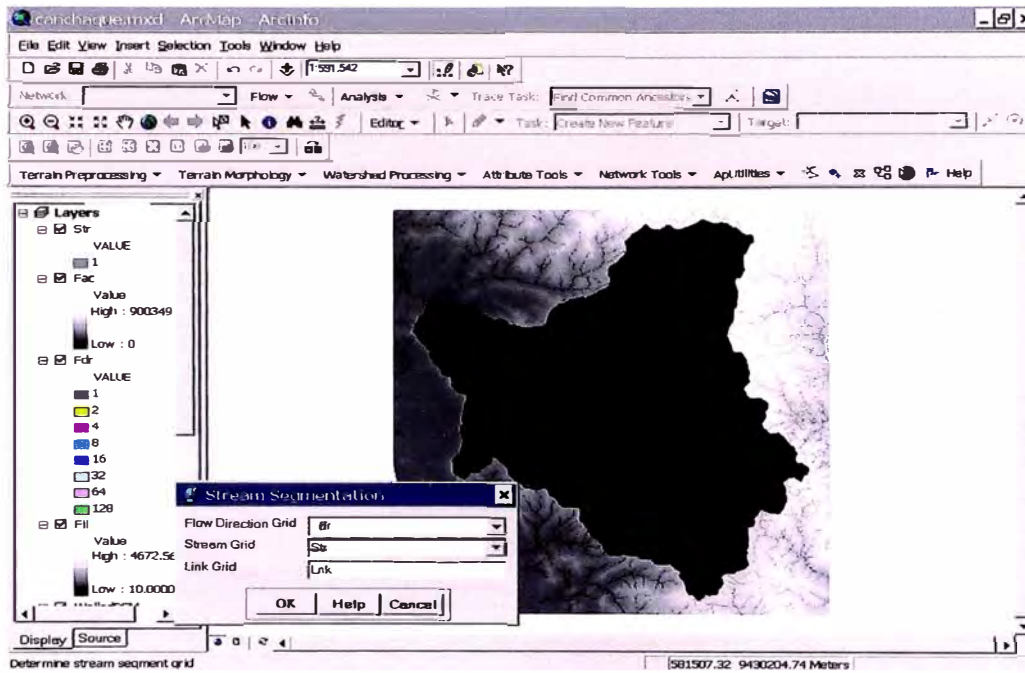


## 5. Determinación de los cauces (Stream Definition - Raster)



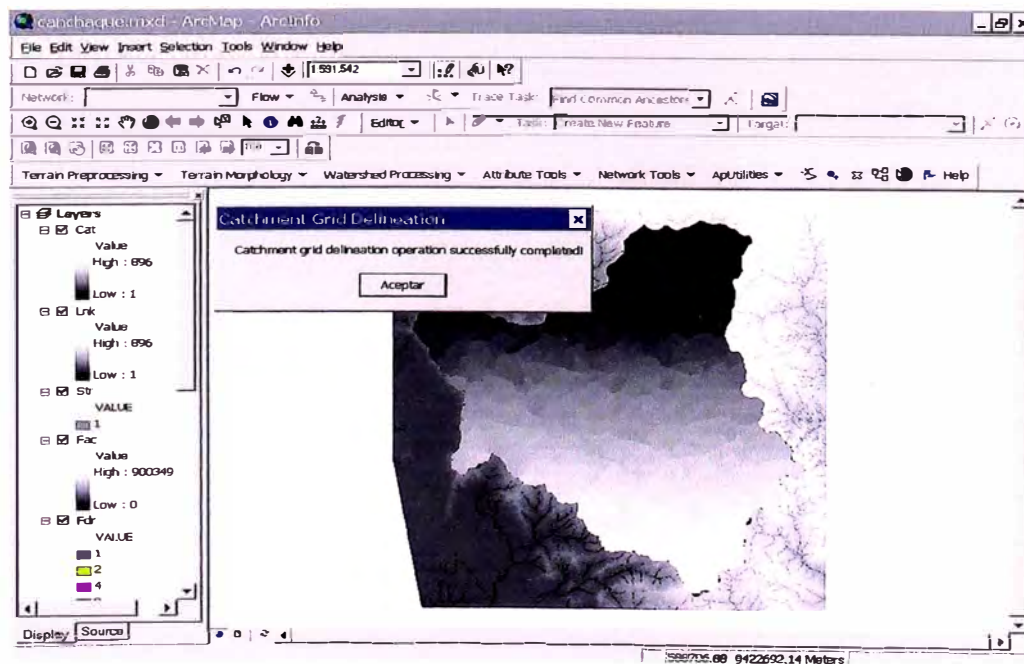
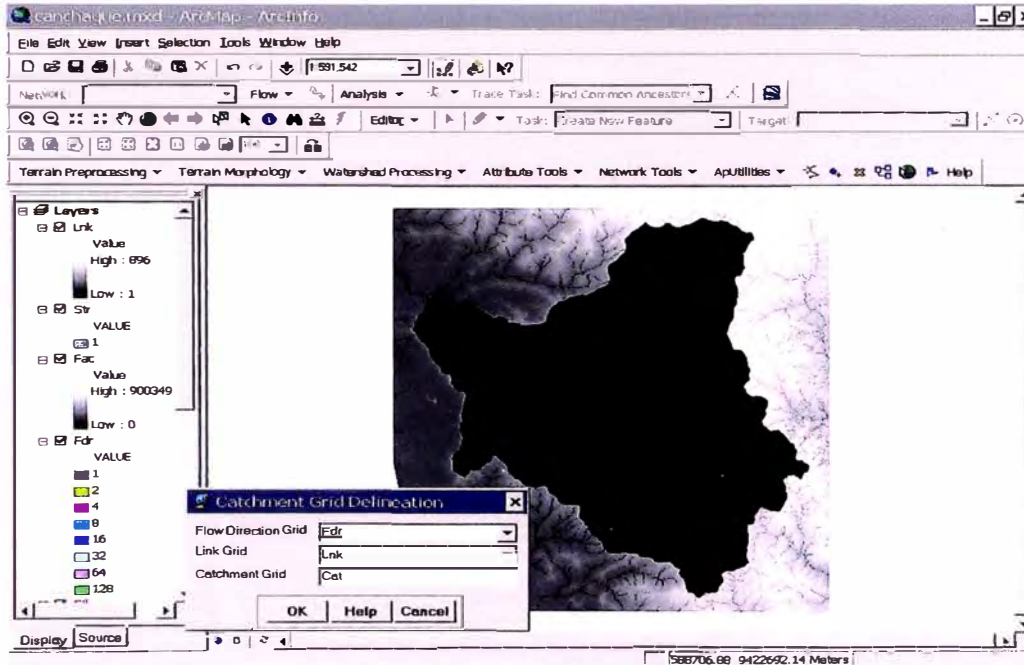


## 6. Determinación de los segmentos de cauces (Stream Segmentation - Raster)

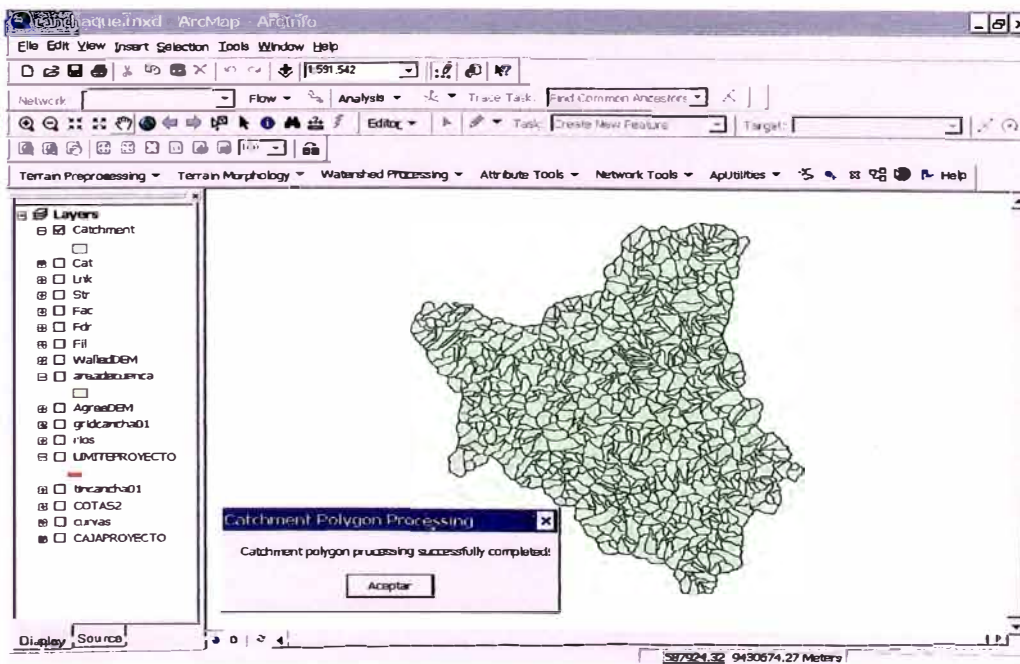
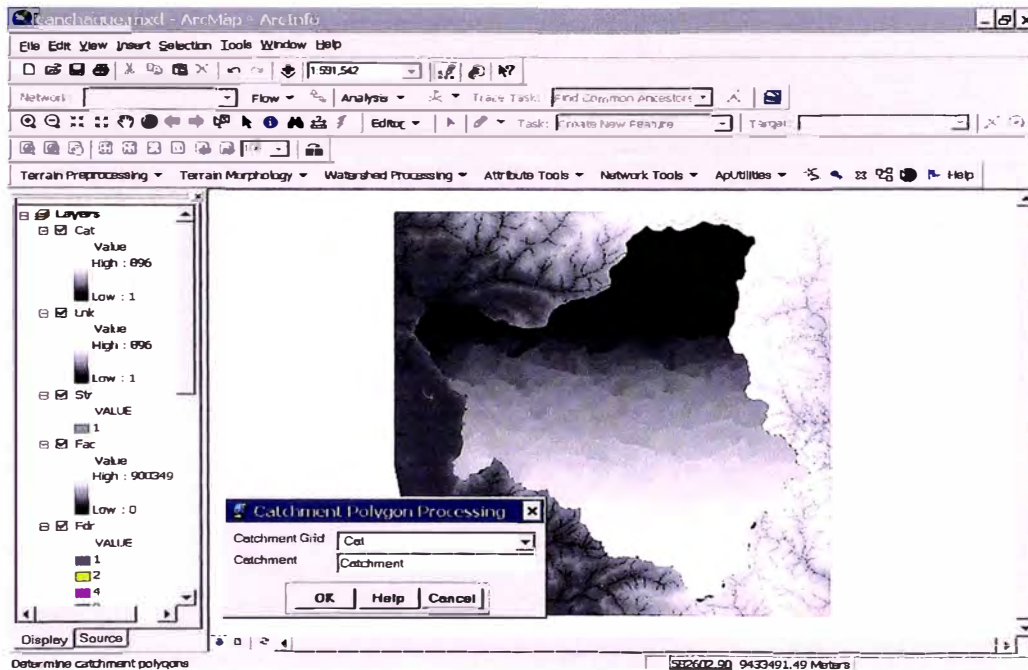




