

**Coordinación de Tecnología Hidrológica
Subcoordinación de Aprovechamientos Hidráulicos**

Proyecto TH0632.3



**Sistema de soporte para la gestión integrada del
agua en la cuenca del sitio Arcediano sobre el río
Santiago. Primera etapa**

Informe de Avance

Presentado a la

**Comisión Estatal de Agua y Saneamiento
del Estado de Jalisco
Coordinación de Cuencas**

13 de Septiembre del 2006

Índice

1.	Recopilación de información para modelo hidrológico	3
1.1	Modelo digital de elevación con resolución de 90 m	3
1.2	Cartografía topográfica vectorial 1:50,000	4
1.3	Delimitación de estados y municipios del Modelo Geoestadístico Municipal, escala 1:250,000	4
1.4	Delimitación de cuencas hidrográficas de la región, escala 1:250,000.....	5
1.5	Red de corrientes, escala 1:50,000	6
1.6	Localización y características de cuerpos de agua superficial, escala 1:50,000	6
1.7	Estudio de uso de suelo para periodo de calibración, escala 1:250,000.....	7
1.8	Estudio de tipo de suelo, escala 1:250,000	8
1.9	Localización y características de estaciones hidrométricas.....	9
1.10	Localización y características de estaciones meteorológicas, incluyendo las que se hallan en una franja de 10 km externa al parteaguas	10
2	Procesamiento de series históricas.....	12
2.1.	Extracción y exportación de datos de banco de información.....	12
2.1.1	Datos meteorológicos.....	12
2.1.2	Datos hidrométricos	13
3	Procesamiento de datos geográficos	16
3.1	Homogenización de rasgos geográficos a la proyección	16
3.2	Elaboración de mosaico de los archivos del modelo digital de elevación y recorte con una franja externa al parteaguas de 10 km.....	17
3.3	Cambio de formato de rasgos geográficos a los requeridos por la aplicación Physitel e Hydrotel.....	17
4	Determinación de características fisiográficas	19
4.1	Importación del modelo digital de elevación	19
4.2	Determinación y edición de pendientes	20
4.3	Importación y edición de la red de corrientes de referencia	21
4.4	Determinación y edición de la red matricial de corrientes de referencia	22
4.5	Determinación y edición del modelo digital de elevación con red de corrientes impuesta en áreas seleccionadas	23
4.6	Determinación y edición de las orientaciones de celdas	24
4.7	Determinación del parteaguas de la cuenca	25
4.8	Determinación de red de escurrimiento con umbral de área seleccionada ..	26
4.9	Reorientación de celdas alrededor de los nodos	27
4.10	Delimitación y edición de unidades especiales de simulación.....	28

1. Recopilación de información para modelo hidrológico

La recopilación de información consistió en formar una base de datos geográfica que permitan modelar y analizar una cuenca. La información recopilada tiene fuentes diferentes, pero en su mayoría proviene del *INEGI* la cual se basó en uso de cartas vectoriales digitales escala 1:50,000. Otra fuente es la *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, de la que se extrajo el modelo digital de elevaciones.

Es importante señalar que la cuenca en análisis comprende dos zonas UTM (13 y 14), por lo tanto se tomó la decisión de manejar la proyección *Lambert conformal Conic Datum WGS 84*

1.1 Modelo digital de elevación con resolución de 90 m

El Modelo digital de elevaciones (*DEM* por sus siglas en inglés) para la cuenca completa al sitio Arcediano (Figura 1.1), proviene del *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) versión finished producido por el United States Geological Survey (USGS)*. El *DEM* tiene una resolución de celda de tres segundos lo que equivale a 90 metros.

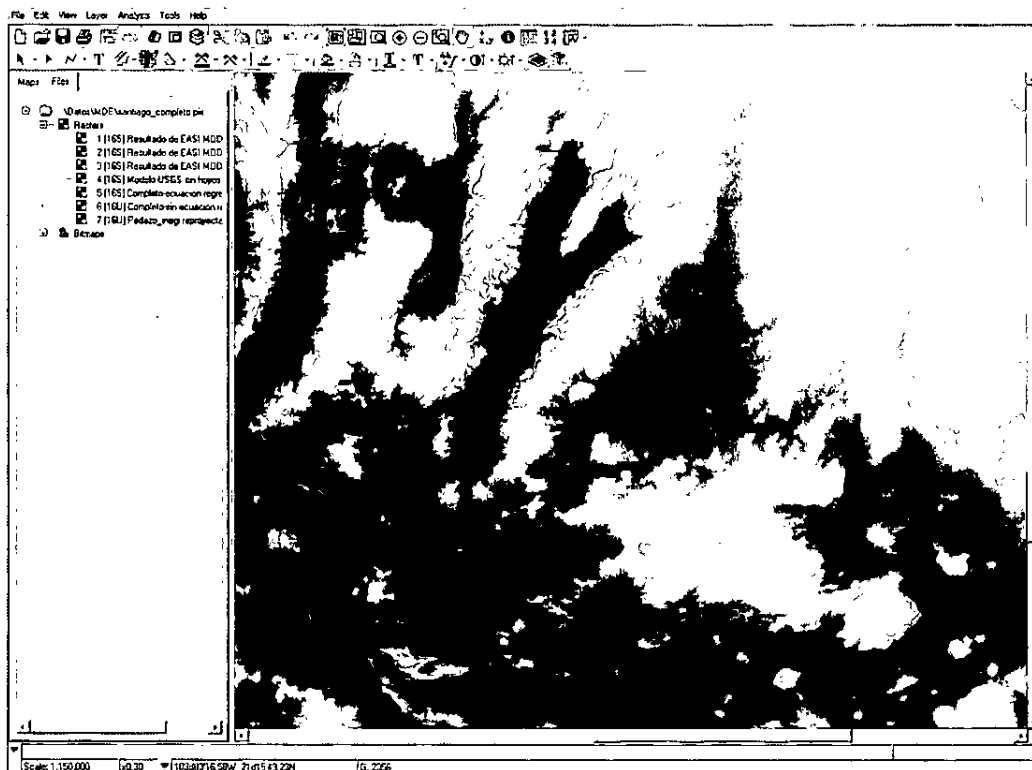


Figura 1.1 Modelo digital de elevaciones del *SRTM*

1.2 Cartografía topográfica vectorial 1:50,000

Se obtuvieron las cartas topográficas vectoriales 1:50,000 de INEGI, correspondientes a la cuenca del sitio Arcediano, estas cartas corresponden a las zonas UTM (13 y 14) y se utilizaron 49 cartas.

1.3 Delimitación de estados y municipios del Modelo Geoestadístico Municipal, escala 1:250,000

Se cuenta con información de estados y municipios del Modelo Geoestadístico Municipal escala 1:250,000, en la figura 1.3 se tienen los estados y municipios que confluyen con la cuenca en estudio (Figura 1.2).