## 7. Determinación de la delineación de cuencas (Catchment grid delineation - Raster)

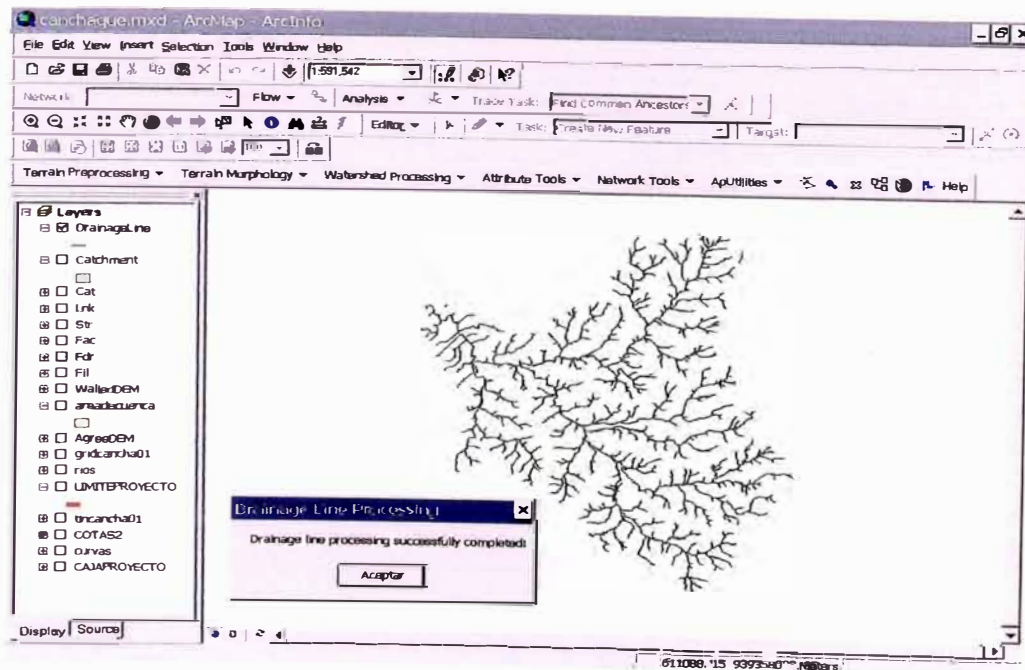
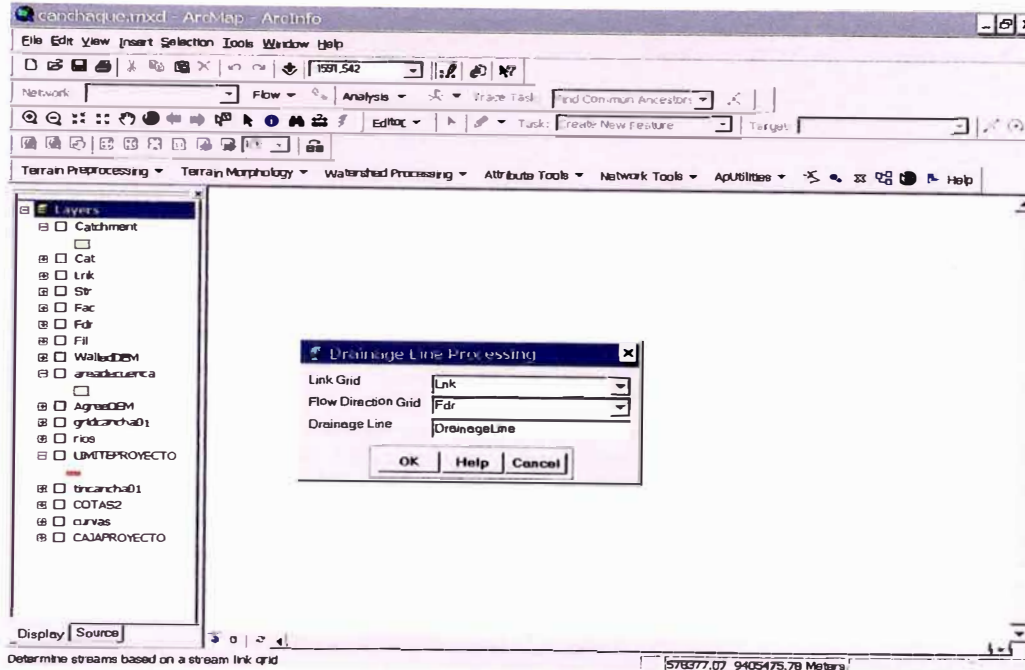


## 8. Determinación de los polígonos de cuenca (Catchment polygon - Vectorial)

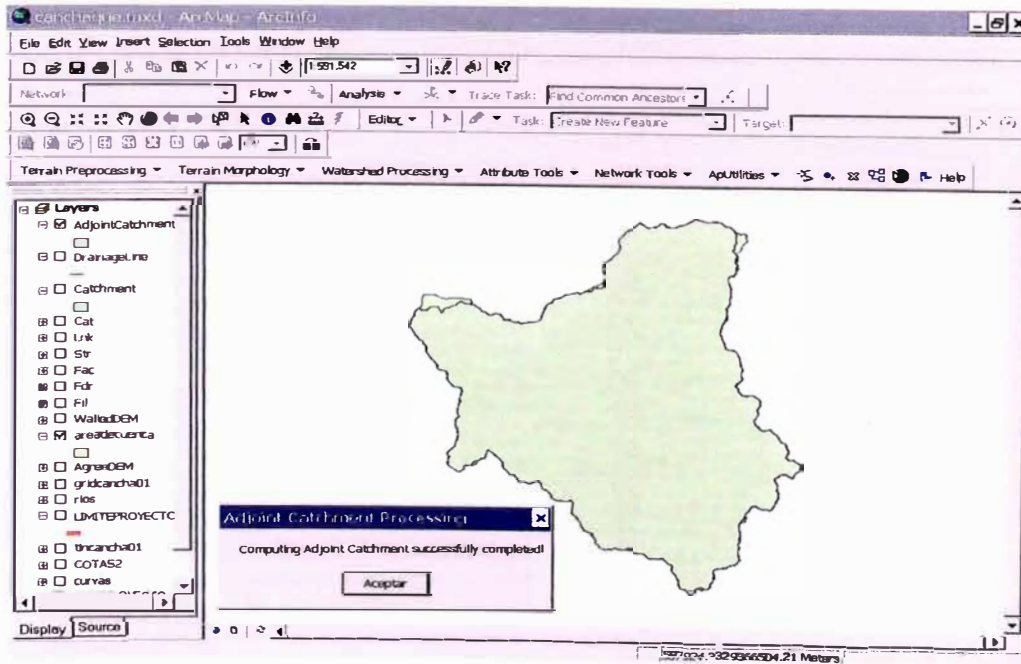
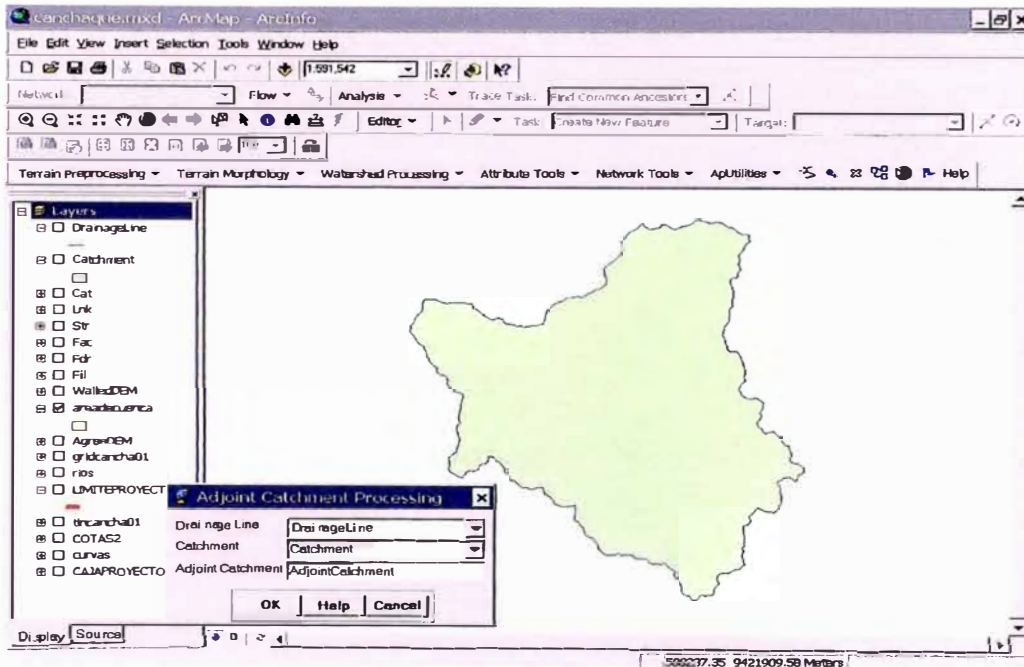




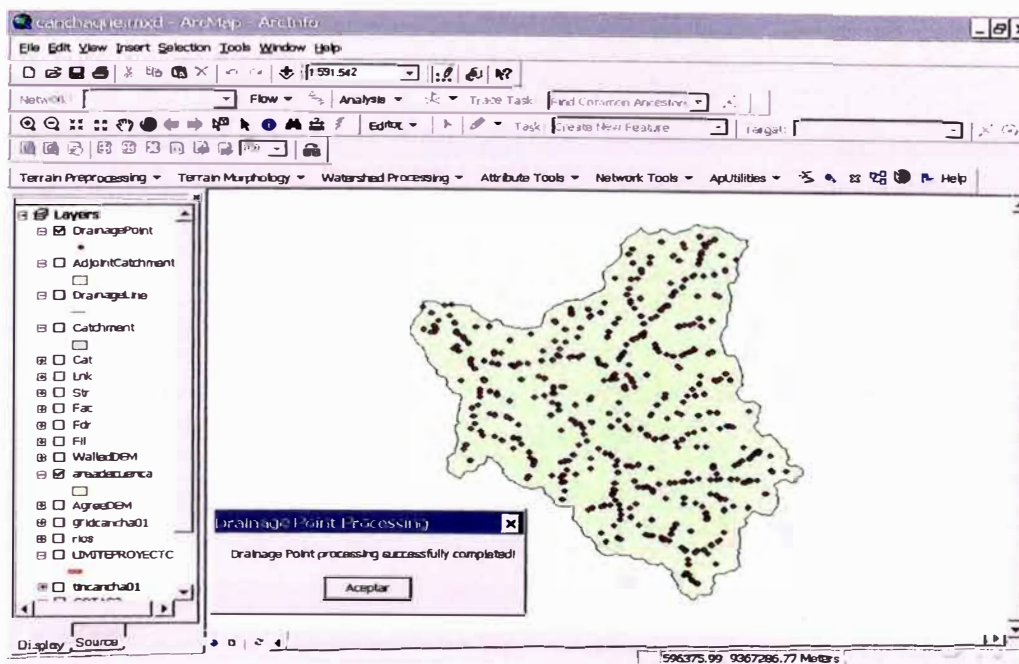
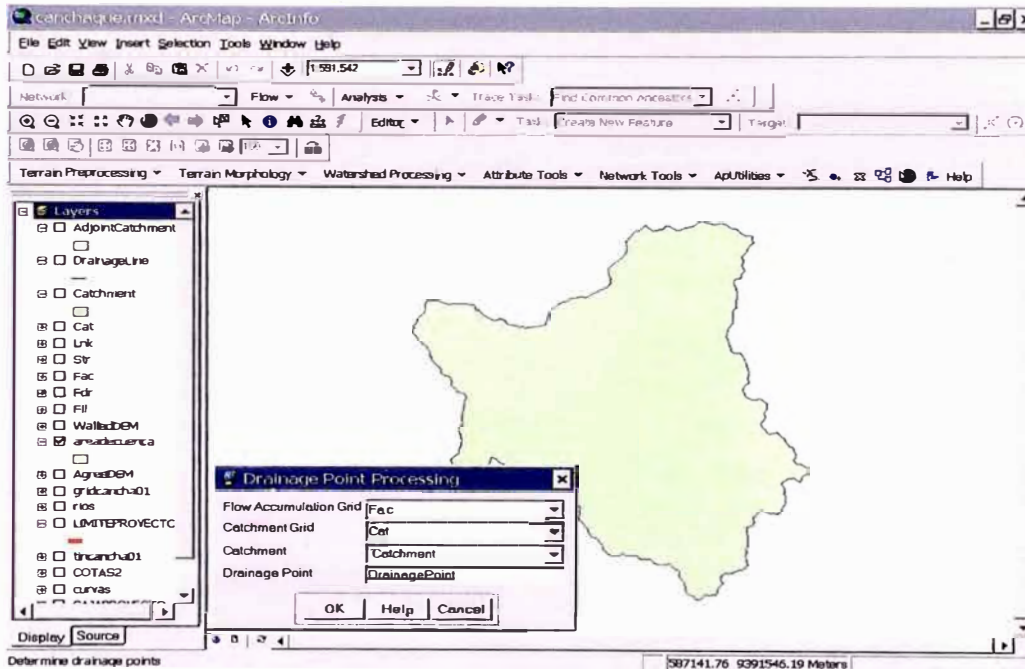
## 9. Construcción de la línea de drenaje (Drainage Line Processing - Vectorial)



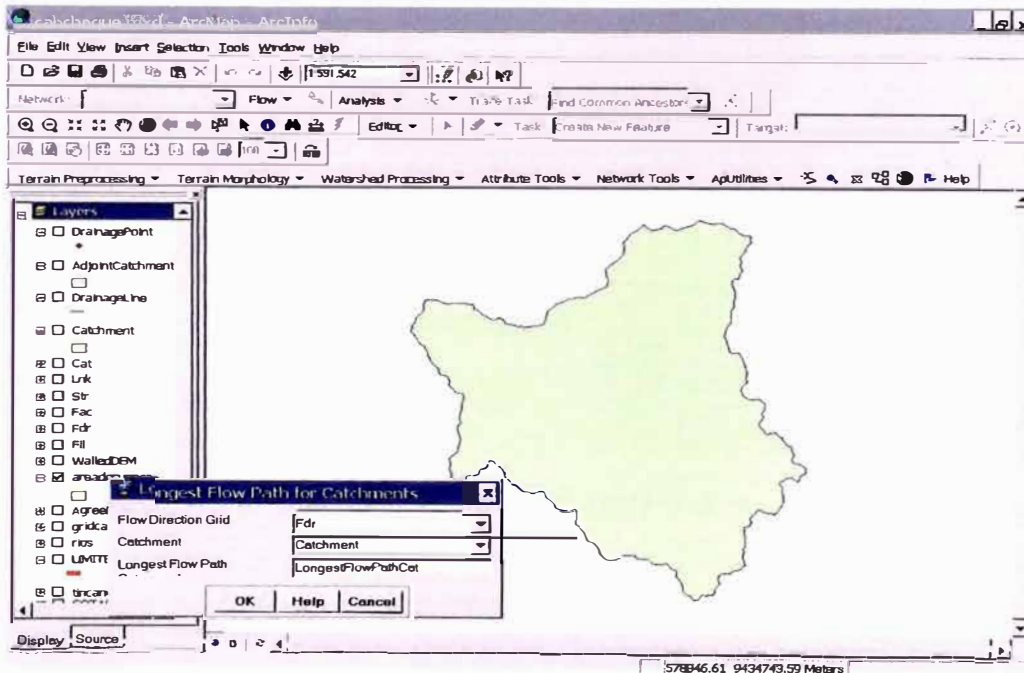
## 10. Construcción de las cuencas acumuladas (Adjoinment Catchment - Vectorial)



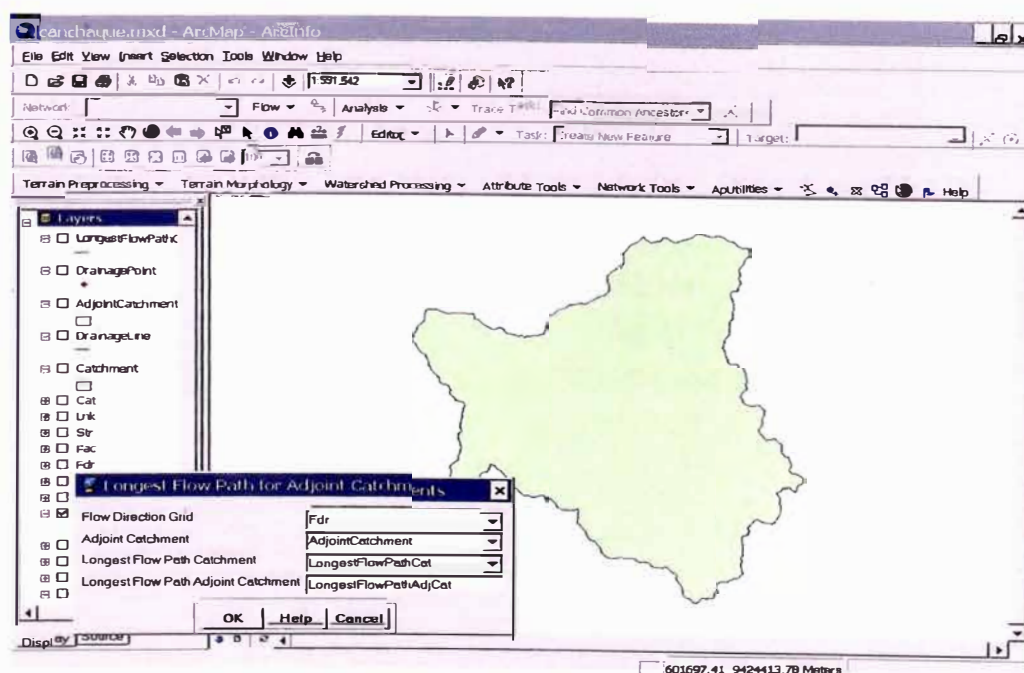
## 11. Determinación de los puntos de drenaje (Drainage Point - Vectorial)