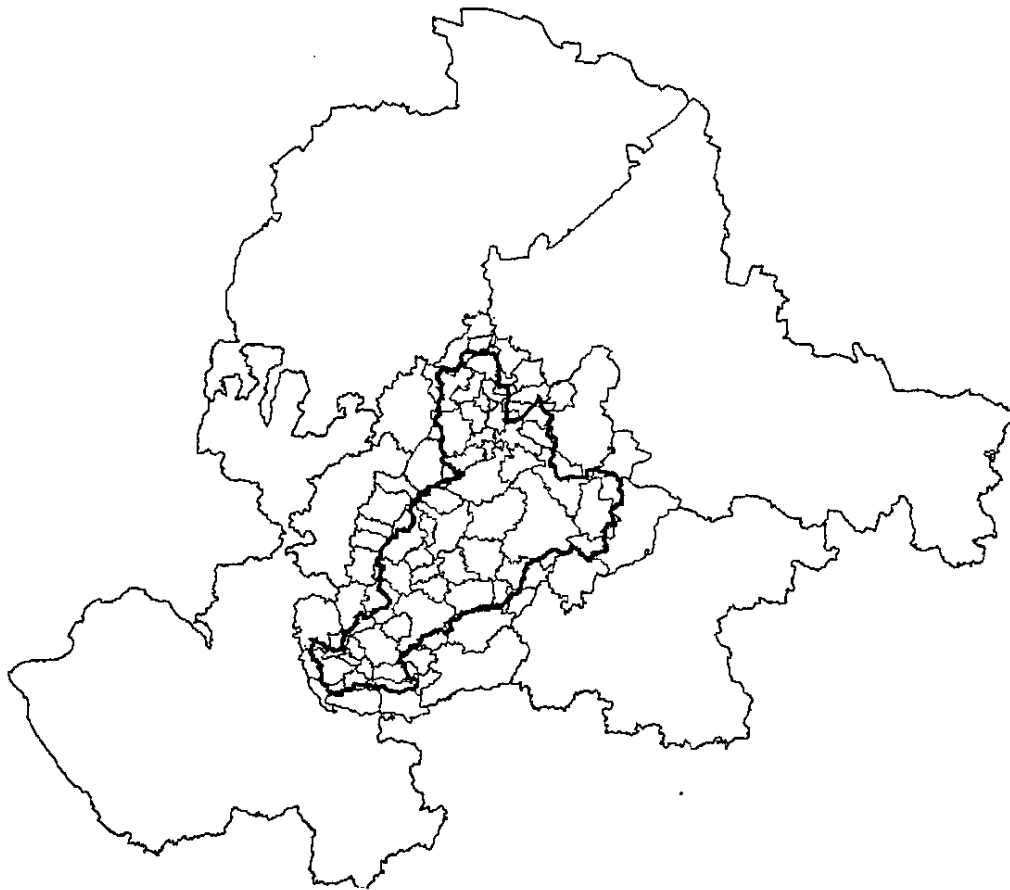


Figura 1.2 Estados y municipios

1.4 Delimitación de cuencas hidrográficas de la región, escala 1:250,000

La cuenca al sitio Arcediano se delimitó con ayuda de la topografía y de la cuenca delimitada por INEGI. La cuenca se dividió en tres subcuencas: Zapotillo, Arcediano y Santiago. Las cuencas de Zapotillo y Arcediano corresponden a sus respectivos embalses de proyecto y pertenecen al río Verde, La subcuenca Santiago corresponde al embalse de proyecto Arcediano y se localiza sobre el Río Santiago (Figura 1.3).



Figura 1.3 Cuencas hidrográficas de la región

1.5 Red de corrientes, escala 1:50,000

La red de corrientes es a escala 1:50,000 y las cartas provenientes de INEGI cubren en su totalidad la región, se utilizaron 49 cartas y viene incorporada la infraestructura hidráulica por lo que fue necesario separarla y manejarla de manera independiente (Figura 1.4).



Figura 1.4 Red de corrientes 1:50000

1.6 Localización y características de cuerpos de agua superficial, escala 1:50,000

Los cuerpos de agua provienen al igual que la red de drenaje de la cartografía 1:50,000 de *INEGI*. La selección de estos para ser incluidos en la modelación hidrológica distribuida en el modelo *Hydrotel* se basó en los siguientes dos criterios:

- El cuerpo de agua debe tener un área de espejo igual o mayor al 0.5 km²
- En cuerpo de agua debe estar sobre o conectado a una corriente

Con base en estos dos criterios se consideraran 37 cuerpos de agua (Figura 1.5) incluyendo los cuerpos de agua que se formarán de los proyectos Arcediano y Zapotillo.



Figura 1.5 Cuerpos de agua

1.7 Estudio de uso de suelo para periodo de calibración, escala 1:250,000

De INEGI se obtuvieron las cartas vectoriales del estudio de uso de suelo con escala 1:250,000 correspondientes a la cuenca en estudio (Figura 1.6).

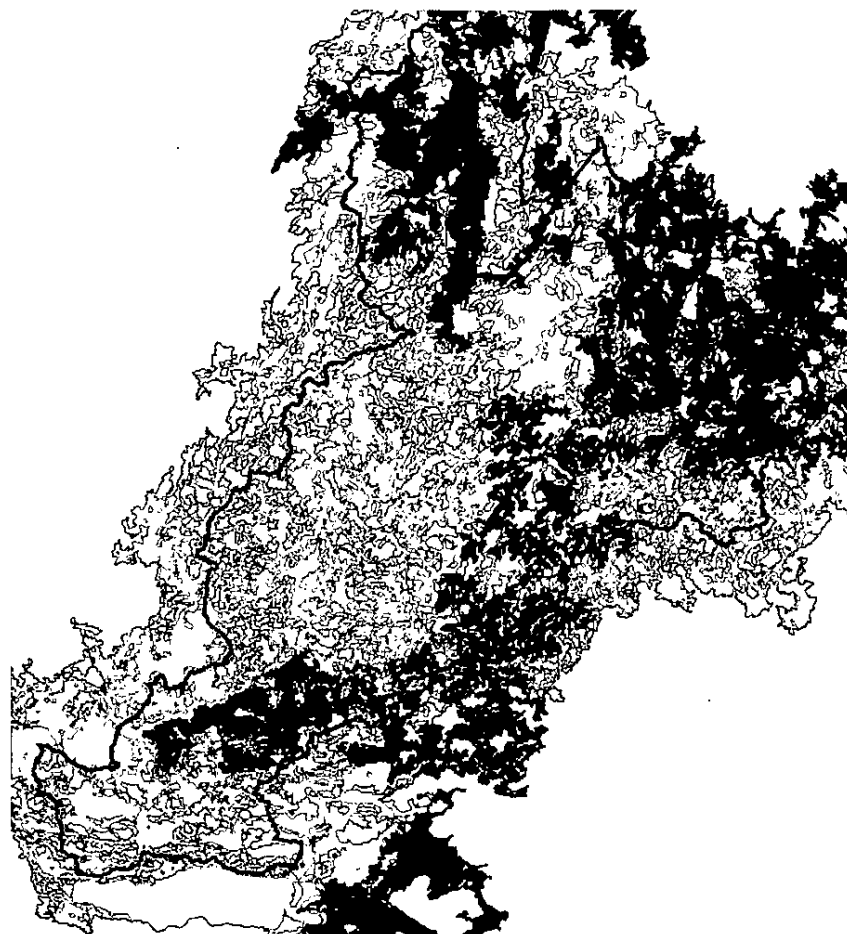


Figura 1.6 Uso de suelo

1.8 Estudio de tipo de suelo, escala 1:250,000

De INEGI se obtuvieron las cartas vectoriales edafológicas del estudio de tipo de suelo con escala 1:250,000 correspondientes a la cuenca en estudio (Figura 1.7).