## 12. Determinación de la longitud de recorrido de la partícula mas alejada (Longest Flow Path - Vectorial)

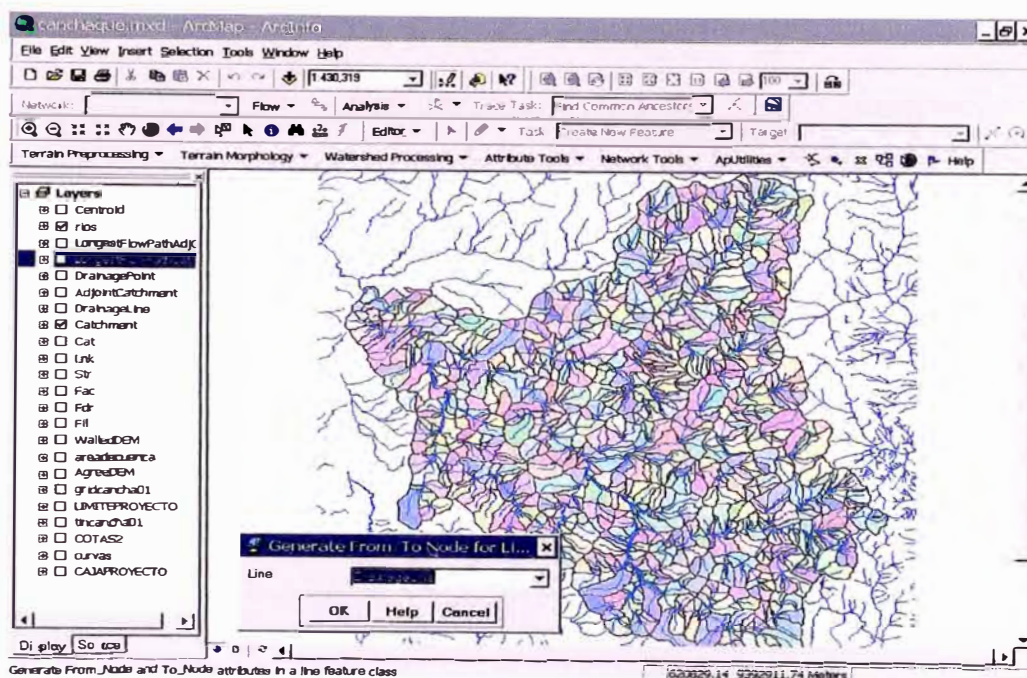


## 13. (Longest Flow Path for Adjoint Catchments - Vectorial)

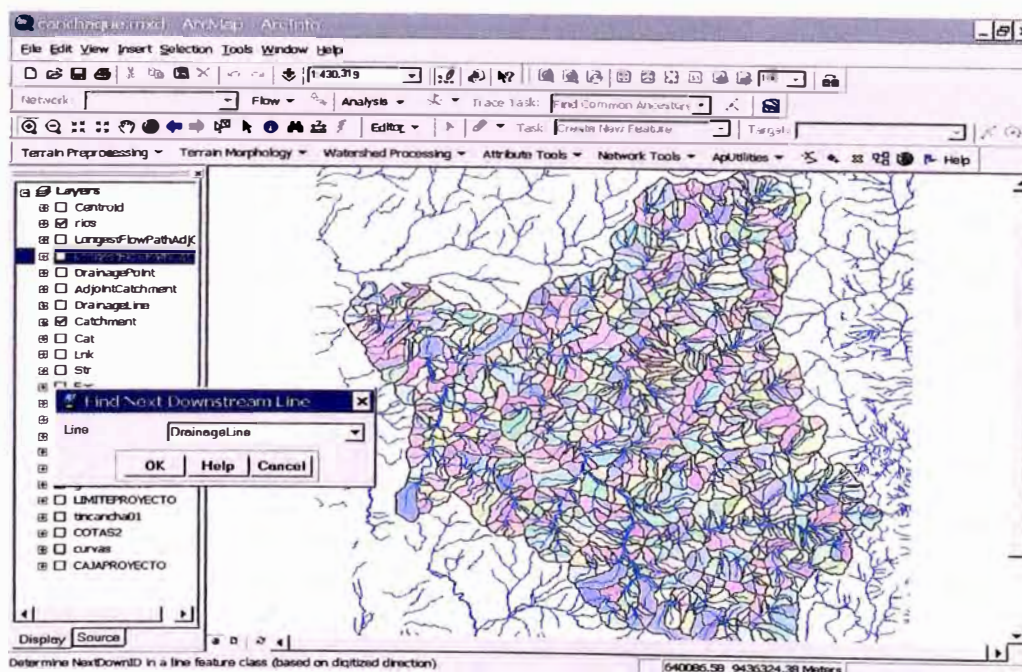




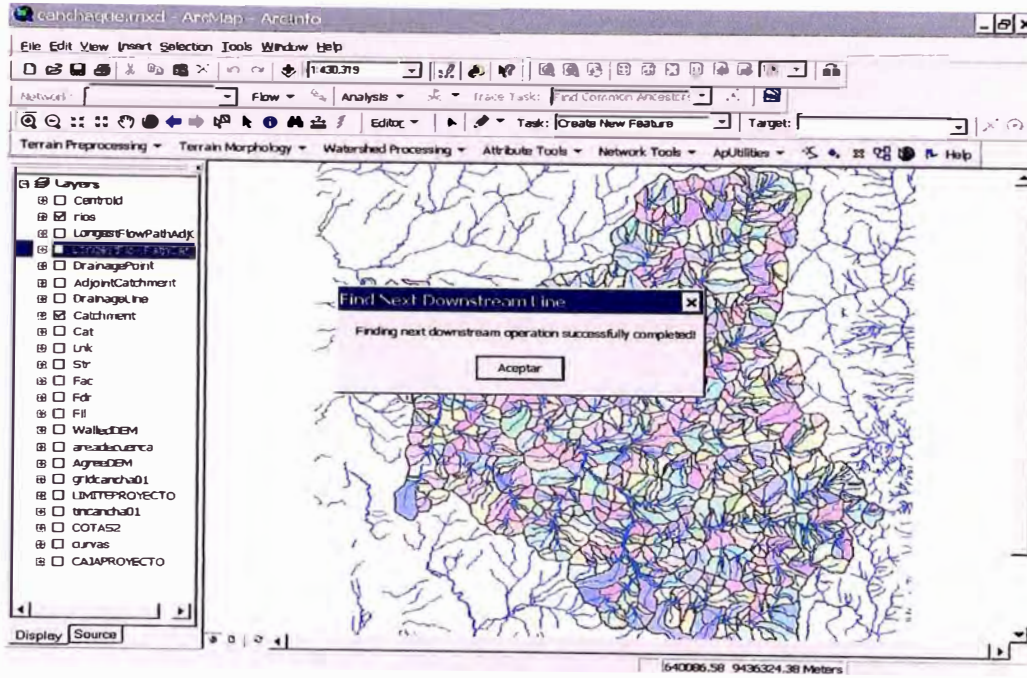
### 14. Generación de Nodos de la red (Generate from to node - Datos)



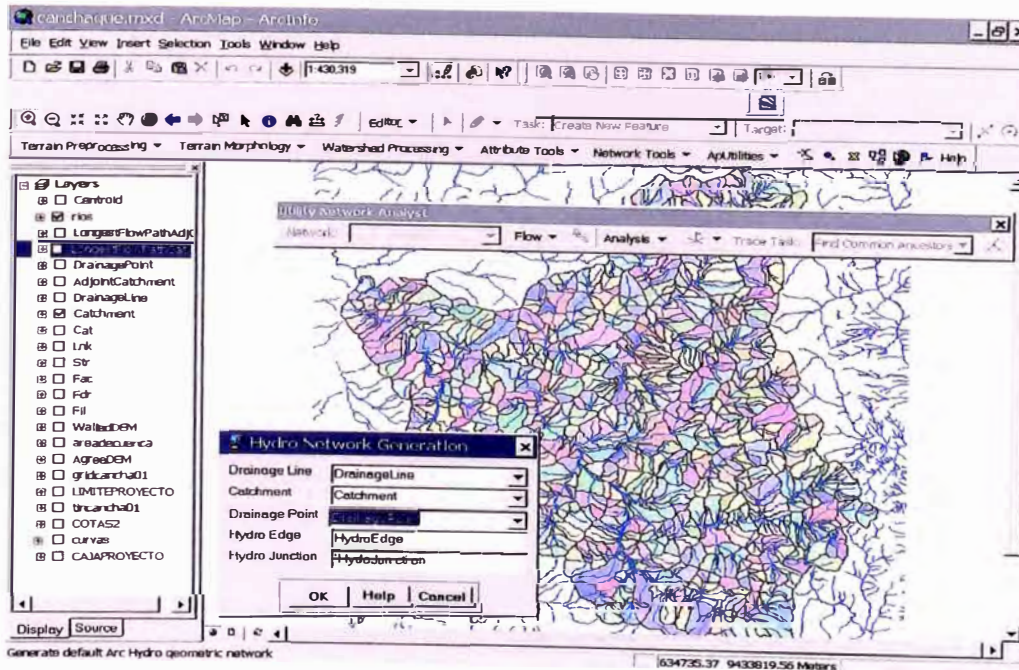
### 15. Búsqueda del enlace aguas abajo (Find next downstream Line - Datos)

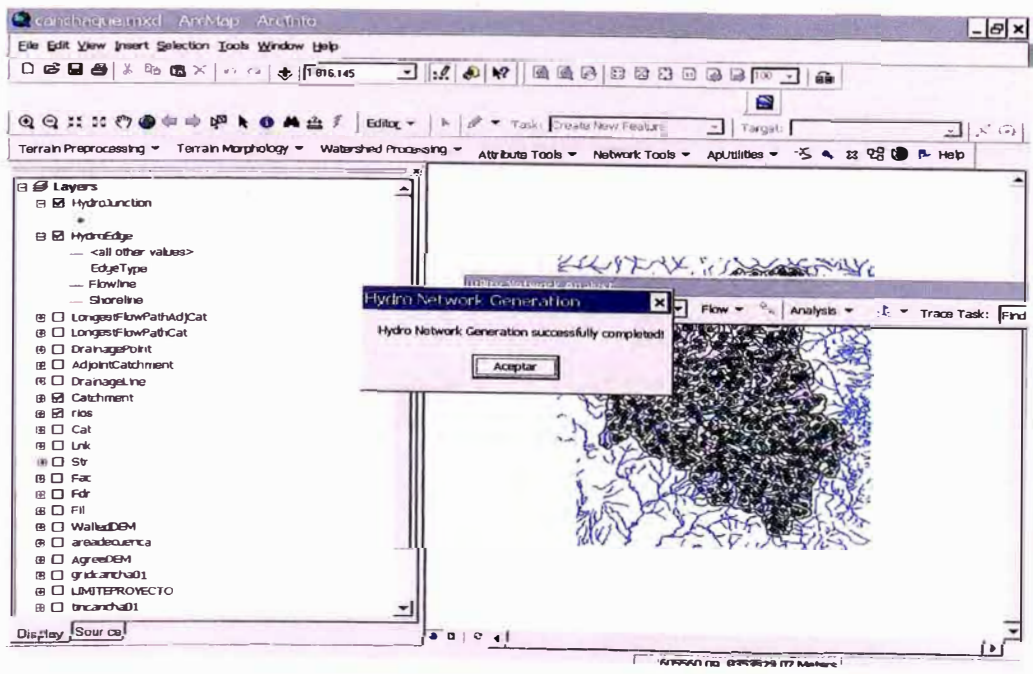
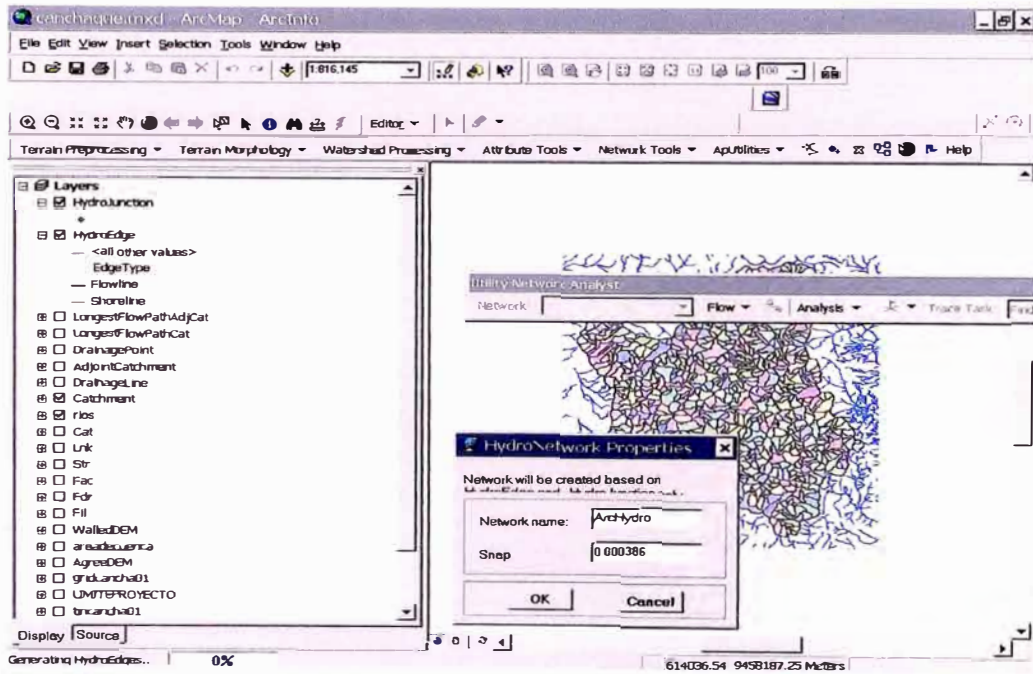






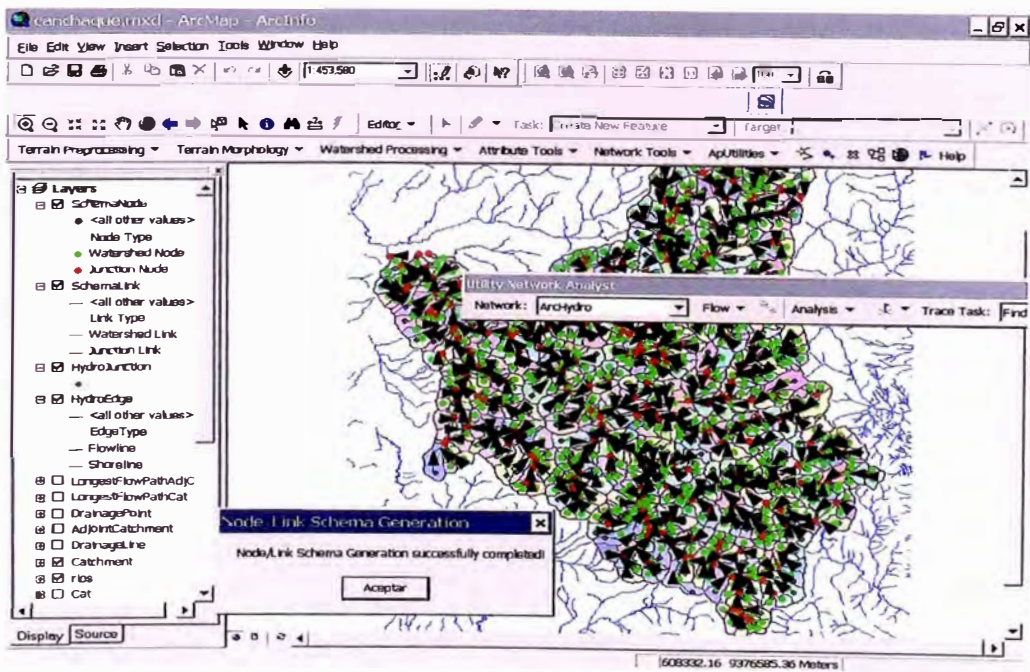
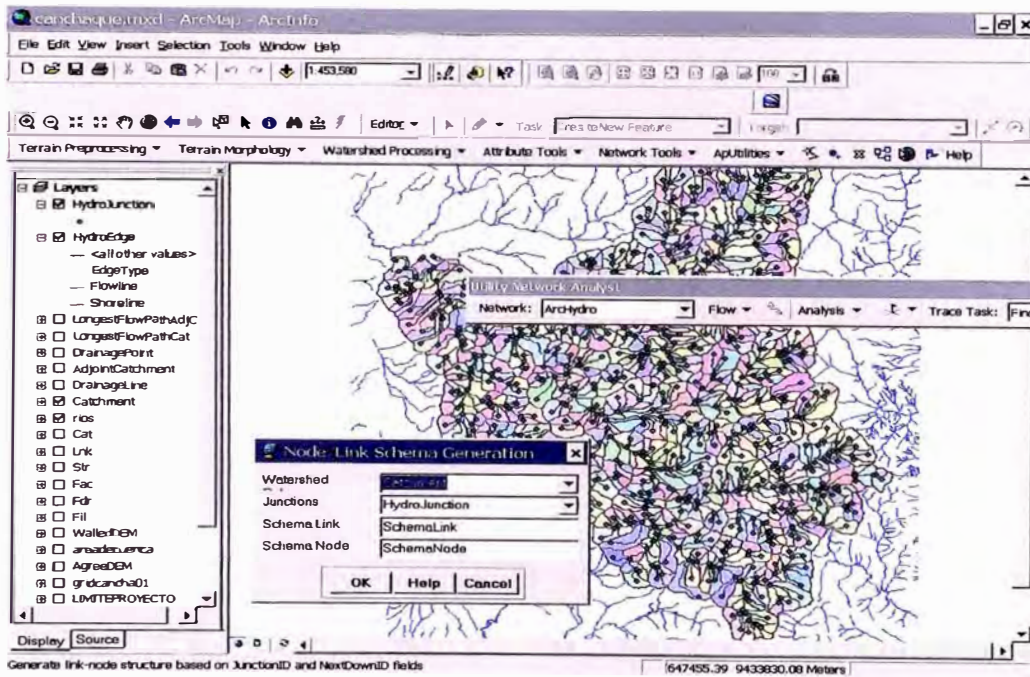
## 16. Generación de la estructura de la Red (Hydro Network Generation Datos)



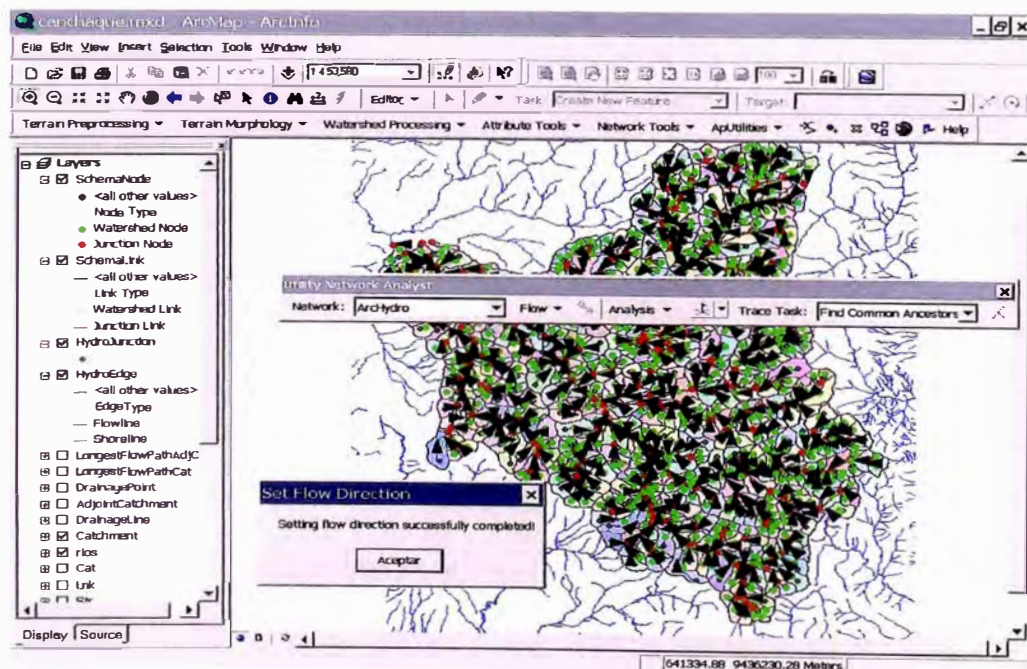
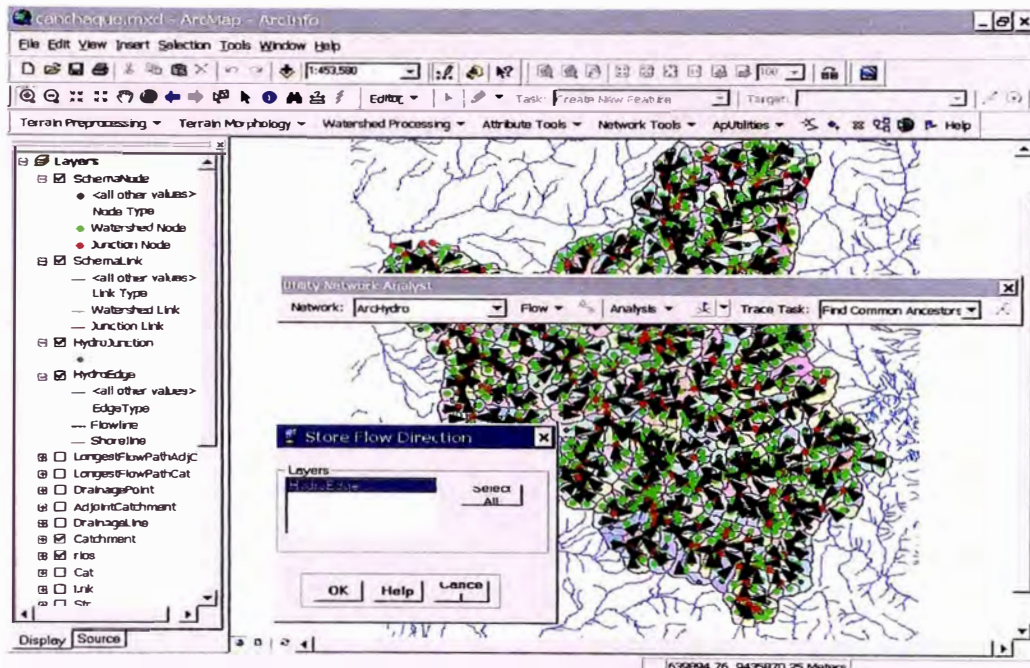