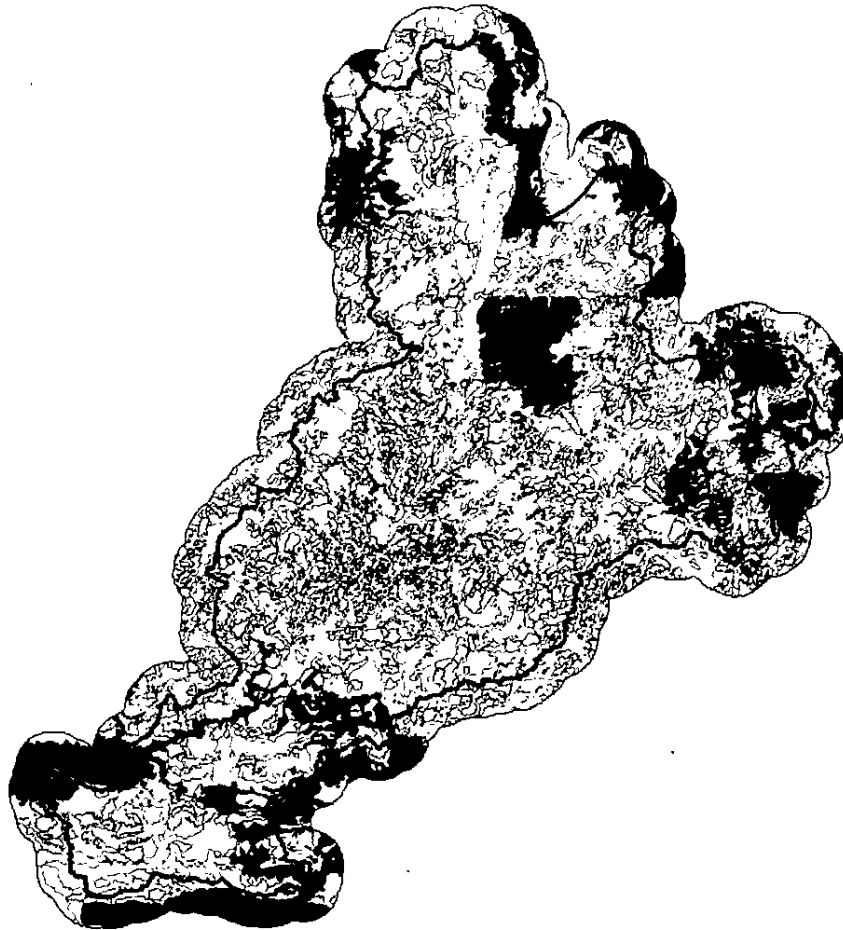


Figura 1.7 Tipo de suelo

1.9 Localización y características de estaciones hidrométricas

Con la información geográfica de la limitación de la cuenca se procedió a localizar en el banco de datos de aguas superficiales (BANDAS) las estaciones hidrométricas que se encontraron dentro de ésta (Figura 1.8).

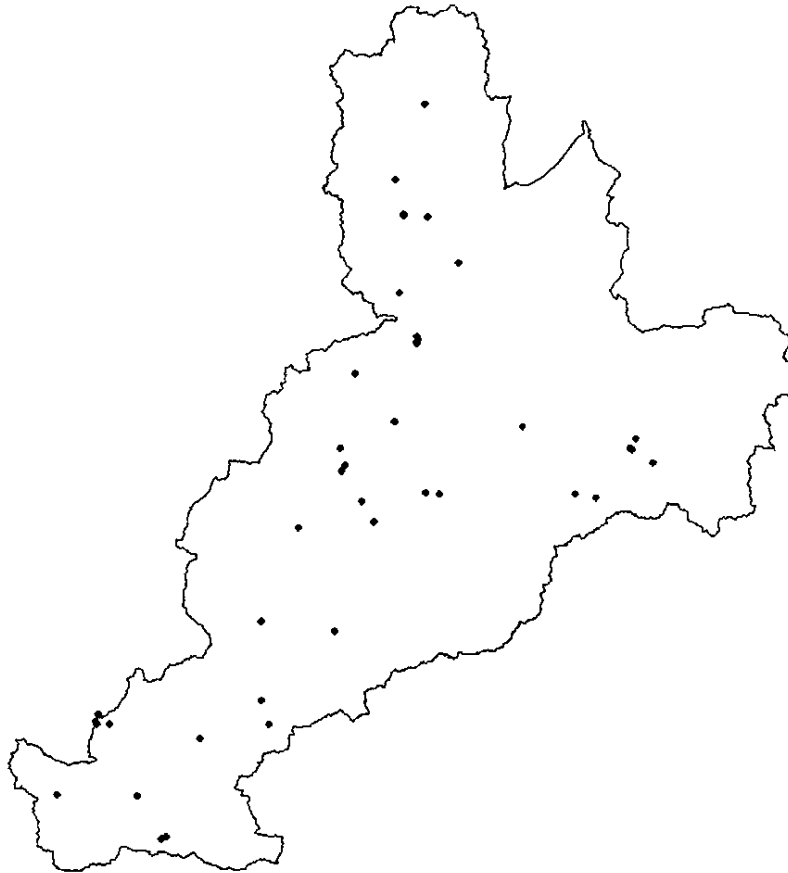


Figura 1.8 Localización de las estaciones hidrométricas

1.10 Localización y características de estaciones meteorológicas, incluyendo las que se hallan en una franja de 10 km externa al parteaguas

Con base en el catálogo del Extractor rápido de información climatológica (Eric III) se ubicaron y localizaron las estaciones meteorológicas dentro de la cuenca al sitio Arcediano, además de las que se encontraron dentro de un margen de 10 km alrededor del parteaguas de la cuenca. Se localizaron 228 estaciones meteorológicas, en la figura 1.9 se muestra su distribución espacial.

De las 228 estaciones que se localizaron, se encuentran 95 en el estado de Aguascalientes, 13 en Guanajuato, 97 en Jalisco, 2 en San Luis Potosí y 21 en Zacatecas.

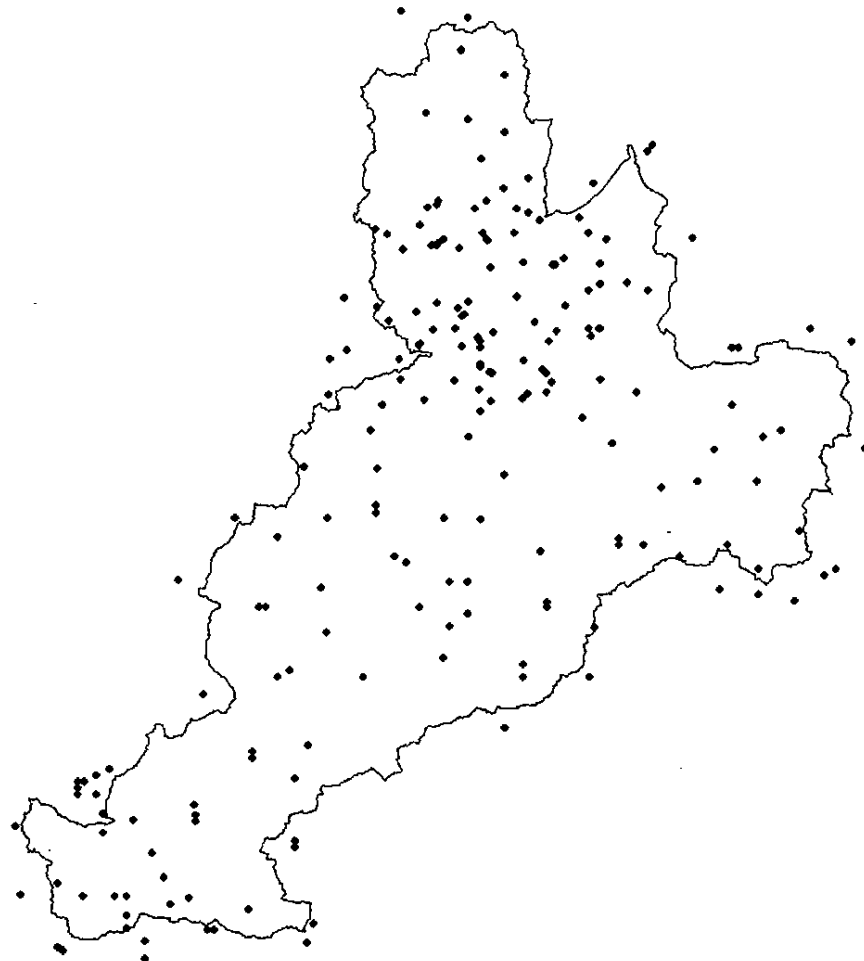


Figura 1.9 Localización de estaciones meteorológicas

2 Procesamiento de series históricas

2.1. Extracción y exportación de datos de banco de información

2.1.1 Datos meteorológicos

La extracción de la información meteorológica de las estaciones localizadas en la cuenca Arcediano, se realizó del Extractor rápido de información climatológica II (Eric II), el cual contiene información de la base de datos climatológica nacional tal como se encontraba en enero de 2000 en el Sistema Meteorológico Nacional (SMN). Dicha base tiene datos de 1940 a 1998, aunque algunas estaciones climatológicas contienen información anterior a este periodo. Asimismo, se obtuvo información de la versión más actualizada de la base de datos climatológicos ERIC III, la cual se encuentra actualizada hasta el año 2004 y con mayor número de estaciones.