## 17. Generación de enlaces del esquema (Node Link Schema Generation - Datos)

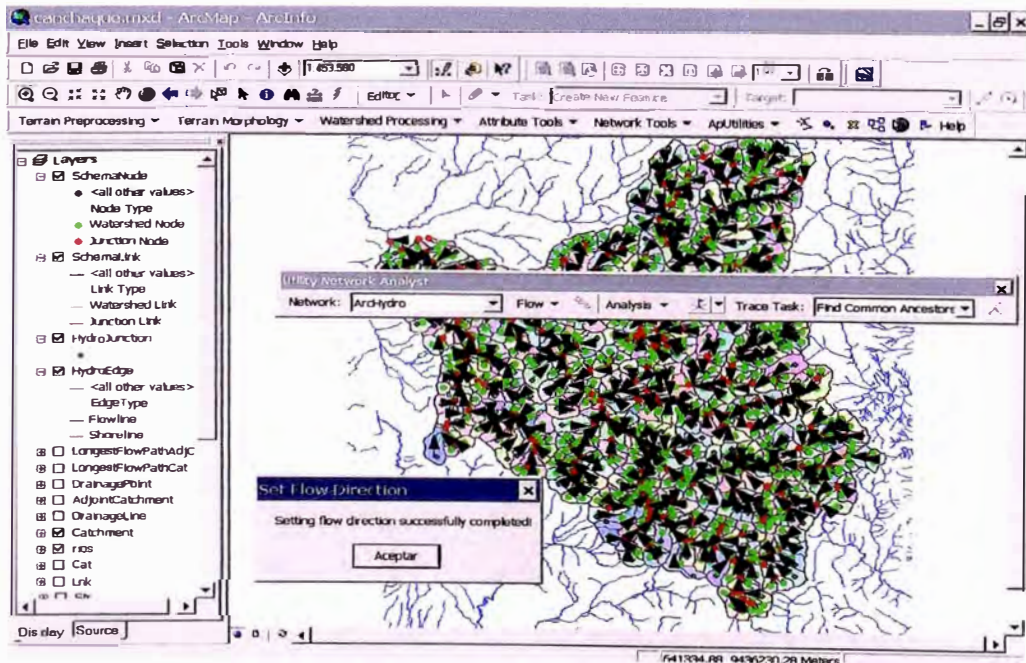
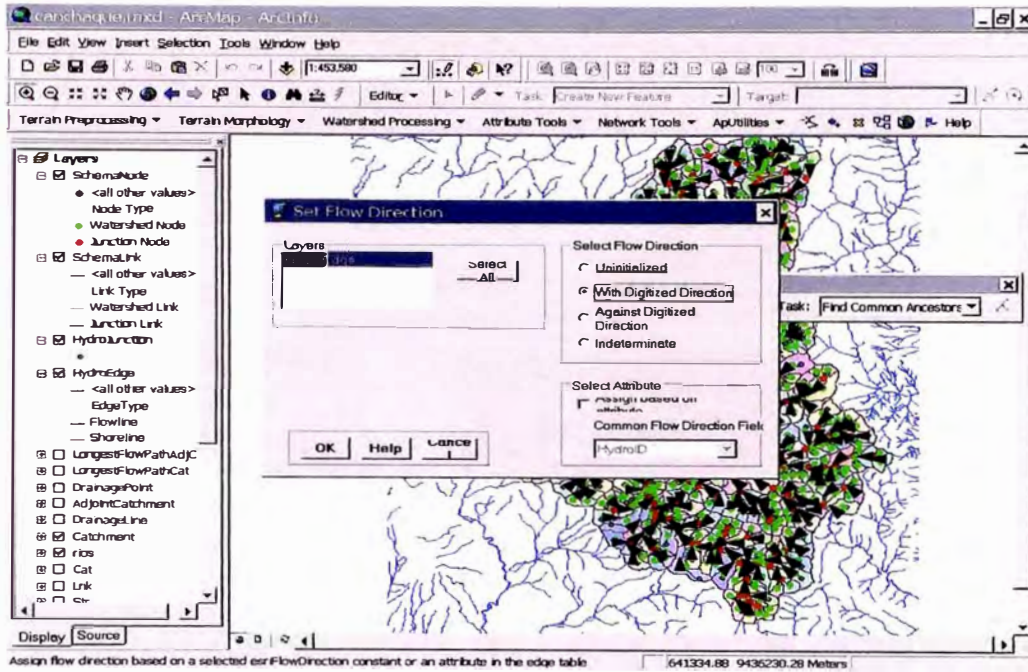


## 18. Guardar la dirección del flujo. (Store Flow direction - Datos)



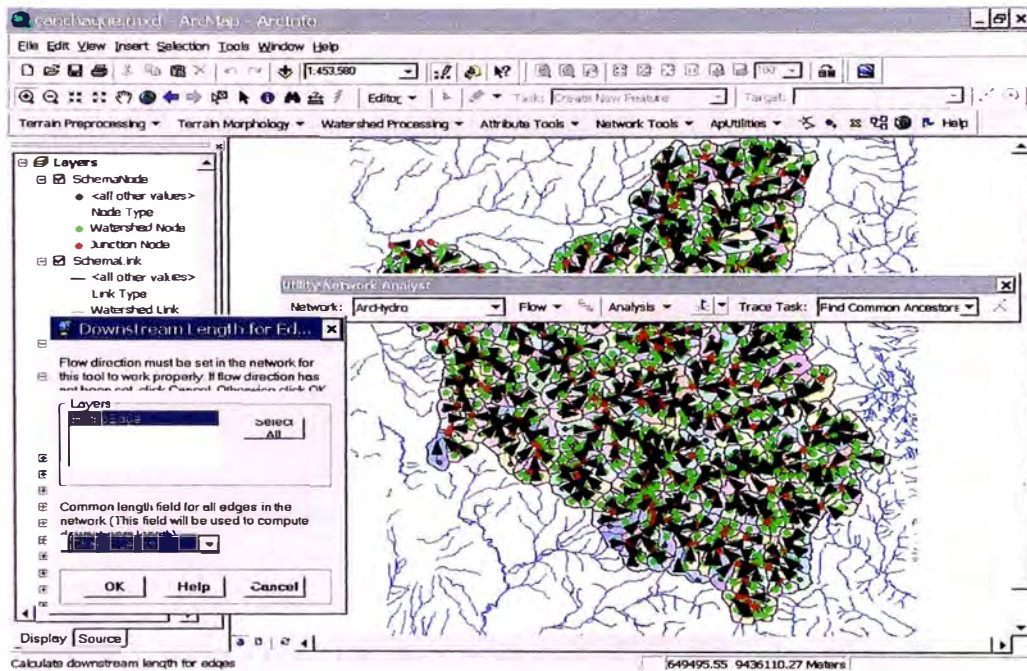


## 19. Definir la dirección del flujo (Set Flow direction - Datos)

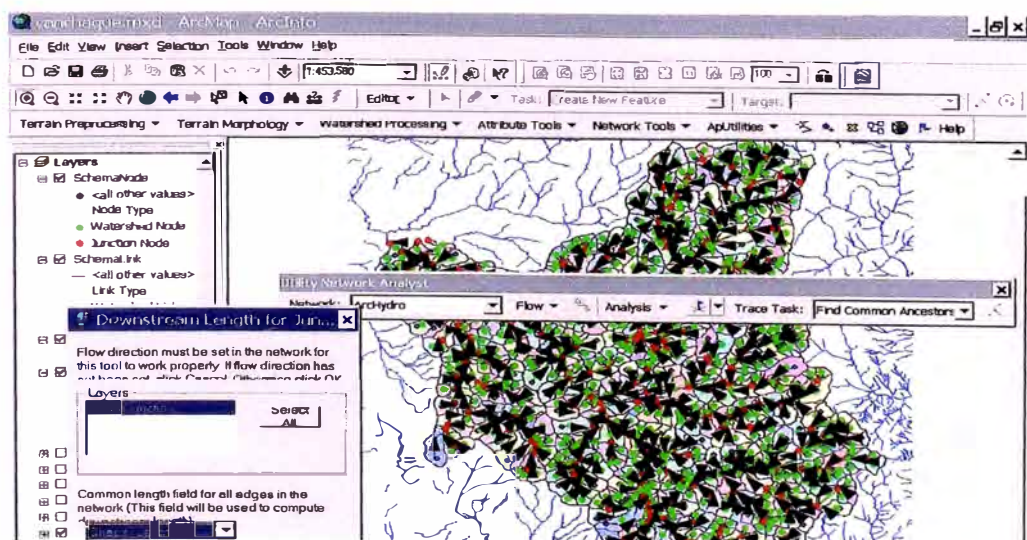




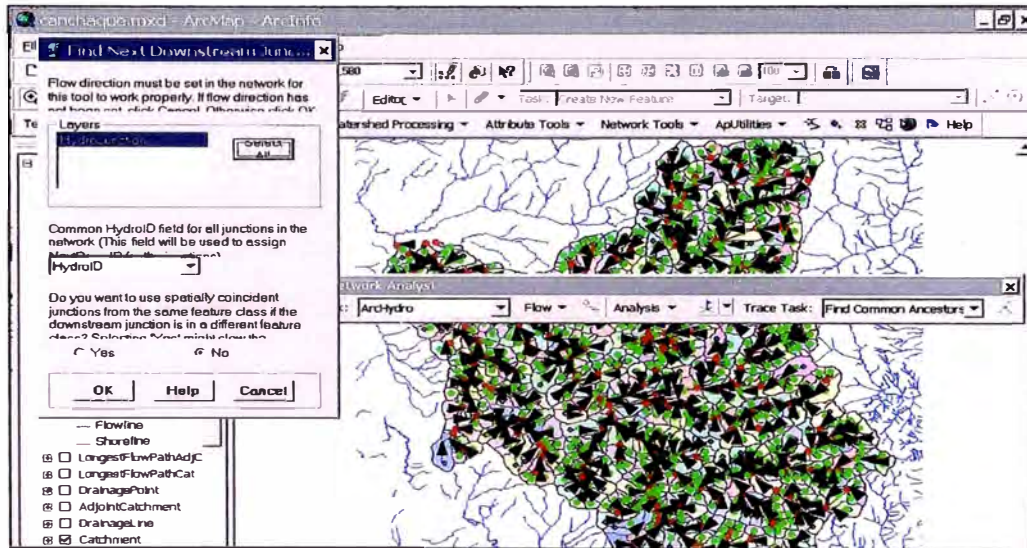
## 20. Calculo de la longitud desde el punto hasta el final de la red (Downstream Length for edges - Datos)