Para el caso particular de este proyecto solo requirió de los datos de Precipitación, Evaporación, Temperatura máxima y mínima.

La información se extrajo directamente del interfaz del *Eric* en formato .dat, por lo que fue necesario procesar dicha información en *Excel* por medio de unas macros que ordenan los registros por cada año y crean un resumen con la información de cada estación, las estaciones seleccionadas fueron las que contaron con más del 80% de datos (Figura 2.1)

	A	AK	AY	AZ	BA	BB	BC	BO	BE	BF	BG	BH	BI
1													
2													
3													
4	32001	322							55	0		241	
5	32002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	32003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	32004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	32005	396	311	320	314	373	378	322	325	0	0	0	0
9	32006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	32007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	32008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	32009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	32010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	32011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	32012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	32013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	32014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	32015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	32016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	32017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	32018	201	218	245	216	302	309	273	277	277	277	277	277
22	32019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	32020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	32021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	32022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	32023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	32024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	32025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	32026	149	243	212	217	232	232	242	242	242	242	242	242
30	32027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	32028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	32029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	32030	298	301	314	308	287	272	281	289	272	280	280	280
34	32031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	32032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	32033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	32034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	32035	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	32036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	32037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	32038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	32039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	32040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	32041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	32042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	32043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	32044	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	32045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	32046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	32047	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	32048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	32049	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	32050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	32051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	32052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	32053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	32054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	32055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	32056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	32057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	32058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	32059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	32060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	32061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	32062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	32063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	32064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	32065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	32066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	32067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	32068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	32069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	32070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	32071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	32072	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	32073	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	32074	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	32075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	32076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	32077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	32078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	32079	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	32080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	32081	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	32082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	32083	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	32084	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	32085	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	32086	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	32087	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	32088	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	32089	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	32090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	32091	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	32092	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	32093	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	32094	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	32095	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	32096	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	32097	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2.1 Resumen de estaciones meteorológicas

2.1.2 Datos hidrométricos

De las estaciones localizadas en la cuenca al sitio Arcediano, se realizó una búsqueda de la información con la que cuenta cada una de las estaciones en el BANDAS. En la tabla 2.1 se muestran 48 estaciones hidrométricas localizadas.

Clave	Nombre	Corriente	Longitud	Latitud
12239	SAN PEDRO PIEDRA GORDA	RIO SAN PEDRO	-102.35	22.44
12369	CUARENTA	RIO DE LAGOS	-101.74	21.48
12422	CUARENTA II	RIO DE LAGOS	-101.75	21.48
12454	LAGOS	RIO DE LAGOS	-101.91	21.36
12476	KM. 0 +340 (EL CUARENTA)	CANAL PRINCIPAL	-101.73	21.51
12767	LA SAUCEDA	RIO DE LA SAUCEDA	-101.85	21.35
12785	KM. 0 +010 (LA SAUCEDA)	CANAL MARGEN DERECHA	-101.68	21.45
12754	SAUCES CHICOS	CANAL PRINCIPAL	-102.06	21.55
12760	SAUCES CHICOS CANAL P	RIO ENCARNACION	-102.06	21.55
12358	AJOJUCAR	RIO AGUASCALIENTES	-102.43	21.56
12382	PASO DEL SABINO	RIO AGUASCALIENTES	-102.53	21.34
12425	AJOJUCAR C.P.M.I	CANAL PRINCIPAL	-102.43	21.56
12315	CALERA	RIO TEOCALTICHE	-102.59	21.49
12489	TEOCALTICHE	RIO TEOCALTICHE	-102.58	21.44
12585	CALERITA	RIO TEOCALTICHE	-102.59	21.42
12371	VALLE DE GUADALUPE	RIO DEL VALLE	-102.60	20.98
12936	LA ZURDA I	RIO VERDE	-102.71	21.26
12370	SAN GASPAR	RIO DE LAGOS	-102.49	21.28
12355	AGOSTADERO	RIO SAN MATIAS	-102.30	21.36
12731	AGOSTADERO	CANAL MARGEN DERECHA	-102.34	21.36
12732	AGOSTADERO	CANAL MARGEN IZQUIERDA	-102.34	21.36
12563	SAN JUANICO	RIO SANTA MONICA	-102.55	21.69
12541	LA RED	RIO CALDERON	-102.79	20.71
12504	LA CUNA	RIO VERDE	-102.82	21.00
12935	CALDERON	RIO CALDERON	-102.99	20.67
12400	LAS JUNTAS	RIO SANTIAGO	-103.25	20.71
12559	LAGUNILLAS	RIO TEPATTTLAN	-102.81	20.78
12764	ATEMAJAC	ARROYO ATEMAJAC	-103.28	20.72
12765	SAN ANDRES	ARROYO SAN ANDRES	-103.28	20.71
12359	EL SALTO	RIO SANTIAGO	-103.16	20.51
12730	ATEQUIZA	CANAL ATEQUIZA NUMERO 2	-103.08	20.40
12735	EL SIFON	CANAL ZANJA SUR MARGEN IZQUIERDA	-103.08	20.40
12128	CORONA	RIO SANTIAGO	-103.10	20.39
12288	ZAPOTLANEJO	CANAL ZAPOTLANEJO	-103.10	20.39
12749	ATEQUIZA II C.P.M.I	CANAL ATEQUIZA	-103.10	20.39
12515	LA AURORA CANAL	CANAL LA AURORA	-103.39	20.51
12472	ARCEDIANO	RIO SANTIAGO	-103.28	20.74
12281	KM. 1 +400 (PRESA JOCOQUE)	CANAL PRINCIPAL	-102.34	22.13
12210	VERTEDOR POTRERILLOS	RIO PABELLON	-102.43	22.23
12218	EL AGUILA	RIO SANTIAGO	-102.41	22.13
12271	PALMITOS	RIO SANTIAGO	-102.41	22.13
12378	PRESA CALLES	SALIDAS PRESA	-102.41	22.13
12213	PUENTE F.C. CHICALOTE	RIO CHICALOTE	-102.25	22.00
12389	EL NIAGARA I	RIO AGUASCALIENTES	-102.37	21.78
12522	EL NIAGARA II	RIO AGUASCALIENTES	-102.37	21.80
12545	EL NIAGARA III	RIO AGUASCALIENTES	-102.37	21.77
12656	EL NIAGARA	CANAL PRINCIPAL	-102.37	21.78
12227	TIZCARENO	RIO MORCINIQUE	-102.42	21.92

Tabla 2.1 Estaciones hidrométricas

Se realizó una consulta manual de las características de cada estación en el catálogo del BANDAS, con la finalidad de identificar los registros de escurrimiento diario.

Debido a que en catálogo se encontraron varias estaciones con nombres repetidos, se requirió revisar la descripción de cada estación a fin de identificarlas correctamente. La mejor manera de identificar a las estaciones fue a través de la clave con la que cuenta cada estación.