## 21. Longitud aguas abajo desde cada punto (Downstream Length for Junctions - Datos)



## 22. Encontrar el nodo aguas abajo (Find next downstream Junction – Datos)



# **ANEXO B: PROGRAMA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO EN HMS DESDE ARCHYDRO**

# ANEXO B

## PROGRAMA PARA CONSTRUCCION DE UN MODELO HIDROLOGICO EN HMS DESDE ARCHYDRO

**Desarrollado por: Nilton Rivas**

**Plataforma: Visual Basic para Aplicaciones  
De Excel**

**Sub Proyecto\_GeneracionHMS ()**

```
DirectorioHMS = "C:\hmsproj"  
NombreProyecto = "RioPiura"  
  
NombreCuenca = ActiveSheet.Name ' Pone el nombre del proyecto igual  
' al nombre de la hoja  
  
DirectorioProyecto = DirectorioHMS & "\" & NombreProyecto  
NombreRangoCuencas = "ListadoDeCuencas" ← Definir un rango de cuencas  
NombreRangoTramos = "ListadoDeTramos" ← Definir un rango de tramos  
ArchivoHMSProyecto = DirectorioProyecto & "\" & NombreProyecto & ".HMS"  
  
' validacion de la hoja activa  
If Not ExisteRangoenHojaActiva(NombreRangoCuencas) Then  
  
    cadena = "En la Hoja: " & NombreHoja & vbNewLine  
            & "Falta definir el rango de entrada: " & NombreRangoCuencas  
    MsgBox cadena  
    End  
End If  
  
'validacion de directorio HMS  
If Not Util.ExisteDirectorio(DirectorioHMS) Then  
    Mkdir DirectorioHMS  
Else  
    ChDir DirectorioHMS  
End If  
  
'validacion del directorio de proyecto  
If Not ExisteDirectorio(DirectorioProyecto) Then  
    Mkdir DirectorioProyecto  
    Mkdir DirectorioProyecto & "\basinStates"  
    Mkdir DirectorioProyecto & "\optimizer"  
    Mkdir DirectorioProyecto & "\scripts"  
Else  
    ChDir DirectorioProyecto  
End If
```

```
ChDir DirectorioHMS

'validacion

If Not ExisteArchivo(ArchivoHMSProyecto) Then
    CreaArchivoHMSProyecto DirectorioProyecto, NombreProyecto,
    ArchivoHMSProyecto, NombreCuenca
Else
    If Not ExisteCuencaenProyectoHMS(ArchivoHMSProyecto, NombreCuenca) Then
        AgregarCuencaenProyectoHMS ArchivoHMSProyecto, DirectorioProyecto,
        NombreCuenca
    End If

    If Not ExisteMetenProyectoHMS(ArchivoHMSProyecto, NombreCuenca) Then
        AgregarMetenProyectoHMS ArchivoHMSProyecto, DirectorioProyecto,
        NombreCuenca
    End If

End If

'validacion de la cuenca
GeneracionArchivoBasin DirectorioProyecto, NombreProyecto,
    NombreCuenca, NombreRangoCuencas, NombreRangoTramos

'validacion del archivo metereologico
GeneracionArchivoMet DirectorioProyecto, NombreProyecto,
    NombreCuenca, NombreRangoCuencas

End Sub
```

\*\*\*\*\*

```
Sub GeneracionArchivoMet(ByVal DirectorioProyecto, ByVal NombreProyecto,  
ByVal NombreCuenca, ByVal NombreRangoCuencas)
```

```
Dim MatrizCuencas As Range
```

```
'* crea el archivo
NombrePluviografo = NombreCuenca
NombreArchivoMet = DirectorioProyecto & "\" & NombreCuenca & ".met"
CrearArchivo NombreArchivoMet
```

```
Pone la cabecera del Archivo
Lineas_Cabecera = ArchivoMet_Cabecera(DirectorioProyecto, NombreProyecto,
    NombreCuenca)
AgregarLineasArchivo NombreArchivoMet, Lineas Cabecera
```

```
*****Lee cada cuenca y la agrega al archivo
toma los datos de las cuencas
Set MatrizCuencas = Range(NombreRangoCuencas)
```

```
NFilas = MatrizCuencas.Rows.Count
```

```
For i = 1 To NFilas
    NombreCuenca = MatrizCuencas(i, 1)
    NombrePluviografo = MatrizCuencas(i, 20)

    Lineas_Cuencas = ArchivoMet_Cuenca(NombreCuenca, NombrePluviografo)
    AgregarLineasArchivo NombreArchivoMet, Lineas_Cuencas

```

```
Next i
```

```
End Sub
```

\*\*\*\*\*



**Sub GeneracionArchivoBasin(ByVal DirectorioProyecto, ByVal NombreProyecto, ByVal NombreCuenca, ByVal NombreRangoCuencas, ByVal NombreRangoTramos)**

```
Dim MatrizCuencas As Range
Dim MatrizNudos As Range

'* crea el archivo
NombreQuebrada = NombreCuenca
NombreArchivoCuenca = DirectorioProyecto & "\" & NombreQuebrada & ".basin"
CrearArchivo NombreArchivoCuenca

' Pone la cabecera del Archivo
Lineas_Cabecera = Archivo_Cabecera(DirectorioProyecto, NombreProyecto,
                                   NombreQuebrada)
AgregarLineasArchivo NombreArchivoCuenca, Lineas_Cabecera

' *****Lee cada cuenca y la agrega al archivo
' toma los datos de las cuencas
Set MatrizCuencas = Range(NombreRangoCuencas)
NFilas = MatrizCuencas.Rows.Count

For i = 1 To NFilas
    NombreCuenca = MatrizCuencas(i, 1)
    Area_Km2 = MatrizCuencas(i, 4)
    Longitud_Km = MatrizCuencas(i, 5)
    CotaMax_m = MatrizCuencas(i, 6)
    CotaMin_m = MatrizCuencas(i, 7)
    LC_Km = MatrizCuencas(i, 15)
    CN = MatrizCuencas(i, 18)
    Ct = MatrizCuencas(i, 16)
    Cp = 0.6
    Porc_Imperm = 100 * MatrizCuencas(i, 19)

    XCuenca = MatrizCuencas(i, 23)
    YCuenca = MatrizCuencas(i, 24)
    Descripcion = MatrizCuencas(i, 2)
    Nudo = MatrizCuencas(i, 25)

    If Area_Km2 > 0.001 And CotaMax_m > CotaMin_m Then

        Lineas_Cuencas = ParametroDeCuencasParaSCS(NombreCuenca, Descripcion,
                                                    XCuenca, YCuenca, Nudo, Area_Km2, Longitud_Km,
                                                    CotaMax_m, CotaMin_m, LC_Km, CN, Ct, Cp, Porc_Imperm)
        AgregarLineasArchivo NombreArchivoCuenca, Lineas_Cuencas

    End If

Next i

' *****Lee cada nodo y la agrega al archivo
' toma los datos de los nodos
' Set MatrizTramos = Worksheets("ReporteCuencas").Range("ListadoDeTramos")
Set MatrizTramos = Range(NombreRangoTramos)
NFilas = MatrizTramos.Rows.Count

For i = 1 To NFilas
    NombreTramo = MatrizTramos(i, 1)
    Descripcion = MatrizTramos(i, 2)

    NudoAguasArriba = MatrizTramos(i, 3)
    XAguasArriba = MatrizTramos(i, 4)
    YAguasArriba = MatrizTramos(i, 5)
    ZAguasArriba = MatrizTramos(i, 6)

    NudoAguasAbajo = MatrizTramos(i, 7)
    XAguasAbajo = MatrizTramos(i, 8)
    YAguasAbajo = MatrizTramos(i, 9)
```

```
ZAguasAbajo = MatrizTramos(i, 10)

Longitud = MatrizTramos(i, 11)
TiempoRetardo = MatrizTramos(i, 12)

If NudoAguasArriba <> "" Then
  If Longitud > 0 And NudoAguasAbajo <> "-1" Then
    NudoAguasAbajo = NombreTramo

    Lineas_Union = Archivo_Union(NudoAguasArriba, Descripcion,
                                XAguasArriba, YAguasArriba, NudoAguasAbajo)
    AgregarLineasArchivo NombreArchivoCuenca, Lineas_Union

  ElseIf Longitud = 0 Then
    Lineas_Union = Archivo_Union(NudoAguasArriba, Descripcion,
                                XAguasArriba, YAguasArriba, NudoAguasAbajo)
    AgregarLineasArchivo NombreArchivoCuenca, Lineas_Union

  End If
End If

Next i

For i = 1 To NFilas
  NombreTramo = MatrizTramos(i, 1)
  Descripcion = MatrizTramos(i, 2)

  NudoAguasArriba = MatrizTramos(i, 3)
  XAguasArriba = MatrizTramos(i, 4)
  YAguasArriba = MatrizTramos(i, 5)
  ZAguasArriba = MatrizTramos(i, 6)

  NudoAguasAbajo = MatrizTramos(i, 7)
  XAguasAbajo = MatrizTramos(i, 8)
  YAguasAbajo = MatrizTramos(i, 9)
  ZAguasAbajo = MatrizTramos(i, 10)

  Longitud = MatrizTramos(i, 11)
  TiempoRetardo = MatrizTramos(i, 12)

  If NudoAguasArriba <> "" Then
    If Longitud > 0 Then

      Lineas_Tramos = Archivo_Tramo(NombreTramo, Descripcion,
                                   XAguasAbajo, YAguasAbajo, XAguasArriba, YAguasArriba,
                                   NudoAguasAbajo, TiempoRetardo)
      AgregarLineasArchivo NombreArchivoCuenca, Lineas_Tramos

    End If
  End If

Next i

'***** fin de las cuencas
Lineas_Final = Archivo_Final
AgregarLineasArchivo NombreArchivoCuenca, Lineas_Final
```

**End Sub**



```
Function ParametroDeCuencasParaSCS(NombreCuenca, Descripcion, XCuenca, YCuenca,  
NudoAguasAbajo, Area_Km2, Longitud_Km,  
CotaMax_m, CotaMin_m, LC_Km, CN, Ct, Cp,  
Porc_Imperm) As Variant
```

```
Dim LineaCad(1 To 21) As String
```

```
PendienteMedia = (CotaMax_m - CotaMin_m) / (Longitud_Km * 1000)  
Tc_Kirpich_min = 3.97 * Longitud_Km ^ 0.77 * PendienteMedia ^ (0 - 0.385)  
TC_BW_min = 14.6 * Longitud_Km * Area_Km2 ^ (0 - 0.1)  
          * (PendienteMedia) ^ (0 - 0.2)  
MediaGeom_min = (Tc_Kirpich_min * TC_BW_min) ^ 0.5  
Dur_Critica_min = 10 * (Int(MediaGeom_min / 10 + 0.5))  
Tp_hr = 0.75 * Ct * (Longitud_Km * LC_Km) ^ 0.3  
PerdidaInicial_mm = 0.2 * (1000 / CN - 10) * 25.4
```

```
MetodoHidrologico = "SCS"  
Transformada = "Snyder"  
FlujoBase = "None"  
Xlabel = 16  
Ylabel = 0
```

```
'parche
```

```
If Tp_hr < 0.1 Then Tp_hr = 0.1
```

```
LineaCad(1) = "Subbasin: " & NombreCuenca  
LineaCad(2) = "      Description: " & Descripcion  
LineaCad(3) = "      Canvas X: " & XCuenca  
LineaCad(4) = "      Canvas Y: " & YCuenca  
LineaCad(5) = "      Label X: " & Xlabel  
LineaCad(6) = "      Label Y: " & Ylabel  
LineaCad(7) = "      Area: " & Area_Km2  
LineaCad(8) = "      Downstream: " & NudoAguasAbajo  
LineaCad(9) = ""  
LineaCad(10) = "      LossRate: " & MetodoHidrologico  
LineaCad(11) = "      Percent Impervious Area: " & Porc_Imperm  
LineaCad(12) = "      Curve Number: " & CN  
LineaCad(13) = "      Initial Abstraction: " & PerdidaInicial_mm  
LineaCad(14) = ""  
LineaCad(15) = "      Transform: " & Transformada  
LineaCad(16) = "      SnyderTp: " & Format(Tp_hr, "000.000")  
LineaCad(17) = "      SnyderCp: " & Cp  
LineaCad(18) = ""  
LineaCad(19) = "      Baseflow: " & FlujoBase  
LineaCad(20) = "End:"  
LineaCad(21) = ""
```

```
ParametroDeCuencasParaSCS = LineaCad
```

```
End Function
```

```
*****
```

```
Function Archivo_Cabecera(DirectorioProyecto, NombreProyecto,  
NombreQuebrada) As Variant
```

```
Dim LineaCad(1 To 8) As String
```

```
LineaCad(1) = "Basin: " & NombreQuebrada  
LineaCad(2) = "      Last Modified Date: 8 January 2005"  
LineaCad(3) = "      Last Modified Time: 22:47:07"  
LineaCad(4) = "      Version: 2.2.2"  
LineaCad(5) = "      Default DSS File Name: " & DirectorioProyecto  
          & "\" & NombreProyecto & ".dss"  
LineaCad(6) = "      Unit System: SI"  
LineaCad(7) = "End:"  
LineaCad(8) = ""
```

```
Archivo_Cabecera = LineaCad
```

```
End Function
```

```
*****
```

```
Function Archivo_Union(Nudo, Descripcion, XNudo, YNudo, NudoAguasAbajo) As Variant
```

```
n = 9  
i = 1  
If NudoAguasAbajo = "-1" Then  
    i = 0  
    n = 8
```

```
End If
```

```
ReDim LineaCad(1 To n) As String
```

```
Xlabel = 16  
Ylabel = 0
```

```
LineaCad(1) = "Junction:" & Nudo  
LineaCad(2) = "    Description: " & Descripcion  
LineaCad(3) = "    Canvas X: " & XNudo  
LineaCad(4) = "    Canvas Y: " & YNudo  
LineaCad(5) = "    Label X: " & Xlabel  
LineaCad(6) = "    Label Y: " & Ylabel
```

```
If i = 1 Then  
    LineaCad(6 + i) = "    Downstream: " & NudoAguasAbajo  
End If
```

```
LineaCad(7 + i) = "End:"  
LineaCad(8 + i) = ""
```

```
Archivo_Union = LineaCad
```

```
End Function
```

```
*****
```

```
Function Archivo_Tramo(NombreTramo, Descripcion, XAguasAbajo, YAguasAbajo,  
                      XAguasArriba, YAguasArriba, NudoAguasAbajo, TiempoRetardo)  
    As Variant
```

```
n = 14  
i = 1  
If NudoAguasAbajo = "-1" Then  
    i = 0  
    n = 13
```

```
End If
```

```
ReDim LineaCad(1 To n) As String
```

```
Xlabel = 16  
Ylabel = 0  
MetodoTransito = "Lag"
```

```
LineaCad(1) = "Reach: " & NombreTramo  
LineaCad(2) = "    Description: " & Descripcion  
LineaCad(3) = "    Canvas X: " & XAguasAbajo  
LineaCad(4) = "    Canvas Y: " & YAguasAbajo  
LineaCad(5) = "    From Canvas X: " & XAguasArriba  
LineaCad(6) = "    From Canvas Y: " & YAguasArriba  
LineaCad(7) = "    Label X: " & Xlabel  
LineaCad(8) = "    Label Y: " & Ylabel
```

```
    '
```

```
    If i = 1 Then
```

```

        LineaCad(8 + i) = "        Downstream: " & NudoAguasAbajo
    End If
    
```

```

    LineaCad(9 + i) = ""
    LineaCad(10 + i) = "        Route: " & MetodoTransito
    LineaCad(11 + i) = "        Lag: " & TiempoRetardo
    LineaCad(12 + i) = "End:"
    LineaCad(13 + i) = ""
    Archivo_Tramo = LineaCad
    
```

**End Function**

\*\*\*\*\*

**Function Archivo\_Final() As Variant**

```

    Dim LineaCad(1 To 12) As String

    LineaCad(1) = "Default Attributes: "
    LineaCad(2) = "        Default Basin Unit System: SI"
    LineaCad(3) = "        Default Meteorology Unit System: SI"
    LineaCad(4) = "        Default Loss Rate: SCS"
    LineaCad(5) = "        Default Transform: Snyder"
    LineaCad(6) = "        Default Baseflow: None"
    LineaCad(7) = "        Default Route: Lag"
    LineaCad(8) = "        Enable Flow Ratio: No"
    LineaCad(9) = "        Enable Evapotranspiration: No"
    LineaCad(10) = "        Compute Local Flow At Junctions: No"
    LineaCad(11) = "        Missing Flow To Zero: No"
    LineaCad(12) = "End: "

    Archivo_Final = LineaCad
    
```

**End Function**

\*\*\*\*\*

**Sub CrearArchivo (Nombre)**

```

    Open Nombre For Output As #1
        'Print #1, ""
    Close #1
    
```

**End Sub**

\*\*\*\*\*

**Sub AgregarLineasArchivo (Nombre, Lineas)**

```

    n = UBound(Lineas)

    Open Nombre For Append As #1

    For i = 1 To n
        cadena = Lineas(i)
        Print #1, cadena
    Next i

    Close #1
    
```

**End Sub**

'\*\*\*\*\*para archivo de modelo metereologico

**Function ArchivoMet\_Cabecera(ByVal DirectorioProyecto, ByVal NombreProyecto, ByVal NombreCuenca) As Variant**

```

    Dim LineaCad(1 To 10) As String

    NombrePluviografo = NombreCuenca
    LineaCad(1) = "Precip: " & NombrePluviografo
    LineaCad(2) = "        Last Modified Date: 1 July 2004"
    LineaCad(3) = "        Last Modified Time: 12:01:03"
    LineaCad(4) = "        Version: 2.2.2"
    LineaCad(5) = "        Default DSS File Name: " & DirectorioProyecto & "\"
    
```



```
                & NombreProyecto & ".dss"  
LineaCad(6) = "        Unit System: Metric"  
LineaCad(7) = "        Enable Evapotranspiration: No"  
LineaCad(8) = "        Precipitation Method: Specified Average"  
LineaCad(9) = "End:"  
LineaCad(10) = ""
```

```
ArchivoMet_Cabecera = LineaCad
```

**End Function**

```
*****
```

**Function ArchivoMet\_Cuenca (ByVal NombreCuenca, ByVal NombrePluviografo) As Variant**

```
Dim LineaCad(1 To 4) As String
```

```
LineaCad(1) = "Subbasin: " & NombreCuenca  
LineaCad(2) = "        Gage: " & NombrePluviografo  
LineaCad(3) = "End:"  
LineaCad(4) = ""
```

```
ArchivoMet_Cuenca = LineaCad
```

**End Function**

```
*****
```

**Sub CreaArchivoHMSProyecto (DirectorioProyecto, NombreProyecto,  
ArchivoHMSProyecto, NombreCuenca)**

```
Dim LineaCad(1 To 25) As String
```

```
LineaCad(1) = "Project:" & NombreProyecto  
LineaCad(2) = "        Description:"  
LineaCad(3) = "        Version: 2.2.2"  
LineaCad(4) = "        Default DSS File Name: " & DirectorioProyecto & "\"  
                & NombreProyecto & ".dss"  
LineaCad(5) = "End:"  
LineaCad(6) = ""  
LineaCad(7) = ""  
LineaCad(8) = "Basin: " & NombreCuenca  
LineaCad(9) = "        FileName: " & DirectorioProyecto & "\" & NombreCuenca  
                & ".basin"  
LineaCad(10) = "        Description: "  
LineaCad(11) = "End:"  
LineaCad(12) = ""  
LineaCad(13) = "Default Attributes: "  
LineaCad(14) = "        Default Basin Unit System: SI"  
LineaCad(15) = "        Default Meteorology Unit System: SI"  
LineaCad(16) = "        Default Loss Rate: SCS"  
LineaCad(17) = "        Default Transform: Snyder"  
LineaCad(18) = "        Default Baseflow: None"  
LineaCad(19) = "        Default Route: Lag"  
LineaCad(20) = "        Default Precip: Specified Average"  
LineaCad(21) = "        Enable Flow Ratio: No"  
LineaCad(22) = "        Enable Evapotranspiration: No"  
LineaCad(23) = "        Compute Local Flow At Junctions: No"  
LineaCad(24) = "        Missing Flow To Zero: No"  
LineaCad(25) = "End: "
```

```
CrearArchivo ArchivoHMSProyecto  
AgregarLineasArchivo ArchivoHMSProyecto, LineaCad
```

**End Sub**

```
*****
```

**Sub AgregarCuencaenProyectoHMS (ByVal ArchivoHMSProyecto, ByVal DirectorioProyecto,  
ByVal NombreCuenca)**

```
Dim fs, f
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
Set f = fs.opentextfile(ArchivoHMSProyecto, 8, 0)
```

```
f.writeline " "
f.writeline "Basin: " & NombreCuenca
f.writeline "      FileName: " & DirectorioProyecto & "\" & NombreCuenca
      & ".basin"
f.writeline "      Description: "
f.writeline "End:"
f.writeline " "
```

f.Close

**End Sub**

\*\*\*\*\*

**Sub AgregarMetenProyectoHMS (ByVal ArchivoHMSProyecto, ByVal DirectorioProyecto, ByVal NombreCuenca)**

```
Dim fs, f
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
Set f = fs.opentextfile(ArchivoHMSProyecto, 8, 0)
```

```
f.writeline " "
f.writeline "Precipitation: " & NombreCuenca
f.writeline "      FileName: " & DirectorioProyecto & "\" & NombreCuenca &
".met"
f.writeline "      Description: "
f.writeline "End:"
f.writeline " "
```

f.Close

**End Sub**