Ya identificadas correctamente las estaciones que se encuentran en la cuenca, se revisaron los datos del escurrimiento diario de cada estación. Dichos datos se encuentran en formato .dbf, por lo que fue necesario exportarlos a formato .xls con el fin de ordenar los registros por año y calcular los porcentajes de información. Esto se realizó a través de unas macros que procesan los datos de cada estación y crea un resumen con la información que contiene cada estación. Se cuenta con registros desde 1930 hasta el 2002 (Figura 2.2).

	A	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1										
2										
3	ESTACION	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938
4	12128									
5	12210	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	12213	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	12218	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	12227	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	12239	0				120	0	0	0	0
10	12271	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	12291									
12	12289									
13	12315	181	0	0	0	0	0	0	0	0
14	12355									
15	12358									
16	12358									
17	12369									
18	12370									
19	12371									
20	12378									
21	12392	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	12385	0	100			228	0	0	0	0
23	12400									
24	12422	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	12425									
26	12494									
27	12472									

Figura 2.2 Resumen de estaciones hidrométricas

3 Procesamiento de datos geográficos

Se realizó la preparación de la base de datos geográfica y de datos alfanuméricos, incluyendo los procesos siguientes:

3.1 Homogenización de rasgos geográficos

La zona de proyecto comprende dos zonas UTM (zona 13 y 14 del hemisferio norte) por lo cual la proyección UTM, datum *NAD 1983* propuesta en el anexo técnico como equivalente de la proyección oficial UTM, datum *ITRF92* no es aplicable, en su lugar se manejará la proyección *Cónica Conforme de Lambert* con datum *WGS84* y con parámetros de México del INEGI.

Otro punto importante en la homogenización realizada es la equivalencia de datum de origen, en el análisis realizado, se detectó que dentro del conjunto de cartas vectoriales de INEGI seleccionadas para el proyecto, seis cartas tenían como referencia de origen el datum *ITRF92* (Figura.3.1) mientras las 43 cartas restantes tienen el datum *NAD 27*. La solución consistió en cambiar el datum *ITRF92 a NAD27* por medio del *TRANINV* (software de INEGI).

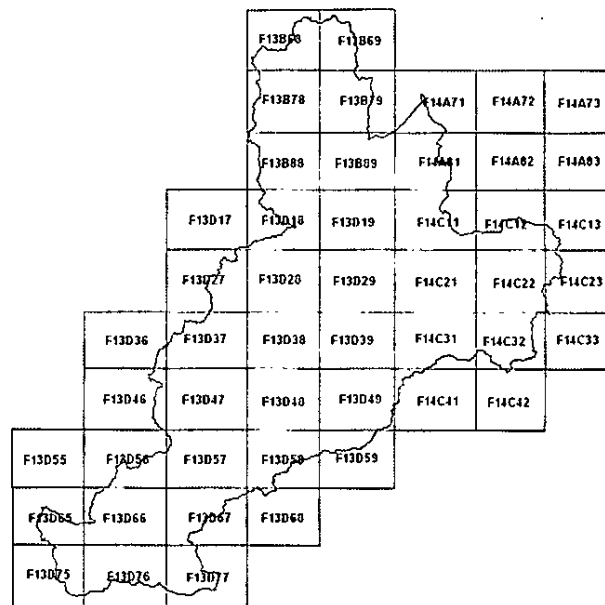


Figura 3.1 Muestra las cartas 1:50,000 con datum *ITRF92* (Color Azul), las que se encuentran en datum *NAD 27* (Color Rojo)

3.2 Elaboración de mosaico de los archivos del modelo digital de elevación y recorte con una franja externa al parteaguas de 10 km

El mosaico que comprende la zona de proyecto se elaboró utilizando los cuadrantes 61490089 y 52638151 del *MDE* de *SRTM3*. Es importante comentar que el *MDE* de *SRTM3* presenta huecos sin información que abarcan desde una a varias celdas, estos fueron interpolados usando un algoritmo del software *Geomática V10.1*, cuya condición es que los huecos tengan un área menor a 200 píxeles.

A partir del mosaico se realizó un recorte del *MDE* utilizando un margen de 10 km (Figura 3.2), generado a partir del parteaguas del proyecto Arcediano.



Figura 3.2 Modelo Digital de Elevaciones proyecto Arcediano con un *Buffer* de 10 km

La finalidad de realizar el recorte es el de disminuir los tiempos de computo durante la implementación del proyecto Arcediano en *Physitel*.

3.3 Cambio de formato de rasgos geográficos a los requeridos por la aplicación Physitel e Hydrotel

Se cambió el formato *raster* del *MDE* (Figura 3.2) a un archivo con extensión "*txt*" (Figura 3.3). El archivo de texto generado se creó utilizando un algoritmo del software *Geomática V10.1*. El "*txt*" es transformado nuevamente a *raster* por *Physitel* al momento de ser importado.

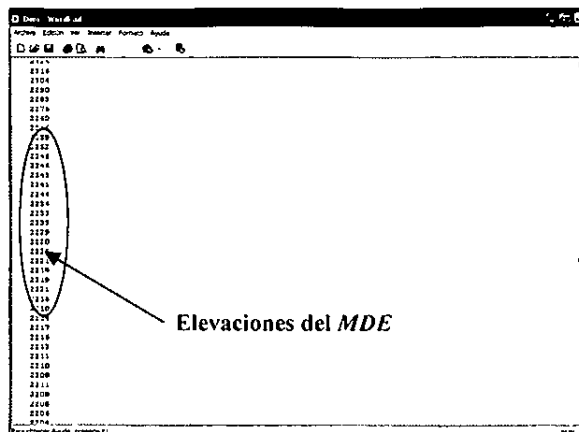















Figura 3.3 Representación en archivo de texto (.txt) del DEM de SRTM

Otro rasgo geográfico que requiere el *Physitel* para la determinación de la fisiografía de una cuenca es la red de drenaje con cuerpos de agua vectorial escala 1:50,000 (INEGI). Está requirió un cambio de formato de "shp" (*ArcGis*) a "tab" de *MapInfo*, con finalidad de edición. La red es importada a *Physitel* en formato "shp".

4 Determinación de características fisiográficas

Physitel consta de 13 etapas, en cada una de ellas se van definiendo las características de una cuenca, las cuales son exportadas a *Hydrotel* para la modelación hidrológica. Estas etapas son las siguientes:

-  Etapa 1. Importación del modelo digital de elevación
-  Etapa 2. Determinación y edición de pendientes
-  Etapa 3. Importación y edición de la red vectorial de corrientes de referencia
-  Etapa 4. Determinación y edición de la red matricial de corrientes de referencia
-  Etapa 5. Determinación y edición del modelo digital de elevación con red de corrientes impuesta en áreas seleccionadas
-  Etapa 6. Determinación y edición de las orientaciones de celdas
-  Etapa 7. Determinación del parteaguas de la cuenca
-  Etapa 8. Determinación de red de escurrimiento con umbral de área seleccionada
-  Etapa 9. Reorientación de las celdas alrededor de los nodos
-  Etapa 10. Delimitación y edición de unidades especiales de simulación
-  Etapa 11. Importación y edición de la clasificación del suelo
-  Etapa 12. Importación y edición de la clasificación del tipo de suelo
-  Etapa 13. Exportación del proyecto *Physitel* al formato *Hydrotel*

A continuación se describen las etapas llevadas a cabo en *Physitel*.

4.1 Importación del modelo digital de elevación

Esta etapa consistió en incorporar a *Physitel* el modelo digital de elevaciones (Figura 4.1), a partir del cual se definieron varias características de la cuenca. Para fines de *Physitel* y dado que éste no cuenta con la proyección *Lambert Conformal Conic (LCC)* con parámetros mexicanos se utilizó la *LCC* con parámetros de Norteamérica.

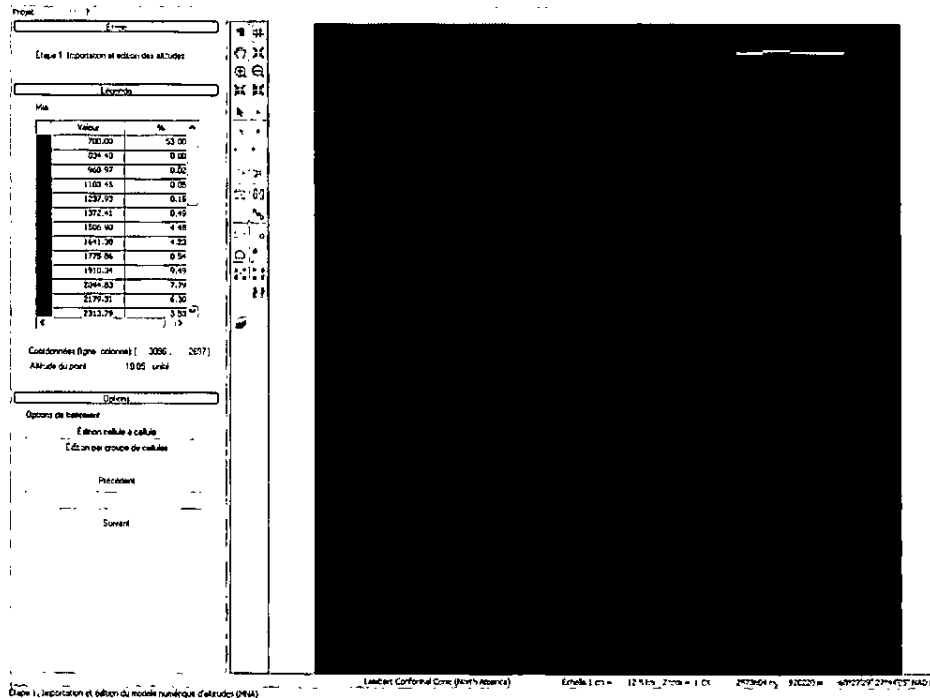


Figura 4.1 Modelo digital de elevaciones de la cuenca del sitio Arcediano

4.2 Determinación y edición de pendientes

Las pendientes son determinadas por *Physitel* en función de la elevación del terreno (*DEM*) y la distancia, es decir, *Physitel* determina la pendiente para cada celda (Figura 4.2) tomando en cuenta las elevaciones de las celdas vecinas.

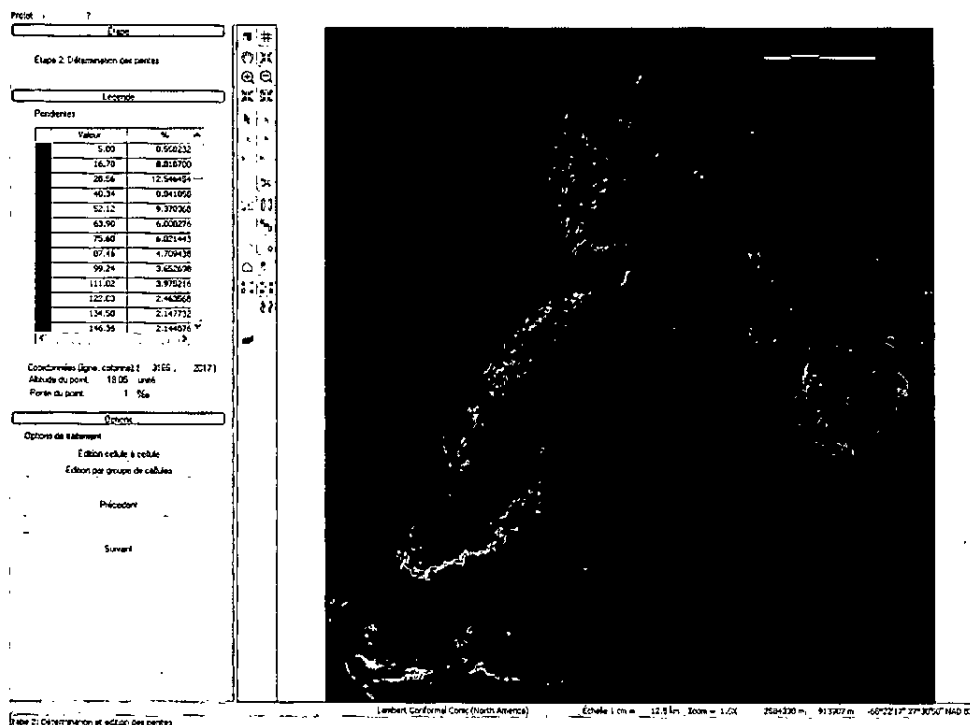


Figura 4.2. Pendientes generadas en la etapa 2 de *Physitel* a partir del *DEM*

4.3 Importación y edición de la red de corrientes de referencia

Está etapa consiste en incorporar la red hidrográfica (lagos y ríos) bajo un formato vectorial (Figura 4.3). Esta red fue procesada previamente con ayuda de la topografía, la red de corrientes 1:50,000 y una red provisional obtenida previamente de *Physitel*. Una vez concluida la red se importó a *Physitel* y se editó de nueva cuenta, para que así *Physitel* reconociera esta red como válida. En el paso siguiente se determinará una red matricial siguiendo la correcta ubicación de la red hidrológica vectorial impuesta.

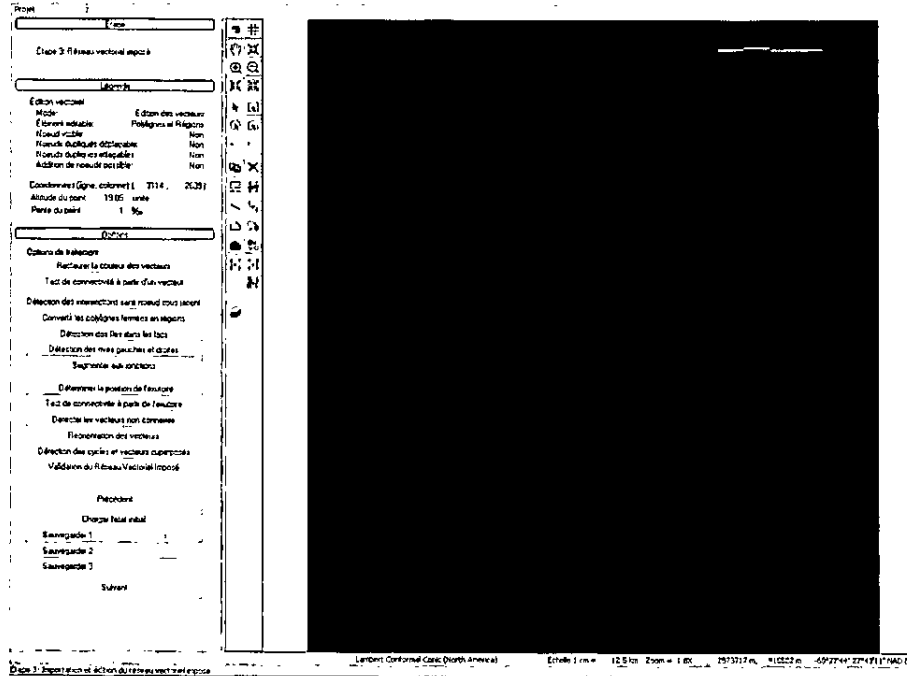


Figura 4.3. Red vectorial escala 1:50,000 insertada en Physitel

4.4 Determinación y edición de la red matricial de corrientes de referencia

La determinación y edición de la red matricial de corrientes (Figura 4.4) consistió en convertir la representación vectorial de la red de drenaje en una representación a nivel celda.

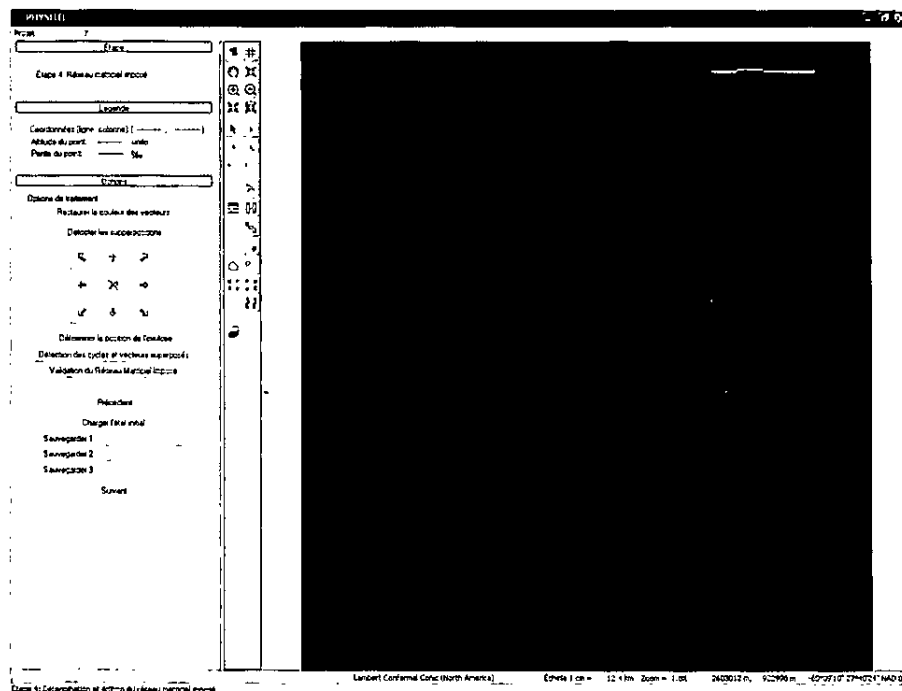


Figura 4.4. Red matricial generada a partir de la red vectorial

4.5 Determinación y edición del modelo digital de elevación con red de corrientes impuesta en áreas seleccionadas

Esta etapa consistió en modificar el *DEM* por medio de cavar las altitudes sobre y en la periferia de la red matricial generada (Figura 4.5), con el fin de reafirmar afluencia del flujo cerca de las corrientes.

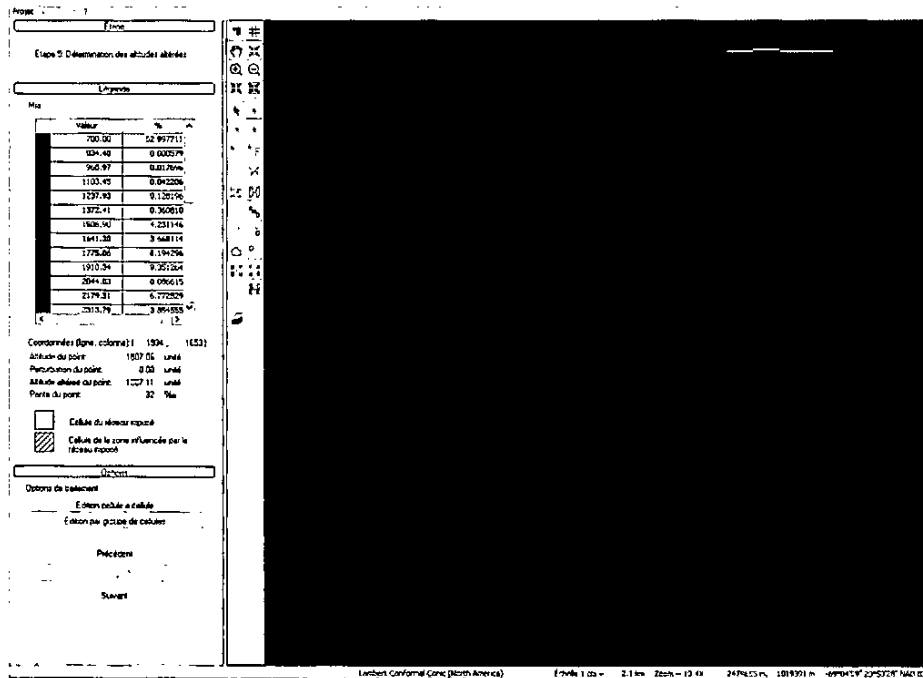


Figura 4.5. Muestra del área de influencia que fue modificada en el DEM

4.6 Determinación y edición de las orientaciones de celdas

Consiste en asignar una orientación a cada celda del DEM para determinar el sentido de flujo de las corrientes con base en la red vectorial impuesta (Figura 4.6).

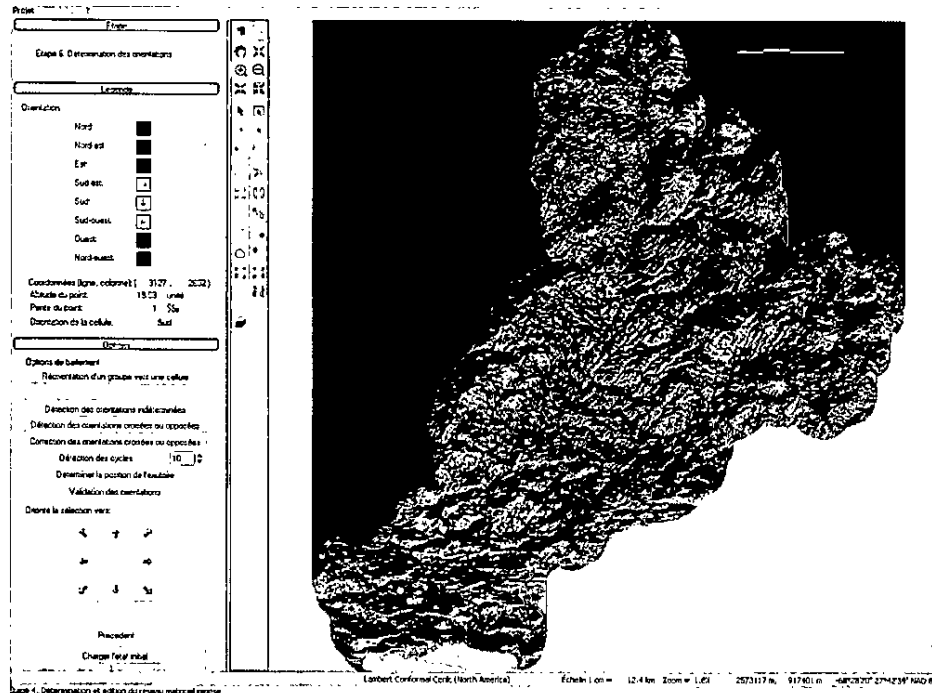


Figura 4.6. Determinación de orientaciones en cada celda del DEM

4.7 Determinación del parteaguas de la cuenca

En esta etapa, se calcula a partir de la orientación de las celdas el área drenada hacia el punto de salida de la cuenca, en la figura 4.7 se muestra el parteaguas de la cuenca, además de la red de corrientes creada por *Physitel* respetando la trayectoria de la red vectorial impuesta. La cantidad de celdas que drenan hacia el sitio de Arcediano es de 2,922,477, tomando en cuenta que cada celda es de 90m x 90m tenemos un área drenada de 23,672.06 km².

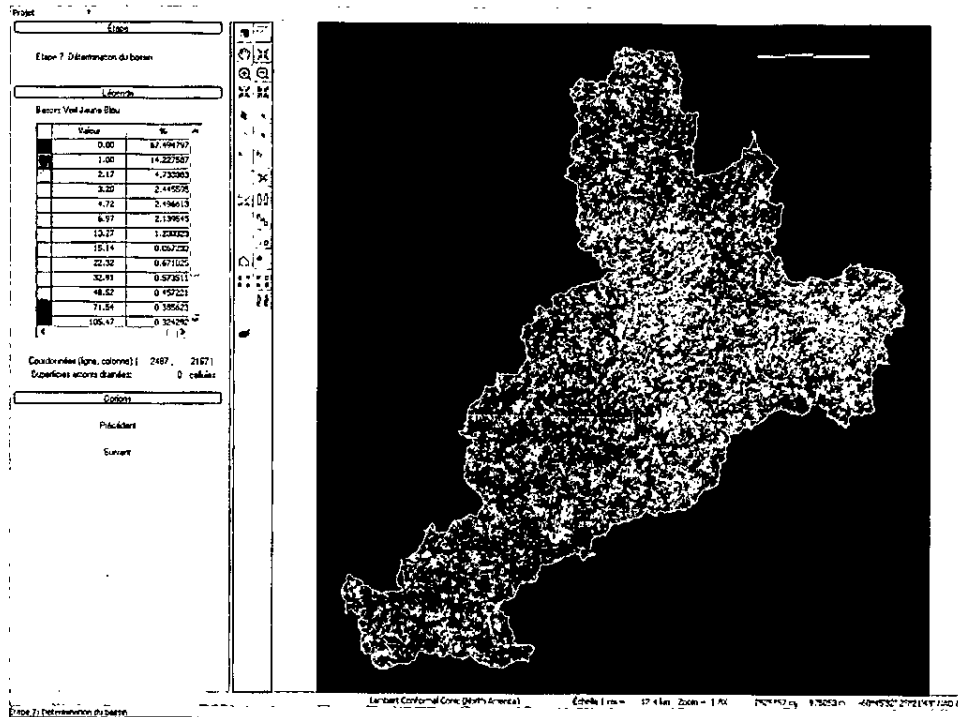


Figura 4.7. Partaguas de la cuenca al sitio Arcediano

4.8 Determinación de red de escurrimiento con umbral de área seleccionada

En esta etapa se impone un límite máximo de superficie de área drenada aguas arriba de la red de corrientes creada en la etapa 7, de esta manera *Physitel* coloca nodos sobre la red y a partir de ellos se generan unidades hidrológicas. El límite máximo de superficie de área drenada que se utilizó fue de 3,600 píxeles (Figura 4.8).

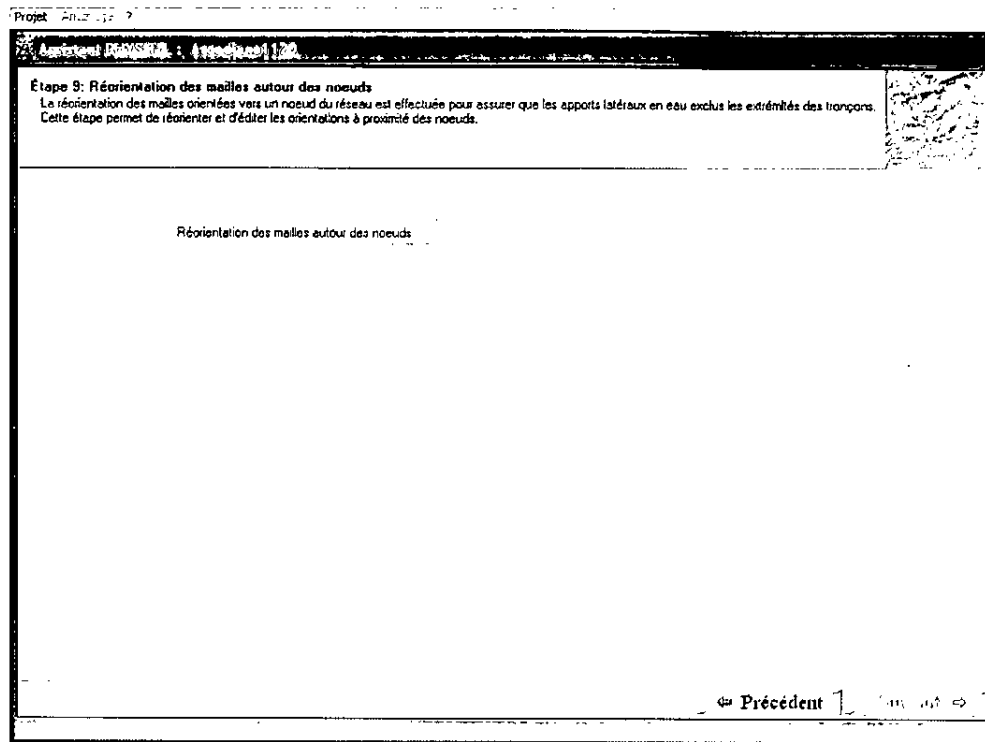


Figura 4.9. Interfaz de inicio de reorientación de direcciones

4.10 Delimitación y edición de unidades especiales de simulación

Aquí se crearon las subcuencas (UHRH ó unidades hidrológicas relativamente homogéneas) asociadas a cada sección de la red hidrográfica modelada (Figura 4.10). Las secciones están delimitadas por los nodos creados en la etapa anterior. La cantidad total de UHRH es de 584 con un área promedio de 40.53 km².

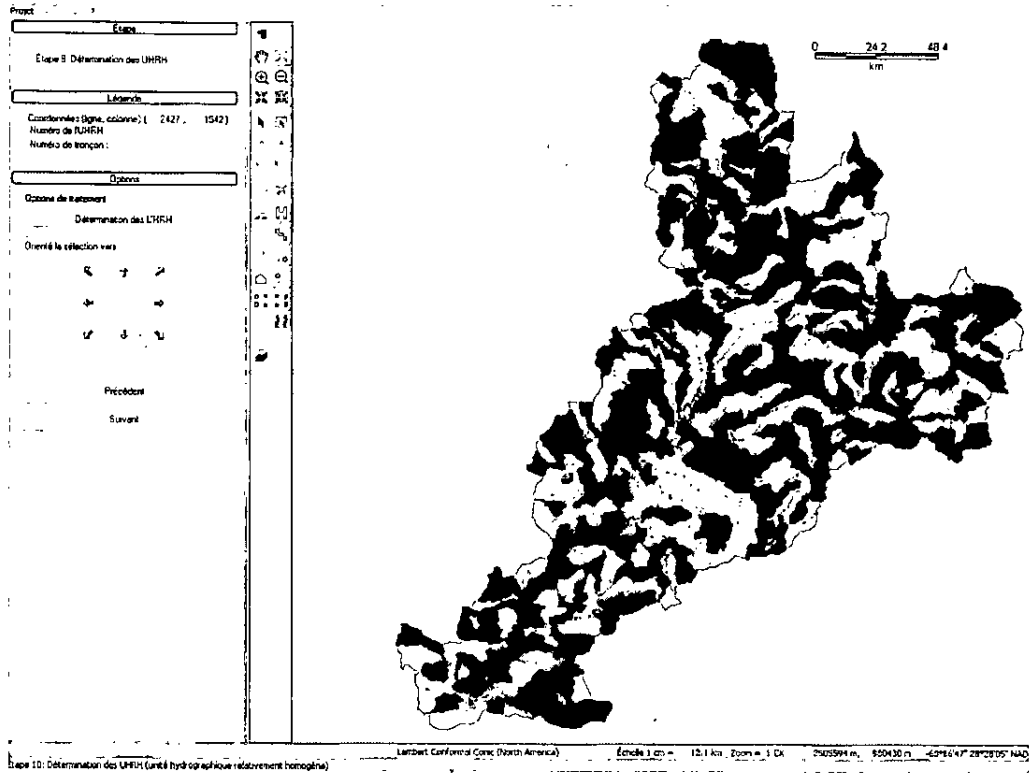


Figura 4.10. Interfaz de inicio de reorientación de direcciones